

Astrofotographie mit der digitalen Spiegelreflexkamera

Steffen Brückner
brueckner@ccdaastro.de

Version 1.1 vom 17.11.2005

Durch günstige digitale Spiegelreflexkameras finden immer mehr Einsteiger den Weg zur Astrofotografie. Schon bei den ersten Versuchen bemerkt man jedoch, dass die ach so schön aussehenden Bilder im Internet nicht ohne Mühen gewonnen wurde. Auf der technischen Seite stehen eine vernünftige Montierung, ein gutes Teleskop, eine geeignete Kamera, ein Notebook mit der „richtigen“ Software, noch ein Teleskop (das sogenannte Leitrohr) und noch eine Kamera (die sogenannte Guider-Kamera). Doch die Technik ist nur ein Hilfsmittel um „schöne“ Astrofotografien anzufertigen. Geduld und Ausdauer sind gefragt, die Lernkurve ist am Anfang ziemlich steil. Aber wer einmal den schweren Anstieg auf der Lernkurve erklommen hat kann sich an seinen Aufnahmen des Universums erfreuen.

Dieses Skript soll Einsteigern eine kleine Hilfe auf dem Weg zur Astrofotografie mit Digitalkameras, insbesondere digitalen Spiegelreflexkameras, sein.

Bedanken möchte ich mich bei Tom Licha, der mir einige sehr hilfreiche Hinweise zu diesem Skript gegeben hat.

Stuttgart, im November 2005-11-17

Steffen Brückner

Inhalt

1.	Einleitung	4
2.	Theorie	5
2.1.	Sensortechnik.....	5
2.1.1.	Quanteneffizienz	5
2.1.2.	Full-Frame	6
2.1.3.	Frame-Transfer.....	6
2.1.4.	Interline-Transfer	6
2.1.5.	Mikrolinsen	6
2.2.	Kenndaten.....	6
2.3.	Offset (Bias)	7
2.4.	Dunkelstromverhalten	7
2.4.1.	Untersuchungen mit der Nikon D70	8
2.5.	Farbfilterarray	11
2.6.	Farbrauschen.....	12
2.7.	Rohdatenformat (RAW).....	12
2.8.	Kameratechnik	13
2.8.1.	DSLR vs. Kompaktkamera	13
2.8.2.	Kaufkriterien	13
2.9.	Brennweite und Pixelgröße	14
3.	Praxis.....	17
3.1.	Anschluß der Digitalkamera an das Teleskop	17
3.1.1.	Primärfokus.....	17
3.1.2.	Okularprojektion	17
3.1.3.	Afokale Projektion	18
3.2.	Fokussierung.....	18
3.3.	DarkFrame	20
3.4.	FlatField.....	20
3.5.	Offset.....	21
3.6.	Aufnahmepvorbereitung.....	22
3.7.	Aufnahme	22
4.	Bildbearbeitung	23
4.1.1.	Bildverarbeitung.....	23
4.1.2.	Rauschreduktion.....	24
4.1.3.	Bildbearbeitungstechniken.....	24
5.	Aufnahmetechniken.....	26
5.1.	Strichspuraufnahmen.....	26
5.2.	Sternfeldaufnahmen	26
5.3.	Meteore.....	27
5.4.	Mond	27
5.5.	Sonne.....	28
5.6.	Planeten	28
6.	Ausblick	29
7.	Nachbearbeitung von Astroaufnahmen.....	30

7.1.	Rauschreduzierung.....	31
7.2.	Gammakorrektor.....	31
7.3.	Schärfung.....	31
7.4.	Stacking.....	31
7.4.1.	Addition.....	32
7.4.2.	Mittelung.....	32
7.4.3.	Hellster Punkt.....	32
7.4.4.	Dunkelster Punkt.....	32
7.4.5.	Videos und Animationen.....	32
8.	Aufnahmetechniken für verschiedene Objekte.....	33
8.1.	Mond.....	33
8.2.	Sonne.....	34
8.3.	Sternfelder.....	34
8.4.	Planeten.....	34
8.5.	Kometen.....	35
8.6.	Meteoriten.....	35
8.7.	Deep-Sky Objekte.....	35
9.	FAQ.....	36
10.	Änderungsverzeichnis.....	38

1. Einleitung

Viele Astronomen suchen einen digitalen Ersatz für die bisher verwendeten analogen Spiegelreflexkameras (SLRs), sowohl für den Einsatz bei Tageslicht, wie auch für die Astrophotographie. Auf den ersten Blick scheinen digitale Spiegelreflexkameras eine direkte Weiterentwicklung analoger Spiegelreflexkameras zu sein. Betrachtet man die digitale Aufnahmetechnik jedoch genauer, so zeigt sich, daß diese neue Technik auch neue Vorgehensweisen und Aufnahmetechniken benötigt. In dieser Ausarbeitung möchte ich auf die Möglichkeiten des Einsatzes digitaler Kompakt- und Spiegelreflexkameras in der Astrophotographie eingehen. Nicht berücksichtigt werden dabei spezialisierte (aber auch wesentlich teurere) Astro-CCD Kameras und immer weiter verbreitete Webcams.

Vergleich der verschiedenen Techniken



Abbildung 1: Vergleich der verschiedenen Digitalkameratechniken für die Astrophotographie

Ein wichtiger Grundsatz der Astrophotographie ist:

Was auf den Rohbildern nicht aufgezeichnet ist kann durch keine noch so gute Bildbearbeitung herausgearbeitet werden!!!!

2. Theorie

Grundsätzlich gelten für DSLRs in der Astrophotographie dieselben Grundlagen wie für SLRs. An dieser Stelle seien zunächst mal die Bücher von Koch¹ und von Schröder² empfohlen. Bei Paech und Baader³ finden sich viele Tips rund um die Astronomie. Diese enthalten viele Grundlagen und die notwendigen Berechnungsformeln für die Astrophotographie unabhängig von der verwendeten Technik.

Der hauptsächliche Unterschied zwischen digitaler und analoger Photographie ist das Fehlen eines Schwarzschildeffekts bei digitaler Aufnahmetechnik. Dies bedeutet, daß das photographische Ergebnis in weiten Bereichen linear mit der Belichtungszeit ist und daher die Möglichkeit bietet eine größere Anzahl einzelner, vergleichsweise kurz belichtete, Aufnahmen im Rechner hinterher aufzuaddieren. Dies hat den Vorteil, daß einerseits die Nachführung weniger genau sein muß und andererseits mißglückte Aufnahmen, z.B. mit Flugzeugspuren, einfach ausgelassen werden können und die Gesamtaufnahme damit nicht ruinieren.

2.1. Sensortechnik

In aktuellen Digitalkameras kommen nahezu ausschließlich CCD⁴ und CMOS⁵ Sensoren zum Einsatz. Beide Sensortypen kann man sich als eine Fläche vollgestellt mit Eimern vorstellen. Die einfallenden Photonen werden während der Belichtung nun in diesen Eimern gesammelt und zum Auslesen der Sensoren werden diese Eimer einer nach dem andern umgelehrt und die Anzahl Photonen im jeweiligen Eimer gezählt.

Ein Nachteil dieser Sensortechnik ist das „Überlaufen“ einzelner Sensoren. Sind diese gesättigt (also die Eimer in obigem Bild gefüllt), so laufen weitere Photonen in die benachbarten Sensoren über. Dieses Auslaufen kann teilweise durch sogenannte Anti-Blooming Gates (ABG) unter Verlust von Sensorempfindlichkeit begrenzt werden, wird jedoch nie vollständig verschwinden. In der Astrophotographie tritt dieser Blooming-Effekt besonders bei Sonnen- und Mondaufnahmen, sowie bei Aufnahmen mit sehr hellen Sternen im Gesichtsfeld auf. Gegen Blooming hilft nur die oben schon beschriebene Technik vergleichsweise kurz belichteter Aufnahmen welche im Post-Processing aufaddiert werden.

2.1.1. Quanteneffizienz

Die Quanteneffizienz (QE) beschreibt welcher Anteil der im Sensorelement einfallenden Photonen in Elektronen umgewandelt wird. Die QE ist daher der „Wirkungsgrad“ des Sensors. Gute Full-Frame Sensoren ohne Farbfilter können Quanteneffizienzen von 60-80% erreichen. Sensoren mit Farbfilterarray erreichen typischerweise lediglich 5-10% Quanteneffizienz, diese kann aber durch den Einsatz von Mikrolinsen auf bis zu 50-60% gesteigert werden.

¹ Bernd Koch (Hrsg.), *Handbuch der Astrofotografie*, Springer, 1995, Erhältlich über astro-shop, Hamburg

² Klaus-Peter Schröder, *Praxishandbuch Astrofotographie*, Kosmos, 2003

³ Wolfgang Paech und Thomas Baader, *Tips & Tricks für Sternfreunde*, Verlag Sterne und Weltraum, 1999

⁴ CCD = charge coupled device

⁵ CMOS = complimentary metal-oxide semiconductor

2.1.2. Full-Frame

Bei sogenannten Full-Frame Chips wird der Sensor direkt ausgelesen. Damit hierbei keine ungleichmäßige Belichtung des Chips auftritt ist ein mechanischer Verschuß notwendig. Der Vorteil von Full-Frame Sensoren ist, daß die gesamte Chipfläche für aktive Sensorelemente zur Verfügung steht. Diese Sensorart wird vorrangig in spezialisierten Astro-CCD Kameras in Zusammenspiel mit einem mechanischen Verschuß eingesetzt. Der Nachteil ist, daß kurze Belichtungszeiten, wie sie z.B. für Sonne, Mond oder Planeten benötigt werden nicht realisiert werden können.

2.1.3. Frame-Transfer

Bei Frame-Transfer Sensoren ist eine Hälfte des Sensors maskiert, d.h. nicht lichtempfindlich. Hieraus resultiert, daß nur die Hälfte der Sensorfläche für aktive Elemente zur Verfügung steht. Bei Ende der Belichtung wird die aktive Hälfte sehr schnell in die maskierte Hälfte verschoben und der maskierte Bereich dann ausgelesen. Bei dieser Technik ist ein mechanischer Verschuß nicht unbedingt notwendig.

2.1.4. Interline-Transfer

Bei Interline-Transfer Sensoren wird jede zweite Bildzeile maskiert, d.h. gegen Lichteinfluß geschützt. Zum Ende der Belichtung werden alle Zeilen jeweils eine Zeile nach unten geschoben und die maskierten Zeilen werden dann ausgelesen. Mit dieser Technik können sehr kurze Belichtungszeiten elektronisch, d.h. ohne mechanischen Verschuß realisiert werden. Aktuelle DSLRs verwenden diese Chiptechnik um Belichtungszeiten von 1/8000s und kürzer zu realisieren. Der Nachteil dieser Technik ist natürlich, daß nur die Hälfte der Sensorfläche aktiv ist und daß die maskierten Zeilen innerhalb des Bildfensters liegen.

2.1.5. Mikrolinsen

Die einzelnen Sensorelemente (Pixel) sind sowohl bei CCD wie auch bei CMOS Sensoren extrem richtungsempfindlich. Nur nahezu senkrecht einfallende Photonen können detektiert werden, was speziell bei kurzbrennweitigen Optiken zu einer verschlechterten Quanteneffizienz führt. Aktuelle Sensoren werden daher mit Mikrolinsen ausgestattet. Hierbei handelt es sich um aufgetropfte und ausgehärtete optische Elemente vor den Sensorzellen welche schräg einfallendes Licht in die Senkrecht brechen und daher auch schräg einfallende Photonen detektierbar machen.

Durch den Einsatz von Mikrolinsen kann die Quanteneffizienz von Sensoren von knapp 10% ohne Mikrolinsen auf bis zu 50% zu steigern.

2.2. Kenndaten

In der Astrophotographie ist es nicht nur wichtig eine funktionierende Kamera zu haben, sondern der Astrophotograph sollte die wichtigsten Kenndaten für seine Kamera kennen um die notwendigen Berechnungen und Einstellungen vornehmen zu können.

Als wichtigste Kenndaten sollte möglichst die folgende Daten bekannt sein:

- Sensortyp (CCD, CMOS, X3)
- Auflösung (in px)
- Sensorgröße (in mm)
- Pixelgröße (in μm)
- Spektrale Empfindlichkeit
- Quanteneffizienz (in %)

Die Pixelgröße läßt sich leicht berechnen, wenn man die Sensorgröße und die wirkliche(!) Anzahl Pixel in jeder Richtung kennt. Wichtig ist, daß aufgrund des Farbfilterarrays die wirkliche Pixelzahl größer ist als die Anzahl Pixel in den mit der Kamera erzeugten Bildern.

Digitale Spiegelreflexkameras (DSLRs) werden heute hauptsächlich mit CCD und CMOS-Sensoren ausgerüstet. Letztere sind günstiger zu fertigen und sind qualitativ bei den in DSLRs verbauten Sensoren den CCDs gleichwertig.

Im folgenden werden die einzelnen Effekte bei digitalen Photosensoren beschrieben. Dies sind insbesondere der Offset und der Dunkelstrom. Danach wird auf die Technik der Farbbildgewinnung, zumeist mit einem Farbfilterarray, eingegangen und die dadurch bedingten Effekte und die notwendige Farbinterpolation beschrieben.

2.3. Offset (Bias)

Jedes Pixel eines Sensors hat eine Grundaktivierung, den sogenannten Offset oder Bias. Verglichen mit dem Eimermodell von oben bedeutet dies, daß in jedem Eimer eine geringe, von Eimer zu Eimer verschiedene, Menge Photonen immer schon vorhanden ist und auch durch Entleerung des Eimers nicht wegzubekommen ist (so wie ein Wassereimer nach dem Ausleeren auch nicht schlagartig trocken wird sondern immer noch eine kleine Menge Wasser enthält).

Desweiteren enthält das Offsetbild auch sogenannte „Hotpixel“, also Sensorzellen die aufgrund eines defektes ständig eine volle Aktivierung liefert und „Deadpixel“, die keinerlei Aktivierung, unabhängig vom einfallenden Licht, aufweisen.

2.4. Dunkelstromverhalten

Sowohl bei CCD wie auch bei CMOS-Sensoren tritt der sogenannte Dunkelstrom, ein thermisches Rauschen der Sensorelemente, auf. Dieses Dunkelrauschen ist abhängig von der Belichtungszeit und der Temperatur. Unterhalb von $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ gibt es kaum noch thermisches Rauschen, weshalb reine Astrokameras gekühlt werden. Das Dunkelstromverhalten moderner Sensoren hat sich in den letzten Jahren allerdings deutlich verbessert und durch die später beschriebene Methode des Dunkelbildabzugs kann dieser Effekt nahezu vollständig eliminiert werden.

Bei DSLRs ist im Gegensatz zu reinen Astrokameras allerdings zu beobachten, daß der Ausleseverstärker wohl durchgängig während der Belichtung in Betrieb ist und daher den Sensor in einem kleinen Bereich zusätzlich erwärmt. Dieser Bereich kann teilweise so intensiv sein,

daß dieser Bereich für extreme Langzeitbelichtungen bei hoher Empfindlichkeit nicht verwendet werden kann!

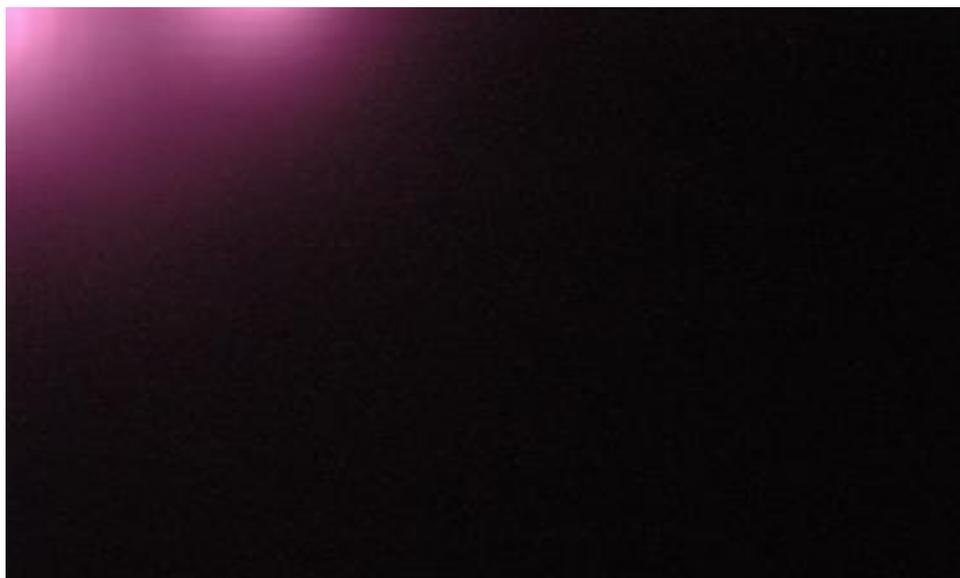


Abbildung 2: Typische Dunkelbildaufnahme (ISO1600, $t=300s$)

2.4.1. Untersuchungen mit der Nikon D70

Im folgenden wird das Rauschverhalten der Nikon D70 untersucht (zum Testen stand leider nur diese Kamera zur Verfügung, bei Gelegenheit werden die Werte aber für weitere Kameras nachgetragen. Es ist aber davon auszugehen, daß die Ergebnisse grob auch auf andere aktuelle DSLR Kameras übertragbar sind).

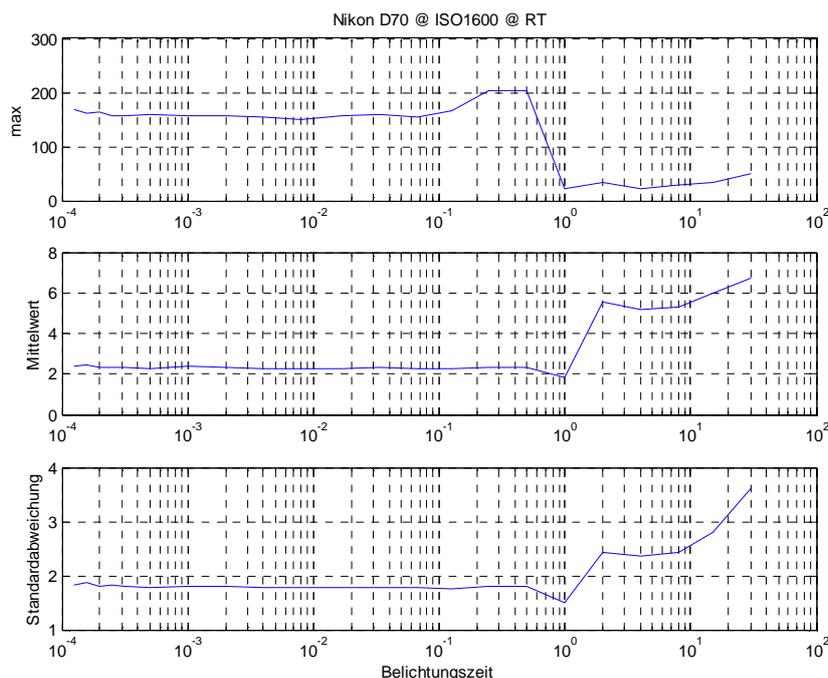


Abbildung 3: Rauschverhalten der Nikon D70 bei ISO1600

Zur Untersuchung des Rauschverhaltens der Kamera wurden Dunkelbilder bei verschiedenen Belichtungszeiten und Empfindlichkeitseinstellungen bei Raumtemperatur aufgezeichnet in Graustufen umgewandelt und statistisch ausgewertet. Bei den Aufnahmen waren alle Kameraoptimierungen sowie die interne Rauschreduzierung abgeschaltet.

Abbildung 3 zeigt im oberen Diagramm die Abhängigkeit des maximalen Pixelwertes in Abhängigkeit der Belichtungszeit. Es scheint, daß die Kamera bei Belichtungszeiten ab 1s automatisch eine Rauschreduzierung durchführt oder daß bei längeren Belichtungszeiten der Chip langsamer ausgelesen wird, so daß ein geringeres Rauschen in Form von Pixelwerten auftritt.

Im mittleren Diagramm ist der Mittelwert aller Pixelwerte in Abhängigkeit der Belichtungszeit aufgetragen. Auch hier ist ein deutlicher Einschnitt bei $t = 1s$ festzustellen.

Das untere Diagramm zeigt die Standardabweichung aller Pixelwerte in Abhängigkeit der Belichtungszeit. Auch hier wird deutlich, daß die Kamera Bilder welche 1s oder länger belichtet werden anders behandelt als bei kürzeren Belichtungszeiten.

Insgesamt sieht es so aus, daß das Ausleserauschen sehr gering ist und ab 1s Belichtungszeit das thermische Rauschen dominiert. Insofern kann es vorteilhaft sein viele „kurzbelichtete“ Astroaufnahmen ($\approx 15s$ oder $30s$) zu addieren statt eine langbelichtete Aufnahme zu machen. Dies muß aber noch in Aufnahmen an Astroobjekten überprüft werden.

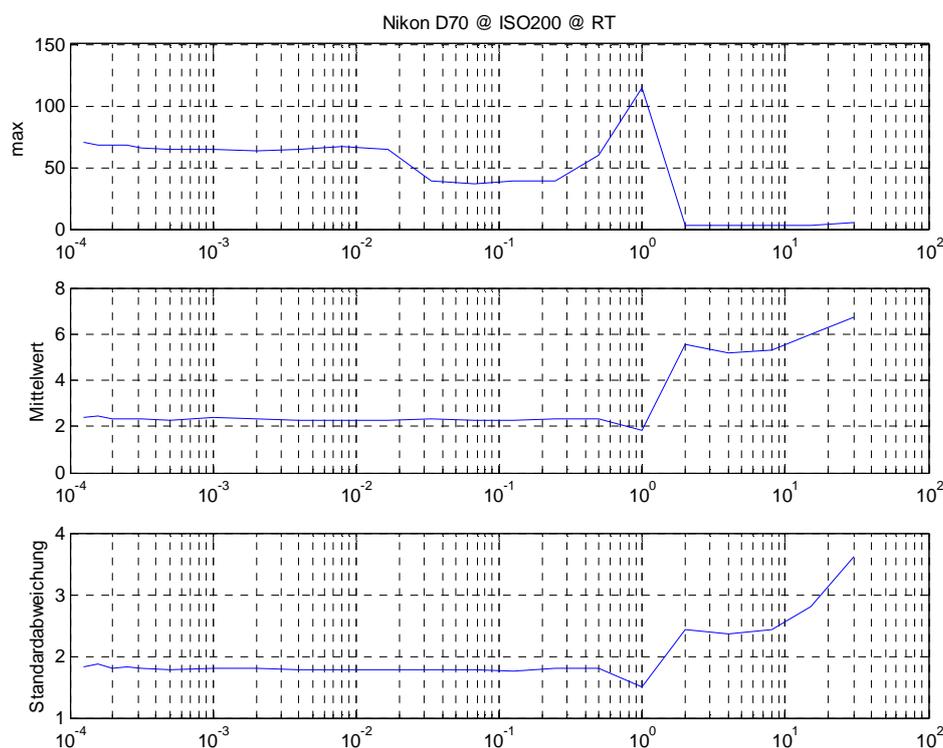


Abbildung 4: Rauschverhalten der Nikon D70 bei ISO200

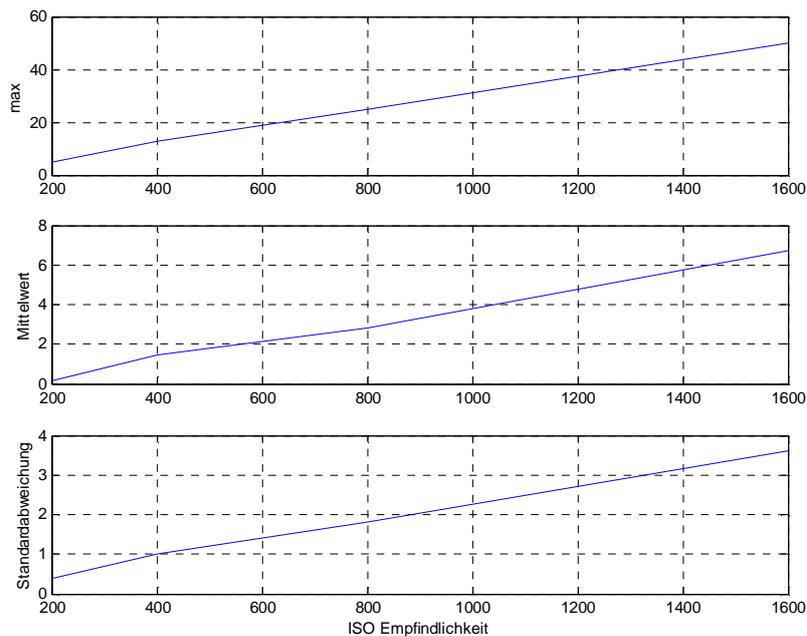


Abbildung 5: Rauschverhalten der Nikon D70 in Abhängigkeit der ISO Empfindlichkeit

Abbildung 5 zeigt die entsprechenden Kurven in Abhängigkeit der ISO Empfindlichkeitseinstellung. Deutlich zu erkennen ist, daß sich mit Verdopplung der Empfindlichkeit auch das Rauschen verdoppelt.

Da sich aber nach Abbildung 3 und Abbildung 4 das Rauschen bei doppelter Belichtungszeit nur gering ändert (deutlich weniger Zunahme als einer Verdopplung) führt dies zu der Annahme, daß es aus Sicht des Rauschverhaltens sinnvoller ist mit geringerer Empfindlichkeitseinstellung länger zu belichten.

In Abbildung 6 ist das Rauschverhalten der Nikon D70 bei Raumtemperatur in Abhängigkeit der Belichtungszeit und der ISO Empfindlichkeitseinstellung dreidimensional aufgezeigt.

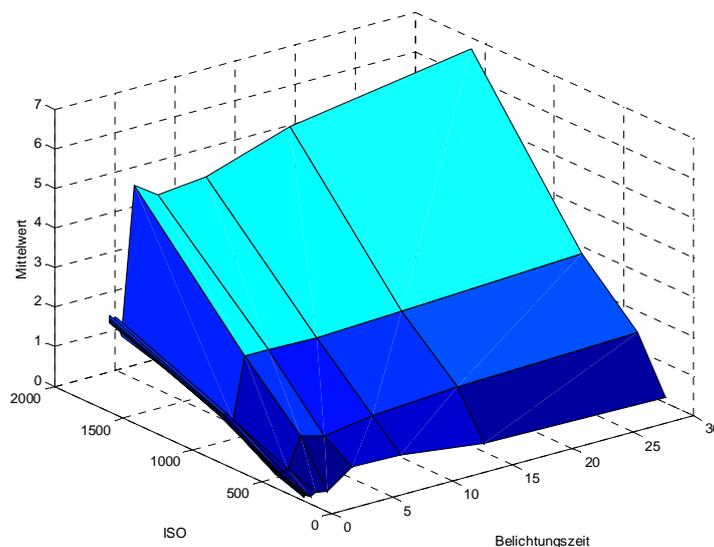


Abbildung 6: Rauschverhalten der Nikon D70 (Mittelwert der Pixelwerte)

2.5. Farbfilterarray

Eine Besonderheit gegenüber Astrokameras ist der bei DSLRs eingesetzte Farbfilter. Dieser Filter, meist als Bayer-Pattern ausgeführt (Ausnahme: Foveon X3) ist fix auf die Pixel aufgedampft. Reine Luminanzaufnahmen (schwarz-weiß, oder genauer gesagt Graustufen) sind daher mit DSLRs nicht möglich, die Quanteneffizienz (QE) wird dadurch natürlich schlechter. Andererseits wird bei CCD-Sensoren diese Reduktion der QE oft durch kleine Mikrolinsen vor den Pixeln wieder etwas ausgeglichen. Die optische Qualität der aufgedampften Farbfilter soll laut Herstellerangaben durchaus mit der Qualität sehr guter Glasfarbfilter vergleichbar sein.

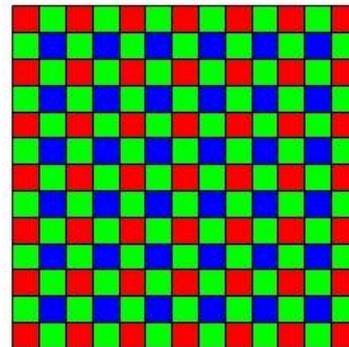


Abbildung 7: Farbfilterarray (CFA, Bayer-Pattern)

Elektronische Sensoren sind im Gegensatz zu chemischen Film sehr empfindlich gegenüber der Einstrahlrichtung des Lichts. Nur Licht welches nahezu senkrecht auf den Pixel trifft kann in Elektronen umgewandelt werden. Die Mikrolinsen sorgen dafür, daß schräg auftreffendes Licht in die Senkrechte umgelenkt wird und so die QE wieder steigt.

Der große Nachteil des aufgebrauchten Bayer-Farbfiltermusters ist, daß die gewonnenen Rohbildinformationen nicht direkt verwendet werden können sondern ein Farbbild erst durch eine Interpolation der farbigen Pixel errechnet werden muß. Bei dieser Interpolation setzt jeder Hersteller ein anderes Verfahren ein, auch wird dabei der sogenannte Weißabgleich mit eingerechnet. Dies führt dazu, daß der Dunkelbildabzug auf jeden Fall direkt auf den Rohdaten und nicht auf einem interpolierten Bild durchgeführt werden sollte!

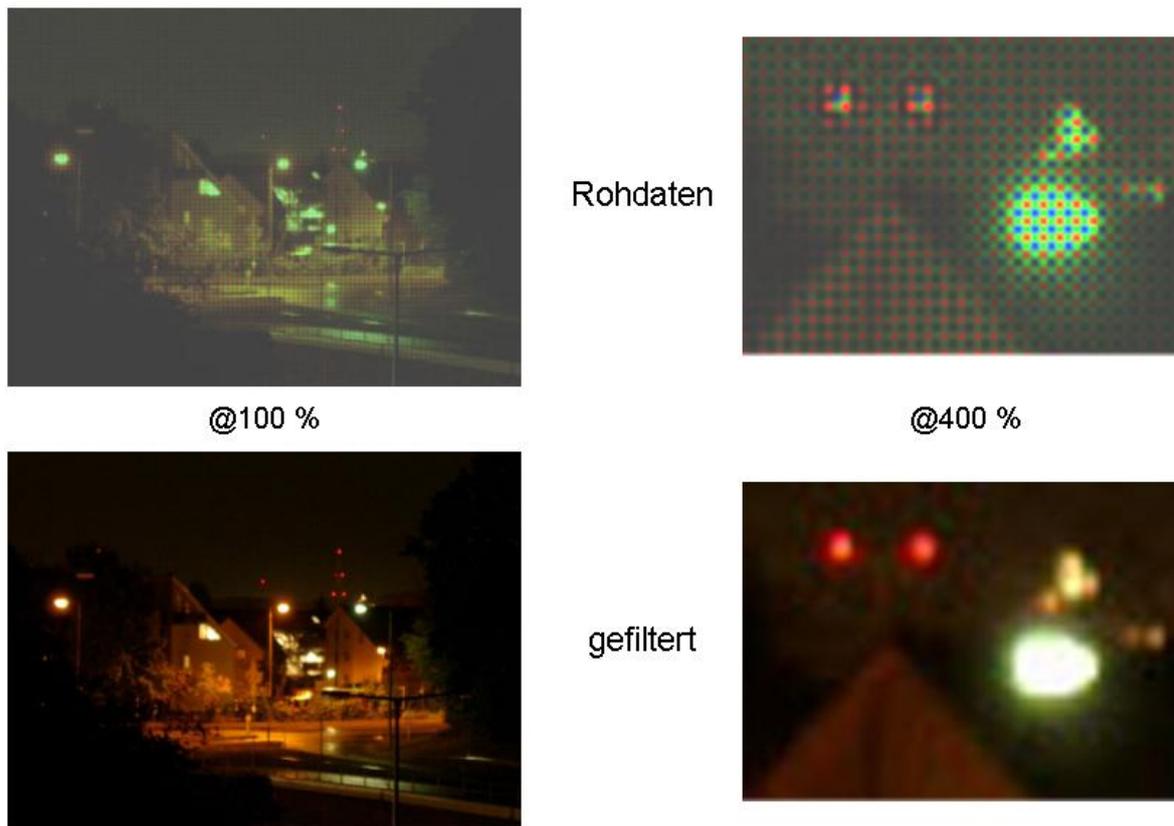


Abbildung 8: Rohdaten im Bayer-Pattern und interpoliertes Ergebnis

2.6. Farbrauschen

Neben dem thermischen Rauschen, verursacht durch das Dunkelstromverhalten ergibt sich durch die aufgrund des Farbfilterarrays notwendige Interpolation ein zusätzliches Rauschen, das sogenannte Farbrauschen. Dieses kann nicht durch einen Offset- und Dunkelbildabzug korrigiert werden sondern muß mit speziellen Programmen am Ende der Bildbearbeitungskette, meist durch Weichzeichnerfilter, reduziert werden.

2.7. Rohdatenformat (RAW)

Moderne DSLRs bieten ein Rohdatenformat an. Hierbei werden die Sensordaten wie sie vom Sensor kommen (also uninterpoliert) verlustfrei gespeichert. Oft ist auch die Bittiefe, und damit die Anzahl darstellbarer Farbabstufungen, im Rohdatenformat mit 12bit größer als in Jpegs, welche nur 8bit anbieten.

Aus Qualitätsgründen sollte in der Astrophotographie ausschließlich mit dem Rohdatenformat der Kamera gearbeitet werden!

Aus dem Rohdatenformat können jederzeit wieder Jpegs oder Tiffs erzeugt werden, umgedreht ist dies aber nicht mehr möglich! Trotzdem ist es sinnvoll zur langfristigen Archivierung z.B. auf ein 16bit-Tiff-Format zu setzen, da die Rohdatenformate vom Hersteller und Kameramodell abhängig sind und es nicht sicher ist, daß auch in 10 oder 20 Jahren noch entsprechende Software zur Verfügung steht.

Eine kleine Ausnahme von obiger Regel möchte ich aber dennoch machen. Für Aufnahmen von Mond oder Sonne welche möglichst schnell verbreitet werden sollen (z.B. MoFi auf die Internetseite der Sternwarte oder für Diskussionsforen) können durchaus im Jpeg Format aufgenommen werden. Dies ist aber nur dann sinnvoll, wenn wirklich keinerlei Zeit oder Möglichkeit zur Bildbearbeitung besteht (z.B. Kartenleser an fremden Rechner mit Internetzugang).

2.8. Kamertechnik

2.8.1. DSLR vs. Kompaktkamera

Für die Astrophotographie sind digitale Kompaktkameras nur bedingt geeignet. Nur wenige Modelle unterstützen ausreichend lange Belichtungszeiten, die vergleichsweise kleinen Sensoren rauschen bei höheren Empfindlichkeiten recht stark und durch die fest angebaute Optik kann eine digitale Kompaktkamera am Teleskop nur in der afokalen Projektion eingesetzt werden.

Allerdings können digitale Kompaktkameras, wenn sie eine Belichtungszeit von mindestens 30s unterstützte sehr wohl für die Sternfeldfotographie eingesetzt werden. Egal ob Strichspuraufnahmen oder nachgeführte Aufnahmen, beides ist durch Addition mehrerer Einzelaufnahmen mit digitalen Kompaktkameras möglich. Mond oder Sonne (natürlich nur mit Sonnenfilter!) können mit etwas Übung freihändig vom Okular abphotographiert werden. Im Astronomiefachhandel sind auch diverse Projektionsadapter erhältlich.

Bei DSLRs sieht das grundsätzlich anders aus. Die dort verbauten vergleichsweise großen Sensoren (egal ob CMOS oder CCD) weisen selbst bei höheren Empfindlichkeiten entsprechend ISO800 oder mehr noch vertretbares Rauschverhalten auf. Desweiteren ist durch das Prinzip der Wechseloptik mit einem sogenannten T-Adapter der Anschluß an gängige Teleskope möglich. Hierbei kann eine DSLR sowohl im Primärfokus als auch in Okularprojektion eingesetzt werden. Aufgrund der Nachteile durch die hohe Anzahl an Glas-Luft-Flächen und im Strahlengang befindlicher Optiken ist ein Einsatz in afokaler Projektion bei DSLRs nicht zu empfehlen.

2.8.2. Kaufkriterien

Die wenigsten werden sich eine DSLR rein für die Astrophotographie zulegen. Meist soll die Kamera auch bei Tageslicht eingesetzt werden und die Astrotauglichkeit ist nur ein Aspekt unter vielen. Bezüglich der Astrotauglichkeit sind vor allem die folgenden Kriterien wichtig:

- Geringes Rauschen
 - Wenn möglich selbst in Testreihen beurteilen, ansonsten im Internet mehrere unabhängige Quelle konsultieren
- B-/T-Belichtungsmodus mit Belichtungszeiten von mind. 10min
 - Trotz hoher Lichtempfindlichkeit und der Möglichkeit der Addition von Bildern sind dennoch oft Belichtungszeiten von ca. 5min pro Einzelaufnahme notwendig.

- Helle Suchermattscheibe
 - Hilft bei der Fokussierung. Alternativ kann auch Software wie z.B. DSLRFocus⁶ eingesetzt werden.
- Spiegelvorauslösung
 - Vermeidet Vibrationen des Teleskops. Alternativ Hutmethode oder zusätzlicher Zentralverschluß zwischen Teleskop und Kamera
- Externe Stromversorgung
 - Akkus sind sehr empfindlich gegen niedrige Temperaturen und verlieren dabei schnell an Leistung. Desweiteren sind die Akkus üblicherweise nicht auf Langzeitbelichtungen ausgelegt. Alternativ für den Feldeinsatz sind bei aktuellen DSLRs drei bis vier Akkus pro Beobachtungsnacht zu empfehlen.
- Fernsteuerung
 - Hilft Vibrationen zu Vermeiden. Je nach Modell sind Kabelfernsteuerungen, IR-Fernsteuerung und/oder die Fernsteuerung von einem PC aus als Zubehör erhältlich. Funkfernsteuerungen sind zu vermeiden, da diese u.U. andere Sternwartenelektronik negativ beeinflussen können.
- RAW-Format
 - Zur Erhaltung der vollen Bildqualität und um einen nachträglichen Dunkelbildabzug und Flatfieldkorrektur am Rechner zu ermöglichen.

Insgesamt kann gesagt werden, daß die momentan verbreiteten DSLRs, wie die Canon EOS 300D / 10D oder die Nikon D100 / D70 für die Astrophotographie geeignet sind. Von den mit dem Foveon X3 Sensor bestückten Sigma DSLRs hat der Autor noch keine Astrophotos gesehen.

Empfohlenes Zubehör:

- Fernauslöser (Kabel oder IR)
- Ersatzakku(s)
- Netzteil
- Software zur Fernsteuerung

2.9. Brennweite und Pixelgröße

Die entscheidenden Größen einer Optik in der Photographie sind die Brennweite und das Öffnungsverhältnis der Optik. Mit diesen beiden Größen ist gleichzeitig die Öffnung, also die lichtsammelnde Fläche bekannt.

Brennweite: f
Öffnungsverhältnis: n
Öffnung: $d = f / n$

Aktuelle DSLR-Modelle sind sehr gut bei kleinen Öffnungsverhältnissen (schneller als $f/5$) einzusetzen. Je langsamer eine Optik ist, desto länger fallen die notwendigen Belichtungszeiten aus und die fehlende Kühlung des Sensors macht sich bemerkbar.

Die Brennweite bestimmt die „Vergrößerung“ der Optik und damit auch, welche Auflösung erreicht werden kann. Da digitale Kameras feste Pixelgrößen aufweisen ist nicht jedes Teleskop mit jeder Kamera gleich gut geeignet.

Allgemein gilt die Formel

$$A = 206 \cdot \frac{L}{f}$$

$$f = 206 \cdot \frac{L}{A}$$

$$L = \frac{A \cdot f}{206}$$

mit A = Auflösung in Bogensekunden, L = Pixelgröße in μm und f = Brennweite in mm. Bei der Pixelgröße L ist jedoch nicht die Breite oder Höhe, sondern die Diagonale entscheidend.



Abbildung 9: Sternabbildung auf dem CCD und Dunkelrauschen (1:1 Ausschnitt)

Setzt man eine Kamera mit $L = 7,8\mu\text{m}$ an ein Teleskop mit $f=1200$ mm Brennweite, so errechnet sich eine Auflösung pro Pixel von $A = 1,33''$. Würde man statt dessen ein Teleskop mit $f=3500\text{mm}$ Brennweite verwendet werden, so ergäbe sich eine theoretische Auflösung pro Pixel von $A = 0,46''$. Jeder Beobachter in Mitteleuropa wird mir zustimmen, daß ein Seeing von $0,5''$ in unseren Breiten doch eher selten vorkommt. Man „verschenkt“ dabei also sozusagen einen Teil der Auflösung durch die Wahl einer zu hohen Brennweite!

Brennweite	Auflösung		Brennweite	Auflösung
mm	arcsec		mm	arcsec
24	23,91		500	1,15
50	11,48		1000	0,58
100	5,74		1200	0,48
180	3,19		2000	0,29
300	1,91		3000	0,19

Tabelle 1: Auflösung bei versch. Brennweiten für $L = 7,8 \mu\text{m}$

Mit derselben Formel kann auch das Gesichtsfeld der digitalen Spiegelreflexkamera am Teleskop berechnet werden. Dazu wird für L statt der Pixelgröße in μm die Sensorgröße in μm eingesetzt. Man beachte dabei die Umrechnung in μm und die Rechteckform des Sensors die demnach zwei Berechnungen benötigt.

Merke: Pixelgröße und Teleskopbrennweite müssen in einem vernünftigen Verhältnis zueinander stehen!

Tom Licha:

Möglicherweise könnte man noch erwähnen, dass die Mehrzahl der Deep-Sky-Astroaufnahmeoptiken gar nicht durch Seeing begrenzt wird, sondern durch den „Spotsize“ der Optik. Der liegt bei Mittelformatobjektiven zum Beispiel bei typischen 0.05 mm. Bei Kleinbildobjektiven bei typischen 0.03 mm. Und selbst bei Astrooptik wie dem Baader MPCC sind es dann 0.012 mm. Sterne sind damit NIE kleiner als dieser Spot, egal wie gut das Seeing sein mag.

3. Praxis

3.1. Anschluß der Digitalkamera an das Teleskop

3.1.1. Primärfokus

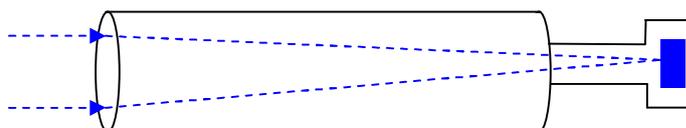


Abbildung 10: CCD im Primärfokus

Bei Aufnahmen im Primärfokus wird das Teleskop als langbrennweitiges Teleobjektiv eingesetzt. Der große Vorteil der Arbeit im Primärfokus ist, daß außer dem Teleskop keine weiteren Optiken eingesetzt werden, d.h. die optische Qualität des Teleskops bestmöglich ausgenutzt werden kann. Nachteilig ist, daß damit zunächst auch nur eine Brennweite und damit nur eine bestimmte, vom Teleskop abhängige, Vergrößerung ergibt.

Übliche Modifikationen wie Barlow- und Shapley-Elemente sind natürlich auch mit DSLRs einsetzbar und erlauben damit eine gewisse Flexibilität der zur Verfügung stehenden Brennweite.

3.1.2. Okularprojektion

Speziell bei flächigen Objekten mit kleinen Details, also Sonne, Mond und Planeten, ist die Vergrößerung des Teleskops im Primärfokus oft nicht ausreichend. Hier geht man zur Okularprojektion über. Dabei wird in den Strahlengang ein (Projektion-)Okular eingebracht. Entsprechend der Brennweite des Okulars kann dann eine passende Vergrößerung eingestellt werden.

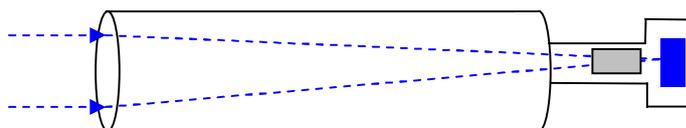


Abbildung 11: Okularprojektion

Ein Nachteil der Okularprojektion ist, daß die meisten Okulare nur ein relativ kleines Feld ausleuchten und damit u.U. nicht die gesamte Sensorfläche nutzbar ist. Eine ähnliche Technik wie die Okularprojektion bietet der Baader Flatfieldkorrektor (FFC) der ein größeres Feld ausleuchtet.

3.1.3. Afokale Projektion

Bei kompakten Digitalkameras gibt es keine Möglichkeit das fest eingebaute Objektiv zu entfernen ohne die Kamera dauerhaft zu beschädigen. Will man trotzdem eine solche Kompaktkamera einsetzen, so wird die afokale Projektion eingesetzt.

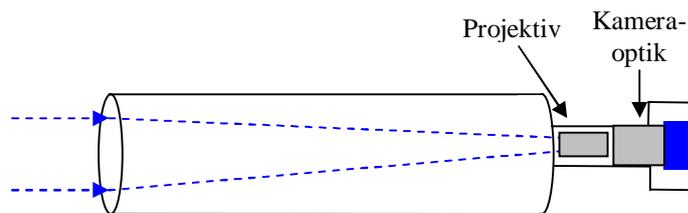


Abbildung 12: Afokale Projektion

Die afokale Projektion hat den Nachteil, daß recht viele Optiken eingesetzt sind und damit viele Glas-Luft-Flächen entstehen. Hierdurch leidet die optische Qualität enorm, daher ist diese Art der Aufnahmetechnik nur in Ausnahmefällen, sozusagen als Notlösung, sinnvoll.

Zu beachten ist zudem, daß der Abstand zwischen Kameraoptik und Projektiv (z.B. Okular) so gering wie möglich ist um Vignettierung zu vermeiden. Besser als ein Okular ist ein lichtstarkes manuelles Objektiv in Retrostellung als Projektiv geeignet. Mit einem alten 1:1,8/50mm erreicht der Autor Aufnahmen die nur eine sehr geringe Vignettierung aufweisen. Allerdings wirken sich die optischen Fehler dieses Objektivs doch deutlich auf die Bildqualität aus.

3.2. Fokussierung

Die Fokussierung von DSLRs am Teleskop erweist sich üblicherweise als schwierig. Obwohl moderne Autofokuskameras über deutlich hellere Suchermattscheiben verfügen als ältere Analogkameras sind diese Mattscheiben doch für den Tagesbetrieb und nicht für die Astrophotographie ausgelegt. Mittels des Suchers kann aber sehr schnell eine grobe Fokussierung erfolgen.

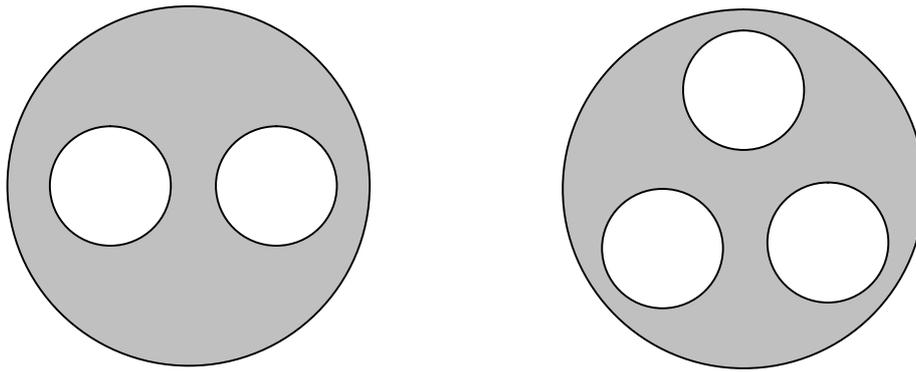


Abbildung 13: Fokussierhilfen, links Scheiner-, rechts Hartmannblende

Die bei analogen Kameras teilweise eingesetzte Methode der Messerscheide ist mit Digitalkameras eigentlich nicht einsetzbar. Stattdessen kann man sich aber z.B. mit einer Scheiner- oder Hartmannblende behelfen. Die Scheinerblende ist eine Abdeckung des Teleskops welche zwei gleich große Löcher aufweist. Hierdurch wird erreicht, daß im Fokus ein Stern wirklich als einzelner Stern zu sehen ist, außerhalb des Fokus entstehen für einen Stern zwei getrennte Bilder.

Eine Variante der Scheinerblende ist die Hartmannblende. Diese verfügt über drei Öffnungen. Durch die Anordnung der drei Bilder eines Sterns außerhalb des Fokus kann man feststellen, ob man intra- oder extrafokal ist.

Am genauesten ist bei DSLRs die Fokussierung mittels eines Computerprogramms wie DSLRFocus⁶. Hierbei werden einzelne relativ kurz belichtete Aufnahmen (wenige Sekunden) auf den Rechner übermittelt und dort vergrößert dargestellt. Der optimale Fokus ist erreicht, wenn die Sternabbildung möglichst kompakt ist. Entsprechende Computerprogramme bieten dabei die Darstellung mehrerer Kriterien an:

FHWM (full width half maximum) ist die Breite einer Sternabbildung an der Stelle des halben Maximums. Dieser Wert sollte möglichst gering werden.

Peak Value ist der höchste Wert eines Pixel in einer Sternabbildung. Je kompakter die Sternabbildung, desto größer die Peak Value. Daher sollte dieser Wert so groß wie möglich werden.

Verfügt das Teleskop über einen Fokussiermotor ist mit einer geeigneten Kamera mit DSLRFocus sogar eine Autofokus-Funktion (Robofocus) realisierbar.

Bei digitalen Kompaktkameras stellt sich das Fokussieren noch etwas anders dar. Da hier eine Livebildvorschau auf dem Kameramonitor möglich ist kann zusammen mit einem Digitalzoom eine Sternabbildung stark vergrößert dargestellt werden. Zum Fokussieren wählt man einen ausreichend hellen, aber nicht überstrahlenden, Stern und zentriert diesen auf dem Sensor. Dann stellt man maximalen Digitalzoom ein und fokussiert so, daß die Sternabbildung möglichst kompakt wird. Auf diese Weise kann sehr schnell ein ausreichend guter Fokus erreicht werden.

Die Fokussierung ist das A & O einer Astroaufnahme. Auch nur minimale Abweichungen vom Fokuspunkt führen zu unbrauchbaren Aufnahmen!

3.3. *DarkFrame*

Dunkelbilder gewinnt man am besten direkt nach oder während einer Aufnahmeserie am Teleskop. Dies hängt hauptsächlich damit zusammen, daß Dunkelstrombilder stark von der Temperatur des Sensors abhängen. Da DSLRs über keine Temperaturregelung für den Sensor verfügen ist es schwierig die Bedingungen einer Aufnahme zu einem späteren Zeitpunkt nachvollziehen zu können.

Eine Aufnahme der Dunkelbilder vor Beginn einer Belichtungsserie ist nicht sinnvoll da der Sensor sich im Betrieb erwärmt und damit ein zu schwaches Dunkelrauschen aufgezeichnet werden würde.

Empfehlenswert ist, sich am Anfang einer Beobachtungsnacht Gedanken über die benötigten Belichtungszeiten zu machen und sich auf einige wenige Belichtungszeiten (z.B. 30s, 1min, 3min oder 5min) festzulegen. Dann kann man während der Beobachtungsnacht, z.B. beim Schwenk von einem Objekt auf das andere, die entsprechenden Dunkelbilder anfertigen.

Da das thermische Rauschen ein statistischer Prozeß ist fertigt man 3 bis 5 Dunkelbilder mit der identischen Belichtungszeit der eigentlichen Aufnahmen an. Diese werden in der Bildbearbeitung (z.B. Iris⁶) gemittelt und dann von den eigentlichen Aufnahmen abgezogen. Bei exakt eingehaltenen Belichtungszeiten (z.B. mittels Kameraeinstellung) empfiehlt sich eine Mittelung zum Median, ansonsten sollte der arithmetische Mittelwert (mean) genutzt werden.

Dunkelbilder gewinnt man am besten indem man ein Objektiv vor die Kamera setzt, dieses maximal abblendet (z.B. f/22) und starke Lichtquellen in der Umgebung vermeidet. Sollen die Dunkelbilder während einer Aufnahmeserie gewonnen werden, so ist das Teleskop entsprechend Lichtdicht abzudecken.

Leider bieten aktuelle DSLRs keine Möglichkeit an Dunkelbilder mit dem eingebauten Verschluss zu belichten. Allerdings bieten viele Kameras eine interne Rauschreduzierung an. Diese liefert in den meisten Fällen ein extrem gutes Ergebnis, ist aber von der Verarbeitung her nicht nachvollziehbar. Desweiteren muß bei Verwendung der kamerainternen Rauschreduzierung direkt nach jedem Bild ein entsprechendes Dunkelbild aufgenommen werden. Dies reduziert die für Aufnahmen zur Verfügung stehende Zeit um mehr als 50%!

In Bezug auf die Belichtungszeit verhalten sich Dunkelbilder weitgehend linear, so daß z.B. ein 5min Dunkelbild problemlos auf 5½min umgerechnet werden kann. Es ist aber zu beachten, daß ein Dunkelbild streng genommen nur für eine bestimmte Belichtungszeit bei einer bestimmten Empfindlichkeitseinstellung und einer bestimmten Temperatur gültig ist.

Bei manchen DSLRs kann bei geringeren Empfindlichkeitseinstellungen (ISO800 und kleiner) und nicht allzu langen Belichtungszeiten teilweise sogar ganz auf den Dunkelbildabzug verzichtet werden. Dies liegt letztendlich in der Entscheidung des Fotografen.

3.4. *FlatField*

Ein Flatfield korrigiert Unsauberkeiten der Optik, z.B. Vignettierung oder Staub. Ein Flatfield wird erstellt indem man aus kurzer Entfernung und Fokus auf unendlich eine gleichmäßig ausgeleuchtete unstrukturierte weiße Fläche aufnimmt. Das Prinzip ist, daß mit dem Flatfield kleine Staubflecken im optischen System und Effekte wie Vignettierung getrennt vom eigentlichen Bild aufgenommen werden und später in der Bildbearbeitung dann korrigiert werden können.

Das Flatfield muß mit der Kamera am Teleskop in derselben Ausrichtung zueinander wie bei der Aufnahme gewonnen werden! Wichtig ist, daß kein Pixel des Flatfield gesättigt sein darf!

Verfügt man über eine frisch gereinigt Kamera und ein frisch gereinigtes und optisch hervorragendes Teleskop, so kann u.U. auf das FlatField verzichtet werden.

In der Bildbearbeitung wird das um Dunkelbild und Offset korrigierte Bild durch das Flatfield geteilt. Da die Flatfield-Aufnahme vergleichsweise kurz belichtet ist sollte für das Flatfield kein Dunkelbildabzug notwendig sein.

3.5. Offset

Zur Korrektur der Grundaktivierung der Sensorzellen werden Offsetbilder verwendet. Hierzu wird eine Aufnahme bei geschlossenem Verschuß (also in Dunkelheit) mit kürzestmöglicher Belichtungszeit aufgenommen. Hierbei dürften so gut wie keine Photonen zum Sensor gelangen, so daß das aufgezeichnete Signal nur aus dem Offset und evtl. noch etwas Verstärkerrauschen besteht. Das so aufgenommene Offsetbild wird von allen weiteren Bildern (Dunkelbild und Hellbilder) abgezogen.

Insgesamt gilt für die Vorverarbeitung astronomischer Aufnahmen die folgende Berechnung:

$$\text{Bild} = \frac{\text{Aufnahme} - \text{Dunkelbild} - \text{Offset}}{\text{Flatfield} - \text{Offset}}$$

3.6. Aufnahmevorbereitung

Zur Aufnahmevorbereitung sollte zunächst die Beobachtungsnacht geplant werden. Dies geschieht wie bei bisherigen Aufnahmetechniken auch mit entsprechenden Katalogen, Jahrbüchern oder Planetariumssoftware wie Guide oder SkyMap Pro.

Beim Aufbau der Ausrüstung muß bei transportablen Montierungen zunächst eine ausreichende Poljustage durchgeführt werden. Für Astroaufnahmen (Ausnahme Sonne und Mond) reicht die einfache Justage mittels Polsucher nicht aus. Die Montierung sollte zumindest nach der Scheiner-Methode so eingestellt werden, daß mehrere Minuten Aufnahme ohne Nachführung möglich sind.

Anschließend muß die Kamera an das Teleskop adaptiert werden und das Teleskop mit Kamera mittels verstellbarer Gegengewichte möglichst genau ausbalanciert werden.

Jetzt kann man die Kamera an einem mittelhellen Stern scharf stellen. Hierzu verwendet man für die Grobfokussierung den Kamerasucher, evtl. und Zuhilfenahme einer Scheinerblende. Anschließend muß man sich mit Probeaufnahmen an den genauen Fokus herantasten. Alternativ bietet sich das kommerzielle DSLRFocus⁶ an. DSLRFocus hilft beim Fokussieren der Kamera am Teleskop mit einem PC und bietet gleichzeitig einen Belichtungszeitrechner an.

3.7. Aufnahme

Die eigentliche Aufnahme ist verglichen mit den notwendigen Vorbereitungen, wie der Fokussierung, und der notwendigen Nachbearbeitung zeitlich eher irrelevant.

Es ist darauf zu achten, daß eine Mindestbelichtungszeit, abhängig vom Objekt, nicht unterschritten wird um ein brauchbares Signal-Rausch-Verhältnis (SNR) zu erhalten. Andererseits sollte die Belichtungszeit auch nicht zu lange gewählt werden da das thermische Rauschen linear mit der Belichtungszeit zunimmt und die Helligkeit des Himmelshintergrundes sonst zu stark betont wird.

Als Technik hat sich bei CCD-Aufnahmen das sogenannte Stacking durchgesetzt. Hierbei wird eine Anzahl eher kurz belichteter Aufnahmen in der Bildbearbeitung aufaddiert um eine längere Belichtung zu simulieren. Als brauchbare Belichtungszeiten bei helleren Nebeln haben sich Zeiten zwischen 3min und 10min herausgestellt. Effektiv sind diese Zeiten von dem verwendeten Teleskop (Lichtstärke), der verwendeten Kamera (Quanteneffizient, Filterfaktor), dem aufzunehmenden Objekt und der Umgebungshelligkeit abhängig. Hier hilft aber eigenes Experimentieren sehr schnell weiter da die Bilder sofort auf dem Kameramonitor oder besser auf einem Laptop begutachtet werden können.

Wichtig ist, nicht die höchste Kameraempfindlichkeit zu nutzen, eine möglichst geringe Empfindlichkeitsstufe einzustellen um das Rauschen zu minimieren. Bei aktuellen DSLRs (Nikon D70/D100, Canon EOS300/10D) scheint eine Empfindlichkeitseinstellung von ISO 400 oder ISO 800 ein guter Kompromiß zwischen geringem Rauschen und notwendiger Empfindlichkeit zu sein. Bei Astroaufnahmen ist in diesem Bereich oft auch das beste Signal-Rausch Verhältnis (SNR) zu erreichen.

⁶ DSLRFocus: <http://www.dsrlrfocus.com/>, \$20

Die Aufnahme selbst sollte durch einen Fernauslöser ausgelöst werden um Erschütterungen durch das Betätigen des Auslösers zu vermeiden. Verfügt eine Kamera über eine Spiegelvorauslösung, so sollte diese unbedingt eingesetzt werden. Ist dies nicht gegeben, so kann man sich mit der Hutmethode behelfen (Teleskop abdecken, Kamera auslösen, Abdeckung wegnehmen, das Ganze natürlich ohne am Teleskop zu wackeln!) oder einen erschütterungsarmen Zentralverschluß zwischen Kamera und Teleskop einsetzen.

Verwenden Sie für Astroaufnahmen auf jeden Fall ein geeignetes Netzteil zur Stromversorgung der Kamera. Auch wenn die Akkus bei DSLRs verglichen mit Kompaktkameras relativ lange halten so sind diese nach 30min, spätestens nach 1h Dauerbelichtung nahezu schlagartig erschöpft und damit wäre eine Aufnahme verloren. Über die schlechten Eigenschaften von Akkus bei tiefen Temperaturen muß hier wohl kein Wort verloren werden.

Vor der Aufnahme sollte man auf jeden Fall noch mal kontrollieren, daß eine Speicherkarte mit ausreichend Platz eingelegt ist, daß die Speicherung im Rohdatenformat (RAW) erfolgt und daß die Bildoptimierungen so weit möglich ausgeschaltet sind.

Bei lichtstarken Optiken ($f/4$ oder schneller) können viele Objekte schon mit 2-3min Belichtungszeit mit ausreichendem Signal-Rausch-Verhältnis (SNR) aufgezeichnet werden. Diese Zeiten können durchaus mit einer gut eingenordeten Montierung ohne weiteres Guiding erzielt werden. Bei lichtschwächeren Optiken ($f/5$ und langsamer) werden sehr schnell Belichtungszeiten von 5min und mehr benötigt (speziell bei niedriger Kameraempfindlichkeit um das Rauschen zu minimieren). Solche Belichtungszeiten verlangen bei nahezu allen Montierungen eine Nachführkorrektur, entweder mit Fadenkreuzokular oder mittels einer separaten CCD-Nachführkamera.

4. Bildbearbeitung

4.1.1. Bildverarbeitung

Da die Verarbeitung von Digitalkamerabildern sich stark von der Verarbeitung einzelner Farbauszüge, wie diese bei reinen Astrokameras angefertigt werden unterscheidet, gleichzeitig aber Funktionen wie der Dunkelbildabzug in Rohdaten nicht für „normale“ Anwendungen gebraucht wird gibt es nur sehr wenig Software die die Verarbeitung astronomischer Aufnahmen mit DSLRs unterstützt.

Bei Astro-CCD Kameras wird ein Farbbild durch mehrere aufeinanderfolgende Belichtungen, jeweils mit einem anderen Farbfilter gewonnen. Dies bedeutet, daß eine Farbaufnahme aus je einem Rot-, einen Grün- und einen Blauwert pro Pixel besteht. Bei DSLRs wird die Farbaufnahme durch eine einzige Belichtung erzeugt wobei jedem Pixel ein bestimmter Farbfilter (rot, grün oder blau) aufgedampft ist. Reine Luminanzaufnahmen ohne Farbfilter sind daher mit DSLRs nicht möglich (daher auch kein s/w-Modus bei den meisten DSLRs) und das eigentliche Farbbild muß aus dem Rohdatenbild durch eine geeignete Interpolation ermittelt werden.

Besonders Herausragend bei der Bearbeitung von Astroaufnahmen mit DSLRs ist dabei das frei verfügbare Iris⁹, welches direkt die hierfür notwendigen Funktionen bietet. Rohdatenbil-

der aktueller Kameras können direkt in Iris eingelesen werden, Darkframe-, Flatfield- und Offsetkorrektur können direkt auf den Rohdaten ausgeführt werden. Desweiteren bietet Iris die Möglichkeit mehrere Bilder zu stacken und stellt vielfältige, hochwertige Bildbearbeitungsfunktionen zur Verfügung.

Zum Stacken mehrerer Aufnahmen gibt es auch Speziallösungen, hier sind vor allem Giotto⁷ und Registax⁸ zu nennen. Beide Programme kommen mittlerweile recht gut mit den großen Bildern von DSLRs klar, keines der beiden unterstützt jedoch den direkten Import von Rohdaten. Außer dem eigentlichen Stacken bieten Giotto und Registax erweiterte Funktionen zur Bildbearbeitung und Rauschreduzierung.

Mittlerweile kann Iris auch Hot- und Deadpixel (welche kameraspezifisch sind und einfach ermittelt werden können) direkt in den Rohdaten aus dem Bild herausrechnen. Da nahezu jeder CCD- und CMOS-Sensor von solchen Defekten betroffen ist verfügen die Kameras intern über einen solchen Mapping-Algorithmus welcher defekte Pixel aus den Daten der Nachbarpixel interpoliert. Hierzu ist in der Kamera eine entsprechende Map (Karte) der Pixeldefekte gespeichert. Die für den „Normalgebrauch“ erhältlichen Mapping-Programme arbeiten erst auf den interpolierten Bildern und sind daher für die Bearbeitung astronomischer Aufnahmen wenig geeignet. Hier hilft momentan meist nur manuelles Nacharbeiten in einem Standard-Bildbearbeitungsprogramm.

4.1.2. Rauschreduktion

Bei hoher Empfindlichkeitseinstellung der Kamera tritt verstärkt Rauschen in den Bildern auf. Zusätzlich zu dem schon im vorherigen Abschnitt beschriebenen Dunkelbildabzug sind weitere Korrekturen notwendig. Diese bestehen mehr oder weniger aus Weichzeichnern welche mit dem für den jeweiligen Kameratyp typischen Rauschmuster eingestellt werden. Das oben schon genannte Iris⁹ bietet entsprechende Filter an.

Spezielle Programme zur Rauschreduzierung sind NeatImage¹⁰, NoiseNinja¹¹ oder der Helicon Noise Filter¹². Allen dreien ist gemeinsam, daß sogenannte Rauschprofile gespeichert werden können, d.h. die Bildanalyse nicht bei jeder Rauschreduzierung neu durchgeführt werden muß.

Den letzten Feinschliff, d.h. das Einfügen von Beschriftungen, evtl. letzte Farbkorrekturen und das Zuschneiden oder Skalieren des Bildes erfolgt am besten in einer normalen Bildbearbeitungssoftware wie Photoshop¹³ oder PaintShop Pro¹⁴.

4.1.3. Bildbearbeitungstechniken

Alle Bildbearbeitungsschritte sollten mit verlustfreien Datenformaten erfolgen. Desweiteren sollte das Datenformat auch die notwendige Bittiefe besitzen. Liefert die DSLR z.B. 12bit

⁷ Giotto, <http://www.videoastronomy.org/>, Freeware

⁸ Registax, <http://>, Freeware

⁹ Iris, <http://www.astrosurf.com/buil/us/iris.htm>, Freeware

¹⁰ NeatImage, <http://www.neatimage.com/>, kommerziell, kostenlose Demoversion

¹¹ NoiseNinja, <http://>, kommerziell

¹² Helicon Noise Filter, <http://helicon.com.ua/noisefilter/>, Freeware

¹³ Photoshop CS, <http://www.adobe.de/>, kommerziell, Photoshop Elements oft mit Kameras mitgeliefert

¹⁴ PaintShop Pro, <http://www.jasc.com/>, Shareware, ca. \$100

Farbtiefe (pro Farbe), so ist z.B. das TIFF-Format mit 16bit pro Farbe geeignet. 8bit Formate, wie z.B. Bitmap (BMP) sind nicht geeignet, da dieses Format nicht geeignet ist die volle Information zu speichern. Verlustbehaftete Formate, wie z.B. Jpeg sind während der Bildbearbeitung ungeeignet.

Als letzter Schritt der Bildbearbeitung sollte das Bild beschnitten und/oder verkleinert werden, so daß die gewünschte Ausgabegröße erreicht wird. Dieses Bild sollte in einem verlustfreien Format archiviert werden. Abschließend wird evtl. eine Beschriftung in das Bild eingefügt und bei Bedarf ein komprimiertes Format, wie z.B. Jpeg, erzeugt.

Bei der Jpeg-Komprimierung gibt es spezielle Tools zur Optimierung der Dateigröße. Nach Erfahrung des Autors sind diese bei astronomischen Aufnahmen nicht geeignet! Am einfachsten geht es mit der „Speichern unter...“ Funktion der Bildbearbeitungssoftware. Die meisten Programme erlauben es die Kompressionsstufe einzustellen und bieten dabei gleichzeitig eine Vorschau wie das komprimierte Bild im Vergleich zum unkomprimierten Original aussieht.

5. Aufnahmetechniken

5.1. Strichspuraufnahmen

Für Strichspuraufnahmen wird die Kamera mit einem möglichst kurzbrennweitigen Objektiv (entsprechend 35mm KB oder kürzer) auf einem ausreichen stabilen Stativ aufgestellt und grob in der gewünschten Richtung (z.B. Himmelsnordpol) ausgerichtet. Entgegen der langen Belichtungszeiten von teilweise mehreren Stunden bei analogen Kameras ist bei Digitalkameras eine andere Variante zu bevorzugen: Um die unerwünschte Aufhellung der Himmelshintergrundes in Grenzen zu halten werden viele relativ kurz belichtete Aufnahmen ($t \sim 5\text{-}10\text{min}$ @ ISO400) direkt hintereinander angefertigt. Diese werden dann in der Nachbearbeitung aufaddiert, so daß die gewünschte Strichspuraufnahme entsteht. Bei dieser Aufnahmetechnik ist zu beachten, daß die Pausen zwischen den Aufnahmen möglichst kurz sind, so daß diese nicht auf den Bildern zu sehen sind.

5.2. Sternfeldaufnahmen

Einfach Sternfeldaufnahmen sind schon mit einem stabilen Stativ möglich. Die längstmögliche Belichtungszeit ohne Strichspuren auf der Aufnahme berechnet sich zu¹⁵

$$t_{\max} = 13,7144 \frac{A}{f \cos \delta} [\text{s}]$$

Hierbei ist A die Pixelgröße in [μm], f die Objektivbrennweite in [mm] und δ die Deklination der Bildfeldmitte in [$^\circ$]. Aus dieser Formel geht auch hervor, daß polnahe Sternbilder länger belichtet werden können als äquaturnahe Sternbilder.

Bei der Digitalfotografie gelten dabei dieselben Formeln wie bei der analogen Fotografie, eine Umrechnung der sog. „Brennweitenverlängerung“ findet nicht statt. Dies rührt daher, daß es sich bei der „Brennweitenverlängerung“ eigentlich um einen Crop-Faktor handelt, d.h. es wird beschrieben welcher Bruchteil der KB-Filmfläche von einem CCD-Chip abgedeckt wird. Die physikalische Eigenschaft der Brennweite ändert sich deswegen keineswegs!

Die Digitalfotografie bietet die Möglichkeit längere Belichtungszeiten durch die Addition kürzer belichteter Aufnahmen zu ersetzen. Bei der Sternfeldfotografie mit einem feststehenden Stativ ergibt sich dabei aber das Problem der Bildfeldrotation und natürlich der Bewegung der Sterne aus dem Aufnahmege Gesichtsfeld heraus. Daher ist es bei längeren Belichtungszeiten notwendig die Kamera auf eine astronomische Montierung zu setzen und der scheinbaren Sternbewegung nachzuführen. Bei Brennweiten von bis zu 50mm und Belichtungszeiten von wenigen Minuten sind selbst die einfachsten motorisierten Montierungen meist in der Lage ausreichend genau nachzuführen, so daß keine Nachführkontrolle notwendig ist. Bei längeren Brennweiten empfiehlt es sich mittels eines parallel montierten Fernrohrs die Nachführung mittels eines Fadenkreuzokulars oder mittels eines AutoGuiders zu kontrollieren und bei Bedarf zu korrigieren.

¹⁵ Bernd Koch(Hrsg.): „Handbuch der Astrofotografie“, Springer, 1995

5.3. *Meteore*

Photographische Aufnahmen eines Meteorstroms entstehen ähnlich wie Sternbildaufnahmen. Je nach verwendeter Optik sucht man sich ein Feld ca. 45° vom Radianten und belichtet bei höchster Empfindlichkeit ca. 2-5 Minuten (@ISO 1600). Die hohe Empfindlichkeit ist notwendig, um die nur kurz aufleuchtenden Sternschnuppen auch registrieren zu können. Die verwendete Belichtungszeit und Blende werden in Probeaufnahmen so bestimmt, daß der Himmelshintergrund nicht die Sterne dominiert. Je nach persönlichem Geschmack und vorhandener Ausrüstung kann man die Kamera auf ein Stativ montieren (Strichspuren) oder mit einer Montierung nachführen (Sternpunkte).

Um möglichst sicher Sternschnuppen zu erfassen bietet sich die Verwendung extrem weitwinkliger Optiken an. Besonders interessant sind sogenannte All-Sky Aufnahmen mit einem 180° Fisheye Objektiv an. Leider sind diese Objektive für DSLRs relativ teuer (fast so teuer wie die Kamera selbst!), für Kompaktkameras existieren auf dem Markt allerdings günstige Fisheye-Konverter welche bei ausreichender Abblendung durchaus ansprechende Ergebnisse liefern.

5.4. *Mond*

Mond ist eigentlich das Einsteigerobjekt in die Astrofotografie. Für erste Versuche ist es sicherlich möglich Mond mit „normalen“ Teleobjektiven von 300-400mm Brennweite abzulichten. Auf Dauer ist dies aber nicht unbedingt befriedigend. Eine Brennweite von 2000mm würde auf KB-Film den Mond formatfüllend abbilden. Berücksichtigt man den Crop-Faktor der meisten DSLRs, so ergibt sich mit $f = 2000 \text{ mm} / 1,5 = 1333\text{mm}$ die Brennweite, bei der der Mond formatfüllend auf dem Sensor abgebildet wird. Die beliebten Mond/Sonne-Optiken mit $f=1200\text{mm}$ liefern also mit einer DSLR ein nahezu formatfüllendes Bild. Selbst Brennweiten von „nur“ 800mm liefern dieselbe Bildgröße bei einer DSLR wie man es mit $f=1200\text{mm}$ bei KB-Film gewohnt ist.

Daher bieten sich durchaus 400mm Teleobjektive zusammen mit einem 2x-Telekonverter als einfacher Einstieg in die Mondfotografie an.

Obwohl bei der Mondfotografie mit sehr kurzen Belichtungszeiten gearbeitet wird ist es dennoch sinnvoll die Optik auf einer parallaktischen Montierung zu betreiben. Das ständige Nachstellen ist mit üblichen Stativköpfen fast nicht zu bewerkstelligen, mit sogenannten Getriebeneigern allerdings durchaus auch durchführbar. Allerdings muß man sagen, daß solche Getriebeneiger durchaus preislich in der Region einer einfachen parallaktischen Montierung liegen.

Die meisten DSLRs sollten bei Mondaufnahmen mittels einer Spotmessung die notwendige Belichtungszeit automatisch einstellen können. Es empfiehlt sich etwas unterzubelichten (Belichtungskorrektur -0.5 bis -1), speziell bei schlechtem Seeing. Hierdurch werden die Aufnahmen etwas schärfer und wenn Rohdatenformate zur Speicherung der Bilddaten verwendet werden kann die notwendige Belichtungskorrektur dann problemlos wieder durchgeführt werden.

Da bei Digitalkameras das Ergebnis der Aufnahme sofort betrachtet werden kann und die meisten Digitalkameras eine Spotmessung erlauben soll hier auf die Angabe von Belichtungszeiten verzichtet werden. Ein guter Startpunkt sind sicherlich $1/250\text{s}$ bei $f/8$, durch eine kurze Belichtungsreihe hat man mit einer Digitalkamera dann sehr schnell die jeweils optimale Be-

lichtungszeit gefunden und kann die nicht mehr benötigten Bilder von der Speicherkarte löschen.

Aus dem Bereich der Webcamfotografie kommt die Methode Mondaufnahmen zu stacken, d.h. den Mittelwert einer großen Anzahl von Aufnahmen zu bestimmen um die Bildqualität und –scharfe zu verbessern. Mit Digitalkameras kann man diesen Ansatz auch gehen, Software wie Giotto und Registax unterstützen auch Jpeg und Bitmap-Bilder. Man sollte hierbei aber im Hinterkopf behalten, daß diese Methode bei tausenden von Webcambildern sehr gut funktioniert, bei nur 5-10 Bildern allerdings oft keine wesentliche Verbesserung gegenüber der manuellen Auswahl des besten Bildes bietet.

Eine andere Besonderheit der Mondfotografie sind Mosaikaufnahmen. Hierzu werden Teile des Mondes mit langer Brennweite aufgenommen und anschließend am Rechner zu einem Mosaik zusammengesetzt. Hierbei bietet es sich an, die Bilder sofort hintereinander zu erstellen und die Belichtungseinstellungen dabei konstant zu halten. Außerdem sollte man diese Technik nicht in der Dämmerung einsetzen, da sonst der Himmelshintergrund unterschiedlich hell wird. Mit Bildbearbeitungsprogrammen wie Photoshop oder PaintShopPro können die Einzelbilder dann manuell überlagert werden. Astronomisch orientierte Grafikprogramme wie AstroArt, Iris oder Registax erlauben eine (teil-)automatische Erstellung solche Mosaikbilder.

Neben der Fotografie im Primärfokus wird speziell bei Mond auch die Okularprojektion verwendet um Details der Mondoberfläche abbilden zu können. Hierbei ist zu beachten, daß die effektive Brennweite enorm ansteigt und die Lichtstärke abnimmt. Dies verlangt eine besonders stabile Montierung des Teleskops um keine Unschärfe durch Verwackeln zu erhalten. In diesem Bereich hat sich die Aufnahme mit Webcams durchgesetzt, da hierbei verwackelte Bilder oder Bilder mit schlechtem Seeing aussortiert werden können.

5.5. Sonne

Für die Sonnenfotografie gilt prinzipiell das gleiche wie für die Mondfotografie, da beide Himmelskörper von der Erde aus gesehen ungefähr gleich groß erscheinen. Diesem Umstand verdanken wir auch das Entstehen von Sonnenfinsternissen.

Achtung: Niemals ein Teleskop ohne ausreichende Schutzmaßnahmen in Richtung Sonne richten!

Zur Sonnenfotografie im Weißlicht wird **vor** dem Teleskop ein entsprechender Sonnenfilter angebracht. Dies kann entweder ein Glasfilter oder die auch Baader-Folie genannte AstroSolar Filterfolie sein. Decken Sie alle nicht verwendeten Optiken (Sucher, etc.) vor dem Teleskop ab.

Die bei Billigteleskopen manchmal mitgelieferten Okularfilter erlauben keine sichere Beobachtung und sollten daher sinnvollerweise sofort entsorgt werden!

5.6. Planeten

Planetenfotografie ist momentan die Domäne der Webcams. Hier können mittels Mittelwertbildung vieler Aufnahmen sehr detailreiche Bilder gewonnen werden. Digitalkameras bieten im Primärfokus keine höhere Auflösung als Webcams und die Verwendung von Okularpro-

jektion zur Planetenfotografie gelingt nur in sehr guten Nächten und bringt keine wesentlich besseren Ergebnisse als die momentan mit Webcams erreichbaren Ergebnissen.

Aus diesem Grund ist die Planetenfotografie mit Digitalkameras nicht zu empfehlen, wer sich dafür interessiert sollte wohl in eine astrotaugliche Webcam investieren. Verglichen mit den Preisen für Digitalkameras sind diese zu günstigsten Preisen erhältlich.

6. Ausblick

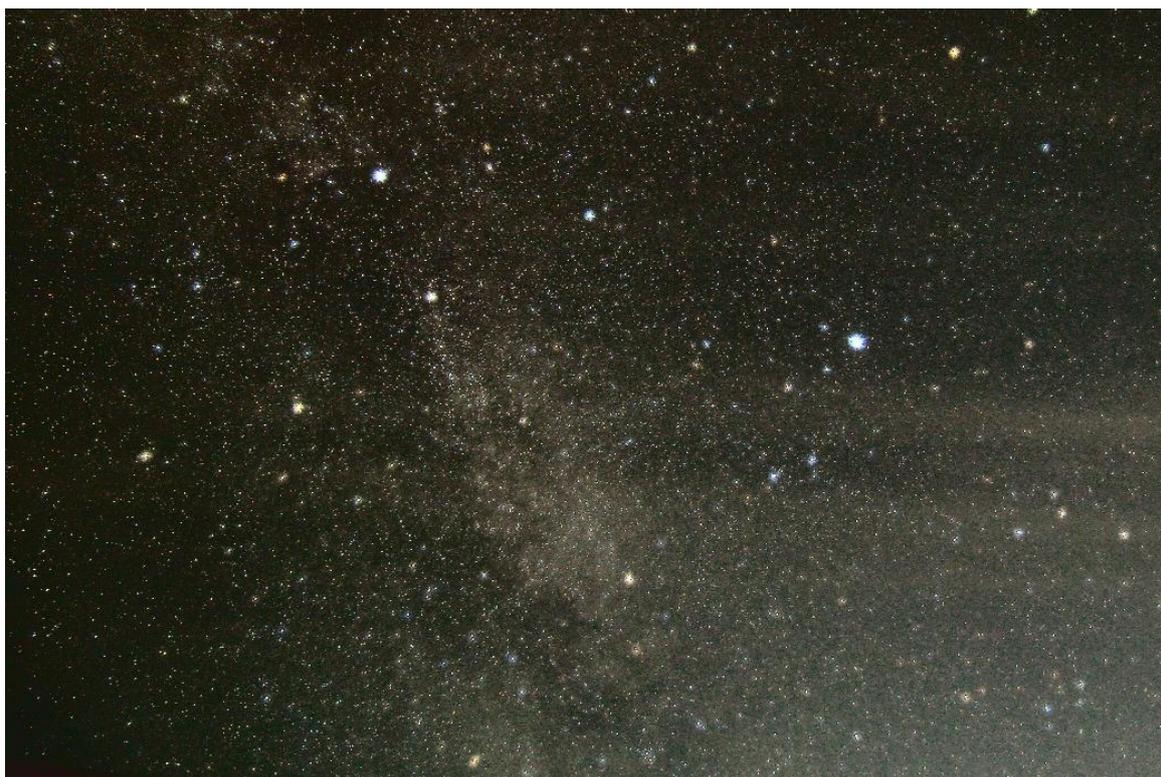


Abbildung 14: Aufnahme der Sommermilchstraße mit Nikon CP5400, 10min @ ISO50

Mittlerweile ist eine Entwicklung zu beobachten bei der Astrokamera und digitale Spiegelreflexkameras technisch zusammenwachsen. Bisher wurden bei reinen Astrokameras CCDs ohne Filter verwendet. Hierdurch ergab sich die Notwendigkeit für Farbaufnahmen 3 oder gar 4 (bei LRGB) Belichtungen durchführen zu müssen. Da die Chips für digitale Spiegelreflexkameras über geeignete Pixelgrößen von ca. $7\mu\text{m}$ aufweisen und die optische Qualität des aufgedampften Bayer-Farbfilterarrays mindestens die Qualität hochwertiger astronomischer Farbfilter erreicht spricht vieles für die Verwendung dieser Chips in Astrokameras.

Digitale Spiegelreflexkamera	Astrokamera
APS bis KB Format	APS, KB-Format und größer
Pixelgröße $\leq 7\mu\text{m}$	Pixelgröße $\geq 7\mu\text{m}$
ADU 12bit	ADU 16bit
Ungekühlt	Gekühlt
Class 2 oder Class 3	Class 2, 1 oder 0

Für die nahe Zukunft ist vorherzusehen, daß sich digitale Kompaktkameras, digitale Spiegelreflexkameras und dedizierte Astro-CCD Kameras ergänzen werden.

Digitale Kompaktkameras werden als „immer dabei“ Kameras ein einfaches photographisches Gerät, speziell auch für Sternfeldaufnahmen abgeben. Für Aufnahmen am Teleskop können sie zwar mittels afokaler Projektion eingesetzt werden, dies kann aber immer nur eine Notfall-Lösung sein.

Digitale Spiegelreflexkameras werden die analogen Spiegelreflexkameras in weiten Bereichen ablösen. Sowohl Sternfeldphotographie wie auch Aufnahmen im Primärfokus sind bei ausreichend hellen Objekten problemlos möglich. Für Astrometrie sind DSLRs problemlos einsetzbar, bei der Photometrie wird sich zeigen, ob aktuelle DSLRs den Anforderungen genügen.

Im Bereich der Mond- und Planetenphotographie sind momentan **Webcams** ungeschlagen. Die hohe Auflösung der DSLRs kann speziell bei Planeten nicht ausgenutzt werden und die übliche Technik der Videogewinnung mit Webcams mit anschließendem Stacking kann mit DSLRs nicht sinnvoll durchgeführt werden, da die Gewinnung und Speicherung einzelner Bilder zu lange dauert. Anstelle von Webcams können hierbei natürlich auch handelsübliche Camcorder (digital) oder Überwachungskameras eingesetzt werden.

Videokameras, insbesondere Überwachungskameras, werden im Bereich der Meteaufnahmen Ihre Berechtigung behalten. Mit diesen Kameras sind Bewegtbilder (Animationen, Movies) von Meteorstürmen einfach und problemlos zu gewinnen.

Dedizierte Astro-CCD Kameras werden in verschiedenen Preis- und Leistungsklassen Ihre Berechtigung auch in Zukunft behalten:

- **Pretty Pictures Kameras** werden die aus den DSLRs bekannten Interline-Transfer Sensoren (CCD oder CMOS) mit Bayer-Farbfilterarray und Mikrolinsen einsetzen. Im Gegensatz zu DSLRs wird aber die Ansteuerung durch den PC, vor allem für Langzeitbelichtungen optimiert sein und die Chips werden gekühlt sein.
- **Vermessungskameras** werden die bisherigen Astro-CCD Kameras ersetzen. Diese Art Kameras wird auch in Zukunft auf Full-Frame Sensoren, evtl. mit Mikrolinsen, aufgebaut sein. Farbaufnahmen werden wie bisher durch austauschbare Filterscheiben in mehreren Aufnahmen nacheinander gewonnen. Ein besonderes Augenmerk wird bei dieser Art Kameras auf die Fehlerfreiheit der Sensoren und eine besonders gute Linearität für die Photometrie gelegt werden.

7. Nachbearbeitung von Astroaufnahmen

Digitale Astroaufnahmen müssen üblicherweise nachbearbeitet werden. Sind die Aufnahmen im Kamerarohdatenformat (RAW) abgespeichert ist diese Nachbearbeitung sogar unerlässlich. Im folgenden werden nun zunächst einige generelle Nachbearbeitungstechniken vorgestellt, anschließend werden noch einige Verfahren zur Zusammenfassung mehrerer Astroaufnahmen beschrieben.

7.1. Rauschreduzierung

Das in den Aufnahmen enthaltene Rauschen muß vor einer Schärfung entfernt werden da ansonsten die Rauschartefakte geschärft und damit überbetont würden.

Eine einfache Methode Rauschen in Astroaufnahmen zu entfernen ist ein Gauß'scher Weichzeichner. Allerdings ist dieser nur sehr vorsichtig anzuwenden um die eigentlich scharfe Sternabbildung zu verwischen.

Eine speziell bei Sternfeldern angebrachte Methode ist die Verwendung spezieller Rauschreduktionssoftware. Die meisten Kamerahersteller bieten entsprechende Programme an (z.B. Nikon Capture). Desweiteren sind im Netz Programme wie NoiseNinja, NeatImage oder der Helicon Noise Filter verfügbar. Welches Programm bei welcher speziellen Aufnahme die besten Ergebnisse bringt muß durch Versuche ermittelt werden.

7.2. Gammakorrektor

Um die zu Verfügung stehende Dynamik (16bit, bzw. 8bit) möglichst gut auszunützen kann eine Gamma-Korrektor durchgeführt werden. Diese verteilt bei geeigneter Einstellung das Histogramm über den gesamten Dynamikbereich und erlaubt so auch feinste Details sichtbar zu machen. Bei der Gammakorrektor ist allerdings zu beachten, daß der Himmelshintergrund nicht zu stark aufgehellt wird.

7.3. Schärfung

Zur Schärfung von Astroaufnahmen ist speziell das Verfahren der Unscharfen Maske zu empfehlen. Hierbei ist zu beachten, daß eine Überschärfung des Bildes zu Schärfeartefakten, also unnatürlichen Abbildungen führt.

7.4. Stacking

Hat man mehrere Aufnahmen desselben Objektes, so können diese Aufnahmen aufaddiert werden. Für Astroaufnahmen existieren momentan die freien Programme Giotto und Registax welche Astroaufnahmen stacken. Die Stärke dieser beiden Programme liegt allerdings nicht im eigentlichen Stacken sondern in den Algorithmen zur Ausrichtung der Bilder.

Oft ist es so, daß aufeinanderfolgende Astroaufnahmen einen leichten Versatz aufweisen. Dieser resultiert z.B. aus Windkräften am Stativ oder aus einer nicht optimalen Polausrichtung und Nachführgeschwindigkeit astronomischer Montierungen. Auch der Spiegelschlag bei DSLRs kann zu einem leichten Versatz zwischen Bildern führen.

Leider sind momentan beide Programme nicht in der Lage gedrehte Bilder zurückzudrehen, so daß sich Langzeitbelichtungen nur unter Verwendung einer astronomischen Montierung realisieren lassen und Aufnahmen am Teleskop von mehreren Tagen nur sehr schwer ausrichten lassen, die die Kameramontierung am Teleskop meist nicht genau genug reproduzierbar ist.

Giotto und Registax unterstützen die im folgenden aufgeführten Methoden „Addition“ und „Mittelwert“. Die Methoden „hellster Punkt“ und „dunkelster Punkt“ lassen sich sehr gut über die Ebenenfunktionen in PhotoShop oder PaintShopPro realisieren. Um Videos zu erstellen kann der bei Windows XP mitgelieferte Movie Maker verwendet werden. Als leistungsfähiger hat sich AnimationShop Pro erwiesen welches im Lieferumfang von PaintShopPro ist.

7.4.1. Addition

Bei der Addition werden die Bilddaten aller zur Verfügung stehenden Bilder aufaddiert. Hierbei wird das Signal-Rausch-Verhältnis (SNR) verbessert. Allerdings ist diese Methode nur sinnvoll, wenn die Summe der Werte eines jeden Pixels kleiner als die zur Verfügung stehende Dynamik ist. Ansonsten würde sich bei dieser Methode eine künstliche Überbelichtung ergeben.

7.4.2. Mittelung

Bei der Mittelung wird im Gegensatz zur Addition der Mittelwert (oder der Median) aller zur Verfügung stehenden Bilder ermittelt. Auch diese Methode führt zu einer Verbesserung des Signal-Rausch-Verhältnisses, allerdings ohne das bei der Addition beschriebene Problem der künstlichen Überbelichtung. Der Nachteil der Mittelung ist, daß alle Bilder bei nahezu gleichen Belichtungszeiten gewonnen werden müssen oder eine Anpassung der Bilder auf die verwendete Belichtungszeit notwendig ist.

7.4.3. Hellster Punkt

Bei dieser Variante wird aus allen zur Verfügung stehenden Bildern der jeweils hellste Punkt in das Summenbild übernommen. Diese Variante des Stackings erlaubt es aus kurz belichteten Bildern Strichspuraufnahmen zusammenzusetzen.

7.4.4. Dunkelster Punkt

Diese Art des Stackings ist ähnlich wie „hellster Punkt“, allerdings wird der dunkelste Punkt aus allen Bildern übernommen. Diese Methode wird verwendet um Fotomontagen von Vorübergängen dunkler Objekte vor helleren Objekten, also z.B. von einem Merkur- und Venus-transit, zu erstellen.

7.4.5. Videos und Animationen

Zeitliche Abläufe, z.B. Sonnen- und Mondfinsternisse, Bedeckungen, Durchgänge, Wolkenformationen oder die Bewegung der Sterne am Firmament können sehr gut mit Animationen dargestellt werden. Hierzu werden in einer speziellen Software wie AnimationShop Pro oder XP Movie Maker die Einzelbilder eingelesen, in die richtige Reihenfolge gebracht und die Pause zwischen den Einzelbildern definiert. Daraus lassen sich dann Animated GIFs für das Internet oder AVI- oder Quicktime-Movies erstellen.

Bei der Erstellung von Movies ist zu berücksichtigen, daß nicht jeder Codec auf jedem Rechner installiert ist. Die in den Codecs verwendeten Komprimierungsalgorithmen (z.B. MPEG) sind auf „normale“ Filmaufnahmen optimiert und führen bei Astroaufnahmen meist zu untragbaren Ergebnissen, so daß für Astrofilme nahezu ausschließlich unkomprimierte AVIs verwendet werden können. Diese sind allerdings mit einem extrem hohen Speicherplatzbedarf verbunden.

Effizienter ist die Erstellung von Animated-GIFs welche mit allen aktuellen Webbrowsern wiedergegeben werden können.

Bei der Erstellung von Animationen sollte eine Größe von 640x480 Punkten nur in Ausnahmefällen überschritten werden, da die Browser bei der Anzeige von Animated GIFs keine Skalierung erlauben. Außerdem steigt der Speicherbedarf für Animated GIFs linear mit der Anzahl Bilder und quadratisch mit deren Größe.

8. Aufnahmetechniken für verschiedene Objekte

Im folgenden möchte ich für verschiedene Aufnahmesituationen bei der Gewinnung von sogenannten „Pretty Pictures“ auf die meines Erachtens sinnvollste Aufnahmemethode eingehen.

8.1. *Mond*

Vermutlich bei fast jedem Anfänger in Sachen Astroaufnahmen steht der Mond als erstes Objekt auf der Liste. Aber auch fortgeschrittene Astrofotografen visieren immer wieder den Mond an.

Übersichtsaufnahmen des gesamten Mondes gelingen am einfachsten und schnellsten mit einer DSLR an einem Teleskop von 800 bis 1200mm Brennweite. Bezogen auf Kleinbildformat würde der Mond bei einer Teleskopbrennweite von $f = 2000\text{mm}$ gerade formatfüllend abgebildet. Da DSLRs eine kleinere Sensorfläche als Kleinbildformat aufweisen wird zum Vergleich die tatsächliche Brennweite des Teleskops mit dem sogenannten Crop-Faktor (oft fälschlicherweise als Brennweitenverlängerung bezeichnet) multipliziert um die entsprechende Kleinbildbrennweite zu erhalten. Bei einem Crop-Faktor von 1,5 ergibt sich aus dem oben genannten Brennweitenbereich ein KB-äquivalenter Brennweitenbereich von 1200-1800mm. Der Mond wird dabei also nahezu formatfüllend abgebildet. Versuche mit kürzeren Brennweiten (300-500mm) sind möglich, dabei können die größten Strukturen auf dem Mond auch schon sichtbar gemacht werden. Bei kürzeren Brennweiten sind keine Details auf dem Mond erkennbar.

Sollen Details auf der Mondoberfläche fotografiert werden, so bietet sich eine Webcam an einem langbrennweitigen Teleskop oder evtl. Okularprojektion an. Mit der Webcam wird dann ein Film des entsprechenden Details aufgezeichnet und in der Nachbearbeitung kann dann durch Stacking eine hochwertige Aufnahme erstellt werden. Durch diese Technik kann eine unruhige Atmosphäre sehr gut ausgeglichen werden.

Sollte der Mond zu hell erscheinen (z.B. bei Vollmond), dann ist der Einsatz von Neutraldichtefiltern anzuraten.

8.2. Sonne

Da Sonne und Mond von der Erde aus betrachtet fast gleich groß erscheinen gilt für Übersichtsaufnahmen der Sonne prinzipiell das oben beim Mond ausgeführte. Allerdings ist zu beachten, daß für Sonnenaufnahmen unbedingt ein Schutzfilter (z.B. Baader-Folie) vor der Teleskopöffnung eingesetzt werden muß.

Detailaufnahmen von Sonnenflecken können wie Details auf dem Mond aufgenommen werden, allerdings ist auch hierbei ein Sonnenschutzfilter einzusetzen.

Eine Variante der Sonnenbeobachtung ist die Verwendung eines H-alpha Filters. Hierbei handelt es sich um einen speziellen Sonnenfilter der nur einen sehr eng begrenzten Bereich des sichtbaren Spektrums, die sogenannte Wasserstoff-Alpha Linie, durchläßt. Dieser Filter darf nicht mit den H-alpha Filtern zur Nebelbeobachtung verwechselt werden! Aufnahmen mit dem H-alpha Filter können sehr gut mit Webcams gewonnen werden. DSLRs wären technisch zwar auch geeignet, allerdings sind in DSLRs üblicherweise Filter eingebaut welche H-alpha Licht blockieren. Insofern sind H-alpha Aufnahmen mit unmodifizierten DSLRs nur eingeschränkt möglich.

8.3. Sternfelder

Sternfeldaufnahmen gelingen sehr gut mit DSLRs und weitwinkligen oder leichten Tele-Optiken. Bei kurzen Belichtungszeiten (<30s) kann die Kamera auf einem Stativ fix montiert sein, Langzeitbelichtung entstehen dann durch Stacking in der Nachbearbeitung. Für längere Belichtungszeiten empfiehlt sich die Kamera samt Optik auf einer parallaktischen Montierung nachzuführen.

Bei Sternfeldaufnahmen treten die helleren Sterne oft nicht wie beim Anblick des Himmels hervor sondern gehen im Meer der aufgenommenen Sterne unter. Die Verwendung eines Weichzeichnerfilters läßt hellere Sterne stärker hervortreten und erzeugt damit in der Aufnahme den „gewohnten“ Himmelsanblick.

8.4. Planeten

Für die Aufnahme der helleren Planeten (Merkur, Venus, Mars, Jupiter und Saturn) bieten sich Webcams an langbrennweitigen Teleskopen oder mittels Okularprojektion an. Mit der Webcam wird ein Film aufgezeichnet und in der Nachbearbeitung werden die Aufnahmen mittels Giotto oder Registax aussortiert und aufaddiert. Durch die Auswahl wird der Einfluß atmosphärischer Unruhe minimiert und so gelingen so recht einfach ansprechende Aufnahmen der Planeten.

Bei den Planeten ist die Rotationsperiode des jeweiligen Planeten bei der Aufnahmeplanung zu berücksichtigen. Bei den schnell drehenden Planeten können nur relativ kurze Aufnahme-sequenzen gestackt werden, da der Planet sonst während der Aufnahme sichtbar rotiert. Allerdings lassen sich aus diesem Effekt auch sehr schöne Animationen erstellen. Z.B. erstellt man von Jupiter im Laufe einer Nacht viele kurze Aufnahmesequenzen mit der Webcam. Diese werden jeweils einzeln gestackt und ergeben ein Einzelbild. Diese Einzelbilder können anschließend zu einer Animation zusammengestellt werden.

8.5. Kometen

Für sehr helle Kometen bieten sich Aufnahmen mit einer DSLR mit Weitwinkel- oder leichtem Teleobjektiv an. Bei einer Weitwinkelaufnahme ist es dabei vorteilhaft ein interessantes Detail am Boden in den Vordergrund zu bringen.

Bei lichtschwächeren Kometen kann mit einer DSLR an einem Teleskop nicht zu langer Brennweite oder mit einem Teleobjektiv gearbeitet werden. Bei sehr lichtschwachen Kometen ist allerdings der Einsatz einer dedizierten Astro-CCD Kamera zu empfehlen.

8.6. Meteoriten

Meteoritenströme können sehr gut mit extrem weitwinkligen Optiken aufgenommen werden. Vorteilhaft ist die Verwendung eines 180° Fisheye-Objektives welches als All-Sky Kamera eingesetzt werden kann. Zu empfehlen ist der Einsatz einer DSLR mit einem 10.5mm Fisheye-Objektiv auf einem stabilen Stativ. Da Fisheye-Objektive recht teuer sind kann aber auch als Alternative eine digitale Kompaktkamera mit einem relativ günstigen Fisheye-Konverter eingesetzt werden.

Für die Freunde bewegter Bilder bietet sich der Einsatz von Überwachungskameras (Mintron, Watec) an. Diese erlauben Sternschnuppenströme auf Video aufzuzeichnen.

8.7. Deep-Sky Objekte

Helle Nebel und Galaxien können sehr gut mit ASTRO-CCD Kameras mit Sensoren mit Bayer-Pattern (wie bei DSLRs) aufgenommen werden. Alternativ können auch DSLRs eingesetzt werden, diese sind aber aufgrund des eingebauten Filters recht unempfindlich im IR- und H-alpha Bereich. Für lichtschwächere Objekte gibt es derzeit keine Alternative zu teuren dedizierten Astro-CCD Kameras.

Objekt	Aufnahmegesetz	Teleskopbrennweite
Sternfelder	DSLR	10-100mm
Mond	DSLR	800-1200mm
Monddetails	Webcam	>= 3000mm
Sonne (Weißlicht)	DSLR	800-1200mm
Sonnenflecken (Weißlicht)	Webcam	>=3000mm
Sonne (H-alpha)	Webcam	>=800mm
Planeten	Webcam	>=3000mm
Helle Kometen	DSLR	15mm-500mm
Lichtschwache Kometen	DSLR AstroCCD	500mm-2000mm
Meteoritenströme	DSLR Überwachungskamera	10.5mm (180° Fisheye)
DeepSky (hell)	AstroCCD DSLR	>=2000mm
DeepSky (dunkel)	AstroCCD	>=2000mm

Tabelle 2: Bevorzugte Aufnahmetechniken für verschiedene Objekte

9. FAQ

FAQ ist die Abkürzung für „Frequently Asked Questions“ was soviel bedeutet wie „häufig gestellte Fragen“

1. Was ist der Unterschied zwischen einer digitalen Kompaktkamera und einer DSLR?
Digitale Kompaktkameras verfügen über fest eingebaute, nicht wechselbare Optiken. DSLRs hingegen können an verschiedene Optiken angeschlossen werden und verfügen gegenüber digitalen Kompaktkameras über einen größeren Chip, was zu geringerem Rauschen führt.
2. Welche DSLR ist am besten für die Astrophotographie geeignet?
Eigentlich geben sich die aktuellen DSLRs wenig, vorteilhaft ist eine Spiegelvorauslösung wie sie bei teureren DSLRs üblich ist.
3. Wie kann ich eine DSLR an ein Teleskop anschließen?
Für den Anschluß an ein Teleskop wird zunächst ein sogenannter T-Adapter (ca. 20€ im Astro- und Fotofachhandel) benötigt. Dieser verfügt auf der einen Seite über das entsprechende Kamerabajonett und auf der anderen Seite über ein T (42 x 0,75mm) Innengewinde. Das T-Gewinde darf keinesfalls mit M42 (42 x 1mm) verwechselt werden welches eine andere Gewindesteigung aufweist. Desweiteren wird ein Adapter von T-Gewinde auf den jeweiligen Teleskopanschluß (1/4“, 2“, etc.) benötigt. Manche Teleskope bieten auch direkt einen Anschluß für T-Gewinde. Der 1/4“ Anschluß ist nicht zu empfehlen da dieser stark vignettiert.
4. Ist eine Fernbedienung zwingend nötig?
Nein. Alternativ kann auch ein Selbstauslöser mit mehreren Sekunden Vorlaufzeit eingesetzt werden. Allerdings ist eine Fernbedienung meist komfortabler und sicherer in Bezug auf Verwackelung.
5. Welche Empfindlichkeit soll ich einstellen?
Ein guter Kompromiß zwischen Empfindlichkeit und Rauschen ist bei aktuellen DSLRs meist bei ISO 400 bis ISO 800 gegeben.
6. Welches Dateiformat soll ich verwenden?
*Ausschließlich RAW (Rohdatenformat). Nur dieses Format zeichnet die Sensordaten verlustfrei auf! Ein nachträglicher Dunkelbildabzug ist mit anderen Formaten nicht sinnvoll möglich!
Ausnahme: Müssen die Bilder unbearbeitet sofort publiziert werden (z.B. Webseite, „Webcam“), so ist durchaus das am geringsten komprimierte Jpeg-Format verwendbar.*
7. Was ist Stacking?
Statt einer langbelichteten Aufnahme kann dasselbe Ergebnis auch durch Addition mehrerer kürzer belichteter Aufnahmen erreicht werden. Hierbei werden die Einzelaufnahmen nur so lange belichtet bis ein ausreichendes Signal-Rausch-Verhältnis erreicht wird. Durch diese Methode werden die Anforderungen an die Nachführgenauigkeit reduziert und mißglückte Aufnahmen (z.B. mit Satellitenspuren) führen nicht zur Beschädigung der Gesamtaufnahme. Aufgrund der starken Erwärmung des Sensors und des Ausleseverstärkers ist es zu empfehlen kein zulangene Einzelaufnahmen zu ma-

chen und bei Aufnahmeserien hin und wieder eine Pause einzulegen um den Sensor abkühlen zu lassen.

8. Wie ist das jetzt mit den Dunkelbildern?

Diese dienen der Kompensation des thermischen Rauschens. Während einer Aufnahmeserie (siehe Stacking) sollte immer mal wieder ein Bild mit abgedecktem Teleskop und gleicher Belichtungszeit wie die eigentlichen Aufnahmen gemacht werden. Am Rechner werden dann mehrere Dunkelbilder gemittelt und das gemittelte Dunkelbild von den eigentlichen Aufnahmen abgezogen. Der Dunkelbildabzug muß immer auf den Kamerarohdaten (RAW) erfolgen da das thermische Rauschen spezifisch für einen physikalischen Pixel ist und die zur Generierung eines Farbbildes verwendete Interpolation nichtlinear ist.

10. Änderungsverzeichnis

Version 1.1 vom 27.11.2005

- Berücksichtigung der Pixeldiagonale bei der Auflösungsberechnung (Danke Tom Licha)
- Tabelle (Brennweite – Pixelauflösung) angepasst (Danke Tom Licha)
- Hinweis zur Spotgröße (Tom Licha)