

Abstract

Untersucht wurde, in wie weit für Dunkelbilder zur Korrektur von Deep-Sky-Aufnahmen eine Bibliothek angelegt werden, oder ob zeitnah mit den Objektaufnahmen auch Dunkelbilder angefertigt werden müssen. Es wurde untersucht, wie viel Aufnahmen für ein Masterdark notwendig sind und welche Auswirkungen die Alterung des Sensorchips haben. Die Tests umfassen die Abhängigkeit von der ISO-Empfindlichkeit, von der Temperatur und der Belichtungszeit.

Ferner wurde die Notwendigkeit von Flatfieldaufnahmen und zugehörigen Dunkelbildern (Flatdarks) untersucht. Ein dritter Teil ist den Auswirkungen von Dunkelbildern und Flatfields auf die Genauigkeit photometrischer Messungen gewidmet.

Sämtliche Betrachtungen gelten ausschließlich für nicht modifizierte Digital-Spiegelreflexkameras (DSLR). Hier vornehmlich für die Canon EOS 40D, mit der die Untersuchungen gemacht wurden.

Die Untersuchungen belegen, dass es sinnvoll ist, in jeder Nacht für die verwendeten ISO-Werte und Belichtungszeiten eine Serie von jeweils 10 Dunkelbildern (Darks), Flatfieldaufnahmen (Flats) und Flatdarks anzufertigen. Eine Bias-Aufnahme kann pro ISO-Wert für eine mittlere Temperatur einmalig erstellt und in einer Bibliothek abgelegt werden.

Eine ausführliche Behandlung des Themas Astrophotographie finden Sie im Buch > Astronomie in Theorie und Praxis<, 6. Auflage (ISBN 978-3-00-040524-2).

Dr. Erik Wischnewski Heinrich-Heine-Weg 13 • D-24568 Kaltenkirchen

E-Mail: info@proab.de • Internet: http://www.astronomie-buch.de

Version: 11. Mai 2013, 13:11:18

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Autors unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Alle Rechte vorbehalten.

© Dr. Erik Wischnewski, Kaltenkirchen 2011–2013

Inhaltsverzeichnis

1	Vorb	bemerkungen			
2	Meth	Methodik 3			
	2.1	Temperatur			
	2.2	Offset (Bias)			
3	Dunl	Dunkelbilder 4			
	3.1	Definitionen 4			
	3.2	Gegebene ISO-Empfindlichkeit 5			
	3.3	Gegebene Temperatur 6			
	3.4	Gegebene Belichtungszeit 7			
	3.5	Alterung 8			
	3.6	Anzahl der Bilder für ein Masterdark 9			
	3.7	Einzeldarks 10			
	3.8	Erstellung eines Masterdarks 11			
	3.9	Flatdarks			
	3.10	Hotpixel			
4	Flatf	ieldaufnahmen			
5	Photometrie				
	5.1	Einleitung			
	5.2	Helligkeitsprofile und Rauschen 16			
	5.3	Visuelle Helligkeiten			
	5.4	Hotpixel im PSF eines Sterns 21			
	5.5	Einfluss der Vignette			

1 Vorbemerkungen

Sämtliche Betrachtungen gelten ausschließlich für nicht modifizierte Digital-Spiegelreflexkameras (DSLR). Hier vornehmlich für die Canon EOS 40D, mit der die Untersuchungen gemacht wurden. Bei Astro-CCD-Kamera und insbesondere bei gekühlten Kameras können die Ergebnisse abweichen, ebenso bei DSLRs anderer Marken und Modelle.

Das Hauptziel der Untersuchungen war, die Abhängigkeit von der ISO-Empfindlichkeit, der Temperatur des Sensorchips und der Belichtungszeit festzustellen. Auf dieser Grundlage kann entschieden werden, unter welchen Umständen einmalig erstellte Masterdarks (gemittelte Dunkelbilder) im Bereich der Deep-Sky-Photographie (Pretty-Picture) ausreichend sind.

Es gab einige weitere Nebenziele der Untersuchungen. Wie verändert sich das Dunkelbild mit zunehmendem Alter? Ist ein Dunkelbildabzug auch für Flatfieldaufnahmen erforderlich? Wie wirken sich Flats und Darks auf die Genauigkeit in der Photometrie von Sternen aus?

Diese Arbeit soll nicht dem Anspruch einer Dissertation genügen, sondern lediglich einige persönliche Fragen des Verfassers klären. Da diese Fragen regelmäßig unter Sternenfreunden diskutiert werden, werden die Untersuchungsergebnisse hiermit auch anderen zur Verfügung gestellt.

2 Methodik

Die Auswertung der Dunkelbilder und Flatfieldaufnahmen erfolgte mit Fitswork. An dieser Stelle sei ein Dank an Jens Dierks ausgesprochen, der mir durch sein Insiderwissen einige wertvolle Tipps gegeben hat.

2.1 Temperatur

Für die Temperaturabhängigkeit wurde die Kamera in der Tiefkühltruhe auf –17 °C Gehäuse-Temperatur und im Kühlschrank auf +7 °C gekühlt. Entsprechend der allgemeinen Praxis, bei der sich die Kamera vor ihrem nächtlichen Einsatz meistens im Warmen befindet, wurden nach einer Vorkühlung von 2 Stunden die Messungen durchgeführt. Dazu wurde die Kamera mit einem Kabel an ein Notebook angeschlossen. Die Kamera verblieb in der Kühleinrichtung. Die Temperatur wurde einerseits in der Kühleinrichtung gemessen und andererseits mit einem Infrarotthermometer an verschiedenen Stellen des Kameragehäuses und im Innenraum der Kamera. Der Sensorchip wird vermutlich etwas wärmer als die angegebene Außentemperatur gewesen sein. Dies entspricht aber der Praxis, denn der Sensor wird in einer Nacht mit –10 °C nicht gleich bei den ersten Aufnahmen diese Temperatur besitzen. Zudem wird bei einer DSLR fortlaufend eine Erwärmung durch den eingebauten Verstärker und die sonstige Betriebselektronik und Elektromechanik erfolgen. Dies muss bei der Interpretation der Messergebnisse hinsichtlich der Temperatur beachtet werden.

2.2 Offset (Bias)

Fitswork berücksichtigt automatisch den Offset (Bias) der jeweiligen DSLR. Insofern wird vom Bias gar nicht mehr gesprochen. Es handelt sich hiermit um einen Offset, der kameraintern zum Sensorwert hinzuaddiert wird und bei der Weiterverarbeitung des Bildes wieder subtrahiert werden muss. Ansonsten wurde für die Vermessung der Dunkelbilder auf eine Farbinterpolation (Debayering) verzichtet. Die Untersuchungen der Flatfieldaufnahmen und der Photometrie erfolgten nach dem Debayering. Die Auswertungen wurden mit 16 Bit (65535) durchgeführt, der Offset beträgt 1024 (Canon EOS 40D).

3 Dunkelbilder

Es wurden mit Ausnahme der Messreihe, die zur Bestimmung der optimalen Anzahl zu mittelnder Dunkelbilder diente (siehe später), immer Mittelungen (Masterdarks) aus 10 Bildern verwendet. Es wurde keine optimierende Methode wie *Median* oder *Kappa-Sigma-Clipping* verwendet. Auch auf Hotpixelbeseitigung wurde verzichtet und gesondert untersucht.

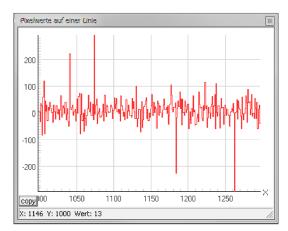


Abbildung 1: Einzelnes Dunkelbild bei ISO 3200, 32 Sek. und 7 °C.

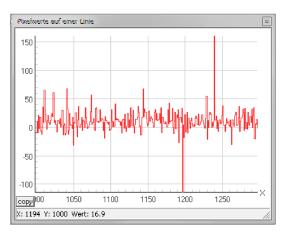


Abbildung 2: Masterdark aus 10 Bildern bei ISO 3200, 32 Sek. und 7 °C.

Das gemittelte Masterdark zeigt eine geringere Streuung als das einzelne Dunkelbild. Zudem zeigt das Masterdark weniger und deutliche niedrigere Ausreißer. Im Übrigen sollen diese beiden Abbildungen aber nur dazu dienen, sich den Dunkelstrom und das Rauschen vorzustellen. Nachfolgend ist immer die gesamte Bildfläche ausgewertet worden.

3.1 Definitionen

Dunkelstrom := Mittelwert aller Pixelwerte eines Dunkelbildes

Rauschen := Standardabweichung aller Pixelwerte eines Dunkelbildes

Zur Ermittlung dieser beiden Parameter wird das Bild in Fitswork geladen (keine Farbinterpolation, Werte nicht skaliert) und über das Kontextmenü der rechten Maustaste die Bildstatistik aufgerufen.

3.2 Gegebene ISO-Empfindlichkeit

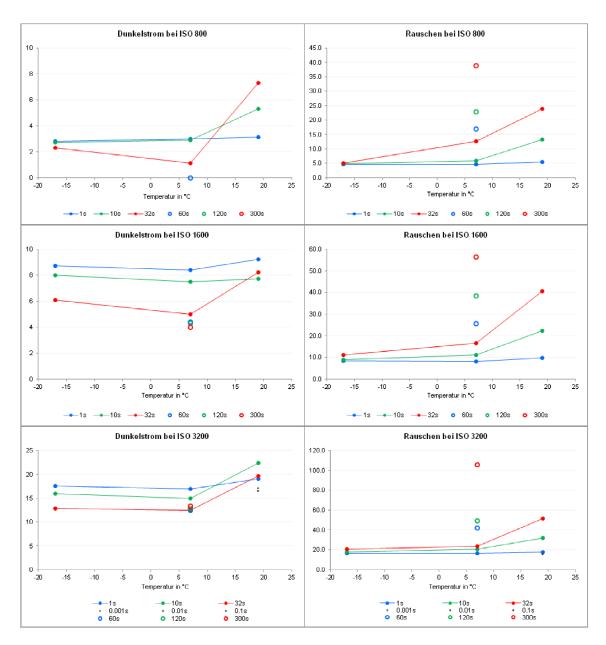


Abbildung 3: Dunkelstrom und Rauschen als Funktion der Temperatur für verschiedene ISO-Empfindlichkeiten (800, 1600, 3200) und Belichtungszeiten.

Ergebnisse:

Der Dunkelstrom nimmt erst bei Temperaturen über 0 °C zu.

Unter 0 °C wäre ein Masterdark aus der Bibliothek ausreichend (erstellt bei 0 °C).

Auch das Rauschen ist bei Temperaturen unter 0 °C für kurze Belichtungszeiten bis 10 Sek. konstant. Bei Belichtungszeiten über 10 Sek. nimmt das Rauschen bei negativen Celsiuswerten nur langsam zu, und steigt bei positiven Celsiustemperaturen rascher an.

Da meistens Belichtungszeiten über 10 Sek. verwendet werden, ist die Benutzung eines Masterdarks aus einer Bibliothek <u>nicht</u> zu empfehlen, auch nicht bei Minustemperaturen.

3.3 Gegebene Temperatur

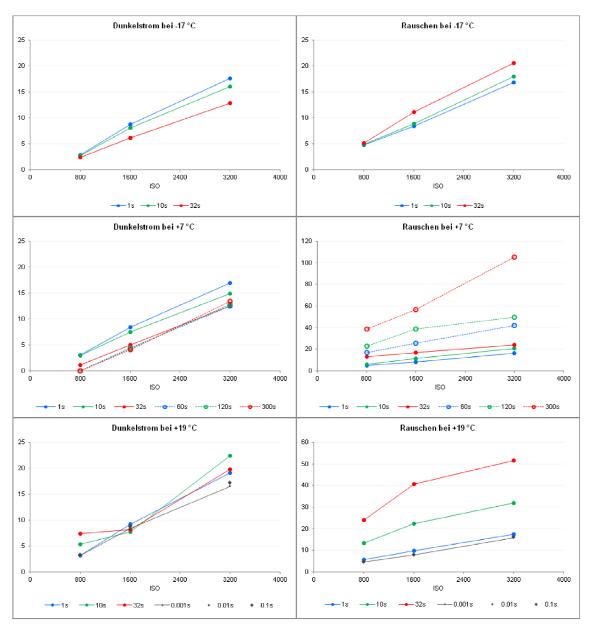


Abbildung 4: Dunkelstrom und Rauschen als Funktion der ISO-Empfindlichkeit für verschiedene Temperaturen (–17 °C, +7 °C, +19 °C) und Belichtungszeiten.

Ergebnisse:

Bei allen Temperaturen steigt der Dunkelstrom und das Rauschen mit der ISO-Zahl. Als Faustregel gilt, dass Dunkelstrom und Rauschen proportional zum ISO-Wert sind.

Da die ISO-Empfindlichkeit durch eine höhere Verstärkung erzielt wird, ist naheliegend, dass der vorhandene Dunkelstrom und das gegebene Rauschen mit verstärkt werden.

Aus den Ergebnissen folgt, dass bei Ablegen einer Masterdark-Bibliothek für jeden in Betracht kommenden ISO-Wert ein eigenes Master erstellt werden muss.

3.4 Gegebene Belichtungszeit

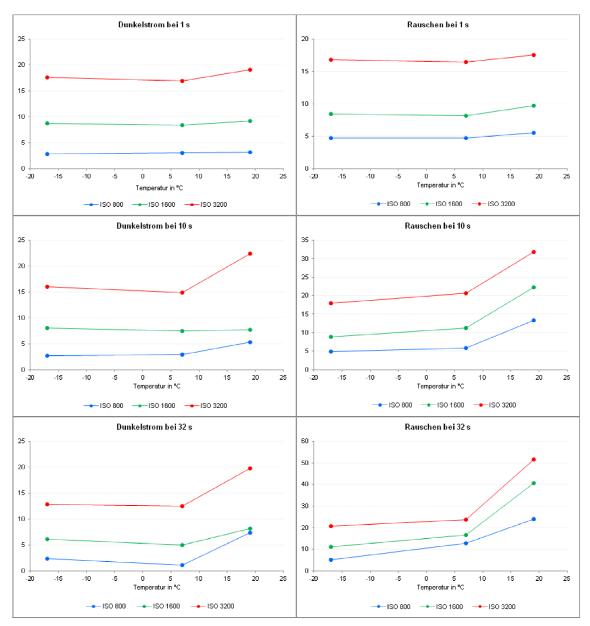


Abbildung 5: Dunkelstrom und Rauschen als Funktion der Temepratur für verschiedene Belichtungszeiten (1 s, 10 s, 32 s) und ISO-Werten.

Ergebnisse:

Dunkelstrom und Rauschen sind bei sehr kurzen Belichtungszeiten (z. B. 1 Sek.) nahezu temperaturunabhängig. Hier wäre ein Masterdark aus der Bibliothek verwendbar.

Bei längeren Belichtungszeiten (über 1 Sek.) – zumindest bis 32 Sek. – ist der Dunkelstrom bis 0 °C konstant. *Hier wäre ein Masterdark aus der Bibliothek verwendbar*.

Bei Temperaturen über 0°C und vermutlich generell bei längeren Belichtungszeiten ab einer Minute sollte in jeder Nacht ein individuelles Masterdark erstellt werden.

3.5 Alterung

Nehmen Dunkelstrom und Rauschen mit zunehmendem Alter des Sensors zu?

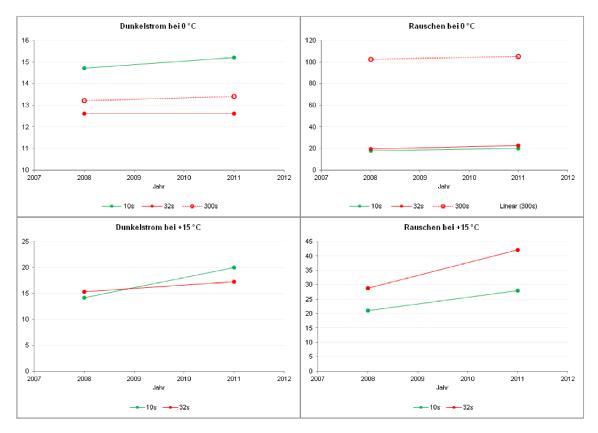


Abbildung 6: Veränderungen von Dunkelstrom und Rauschen im Laufe von drei Jahren (2008-2011).

Ergebnisse:

Bei Temperaturen von 0 °C (und vermutlich auch darunter) ist praktisch kein Alterungsprozess zu beobachten, auch nicht bei längeren Belichtungszeiten. Bei höheren Temperaturen (Sommernächte) ist eine Zunahme des Dunkelstrom und des Rauschens festzustellen.

Für höhere Temperaturen müssten eventuell verwendete Bibliothek-Masterdarks für jedes Jahr neu erstellt werden.

3.6 Anzahl der Bilder für ein Masterdark

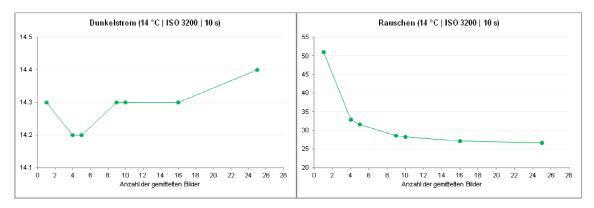


Abbildung 7: Dunkelstrom und Rauschen als Funktion der Anzahl gemittelter Aufnahmen. Für diese Betrachtung wurde eine höhere Temperatur und ISO-Empfindlichkeit verwendet, um den Effekt deutlich hervor zu heben.

Ergebnisse:

Gauß'sches Rauschen sollte sich etwa mit der Quadratwurzel aus der Anzahl gemittelter Bilder verringern, also bei 4 Bildern halbieren und bei 16 Bildern auf 25% sinken. Das lässt Abbildung 7 nicht unbedingt erkennen. Die Reduzierung ist geringer als nach Gauß. Das liegt vermutlich daran, dass die Gaußverteilung nach unten hin nicht mehr gegeben ist (negative Werte fehlen). Sobald das Rauschen größer wird als der Dunkelstrom bzw. die Hintergrundhelligkeit (Himmel), sollte die Quadratwurzelregel wieder gelten.

Auf jeden Fall ist zu erkennen, dass bei mehr als 10 Aufnahmen der Nutzen nicht mehr allzu sehr ansteigt, während der Aufwand zur Erstellung der Bilder deutlich zunimmt.

3.7 Einzeldarks

DSLR bieten einen internen Dunkelbildabzug an. Hierbei wird im Anschluss an die Aufnahme eine zweite mit gleicher ISO-Empfindlichkeit und gleicher Belichtungszeit angefertigt, aber ohne Öffnung des Verschlusses. Dieses Dunkelbild wird dann von der ersten Aufnahme subtrahiert. Die Differenz wird als Bild gespeichert.

Es wird zum einen die Veränderung des Rauschens untersucht, indem zwei Dunkelbilder voneinander subtrahiert werden und das Differenzbild mit einer Einzelaufnahme vergleichen wird (blaue Punkte und rote Trendlinie). Zum anderen werden die Aufnahmen mit canoninternen Dunkelbildabzug verglichen (offene grüne Kreise).

Leider wurden beide Tests bei unterschiedlichen Temperaturen gemacht. Die (kameraexternen) Differenzbilder wurden bei +7 °C und der Tests mit kamerainternem Dunkelbildabzug bei +24 °C gemacht.

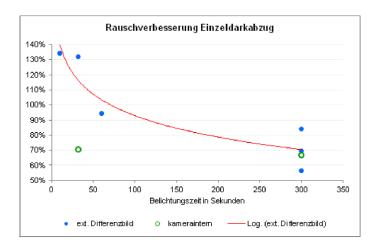


Abbildung 8:

Verhältnis des Rauschens bei externem Einzeldarkabzug (bei +7 °C) und kamerainternem Dunkelbildabzug (bei +24 °C) zum Rauschen ohne Dunkelbildabzug.

Ergebnisse:

Bei kurzen Belichtungszeiten (unter 1 Minute) verschlechtert sich das Rauschen bei Abzug eines Einzeldarks (über 100%). Bei langen Belichtungszeiten reduziert sich das Rauschen. Bei Belichtungszeiten um einer Minute ist praktisch kein Unterschied festzustellen.

Dieses Resultat lässt vermuten, dass ein kamerainterner Dunkelbildabzug nur bei Belichtungszeiten über einer Minute sinnvoll ist, zumindest bei +7 °C. Zur Verifikation wurden zwei Aufnahmen mit 32 Sek. und 5 Min. ohne und mit kamera-internem Dunkelbildabzug bei +24 °C angefertigt und verglichen. Bei der langen Belichtungszeit wird die Verbesserung bestätigt. Bei kurzen Belichtungszeiten scheint der kamerainterne Dunkelbildabzug, zumindest bei sommerlichen Temperaturen, deutlich effektiver zu sein als ein externer Abzug eines einzelnen Dunkelbildes.

Die Verwendung des kamerainternen Dunkelbildabzuges kann – zumindest bei Canon-Kameras und speziell der EOS 40D – empfohlen werden. Dies gilt vor allem bei sommerlichen Temperaturen und Belichtungszeiten ab einer halben Minute, vermutlich auch schon ab 1 Sek. und bei kühleren Temperaturen.

3.8 Erstellung eines Masterdarks

Genügt ein einfaches Mittel (Durchschnitt) oder sollte man als Method Median bzw. Sigma oder Kappa-Sigma-Clipping verwenden?

Methode	Dunkelstrom	Rauschen
Mittel	14.3	28.2
Median	14.1	28.1
Sigma	13.9	28.2

Tabelle 1: Dunkelstrom und Rauschen eines 16-Bit-Masterdarks aus 10 Dunkelbildern (Max = 65535), gemessen bei ISO 3200, 10 Sek. und 14 °C.

Die Ergebnisse zeigen, dass ein einfaches Mittel als Masterdark genügen würde, jedoch schadet die Verwendung einer anderen Methode auch nicht. Möglicherweise waren die verwendeten Testaufnahmen relativ gut (mütig), sodass die Verbesserungen, die durch *Median* und *Sigma* zu erwarten wären, nicht zum Zuge kamen. Sollen die Aufnahmen zur Photometrie verwendet werden, muss zur Erhaltung der Linearität ohnehin das einfache Mittel benutzt werden.

3.9 Flatdarks

Gelten für das Flatdark dieselben Regeln wie für das allgemeine Dunkelbild?

Anzahl	Dunkelstrom	Rauschen		
1 B.	16.1	44.6		
5 B.	16.1	19.9		
10 B.	16.5	15.7		

Tabelle 2: Dunkelstrom und Rauschen eines 16-Bit-Masterflatdarks aus 1, 5 und 10 Dunkelbildern (Max = 65535), gemessen bei ISO 3200, 1/100 Sek. und +19 °C.

Ein Masterflatdark aus 5 Bildern reicht aus. Der Mehraufwand für ein Masterflatdark aus 10 Bildern ist aber lohnend, das Rauschen reduziert sich nochmals um 20%.

Methode	Dunkelstrom	Rauschen		
Mittel	16.5	15.7		
Median	16.7	15.1		
Sigma	16.3	15.6		

Tabelle 3: Dunkelstrom und Rauschen eines 16-Bit-Masterflatdarks aus 10 Dunkelbildern (Max = 65535), gemessen bei ISO 3200, 1/100 Sek. und +19 °C.

Die Ergebnisse zeigen, dass ein einfaches Mittel als Masterdark genügen würde, bestenfalls wäre noch die Median-Methode förderlich.

3.10 Hotpixel

Muss zur Beseitigung der Hotpixel ein Dunkelbild subtrahiert werden oder genügt die in den meisten Stackingprogrammen integrierte Hotpixelerkennung?

Hierzu wurde bei +14 °C mit ISO 3200 und 10 Sek. ein Summenbild aus 10 Einzelbildern mit Deep-Sky-Stacker (DSS) erstellt. Beim ersten Test wurde nur die DSS-Hotpixelerkennung aktiviert. Weitergehende Beeinflussungen, die auch schwache Sterne betreffen könnten, wurden nicht vorgenommen.

Ergebnis: Die Hotpixel waren im Summenbild unverändert vorhanden. Die automatische Hotpixelerkennung und -beseitigung hat kaum welche eliminiert.

Im zweiten Test wurde vor dem Stacken ein aktuelles Masterdark aus 10 Bildern subtrahiert.

Ergebnis: Die Hotpixel der Einzelbilder waren im Summenbild mit Dunkelbildabzug verschwunden.

In einer anderen Analyse wurden die Hotpixel über 10000 ADU gezählt und zwar für alle drei RGB-Farben getrennt.

Anzahl der Hotpixel über 10000 ADU	Rot	Grün	В	Summe
05/2008 bei ISO 3200, 32 s, 0 °C	4	3	3	10
12/2008 bei ISO 3200, 32 s, 0 °C	7	1	5	13
07/2011 bei ISO 3200, 32 s, 7 °C	22	7	19	48

Tabelle 4: Anzahl der roten, grünen und blauen Hotpixel im Laufe der Jahre.

Ergebnis:

Kurz nach dem Kauf der Kamera gab es nur sehr wenige Hotpixel. 7 Monate später haben sich die roten und blauen Hotpixel fast verdoppelt, dagegen konnte nur ein grüner Hotpixel identifiziert werden. 3 Jahre später hat sich die Anzahl der Hotpixel in allen drei RGB-Farben deutlich erhöht. Dabei verhält sich die wichtige Farbe Grün noch moderat, hier hat sich die Anzahl gegenüber dem Kaufzustand nur verdoppelt. Bei Rot und Blau sind es etwa das Sechsfache.

Die altersbedingte Zunahme der Hotpixel bedingt zwingend die zuvor bereits gezeigte Notwendigkeit eines Dunkelbildabzuges – allein schon wegen der Hotpixel.

Fazit:

Eine automatische Hotpixelerkennung beseitigt nicht annähernd so gut wie ein Dunkelbildabzug die Hotpixel. Ein Masterdark muss also erstellt werden. Wegen der Zunahme der Hotpixel im Laufe der Zeit muss ein Masterdark jede Nacht erstellt werden und zwar bei gleicher ISO-Zahl und Belichtungszeit wie das eigentliche Bild.

4 Flatfieldaufnahmen

Da beim Dividieren durch eine Flatfieldaufnahme das Rauschen des Objektbildes vergrößert wird, ist es zwingend erforderlich, das Rauschen des Masterflats so gering wie möglich zu halten. Gleichzeitig soll die Helligkeitsfunktion (Vignette) möglichst charakteristisch sein.

Es wurde zu diesem Zwecke die Zentralhelligkeit in der Mitte des Bildes gemessen. Die Testaufnahmen wurden mit einem Meade LX200 im Primärfokus bei ISO 3200 und 1/40 Sek. gemacht.

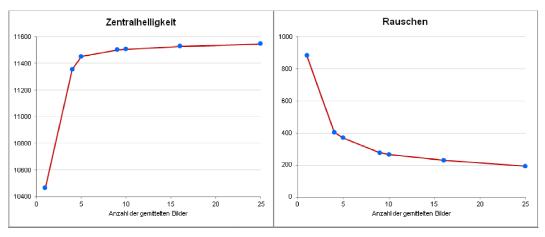


Abbildung 9: Zentralhelligkeit und Rauschen eines Masterflats als Funktion der Anzahl von Bildern, aus denen das Masterflat gemittelt wurde (ISO 3200, 1/40 Sek.).

Ergebnis:

Bereits 4–5 Bildern genügen, um ein brauchbares Masterflat er erhalten. Ab 9–10 Bildern sind nur noch geringe Verbesserungen erwarten.

Da ein Flat jedesmal neu erstellt werden muss, wenn die Kamera neu montiert wurde, also im Allgemeinen jede Nacht, sollte sich der Aufwand für die Erstellung eines Masterflats so gering wie möglich halten. Es genügen daher 10 Aufnahmen.

5 Photometrie

5.1 Einleitung

In diesem Abschnitt sollen die Auswirkungen von Flatfield und Dunkelbild auf die Genauigkeit bei der Photometrie untersucht werden. Um es vorweg zu nehmen, es wird nicht angezweifelt, dass sich die Berücksichtigung von Bias, Dark, Flat und Flatdark gewinnbringend auswirkt. Es geht vielmehr darum, festzustellen, für welchen Genauigkeitsanspruch welcher Aufwand notwendig ist.

In den folgenden Untersuchungen wurden die Helligkeiten mit dem PSF-Verfahren von Fitswork bestimmt. Fitswork subtrahiert den Offset (Bias) automatisch, deswegen wird dieser nicht mehr weiter erwähnt. Wäre der Offset noch Bestandteil des Bildes, so würde dies auch für das Dunkelbild gelten. Beim Abzug des Dunkelbildes würde der Offset dann ohnehin verschwinden.

Es geht also um den Nutzen eines Dunkelbildabzuges und die Notwendigkeit eines Flatfields zur Eliminierung der Vignette.

Für die Versuchsreihe wurde eine Einzelaufnahme und ein 10er-Mittel von M57 verwendet.

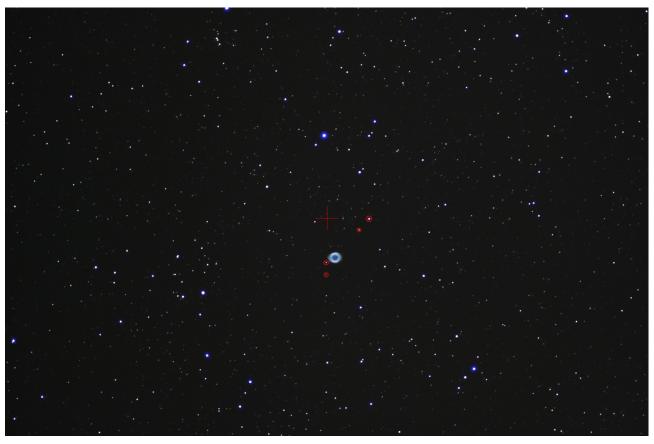


Abbildung 10: M57 als Summe von 43 Aufnahmen zu je 32 Sek. bei ISO 3200 mit Refraktor 152/1200 mm und Canon EOS 40D, adaptiert mit 2"/1.25"-Reducer (Temperatur \approx +5 °C). Dieses Bild wurde mit Deep-Sky-Stacker addiert und mit Fitswork und Giotto nachbearbeitet.

Die vermessenen Sterne sind in Abbildung 11 markiert und bezeichnet. Angegeben ist die V-Helligkeit aus dem Tycho-Katalog (V_T). Vermessen wurde der Grünkanal. Auf eine Kalibrierung der Grünhelligkeit und eine Umrechnung der Tycho-Helligkeit auf Johnson wurde verzichtet. Das wird die Helligkeitswerte und die Ausgleichsgerade geringfügig beeinflussen. Allerdings betrifft dies alle Messreihen gleichermaßen und es geht hier nur um den Vergleich der Messreihen untereinander.

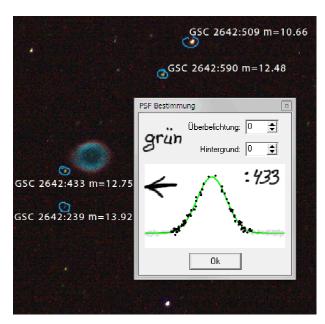
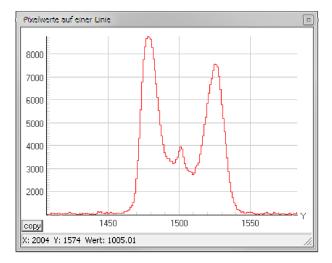


Abbildung 11: Messobjekte im Umfeld von M57 mit Angabe der GSC-Katalognummer und der visuellen Tycho-Helligkeit. Die Messungen erfolgten nach dem PSF-Verfahren. Ein Profil ist beispielhaft abgebildet.

5.2 Helligkeitsprofile und Rauschen

Vorab sollen einige Profile durch das Zentrum von M57 und seinem Zentralstern präsentiert werden. Die Abbildungen 12 und 13 zeigen, dass das Niveau des Hintergrundes und auch das Rauschen im Summenbild bei Abzug eines Dunkelbildes geringer ist als ohne. Durch die Subtraktion des Dunkelbildes (eines 10er-Mittels) sinkt nicht nur die Helligkeit des Hintergrundes, sondern auch die Helligkeit der Objekte – und zwar sogar stärker als der Hintergrund. Aus diesem Grunde sollte ein Dunkelbildabzug zwingend erforderlich sein und eine Steigerung der Genauigkeit mit sich bringen.



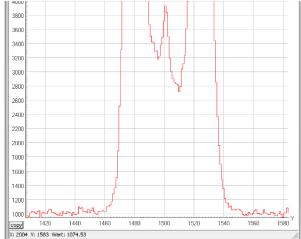
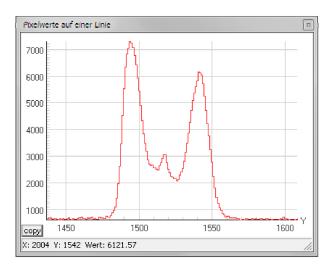


Abbildung 12: Summenbild aus 10 Aufnahmen von M57 ohne Dunkelbildabzug bei ISO 3200, 32 Sek. und 5 °C.



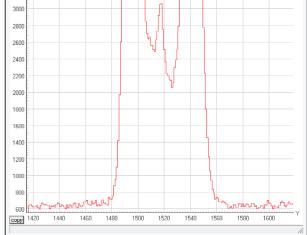


Abbildung 13: Summenbild aus 10 Aufnahmen von M57 mit Dunkelbildabzug bei ISO 3200, 32 Sek. und 5 °C.

Deutlich größer ist das Rauschen bei einer Einzelaufnahme gegenüber einem Summenbild. Bei einem Einzelbild sinkt die Hintergrundhelligkeit bei Abzug eines Dunkelbildes. Das Rauschen vermindert sich vor allem beim Abzug eines gemittelten Masterdarks.

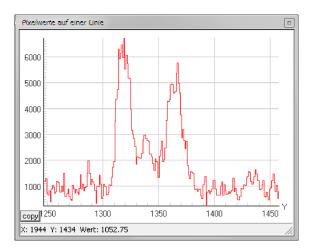


Abbildung 14: Einzelbild von M57 ohne Dunkelbildabzug bei ISO 3200, 32 Sek. und 5 °C.

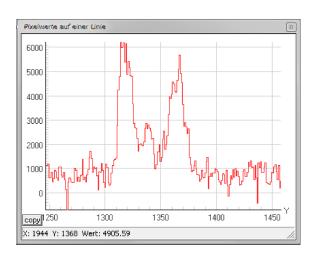


Abbildung 15: Einzelbild von M57 mit Dunkelbildabzug bei ISO 3200, 32 Sek. und 5 °C.

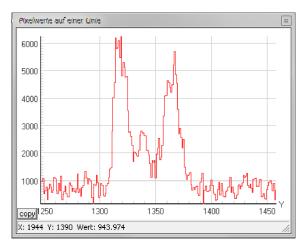


Abbildung 16: Einzelbild von M57 mit Masterdarkabzug (10er-Mittel) bei ISO 3200, 32 Sek. und 5 °C.

5.3 Visuelle Helligkeiten

Welchen Einfluss hat ein Dunkelbildabzug auf die Genauigkeit bei der Photometrie?

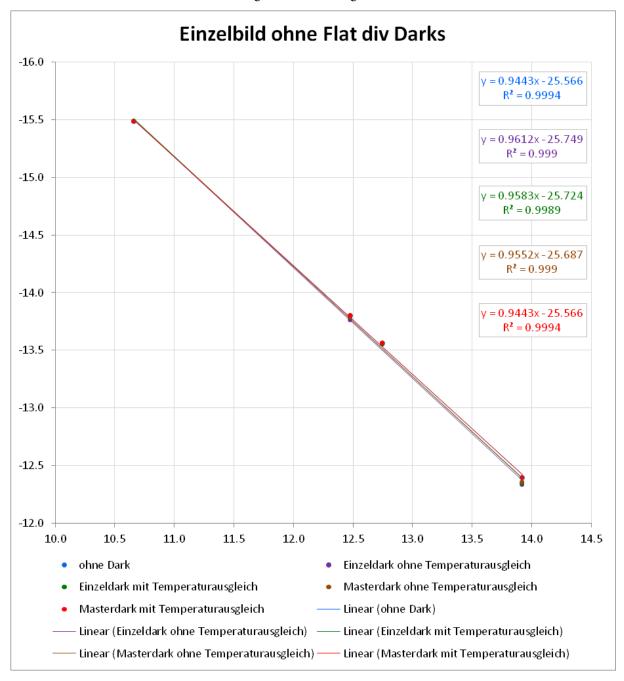


Abbildung 17: Visuelle Helligkeiten (Grünkanal) von 4 Sternen im Umfeld von M57 mit und ohne Dunkelbildabzug. Alle Ergebnisse liegen eng beieinander.

Ergebnisse:

Der Korrelationskoeffizient R² ist in allen untersuchten Fällen nahezu gleich und sehr dicht beim Idealwert 1. Die genauesten Messungen sollte man für den Fall »Masterdark mit Temperaturausgleich« erwarten (Masterdark aus 25 Einzelbildern). Interessanterweise ist dieses Ergebnis exakt gleich dem Ergebnis ohne Dunkelbild. – Ein Dunkelbild ist also nicht unbedingt erforderlich oder verbessert die Genauigkeit zumindest beim PSF-Verfahren nicht wesentlich.

Wichtige Hinweise:

Es wurde <u>nicht</u> überprüft, ob dieses Verhalten auch bei der Blendenphotometrie gilt, wie sie in den meisten anderen Photometrieprogrammen wie z.B. *Iris* oder *Muniwin*, verwendet wird.

Strahlungstheoretisch müsste die Steigung 1 betragen. In den Versuchsreihen liegt sie im Bereich von 0.94 bis 0.96. Diese geringfügigen Abweichungen von der exakten Linearität sind dadurch zu erklären, das DCRAW, welches in Fitswork verwendet wird, bei der Farbinterpolation eine geringfügige Gammakorrektur durchführt.

Tipp:

Aus diesem Grunde sollte man die Helligkeit bei Verwendung einer DSLR auch nie durch direkten Anschluss an einen einzelnen Vergleichsstern ermitteln, sondern immer eine Umrechnungsfunktion aus wenigstens drei Vergleichssternen errechnen.

Welchen Einfluss hat ein Flatfield auf die Genauigkeit?

Hierzu wurde ein weiterer Test durchgeführt und zwar anhand der Aufnahme ohne Dunkelbildabzug.

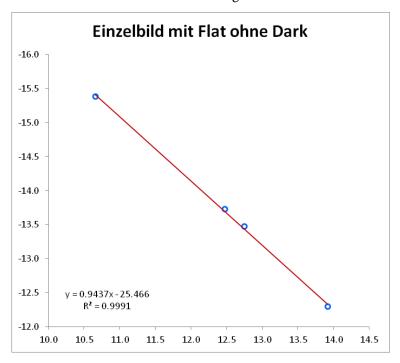


Abbildung 18:

Visuelle Helligkeiten (Grünkanal) von 4 Sternen im Umfeld von M57 ohne Dunkelbildabzug, aber mit Flatfield. Das Ergebnis ist von prinzipiell gleicher Qualität wie ohne Flatfield, die numerischen Abweichungen sind sehr gering.

Ergebnis:

Die Abweichungen zwischen den Fällen ohne und mit Flatfieldbild sind sehr gering. Das liegt in diesem Falle hauptsächlich daran, dass die Sterne nahe der Bildmitte liegen (siehe Abbildung 10).

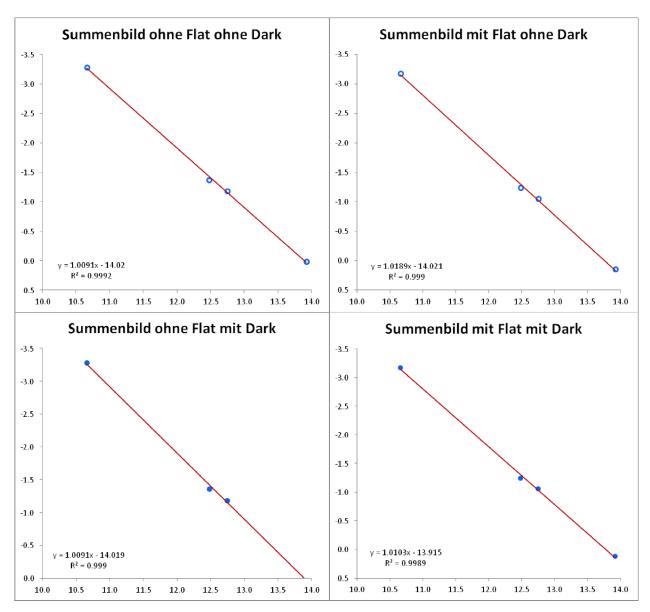


Abbildung 19: Vermessung des Summenbildes als Mittel aus 10 Aufnahmen vom M57 mit und ohne Flatfield und Dunkelbild.

Ergebnisse:

Wie bei der Auswertung eines Einzelbildes zeigt sich auch beim Summenbild kein nennenswerter Unterschied, ob ein Flatfield verwendet wird oder nicht (wegen Zentrumsnähe). Ebenso ist der Einfluss eines Dunkelbildabzuges unbedeutend. Einzig interessant ist die Tatsache, dass beim Summenbild die Steigung etwas über 1 liegt und die Abweichung zum Idealwert nur ein 1/5 so groß ist wie bei der Einzelbildauswertung (1.01 beim Summenbild statt 0.95 beim Einzelbild).

5.4 Hotpixel im PSF eines Sterns

Welchen Einfluss hat ein Hotpixel oder ein unempfindlicher Pixel mitten im Abbild eines Sterns?

Es wurde in den vier Sternen jeweils ein Pixel auf 255 (weiß) gesetzt und zwar an unterschiedlichen Stellen (mal zentral, mal weiter außen).

Ergebnisse: In allen Fällen kommt (logischerweise) eine größere Helligkeit heraus:

Nach Abzug eines Dunkelbildes ist der Hotpixel zwar verschwunden, entspricht aber einem Schwarzpixel und verfälscht demzufolge den Messwert geringfügig in die andere Richtung. Deshalb ist es interessant, eine Abschätzung zu machen, wie häufig eine solche Situation vorkommt.

Bei 10 Mio. Pixel möge es etwa 20 Pixel über 10 000 ADU geben. Wenn ein Stern 50 Pixel in Anspruch nimmt, beträgt die Wahrscheinlichkeit nur 1:10 000. Von 10 000 Helligkeitsmessungen würde eine Messung also einen Ausreißer darstellen, den man meistens auch sofort identifizieren kann.

5.5 Einfluss der Vignette

Wie viel bringt die Division durch ein Flatfield für die photometrische Genauigkeit?

Es wurde eine Flatfieldaufnahme vermessen und die Pixelwerte an verschiedenen Punkten der Aufnahme in Relation zum geometrischen Zentrum des Bildes gesetzt. Die Messdaten wurden in Größenklassen umgerechnet und in 0.001 mag (= Millimag = mmag) angegeben.

Die Auswertung wurde mit Fitswork durchgeführt. Die RAW-Bilder wurden debayert und der Grünkanal vermessen. Für das Masterflat wurden 10 Bilder gemittelt, für das Masterflatdark waren es 5 Bilder. Die Aufnahmen wurden bei ISO 3200 mit 10 Sek. belichtet. Das Flatfield gilt für den Achromaten TS 152/1200 des Verfassers mit Canon EOS 40D und dem 2"/1.25"-Reducer sowie einem T42/EF-Adapter.

Jede Fernrohr-Kamera-Kombination hat ihre eigene Vignette, die weder symmetrisch noch zentrisch ist.

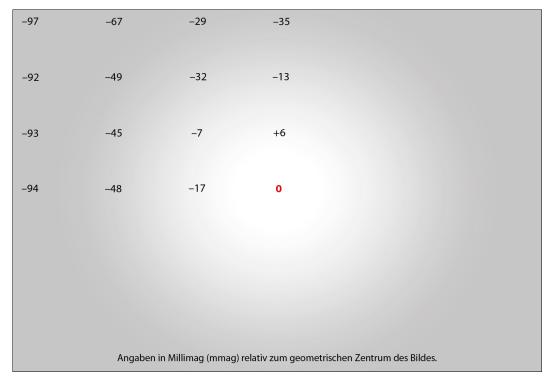


Abbildung 20:

Helligkeitsdifferenzen in mmag des im Text beschriebenen Flatfieldbildes relativ zum geometrischen Zentrum des Bildes. Diese Abweichungen würde man typischerweise aufgrund der Vignette erhalten, wenn man keine Flatfieldkorrektur durchführt.

Ergebnisse:

Für eine Genauigkeit von (einigen) 0.1 mag braucht ein Flatfield nicht unbedingt angefertigt und berücksichtigt werden.

Für eine Genauigkeit von (einigen) 0.01 mag muss ein Flat erstellt und verwendet werden, auf ein Flatdark kann aber verzichtet werden.

Für eine Genauigkeit von (einigen) 0.001 mag müssen ein Flat und ein Flatdark erstellt und berücksichtigt werden.

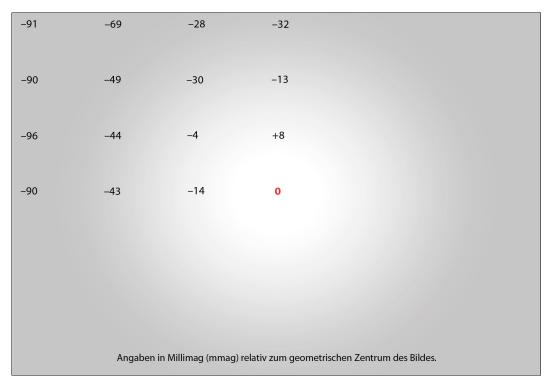


Abbildung 21: Helligkeitsdifferenzen in mmag eines Flatfieldbildes mit Flatdarkabzug relativ zum geometrischen Zentrum des Bildes. Diese Abweichungen würde man typischerweise aufgrund der Vignette erhalten, wenn man keine Korrektur mit einem Flatdark-korrigierten Flatfieldbildes durchführt.

-6	+2	-2	-4	
-2	0	-2	0	
+4	-1	-3	-1	
-4	- 5	-3	o	
	Unterschied durch Flatdark, angegeben in Millimag (mmag).			

Abbildung 22: Helligkeitsdifferenzen aufgrund des Abzuges eines Dunkelbildes (Flatdark) vom Flatfieldbild gegenüber dem Flatfield ohne Flatdarkabzug. Diese Abweichungen zeigen an, um welchen Betrag sich die Helligkeitsangaben verbessern, wenn man ein Flatdark subtrahiert.