

Untersuchungen zur ISO-Einstellung der digitalen Spiegelreflexkamera Canon EOS 60D/60Da bei *kurzbelichteten* Deep-Sky-Aufnahmen

Abstract

Es wurden mit der Canon EOS 60Da bei ISO 200, 800, 3200 und 12800 je ein Summenbild der Galaxie M51 erstellt. Hierbei wurden 35 Bilder zu je 32 Sek. mit DeepSkyStacker unter Verwendung von Dark- und Flatframes addiert. Zum Einsatz kam ein 5"-ED-Apochromat f/7.5. Die Himmelshelligkeit betrug 20.2–20.4 mag/arcsec².

Nach einer Tonwertspreizung auf das Niveau der ISO-12800-Aufnahme zeigen alle Bilder ungefähr das gleiche Aussehen. Auch nach einer Kontrastverstärkung kristallisieren sich nur geringe Unterschiede heraus. Vor allem bei ISO 200 tritt die Quantisierung sehr unangenehm auf. Bei ISO 12800 ist ein etwas erhöhtes Rauschen feststellbar, was durch Verwendung von Flatframes um ca. 2% reduziert werden kann.

Entscheidend ist die Belichtungszeit des Einzelbildes, also die Lichtsammelzeit <u>vor</u> der Digitalisierung (A/D-Wandlung). Als praxisentscheidend stellt sich die Notwendigkeit heraus, dass das Histogramm mindestens die untere Hälfte des maximalen Tonwertumfanges in Anspruch nehmen sollte. Bei gegebener Optik muss abhängig von der realisierbaren Belichtungszeit die ISO-Einstellung festgelegt werden. Diese kann bei lichtschwacher Optik und niedrigen Belichtungszeiten somit auch bei sehr hohen ISO-Werten ihr Optimum finden.

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, 12:50:34

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 2013

Inhaltsverzeichnis

1	Motivation 3
2	Randbedingungen
3	Verfahren
4	Vergleichsbasis
5	Untersuchungsziel
6	Einfluss der Belichtungszeit
7	Kurzbelichtete Einzelbilder 7
8	High ISO Rauschreduzierung
9	Was bewirkt die ISO-Einstellung? 8
10	Rauschen
	10.1 Übersicht
	10.2 Formalismus
11	Tonwertspreizung
12	Histogramme und Tonwerte in der Astrophotographie 12
13	Summenbilder ohne Nachbearbeitung
14	Summenbilder mit Tonwertspreizung
15	Summenbilder mit Kontrastverstärkung
	15.1 Vergleich aller ISO-Werte
	15.2 Vergleich zwischen ISO 800 und ISO 3200 17
	15.3 Vergleich des Rauschens
	15.4 Einfluss der Korrektur mit einem Masterflatframe 19
16	Zusammenfassung

1 Motivation

Die Möglichkeit, verschiedene ISO-Einstellungen an einer digitalen Spiegelreflexkamera (DSLR-Kamera) vornehmen zu können, verleitet die Astrophotographen zu den unterschiedlichsten Vermutungen, Aussagen und unerschütterlichen Überzeugungen. Der Verfasser wollte durch eine eigene Untersuchung unter Beachtung seiner persönlichen Randbedingungen die Frage für sich beantworten. Es ist nur natür-

lich, dass solche Erkenntnisse, so eingeschränkt sie auch Gültigkeit für die Allgemeinheit haben mögen, veröffentlicht werden sollten. Bei Nennung der Randbedingungen kann jeder für sich entscheiden, ob diese für ihn hinreichend zutreffend sind, um die Ergebnisse teilweise oder ganz auf seine eigene Situation zu übertragen.

2 Randbedingungen

Nachfolgend sind die Randbedingungen aufgeführt, unter denen die Untersuchungen erfolgten:

Aufnahmeort: Mittelstadt mit reichlich Beleuchtung (Kaltenkirchen)

Himmelshelligkeit: 20.2 – 20.4 mag/arcsec²

Fernrohr: dreilinsiger ED-Apochromat 5" f/7.5 (127/950 mm)

Montierung: Celestron CAM

Aufstellung: mobil, Alignment mit zwei Sternen, zusätzlich zwei >calibrate stars

Nachführung: motorisch, kein Autoguiding, keine manuelle Nachführkorrektur

Belichtungszeit: 32 Sek.

Uhrzeit: 01.03.2013, 22:20 – 0:20 MEZ

Testobjekt: Whirlpool-Galaxie M51

Höhe: $45^{\circ} - 62^{\circ}$

Hiervon abweichend wurden Vergleiche von Belichtungszeiten (32–123 Sek.) am Nordamerikanebel C20 durchgeführt.

3 Verfahren

35 Aufnahmen je ISO-Wert, gestackt mit DeepSkyStacker 10 Darks, 10 Flats und 10 Flatdarks ISO 200, 800, 3200 und 12800 Die Bilder wurden als RAW gespeichert und ausgelesen.

Zur Reduzierung des Einflusses der atmosphärischen Bedingungen (abnehmende Extinktion, sehr schwache Zirren und abnehmende Himmelshelligkeit) wurden je 10 Bilder pro ISO-Wert aufgenommen und dann die nächste ISO-Einstellung vorgenommen. So wurde zuerst von ISO 200 bis 12800 hoch-

gefahren und dann wieder zurück zu ISO 200. Danach der Zyklus wiederholt. Aus den je 40 Aufnahmen wurden die verwackelten Bilder gelöscht und einheitlich auf 35 Bilder je ISO-Wert begrenzt.

4 Vergleichsbasis

Je ein Einzelbild aus den ISO-Serien (200, 800, 3200, 12800) sowie ein Einzelbild des Nordamerikanebels mit drei verschiedenen Belichtungszeiten (32 s, 60 s, 123 s) wurden verglichen.

Da kurzbelichtete Einzelbilder aber nicht der Normalfall sind, wurden hauptsächlich die vier Summenbilder mit je 1120 s Gesamtbelichtung, erstellt unter hinreichend gleichen Wetterbedingungen, aber verschiedenen ISO-Einstellungen, verglichen.

Zusätzlich wurde für ISO 12800 ein weiteres Summenbild erstellt, bei dem auf die Flatfieldkorrektur verzichtet wurde.

5 Untersuchungsziel

Es sollen Einzelaufnahmen unter verschiedenen Bedingungen verglichen werden:

- Belichtung 32 Sek., aber verschiedene ISO-Einstellungen
- ISO 3200, aber verschiedene Belichtungszeiten
- Belichtung 32 Sek. bei ISO 12800, aber verschiedene Anzahl von Bildern addiert

Es sollen die Summenbilder für drei Fälle verglichen und bewertet werden:

- ohne jegliche Nachbearbeitung
- nur Tonwertspreizung
- mit Kontrastverstärkung

Tonwertspreizung | Bei der Tonwertspreizung wird nur der Weißpunkt an das Histogramm herangezogen, um im oberen Bereich den gesamten Tonwertumfang zu nutzen. Dies wurde mit Fitswork durchgeführt.

Kontrastverstärkung | Die Kontrastverstärkung wurde mit Giotto in drei Stufen erledigt. Zuerst wurde 3fach logarithmisch verstärkt mit Hell-/Dunkelgrenze auf 100%. Danach zweimal nacheinander jeweils einfach logarithmisch verstärkt. Anschließend wurde mit Fitswork ein Weißabgleich vorgenommen.

Histogramm und Tonwerte

Die Bezeichnung *Histogramm* wird manchmal für die tatsächlich vorhandenen Tonwerte (ungleich null), aber auch für die Graphik als Ganzes verwendet. In diesem Bericht soll unter dem Histogramm die Verteilung der tatsächlich vorkommenden Tonwerte verstanden werden, was im Jargon oft als der >Berg< bezeichnet wird. Dem gegenüber steht die (gesamte) Tonwertskala oder der Gesamtbereich der möglichen Tonwerte (bei 16 Bit ist dies der Bereich von 0 bis 65535).

Es sollen folgende Fragen geklärt werden:

- Ist es völlig egal, welche ISO-Einstellung vorgenommen wird, da nur die Anzahl der empfangenen Photonen wichtig ist?
- Ist die Zunahme des Rauschens mit steigender ISO-Einstellung relevant für das Endprodukt?
- Welchen Einfluss hat die Flatfieldkorrektur auf das Rauschen bei hohen ISO-Werten.
- Welche ISO-Einstellung ist für meine (des Verfassers) Vorgehensweise die optimalste?

Nachfolgend werden verschiedene Bearbeitungsstufen gezeigt. Die Anordnung der ISO-Werte ist dabei gemäß folgendem Schema erfolgt:

ISO 200	ISO 3200
ISO 800	ISO 12800

6 Einfluss der Belichtungszeit

Eine alte Astrophotographenregel besagt, so lange wie möglich zu belichten. Das soll hier auf keinen Fall in Frage gestellt werden. So lange wie mögliche wird in erster Linie begrenzt durch die Genauigkeit der Nachführung und die Helligkeit des Himmels. In dieser Untersuchungen geht es um das Histogramm bei verschiedenen Belichtungszeiten.

Als Beispiel wurde der Nordamerikanebel mit einem 300-mm-Teleobjektiv bei ISO 3200 aufgenommen. Als Belichtungszeit wurde 32 Sek., 60 Sek. und 123 Sek. gewählt. Für die Abbildung 1 wurde eine Tonwertspreizung auf 0-99.5 % durchgeführt.



Abbildung 1: Tonwertgespreizte Aufnahmen bei 32, 60 und 123 Sek. (f = 300 mm, ISO 3200).

Obwohl die Aufnahmen in Abbildung 1 mit verschiedenen Belichtungszeiten aufgenommen wurden, zeigen sie nach einer Tonwertspreizung etwa dasselbe Erscheinungsbild. In der Vergrößerung erkennt man am Monitor aber deutlich, dass mit zunehmender Belichtungszeit das Rauschen abnimmt. Dieses verbesserte Signal-Rausch-Verhältnis ist letztlich auch einer der Gründe für lange Belichtungszeiten.

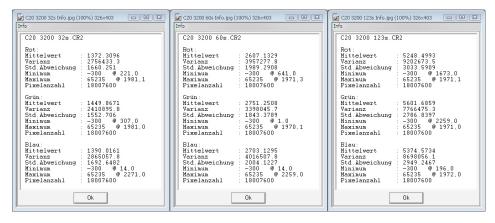


Abbildung 2: Statistische Daten der Aufnahmen aus Abbildung 1 vor der Tonwertspreizung.
 Das Signal-Rausch-Verhältnis verbessert sich im Grünkanal bei 32 (60, 123) Sek. Belichtung von knapp 1.1 über 1.6 auf 2.1.

Die zugehörigen Histogramme der unbearbeiteten RAW-Dateien zeigen die Auswirkung einer längeren Belichtungszeit sehr deutlich: Verschiebung nach rechts in Richtung optimaler Lage. Je weiter das Histogramm nach rechts verlagert, ohne Spitzlichter zu erzeugen, desto besser wird das Endergebnis.

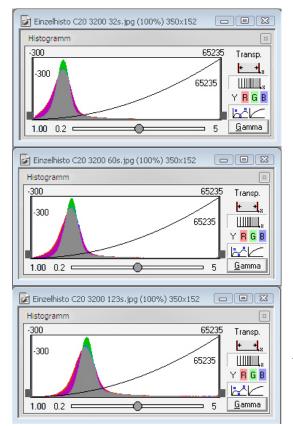


Abbildung 3:

Histogramm vom Nordamerikanebel bei ISO 3200 und ...

oben: 32 s mittig: 60 s unten: 123 s

7 Kurzbelichtete Einzelbilder

Obwohl kein ernsthafter Astrophotograph eine einzelne Aufnahme eines Deep-Sky-Objektes mit nur einer Minute Belichtungszeit oder weniger als Endprodukt seiner Bemühungen veröffentlichen würde, ist es lehrreich, mit dieser Betrachtung zunächst die Untersuchung zu beginnen.

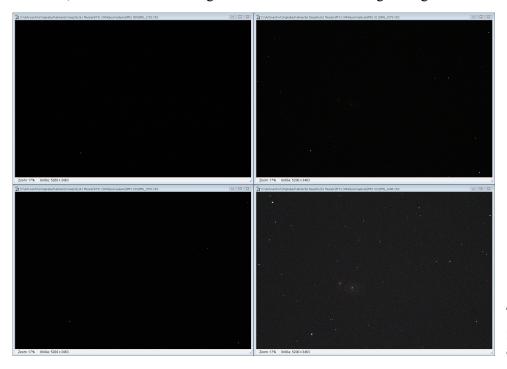


Abbildung 4: Einzelbilder mit 32 Sek. Belichtung bei ISO 200, 800, 3200 und 12800.

Die Abbildung zeigt die unbearbeiteten Einzelbilder ohne Tonwertspreizung. Nur bei ISO 12800 kann man zart die Galaxie erkennen. Die Histogramme in Abbildung 5 zeigen diese Situation deutlicher.

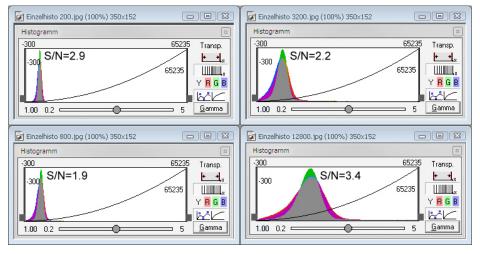


Abbildung 5:

Histogramme von Einzelbildern mit 32 Sek. Belichtung bei ISO 200, 800, 3200 und 12800.

Die Breite des Bergs entspricht dem Rauschen. Trotzdem zeigt ISO 12800 das beste SNR.

In Abbildung 5 sind die Histogramme von vier Aufnahmen der Galaxie M51 bei verschiedenen ISO-Einstellungen wiedergegeben. Alle Aufnahmen sind gekennzeichnet durch eine kurze Belichtungszeit von 32 Sek. Mit zunehmender ISO-Einstellung wandert das Histogramm nach rechts in den günstigen Bereich. Gleichzeitig wird der >Berg< breiter, was einer Zunahme des Rauschens entspricht. Trotzdem weist die Aufnahme bei ISO 12800 das beste Signal-Rausch-Verhältnis (SNR) auf (vgl. Kapitel 9 und 10).

Um auch bei den niedrigen ISO-Werten die Galaxie sichtbar zu machen, muss eine Tonwertspreizung erfolgen. An dieser Stelle soll auf Kapitel 11 verwiesen werden, wo dieses Thema ausführlich diskutiert wird. Es sei aber bereits darauf hingewiesen, dass speziell das Histogramm bei ISO 200 so stark gespreizt werden muss, dass durch die Quantisierungseffekte die Bildqualität negativ beeinflusst wird.

8 High ISO Rauschreduzierung

Dieses Feature spielt bei RAW-Aufnahmen keine Rolle, sondern wirkt sich nur auf das JPEG-Bild aus. Bei den Tests war die Einstellung *Standard* gewählt worden. Hier eine Vergleichsserie mit den möglichen Einstellungen der Canon EOS 60D/60Da. Geringfü-

gige Unterschiede in der Belichtung sind darauf zurückzuführen, dass aus freier Hand photographiert wurde. Ansonsten ist hinsichtlich des Rauschens kein Unterschied festzustellen.

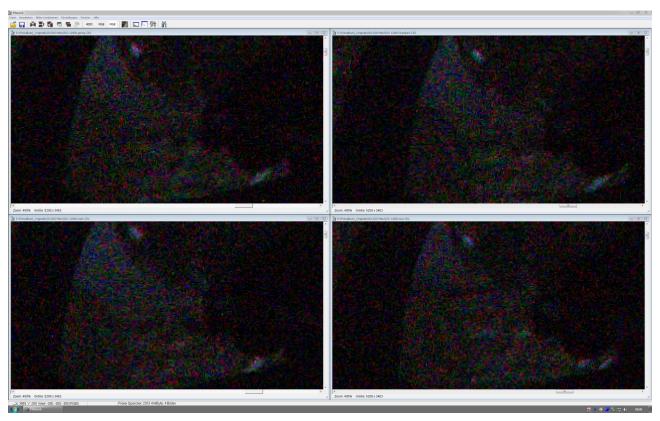


Abbildung 6: Vergleich der kamerainternen High ISO Rauschreduzierung im RAW-Modus.

oben links: gering oben rechts: Standard (mittel) unten lins: stark unten rechts: ausgeschaltet

9 Was bewirkt die ISO-Einstellung?

Bei einer Digitalkamera ist die Quantenausbeute des eingebauten Sensors immer diesselbe, lediglich die anschließende Signalverstärkung wird verändert. Das Maß der Signalverstärkung wird durch die ISO-Einstellung geändert. Ich spreche in diesem Zusammenhang von der *ISO-Verstärkung*.

In Zusammenhang mit der Frage der optimalen ISO-Verstärkung wird immer wieder auf das Rauschen hingewiesen: >Hohe ISO-Verstärkung würde das Rauschen unnötig vergrößern, ohne dass dadurch mehr Photonen gesammelt werden.<

Tatsächlich wird das überwiegend thermische Rauschen des Sensors verstärkt, aber auch das Signal

wird verstärkt. In erster Näherung sollte das Signal-Rausch-Verhältnis gleich bleiben, unter Umständen aber auch ein wenig positiv beeinflusst werden, weil geeignete Filter möglicherweise von Canon implementiert wurden. Insofern sollte es egal sein, wie hoch verstärkt wird. Einen Nachteil hinsichtlich des Rauschens sollte man nicht haben.

Deshalb bringen theoretische Überlegungen nur bedingt eine Aufklärung. Ein Praxistest ist aussagefähiger, da es schließlich um die Praxis geht. Einige Betrachtungen können aber vorab hilfreich sein und sollen aus diesem Grunde jetzt angestellt werden.

10 Rauschen

10.1 Übersicht

- Es gibt ein örtliches und ein zeitliches Rauschen:
 - Das Ortsrauschen bezieht sich auf die Pixel untereinander. Es ist eine Funktion der Pixelposition x|y.
 - ► Das Zeitrauschen bezieht sich auf einen individuellen Pixel bei verschiedenen Aufnahmen. Es ist eine Funktion der Zeit t und lässt sich durch Addition vieler Bilder entsprechend den statistischen Gesetzen herausmitteln
- Das Ortsrauschen kennt mehrere Ursachen:
 - Ursachen, die vor dem Verstärker liegen. Dieses Rauschen soll zusammengefasst als Sensorrauschen bezeichnet werden. Hierzu gehören im Einzelnen:
 - Entstehung von Elektronen in der lichtempfindlichen Schicht, ohne durch Photonen ausgelöst worden zu sein.
 - Freie Elektronen wegen mangelnder Abschirmung der Elektronik.
 - Unterschiedliche Quantenausbeute von Pixel zu Pixel (Herstellungstoleranzen). Insbesondere die beiden ersten Punkte sind stark von der Temperatur abhängig. Aus diesem Grunde spricht man auch von thermischem Rauschen. Kühlung ist der effektivste Weg zur Rauschreduzierung.
 - ▶ Unterschiedliche Verstärkung aufgrund von Herstellungstoleranzen. Ein über alle Pixel konstantes Eingangssignal wird geringfügig unterschiedlich verstärkt. Das Ausgangssignal ist somit verrauscht. Dieses Rauschen ist auch geringfügig abhängig von der Temperatur (soll hier vernachlässigt werden), ändert sich allerdings von Bild zu Bild (Zeitrauschen). Dieses Rauschen soll als *Verstärkerrauschen* bezeichnet werden.
- Das Rauschen des Ausgangssignal, das schließlich durch den A/D-Wandler digitalisiert wird, besteht also aus drei Hauptfaktoren:
 - Sensorrauschen
 - Verstärkung (des Sensorrauschens)
 - Verstärkerrauschen

10.2 Formalismus

Für die Betrachtungen in dieser Untersuchungen genügt es, für das Rauschen N (noise) folgenden Ansatz zu machen:

$$S_A + N_A = (S_E + N_S) \cdot (V + N_V),$$

wobei S_E das unverstärkte Eingangssignal, S_A das verstärkte Ausgangssignal und V der Verstärkungsfaktor ist. N_A ist das Rauschen des Ausgangssignals, N_S ist das Rauschen des Sensors und N_V die herstellungsbedingte Variation der Verstärkung.

Ausmultipliziert ergibt sich somit:

$$S_A + N_A = S_E \cdot V + S_E \cdot N_V + N_S \cdot V + N_S \cdot N_V$$

Das Produkt aus den beiden Rauschanteilen N_s und N_v ist zweiter Ordnung und kann in erster Näherung weggelassen werden. Mit $S_A = S_E \cdot V$ erhalten wir für das Rauschen des Ausgangssignals:

$$N_A = S_E \cdot N_V + N_S \cdot V$$

Gehen wir a priori von der Annahme aus, dass N_V proportional zu V ist, können wir $N_V = k \cdot V$ setzen, wobei $k \ll 1$ ist und ein Qualitätsparameter für die Verstärkung ist. Dann gilt:

$$N_A = S_E \cdot k \cdot V + N_S \cdot V = (S_E \cdot k + N_S) \cdot V$$

Bestehendes Eingangsrauschen (das ist der Ausdruck in Klammern) wird also mit dem Faktor V der ISO-Verstärkung verstärkt. Das muss wegen **k** nicht proportional verlaufen, d.h. bei doppelter Verstärkung (z.B. ISO 800 statt ISO 400) kann das Rauschen niedriger ausfallen, weil **k** bei höherer ISO-Zahl möglicherweise kleiner wird – oder umgekehrt.

Mit
$$SNR_A = S_A/N_A$$
 und $SNR_E = S_E/N_S$ gilt:

$$1/SNR_{\Delta} = 1/SNR_{E} + k$$

Das Ausgangsrauschen ist also im Wesentlichen unabhängig von der Verstärkung V. Nur der ›Qualitätsparameter (**k** geht in das Ergebnis ein.

Fazit | Als Fazit folgt hieraus, dass aus Sicht des Rauschens die ISO-Verstärkung möglichst niedrig gehalten werden sollte. Es sei aber schon vorweggenommen, dass der formalistische Ansatz noch nicht vollständig ist. Der noch fehlende Teil verhält sich nun genau umgekehrt, d. h. je kleiner die ISO-Verstärkung, desto stärker die Verschlechterung. Es handelt sich um die Tonwertspreizung.

11 Tonwertspreizung

Aus täglicher Erfahrung weiß der Photograph, dass das Tonwert-Histogramm möglichst in der Mitte des gesamten Tonwertumfanges liegen und einen möglichst großen Teil überdecken sollte. Bei sehr dunklen Lichtverhältnisse erhält man nur ein sehr schmales Histogramm am unten (linken) Ende und muss in der Nachbearbeitung den Weißpunkt weit nach links verschieben. Das Bild wird zwar heller, aber wirkt wie ein stilisiertes Kunstwerk. Dies liegt daran, dass die wenigen hundert Graustufen eines 16-Bit-Bildes (65535 Graustufen) auf das Maximum gedehnt werden. Damit verteilen sich die wenigen Helligkeitswerte zwar gleichmäßig über den gesamten Bereich des theoretisch möglichen Tonwertumfanges, aber es sind trotzdem nur wenige Hundert unterschiedliche Graustufen, die fehlenden Zwischentöne kann die Software nachträglich nicht mehr rekonstruieren. Das Bild besitzt keine reale Struktur. Eine solche Situation tritt immer bei der so genannten Low-Key-Photographie, wozu auch die Astrophotographie gehört, auf.

Quantisierung | Die eigentliche Ursache für diesen Effekt liegt in der Quantisierung des Signals. Haben mehrere Pixel nur geringfügig unterschiedliche Grauwerte, so werden diese bei der Digitalisierung zu einer bestimmten Graustufe innerhalb der möglichen Tonwertskala von 0 bis 2ⁿ-1 vereinheitlicht. Die meisten Digitalkameras benutzen eine n = 12 Bit Digitalisierung, Canon immerhin n=14 Bit. Bei einer späteren Tonwertspreizung lassen sich die ursprünglichen Grauwerte nicht mehr rekonstruieren und alle Pixel behalten denselben Grauwert. Erst wenn der Unterschied ein bestimmtes Maß überschritten hat (abhängig von n), wird die nächste Graustufe dargestellt. Würde man den Grauwert eines jeden Pixels durch eine Fließkommazahl darstellen, wäre dieses Problem nicht gegeben. Der Verfasser wartet auf das CR3-Format von Canon, wo dieses hoffentlich realisiert wird.

Die Abbildungen 7 bis 11 veranschaulichen die Thematik:

Abbildung 7 | Eine Landschaft wurde bei Tageslicht mit ISO 100 und $^{1}/_{1000}$ Sek. photographiert. Das Bild ist völlig unterbelichtet. Das Histogramm liegt im unteren Bereich der Tonwertskala (Low-Key-Photographie).

Abbildung 8 | Dasselbe Motiv wird bei ISO 100 nun $^{1}/_{15}$ Sek. lang belichtet. Das Histogramm zeigt eine optimale Verteilung der Tonwerte. Die Abbildung zeigt nur einen kleinen Ausschnitt der Aufnahme.

Abbildung 9 | Dasselbe Motiv wird bei ISO 6400 nun wieder mit $^{1}/_{1000}$ Sek. aufgenommen. Das Histogramm zeigt die gleiche optimale Verteilung der Tonwerte wie in Abbildung 8. Die Ausschnittsvergrößerung zeigt nun aber ein stärkeres Rauschen gegenüber der Aufnahmen mit ISO 100.

Abbildung 10 | Im nächsten Fall wurde ausgehend von Abbildung 7 der Tonwert um einen Faktor 10 gespreizt, sodass das Histogramm gerade den Gesamtbereich ausfüllt. Das Bild zeigt erheblich weniger Struktur als die korrekt belichteten Aufnahmen. Das erkennt man auch am Histogramm, dem die charakteristische >Berglandschaft< der Tonwerte fehlt

Abbildung 11 | Noch extremer wird die Situation, wenn versucht wird, den visuellen Helligkeitseindruck etwa dem der Abbildung 8 anzugleichen. Hierzu ist eine Spreizung um den Faktor 20 notwendig. Dem Photo fehlt jegliche Struktur, was sich ganz besonders an der dunklen Sichtschutzwand zeigt.

Fazit | Die dunkle Sichtschutzwand ist typisch für die schwachen Partien von Galaxien und Reflexionsnebeln. In den Fällen der Abbildungen 10 und 11 würden diese Regionen keinerlei Struktur zeigen. Eine derart starke Tonwertspreizung muss also unbedingt vermieden werden. Zwar hat auch die Abbildung 9 durch die höhere ISO-Verstärkung gegenüber der ISO-100-Aufnahme an Struktur eingebüßt, aber bei weitem nicht so viel. Die höhere ISO-Verstärkung ist eindeutig akzeptabler als die starke Tonwertspreizung.





Abbildung 7: ISO 100, f/22, $^{1}/_{1000}$ Sek.



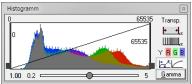


Abbildung 8: ISO 100, f/22, ¹/₁₅ Sek.



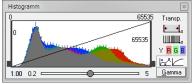


Abbildung 9: ISO 6400, f/22, ¹/₁₀₀₀ Sek.



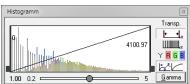


Abbildung 10: ISO 100, f/22, ¹/₁₀₀₀ Sek. Histogramm 10fach gespreizt



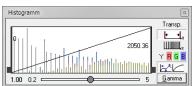


Abbildung 11: ISO 100, f/22, ¹/₁₀₀₀ Sek. Histogramm 20fach gespreizt

12 Histogramme und Tonwerte in der Astrophotographie

Es muss also das Ziel eines jeden Photographen sein, das Ausgangssignal S_A möglichst so groß zu bekommen, dass es nach der A/D-Wandlung eine gleichmäßige Verteilung der Tonwerte (Graustufen) über den gesamten Bereich hervorbringt.

Dies ist jedem Tageslichtphotographen bekannt und spielt bei der Astrophotographie dieselbe Rolle. Um das Ausgangssignal des Verstärkers etwa auf die Hälfte des Scheitelwertes der A/D-Wandlung zu bringen, kann man an zwei Schrauben drehen:

- dem Eingangssignal S_E und
- dem Verstärkungsfaktor V.

 $S_{\rm E}$ wiederum hängt mit der Zahl der Photonen zusammen. Diese wird bestimmt durch

- · die Helligkeit des Objektes,
- · der Belichtungszeit und
- · der Sammelfläche.

Die Lichtsammelfläche ist durch die Öffnung des verwendeten Teleskops vorgegeben. Die Belichtungszeit dürfte in der Praxis bei 15–20 Minuten begrenzt sein. Hier zählt, wie die Untersuchung zeigt, nur das Einzelbild, und nicht das spätere Summenbild durch Addition vieler Einzelaufnahmen. Relevant für das Histogramm ist das gesammelte Licht vor der A/D-Wandlung. Der Nutzen eines Summenbildes liegt in der Verbesserung des Signal-Rausch-Verhältnisses.

Wo lange Belichtungszeiten nicht mehr erreichbar sind, muss mit Signalverstärkung gearbeitet werden, um ein akzeptables Histogramm zu erreichen. Der Regler hierfür ist die ISO-Einstellung. Muss zu sehr verstärkt werden, kommen die oben erwähnten Nachteile durch das Rauschen zum Tragen. Es ist also ein Kompromiss zu finden. Möglichst große Öffnungen und lange Belichtungszeiten (und natürlich dunkler Himmel) sind auf jeden Fall auch aus theoretischer Sicht der beste Garant für gute Bilder. Wo das nicht ausreichend möglich und ein Verzicht auf Deep-Sky-Bilder nicht akzeptabel ist, muss sowohl elektronisch verstärkt als auch die Tonwerte gespreizt werden.

Die zu verwendete ISO-Verstärkung hängt nur davon ab, wie lichtstark die Optik und welche Belichtungszeit realisierbar ist. Je geringer diese ausfallen, desto höher muss die ISO-Verstärkung gewählt werden.

Wie aus den Abbildungen 5 und 6 zu entnehmen ist, wird man eine Tonwertspreizung um den Faktor zehn oder gar zwanzig kaum wünschen. Es soll daher der Faktor fünf als zumutbares und ein Faktor zwei als hinreichend erstrebenswertes Ziel bezeichnet werden. Das Endziel bleibt immer ein vollständig ausgefülltes Histogramm ohne Verschiebung des Schwarz- oder Weißpunktes.

Hinweis: Eine Verschiebung des Schwarzpunktes hebt die untere Grenze an, was den Himmelshintergrund dunkler macht, aber auch schwache Strukturen wegnimmt.

13 Summenbilder ohne Nachbearbeitung

Die nicht nachbearbeiteten Summenbilder für alle vier ISO-Werte sind in Abbildung 12 dargestellt. Deutlich erkennt man bei ISO 200 (oben links) keinerlei Galaxie, während das Bild mit ISO 12800 (unten rechts) auch ohne Nachbearbeitung einige Strukturen schwach angedeutet zeigt.

Deutlicher als durch die >schwarzen Bilder wird die Situation durch die Histogramme wiedergegeben. Sie

sind wesentlich aussagekräftiger und zeigen mit zunehmender ISO-Verstärkung eine Wanderung nach rechts. Zusätzlich ist das Histogramm für das Summenbild bei ISO 12800 ohne Flatfieldkorrektur dargestellt. Auf den ersten Blick sieht man da keinen Unterschied zum Summenbild mit Flatfieldkorrektur. Etwas später soll hierauf noch näher eingegangen werden.

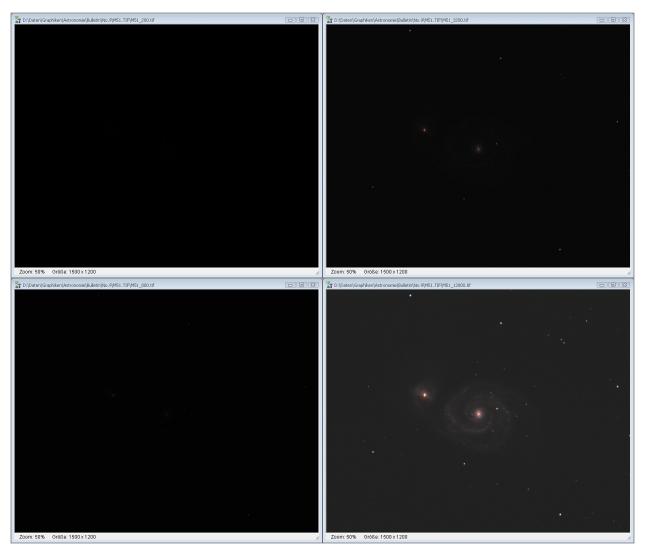


Abbildung 12: Unbearbeitete Aufnahmen mit ISO 200, 800, 3200 und 12800.

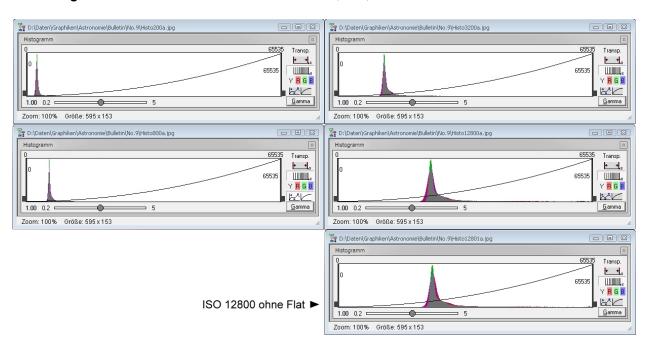


Abbildung 13: Histogramme der unbearbeiteten Aufnahmen mit ISO 200, 800, 3200 und 12800.

Eine weiterer Untersuchungsschritt soll herausfinden, ob die Einzelbelichtung oder die Gesamtbelichtung für die Lage des Histogramms entscheidend ist. Hierzu wurde zusätzlich zur Summe aus 35 Bildern auch eine Summe aus 18 Aufnahmen gebildet.

In Abbildung 14 sind die Histogramm der drei Integrationsstufen

- · Einzelbild
- Summe aus 18 Aufnahmen
- Summe aus 35 Aufnahmen

übereinander gestellt. Deutlich erkennt man die gleiche Lage aller drei Histogramme. Nur das Einzelbild zeigt ein Maximum, das unwesentlich nach links verschoben ist.

Auffallend ist die Tatsache, dass das Histogramm umso schmaler wird, je mehr Aufnahmen addiert werden. Dies ist in erster Linie auf die Reduzierung des Rauschens zurückzuführen.

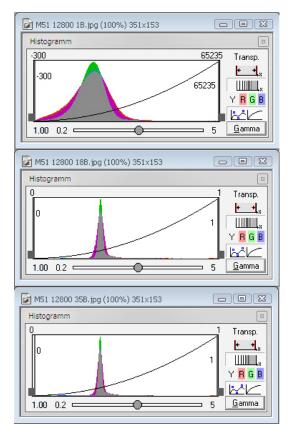


Abbildung 14:

Histogramme von Summenbildern aus unterschiedlich vielen Einzelaufnahmen.

oben: 1 Bild mittig: 18 Bilder unten: 35 Bilder

Fazit | Das Ergebnis dieser Betrachtung ist, dass für die Lage des Histogramms nur die Belichtungszeit des Einzelbildes wichtig ist. Oder mit anderen Worten, die Lichtsammelzeit vor der Digitalisierung des Signals

14 Summenbilder mit Tonwertspreizung

Im nächsten Schritt wird der Tonwert soweit gespreizt (nur Weißpunktverschiebung), dass alle Histogramme so weit wie möglich dem von ISO 12800 ohne Flatfieldkorrektur (siehe Abbildung 13) entsprechen.

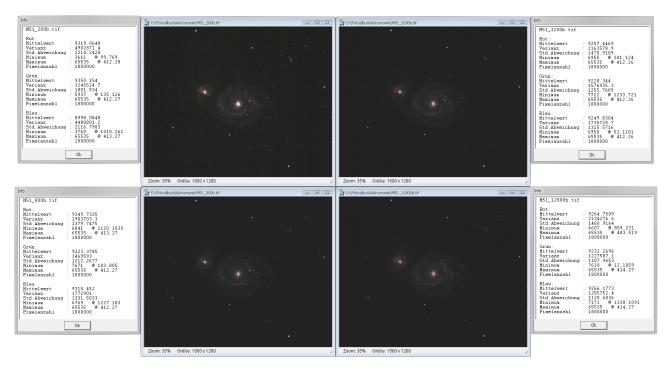


Abbildung 15: Vergleich der Aufnahmen mit ISO 200, 800, 3200 und 12800 nach Tonwertspreizung auf das Niveau von ISO 12800 ohne Flat.

Genauer als mit dem bloßen Auge können die Bilder anhand der statistischen Kennzahlen verglichen werden (siehe Info-Boxen rechts und links neben den Photos). Die ungefähr gleich großen Mittelwerte verraten, dass die Angleichung hinreichend gut gelungen ist. Die Standardabweichung zeigt, dass diese bei ISO 200 deutlich größer ist als bei den übrigens

ISO-Werte. Spannenderweise ist sie sogar bei ISO 12800 am niedrigsten. Diese Standardabweichung sollte möglichst gering sein. Die zugehörigen Histogramme in Abbildung 16 zeigen dies deutlich: Bei ISO 200 ist der >Berg< wesentlich breiter – und zwar als Folge der Tonwertspreizung.

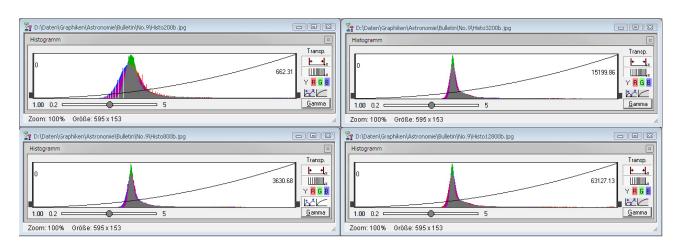


Abbildung 16: Histogramme der Aufnahmen mit ISO 200, 800, 3200 und 12800, gespreizt auf das Niveau von ISO 12800 ohne Flat.

15 Summenbilder mit Kontrastverstärkung

15.1 Vergleich aller ISO-Werte

Für den dritten Vergleich wurden die Bilder mit Giotto logarithmisch kontrastverstärkt und anschließend mit Fitswork ein Weißabgleich vorgenommen.

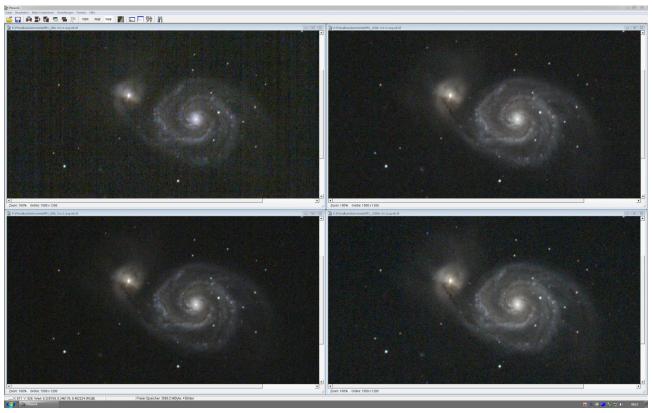


Abbildung 17: Vergleich der Aufnahmen mit ISO 200, 800, 3200 und 12800 nach logarithmischer Kontrastverstärkung.

Bei ISO 200 zeigen sich die oben erwähnten Spreizungseffekte (beispielsweise durch senkrechte Streifen im Bild), bei ISO 12800 sieht man das Rauschen deutlich. Zwischen ISO 800 und ISO 3200 gibt es keine großen Unterschiede. In diesem Bereich also liegt die günstigste ISO-Verstärkung für das verwendete 5"-Instrument f/7.5 bei einer Einzelbelichtung

von 32 Sekunden und einer Gesamtbelichtungszeit von knapp 20 Minuten. Bei längeren Belichtungen und schnelleren Optiken (z.B. f/5) verschiebt sich diese Aussage zu ISO 800 hin, und eventuell sogar darüber hinaus in Richtung ISO 100.

15.2 Vergleich zwischen ISO 800 und ISO 3200

Nachfolgend werden die Aufnahmen mit ISO 800 und ISO 3200 nach einer Kontrastverstärkung vergleichen.

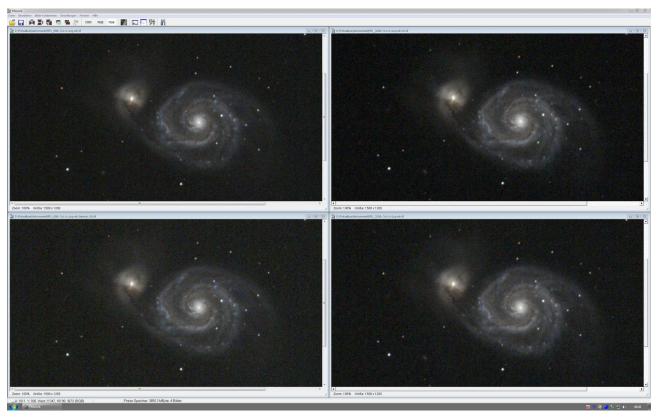


Abbildung 18: Vergleich der Aufnahmen mit ISO 800 und ISO 3200 nach mehrfachen logarithmischen Kontrastverstärkung und einem anschließenden Weißabgleich.

Untere Reihe | Die ISO-800-Aufnahme (links) wurde zum besseren Vergleich zusätzlich noch mit einer Gradationskurve (Gamma = 1.08) an ISO 3200 angepasst.

Obere Reihe | Umgekehrt wurde bei ISO 3200 der Untergrund (Rauschen) ein wenig reduziert, um dem visuellen Eindruck des Himmelshintergrundes der ISO-800-Aufnahme näher zukommen.

Die beiden oberen Bilder sollten nun einander entsprechen, die beiden unteren Aufnahmen ebenfalls.

15.3 Vergleich des Rauschens

Eine Ausschnittsvergrößerung auf 400 % soll die visuelle Bewertung des Rauschens erleichtern.



Abbildung 19: Vergrößerungen der Aufnahmen mit ISO 200, 800, 3200 und 12800 nach Kontrastverstärkung auf 400 % zum besseren Vergleich des Rauschens.

Die Aufnahme mit ISO 200 zeigt aufgrund der Tonwertspreizung das stärkste Rauschen.

Die Aufnahme mit ISO 12800 zeigt ein geringfügig stärkeres Rauschen aufgrund der hohen Signalverstärkung.

Im mittleren Bereich von ISO 800 und ISO 3200 ist nur eine geringer Unterschied zugunsten von ISO 800 festzustellen.



Hinweis: Ein Papierausdruck ist zur Beurteilung ungeeignet.

Am Monitor sollte man die Seite auf Bildschirmbreite vergrößern.

15.4 Einfluss der Korrektur mit einem Masterflatframe

Um die Behauptung zu erhärten, ein Flatframe würde den Rauschanteil $S_E \cdot N_V$ (siehe Kap. 10.2) reduzieren, wurde das ISO-12800-Summenbild einmal mit und einmal ohne Flatfieldkorrektur angefertigt.

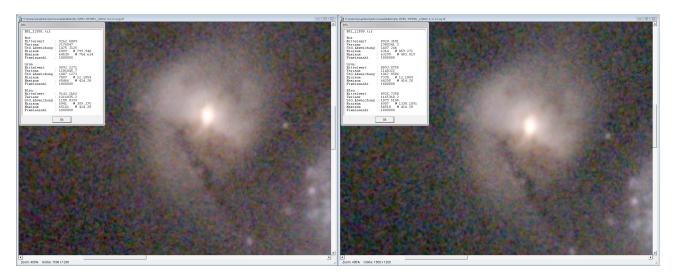


Abbildung 14: Vergleich der Aufnahmen mit ISO 12800 ohne (rechts) und mit (links) Flatfieldkorrektur. Die statistischen Zahlen entstammen den unbearbeiteten Aufnahmen, abgebildet wurden zur besseren Visualisierung stark kontrastverstärkte Bilder.

Die visuelle Bewertung ist schwierig und es scheint keinen Unterschied zu geben. Die statistischen Messdaten lassen vermuten, dass das Rauschen mit Flatfieldkorrektur um ca. 2% niedriger ist.

16 Zusammenfassung

Das Ziel ist es, das Bild eines Deep-Sky-Objektes zu erstellen, dessen Histogramm ideal in der Mitte liegt und den gesamten möglichen Bereich der Tonwertskala ausschöpft.

Weniger enthusiastische Astrophotographen sind auch zufrieden, wenn eine nachträgliche Tonwertspreizung bis zu einem Faktor zwei erfolgt. In diesem Fall nimmt das Histogramm die untere Hälfte der Tonwertskala ein. Noch tolerantere Sternfreunde, insbesondere Anfänger im Bereich der Deep-Sky-Photographie werden auch (wenigstens zeitweise) einen Faktor drei bis vier akzeptieren. In diesem Fall muss das Histogramm des unbearbeiteten Bildes die unteren 25–33% überdecken.

Für die Lage des Histogramms ist ausschließlich die Lichtsammelzeit vor der Digitalisierung (A/D-Wandlung) relevant. Das bedeutet, dass ein Einzelbild solange wie möglich belichtet werden sollte, lediglich begrenzt durch Himmelshelligkeit und Nachführfehler.

Erlauben die begrenzenden Faktoren nur sehr kurze Belichtungszeiten, so ist das Histogramm unter Umständen zu weit links im dunklen Bereich (Low-Key-Photographie). Eine Tonwertspreizung und Kontrastverstärkung würde den Quantisierungseffekt verstärken und das Endergebnis ungünstig beeinflussen.

Es muss also die goldene Mitte zwischen Tonwertspreizung und ISO-Verstärkung gefunden werden. Je nach Flächenhelligkeit des Deep-Sky-Objektes kann bei Belichtungszeiten unter einer Minute eine ISO-Einstellung von ISO 1600 und mehr erforderlich werden.