

Binning und das Signal-/Rauschverhältnis

Die Ermittlung des Ausleserauschen der ASI6200MC Pro bei verschiedenen Binningfaktoren

Bei der digitalen Bildgewinnung mit optoelektronischen Sensoren wird das Zusammenfassen benachbarter Bildelemente (Pixel) als „Binning“ bezeichnet. Durch die Bildung von Pixelblöcken wird eine höhere Lichtempfindlichkeit in den virtuellen, größeren Pixel erreicht und der Signal-Rauschabstand verbessert sich, da das Rauschen statistisch verteilt ist. Im Gegenzug wird dabei die Bildauflösung entsprechend der Anzahl der zusammengefassten Pixel reduziert, das heißt, das Bild wird gröber.

Bei der aktuellen Entwicklung von CMOS-Sensoren (CCD-Sensoren verlieren in der Hobby-Astrofotografie zunehmend an Bedeutung), zeigt sich ein deutlicher Trend hin zu höherer Auflösung. Das bedeutet, dass bei konstanter Größe des Chips die einzelnen Pixel kleiner werden. Das mag für hochauflösende Aufnahmen mit Optiken kurzer Brennweite von Vorteil sein. Ab etwa 800 mm Brennweite ist man jedoch bei den heute weit verbreiteten Chips mit Pixeln mit einer Kantenlänge von 3 – 4 Mikrometern seeing-bedingt klar im Bereich der sogenannten Überabtastung (Oversampling). Das heißt wiederum, die hohe Auflösung bringt keine Vorteile mit sich und Binning kann ohne Informationsverlust eingesetzt werden (siehe dazu [hier](#) mehr).

Info

```
ASI6200_BIAS_BIN1-0012RGB.fit
[X1: 54, X2: 9507, Y1: 49, Y2: 6325]

Mittelwert      : 501.18422
Varianz         : 35.523588
Std. Abweichung : 5.9601667
Minimum        : 315 @ 7832,4689
Maximum        : 714 @ 320,4762
Pixelanzahl    : 59342758
```

Abb. 1: Bildstatistik bei Binning 1x1

Info

```
ASI6200_BIAS_BIN2-0012RGB.fit
[X1: 14, X2: 4770, Y1: 14, Y2: 3170]

Mittelwert      : 500.77084
Varianz         : 9.1601198
Std. Abweichung : 3.026569
Minimum        : 447 @ 4561,657
Maximum        : 557 @ 1612,857
Pixelanzahl    : 15017849
```

Abb. 2: Bildstatistik bei Binning 2x2

Info

```
ASI6200_BIAS_BIN4-0012RGB.fit
[X1: 3, X2: 2385, Y1: 5, Y2: 1589]

Mittelwert      : 500.86956
Varianz         : 2.5406821
Std. Abweichung : 1.5939517
Minimum        : 487 @ 2005,1150
Maximum        : 517 @ 846,615
Pixelanzahl    : 3777055
```

Abb. 3: Bildstatistik bei Binning 4x4

Meine Vollformat-Astrokamera ASI6200MC Pro von ZWO ist ein typischer Vertreter aus der Klasse der (aktuell) hochauflösenden Astrokameras und ich wollte nachvollziehen, ob sich das Signal-/Rauschverhältnis der Einzelaufnahmen durch das Binning, wie auch theoretisch vorhergesagt, reduziert. Das Ausleserauschen habe ich zunächst mit der Funktion Bildstatistik in Fitswork ermittelt. Die Abbildungen 1 - 3 zeigen Screenshots der Bildstatistik von Bias-Aufnahmen der ASI6200MC Pro bei verschiedenen Binningfaktoren. Die Kamera war jeweils auf „Lowest Read Noise“) eingestellt.

Man sieht, dass der Mittelwert des Bias-Signals in allen Aufnahmen vergleichbar ist. Das bedeutet, dass die Kamerasoftware offensichtlich die Biaswerte der jeweils gebinneten Pixel addiert und dann auf die Zahl der gebinneten Pixel normiert. Wie erwartet sinken Varianz, Standardabweichung und Anzahl der ausgewerteten Pixel bei steigendem Binningfaktor.

Info

```

ASI6200_BIAS_BIN2-0012-15RGB.fit
[X1: 38, X2: 4754, Y1: 34, Y2: 3166]

Mittelwert      : 2003.0621
Varianz         : 41.263895
Std. Abweichung : 6.4236979
Minimum         : 1895 @ 2205,2635
Maximum         : 2135 @ 605,1321
Pixelanzahl     : 14778361
    
```

Abb. 4: Bildstatistik Addition 4 x Binning 2x2

Info

```

ASI6200_BIAS_BIN2-0012-15RGB_Div4.fit
[X1: 26, X2: 4762, Y1: 22, Y2: 3162]

Mittelwert      : 500.7661
Varianz         : 2.5794958
Std. Abweichung : 1.6060809
Minimum         : 473.75 @ 2205,2635
Maximum         : 533.75 @ 605,1321
Pixelanzahl     : 14878917
    
```

Abb. 5: Bildstatistik normierte Daten aus Abb. 4

Zur Überprüfung habe ich weiterhin vier Bias-Aufnahmen mit Binning 2x2 „manuell“ addiert (Abbildung 4) und das Ergebnis durch 4 geteilt (Abbildung 5). Das Rauschmaß des so gewonnenen, normierten Summenbildes stimmt sehr gut mit dem Rauschmaß des mit Binning 4x4 aufgenommenen Bias-Aufnahmen in Abbildung 1 überein.

Die weitere Auswertung der Daten soll zeigen, ob sich das Rauschen der gebinteten Daten auch in dem Maße verringert, wie theoretisch für eine CMOS-Astrokamera vorhergesagt.

Auf die Unterschiede zwischen „Hardware-Binning“ (nur bei CCD-Kameras) und „Software-Binning“ gehe ich hier nicht ein.

Die folgende Tabelle zeigt die Auswertung der Standardabweichung von Bias-Daten, abgelesen aus der Bildstatistik, die mit den drei Programmen Fitswork, CCDStack und PixInsight an identischen Rohdaten gewonnen wurden.

Fitswork (Bildstatistik ohne Rand)									
Bias	Standardabweichung		Gain	Read-Noise					
	raw	-bad px		raw	Rauschmaß		-bad px	Rauschmaß	
	ADU	ADU	e-/ADU	(e-)	Theorie	Messung	(e-)	Theorie	Messung
Binning 1x1	5,96	3,88	0,25	1,49	100%	100%	0,97	100%	100%
Binning 2x2	3,03	2,19	0,25	0,76	50%	51%	0,55	50%	56%
Binning 4x4	1,59	1,35	0,25	0,40	25%	27%	0,34	25%	35%

CCDStack									
Bias	Standardabweichung		Gain	Read-Noise					
	raw	-bad px		raw	Rauschmaß		-bad px	Rauschmaß	
	ADU	ADU	e-/ADU	(e-)			(e-)	Theorie	Messung
Binning 1x1	5,97		0,25	1,49	100%	100%			
Binning 2x2	3,03	-	0,25	0,76	50%	51%	-	-	-
Binning 4x4	1,60		0,25	0,40	25%	27%			

PixInsight (Skript: Noise Evaluation)									
Bias	Standardabweichung		Gain	Read-Noise					
	raw	-bad px		raw	Rauschmaß		-bad px	Rauschmaß	
	ADU	ADU	e-/ADU	(e-)	Theorie	Messung	(e-)	Theorie	Messung
Binning 1x1		4,02	0,25				1,01	100%	100%
Binning 2x2	-	2,25	0,25	-	-	-	0,56	50%	56%
Binning 4x4		1,41	0,25				0,35	25%	35%

Tabelle 1: Ermittlung des Ausleserausens der ASI6200 bei Binningfaktoren 1, 2 und 4 mit Hilfe von Fitswork, CCDStack und PixInsight (Erläuterungen im Text)

Es zeigt sich, dass selbst bei vermeintlich einfachen Bias-Aufnahmen die Ermittlung des Rauschens nicht trivial ist. Zunächst musste der äußerste Rand des jeweiligen Rohbildes abgeschnitten werden, um Artefakte (wie zum Beispiel „Overscan“) zu vermeiden. Weiterhin beeinflussen offensichtlich Störpixel (Hot- und Cold-Pixel) maßgeblich die Bildstatistik. Fitswork und CCDStack errechnen aus den unbehandelten Rohbildern (in der Tabelle die Spalten „raw“ / grün hinterlegt) identische Ergebnisse für das Ausleserauschen. Wendet man in Fitswork die Routine „Störpixel entfernen“ auf die Rohdaten an, ergeben sich vergleichbare Werte wie in PixInsight nach Anwendung des Skripts „Noise Evaluation“ (in der Tabelle die Spalten „-bad px“ / blau hinterlegt). Ich vermute daher, dass in das „Noise-Evaluation-Skript“ von PixInsight auch eine Art Störpixel-Unterdrückung integriert ist. Fitswork und CCDStack geben die Standardabweichung des Rauschens in ADU (Analog-Digital-Units) an. Dieser Wert muss noch mit der Verstärkung multipliziert werden, um auf das übliche Rauschmaß in der Einheit „Elektronen“ zu kommen. Der in PixInsight ermittelte Wert für Sigma muss zuvor noch mit 65535 (=16bit) multipliziert werden, um ADUs zu erhalten. Bei der Einstellung „Lowest Read Noise“ beträgt die Verstärkung der ASI6200MC Pro laut Handbuch 0,25 Elektronen/ADU.

Im Ergebnis habe ich für das Ausleserauschen meiner ASI6200MC Pro ohne Binning (bei der Einstellung „Lowest Read Noise“) einen Wertebereich von 1 - 1,5 Elektronen (e-) ermittelt. Eine Reduzierung der Störpixel verringert dabei (erwartungsgemäß) das Rauschen um rund 50% von 1,5 Elektronen (e-) auf 1 Elektron (e-). Diese Werte stimmen gut mit der Herstellerangabe von 1,2 Elektronen (e-) überein.

Theoretisch steigt beim Binning das Ausleserauschen proportional zur Quadratwurzel der Anzahl der „zusammengeschalteten“ Pixel, wird jedoch bei der Normierung der Bildwerte mit der Anzahl der addierten Pixel linear reduziert. Das bedeutet zum Beispiel:

Binningfaktor 2:

4 Pixel ergeben doppeltes Rauschen - dies geteilt durch 4 ergibt eine Halbierung des Rauschens im Vergleich zum Rauschen bei Binningfaktor 1

Binningfaktor 4:

16 Pixel ergeben vierfaches Rauschen - dies geteilt durch 16 ergibt ein Viertel des Rauschens im Vergleich zum Rauschen bei Binningfaktor 1

Diese theoretisch vorhergesagte Reduzierung des Ausleserauschens durch Binning konnte ich im Rahmen dieser Analyse tendenziell nachvollziehen. Das Ausmaß der Rauschreduzierung wird jedoch (zumindest scheinbar) nicht ganz erreicht (siehe Tabelle die Spalten „Rauschmaß – Theorie – Messung“). Als hauptsächliche Ursache für diese Abweichung von der Theorie vermute ich den Einfluss von Störpixeln auf die Auswerteroutinen der Analysesoftware. An kleinen Bildausschnitten ohne sichtbare Störpixel konnte ich eine bessere Übereinstimmung der Reduzierung des Ausleserauschens durch Binning mit der theoretischen Vorhersage beobachten. Bei kleinen Bildausschnitten erschwerten jedoch zunehmende, statistische Schwankungen die Interpretation der Daten.

Osnabrück, im Mai 2022

Gerd Althoff