

CCD

Observatoriumspraktikum

ABSTRACT

Bei diesen zwei Praktika hatten wir die Aufgabe Daten einer CCD-Kamera mit dem Programm ImageJ auszuwerten.

1. Arbeitsweise mit ImageJ

Mit dem Programm ImageJ kann man das mit der CCD-Kamera aufgenommene Bild nicht nur ansehen, sondern es werden auch im sogenannten Header alle relevanten Daten zur Aufnahme, wie zum Beispiel Aufnahmelänge, Aufnahmezeitpunkt und Temperatur bei der Aufnahme automatisch abgespeichert.

Um geringe Helligkeitsunterschiede zu erkennen, kann man die maximale und die minimale Helligkeit, die man am Bild erkennen möchte angeben. Die Helligkeitsunterschiede werden dann übertrieben angezeigt, dafür wird alles, was heller bzw. dunkler ist, schwarz bzw. weiß dargestellt.

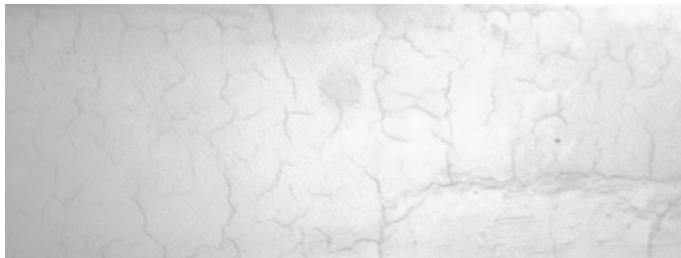


Abb. 1: Durch Einschränken auf einen geringen Helligkeitsbereich, sieht man jede noch so kleine Ritze an der Wand.

Im Gegensatz zu den meisten anderen Bildbearbeitungsprogrammen gehen bei diesem Vorgang keine Daten verloren. An jedem Punkt ist immer noch die Helligkeit des ursprünglichen Bildes eingespeichert, sodass man jederzeit zum ursprünglichen Bild zurückkehren kann.

Wie groß ein sinnvoller Helligkeitsunterschied ist, kann man mit mehreren Funktionen erkennen: Einerseits kann man durch überfahren einer Stelle mit der Maus die maximale und minimale Helligkeit sowie den Median und das arithmetische Mittel an dieser Stelle ablesen. Andererseits kann man auch für das gesamte Bild ein Diagramm erhalten. In diese Grafik kann man auch hineinzoomen. Leider wird die Helligkeit dabei in einer vom Instrument abhängigen linearen Helligkeitseinheit angegeben.

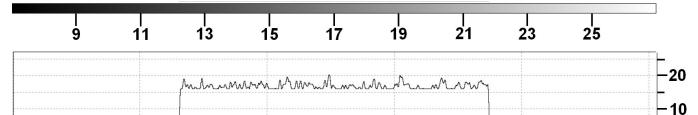


Abb. 2: In der Zeile ist die Helligkeit eingetragen, darüber in welcher Graustufe die Helligkeit aktuell am Bild dargestellt wird. In der Spalte ist eingetragen, wie oft die Helligkeit vorkommt. Man erkennt, dass das Helligkeitsintervall größer als notwendig gewählt wurde, weil für $h < 12$ und $h > 22$ Farben angegeben werden, in denen keine Bereiche im Bild dargestellt werden.

Auch die Auflösung kann man variieren. Standardmäßig ist die feinste Auflösung eingestellt, man kann aber auch eingeben, dass das Programm das Licht von mehreren Pixeln zu einem Rechteck zusammenzählen soll, wobei man sowohl die Länge als auch die Breite in Pixeln angeben kann.

Das kann zum Beispiel sinnvoll sein, wenn man ein Objekt detektieren soll, das so leuchtschwach ist, dass in einem einzelnen Pixel nicht genug Photonen gemessen werden, um die zu messende Eigenschaft zu erkennen.

2. Arbeitsweise mit der CCD-Kamera

Die Kamera ist so empfindlich, dass man auch unerwünschte Photonen detektiert. Diesen Effekt nennt man Schwarzschildeffekt. Man unterscheidet zwischen jenen Photonen, die immer vom Gerät emmitiert werden, und daher auf jedem Bild vorhanden sind und denen, die nur manchmal detektiert werden, z.B. wegen kosmischer Strahlung.

Um die unerwünschten Photonen zu eliminieren, muss man im ersten Schritt das Gerät lichtdicht abschließen. Wenn man dann ein Foto aufnimmt, sind nur die vom Gerät emmitierten Photonen, und die Photonen, die nur manchmal detektiert werden abgebildet.

Die Photonen, die nur einmal ausnahmsweise detektiert werden, kann man eliminieren, indem man dasselbe Bild drei mal aufnimmt und an jeder Stelle diejenige Helligkeit nimmt, die zwei mal gemessen wird. Das muss man sowohl mit dem tatsächlichen als auch mit dem lichtdicht abgeschlossenen Bild ausführen.

In den seltenen Fällen, dass kosmische Strahlung bei mehreren Aufnahmen an der selben Stelle auftritt, und dadurch an dieser Stelle keine Helligkeit zwei mal gemessen wird, muss man die Aufnahme so oft wiederholen, bis an jeder Stelle die Helligkeit mindestens zwei mal gleich ist.

Anschließend muss man die Helligkeit des lichtdicht abgeschlossenen Bildes vom tatsächlichen Bild abziehen, um auch die vom Gerät emittierten Photonen zu eliminieren.

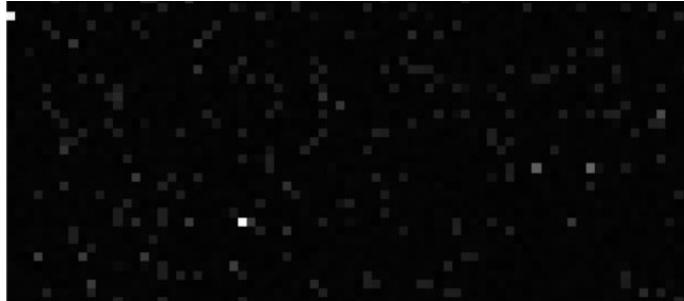


Abb. 3: So sieht das Foto mit dem lichtdicht abgeschlossenen Teleskop aus. Die weißen Punkte sind die emittierten Photonen.

Wenn man ein Bild mit langer Belichtungsdauer aufnimmt, ist es Zeitverschwendug eine genau so lange Beobachtungsdauer für mehrere Bilder mit lichtdicht abgeschlossener Kamera zu verwenden. Statt dessen kann man davon ausgehen, dass die Störung linear mit der Zeit ($Dt + B$) zunimmt.

B (steht für Bias) misst man, indem man nur ein paar Millisekunden belichtet, sodass der Term Dt vernachlässigbar klein ist.

D (steht für Dark) misst man, indem man 1 Minute beobachtet und den vorher gemessenen Bias abzieht. (je nachdem wie genau man den Wert haben möchte, kann man auch eine andere Zeitspanne verwenden).

Am Ende kann man für t jede beliebige Belichtungszeit einsetzen und so die Helligkeit der vom Gerät emittierten Photonen an jeder Stelle nach dieser Beobachtungszeit berechnen.

Dass die Helligkeit in einer vom Teleskop abhängigen Einheit angegeben wird, ist meistens egal, weil man die Messwerte nur verwendet, um sie von einem Bild abzuziehen, das mit derselben Kamera gemessen wurde, sodass die selbe Helligkeitseinheit verwendet wird.

Wenn man die Helligkeit in Magnituden doch einmal braucht, muss man in der Bedienungsanleitung des Teleskops nachsehen, wie groß der Wert G (steht für gain) für das verwendete Teleskop ist und mit diesem Multiplizieren.

3. Unsere Aufgabe

Unsere Aufgabe war es, Dark und Bias für unterschiedliche Temperaturen zu bestimmen um den Zusammenhang zwischen Beobachtungstemperatur und unerwünschten

Photonen herauszufinden und zu plotten. Da der Wert an jeder Stelle des Bildes unterschiedlich ist, sollten wir Mittelwert, Median und Standardabweichung angeben.

Die unrunden Temperaturen in der folgenden Tabelle kommen dadurch zustande, dass die Temperatur während der Messung von der Klimaanlage nicht auf einen konstanten Wert gehalten werden kann. Dadurch wurden auch Dark und Bias nicht bei der exakt gleichen Temperatur gemessen. Da der Dark stärker von der Beobachtungstemperatur als der Bias abhängt, wurde für die folgenden Tabellen, Berechnungen und Graphen immer die Temperatur des Darks verwendet.

Bei hohen Temperaturen konnten wir kürzere Beobachtungszeiten verwenden, weil man dort den Dark genauer bestimmen kann und daher nicht mehr über so eine große Zeit mitteln muss.

Der Wert d gibt an, um wie viel der Wert Dark pro Sekunde zunimmt. Um diesen Wert zu ermitteln, muss man zunächst den Bias vom Dark abziehen, um die Gesamtzunahme des Darks während der gesamten Beobachtungszeit zu erhalten. Dann muss man die Gesamtzunahme durch die Beobachtungszeit dividieren. Damit d in Magnituden angegeben wird, muss man das Ergebnis noch mit dem Gain multiplizieren. Für unser Teleskop mit dem Namen Asi hat G den Wert 8.

Insgesamt lautet die Formel für unser Teleskop daher

$$d = 8 \frac{D - B}{t} \quad (1)$$

3.1. Unsere Messwerte

T in °C	Bias			Dark			t in s	d	
	ϕ	M	σ	ϕ	M	σ		ϕ	M
-5,1	16,52	16	2,91	25,94	16	31,7	60	1,26	0,0
-2,8	16,52	16	2,90	26,12	16	37,6	60	1,28	0,0
-1,5	16,47	16	2,78	26,20	16	28,7	60	1,30	0,0
1,3	16,53	16	2,93	26,16	16	35,6	60	1,28	0,0
3,2	16,51	16	2,88	26,83	16	42,0	60	1,28	0,0
5,3	16,52	16	2,93	25,94	16	68,6	60	1,26	0,0
7,3	16,54	16	3,0	28,3	32	78,2	60	1,57	2,1
9,7	16,54	16	2,96	27,93	32	66,6	55	1,66	2,3
11,5	16,58	16	3,07	27,00	32	93,1	50	1,67	2,6
13,3	16,53	16	2,95	27,10	16	79,5	45	1,88	0,0
15,3	16,51	16	2,87	26,95	16	110	40	2,09	0,0
17,3	16,55	16	3,02	24,61	16	88,2	30	2,15	0,0
19,3	16,53	16	2,96	26,72	16	121	30	2,72	0,0

Tab. 1: Die in meiner Übungsgruppe gemessenen Werte

- ϕ steht für das arithmetische Mittel
- M steht für den Median
- σ steht für die Standardabweichung
- d steht für die Zunahme des Darks pro Sekunde

Für die Berechnung von d wurden Bias und Dark auf 3 Nachkommastellen gerundet verwendet. Wegen dem begrenzten Platz sind in der Tabelle weniger Nachkommastellen angegeben.

3.2. Zunahme des Darks pro Sekunde

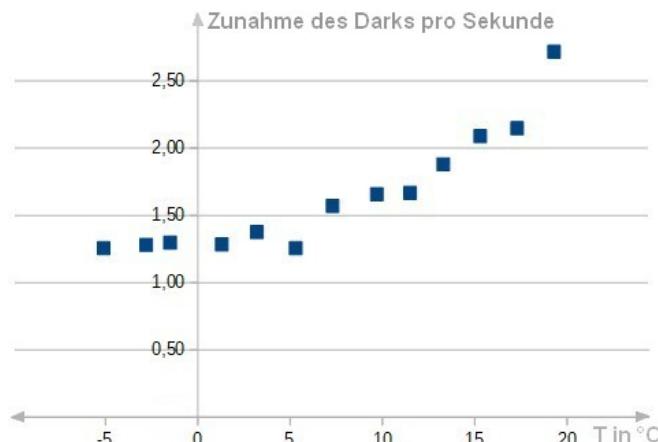


Abb. 4: Die Zunahme des Darks pro Sekunde berechnet nach den Messwerten in meiner Übungsgruppe. Es fällt auf, dass die Magnitude der unerwünschten Photonen für kleine Temperaturen gegen 1 konvergiert. Das heißt, dass es sinnvoll ist, das Teleskop bei der Beobachtung zu kühlen, damit die Störung möglichst klein ist und man sich das Eliminieren der Photonen bei geringen Genauigkeitsanforderungen sogar ganz sparen kann.

3.3. Standardabweichungen



Abb. 5: Die Werte für die Standardabweichung des Bias in meiner Übungsgruppe. Man erkennt, dass der Bias unabhängig von der Temperatur im Vergleich zum Dark immer ziemlich genau gemessen werden kann.

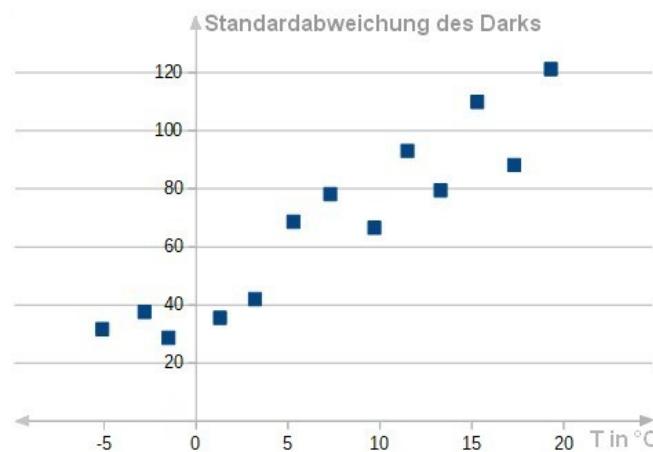


Abb. 6: Die Werte für die Standardabweichung des Darks in meiner Übungsgruppe. Man erkennt, dass die Genauigkeit des Darks mit abnehmender Temperatur zunimmt. Das heißt, dass es gut ist, das Teleskop bei der

Beobachtung zu kühlen, damit die Störung möglichst genau eliminiert werden kann.

3.4. Median

Man erkennt, dass der Median fast immer 16 ist, nur beim Dark zwischen 7,3°C und 11,5°C ist er 32. Das liegt daran, dass unser Auge die Helligkeit logarithmisch wahrnimmt, und daher die Einheit Magnitude bereits im alten Griechenland ohne Wissen über Photonen logarithmisch definiert wurde.

Um die Umrechnung zu erleichtern, gibt das Teleskop die Helligkeitswerte in der Form 2^n an, wobei n die Zahl der Photonen pro Pixel ist. Dort wo der Wert 16 ist, sind folglich 4 Photonen pro Pixel, dort wo der Wert 32 ist 5.

Beim Median ist der Wert für n immer ganzzahlig, weil bei der Berechnung des Medians alle Zahlen hintereinandergeschrieben und der mittlere ausgewählt wird. Dennoch hat der Median im Vergleich zum arithmetischen Mittel den Vorteil, dass er nicht von extrem hellen Stellen (z.B. denen mit kosmischer Strahlung) beeinflusst wird.

Um sinnvolle Werte für den Median zu bekommen, hätte man noch länger messen müssen, sodass viel mehr Photonen gemessen worden wären und es damit viel größere und unterschiedlichere Werte für die Photonenzahl n gebe.

Beim arithmetischen Mittel fällt die kurze Messdauer nicht so sehr ins Gewicht, weil über alle Pixel hinweg sehr viele Photonen detektiert werden und sich so sehr schnell ein genauer Messwert ergibt.

3.5. Arithmetisches Mittel

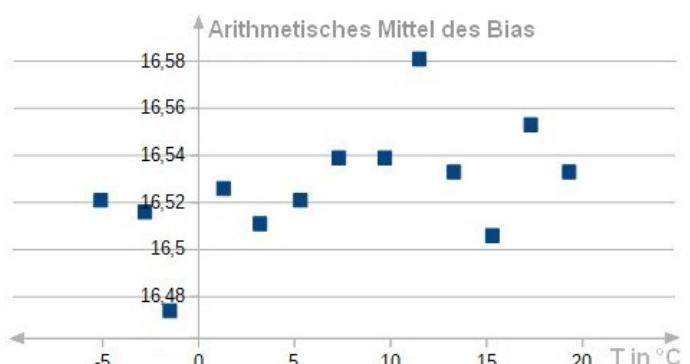


Abb. 7: Die Werte für das arithmetische Mittel des Bias in meiner Übungsgruppe. Man erkennt, dass es unabhängig von der Temperatur fast exakt 16 ist, weil in den überwiegenden meisten Pixeln 16 gemessen wird. Daher verwundert es auch nicht, dass der Median des Bias immer 16 ist.

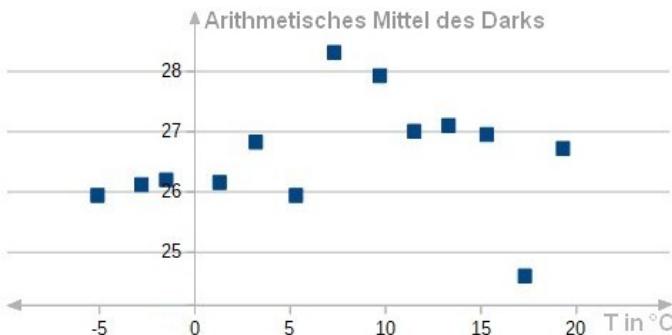


Abb. 8: Die Werte für das arithmetische Mittel des Darks in meiner Übungsgruppe. Man erkennt, dass die Werte zwischen 24 und 28 hin- und herschwanken und somit bereits näher bei 32 als bei 16 sind. Trotzdem ist der Median fast immer 16, weil die Werte mit mehr Photonen durch die Zweierpotenz deutlich stärker in den Mittelwert einfließen.

4. Conclusio

Die Messwerte zeigen, dass es sinnvoll ist, das Teleskop hinunterzukühlen, wenn man Beobachtungszeit sparen möchte, weil sowohl der Dark als auch die Zunahme des Darks pro Sekunde mit der Temperatur zunehmen.

Außerdem ist es sinnvoll, die kosmische Strahlung durch mehrmaliges Aufnehmen zu minimieren, weil sie das arithmetische Mittel beeinflussen und der Median erst bei langen Aufnahmezeiten sinnvolle Werte annimmt.