

Observatoriumspraktikum Dunkelstrombestimmung

KENN Michael, 8725258

22. November 2010

Zusammenfassung

Im Rahmen des Observatoriumspraktikum WS2010 wurden Dunkelstrombestimmungen mit einer CCD-Kamera vorgenommen.

1 Einleitung und Zielsetzung

Aufgabe dieser Praxiseinheit ist es, durch Dunkelstrom bedingte innere Störeffekte einer CCD-Kamera zu untersuchen. Beim Dunkelstrom handelt es sich um eine thermisch bedingte spontane Bildung von freien Ladungsträgern die Rauschen verursacht und so zur Beeinträchtigung der Bildqualität führt. Durch Kühlung der CCD-Kamera kann diese Störung unter einer gegebenen Toleranzgrenze gehalten werden. Wir haben deshalb für verschiedene Temperaturen über Zeitspannen von bis zu einigen Minuten die durchschnittliche Ladungsträgerbildung gemessen, normiert und bewertet.

2 Physikalische Grundlagen

Beim Charge-coupled Device, kurz CCD, handelt es sich um einen Photonen-detektor. Dieser liefert ein zur Anzahl der eingefangenen Photonen proportionales Signal. Gespeichert wird dabei auf einem CCD-Chip der anschließend digital ausgelesen wird. Durch geeignete Hilfsmittel wie Mikrolinsen kann eine Quanteneffizienz von bis zu 45% erreicht werden [1]. Abbildung 1 zeigt ein typisches CCD-Bild, das bei einer Kamertemperatur von -5 C° und 10



Abbildung 1: CCD-Bild bei -5 C° und 10 Sekunden Belichtungszeit

Sekunden Belichtungszeit im Rahmen des Praktikums aufgenommen wurde.

Bei Aufnahmen mit einer CCD-Kamera ist zu berücksichtigen, dass ein bestimmter Grundwert, der sogenannte BIAS, schon vor der Belichtung vorhanden ist. Will man den Dunkelstrom messen, muss dieser vom gemessenen Wert MEASURE abgezogen werden. Ferner wird diese Differenz abschließend noch mit der Elektronenausbeute EGAIN multipliziert. So wird der ausgelesene ADU-Wert in Elektronen umgerechnet. Das ergibt für jedes Pixel einen durchschnittlichen Dunkelstrom DARK von

$$\text{DARK} = \frac{\text{MEASURE} - \text{BIAS}}{\text{EXPOSURE TIME}} \cdot \text{EGAIN}$$

Der Dunkelstrom ist demnach hier in Elektronen pro Sekunde und Pixel gegeben. Da durch Absenken der Temperatur der Dunkelstrom weniger wird, muss für robuste Resultate im Gegenzug die Belichtungszeit erhöht werden.

Ein zu beachtender Punkt ist die inhomogene Sensibilität der einzelnen Pixel, die quantitativ unterschiedliche Werte bei gleichem Photoneneinfall

liefern können. Dieses Problem ist zwar zumeist vernachlässigbar, kann aber nur durch breiteres Datenmaterial, also die parallele Analyse mehrerer Pixelpunkte, ausgeschlossen werden. Einen geringen Einfluss spielt auch die Detektion von energiereichen kosmischen Partikeln, den sogenannten Cosmics. Diese sind in den meisten Fällen jedoch nicht häufig genug um ins Gewicht zu fallen.

3 Messvorgang

Die Versuchsdurchführung erfolgt mittels der CCD-Kamera mit der Typenbezeichnung ST-8. Ein Datenblatt steht im Rahmen des Praktikums zu Verfügung. Die Messwerte finden sich im Anhang A.

Beim Messvorgang wird zunächst die gewünschte Temperatur und Belichtungszeit eingestellt. Um sinnvolle Ergebnisse zu erhalten empfiehlt es sich bei niedrigeren Temperaturen deutlich längere Belichtungszeiten zu wählen, da ja in diesem Fall naturgemäß mit einer durchschnittlich geringeren Bildungsrate von Ladungsträgern zu rechnen ist. Wir haben bei 25 C° mit 30 Sekunden Belichtungszeit begonnen, die Temperatur in 3 C° -Schritten reduziert und dabei die Belichtungszeit schrittweise auf 300 Sekunden erhöht. Wie bereits eingangs erwähnt wird pro Messvorgang zunächst das belichtungsfreie BIAS-Bild und kurz darauf das belichtete Dunkelstrombild gemacht.

Für die Aufnahmen und das Auswerten der Daten haben wir die zur Verfügung gestellte Software MaxIm DL Pro 5 Version 5.12 verwendet [2]. Um eine etwas bessere Datensicherheit zu gewährleisten haben wir drei Bildpunkte¹ gewählt und jeweils Mittelwert und Varianz innerhalb eines Radius von 20 Pixel ausgelesen. Ferner haben wir auch noch die Mediane betrachtet, die hier aber durchwegs sehr nah an den Mittelwerten liegen und deshalb auf eine symmetrische Verteilung schließen lassen.

Beim Auswerten der Daten haben wir gesehen, dass bei unseren Datenreihen teilweise die Temperaturen der BIAS-Aufnahme nicht mit den Anfangstemperatur der Dunkelstrommessung exakt übereinstimmen. Die Differenz ist jedoch durchwegs kleiner als 0.5 C° und stellt mit einer Ausnahme kein Problem dar. Erwähnenswert ist lediglich der Datenpunkt bei Temperatur -4.8 C° . Dort ist nämlich der ausgelesene Wert vor Abzug des BIAS geringer als der zugehörige BIAS-Wert selbst. Dafür haben wir drei mögliche

¹ $P_1 = (80, 80)$, $P_2 = (100, 80)$ und $P_3 = (120, 80)$

Erklärungen. Einerseits könnte es an den leicht unterschiedlichen Messtemperaturen liegen. Das ist aber eher unwahrscheinlich. Wahrscheinlicher ist eher die Varianz der Daten, dass sich also die beiden Messwerte nicht signifikant unterscheiden. Eine weitere Möglichkeit besteht natürlich auch in einem Bedienungsfehler bei der Versuchsdurchführung.

4 Auswertung

Durch die Mittelwertbildung der 3 Datenpunkte reduziert sich die Standardabweichung der Messgrößen um den Faktor $\sqrt{3}$. Damit wird es auch schwieriger einen passenden Fit durch die Messpunkte zu legen. Mit einem Exponentialansatz und Least-Square-Fit² ist dies gerade noch gelungen:

$$\text{DARK}(T) = e^{-2.625+0.171 T}$$

Dabei bezeichnet T die Temperatur in C° und DARK den Dunkelstrom in Elektronen pro Sekunde und Pixel. Das stellt eine Masseinheit dar, wieviel analoges Signal letztendlich in digitaler Form am CCD-Chip gelandet ist³. Abbildung 2 illustriert dieses Ergebnis.

²Die Auswertung wurde mit Mathematica vorgenommen.

³Siehe dazu beispielsweise [3].

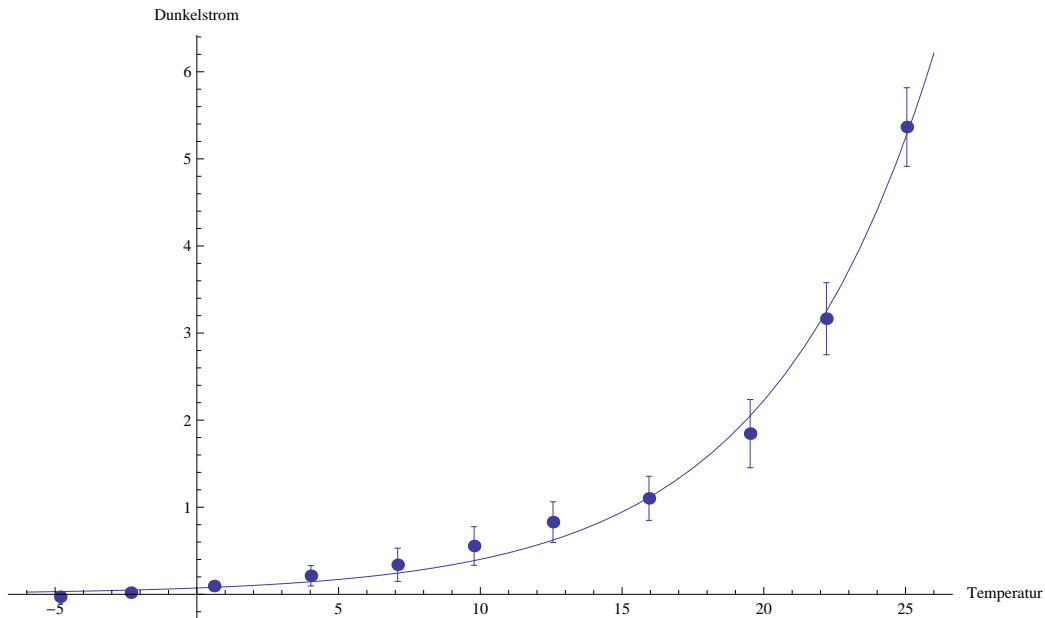


Abbildung 2: Dunkelstrom in Elektronen pro Sekunde und Pixel

5 Schlussfolgerungen

Der Versuch hat durchwegs plausible Resultate geliefert. Der von uns gemessene Dunkelstrom liegt bis 10 C° deutlich unter dem vom Hersteller im Datenblatt angegebenen Wert von einem Elektron pro Sekunde und Pixel.

Um unsere Resultate abzusichern wäre es aber auf alle Fälle ratsam bei einer neuerlichen Versuchsdurchführung mehrere Aufnahmen pro Temperatur zu machen und mit den gemittelten Werten zu rechnen.

A Daten

In der folgenden Tabelle sind die Mittelwerte der 3 betrachteten Datenpunkte angeführt. Es gilt durchwegs $\text{EGAIN} = 2.390$. Beim letzten Datensatz beträgt die Temperatur bei der BIAS-Aufnahme $T = -4.403\text{ C}^\circ$. Der Widerspruch in der letzten Zeile zwischen MEASURE und BIAS ist am ehesten durch die Varianz der Daten zu erklären.

Die im Praktikum verwendeten Daten und Hilfsmittel finden sich auf <http://www.kenn.at/Observatoriumspraktikum/>.

Temperatur [C°]	Belichtungszeit [Sek.]	MEASURE [ADU]	BIAS [ADU]	Dunkelstrom [e ⁻ /Sek.]
25.045	30.000	181.289	113.933	5.366
22.209	30.000	151.518	111.786	3.165
19.518	30.000	132.356	109.203	1.845
15.949	50.000	131.803	108.742	1.102
12.564	50.000	125.786	108.442	0.829
9.781	50.000	118.188	106.571	0.555
7.084	60.000	113.299	104.779	0.339
4.024	100.000	114.035	105.122	0.213
0.611	300.000	118.290	106.422	0.095
-2.325	300.000	108.621	106.224	0.019
-4.818*	300.000	103.351	106.892	-0.028

Tabelle 1: Setup, Mittelwerte der ausgelesenen Datenpunkte sowie daraus errechneter Dunkelstrom

Literatur

- [1] CCD-Technik für Sternfreunde
<http://www.astro-siggi.de/tutorial-ccd-technik.html>
- [2] Defraction Limited
<http://www.cyanogen.com/>
- [3] Analog-Digital-Umsetzer
<http://de.wikipedia.org/wiki/Analog-Digital-Umsetzer>