

CCD-Kamera

Astronomisches Praktikum

Leonard Burtscher

4. Dezember 2003

1 Einleitung

Die CCD-Kamera hat die Photoplatte als wichtigster Photonen-Detektor im sichtbaren und nahen infraroten Bereichen abgelöst. Zu den Vorzügen der CCD-Kamera zählen eine hohe Quanteneffizienz von fast 100 Prozent (herkömmlicher Foto-Film erreicht nur etwa 1 Prozent Quanteneffizienz) und die Linearität der Messung über einen großen Bereich (von wenigen Elektronen bis zur Full Well Capacity von bis zu einer halben Million Elektronen pro Pixel). Allerdings sind mit der CCD-Technik auch ein paar prinzipbedingte Nachteile verbunden, die sich aber mit entsprechenden Korrekturen größtenteils gut kompensieren lassen. Zu nennen wären hier der thermisch bedingte Dunkelstrom sowie das Ausleserauschen. In den folgenden Versuchen soll der Dunkelstrom in Abhängigkeit von Temperatur (3.1.1) und in Abhängigkeit von der Belichtungszeit (3.1.2) gemessen werden. Außerdem sollen die Linearität des Chips getestet und die Full Well Capacity bestimmt werden (3.2).

2 Versuchsaufbau

Die in dem Versuch verwendete CCD-Kamera hatte folgende Spezifikationen:

- Hersteller: DTA (Internet: <http://www.dta.it>)
- Vertrieb in Deutschland: Scientific Instruments
- Chip: kaf-400E (Kodak)
- Pixelgröße: $9 \times 9 \mu\text{m}^2$
- Chipgröße: $6.91 \times 4.6 \text{mm}^2$
- ADC-Auflösung (Tiefe): 14 Bit
- Chip-Auflösung (räumlich): 768x512 Pixel

Die CCD-Kamera war an einen Standard-PC angeschlossen und wurde über diesen mit dem Steuerungsprogramm *Vista* bedient.

3 Versuchsdurchführung

3.1 Messung des Dunkelstroms

Der größte Teil des Rauschens bei der Messung mit dem CCD-Chip ist thermisches Rauschen. Dieser sog. Dunkelstrom ist also umso größer, je größer die Temperatur des Chips ist. Die Abhängigkeit des Dunkelstroms von der Temperatur (bei konstanter Messzeit) und von der Messzeit (bei konstanter Temperatur) sollen im Folgenden untersucht werden.

3.1.1 Bestimmung des Dunkelstroms für verschiedene Temperaturen

Um den Dunkelstrom für verschiedene Temperaturen zu bestimmen, wählten wir für die Einstellungen der CCD-Kamera einen Gain von

$$g = \frac{11.8e^-}{ADU} \quad (1)$$

Der Gain gibt an, wieviele Elektronen zu einem Count zusammengefasst werden sollen. Die Belichtungszeit wählten wir zu 60s und das Binning zu 1×1 . Es wird also jedes Pixel separat ausgewertet.

Da der Rand des Bildes meistens mehr Rauschen enthält als der Zentralbereich, wählten wir in dem Auswerteprogramm *Vista* einen Bereich in der Mitte des Bildes aus, von dem wir uns das Histogramm für jede Messung anzeigen ließen. Dem Histogramm entnahmen wir jeweils die gemittelten (Median) Counts (ADU) sowie die Standardabweichung σ . Anschließend wurde die Temperatur des CCD-Chips verändert und nach Temperaturstabilisierung (Temperaturänderungen $< 0.2^\circ C/5min$) wurde erneut ein Dunkelbild erstellt und mit der Software das Histogramm ausgewertet.

Um negative Elektronenzählraten, die z.B. durch thermisches Rauschen bei geringer Photonenzählrate auftreten könnten, zu verhindern, sind die meisten CCDs mit einem so genannten Bias ausgestattet. Das ist ein fest voreingestellter Startwert (ADUs) je Pixel.

Man erhält diesen Wert (+ Ausleserauschen), wenn man eine Belichtung mit 0s macht und sich das Histogramm ansieht. Um den wahren Dunkelstrom zu erhalten, muss man nun die Bias-Werte vom gemessenen scheinbaren Dunkelstrom (Dunkelstrom mit Bias) abziehen. Außerdem muss man beachten, dass mit Dunkelstrom normalerweise „mittlere Anzahl der Elektronen pro Pixel und Zeit“ gemeint ist und nicht etwa „mittlere Anzahl der ADUs pro Pixel und Zeit“. Der Bias-korrigierte Wert ist also darüberhinaus noch mit dem Gain (siehe Gl. 1) zu multiplizieren. Mit dem Programm *Mathematica* lässt sich dies bequem berechnen. Die Ergebnisse sind in Tabelle 1 aufgelistet.

Temperatur [°C]	Count [e^- /(Pixel)]
-10	37.701
-5	53.041
0	80.3698
5	144.975
10	260.308
15	480.461

Tabelle 1: Dunkelstrom-Elektronen-Count in Abhängigkeit von der Chip-Temperatur (Bias-korrigiert)

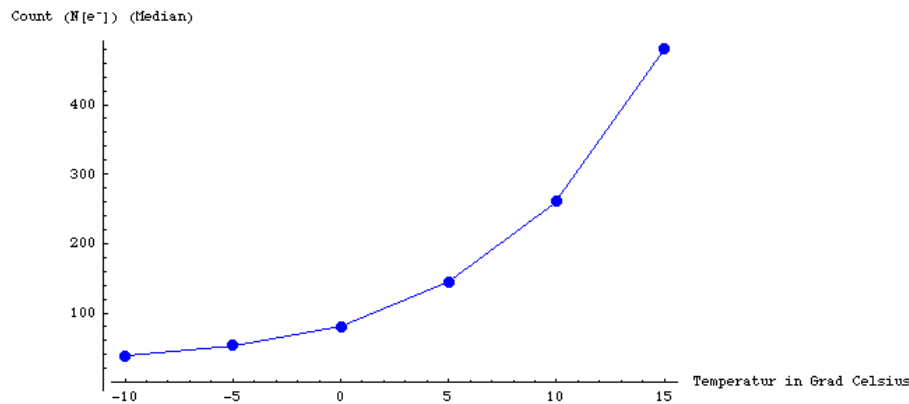


Abbildung 1: Dunkelstrom-Elektronen-Count gegen Temperatur (Bias-korrigiert)

Um den schon aus den Zahlen ersichtlichen Zusammenhang zwischen der Temperatur des CCD-Chips und dem Dunkelstrom noch zu verdeutlichen, wurde der Dunkelstrom in Abb. 1 gegen die Temperatur aufgetragen.

Diskussion: Der Dunkelstrom nimmt mit der Temperatur stark zu. Er zeigt exponentielles Verhalten. Das Temperaturintervall, in dem sich der Dunkelstrom verdoppelt, beträgt etwa 6 °C.

3.1.2 Bestimmung des Dunkelstroms für verschiedene Messzeiten

Als nächstes soll der Dunkelstrom für verschiedene Messzeiten bei konstanter Temperatur $T = 0^\circ\text{C}$ bestimmt werden. Gain und Binning wurden wie oben (vgl. Gl. 1) gewählt. Auch die Auswertung verläuft ähnlich wie unter 3.1.1: Die gemessenen ADU-Counts werden zunächst auf Bias korrigiert und anschließend mit dem Gain g multipliziert. Die so entstehenden Daten entnehme man Tabelle 2, eine graphische Auftragung ist in Abbildung 2 zu sehen.

Belichtungszeit [s]	Count [e^- /(Pixel)]
0	0.0
30	42.0906
60	80.3698
120	163.902
200	287.177
300	462.643
500	759.837
600	939.882

Tabelle 2: Dunkelstrom-Elektronen-Count in Abhängigkeit von der Zeit (Bias-korrigiert)

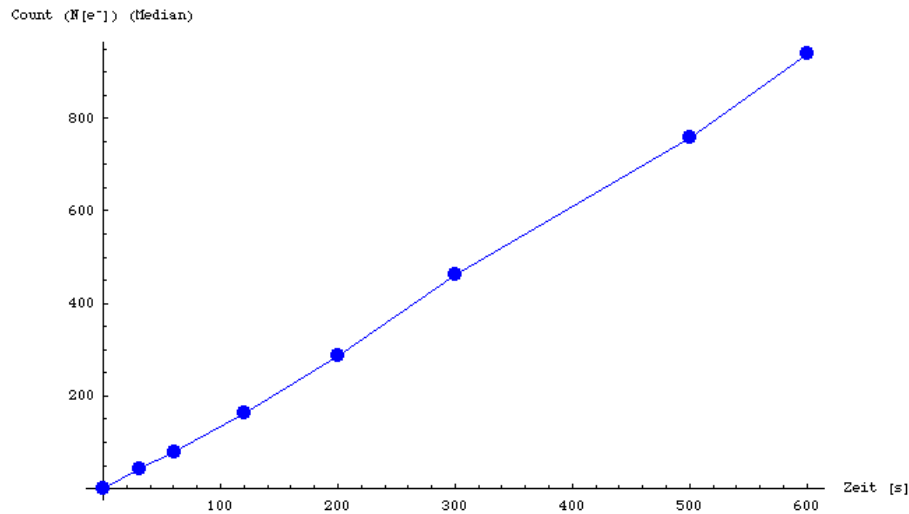


Abbildung 2: Dunkelstrom-Elektronen-Count gegen Zeit (Bias-korrigiert)

Diskussion: Die Dunkelstrom-Elektronen-Zählrate zeigt eine Eigenschaft, die im Folgenden näher untersucht werden soll: Sie steigt linear mit der Zeit an.

3.2 Prüfen der Linearität und Bestimmen der Full Well Capacity

Einer der großen Vorzüge von CCD-Chips gegenüber herkömmlichen lichtsensitiven Detektoren ist die Linearität über einen großen Bereich, d.h. eine doppelt so lange Belichtung führt bis zu einer gewissen Grenze zu einem doppelt so großen Elektronen-Count im Chip. Die Grenze der Linearität ist durch die sog. Full Well Capacity („Kapazität bis das Fass überläuft“) bestimmt, die eine Chip-Eigenschaft ist. Bessere CCDs haben in der Regel eine größere Full Well Capacity, d.h. sie fassen mehr Elektronen je Pixel.

Die Messung wurde wieder bei konstanter Temperatur ($T = 0^\circ\text{C}$) durchgeführt, diesmal sollte allerdings nicht der Dunkelstrom, sondern das tatsächliche Messsignal gemessen werden. Es wurde also die Staubschutzkappe von der Öffnung der CCD-Kamera genommen und stattdessen mit einigen (14) Blatt weißem Papier bedeckt, damit die eindringende Intensität nicht zu groß ist.

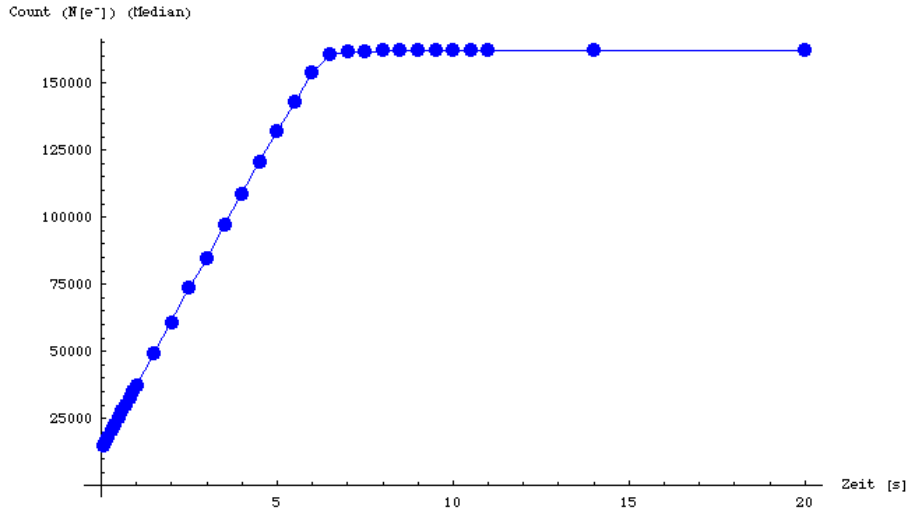


Abbildung 3: Elektronen-Count gegen Zeit

Das Experiment bestätigte die Linearität des CCD-Chips auf exzellente Weise. Bis zu einer Belichtungszeit von etwa 6.5s steigt der Elektronen-Count linear mit der Belichtungszeit. Dann geht der Graph in Abbildung 3 in eine zur Zeit-Achse parallele Gerade über, was das Erreichen der Full Well Capacity bedeutet, die etwa bei $162.000e^- / \text{Pixel}$ liegt, wie am besten aus Tabelle 3 ersichtlich ist.

Belichtungszeit [s]	Count [e^-/(Pixel)]
0.05	14690.
0.1	15829.7
0.2	18143.1
0.3	20491.1
0.4	22807.9
0.5	25208.4
0.6	27614.1
0.7	29989.4
0.8	32438.7
0.9	34859.7
1.	37286.2
1.5	49159.2
2.	60871.5
2.5	73431.4
3.	84532.1
3.5	97022.3
4.	108768.
4.5	120518.
5.	131828.
5.5	142994.
6.	153733.
6.5	160688.
7.	161524.
7.5	161825.
8.	162014.
8.5	162033.
9.	162043.
9.5	162047.
10.	162058.
10.5	162056.
11.	162062.
14.	162139.
20.	162120.

Tabelle 3: Elektronen-Count in Abhängigkeit von der Zeit