

Teil 1 – CCD-Kamera Dunkelstrombestimmung

Theorie

Eine CCD (Charge-coupled Device) ist ein Photodetektor, welcher ein Signal, welches proportional zur aufgefundenen Lichtmenge liefert. Die Quanteneffizienz einer CCD ist mit bis zu 90% sehr hoch, weiters ist die nachfolgende Bearbeitung der Daten relativ einfach, da ein digitales Signal vom Chip ausgegeben wird. Wichtige Kenngrößen einer CCD sind die Pixelgröße, Pixelanzahl, Bildtiefe, Full Well Capacity und der Dunkelstrom. Zu letzterem ist folgendes zu noch zu sagen; er besteht aus einer Zeit und Temperaturabhängigen Komponenten, welche oft selbst auch als (reiner) Dunkelstrom und einem unabhängigen Grundlevel dem so genannten Bias. Der Dunkelstrom wird vor allem durch thermische Schwingungen der Atome und Moleküle in den Pixeln verursacht. Weiters sind auch einzelne Pixel empfindlicher als andere, was zu einer zufälligen, jedoch reproduzierbaren Verteilung des Rauschens über dem Chip führt. Eine weitere Störquelle sind Partikel der Kosmischen Strahlen, welche eine starke Störung in mehreren Pixeln verursachen, wenn sie durch den Chip durchtreten. Zum Glück kommt dies jedoch noch nur relativ selten vor.

Aufgabenstellung

Es war verlangt den die Störeffekte, welche der CCD-Kamera selbst gegeben sind, in Abhängigkeit von der Temperatur zu messen. Hierzu waren Bias- und Dunkelstrom-Werte bei verschiedenen Temperaturen zu bestimmen.

Durchführung

Im ersten Teil des Praktikums wurden mit der CCD-Kamera die nötigen Daten für die Aufgabe gemessen. So wurde die Kamera zuerst einmal auf -6°C gekühlt und dort der Bias gemessen. Anschließend wurde ein 60 Sekunden langes Dunkelbild aufgenommen. In nächsten Schritt wurde die Temperatur des Kamerachips um 3°C erhöht und danach nochmals diese Vorgang wiederholt bis eine Temperatur von 21°C erreicht wurde. Im zweiten Teil wurden dann die gewonnenen Daten mit Hilfe des Programms MaximDL analysiert. Wir maßen bei jeder Aufnahme an immer der gleichen Stelle(+ Umkreis) die mittlere ADU-Zahl, welche der Chip registriert hatte. Daraus berechneten wir uns dann die gesuchten Parameter. Bei der Auswahl der Stelle gaben wir acht, dass im Messbereich kein Comics aufgetroffen war.

Messwerte

Koordinaten auf dem Chip: $X=100$, $Y=100$;
Radius der Blende = 20;

Bias

T [$^{\circ}\text{C}$]	Mittelwert [ADU]	Standardabweichung [ADU]
-6,060	99,008	4,811
-2,741	98,734	4,500
-0,232	99,173	4,489
2,735	100,287	4,361
5,762	99,751	4,440
8,873	100,302	4,528
12,094	100,272	4,416
14,478	100,497	4,438
17,453	101,892	4,677
21,000	104,544	5,104

Mittelwerte des Mittelwertes des Bias = 100,446

Dunkelstrom 60 Sekunden

T [°C]	Mittelwert [ADU]	Standardabweichung [ADU]	Dark-Bias [ADU]	Dark-Bias[e-/pix/s]
-5,646	108,487	19,136	8,041	0,3082
-3,157	109,064	23,998	8,618	0,3304
0,189	112,204	32,634	11,758	0,4507
3,163	115,788	42,698	15,342	0,5881
6,201	123,376	57,133	22,930	0,8790
8,423	133,470	74,435	33,024	1,2659
11,161	144,906	95,704	44,460	1,7043
14,478	163,784	134,891	63,338	2,4280
17,963	192,498	181,466	92,052	3,5287
21,000	258,316	269,911	157,870	6,0517

Auswertung

Zuerst wurden die Biaswerte betrachtet. Diese waren auf dem vom uns betrachteten Bereich unabhängig von der Temperatur wie erhofft. Man sieht zwar eine kleine Tendenz nach oben bei höheren Werten, doch da diese noch innerhalb der Fehlergrenzen liegen, wird der Bias von uns als konstant mit 100,446 ADU angenommen.

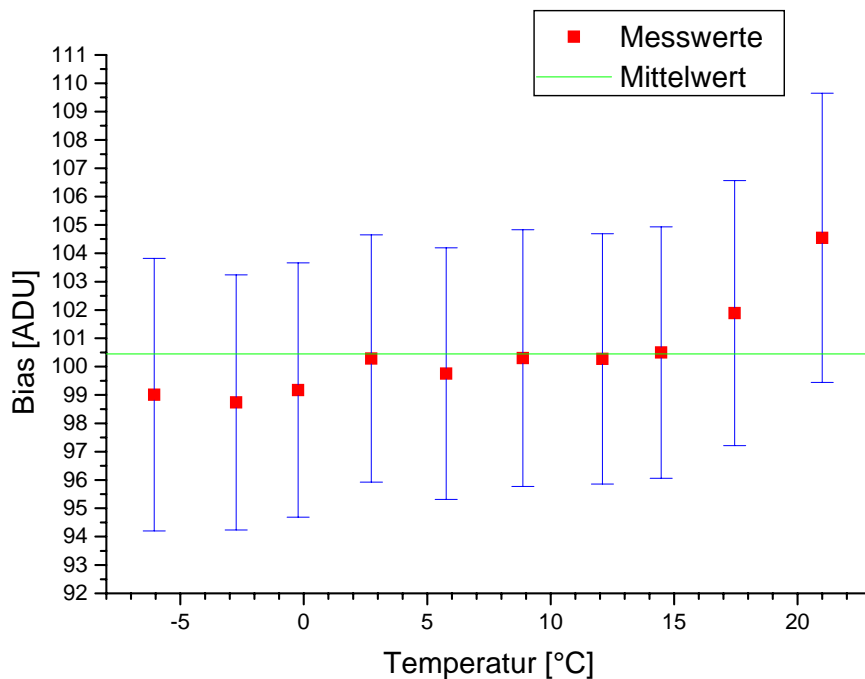


Abb.1: gemessene Biaswerte mit Standardabweichung in Abhängigkeit der Temperatur

Nun werfen wir einen Blick auf unsere Dunkelstromwerte und trugen auch sie gegen die Temperatur auf. Es zeigte sich ein exponentielles Wachstum mit zunehmender Temperatur. Jedoch lag die Funktion auf einem Level von etwa 100 ADU über der Null. Dies ist dadurch zu erklären, dass natürlich noch der Bias abgezogen werden muss, welche ja auch beim Bestimmen des Dunkelstroms mit gemessen wird.

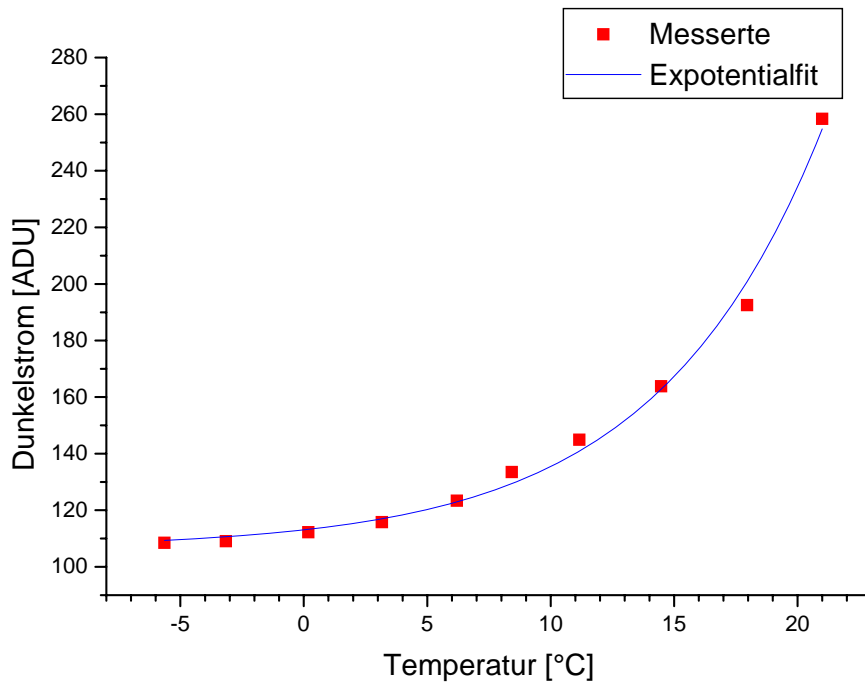


Abb.2: gemessener Dunkelstrom(hier noch mit Bias)

Die Standardabweichung des Dunkelstroms verhält sich genauso wie der Dunkelstrom selbst und nimmt mit zunehmender Temperatur auch exponentiell zu. Das zeigt, dass auch die Fluktuation im Chip nicht nur in ihrer Ausprägung sondern auch in ihrer Streuung bei Erwärmung anwachsen. Somit nimmt mit der Temperatur nicht nur das Level der Fluktuationen zu sondern auch die Schwankungsbreite derselben.

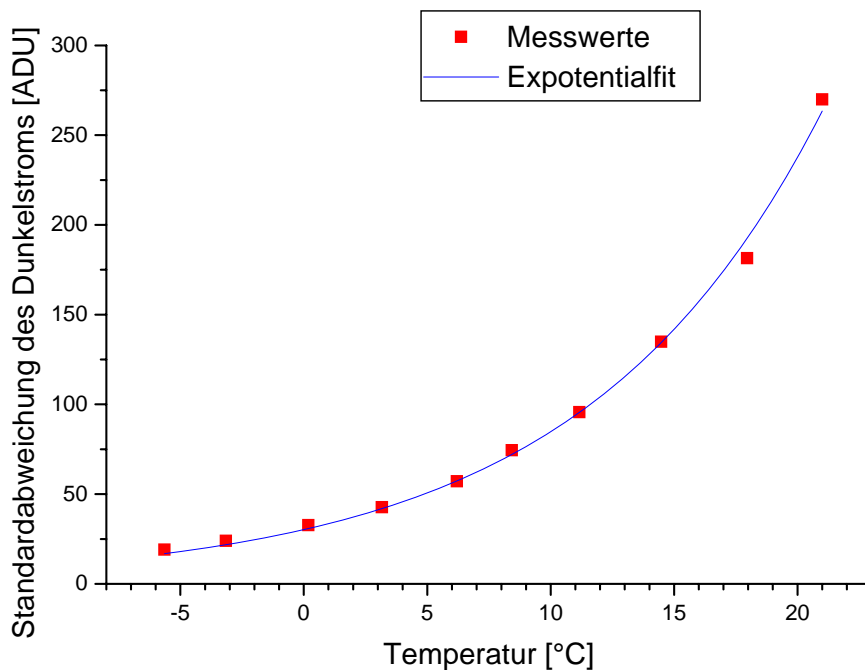


Abb.3: Standardabweichung des Dunkelstroms

Nach dem Abziehen des Bias-Levels vom gemessenen Dunkelstrom erhält man den wahren Dunkelstrom in ADU. Diese muss nach dann noch durch die Belichtungszeit dividieren und mit dem Umrechnungsfaktor von 2,3 (laut Tabelle) multiplizieren um einen anschaulichen Wert in Elektronen pro Pixel pro Sekunde zu erhalten.

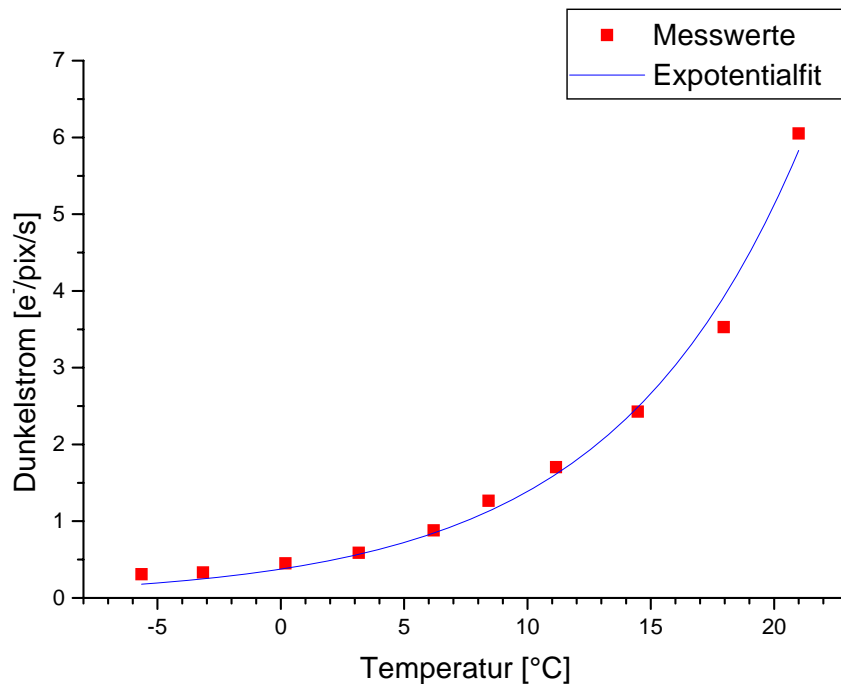


Abb.4: Dunkelstrom in physikalischen Einheiten und abzüglich des Bias-Levels.

Um das Verhalten des Dunkelstroms bei Erwärmung nicht nur qualitativ zu beschreiben sondern quantitativ zu erfassen, nützen wir einen Exponentialansatz. Jedoch sind die Werte, welche Origin5 bei einem Exponentialfit liefert nicht korrekt(bekannter Bug im Programm). Daher müssen wir unseren Ansatz

$$(1) DS = A * e^{\lambda * T}$$

logarithmieren und umformen, damit wir mit einer linearen Regression zu der gesuchten Funktion kommen. Somit erhalten wir

$$(2) \ln(DS) = \ln(A) + \lambda * T$$

Aus der linearen Regression erhalten wir für

$$\lambda = 0,114 \pm 0,004$$

$$\ln(A) = -32 \pm 1$$

$$\rightarrow A = 1,395 * 10^{-14}$$

So erhalten wir für den reinen Dunkelstrom folgende Funktion

$$(3) DS[e^- / pix / s] = 1,395 * 10^{-14} * e^{0,11407 * T[K]}$$

Diese Überlegung kann man dann noch weiter führen um den Dunkelstrom und den Bias gemeinsam zu erfassen. Denn es gilt:

$$(4) \text{ Gesamtwert} = \text{Dunkelstrom} * \text{Zeit} + \text{Bias}$$

Nach Umrechnung des Bias folgt für den Gesamtwert des Dunkelstroms und Bias folgende Formel:

$$(5) \text{ Gesamtwert}[e^- / \text{pix}] = 1,395 * 10^{-14} * e^{0,117 * T[K]} * t[s] + 231$$

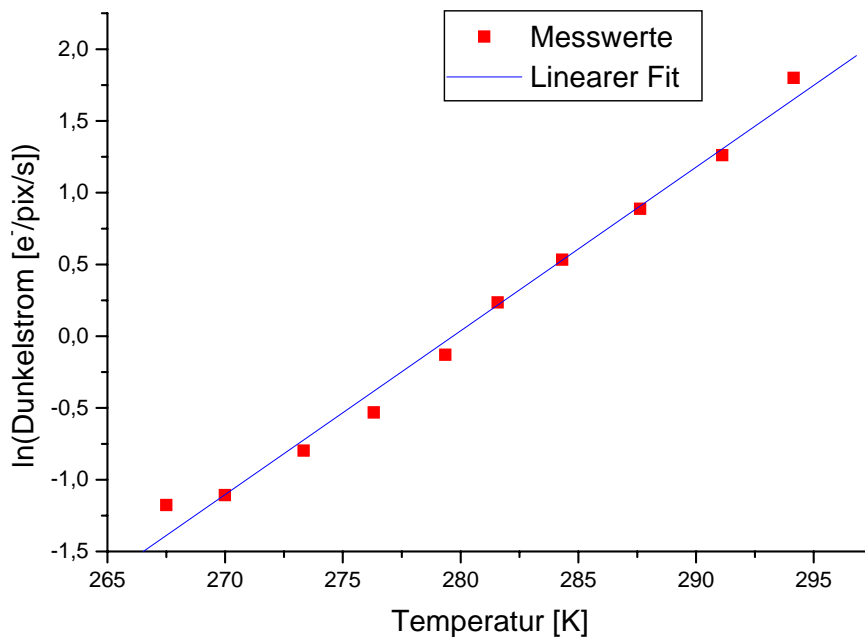


Abb.5: Logarithmus des Dunkelstroms gegen die Absoluttemperatur aufgetragen

Es zeigt sich, dass das thermische Rauschen, welches den Dunkelstrom verursacht logischer Weise stark temperaturabhängig ist. Bei diesem CCD-Chip reicht schon eine Kühlung auf unter dem Gefrierpunkt um eine saubere Messung zu ermöglichen, jedoch liefert eine zusätzliche Kühlung ein noch besseres Ergebnis. Es ist dann eine Frage des Aufwandes auf wie viel man kühlen soll, doch auf jeden Fall reicht die in der Kamera integrierte Kühlung (geht bis ca. -10°C) aus um ein saubere Messung zu erreichen. Der mit der ermittelten Formel 3 erhält man für den reinen Dunkelstrom einen Wert von 0,47 e⁻/pix/s, dies ist sogar besser als der im Datenblatt angegebene Wert von 1 e⁻/pix/s.