

VERSUCH NUMMER

TITEL

Marius Hötting
Marius.Hoetting@udo.edu

Hubertus Kaiser
Hubertus.Kaiser@udo.edu

Durchführung: DATUM

Abgabe: DATUM

TU Dortmund – Fakultät Physik

Inhaltsverzeichnis

1	Theorie	3
2	Fehlerrechnung	4
3	Versuchsaufbau	5
4	Durchführung	6
5	Auswertung	7
5.1	Strom-Spannungs-Kennlinie	7
5.2	Pedestal und Noise	7
5.3	Kalibrationsmessung	10
5.4	Vermessung der Streifensensoren mittels des Lasers	11
5.5	Charge Collection Efficiency des Lasers	12
5.6	Charge Collection Efficiency der Sr-Quelle	13
5.7	Großer Quellenscan	14
6	Diskussion	17
6.1	Depletionsspannung	17
6.2	Abmessung des Sensors und Kenngrößen des Lasers	17
6.3	Mittlere Energiedeposition	18
	Literatur	19

1 Theorie

2 Fehlerrechnung

Dieses Kapitel listet kurz und bündig die benötigten und aus den Methoden der Statistik bekannten Formeln für die Fehlerrechnung auf. Die Schätzung der Standardabweichung ist

$$\Delta X = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} . \quad (1)$$

Der Mittelwert ist

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \quad (2)$$

Der Fehler des Mittelwertes ist

$$\Delta \bar{X} = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} . \quad (3)$$

Für fehlerbehaftete Größen, die auch in folgenden Formeln verwendet werden, muss die Fehlerfortpflanzung nach Gauß berücksichtigt werden.

$$\Delta f = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial f}{\partial X_i} \right)^2 \cdot (\Delta X_i)^2} \quad (4)$$

Bei der linearen Regressionsrechnung sind die Parameter m und b der Ausgleichsgerade $y = mx + b$ wie folgt gegeben:

$$m = \frac{\overline{xy} - \bar{x} \cdot \bar{y}}{\overline{x^2} - \bar{x}^2} \quad b = \bar{y} - m\bar{x} . \quad (5)$$

Dabei sind x_i und y_i linear abhängige Messgrößen. Der Fehler dieser Parameter wiederum errechnet sich aus

$$\sigma_m^2 = \frac{\sigma^2}{n(\overline{x^2} - \bar{x}^2)} \quad \sigma_b^2 = \frac{\sigma^2 \bar{x}^2}{n(\overline{x^2} - \bar{x}^2)} . \quad (6)$$

Relative Abweichungen einer Messgröße x gegenüber Literaturwerten x_{Lit} werden nach der Vorschrift

$$R_x = \frac{x - x_{\text{Lit}}}{x_{\text{Lit}}} \quad (7)$$

berechnet.

3 Versuchsaufbau

4 Durchführung

5 Auswertung

Sämtliche im Folgenden durchgeführten Ausgleichsrechnungen werden mit der *curve fit* Funktion aus dem für *Python* geschriebenen package *NumPy*[1] durchgeführt. Fehlerrechnungen werden mit dem für *Python* geschriebenen package *Uncertainties*[2] ausgeführt.

Die Auswertung der verschiedenen Messungen folgt in der Reihenfolge wie sie auch aufgenommen wurden (siehe [3]). Einige der Datensätze wurde von der System-Software *EASy* in dem Format *.h5* gespeichert. Mit einem vom Praktikumsbetreuer zur Verfügung gestellten Python-Skript, wurde eine Vorauswertung durchgeführt und die für die Auswertung relevanten Daten in dem Format *.txt* gespeichert.

5.1 Strom-Spannungs-Kennlinie

sec:IV) In Abbildung 1 ist die IV-Kurve des Silizium-Streifen-Sensors dargestellt. Bei kleinen Spannung ist ein Anstieg des Leckstroms zu beobachten, gefolgt von einem Plateau. Der Übergang in dieses Plateau ist bei $V = 70\text{ V}$ erreicht. Aus diesem Grund wird dieser Wert als Abschätzung für die Depletionsspannung U_{dep} verwendet.

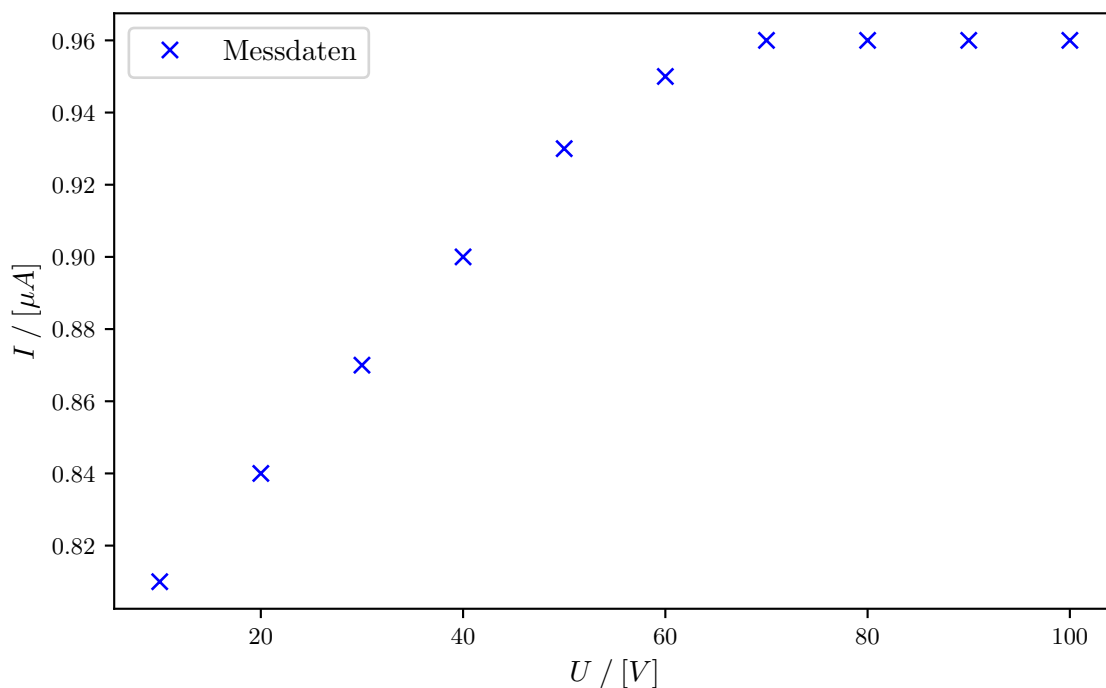


Abbildung 1: Messung des Leckstroms in Abhängigkeit der Spannung.

5.2 Pedestal und Noise

Für eine Übersicht sind in Abbildung 2 die ADC-Counts in Abhängigkeit der Events und der Channel dargestellt. In dieser Darstellung sind die ADC-Counts ein Maß für das Grundrauschen ohne Signal.

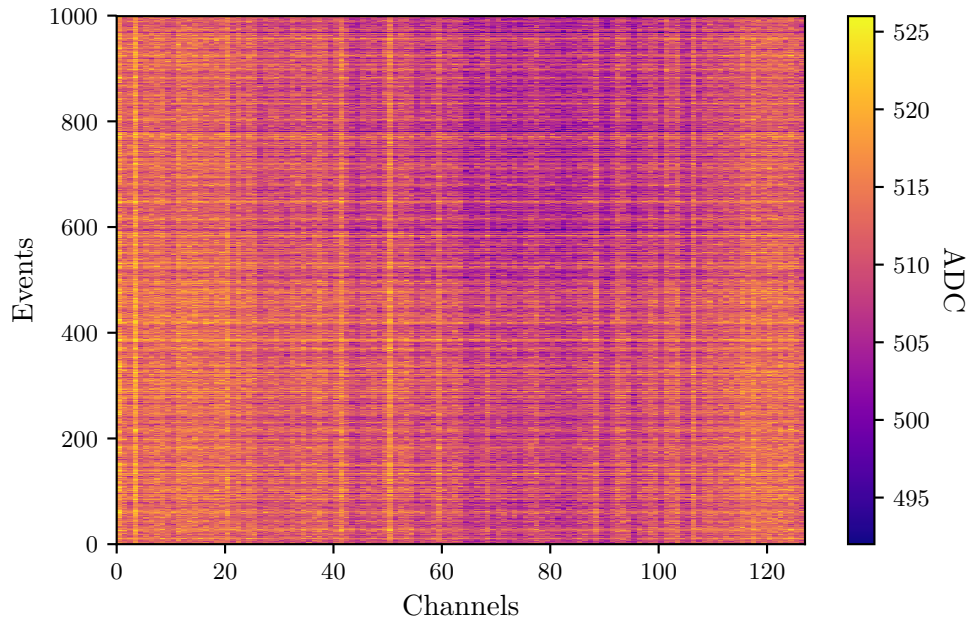


Abbildung 2: ADC-Counts in Abhängigkeit der Events und der Channel.

Es zeigt sich, dass die Channel im Intervall $[65,90]$ ein geringes Rauschen als an den Rändern des Sensors aufweisen. Aus diesem Datensatz wird nach Gleichung XXX das Pedestal und nach Gleichung XXX der Common-Mode-Shift bestimmt. Da nach [3] der Common-Mode-Shift um 0 Gaußverteilt ist, werden die Messwerte in Bins der Länge 0.25 unterteilt. In Abbildung 3 sind die Pedestals und in 4 der Common-Mode-Shift dargestellt.

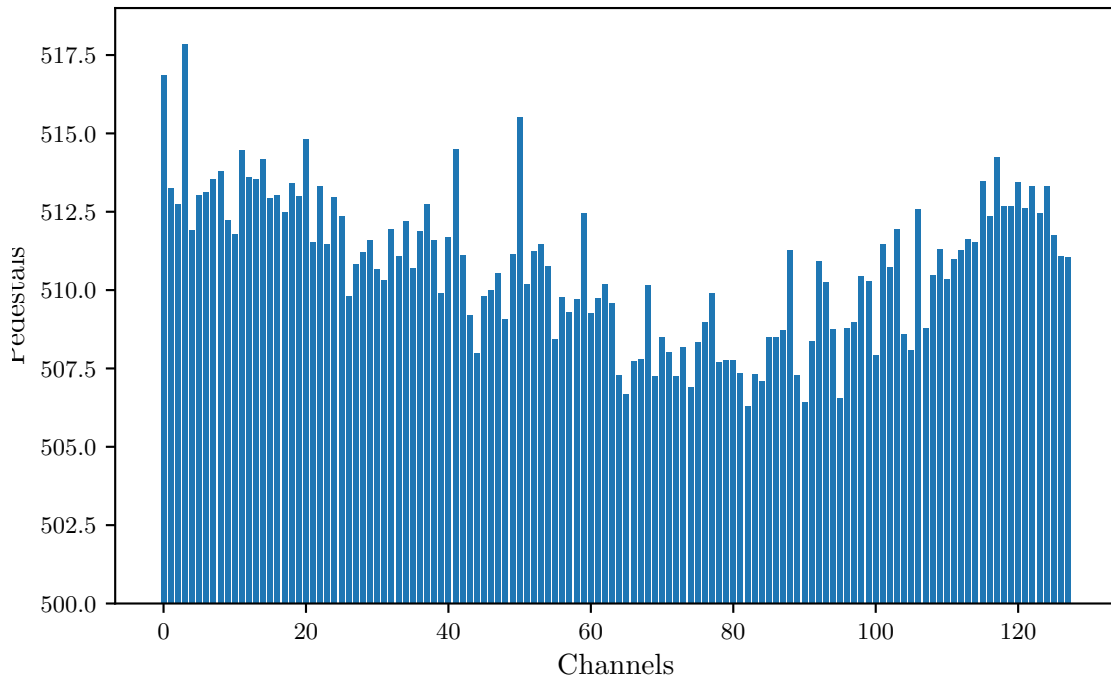


Abbildung 3: Pedestals.

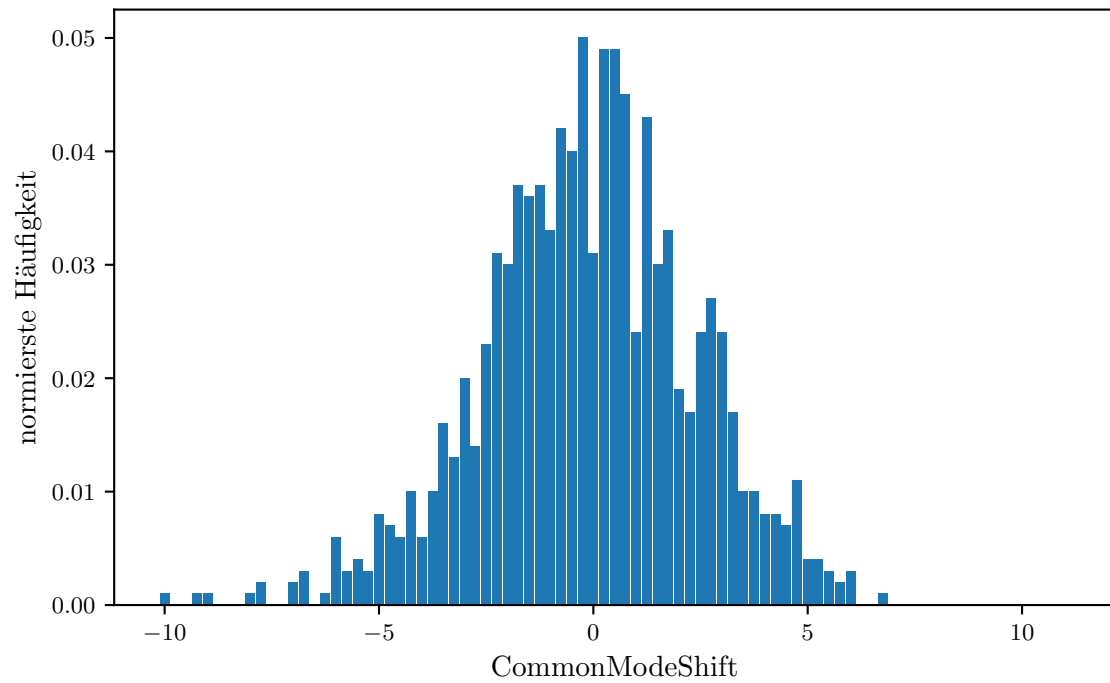


Abbildung 4: Common-Mode-Shift.

Aus den zuvor beschriebenen Größen wird unter Verwendung von Gleichung XXX die Noise bestimmt, in Abbildung 5 ist diese dargestellt.

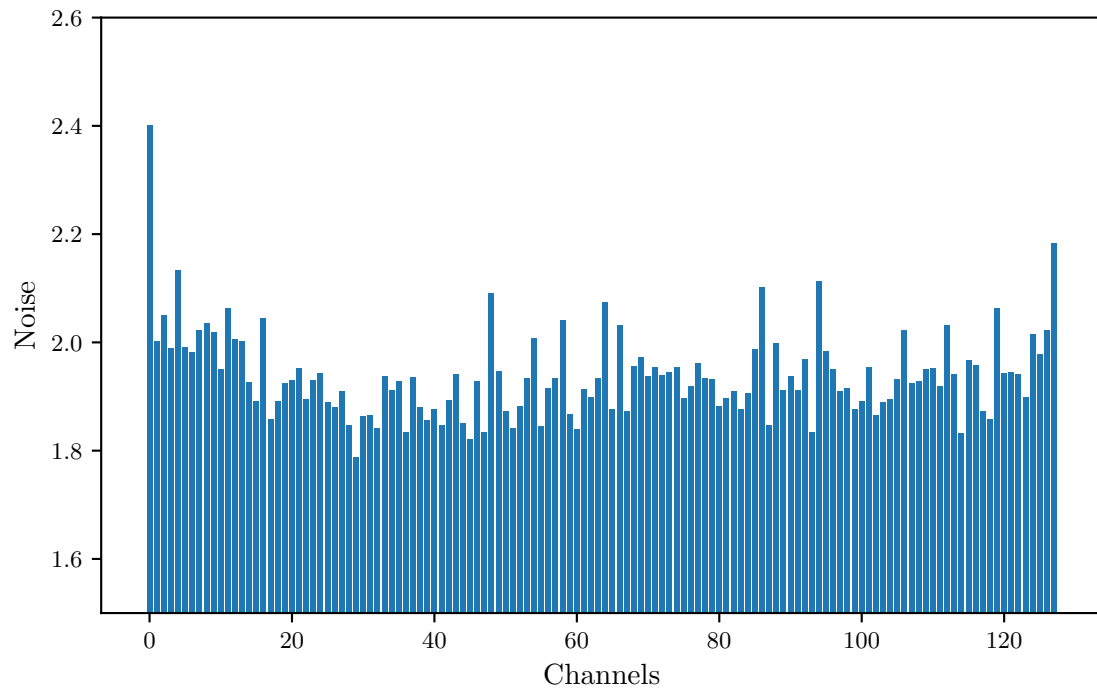


Abbildung 5: Noise.

5.3 Kalibrationsmessung

Für fünf verschiedene Channel ist eine Kalibrationsmessung mit einem definierten Signal vorgenommen worden. In Abbildung 6 sind die Messwerte für alle fünf Channel bei 90 V und für Channel 10 bei 0 V aufgetragen. Zusätzlich ist in Abbildung 6b eine Detailansicht dargestellt.

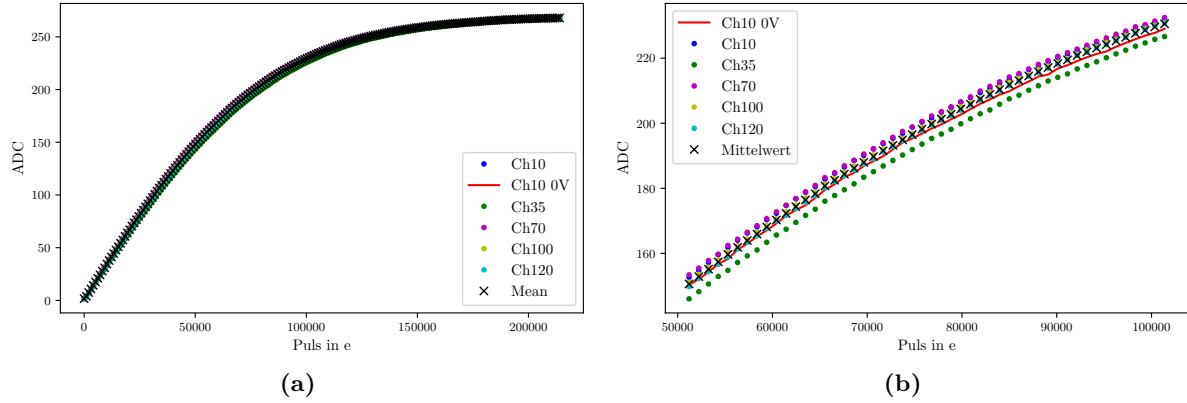


Abbildung 6: Zusammenhang zwischen dem Signal (ADC) und den Pulsen.

Um in späteren Kapitel die Signale in Pulse umrechnen zu können wird mit Hilfe eines Polynoms vierter Ordnung ein mathematischer Zusammenhang zwischen diesen beiden Größen gesucht. Die verwendende Fitfunktion lautet:

$$Puls(ADC) = a \cdot ADC^4 + b \cdot ADC^3 + c \cdot ADC^2 + d \cdot ADC + e \quad (8)$$

Unter Verwendung dieser Funktion fällt in Abbildung 7 auf, dass für den fast linearen Anstieg bei kleinen Signalen die Koeffizienten der Terme höherer Ordnung relativ klein sein müssen, jedoch um den annähernd exponentiellen Anstieg beschreiben zu können, werden große Koeffizienten vor den höheren Ordnung benötigt. Da dies einen Widerspruch dargestellt, wird die Ausgleichsfunktion nur mit den Daten im Intervall $[0, 250]$ bestimmt. In Abbildung XXX wird diese Grenze graphisch deutlich gemacht, ab der die Ausgleichsrechnung eine große Abweichung zu dem Verlauf der Messwerte aufzeigt.

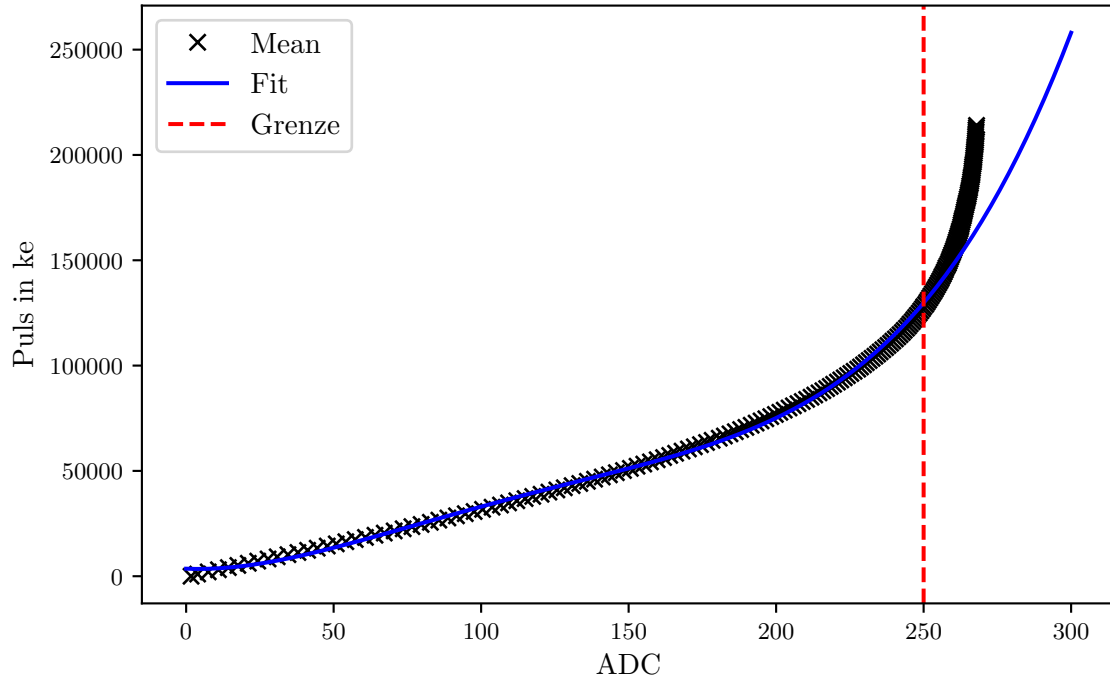


Abbildung 7: Ausgleichsrechnung mit den Messdaten im Intervall $[0,250]$.

5.4 Vermessung der Streifensensoren mittels des Lasers

Wie in Kapitel XXX beschrieben, werden der Sensor mittels Laser vermessen. Die Messdaten sind in Abbildung 8a für den kompletten Sensor und in 8b für die betroffenen Streifen dargestellt.

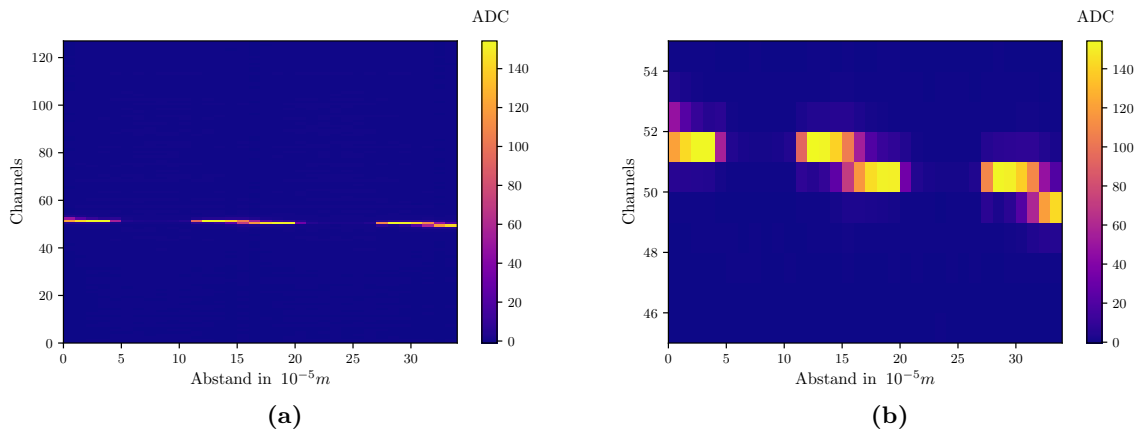


Abbildung 8: Signal (ADC) in Abhängigkeit des Position auf dem Sensor und des Channels.

Für die Abschätzung der Streifenbreite, des Abstands der Streifen und der Größe des Laserspots, ist in Abbildung 9 für die Channel 50, 51 und 52 das Signal (ADC) gegen den Abstand aufgetragen.

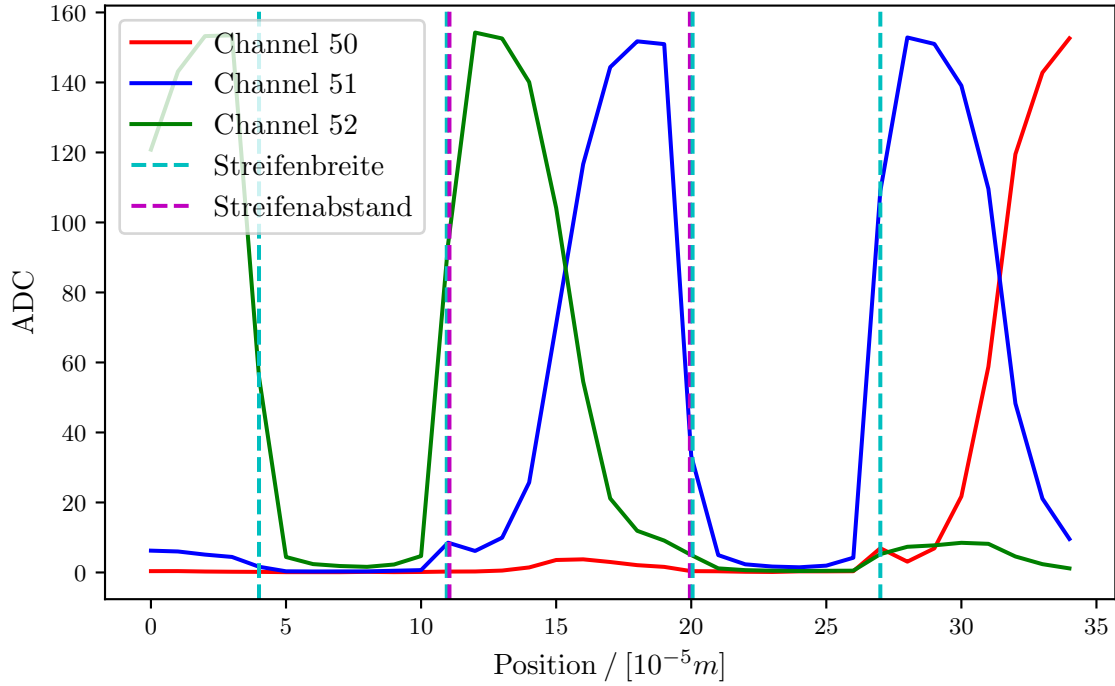


Abbildung 9: Darstellung des Signals der Channel 50, 51 und 52.

Der plötzliche Einbruch des Signals lässt darauf schließen, dass der Laser sich über einem Streifen befindet, da das Aluminium den Strahl komplett reflektiert. Maximal wird das Signal, wenn der Laserspot sich exakt neben dem Streifen und der Hälfte des Abstand der Streifen untereinander befindet (siehe Abbildung 9, z.B. bei Abstand $120\text{ }\mu\text{m}$). Genau zwischen den Streifen wird das durch den Laser verursachte Signal zwischen den beiden nächsten Streifen aufgeteilt (siehe Abbildung 9, z.B. bei Abstand $150\text{ }\mu\text{m}$). Die Spotgröße des Lasers kann abgeschätzt werden, indem der Abstand zwischen den Positionen vermessen wird, bei denen das Signal wieder beginnt anzusteigen und bei dem es maximal ist. Mit Hilfe von Abbildung 9 können die Größen nun wie folgt abgeschätzt werden:

$$\text{Breite} = 70\text{ }\mu\text{m} \quad (9)$$

$$\text{Abstand} = 90\text{ }\mu\text{m} \quad (10)$$

$$\text{Spotdurchmesser} = 20\text{ }\mu\text{m} \quad (11)$$

5.5 Charge Collection Efficiency des Lasers

labelsec:CCE In Abbildung 13 ist die Effizienz des Sensors gegen die Spannung aufgetragen. Da für diese Messung der Laserspot neben Channel 50 platziert worden ist, ist das Signal in diesem Channel maximal und wird deshalb zur Bestimmung der Charge Collection Efficiency (CCE) verwendet.

Ebenfalls wie die IV-Kurve aus Kapitel 5.1sec:IV), geht die CCE ab der Depletionsspannung in ein Plateau über. Da ab dieser Spannung sich die Größe der Depletionszone nicht mehr verändert, kann auch die Effizienz nicht mehr steigen. Mit Hilfe von Gleichung XXX und unter Berücksichtigung von Gleichung XXX ergibt sich die in Abbildung 13 die eingezeichnete Ausgleichsrechnung.

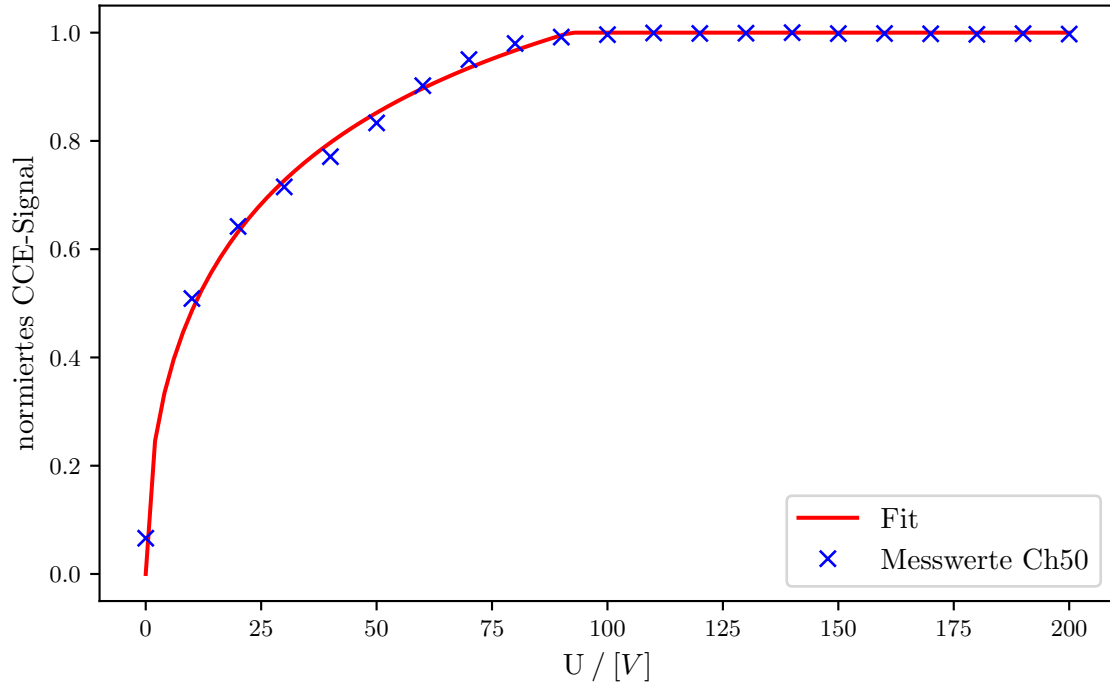


Abbildung 10: Charge Collection Efficiency für Channel 50 in Abhängigkeit der Spannung.

Die Fitparameter lauten:

$$U_{dep} = (92 \pm 5) \text{ V} \quad (12)$$

$$a = (221 \pm 24) \mu\text{m} \quad (13)$$

5.6 Charge Collection Efficiency der Sr-Quelle

Für eine analoge Darstellung zu Abbildung 13 ist in Abbildung 11 die normierte mittlere CCE der β -Quelle gegen die Spannung aufgetragen. Auch hier ist wieder bei höheren Spannung die Ausbildung eines Plateaus zu beobachten.

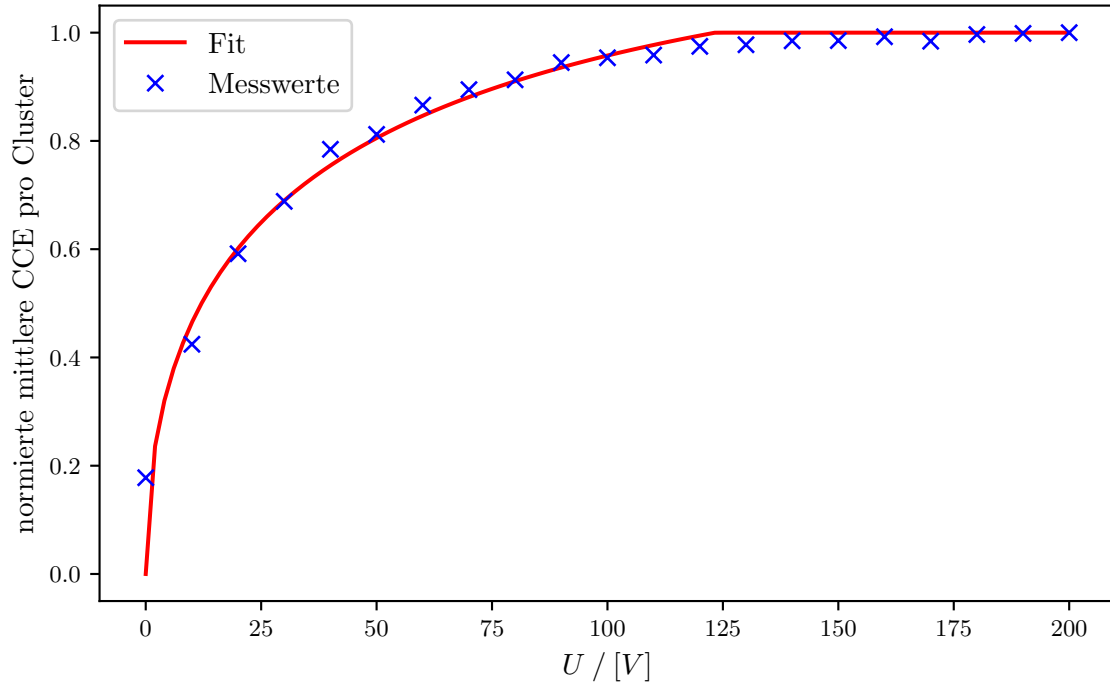


Abbildung 11: Charge Collection Efficiency der β -Quelle in Abhängigkeit der Spannung.

Mit der selben Ausgleichsrechnung wie in Kapitel 6.2 ergibt sich die Depletionsspannung $U_{dep} = (123 \pm 15)$ V.

5.7 Großer Quellenscan

Für den großen Quellenscan, bei dem 1000000 Events abgewartet werden, wird in Abbildung 12a die normierte Häufigkeit der Anzahl der Channel pro Event und in Abbildung 12b die normierte Häufigkeit der Anzahl der Cluster pro Event dargestellt.

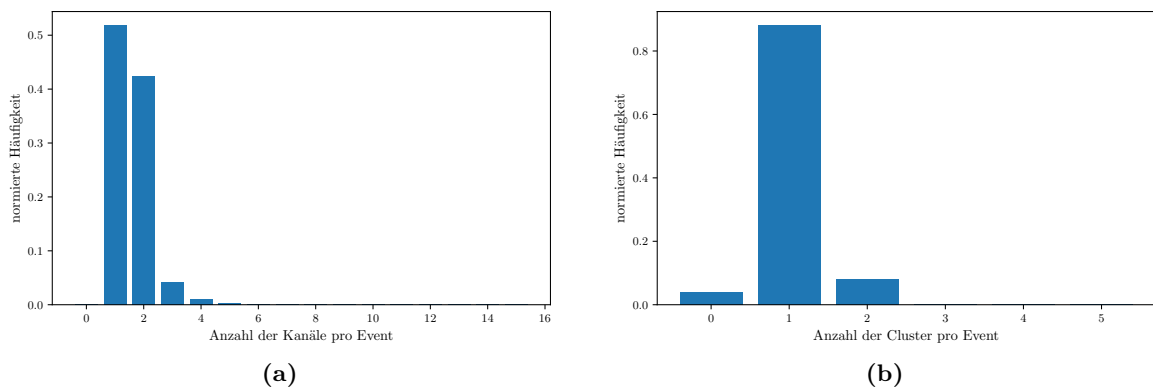


Abbildung 12: Normierte Häufigkeit der Channel bzw. Cluster pro Event. Es sind nur die Channel bzw. Cluster dargestellt, die einen Eintrag ungleich Null aufweisen.

Aus den Abbildung folgt, dass im wesentlichen nur ein bis zwei Streifen, also Channel, ein einzelnes Event registrieren. Des weiteren bildet sich in den meisten Fällen nur ein Cluster pro

Event. In Abbildung 13 ist die normierte Trefferrate eines Channels über den Zeitraum von 1Mio. Events dargestellt.

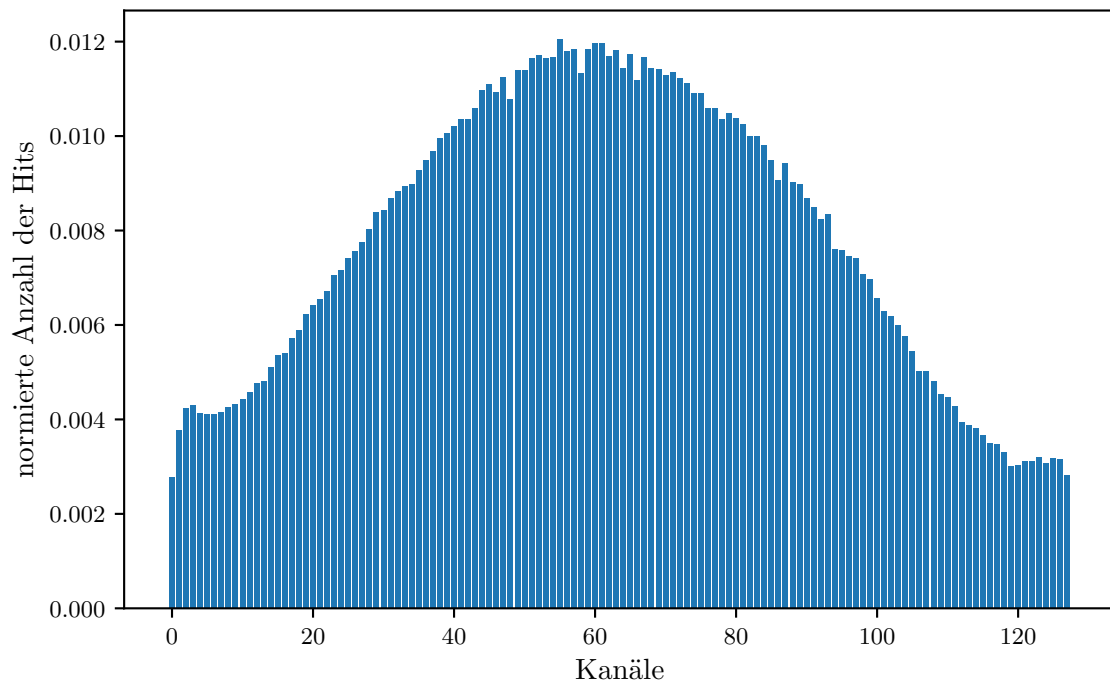


Abbildung 13: Trefferrate pro Channel.

Es ist zu erkennen, dass die Probe mittig über dem Sensor positioniert worden ist, da sich das Maximum bei etwa Channelnummer 65 ausbildet. Die Streifen am Rand des Sensor weisen jedoch auf kein gaußartiges Verhalten hin, sondern steigen wieder und könnten eventuell auf lange Sicht eine Plateau bilden. Da die Differenz zwischen Maximum und Hit an den Rändern sich nur um einen Faktor von etwa 0.25 unterscheidet, ist nicht davon auszugehen, dass die Hits am Rand vom Noise überlagert sind.

In Abbildung 14 ist das Energiespektrum der Quellenmessung dargestellt.

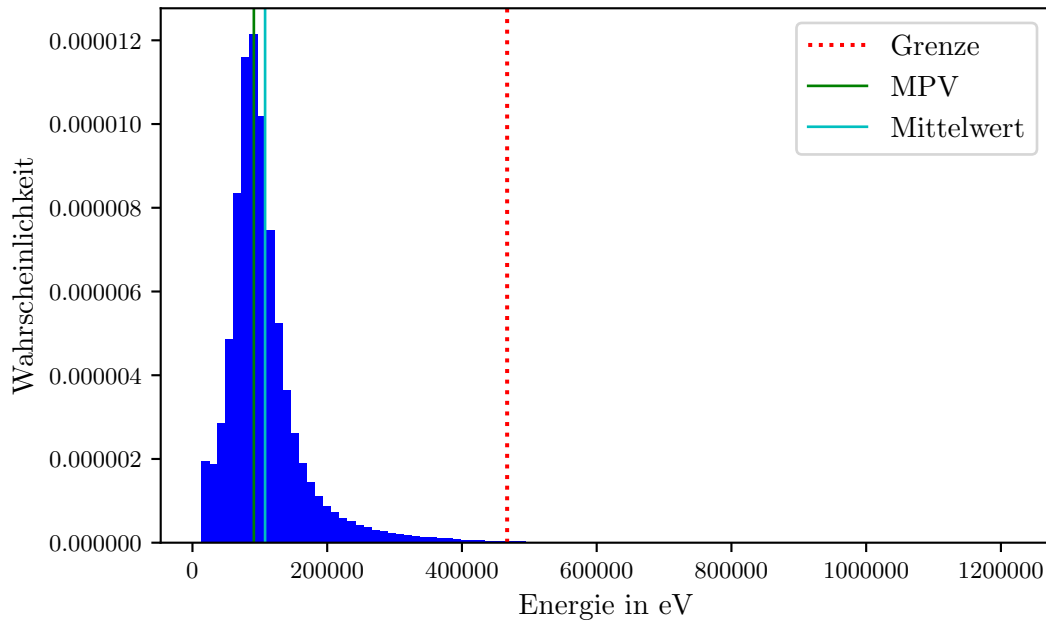


Abbildung 14: Energiespektrum unterteilt in 100 Bins.

Hierfür werden die ACD-Counts mit der Ausgleichsfunktion in Kapitel 6.2 in Pulse umgerechnet. Danach erfolgt die schlussendliche Umrechnung in das Energiespektrum, mit dem Wissen, dass die Erzeugung eines Elektronen-Loch-Paares in Silizium eine Energie von 3,6 eV benötigt. Eingezeichnet sind in der Abbildung die mittlere Energie ($\bar{E} = 107,8 \text{ keV}$) und die wahrscheinlichste Energie ($MPV = 91,1 \text{ keV}$). Außerdem ist die Grenze der Umrechnung in das Energiespektrum eingezeichnet, da ab dieser, die Umrechnung nicht korrekt durchgeführt wird.

6 Diskussion

6.1 Depletionsspannung

In diesem Versuch wurde auf drei verschiedene Weisen die Depletionsspannung U_{dep} bestimmt. Zuerst konnte durch die IV-Kurve eine grobe Abschätzung gewonnen werden und anschließend aussagekräftigere Ergebnisse durch die CCE des Lasers und der β -Quelle gemessen werden. Die Ergebnisse werden im Folgenden verglichen.

$$U_{dep, IV-Kurve} \sim 70 \text{ V} \quad (14)$$

$$U_{dep, Laser} = (92 \pm 5) \text{ V} \quad (15)$$

$$U_{dep, \beta-Quelle} = (123 \pm 15) \text{ V} \quad (16)$$

Obwohl die Ausgleichsrechnung in Abbildung 13 und 11 sehr gut die Messerergebnisse widerspiegeln. Trotzdem besteht ein großer Unterschied in den Ergebnissen untereinander als auch zum Schätzwert. Für den Sensor liegt nach [3] die Depletionsspannung im Bereich von 60 – 80 V. In diesem Bereich befindet sich nur der von der IV-Kurve abgeschätzte Wert. Die Ursache für eine so große Abweichung könnte darin liegen, dass nicht lange genug zwischen dem Ändern der Spannung und dem Starten der nächsten Messung gewartet wurde. Für eine genaue Messung und ein verlässliches Ergebnis sollte eine CV-Messung durchgeführt werden.

6.2 Abmessung des Sensors und Kenngrößen des Lasers

Mit Hilfe von Abbildung 9 ist die Streifenbreite, der Streifenabstand und die Spotgröße des Lasers abgeschätzt worden. Diese Abschätzung ergab:

$$\text{Breite} = 70 \mu\text{m} \quad (17)$$

$$\text{Abstand} = 90 \mu\text{m} \quad (18)$$

$$\text{Spotdurchmesser} = 20 \mu\text{m} \quad (19)$$

Nach [3] weist der Sensor einen Pitch von 160 μm auf. Um einen Vergleich ziehen zu können, wird der Pitch aus den berechneten Werten ermittelt. Da der Pitch den Abstand zwischen zwei Streifen beschreibt, ausgehend von der Mitte jedes Streifens, ist der Pitch durch Addition der Breite und des Abstands zu bestimmen. Der berechnete Pitch stimmt mit dem aus [3] überein, wobei zu betonen ist, dass anhand von Abbildung 9 die Breite und der Abstand nur abgeschätzt werden können. Genauere Ergebnisse können durch ein kleinschrittigeres Vorgehen erreicht werden.

Die Spotgröße des Lasers ist nach [3] mit 20 μm angegeben, wodurch auch hier der abgeschätzte Wert übereinstimmt.

In Kapitel 5 ist die Eindringtiefe mit Hilfe der CCE bestimmt worden. Die Literatur([3]) gibt an, dass bei einer Wellenlänge von $\lambda = 920 \text{ nm}$ bzw. $\lambda = 1073 \text{ nm}$ eine Eindringtiefe von $a = 74 \mu\text{m}$ bzw. $a = 380 \mu\text{m}$ besteht. Der genaue Zusammenhang zwischen der Wellenlänge und der Eindringtiefe ist nicht bekannt, da sich der gemessene Wert ($a = (221 \pm 24) \mu\text{m}$) mit einer Wellenlänge von $\lambda = 920 \text{ nm}$ des verwendeten Lasers, jedoch zwischen den beiden angegebenen Parametern befindet, wird er als plausibel angenommen.

6.3 Mittlere Energiedeposition

Für einen theoretischen Vergleichswert, wird der in [3] berechnete mittlere Energieverlust pro Strecke, der mit Hilfe der Bethe-Blochgleichung berechnet worden ist, verwendet. Multipliziert mit der Dicke des Sensors, errechnet sich aus dem Energieverlust pro Strecke, die mittlere Energiedeposition im Sensor von $\bar{E}_{theo} = 116,4 \text{ keV}$. Der gemessene Wert von $\bar{E}_{exp} = 107,8 \text{ keV}$ ergibt somit eine Abweichung von 7,39 %.

Literatur

- [1] Eric Jones, Travis E. Oliphant, Pearu Peterson u. a. *SciPy: Open source scientific tools for Python*. Version 0.16.0. URL: <http://www.scipy.org/>.
- [2] Eric O. Lebigot. *Uncertainties: a Python package for calculations with uncertainties*. Version 2.4.6.1. URL: <http://pythonhosted.org/uncertainties/>.
- [3] *TU Dortmund - Fachbereich Physik : Fortgeschrittenenpraktikum Anleitung zu Versuch Nr. 15*. http://129.217.224.2/HOMEPAGE/Anleitung_FPBSc.html. Mai 2017.