

VERSUCH NUMMER 703

Das Geiger-Müller-Zählrohr

Tim Alexewicz
tim.alexewicz@udo.edu

Sadiah Azeem
sadiah.azeem@udo.edu

Durchführung: 24.05.2022

Abgabe: 31.05.2022

TU Dortmund – Fakultät Physik

Inhaltsverzeichnis

1	Ziel	3
2	Theorie	3
2.1	Aufbau und Funktionsweise des Geiger-Müller-Zählrohrs	3
2.2	Totzeit	4
2.3	Charakteristik des Zählrohrs	5
2.4	Messung der freigesetzten Ladungsmenge	6
3	Durchführung	6
4	Auswertung	7
4.1	Charakteristik des Geiger-Müller-Zählrohrs	7
4.2	Bestimmung der Nachentladungs- und Totzeit	9
4.2.1	Mit Oszilloskop	9
4.2.2	Zwei-Quellen-Methode	10
4.3	Freigesetzte Ladungsmenge	11
5	Diskussion	11

1 Ziel

In diesem Versuch werden die charakteristischen Funktionsweisen des Geiger-Müllerzählrohrs überprüft sowie die Totzeit des Zählrohrs bestimmt.

2 Theorie

2.1 Aufbau und Funktionsweise des Geiger-Müller-Zählrohrs

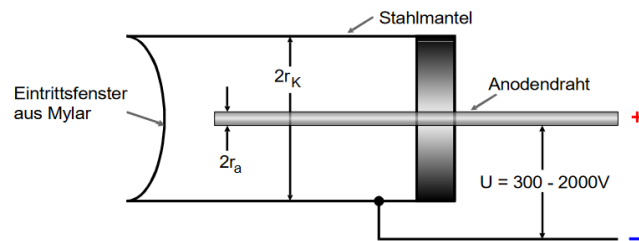


Abbildung 1: Skizze des Geiger-Müller-Zählrohrs [1].

Das Geiger-Müller-Zählrohr besteht aus einem Kathodenzylinder, einem axial verlaufenden Anodendraht und aus einem Eintrittsfenster aus Mylar. Das Zählrohr ist mit einem Gasgemisch aus Argon und Ethylalkohol gefüllt. Wird eine äußere Spannung an das Zählrohr angelegt, entsteht ein Feld, in dem ein geladenes Teilchen fließen kann. Dieses Teilchen kann durch Ionisationsakte absorbiert werden, wobei die Anzahl an entstehenden Elektronen und positiven Ionen proportional zu Energie des einfallenden Teilchens ist. Die nach der Primärionisation ablaufenden Vorgänge sind stark von der angelegten Spannung abhängig.

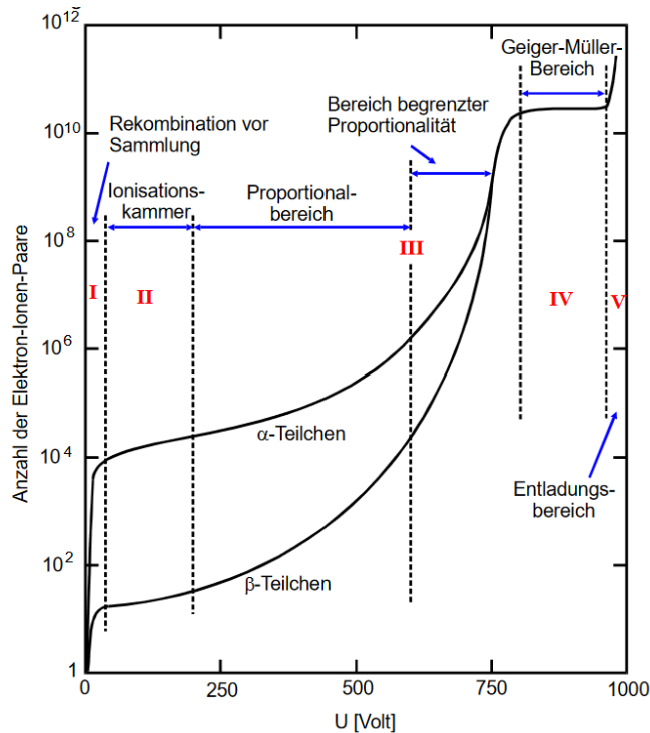


Abbildung 2: Bereiche des Geiger-Müller-Zählrohrs [1].

Bei geringer Spannung erreicht nur ein kleiner Teil der neuen Elektronen den Draht und der Rest geht verloren. Das entspricht Teil I in Abbildung 2.

Bei etwas mehr Spannung, wie im Bereich von II aus Abbildung 2, erreichen alle erzeugten Elektronen den Draht und der Ionisationsstrom der zwischen Kathode und Anode fließt ist proportional zur Energie und Intensität der einfallenden Strahlung. Es können allerdings in dieser Ionisationskammer nur hohe Strahlintensitäten gemessen werden.

Im Spannungsbereich von Teil III aus Abbildung 2 können die freien Elektronen die Argon-Atome ionisieren. Bei der Stoßionisation können die neu freigesetzten Atome wieder ionisieren. Es folgt also eine Lawine an ionisationen, die auch Townsend-Lawine genannt wird. Die Ladung Q ist jetzt so groß, dass sie gemessen werden kann, was von Vorteil ist, da sie proportional zur Energie ist. Neben der Strahlintensität kann also auch die Energie gemessen werden.

Liegt die äußere Spannung im Bereich IV aus Abbildung 2, dann werden zusätzlich zu den Elektronen auch Photonen freigesetzt, weshalb nur noch die Intensität gemessen werden kann. Dieser Bereich heißt auch Wirkungsbereich und ist der eigentliche Arbeitsbereich des Geiger-Müller-Zählrohrs [1].

2.2 Totzeit

Weil die positiven Ionen massereicher als die Elektronen sind, brauchen sie länger, um durch den Kathodenmantel aus dem Zählrohr zu verschwinden. Durch ihr längeres

Verweilen schwächt sich das elektrische Feld für eine Zeit T ab, sodass die durch die Ionisation entstandenen Ionen nicht bis zur Anode beschleunigt werden. Diese Zeit T heißt auch Totzeit. Nach der Totzeit folgt die Erholungszeit T_E , die als Zeitraum definiert ist, in der die Ausgangsimpulse eine geringere Amplitude haben. Das Ganze wird noch einmal in Abbildung 3 dargestellt.

Die Totzeit kann durch die Zwei-Quellen-Methode ermittelt werden. Die gemessene Teilchenzahl N_r ist immer kleiner als die wahre Teilchenzahl

$$N_w = \frac{\text{Impulsrate}}{\text{Meßzeit}} = \frac{N_r}{1 - TN_r} \quad (1)$$

und durch Umstellen von (1) ergibt sich die Totzeit

$$T = \frac{N_1 + N_2 - N_{1+2}}{2N_1N_2}, \quad (2)$$

wobei N_1 die gemessene Teilchenzahl der ersten radioaktiven Probe, N_2 die der zweiten radioaktiven Probe und N_{1+2} die gemessene Teilchenzahl der beiden kombinierten Proben ist. Die beiden Zeitbereiche sind in Abbildung 3 abgebildet [1].

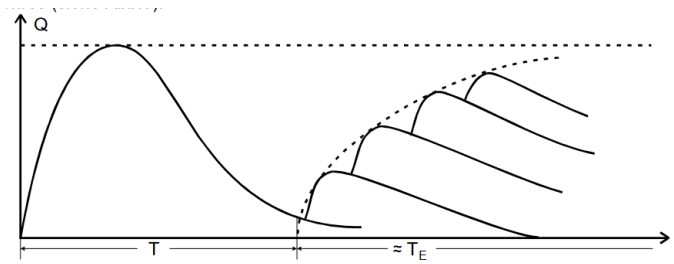


Abbildung 3: Ladung gegen Zeit zur Darstellung der Tot- und Erholungszeit [1].

2.3 Charakteristik des Zählrohrs

Wird die Teilchenzahl N gegen die Spannung U bei konstanter Strahlungsintensität aufgetragen, ergibt sich die Charakteristik des Zählrohrs. Der waagerechte bis schwach linear steigende Teil in Abbildung 4 heißt Plateau und ist er der Bereich des Auslösebereichs. Wird das Plateau überschritten, zerstört sich das Zählrohr im Inneren selbst durch eine Dauerentladung der Gasteilchen. Das wird in Abbildung 4 dargestellt [1].

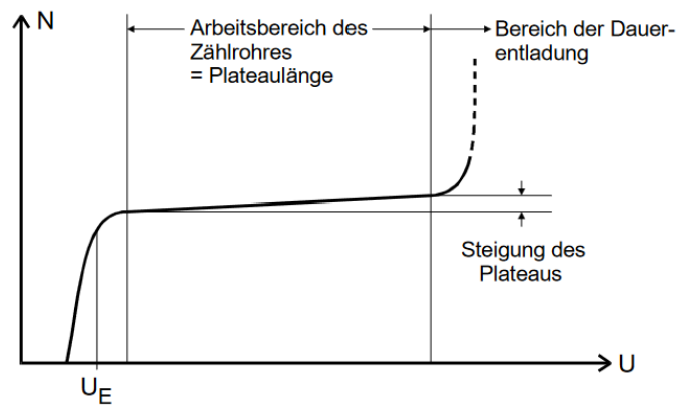


Abbildung 4: Darstellung der Charakteristika des Zählrohrs [1].

2.4 Messung der freigesetzten Ladungsmenge

Die Anzahl der freigesetzten Ladungen lässt sich durch

$$Z = \frac{I}{e_0 N} \quad (3)$$

berechnen, wobei I der Strom, e_0 die Elementarladung und N die Impulsrate ist [1].

3 Durchführung

Der Aufbau des Versuches wird in Abbildung 5 skizziert.

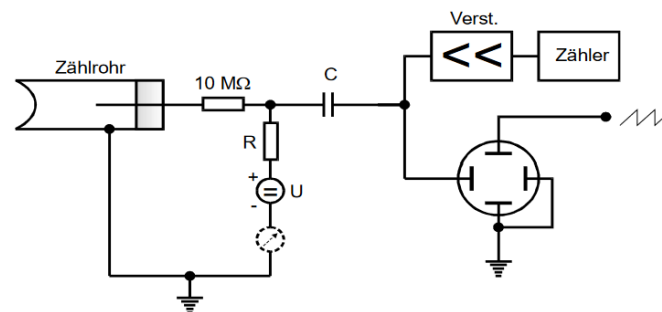


Abbildung 5: Versuchsaufbau [1].

Es wird eine Probe vor das Mylarfenster gelegt und die Impulsrate in 120 Sekunden gemessen für den Spannungsbereich zwischen 330-700V in 10V-Schritten. Dazu wird der Strom gemessen, der vom Geiger-Müller-Zählrohr abfließt.

Für die Messung der Totzeit mit der Zwei-Quellen-Methode, wird erst eine Quelle gemessen, dann zwei Quellen und dann nur noch die zweite Quelle. Dabei werden wieder die Impulsraten zu 120 Sekunden gemessen.

Zusätzlich kann die Totzeit mit dem Oszilloskop gemessen werden, indem bei 330 V und 700 V die Abbildung des Oszilloskops mit Abbildung 3 verglichen wird [1].

4 Auswertung

4.1 Charakteristik des Geiger-Müller-Zählrohrs

Es wird eine Thallium-Quelle verwendet.

Bei Aufnahme der Messwerte für die Charakteristik des Zählrohrs wird die anliegende Spannung in 10V – Schritten erhöht und bei einer Integrationszeit von 120s gemessen.

Ungewöhnlich weit abweichende Werte wurden in der Auswertung nicht berücksichtigt. In Tabelle 1 sind die einbezogenen Messwerte zu finden. Der gesamte Satz an Messwerten ist in Abschnitt 5 aufgelistet.

Die Zählraten entsprechen einer Poisson-Verteilung, sodass sich ihr Fehler aus

$$\Delta N = \sqrt{N}$$

ergibt.

Die Charakteristik ist in Abbildung 6 graphisch dargestellt. Der Plateaubereich umfasst das Intervall von 410 V bis 670 V.

Die lineare Regression wird mithilfe von Python ([2], [3]) durchgeführt und ergibt für die Ausgleichsgerade der Parameter $b = (13762 \pm 250)$ Imp für den y-Achsenabschnitt. Als Geradengleichung, an die gefittet wird, wird

$$y = mx + b$$

gewählt.

Die prozentuale Steigung $m_{\%} = (0,73 \pm 0,45) \frac{\%}{100V}$ ergibt sich aus

$$m_{\%} = 100\% \cdot \left(\frac{N_{600V}}{N_{500V}} - 1 \right),$$

deren Fehler mit

$$\Delta m_{\%} = \frac{100\%}{N_{500V}} \sqrt{\frac{N_{600V}^2}{N_{500V}^2} (\Delta N_{500})^2 + (\Delta N_{600})^2}$$

berechnet wird.

Tabelle 1: Die ausgewerteten Messwerte.

U / V	N / Imp	$I / \mu\text{A}$
330	12435 ± 111	0,1
340	13454 ± 116	0,1
350	13651 ± 117	0,1
360	13660 ± 117	0,1
370	13778 ± 117	0,1
380	13770 ± 117	0,1
390	13738 ± 117	0,15
400	14003 ± 118	0,15
410	14192 ± 119	0,18
420	13730 ± 117	0,2
430	14211 ± 119	0,21
440	13861 ± 118	0,21
480	14391 ± 120	0,3
490	14047 ± 119	0,3
500	14092 ± 119	0,3
510	14164 ± 119	0,3
520	14296 ± 120	0,3
590	14337 ± 120	0,4
600	14202 ± 119	0,4
610	14087 ± 119	0,45
620	14180 ± 119	0,45
630	14290 ± 120	0,47
640	14130 ± 119	0,48
650	14466 ± 120	0,5
660	14052 ± 119	0,5
670	14170 ± 119	0,5
680	14589 ± 121	0,52
690	14653 ± 121	0,6
700	14715 ± 121	0,6

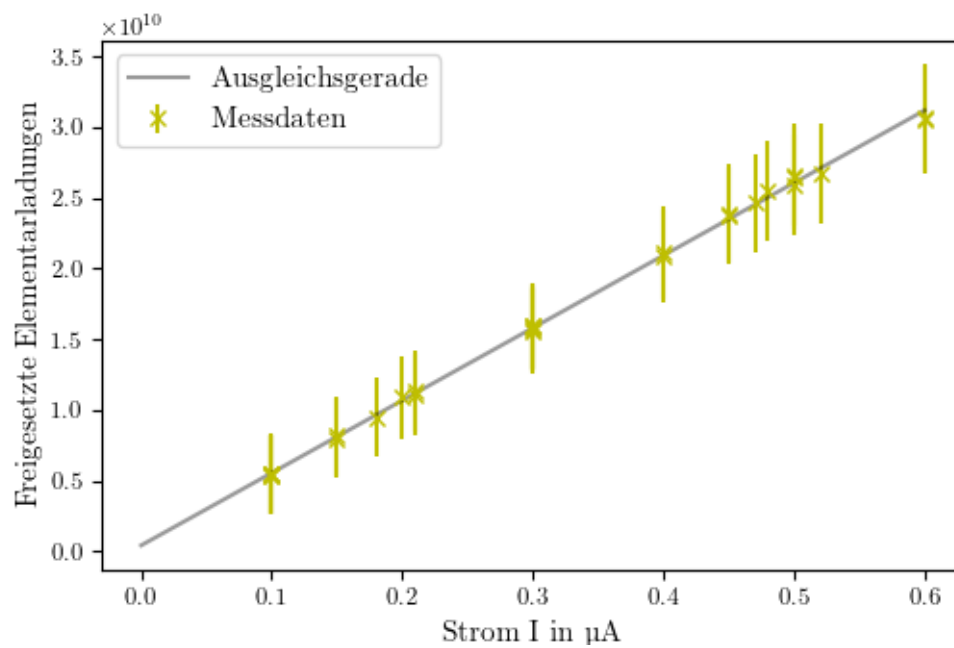


Abbildung 6: Die Charakteristik des Geiger-Müller-Zählrohrs.

4.2 Bestimmung der Nachentladungs- und Totzeit

4.2.1 Mit Oszilloskop

Aus dem aufgenommenen Oszillogramm Abbildung 7 kann eine Totzeit von $T_1 = 130 \mu\text{s}$ abgelesen werden.

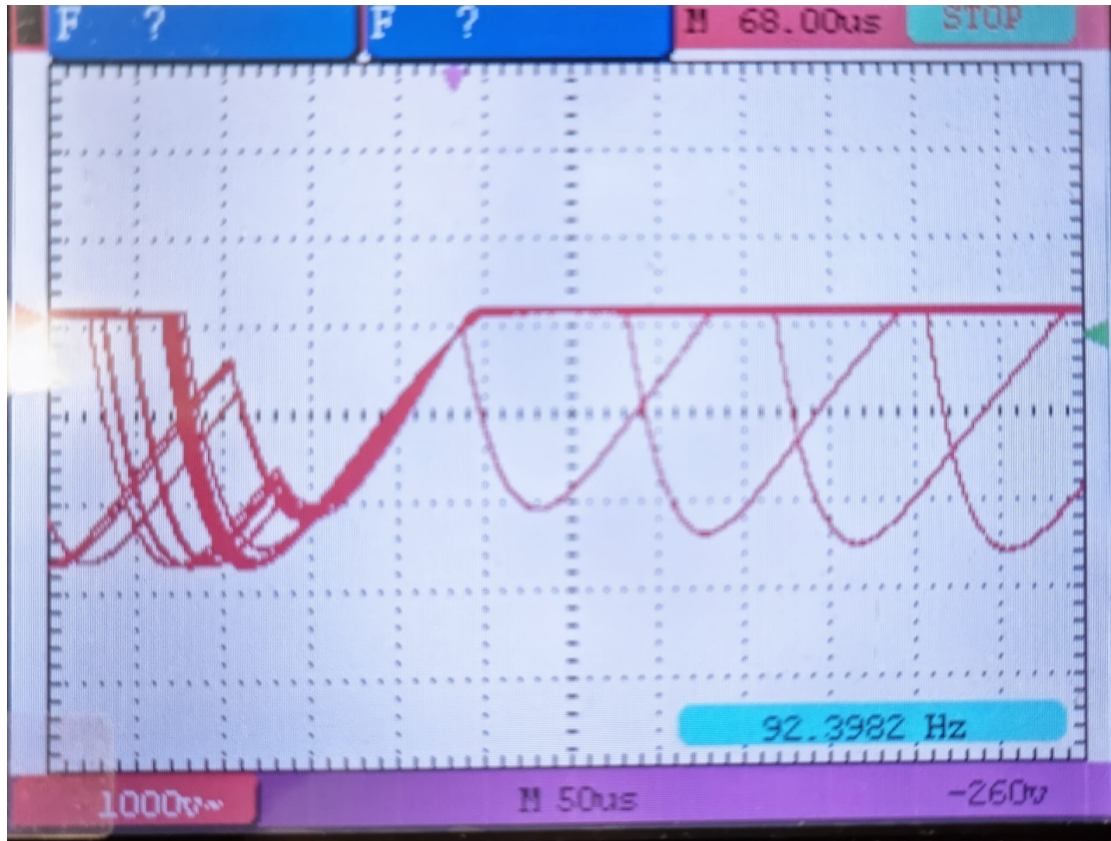


Abbildung 7: Oszillogramm zur Bestimmung der Totzeit des Geiger-Müller-Zählrohres.

Die Nachentladungszeit lässt sich aus dem Abstand zwischen des Maximums des ersten Peaks bis zum Maximum des zweiten Peaks ablesen. Es kann die Zeit

$$T_n = 3.6 \cdot 50 \mu s = 180 \mu s$$

abgelesen werden.

4.2.2 Zwei-Quellen-Methode

Für die Zwei-Quellen-Methode ergeben sich die Messwerte unter Einbezug des Poisson-Fehlers und der Integrationszeit von 120s zu $N_1 = \frac{21844 \pm 148}{120s}$, $N_2 = \frac{17594 \pm 133}{120s}$ und $N_{12} = \frac{39105 \pm 198}{120s}$. Es wird für den Strom I eine Ableseungenauigkeit von $\Delta I = 0,05 \mu A$ angenommen, für die Zählrate gilt das Vertrauensintervall $\pm \frac{\sqrt{N}}{t}$. Mit Gleichung 2 berechnet sich die Totzeit zu $T_2 = 50 \pm 40 \mu s$. Der Fehler nach Gauß ergibt sich hier durch

$$\Delta T = \sqrt{\left(-\frac{1}{2N_1^2 N_2}\right)^2 (\Delta N_1)^2 + \left(-\frac{1}{2N_2^2 N_1}\right)^2 (\Delta N_2)^2 + \left(-\frac{1}{2N_1 N_2}\right)^2 (\Delta N_{12})^2}$$

4.3 Freigesetzte Ladungsmenge

Die freigesetzte Ladungsmenge wird nach Gleichung 3 aus dem Zählrohrstrom bestimmt. Der Fehler dieser Formel lässt sich aus

$$\Delta Z = \sqrt{\left(\frac{1}{e_0 \cdot N}\right)^2 \cdot (\Delta I)^2 + \left(-\frac{I}{e_0 \cdot N^2}\right)^2 \cdot (\Delta N)^2}$$

bestimmen. Sie ist in Abhängigkeit vom Strom in Abbildung 8 graphisch dargestellt.

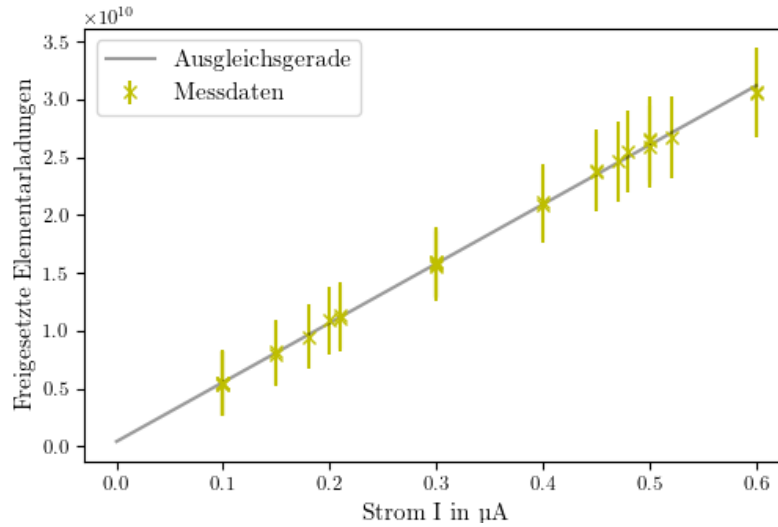


Abbildung 8: Die freigesetzte Ladungsmenge je einfallendem Teilchen in Abhängigkeit vom Strom.

5 Diskussion

Die Charakteristik Abbildung 6 zeigt nur in geringer Ausprägung den erwarteten Kurvenverlauf.

Das Plateau ist aufgrund einer Häufung von ausreißenden Werten in jenem Bereich nicht direkt zu erkennen. Die Steigung der Ausgleichsgerade ergibt sich allerdings wie gewünscht zu einem sehr niedrigen Wert von $m = (0.73 \pm 0.45) \frac{\%}{100V}$.

Die via Zwei-Quellen-Methode bestimmte Totzeit $T = (50 \pm 40) \mu s$ weicht um $\eta_T = (62 \pm 31)\%$ vom auf dem Oszilloskop abgelesenen Wert von $T = 130 \mu s$ ab. Beide liegen jedoch im typischen Bereich weniger Hundert Mikrosekunden für die Totzeit eines Geiger-Müller-Zählrohrs.

Die Abweichung kann darauf zurückgeführt werden, dass die Oszilloskopmethode beispielsweise durch Ablesefehler sehr ungenau ist.

Die Anzahl der je einfallendem Teilchen freigesetzter Ladungsträger ist proportional zur

angelegten Spannung. Dies ist in Abbildung 8 zu sehen und entspricht den theoretischen Erwartungen.

Die Bestimmung der Nachentladungszeit ist sehr ungenau, weil sich die Peaks in Abbildung 7 häufig überlappen. Allerdings sind sie trotzdem klar erkennbar in Abbildung 6, da die Plateaugerade ansteigt.

Nach allen Teilen dieses Versuches ist die Funktionsweise des Geiger-Müller-Zählrohrs klar erkennbar.

Anhang

$U_{\text{empirisch}}$	N	I			
330	12435	$0,1 \mu A$	440	13861	$0,21 \mu A$
340	13454	$0,1 \mu A$	450	14871	$0,25 \mu A$
350	13651	$0,1 \mu A$	460	16142	$0,27 \mu A$
360	13660	$0,1 \mu A$	470	15711	$0,26 \mu A$
370	13778	$0,1 \mu A$	480	14331	$0,3 \mu A$
380	13740	$0,1 \mu A$	490	14047	$0,3 \mu A$
390	13938	$0,15 \mu A$	500	14092	$0,3 \mu A$
400	14003	$0,15 \mu A$	510	14164	$0,3 \mu A$
410	14192	$0,18 \mu A$	520	14296	$0,3 \mu A$
420	13730	$0,2 \mu A$	530	15460	$0,31 \mu A$
430	14211	$0,21 \mu A$	540	15307	$0,34 \mu A$
			550	17976	$0,5 \mu A$
			560	16833	$0,35 \mu A$

Abbildung 9: Die Originalmesswerte.

U	N	I	U	N	I
570	15013	$0,38 \mu A$	Slab 1	$U=500V$	$N=22524$
580	14903	$0,4 \mu A$	Slab 12	$U=500V$	$N=25144$
590	14337	$0,4 \mu A$	Slab 2	$U=500V$	$N=$
600	14202	$0,4 \mu A$	Slab 1	$U=500V$	$N=21844$
610	14087	$0,45 \mu A$	Slab 12	$U=500V$	$N=33105$
620	14180	$0,45 \mu A$	Slab 2	$U=500V$	$N=17594$
630	14290	$0,47 \mu A$			
640	14130	$0,48 \mu A$			
650	14466	$0,5 \mu A$			
660	14052	$0,5 \mu A$			
670	14170	$0,5 \mu A$			
680	14583	$0,52 \mu A$			
690	14653	$0,6 \mu A$			
700	14715	$0,6 \mu A$			

Abbildung 10: Die Originalmesserte.