

Nr.703

Das Geiger-Müller-Zählrohr

Sara Krieg
sara.krieg@udo.edu

Marek Karzel
marek.karzel@udo.edu

Durchführung: 16.04.2019

Abgabe: 23.04.2019

TU Dortmund – Fakultät Physik

Inhaltsverzeichnis

1	Theorie	3
1.1	Aufbau und Charakteristik	3
1.2	Totzeit und Nachentladung	4
2	Durchführung	5
3	Auswertung	6
3.1	Die Charakteristik des Zählrohrs	6
3.2	Nachentladungen des Zählrohrs	8
3.3	Die Totzeit des Zählrohrs	8
3.4	Durchschnittliche Teilchenladung	9
4	Diskussion	11
5	Literaturverzeichnis	11

1 Theorie

Das Geiger-Müller-Zählrohr wird verwendet, um die Intensität ionisierender Strahlung zu messen. Dabei werden elektrische Impulse erzeugt, wenn α -, β - oder γ - Teilchen absorbiert werden. Im vorliegenden Versuch sollen einige Kenndaten eines solchen Zählrohrs experimentell bestimmt werden.

1.1 Aufbau und Charakteristik

Der schematische Aufbau ist in Abbildung 1 zu erkennen.

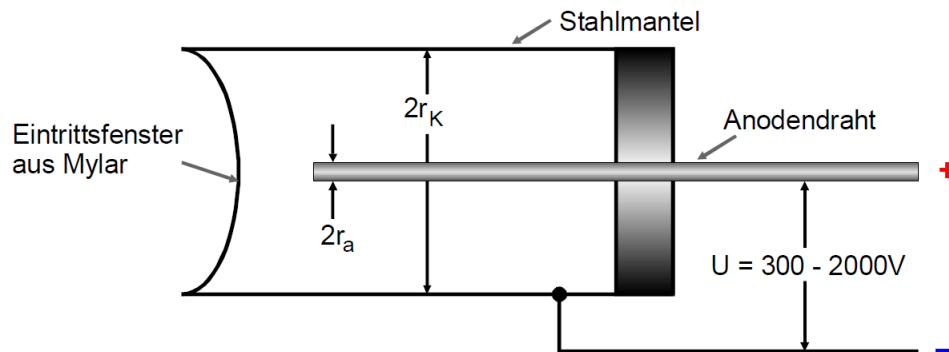


Abbildung 1: Querschnitt eines Endfenster-Zählrohrs [1]

Das Geiger-Müller-Zählrohr besteht aus einem Kathodenzyylinder und einem darin axial verlaufendem Anodendraht. Im Inneren befindet sich ein Gasgemisch. Das Anlegen einer Spannung führt zu einem radialsymmetrischen Feld zwischen Kathode und Anode. Wenn ein geladenes Teilchen in das Zählrohrvolumen eindringt und vollständig absorbiert wird, werden durch Ionisationsakte freie Elektronen und Ionen erzeugt. Die Anzahl der entstehenden Elektronen ist dabei proportional zur Energie des einfallenden Teilchens. In Abbildung 2 ist erkennbar, dass die Zahl der erzeugten Elektronen von der Zählrohrspannung U abhängt. Es ist möglich, dass diese nicht ausreicht, damit alle Elektronen den Draht erreichen, da viele durch Rekombination verloren gehen (Bereich I).

Der Ionisationsstrom ist bei ausreichender Spannung proportional zur Energie der einfallenden Strahlung. Diesen Bereich bezeichnet man als Ionisationskammer (Bereich II). Durch die geringen Ströme, kann diese Kammer praktisch nur für hohe Strahlintensität eingesetzt werden.

Daran schließt sich der Proportionalitätsbereich (Bereich III) an. In diesem haben die Elektronen eine Energie, die hoch genug ist, durch Stoßionisation ihrerseits ionisieren zu können. Die dadurch erzeugten freien Elektronen können ebenfalls ionisieren. Wegen des Anstiegs der Anzahl der freien Elektronen wird dieser Prozess als Townsend-Lawine bezeichnet. Die gesammelte Ladung Q ist proportional zur Primärteilchenenergie, sodass das Proportionalzählrohr zur Energiemessung der einfallenden Strahlung geeignet ist. Eine noch höhere Spannung führt zu dem Auslösebereich (Bereich IV). Die Ladung Q ist

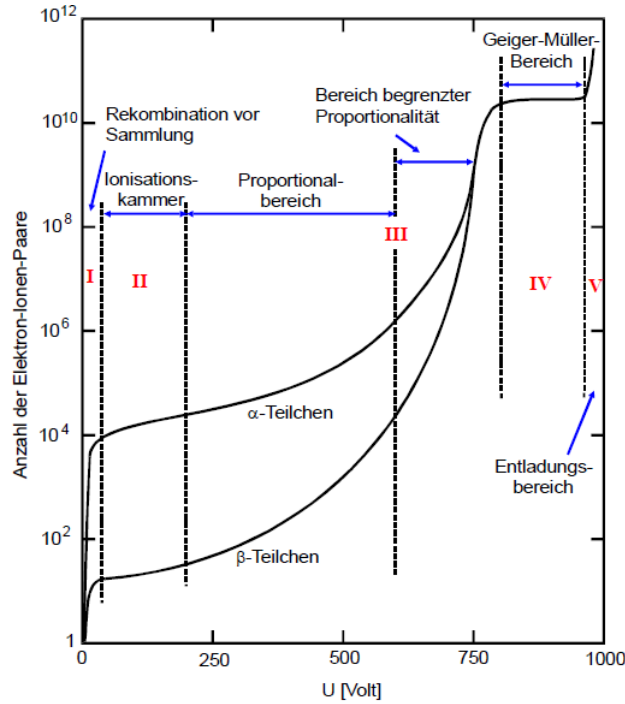


Abbildung 2: Detektierte Elektronen in Abhängigkeit von der Zählrohrspannung [1]

in diesem Bereich unabhängig von der Primärionisation, sondern hängt nur noch vom Volumen und der Spannung ab. Durch die Entstehung von ungeladenen UV-Photonen, die sich senkrecht zum E-Feld ausbreiten können, werden so weitere Lawinen im gesamten Zählrohrvolumen ausgelöst. Das Geiger-Müller-Zählrohr kann nur noch für Intensitätsmessung benutzt werden. Der lineare Teil in diesem Bereich wird als Plateau bezeichnet. Die Kenndaten eines Zählrohrs sind die Länge des Plateaus und dessen Anstieg. Je niedriger die Steigung und je länger das Plateau ist, desto hochwertiger ist das Geiger-Müller-Zählrohr.

Wenn die Spannung U noch weiter erhöht wird, wird durch ein einzelnes Teilchen die Dauerentladung gezündet. Dies zerstört schnell das Zählrohr (Bereich V).

1.2 Totzeit und Nachentladung

Nach einer Entladung verbleiben Ionen wegen ihrer größeren Masse länger als die Elektronen im Gasraum und bauen einen sogenannten Ionenschlauch auf. Danach ist für eine Zeit T_T keine Stoßionisation möglich, da die effektive Feldstärke in Drahtnähe reduziert wird. In diesem Zeitraum können keine weiteren Teilchen detektiert werden. Deswegen wird T_T als Totzeit des Zählrohres bezeichnet. Zudem kann der Ladungsimpuls seine ursprüngliche Höhe erst nach vollständiger Neutralisation der Ionen erreichen. Daher schließt sich an die Totzeit die längere Erholungszeit T_E an. Diese Zeiträume sind in Abbildung 3 dargestellt.

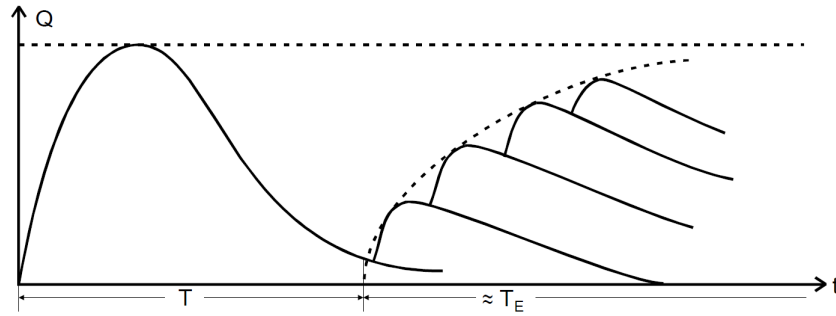


Abbildung 3: Qualitative Darstellung der Tot- und Erholungszeit eines Zählrohrs [1]

Mit einem Oszilloskop ist es möglich, diese Kurve sichtbar zu machen, sodass die Totzeit T_T direkt abgelesen werden kann. Außerdem kann zur Bestimmung der Totzeit auch die in Kapitel 2 erläuterte Zwei-Quellen-Methode verwendet werden. Die Totzeit berechnet sich nach

$$T_T \approx \frac{n_1 + n_2 - n_{1+2}}{2n_1n_2}. \quad (1)$$

Die n_i sind dabei die Impulsraten.

Sogenannte Nachentladungen können während der Erholungszeit stattfinden. Diese entstehen dadurch, dass Ionen beim Neutralisieren am Zählrohrmantel Elektronen herauslösen, welche wiederum neue Elektronenlawinen auslösen. Zum Reduzieren dieser Nachentladung wird dem Gas ein Alkoholzusatz beigemischt, welcher die Ionen im Gasraum neutralisiert. Die positiv geladenen Alkoholmoleküle wandern dann anstatt der Ionen zum Zählrohrmantel und werden dort neutralisiert, ohne weitere Elektronenlawinen auszulösen.

2 Durchführung

Die verwendete Messapparatur ist in Abbildung 4 skizziert.

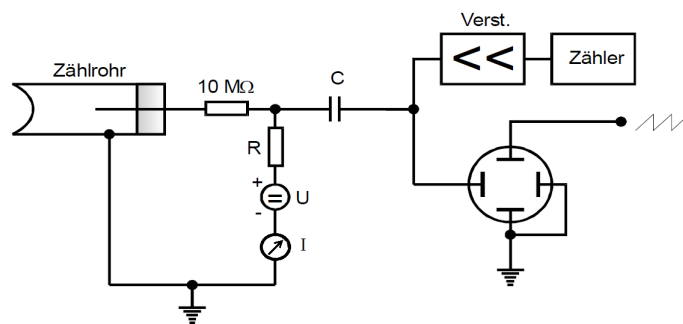


Abbildung 4: Skizze der Messapparatur [1]

Die durch ein einfallendes Teilchen verursachte Ladung Q fließt über den Widerstand R ab und erzeugt somit einen Spannungsimpuls. Dieser wird über einen Kondensator ausgekoppelt und mit einem Zähler gezählt bzw. mit Hilfe eines Oszilloskopes sichtbar gemacht.

Der Versuch kann in drei Versuchsteile gegliedert werden.

Im ersten Teil wird die Charakteristik des Geiger-Müller-Zählrohrs untersucht. Dabei wird die Impulsrate bei etwa 100/s gehalten, um den Einfluss der Totzeit möglichst gering zu halten. Desweiteren wird eine Messdauer von 100 s gewählt, damit der Fehler unter 1 % liegt. Dann wird die Zählrohrspannung in 20 V von 300 V auf 700 V erhöht und die registrierten Impuls N sowie die Stromstärke I gemessen.

Im nächsten Versuchsteil werden Messungen mit Hilfe des Oszilloskopes durchgeführt. Zunächst wird bei einer Spannung von $U = 350$ V die Strahlintensität so eingestellt, dass nur der Primärimpuls auf dem Bildschirm zu sehen ist. Bei gleichbleibender Strahlintensität wird daraufhin die Spannung auf 700 V erhöht und die qualitative Veränderung beobachtet. Dabei wird der Abstand zwischen dem Primärimpuls und den auftretenden Nachentladungen ermittelt. Außerdem wird bei beiden Spannungen T_T am Oszilloskop als Breite des Primärimpulses abgelesen. Mit Hilfe des Oszilloskopes wird auch versucht die Erholungszeit T_E abzuschätzen.

Mit der angesprochenen Zwei-Quellen-Methode wird im letzten Versuchsteil die Totzeit des Zählrohrs bestimmt. Hierzu wird die Zählrohrspannung auf eine Spannung geregelt, welche sich nach den vorherigen Messungen als geeignet herausstellt (500 V). Nun folgt das Verfahren der Zwei-Quellen-Methode: Zunächst wird die Zählrate der ersten Spannungsquelle gemessen. Dann wird die zweite Quelle hinzugefügt und eine weitere Messung durchgeführt. Anschließend wird die erste Quelle entfernt und nur noch die Zählrate der zweiten Quelle gemessen. Der Messzeitraum beträgt dabei immer 100 s. Es wird bei den Messungen darauf geachtet, dass die Quellen nicht verschoben werden und die Zählrate von beiden Quellen gleichzeitig geringer ist, als die Summe der Zählraten der einzelnen Quellen.

3 Auswertung

3.1 Die Charakteristik des Zählrohrs

Die Messwerte der Impulszahlen N über das Zeitintervall von $t = 125$ s in Abhängigkeit von der Spannung U , sowie die Impulsrate $\frac{N}{1s}$, deren Fehler $\frac{\sqrt{N}}{t}$ und die Stromstärke A sind in Tabelle 1 abgebildet.

In Abbildung 5 ist die Impulsrate $\frac{N}{t}$ gegen die Spannung U aufgetragen. Es wird eine lineare Regression im Plateauintervall von 400 V bis 600 V mittels Python mit der Geradengleichung $\frac{N}{t} = a \cdot U + b$ durchgeführt. Die Regressionsparameter ergeben sich dabei zu

Tabelle 1: Die Messdaten der Charakteristik des Zählrohrs in Abhängigkeit von der angelegten Spannung U

U / V	N in 125 s	$\frac{N}{t} / 1/\text{s}$	$\frac{\sqrt{N}}{t} / 1/\text{s}$	$A / \mu\text{A}$
320	10726	85,81	0,83	0,20
340	10899	87,19	0,84	-
360	11235	89,88	0,85	-
380	11032	88,26	0,84	-
400	11311	90,49	0,85	0,20
420	11211	89,69	0,85	-
440	11216	89,73	0,85	-
460	11055	88,44	0,84	-
480	11235	89,88	0,85	0,25
500	11562	92,50	0,86	-
520	11193	89,54	0,85	-
540	11179	89,43	0,85	-
560	11305	90,44	0,85	0,40
580	11269	90,15	0,85	-
600	11314	90,51	0,85	-
620	11462	91,70	0,86	-
640	11559	92,47	0,86	0,50
660	11379	91,03	0,85	-
680	11830	94,64	0,87	0,50

$$a = (3,0 \pm 5,6) \frac{1}{\text{s kV}} = 0,33 \text{ \%/100V}$$

$$b = (88,76 \pm 2,83) \frac{1}{\text{s}}.$$

Die Plateaulänge beträgt daher etwa 200 V.

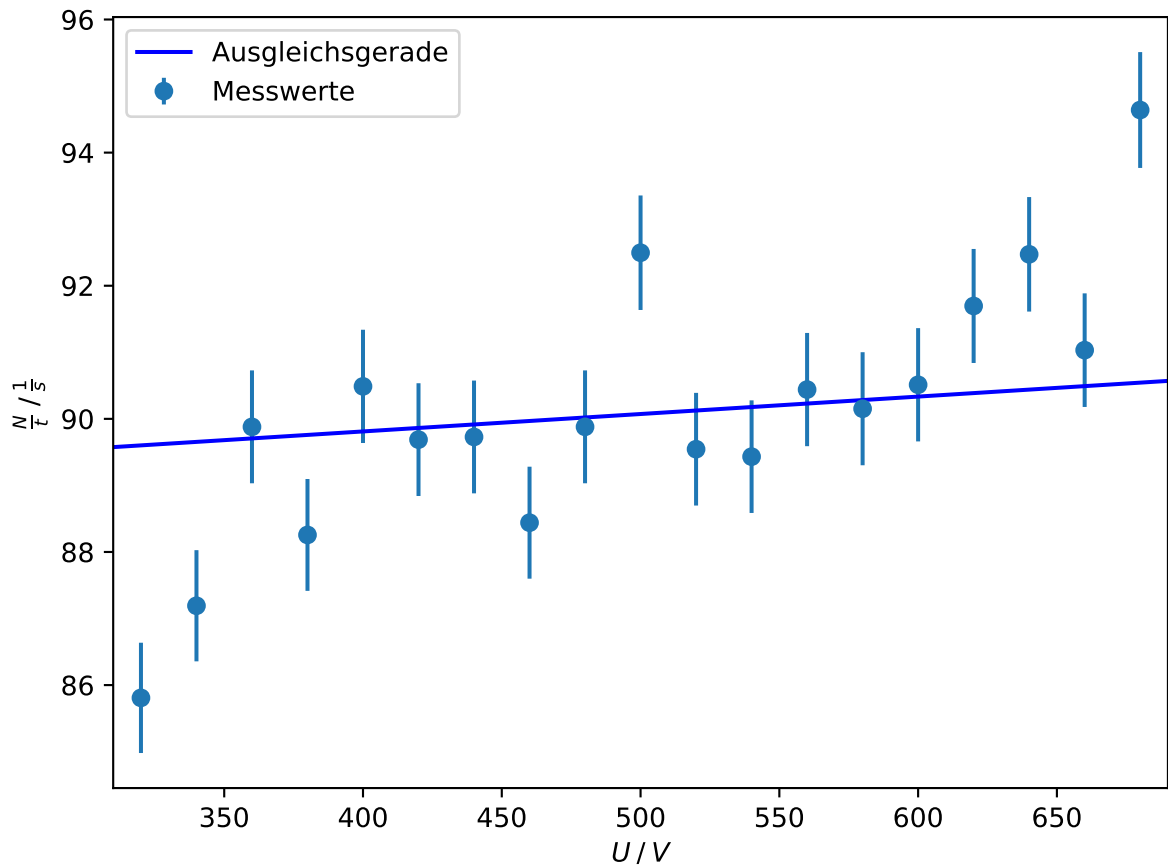


Abbildung 5: Die spannungsabhängige Impulsrate

3.2 Nachentladungen des Zählrohrs

Auf dem Oszilloskop konnte ein Abstand von $175 \mu\text{s}$ zwischen Primär- und Nachentladung abgelesen werden.

3.3 Die Totzeit des Zählrohrs

Die nach der ersten Methode vom Oszilloskop abgelesene Totzeit beträgt $30 \mu\text{s}$.

Durch die Zwei-Quellen-Methode über einen Zeitraum von $t_T = 100\text{ s}$ ergeben sich für die Quellen 1 und 2 die Impulszahlen, die in Tabelle 2 aufgelistet sind.

Tabelle 2: Die Messdaten zur Bestimmung der Totzeit des Zählrohrs

Quelle	N in 100 s	$\frac{N}{t} / 1/\text{s}$	$\frac{\sqrt{N}}{t} / 1/\text{s}$
1	23514	235,14	1,53
2	35081	350,81	1,87
1 + 2	56651	566,51	2,38

Nach Gleichung (1) ergibt sich die Totzeit zu

$$T_T = (118 \pm 20) \mu\text{s} .$$

Der Fehler berechnet sich nach der Gaußschen Fehlerfortpflanzung gemäß

$$\Delta T_T = \frac{n_{1+2} - n_2}{2n_1^2 n_2} \cdot \Delta n_1 + \frac{n_{1+2} - n_1}{2n_2^2 n_1} \Delta n_1 - \frac{1}{2n_1 n_2} \Delta n_{1+2} . \quad (2)$$

3.4 Durchschnittliche Teilchenladung

Zur Bestimmung der Teilchenladung werden die Messwerte der Stromstärke aus Tabelle 1 entnommen und die Ladungen nach der Formel

$$Q = \frac{I \cdot t}{N} \quad (3)$$

berechnet. Diese sind in Tabelle 3 eingetragen.

Tabelle 3: Die Messdaten der Stromstärke und Ladung im Zählrohr

U / V	$\frac{N}{t} / 1/\text{s}$	$\frac{\sqrt{N}}{t} / 1/\text{s}$	$A / \mu\text{A}$	Q / nC	Q / Ge	$\Delta Q / \text{Ge}$
320	85,81	0,83	0,20	2,33	14,55	0,14
400	90,49	0,85	0,20	2,21	13,80	0,13
480	89,88	0,85	0,25	2,78	17,36	0,16
560	90,44	0,85	0,40	4,42	27,61	0,26
640	92,47	0,86	0,50	5,41	33,75	0,31
680	94,64	0,87	0,50	5,28	33,00	0,30

Die Werte von Q sind in Abbildung 6 gegen die Spannung U abgebildet. Die lineare Regression mittels python mit der Gleichung $Q = c * U + d$ ergibt die Parameter:

$$c = (0,063 \pm 0,015) \text{ Ge/V}$$

$$d = (-8,86 \pm 7,65) \text{ Ge} .$$

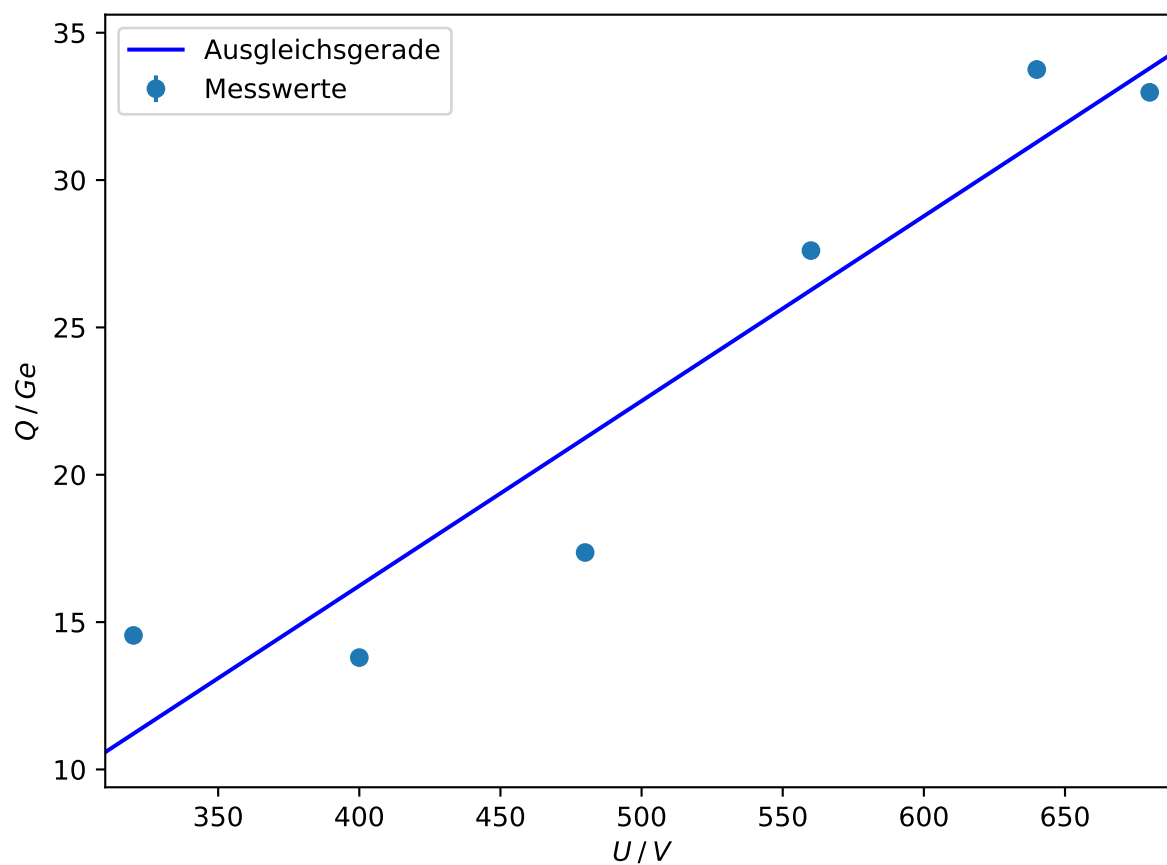


Abbildung 6: Die spannungsabhängige Ladung

4 Diskussion

Im ersten Aufgabenteil wurde die Charakteristik des Zählrohrs untersucht. Diese ist mit einem Plateau von etwa 200 V, das etwa $\frac{2}{3}$ vom gesamten Spannungsmessbereich umfasst und einer sehr geringen Plateausteigung sehr gut.

Die Messungen zu den Nachentladungen und der Totzeit wurden beide jeweils einmal durchgeführt und sind somit als Stichproben anzusehen. Die für die Totzeit nach verschiedenen Methoden bestimmten Werte weichen daher nicht überraschend um 74,58 % voneinander ab.

Bei der Bestimmung der einzelnen Teilchenladung weichen die einzelnen Ladungsmesswerte, wie Abbildung 6 zeigt, recht stark von der Ausgleichsgerade ab. Dies kann an der begrenzt möglich ablesbaren Stromstärke liegen.

5 Literaturverzeichnis

[1]: TU Dortmund. *Versuchsanleitung zu Versuch 703: Das Geiger-Müller-Zählrohr*.