VERSUCH 703

Das Geiger-Müller-Zählrohr

Marius Hötting
Marius.Hoetting@udo.edu

Matthias Jaeger
Matthias.Jaeger@udo.edu

Durchführung: 24.05.2016

Abgabe: 31.05.2016

TU Dortmund – Fakultät Physik

Inhaltsverzeichnis

1 Ziel

Im folgenden Versuch soll die Charakteristik und Totzeit eines Geiger-Müller-Zählrohrs untersucht werden, welches eingesetzt wird um Strahlung zu detektieren.

2 Theorie

2.1 Aufbau und Funktionsweise des Geiger-Müller-Zählrohrs

Das Geiger-Müller-Zählrohr besteht aus einem Kathodenzylinder mit einem Durchmesser von $2r_\mathrm{K}$. Das Innere des Zylinders ist mit einem Gasgemisch bestehend aus 100 mbar Argon und 10 mbar Ethyalkohol gefüllt. Außerdem verläuft parallel zum Rand des Zylinders ein Anodendraht mit dem Radius $2r_\mathrm{a}$. Eine Seite des Zylinders in fest verschlossen, die andere Seite ist nur durch eine Mylar-Folie abgedeckt, diese besteht aus einem Material mit niedrige Massenbelegung, sodass α-Strahlen sie durchdringen können. Durch den Unterdruck im Zylinder wird die dünne Folie nach innen gewölbt. Der zuvor beschriebene Aufbau ist in Abbildung 1 graphisch dargestellt.

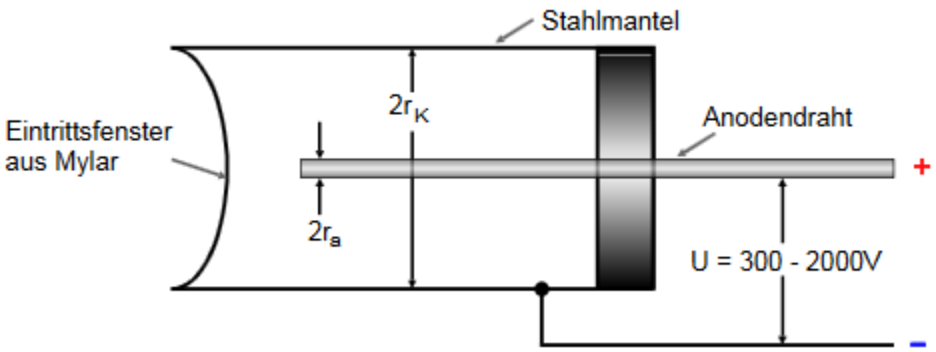

Abbildung 1: Aufbau des Geiger-Müller-Zählrohrs [**skipt**].

Wird eine Spannung zwischen Anodendraht und Kathodenzylinder angelegt baut sich ein radialsymmetrischen Feld auf. Die Feldstärke $E(r)$ wird bestimmt durch

$$E(r) = \frac{U}{r \ln\left(\frac{r_\mathrm{K}}{r_\mathrm{a}}\right)} \; . \tag{1}$$

Somit wird die Feldstärke $E(r)$ in der Nähe des Drahtes maximal.

2.2 Funktionsweise

Wie in Abbildung 3 zu sehen, sind die Abläufe im Zählrohr abhängig von der angelegten Spannung.

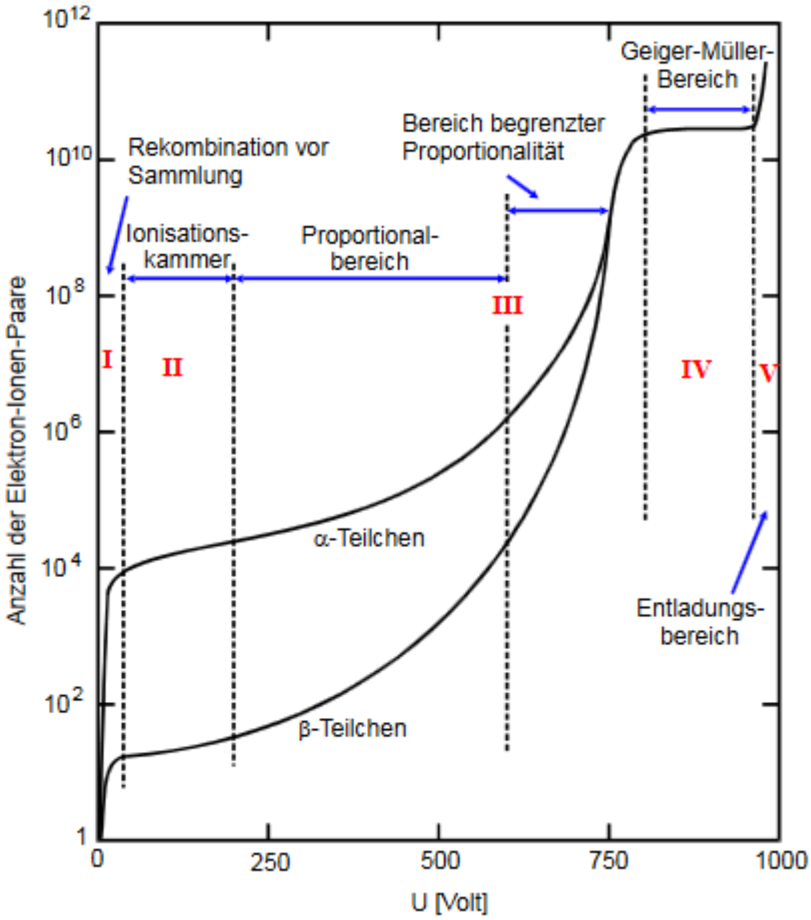

Abbildung 2: Aufbau des Geiger-Müller-Zählrohrs [**skipt**].

Bei einer niederigen Spannung erreichen nicht alle einfallenden Teilchen den Anodendraht, da viele Elektronen sich wieder mit einem positiven Ion verbinden und somit zu einem neutral Atom werden.
In Bereich 2 ist die Spannung soweit erhöht worden, das eine Rekombination wie in Bereich 1 nicht mehr möglich ist. Somit erreichen alle einfallende Teilchen den Anodendraht und es fließt ein Strom. Dieser Ionisationsstrom ist proportional zur Energie und Intensität der Strahlung. Dabei ist der Strom so gering, dass die sogenannte Ionisationskammer nur bei Quellen mit einer hohen Strahlungsintensität eingesetzt wird.
Im nächsten Bereich gewinnen die Elektronen durch die Zusammenstöße mit den Argon-Atomen aufgrund der hohen Feldstärke so viel Energie, dass sie ionisieren. Die durch die Stoßionisation frei gewordenen Elektronen ionisieren ebenfalls. Der Effekt das sich die Zahl der Elektronen schlagartig vervielfacht nennt man Townsend-Lawine. Der Bereich 3 wird als Proportionalzählrohr bezeichnet, da Aufgrund der proportionalität von den einfallenden Teilchen zu der Ladung Q, die Energie und die Strahlung gemessen werden kann.
Im Bereich 4, wo das Geiger-Müller-Zählrohr aggiert, ist die Spannung so hoch, dass die Ladung Q unabhängig von der Primärionisations ist. Desweiteren enstehen durch die Lawinen aus Elektronen UV-Photonen, da Photonen nicht geladen sind, breiten diese sich auch senkrecht zum elektrischen Feld aus. Somit enstehen Townsend-Lawinen im ganzen Rohr. Dadurch ist die Ladung Q am Anodendraht abhängig von dem Volumen des Zylinders. In diesem Spannungsbereich kann nur die Intensität der einfallenden Strahlung gemessen werden.
Im letzten Bereich ensteht eine selbständige Gasentlandung, die zu hohen Stromdichten führt

und das Zählrohr zerstört.

2.3 Tot- und Erholungszeit

Die durch Ionisation enstandenen positiven Ionen sind massereicher als die enstandenen Elektronen, aus diesem Grund halten sich die Ionen länger zwischen Anode und Kathode auf als die Elektronen. Es ensteht ein sogenannter "Ionenschlau". Durch diesen "Ionenschlau" wird die Feldstärke soweit abgeschwächt, das es zu keinen Stoßionisatonen mehr kommen kann. Somit wird ein einfallendes Teilchen in diesem Zeitraum, der Totzeit T, nicht detektiert. Registriert das Zählrohr N_r Impulse pro Zeiteinheit, ist das Zählrohr für einen kleinen Zeitintervall TN_r nicht funktionsbereit und daher nur für die restliche Zeit messbereit. Somit ergibt sich die wahre Impulsratur N_w durch

$$N_\mathrm{w} = \frac{N_\mathrm{t}}{1 - TN_\mathrm{r}} \; . \tag{2}$$

Als Erholungszeit T_E wird der Zeitraum bezeichnet indem der Ionisationsschlau langsam neutralisiert wird. Dadurch ist die Lawinenbildung der Elektronen wieder möglich. Die Erholungszeit T_E ist beendet, wenn die Ladungsimpulse Q ihre ursprüngliche Höhe wieder erreicht haben. Die beiden beschriebenen Zeitabschnitte sind in Abbildung 3 dargestellt.

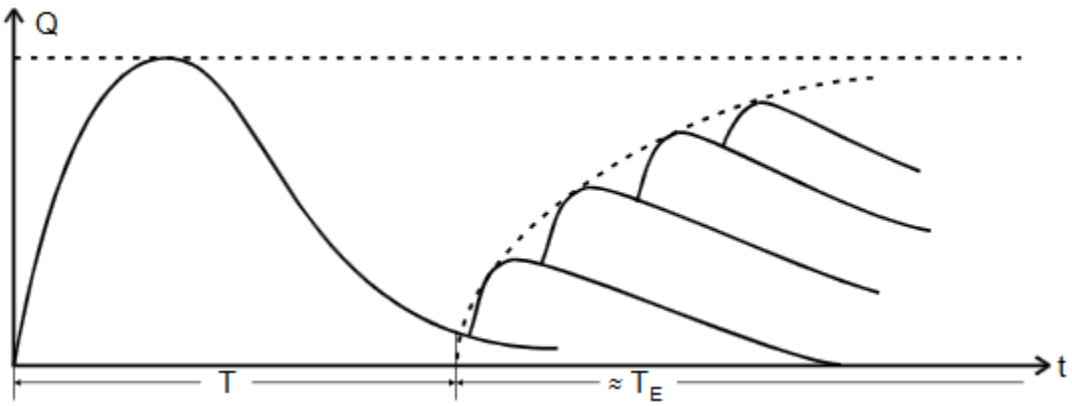

Abbildung 3: Tot- und Erholungszeit, dargestellt im Ladungs-Zeit-Diagramm [**skipt**].

2.4 Nachentladung

Bei der Neutralisation der Ionen wird so viel Energie frei, sodass Elektronen aus der Metalloberfläche ausgelöst werden. Die frei gewordenen Elektronen werden als "Sekundärelektronen" bezeichnet, da sie das Potential durchlaufen und Zählrohrentladungen erneut verursachen. Aus diesem Grund entstehen aus einem einfallende Teilchen mehrere Ausgangsimpulse. Da dieses Verhalten unerwünscht ist, wird neben Argon auch Ethyalkohol in den Zylinder gegeben. Die Argon-Ionen stoßen mit den Alkoholmolekülen, daraufhin werden die Alkoholmoleküle ionisiert und von der Kathode angezogen. An der Kathode angekommen werden sie neutralisiert. Bei diesem Vorgang entstehen jedoch keine weiteren Elektronen. Die entstandene Energie lässt die Alkoholmoleküle schwingen, wodurch die Energie verbraucht wird. Somit werden mehrere Ausgangsimpulse bei nur einem einfallenden Teilchen vermieden.

2.5 Charakteristik des Zählrohrs

Im Geiger-Müller-Bereich bei einer Spannung U_E setzt der Auslösebreich ein. In Abbildung 4 ist zu sehen, wie nach dem Auflösebreich das sogenannte Plateau folgt. Das Plateau ist ein linearer Abschnitt des Kurvenverlaufs. Je niedriger die Steigung dieser Gerade ist, desto qualitativ hochwertiger ist das Zählrohr. Im Idealfall ist die Plateausteigung null, jedoch werden immer ein paar Nachentladungen entstehen, weshalb im Experiment immer eine Steigung fest zu stellen ist. Nach dem Plateau folgt der Bereich der Dauerentladung. in dem durch hohe Stromdichten das Zählrohr zerstört werden kann.

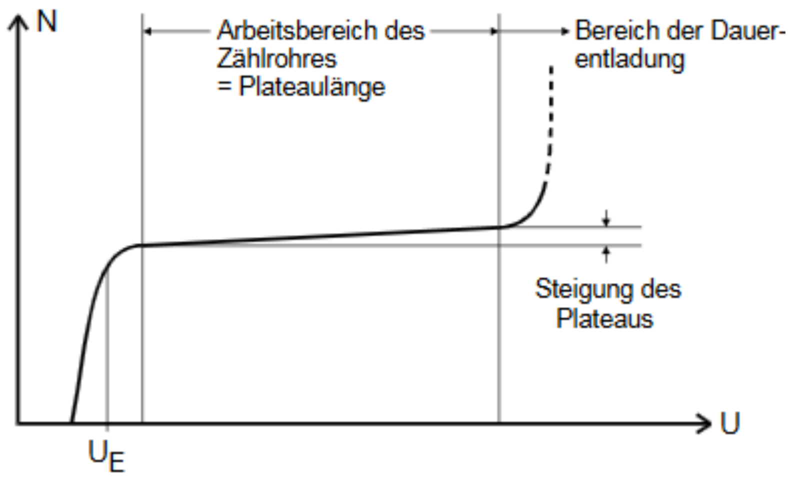

Abbildung 4: Zählrohrcharakteristik [**skipt**].

3 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

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

Der Mittelwert ist

$$\overline{X} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} X_i \tag{4}$$

Der Fehler des Mittelwertes ist

$$\Delta\overline{X} = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)}\sum_{i=1}^{n}(X_i - \overline{X})^2}\ . \tag{5}$$

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

$$\Delta f = \sqrt{\sum_{i=1}^{n}\left(\frac{\partial f}{\partial X_i}\right)^2 \cdot (\Delta X_i)^2} \tag{6}$$

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

$$m = \frac{\overline{xy} - \overline{x}\cdot\overline{y}}{\overline{x^2} - \overline{x}^2} \qquad\qquad b = \overline{y} - m\overline{x}\ . \tag{7}$$

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

$$\sigma_m^2 = \frac{\sigma^2}{n(\overline{x^2} - \overline{x}^2)} \qquad\qquad \sigma_b^2 = \frac{\sigma^2\overline{x^2}}{n(\overline{x^2} - \overline{x}^2)} \tag{8}$$

4 Versuchsaufbau

Der Versuch wird nach dem Schaltplan in Abbildung 5 aufgebaut.

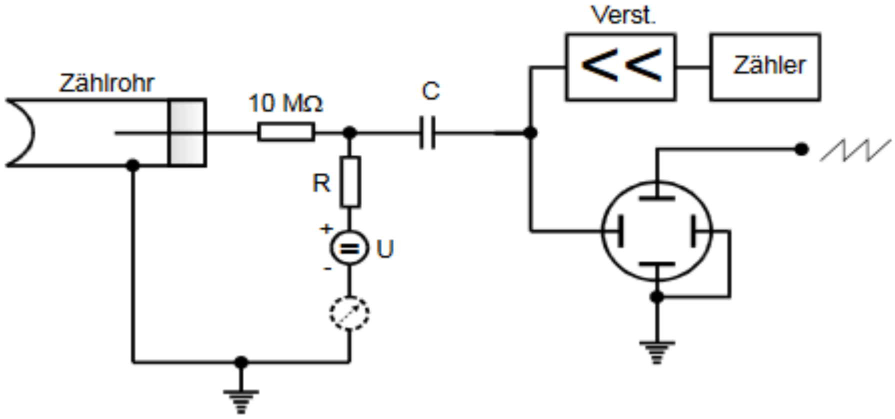

Abbildung 5: Skizze der Messapparatur[**skipt**].

Die an der Anode gesammelte Ladung Q erzeugt im Widerstand R einen Spannungsimpuls, dieser wird im Kodensator entkoppelt. Daraufhin wird der Inpuls verstärkt und in dem Zählgerät registriert.

5 Durchführung

Als Strahlungsquelle wird im folgenden Versuch ein Thallium-Isotop verwendet.

5.1 Aufnahme der Charakteristik des Zählrohrs

Der β-Strahler wird vor dem Geiger-Müller-Zählrohr positioniert um das Charakteristik des Strahlers aufzunehmen. Dazu wird die Anzahl der eingehenden Teilchen in Abhängigkeit der angelegten Spannung U gemessen. Im Bereich von 320 V-700 V wird im Abstand von 10 V die dazugehörige Teilchenzahl ΔN notiert. Bei der Durchführung ist darauf zu achten die Spannung von 720 V nicht zu überschreiten, da sonst durch Dauerentladungen das Zählrohr zerstört wird.

5.2 Sichtbarmachung von Nachentladungen

In diesem Teil soll die Nachentladung rein qualitativ gezeigt werden. Dafür wird der Abstand des β-Strahlers zum Zählrohr vergrößert, bis auf dem Oszilloskop kein weiterer Impuls des Strahlers mehr sichtbar ist. Dieses soll einmal bei einer Spannung von 350 V untersucht werden, da in diesem Bereich Nachentladungen sehr unwahrscheinlich sind und einmal bei 700 V.

5.3 Oszillographische Messung der Totzeit

Es wird die Strahlungsintensität erhöht indem der β-Strahler nah am Zählrohr positioniert wird. Auf dem Oszilloskop wird die Totzeit T und die Erholungszeit T_{E} grob abgeschätzt.

5.4 Bestimmung der Totzeit mit der Zwei-Quellen-Methode

Zuerst wird die erste Strahlungsquelle vor dem Zählrohr platziert und die Zählrate N_1 aufgenommen. Dann wird ein zweiter Strahler vor dem Zählrohr platziert und die Zählrate N_{1+2} aufgenommen. Zuletzt wird die erste Quelle wieder entnommen um die Zählrate N_2 auf zu nehmen.
Aufgrund der Totzeit gilt

$$N_{1+2} < N_1 + N_2 \,. \tag{9}$$

Auf Grundlage von Gleichung 2 wird die Totzeit T bestimmt durch

$$T \approx \frac{N_1 + N_2 - N_{1+2}}{2N_1N_2} \,. \tag{10}$$

5.5 Messung der pro Teilchen vom Zählrohr freigesetzten Ladungsmenge

Mit einem geeigneten Amperemeter wird der mittlere Zählrohrstrom

$$\bar{I} := \frac{1}{\tau} \int_0^\tau \frac{U(t)}{R} dt \tag{11}$$

wobei $\tau >> T$, gemessen. Da die Anzahl der Teilchen Z und der Zeitintervall Δt in dem die Teilchenzahl bestimmt wurde bekannt ist, ergibt sich mit der Definition des Stroms

$$\bar{I} = \frac{\Delta Q}{\Delta t} Z \ . \tag{12}$$

Auf Grund der Abhängigkeit der Ladungsmenge von der Zählrohrspannung, wird ΔQ wärend der Aufnahme der Charakteristik des Zählrohres notiert.

6 Auswertung

Die im Folgenden durchgeführten Ausgleichsrechnung wird 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.

Zunächst soll die Charakteristik, das heißt die Plateausteigung, des Geiger-Müller-Zählrohrs bestimmt werden. Die zu diesem Zwecke aufgenommenen Messdaten sind in Tabelle 1 aufgelistet. Für die poissonverteilten Messwerte für die Anzahl der detektierten Impulse Z gilt

$$\delta Z = \sqrt{Z}\ . \tag{13}$$

Zusätzlich in die Tabelle eingetragen sind die abgeleiteten Größen der pro Teilchen freigesetzten Ladungsmenge ΔQ sowie die Zählrate N. Die Ladungsmenge ergibt sich dabei direkt aus Gleichung (12), während die Zählrate gemäß

$$N = \frac{Z}{\Delta t} \tag{14}$$

gegeben ist. Für beide Berechnungen ist die im Versuch eingestellte Messzeit $\Delta t = 10\,\mathrm{s}$ einzusetzen.

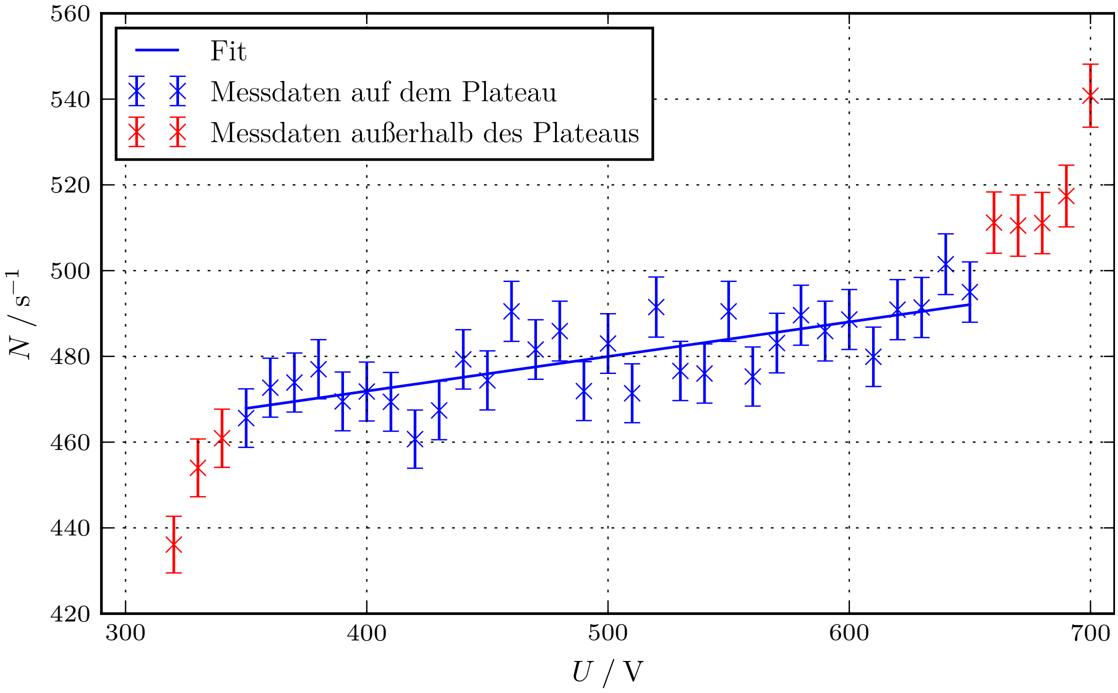

Abbildung 6: Charakteristik des Zählrohrs. Die für den Plateaubereich ausgewählten Messwerte sind blau gezeichnet.

Tabelle 1: Messdaten für die Charakteristik des Zählrohrs.

U / V	Z	N / s^{-1}	I / 10^{10}µA	ΔQ / e
320	4361 ± 66	436 ± 7	0,2	$0{,}286 \pm 0{,}004$
330	4540 ± 67	454 ± 7	0,4	$0{,}550 \pm 0{,}008$
340	4609 ± 68	461 ± 7	0,4	$0{,}542 \pm 0{,}008$
350	4656 ± 68	466 ± 7	0,6	$0{,}80 \pm 0{,}01$
360	4727 ± 69	473 ± 7	0,6	$0{,}79 \pm 0{,}01$
370	4739 ± 69	474 ± 7	0,8	$1{,}05 \pm 0{,}02$
380	4770 ± 69	477 ± 7	0,8	$1{,}05 \pm 0{,}02$
390	4695 ± 69	470 ± 7	1,0	$1{,}33 \pm 0{,}02$
400	4718 ± 69	472 ± 7	1,1	$1{,}46 \pm 0{,}02$
410	4694 ± 69	469 ± 7	1,2	$1{,}60 \pm 0{,}02$
420	4607 ± 68	461 ± 7	1,3	$1{,}76 \pm 0{,}03$
430	4674 ± 68	467 ± 7	1,4	$1{,}87 \pm 0{,}03$
440	4793 ± 69	479 ± 7	1,4	$1{,}82 \pm 0{,}03$
450	4744 ± 69	474 ± 7	1,5	$1{,}97 \pm 0{,}03$
460	4905 ± 70	490 ± 7	1,8	$2{,}29 \pm 0{,}03$
470	4816 ± 69	482 ± 7	1,8	$2{,}33 \pm 0{,}03$
480	4859 ± 70	486 ± 7	2,0	$2{,}57 \pm 0{,}04$
490	4719 ± 69	472 ± 7	2,0	$2{,}65 \pm 0{,}04$
500	4830 ± 69	483 ± 7	2,3	$2{,}97 \pm 0{,}04$
510	4714 ± 69	471 ± 7	2,3	$3{,}05 \pm 0{,}04$
520	4915 ± 70	492 ± 7	2,3	$2{,}92 \pm 0{,}04$
530	4766 ± 69	477 ± 7	2,3	$3{,}01 \pm 0{,}04$
540	4760 ± 69	476 ± 7	2,3	$3{,}02 \pm 0{,}04$
550	4905 ± 70	490 ± 7	2,3	$2{,}93 \pm 0{,}04$
560	4753 ± 69	475 ± 7	2,4	$3{,}15 \pm 0{,}05$
570	4831 ± 70	483 ± 7	2,5	$3{,}23 \pm 0{,}05$
580	4896 ± 70	490 ± 7	2,6	$3{,}31 \pm 0{,}05$
590	4859 ± 70	486 ± 7	3,0	$3{,}85 \pm 0{,}06$
600	4886 ± 70	489 ± 7	2,6	$3{,}32 \pm 0{,}05$
610	4799 ± 69	480 ± 7	2,7	$3{,}51 \pm 0{,}05$
620	4909 ± 70	491 ± 7	3,2	$4{,}07 \pm 0{,}06$
630	4914 ± 70	491 ± 7	3,4	$4{,}32 \pm 0{,}06$
640	5015 ± 71	502 ± 7	3,4	$4{,}23 \pm 0{,}06$
650	4950 ± 70	495 ± 7	3,5	$4{,}41 \pm 0{,}06$
660	5112 ± 71	511 ± 7	3,7	$4{,}52 \pm 0{,}06$
670	5105 ± 71	510 ± 7	3,8	$4{,}65 \pm 0{,}07$
680	5111 ± 71	511 ± 7	4,0	$4{,}88 \pm 0{,}07$
690	5174 ± 72	517 ± 7	4,0	$4{,}83 \pm 0{,}07$
700	5408 ± 74	541 ± 7	4,2	$4{,}85 \pm 0{,}07$

7 Diskussion

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/`.