

V703

Das Geiger-Müller Zählrohr

Amelie Hater

amelie.hater@tu-dortmund.de

Ngoc Le

ngoc.le@tu-dortmund.de

Durchführung: 23.04.2024

Abgabe: 30.04.2024

TU Dortmund – Fakultät Physik

Inhaltsverzeichnis

1 Zielsetzung	3
2 Theorie	3
2.1 Aufbau und Funktion des Zählrohrs	3
2.2 Kennlinie	4
2.3 Güte des Zählrohrs	5
2.4 Totzeit	5
2.5 Vorbereitungsaufgaben	6
3 Durchführung	6
3.1 Vermessung der Kennlinie	7
3.2 Bestimmung der Totzeit	7
Literatur	7
Anhang	7
Originaldaten	7

1 Zielsetzung

Das Ziel des Versuchs ist die Beschäftigung mit der Charakteristik eines Geier-Müller Zählrohrs. Dazu wird die Kennlinie der Stoffes ^{204}Tl analysiert und die Totzeit des verwendeten Geier-Müller Zählrohrs bestimmt.

2 Theorie

2.1 Aufbau und Funktion des Zählrohrs

Das Geiger-Müller-Zählrohr wird zur Messung von α , β und γ Strahlung verwendet. Allerdings ist die Nachweiswahrscheinlichkeit für γ Strahlung sehr gering, weshalb das Zählrohr hauptsächlich zur Messung von α und β verwendet wird. α Strahlung besteht aus Heliumkernen, die β^+ Strahlung besteht aus Positronen, die β^- Strahlung besteht aus Elektronen und die γ Strahlung ist energiereiche elektromagnetische Strahlung. Der prinzipielle Aufbau eines Geiger-Müller- Zählrohrs ist in Abbildung (1) zu sehen.

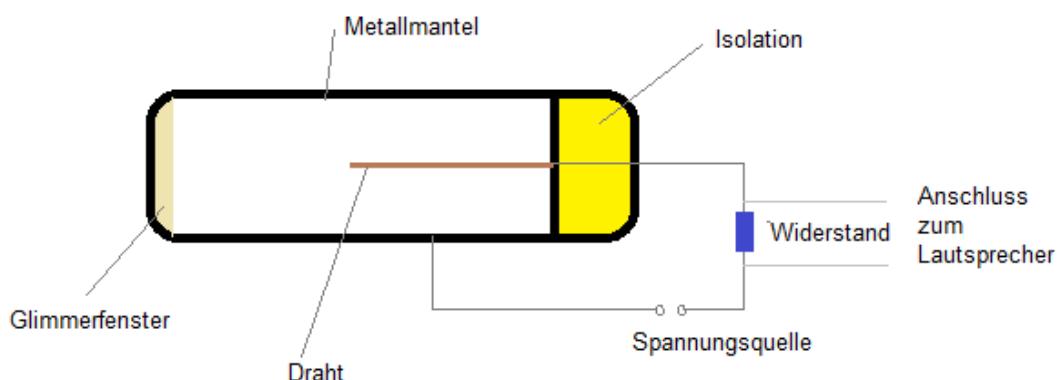


Abbildung 1: Schematischer Aufbau des Geiger-Müller-Zählrohrs [1]

Das Zählrohr besteht aus einem negativ geladenen, metallischen Zylinder. An einer Seite ist der Zylinder durch ein Glimmerfenster verschlossen. In der Mitte des Zylinders ist auf dessen Achse ein Draht aus Wolfram, der mit einem hochohmigen Widerstand verbunden ist. Das Innere des Rohrs ist mit einem Edelgas versetzt mit Kohlenwasserstoff gefüllt. Nach dem hochohmigen Widerstand ist das Messrohr mit einem Verstärker verbunden, um die vom Rohr erzeugten Spannungsimpulse messbar zu machen. Die Funktionsweise des Rohrs wird im Folgenden erläutert. Zwischen dem positiven Draht und dem negativ geladenen Zylinder wird ein elektrisches Feld angelegt. Wenn ein ionisiertes Teilchen durch das Glimmerfenster in das Zählrohr kommt, wird das Gas im Inneren ionisiert. Die entstehenden Elektronen werden in die Mitte zum Draht und die positiven Ionen zum Zylinder gezogen und am jeweiligen Ort gesammelt. Durch den Energiezuwachs, den die Teilchen durch die Beschleunigung erfahren, können diese auf dem Weg weitere Atome ionisieren und dadurch eine Lawine auslösen. Wenn genug Elektronen sich am Draht gesammelt haben, wird der Widerstand überwunden und die Spannung fällt schlagartig

ab. Dadurch wird die Feldstärke des elektronischen Feldes weniger und die Kettenreaktion stoppt. Danach baut sich das elektronische Feld wieder auf. Während dieses Vorgangs ist keine weitere Detektion eines Teilchens möglich.

2.2 Kennlinie

Ein Geiger-Müller-Zählrohr hat eine typische Kennlinie, die schematisch in Abbildung (2) zu sehen ist. Die Kennlinie kann in fünf Bereiche aufgeteilt werden. Der erste Abschnitt heißt Rekombination. In diesem Bereich ist die Spannung des elektrischen Felds noch zu gering, als dass das einfallende Teilchen andere Atome ionisieren könnte. Daher bindet das einfallende Teilchen sich mit anderen Atomen zu einem neutralen Teilchen. Im zweiten Bereich, der sogenannten Ionisationskammer, ist die Spannung so groß, dass die einfallenden Teilchen nicht rekombiniert werden zu neutralen Teilchen, sondern alle erzeugten Elektronen und Ionen erreichen den Draht bzw. den Zylinder. Diese werden allein von der Primärspannung erzeugt. Der sich anschließende Bereich ist der Proportionalitätsbereich. In diesem Bereich wird das einfallende Teilchen so stark beschleunigt, dass es genug Energie hat, um andere Atome zu Ionisieren. Die daraus entstehenden Elektronen erreichen ebenfalls eine so hohe Energie, dass sie andere Atome ionisieren können. Diese entstehenden Lawinen werden Townsend-Lawinen genannt und treten nur örtlich begrenzt auf. Die Lawinen führen zu einer Verstärkung des Signals um ungefähr 10^3 . Innerhalb dieses Bereiches kann das detektierte Teilchen nach Art und Energie unterschieden werden, da α - und β Teilchen und γ Strahlung unterschiedlich viele freie Ladungsträger im Rohr produzieren.

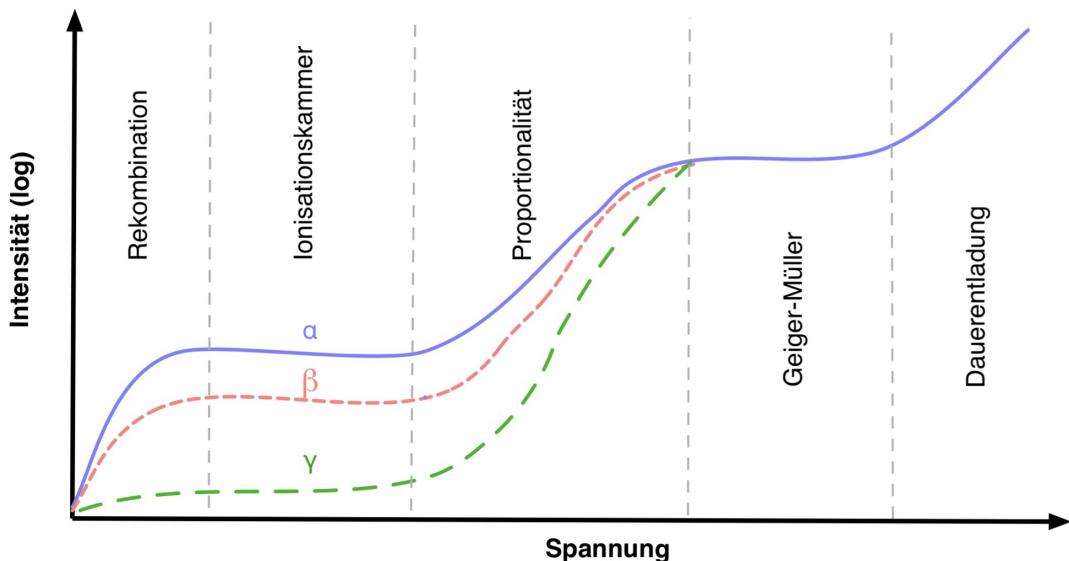


Abbildung 2: Kennlinie eines Geiger-Müller-Zählrohrs [2]

An den Proportionalitätsbereich schließt der Geiger-Müller-Bereich an. In diesem Bereich kann anhand des ausgehenden Signals nicht mehr unterschieden werden, welches Teilchen eingefallen ist. Anstatt nur lokal begrenzt bilden sich nun im gesamten Rohr Lawinen aus, die dadurch entstehenden Elektronen fließen über den Anodendraht ab, die massereicheren und daher trägeren Atomrumpfe bilden allerdings um den Draht herum eine positive Ladung und unterdrücken dadurch das Ausbilden weiterer Lawinen. Bei der Höhe der Spannung, die das elektrische Feld im Geiger-Müller-Bereich hat, können Gasatome nicht nur ionisiert, sondern auch angeregt werden. Dies führt dazu, dass diese Photonen emittieren können, die wiederum in der Kathodenwand des Metallzylinders Elektronen auslösen können. Diese Elektronen werden im elektrischen Feld beschleunigt und führen zur Lawinenbildung. Um diese Störung der Messung zu vermeiden, ist die Innenseite des Zylinders mit Löschalkohol beschichtet, welcher die Photonen absorbiert und dadurch ein Auslösen weiterer Elektronen verhindert. Der letzte Bereich ist der Bereich der Dauerentladung. In diesem Bereich führt die hohe Spannung zur Dauerentladung, welche das Messgerät zerstören kann.

2.3 Güte des Zählrohrs

Das Maß für die Güte des Zählrohrs ist die Steigung des Plateus im Geiger-Müller-Bereich. Diese entsteht dadurch, dass nicht jeder Elektronenausschlag aus dem Zylinder durch den Löschalkohol verhindert werden kann und durch diese Elektronen zeitlich versetzte Ausgangsimpulse entstehen. Diese Impulse stellen eine Verfälschung des Ergebnisses dar und führen dazu, dass das Geiger-Müller-Plateau eine positive Steigung s hat. Es gilt

$$s = \frac{\Delta N}{N} \cdot \frac{100\%}{100V}. \quad (1)$$

In dieser Formel ist $\frac{\Delta N}{N}$ die relative Zählrate und s ist pro 100V Spannungsänderung definiert. Wenn der Arbeitspunkt U_A bekannt ist, kann auch die Formel

$$s = \frac{(U_A + 50\text{ V}) - (U_A - 50\text{ V})}{U_A} \quad (2)$$

2.4 Totzeit

In der Zeit, in der sich die positive Ladungswolke um den Draht herum gebildet hat, ist das Messgerät nicht in der Lage ein weiteres Teilchen zu Detektieren. Erst nach Abfließen der Ladung und Aufbau des Feldes kann ein neues Teilchen gemessen werden. Dieses Zeitintervall heißt Totzeit. Während sich das elektrische Feld wieder aufbaut können Teilchen gemessen werden, das ausgehende Signal ist allerdings kleiner als sonst. Diese Zeit heißt Erholungszeit. Totzeit und Erholungszeit können auf dem Oszilloskopbild abgelesen werden, wie in Abbildung (3) zu sehen.

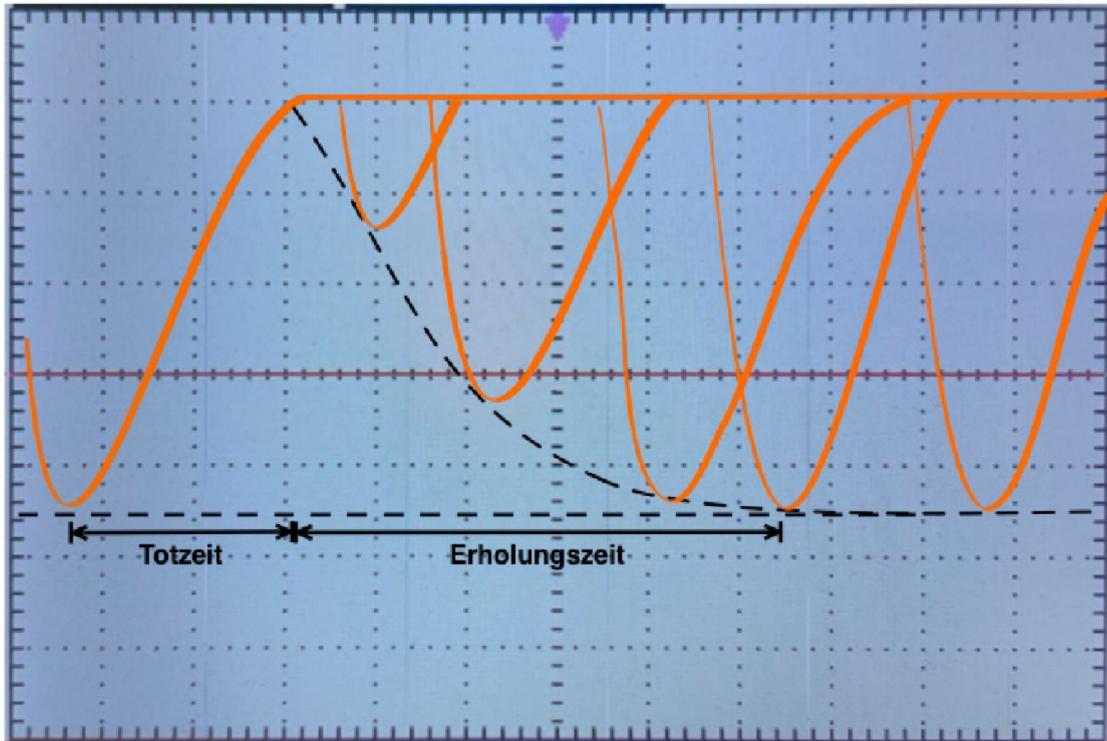


Abbildung 3: Totzeit und Erholungszeit des Geiger-Müller-Zählrohrs [2]

Die Totzeit kann außerdem mithilfe der Zwei-Quellen-Methode bestimmt werden. Dazu wird die Zählrate zwei verschiedener Quellen erst einzeln gemessen (N_1 der ersten Quelle und N_2 der zweiten Quelle). Anschließend wird die Zählrate N_{12} beider Quellen zusammen gemessen. Die Totzeit τ lässt sich dann mithilfe von

$$\tau = \frac{N_1 + N_2 - N_{12}}{N_{12}^2 - N_1^2 - N_2^2} \quad (3)$$

berechnet werden.

2.5 Vorbereitungsaufgaben

Zur Vorbereitung wird die Halbwertszeit und die Zerfallskanäle von ^{204}Tl recherchiert. Die Halbwertszeit beträgt 3,783 Jahre und ^{204}Tl zerfällt zu 2,92 % durch einen β^+ in ^{204}Hg und zu 97,08 % durch einen β^- Zerfall in ^{204}Pb [3]. Außerdem sollte die Zählerate $N \geq 10.000$ sein, um eine statistische Messunsicherheit von 1 % zu erhalten, da die statistische Messunsicherheit proportional zu $\sqrt{N^{-1}}$.

3 Durchführung

Zur Durchführung des Versuchs wird der in Abbildung (4) zu sehende Versuchsaufbau verwendet.

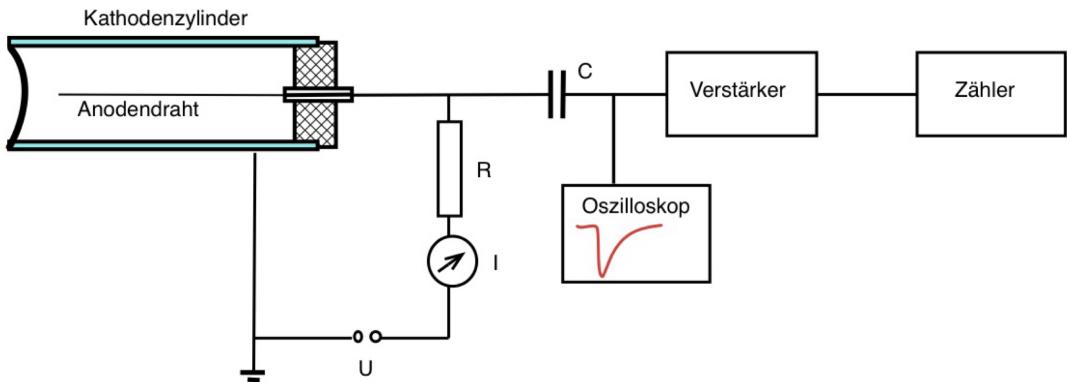


Abbildung 4: Schematischer Versuchsaufbau. [2]

3.1 Vermessung der Kennlinie

Zur Vermessung der Kennlinie wird die radioaktive Quelle vor den Detektor gestellt und die Zählrate über einen Zeitraum von $\Delta t = 60$ s bei variierender Spannung gemessen. Als Anfangsspannung wird 300 V eingestellt. Die Spannung wird danach in Schritten von 20 V erhöht bis bei 780 V ein sprunghafter Anstieg der Zählrate zu vermerken ist. Dies markiert den Übergang vom Geiger-Müller-Bereich in den Dauerentladungsbereich.

3.2 Bestimmung der Totzeit

Zur Bestimmung der Totzeit werden zwei Methoden angewendet. Die erste Methode besteht darin auf dem Oszilloskop die Totzeit abzulesen. Die zweite Methode ist die Zwei-Quellen-Methode. Dazu wird eine bestimmte Spannung als Arbeitspunkt gewählt, die im ersten drittel des Geiger-Müller-Plateaus liegt. Anschließend wird die Zählrate der beiden verschiedene Quellen und die Zählrate beider Quellen zusammen vermessen. Jede Zählrate wird über ein Zeitintervall von $\Delta t = 120$ s gemessen.

4 Auswertung

4.1 Geiger-Müller Kennlinie

Zunächst sind die Zählraten zu den entsprechenden Beschleunigungsspannungen U in der Tabelle ?? aufgelistet. Anhand dieser Tabelle wird der Arbeitspunkt bei $U_A = 560$ V bestimmt.

Tabelle 1: Messdaten zur Bestimmung der Geiger-Müller Kennlinie bei einer Messzeit von 60 s.

U [V]	$N[(60\text{ s})^{-2}]$	$N[\text{s}^{-2}]$	U [V]	$N[(60\text{ s})^{-2}]$	$N[\text{s}^{-2}]$
300	0	0	560	16739	278,98
320	0	0	580	16600	276,67
340	15594	259,90	600	16674	277,90
360	15904	265,07	620	17050	284,17
380	16267	271,12	640	16914	281,90
400	16297	271,62	660	17245	287,42
420	16369	272,82	680	17223	287,05
440	16456	274,27	700	17173	286,22
460	16458	274,30	720	17699	294,98
480	16426	273,77	740	18787	313,12
500	16705	278,42	760	19890	331,50
520	16769	279,48	780	21871	364,52
540	16632	277,20			

Diese Messwerte sind in der Abbildung (??) abgebildet. Zusätzlich ist der Arbeitspunkt markiert und eine lineare Regression für die Plateausteigung ist dargestellt. Graphisch wird eine Plateaulänge von 320 V abgelesen. Die Ausgleichsgerade wird mithilfe der Funktion $y = mx + b$ bestimmt. Daraus ergeben sich die Werte

$$m = (0,049 \pm 0,005) \frac{1}{\text{V s}}$$

$$b = (251,8 \pm 2,7) \frac{1}{\text{s}}.$$

Demnach lautet die Plateausteigung

$$m_{\text{Plateau}} = (1,77 \pm 0,17) \frac{\%}{100 \text{ V}}.$$

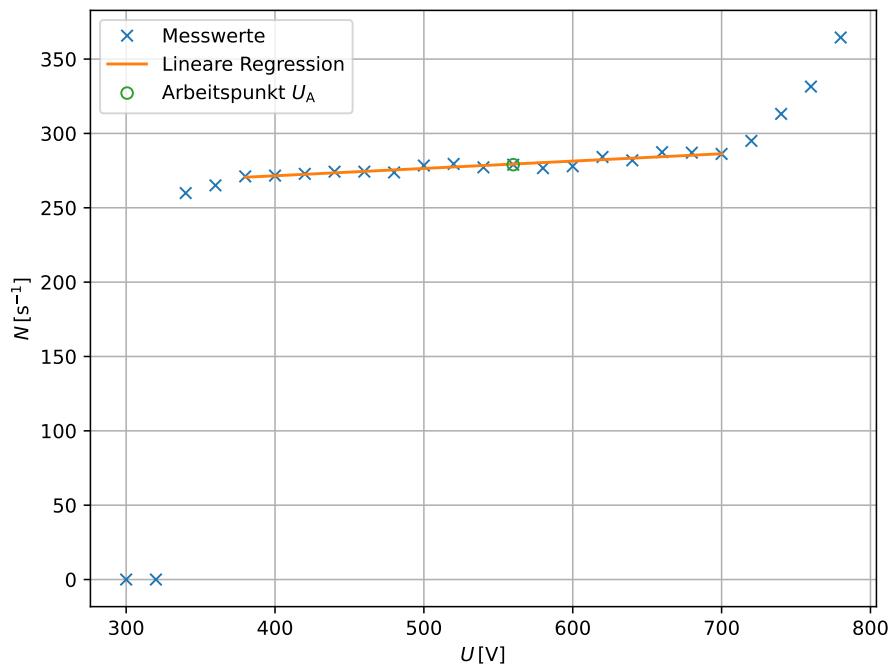


Abbildung 5: Messdaten mit dem Arbeitspunkt U_A und eine lineare Regression für die Plateausteigung.

4.2 Bestimmung der Totzeit

Anhand der Abbildung des Oszilloskops ?? wird die Totzeit $\tau_{\text{Oszilloskop}} = 225 \mu\text{s}$ ermittelt.

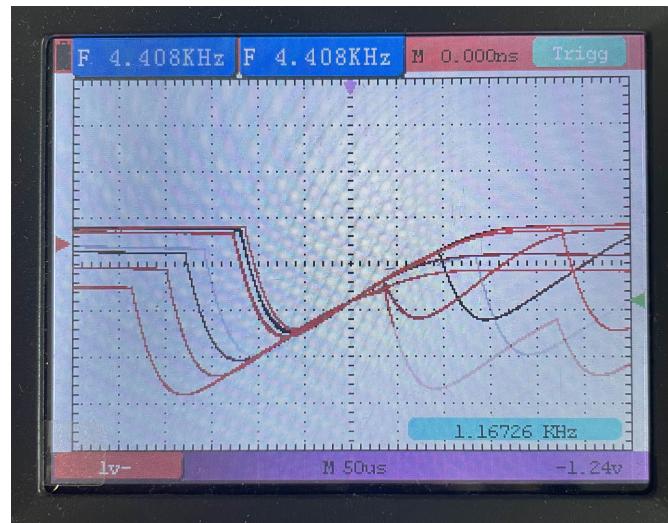


Abbildung 6: Totzeit und Erholungszeit am Oszilloskop.

Die Messdaten zur Bestimmung der Totzeit mit der zwei-Quellen-Methode sind in der

Tabelle ?? aufgeführt. Daraus wird mit der Gleichung (??) die Totzeit $\tau_{\text{2-Quellen}} = 207,013 \mu\text{s}$ berechnet.

Tabelle 2: Messdaten zur Bestimmung der Totzeit mithilfe der zwei-Quellen-Methode bei einer Messzeit von 120 s.

Quelle	$N[(120 \text{ s})^{-2}]$	$N[\text{s}^{-2}]$
1	193355	1611,292
2	109837	915,308
1 + 2	266228	2218,566

Mithilfe der Totzeit und der Gleichung (??) wird die tatsächliche Zählrate

$$N_0 = 4102,93 \frac{1}{\text{s}}$$

ermittelt. Demnach ergibt sich ein Zählratenverlust von $1884,37 \frac{1}{\text{s}}$.

Literatur

- [1] lernort MINT. URL: <https://www.lernort-mint.de/physik/atom-kernphysik/kernphysik/nachweis-radioaktiver-strahlung/>.
- [2] Unknown. *Das Geiger-Müller Zählrohr*. TU Dortmund, Fakultät Physik. 2024.
- [3] Internetchemie ChemLin. URL: <https://www.internetchemie.info/isotop.php?Kern=Tl-204>.

Anhang

Originaldaten

V	N	
300	0	Totzeit: Oszilloskop $4,4 \cdot 50 \mu s = 220 \mu s$
320	0	
340	15594	1) 1 Quelle N: $58961 + 67000 \cdot 2$
360	15804	$59355 + 67000 \cdot 2$
380	16267	
400	16297	2) 2 Quellen N: $3 \cdot 67000 + 65228$
420	16369	
440	16456	3) 2 Quellen N: $167000 + 42837$
460	16458	Arbeitspunkt
480	16426	
500	16705	
520	16769	
540	16632	
560	16739	
580	16600	
600	16674	
620	17030	
640	1716814	
660	17245	
680	17223	
700	17173	
720	17699	
740	18787	
760	19890	
780	21871	