

Entwurf einer Strahlführung für niederenergetische Positronen

Philipp Kompa

NTW Fellowtreffen 2022, Würzburg

pkompa@students.uni-mainz.de

Einführung

Positronen für Experimente können auf zwei verschiedene Arten erhalten werden:

Die eine Möglichkeit besteht in der Nutzung von radioaktiven Präparaten, die durch β^+ -Zerfall Positronen abgeben.

Die zweite Möglichkeit besteht in der Erzeugung am Beschleuniger. Dazu wird ein festes Target mit einem Elektronenstrahl bei ca. 100-200 MeV beschossen. Hierdurch lassen sich erheblich höhere Intensitäten erzielen, als dies mit radioaktiven Quellen möglich ist. [2]

Für Experimente, die niederenergetische Positronen benötigen, bietet es sich an, die Energie der Positronen direkt beim Target zu moderieren. Die Strahlführung für niederenergetische Positronen ist besonders einfach und wird benötigt, um die Positronen durch eine Abschirmung gegen die restliche Strahlung hindurch zum Experiment zu leiten.

Funktionsweise

Die Strahlführung soll Positronen auch dann leiten, wenn sie einen kleinen Transversal-Impuls haben. Hierzu wird durch einen Solenoiden, der das Strahlrohr umschließt, ein Magnetfeld parallel zur Strahlachse erzeugt. Positronen mit transversalem Impuls werden auf eine helixförmige Flugbahn geschickt. Sofern der transversale Impuls ausreichend klein ist, folgt das Positron auf dieser Bahn dem Magnetfeld im Strahlrohr, ohne mit dessen Wand in Berührung zu kommen.

Experimenteller Aufbau

Für den experimentellen Aufbau im Labor wurden Elektronen statt Positronen verwendet. Da beide die gleiche Masse haben, und das Vorzeichen der Ladung für den Aufbau keine Rolle spielt, unterscheiden sich die Messergebnisse nicht wesentlich von denen, die man mit Positronen erwarten würde.

Elektronen wurden verwendet, da dies einerseits den Aufbau erheblich vereinfacht und andererseits die Messzeiten erheblich verkürzt. [1]

Während die Menge an abgegebenen Elektronen ein Vorteil gegenüber einer radioaktiven Positronenquelle ist, hat die Glühkathode eine Reihe anderer Nachteile.

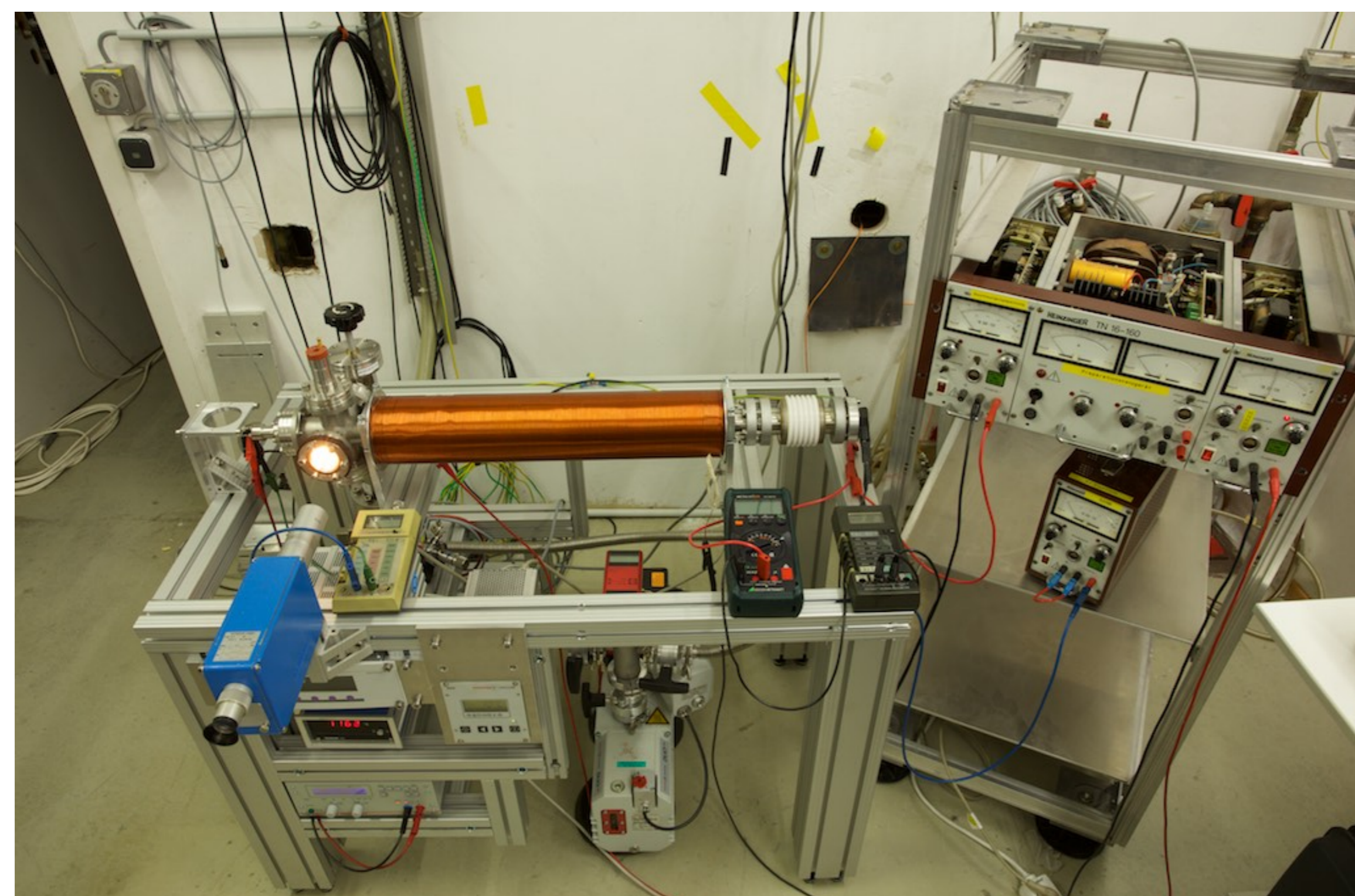


Figure 6: Experimenteller Aufbau (komplett). [1]

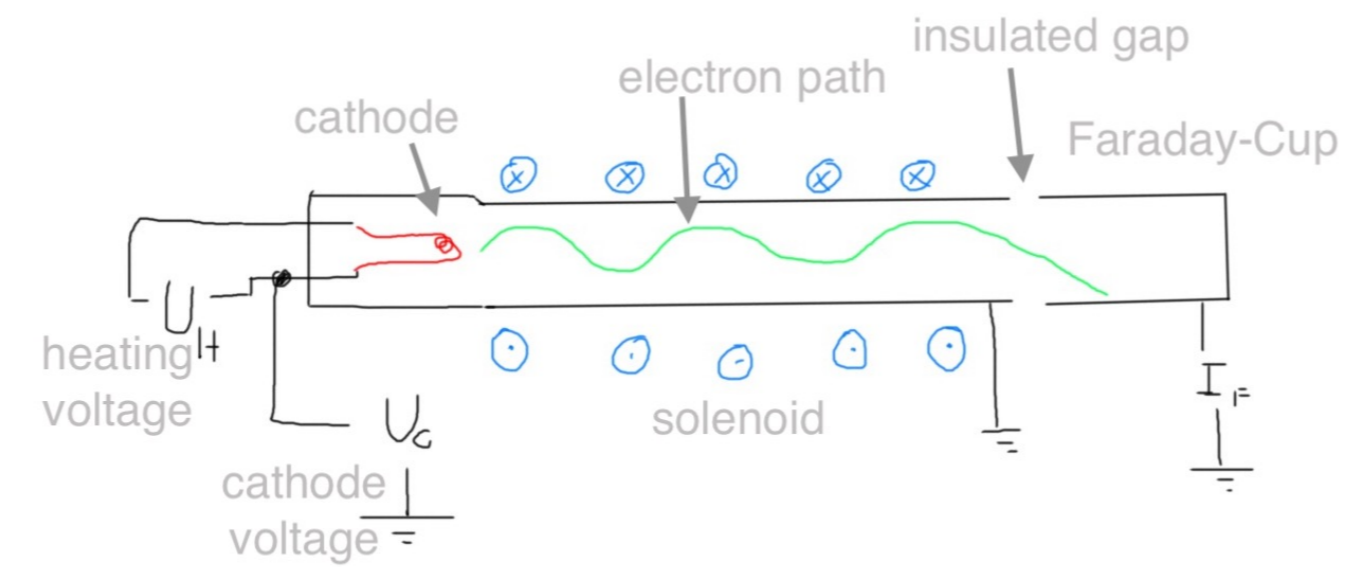


Figure 1: Vereinfachte schematische Darstellung des experimentellen Aufbaus. [1]

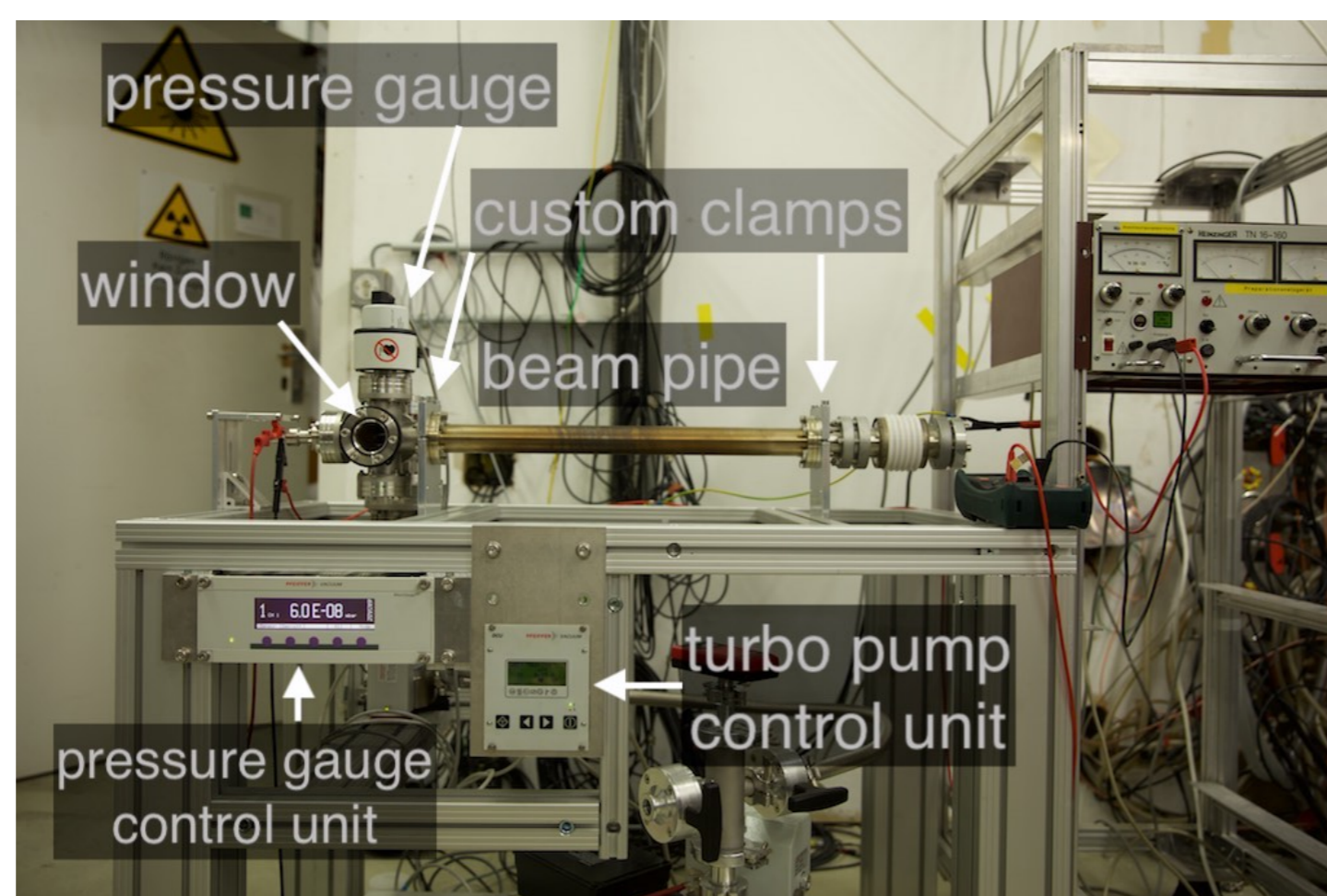


Figure 2: Zwei-stufiges Vakuum-System mit Beschriftung, hier noch ohne Solenoid. [1]

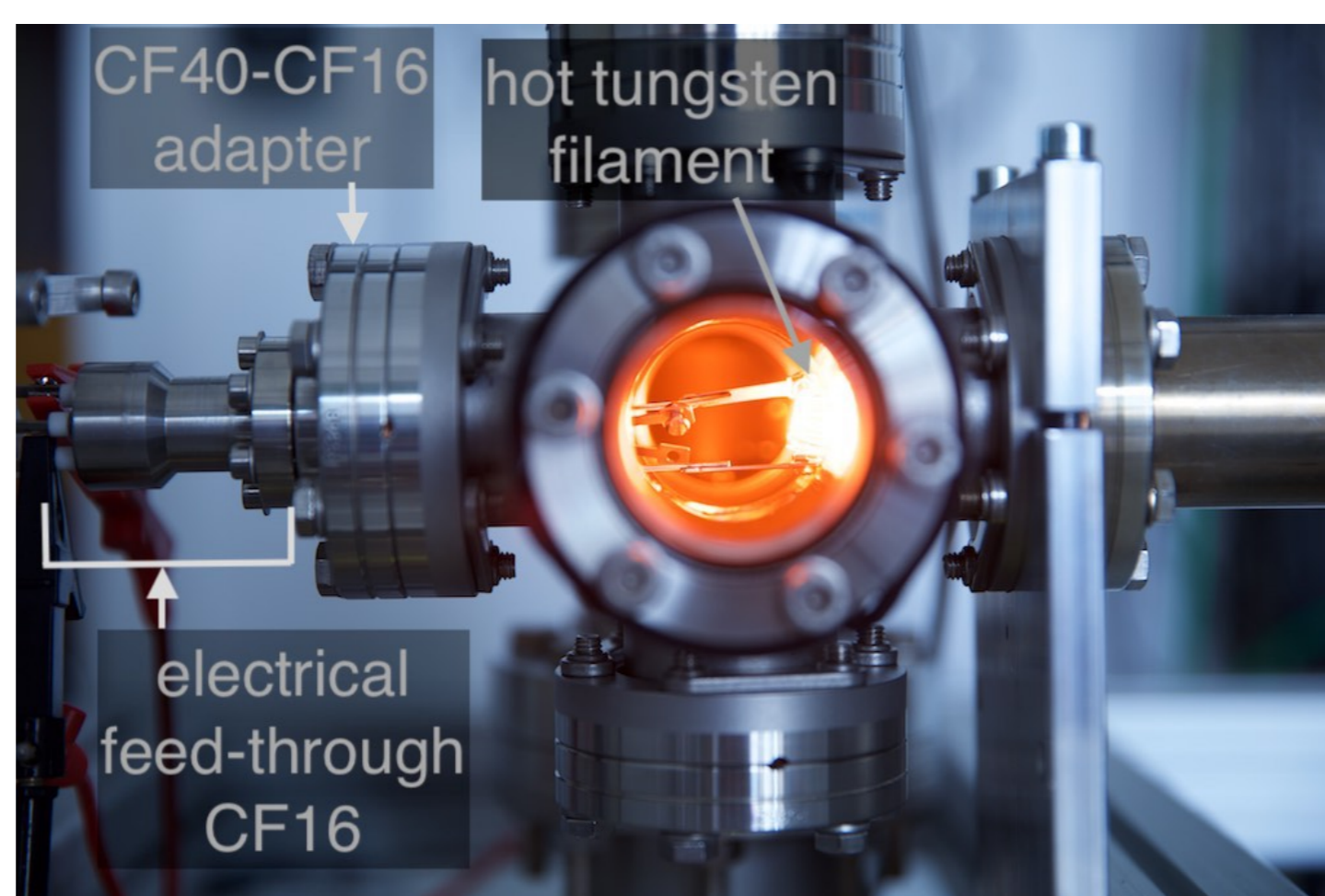


Figure 3: Elektronenquelle: Wolfram-Draht als Glühkathode. [1]

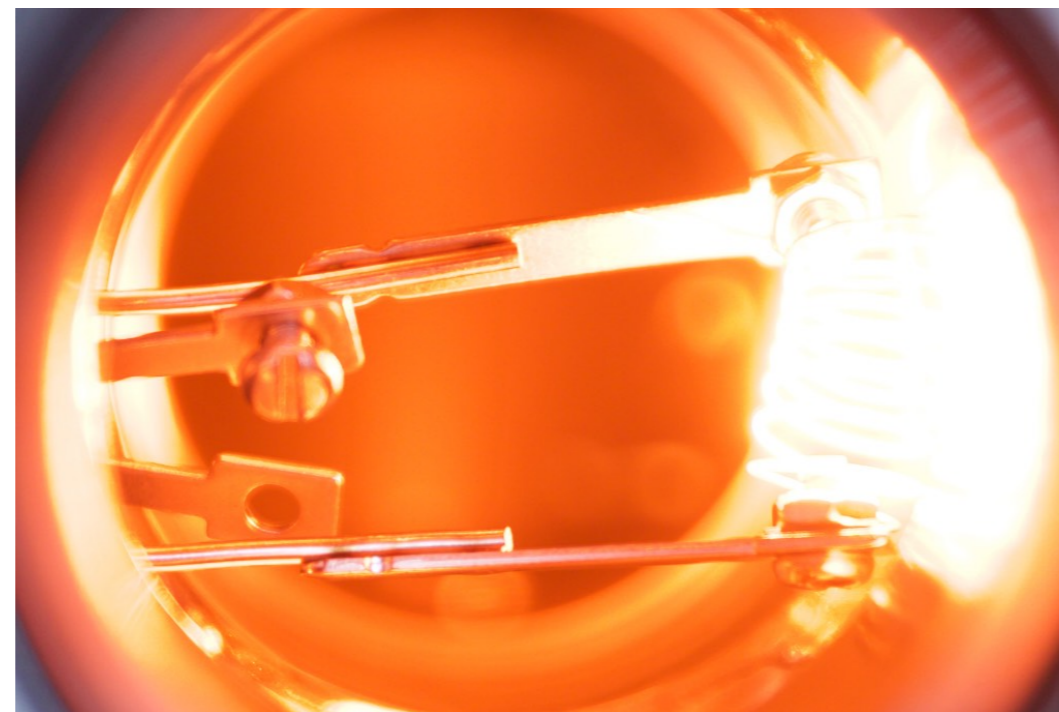


Figure 4: Nahaufnahme der Glühkathode. [1]

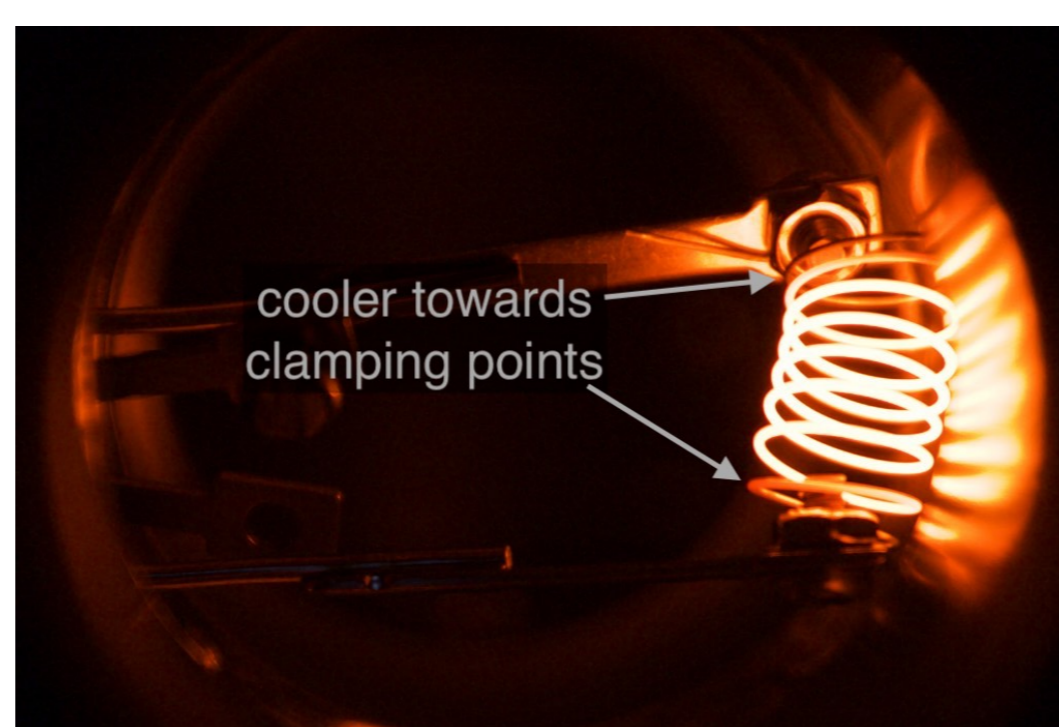


Figure 5: Glühkathode wie in Abb.[4], jedoch kürzer belichtet. Deutlich sichtbar: Die Enden sind kälter. [1]

Messergebnisse

In diesem Abschnitt findet sich eine kurze Zusammenfassung der wichtigsten Messergebnisse.

Glühkathode

Während die Menge an abgegebenen Elektronen ein Vorteil gegenüber einer radioaktiven Positronenquelle ist, hat die Glühkathode eine Reihe anderer Nachteile. In Abb. [7] ist zu erkennen, dass der emittierte Strom sich erst nach rund zwei Stunden auf einem stabilen Niveau befindet. Nach dieser Zeit treten weiterhin Schwankungen von etwa ein bis zwei Prozent auf.

Transmission

Abb. [8] zeigt die Abhängigkeit der gemessenen Transmission von der Stromstärke im Solenoiden. Letztere ist linear proportional zur Stärke des Magnetfeldes, welches der Solenoid erzeugt. Es lässt sich gut erkennen, dass ohne Magnetfeld keine Transmission gemessen wird und dass die Transmission mit zunehmender Feldstärke steigt. Die maximale Stromstärke von 2 A entspricht einer magnetischen Feldstärke von etwa 10 mT in der Mitte des Solenoiden. [1]

Verbesserter Aufbau

Für die ersten Messungen entspricht der Aufbau Abb. [1]. Da hierbei jedoch die Elektronen in alle Richtungen emittiert werden, wurde im weiteren Verlauf eine Ring-Anode angebracht, um gezielt Einfluss auf die Abstrahlung der Elektronen zu nehmen. Die so ergänzte Elektronenquelle ist in Abb. [9] zu sehen.

Wie in Abbildung [10] zu sehen ist, kann durch anlegen einer negativen Spannung an der Anode die Transmission komplett unterbunden werden. Weiterhin verringert sich die Transmission beim Anlegen einer positiven Spannung, jedoch nicht auf Null. Das Maximum an Transmission wird durch eine geringe negative Spannung erreicht, die in dieser Messung etwa der halben Kathodenspannung entspricht.

Es lässt sich weiterhin feststellen, dass der emittierte Strom stark von der Anodenspannung abhängt, wie in Abb. [11] zu sehen ist.

Zusammenfassung und Ausblick

Es konnte gezeigt werden, dass die Strahlführung mit einem Magnetfeld parallel zum Strahlrohr gute Ergebnisse für niederenergetische Elektronen liefern kann, sowie dass die Transmission erheblich von der Abstrahlcharakteristik der Quelle abhängt.

Das in Abb.[6] gezeigte Setup ist nützlich um im Labor den Einfluss von verschiedenen Spulen und verschiedenen Abstrahlcharakteristiken von Quellen zu untersuchen, da die Messungen mit Elektronen vergleichsweise einfach sind und es außerdem in einem Labor untergebracht werden kann und nicht auf die Nutzung des Beschleunigers angewiesen ist.

Es ist geplant das bestehende Setup um eine Kurve zu erweitern und verschiedene Optimierungen am Magnetfeld, sowie an der Elektronenquelle vorzunehmen.

Ziel ist es, den Einsatz an der zukünftigen Positronenquelle am Beschleuniger vorab möglichst gut nachzubilden, sodass später eine entsprechende Strahlführung für den Einsatz am Beschleuniger möglichst reibungslos mit möglichst guten Eigenschaften gebaut werden kann.

An der JGU Mainz eignen sich sowohl der bestehende Beschleuniger MAMI, als auch der im Bau befindliche Beschleuniger MESA für die Erzeugung von Positronen.

References

- [1] LaTeX Poster template: <https://www.latextemplates.com/template/poster-portrait-poster>
- [2] G. Gräff, R. Ley, A. Ostapowicz, G. Werth, J. Ahrends, Appl. Phys. A 33, 59-62 (1984)

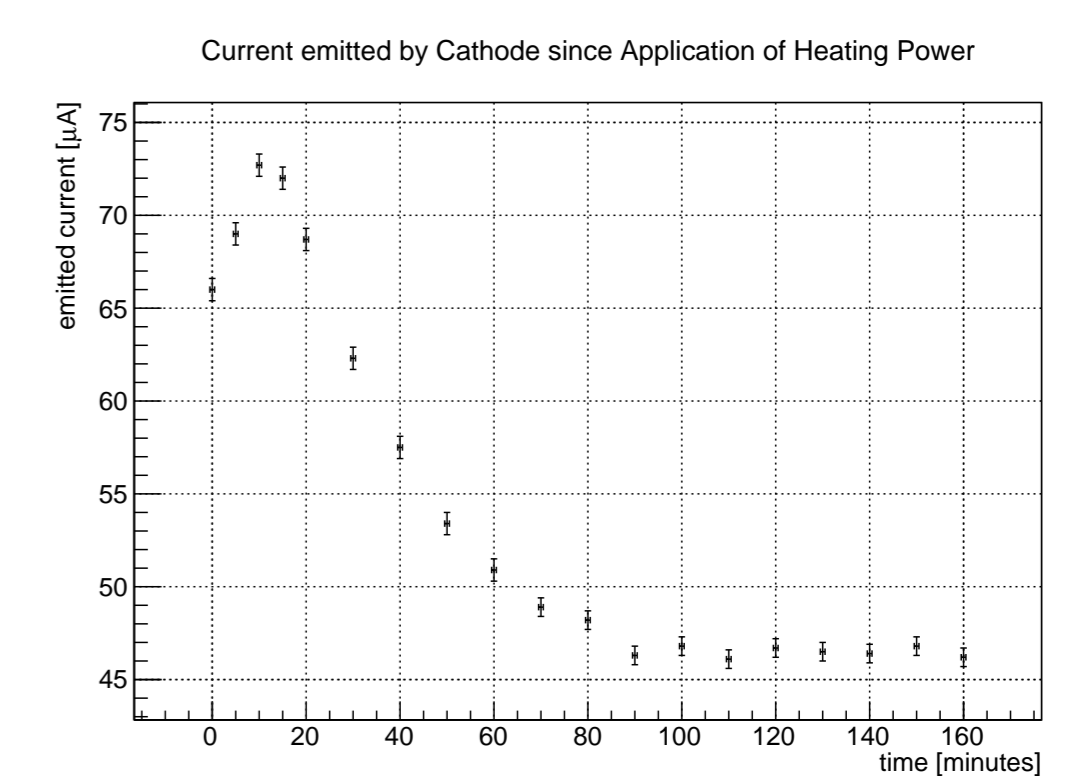


Figure 7: Von der Glühkathode emittierter Strom in Abhängigkeit von der Zeit nach Einschalten der Heizspannung. [1]

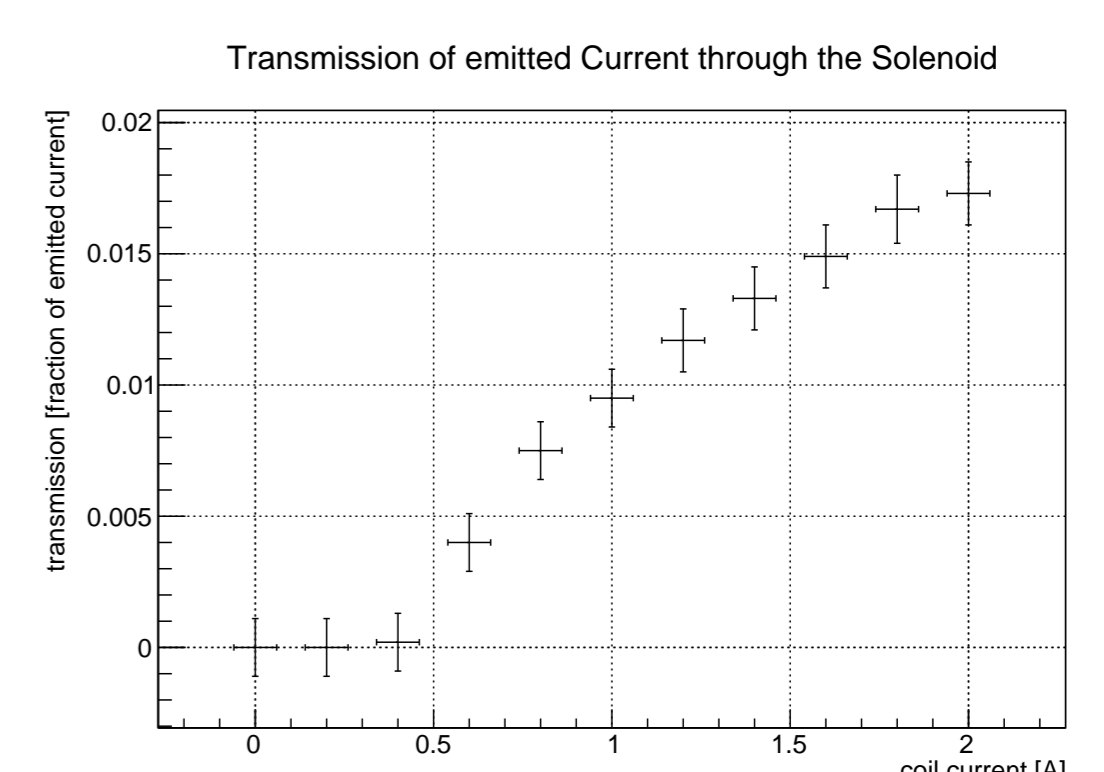


Figure 8: Transmission in Abhängigkeit vom Strom durch den Solenoiden. [1]

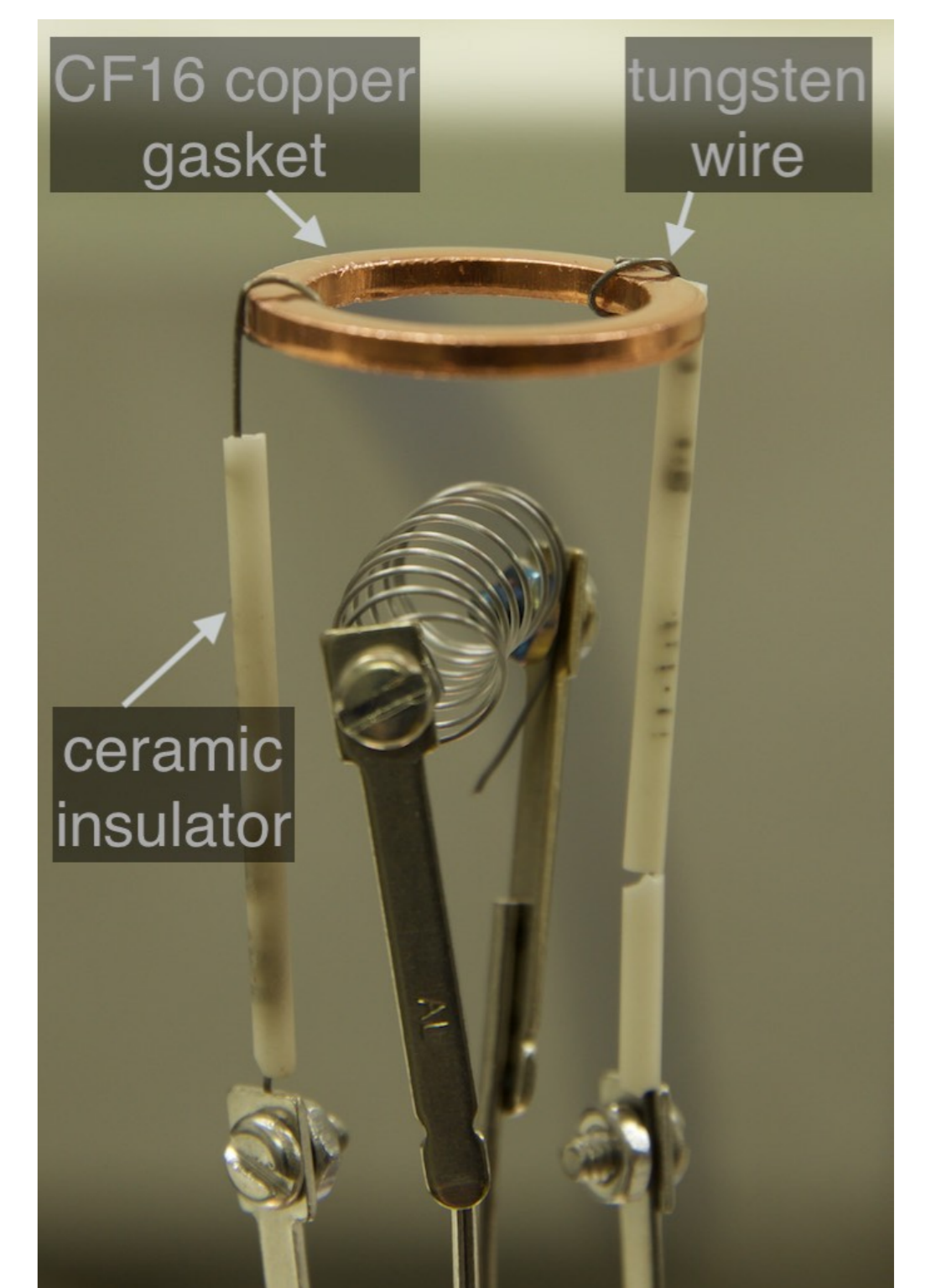


Figure 9: Nachaufnahme der Glühkathode mit Ringanode vor dem Einbau. [1]

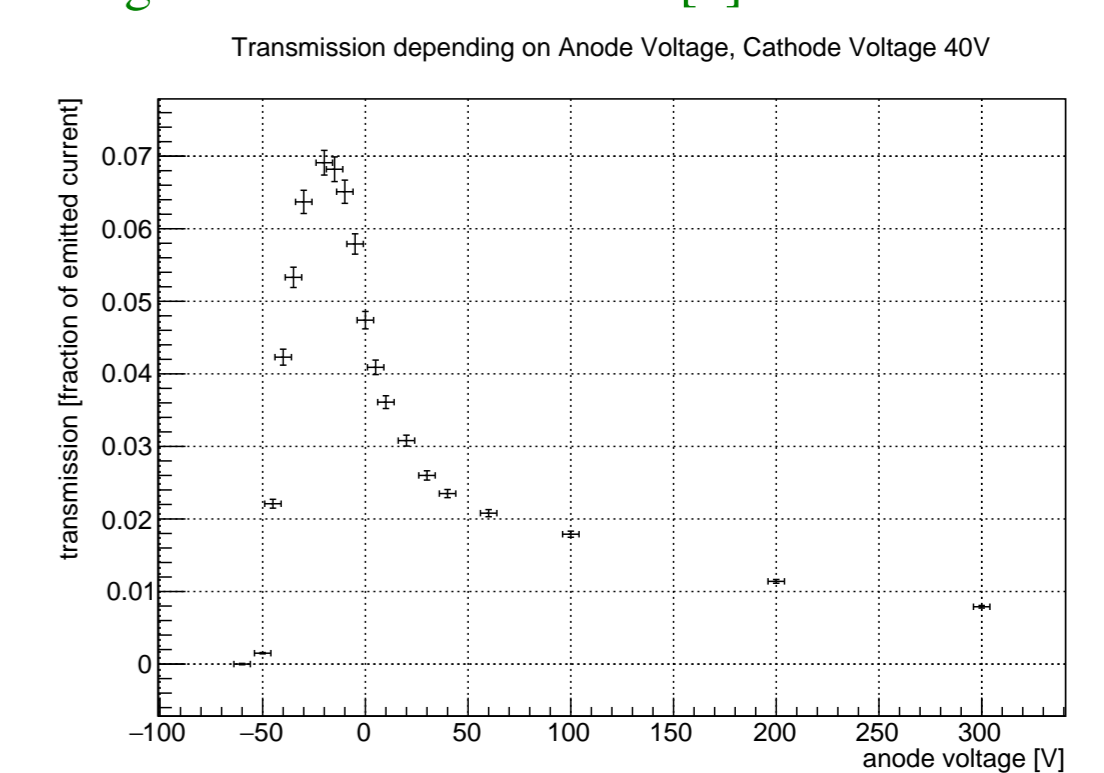


Figure 10: Transmission in Abhängigkeit von Anodenspannung. [1]

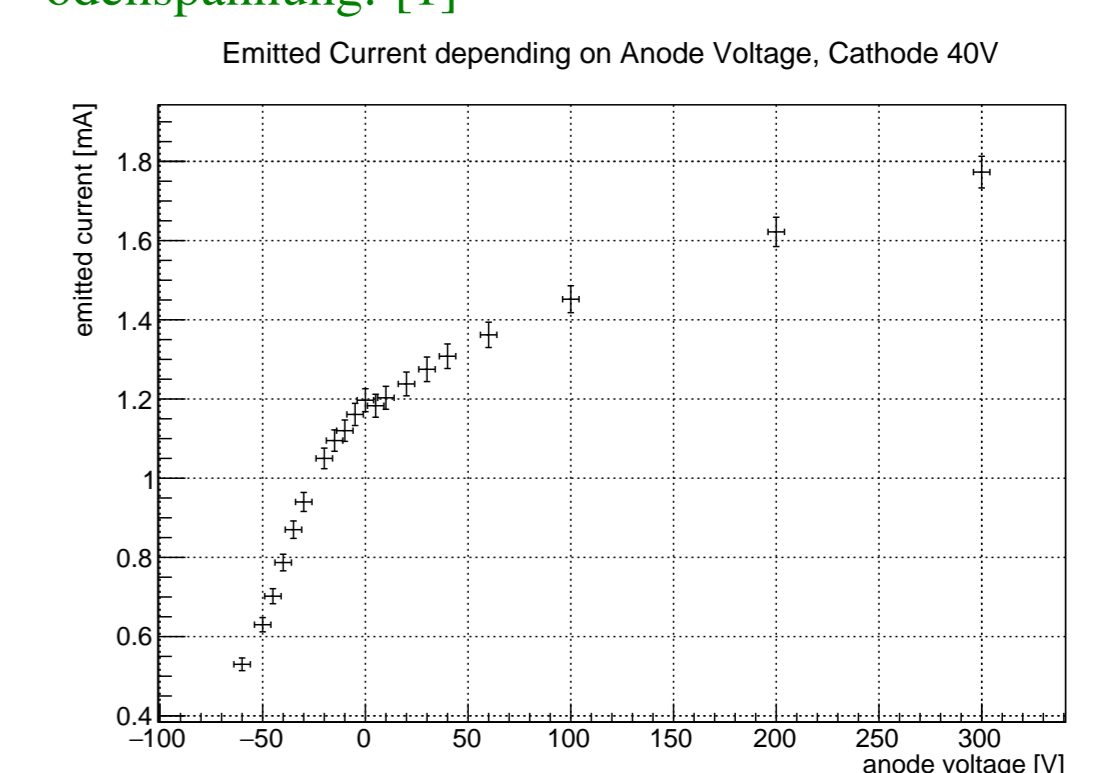


Figure 11: Emittierter Strom in Abhängigkeit von Anodenspannung. [1]