

Eik Petersen

Physik 12 Reimers

Friedrich-Paulsen-Schule Niebüll

Erstellungszeitraum: 01.02.2025-04.07.2025

Abgabedatum: 04.07.2025

Facharbeit zum Franck-Hertz-Versuch

Inhaltsverzeichnis

1. Abstrakt	3
2. Physikalischer Hintergrund	4
2.1 Wichtige physikalische Größen	4-5
2.2 Der Ablauf des Experiments – Physikalische Größen im Detail	6-7
3. Ziele und Umsetzung	8
3.1 Zielsetzung des Projekts	8
3.2 Umsetzung des Versuchs	8-11
4. Ergebnisse	12
4.1 Originalmessung	12-13
4.2 Alternative Messungen	13-16
4.3 Probleme beim Messen	16
5. Ausblick	17

1. Abstrakt

Das Ziel dieser Facharbeit ist es, den Franck-Hertz-Versuch mit Quecksilber als Arbeitsmaterial zu untersuchen, um die Grundprinzipien der Quantenmechanik experimentell zu bestätigen. Der Franck-Hertz-Versuch ist nach den Physikern James Franck und Gustav Hertz benannt, die ihn in den Jahren 1912 bis 1914 durchführten. Sie erhielten 1925 den Nobelpreis für Physik für ihre Entdeckung. Der Franck-Hertz-Versuch wurde entwickelt, um die quantisierte Energieübertragung zwischen Elektronen und Atomen nachzuweisen. In dieser Arbeit wird das Experiment, bei dem Elektronen durch ein Quecksilberdampf-Gas beschleunigt und mit den Quecksilberatomen in Wechselwirkung treten, im Detail erläutert. Dabei wird untersucht, wie die Elektronen beim Auftreffen auf die Atome ihre Energie verlieren und die Quecksilberatome anregen, was sich in einem charakteristischen Energieverlust der Elektronen widerspiegelt. Das Ziel ist, die genaue Energie zu bestimmen, bei der diese Anregungsprozesse stattfinden, sowie die experimentellen Resultate mit der theoretischen Vorhersage zu vergleichen.

Die Facharbeit beschreibt den Versuchsaufbau, die Durchführung des Experiments und die Analyse der Messdaten. Besonders im Fokus steht die Bestimmung der Anregungsenergie der Quecksilberatome, die bei etwa 4,9 eV liegt. Es wird gezeigt, dass der Experimentaufbau und die Ergebnisse mit den Erwartungen der Quantenmechanik weitestgehend übereinstimmen und welche Probleme beim Messen aufgetreten sind. Zusätzlich wird auf die Bedeutung des Versuchs für die Entwicklung der Quantenmechanik und für das Verständnis der Wechselwirkungen zwischen Elektronen und Atomen eingegangen. Durch die Ergebnisse wird ein praktisches Beispiel für die Anwendung der quantenmechanischen Theorien geliefert und das Experiment als ein entscheidender Schritt in der Bestätigung der Quantenmechanik dargestellt.

2. Physikalischer Hintergrund

Der Franck-Hertz-Versuch – Eine detaillierte Erklärung

Der **Franck-Hertz-Versuch** zeigt, dass Elektronen in einem Atom nur bestimmte, diskrete Energiemengen aufnehmen können. Dies war eine der ersten experimentellen Bestätigungen der Quantenmechanik und des Bohrschen Atommodells. Im Experiment wird nachgewiesen, dass Elektronen, die mit Atomen (z.B. Quecksilberatomen) kollidieren, nur dann in der Lage sind, die Atome anzuregen, wenn sie eine ganz bestimmte Menge an Energie haben. Diese Energie entspricht genau den Energieunterschieden zwischen den diskreten Energieniveaus der Atome.

2.1 Wichtige physikalische Größen

Im Franck-Hertz-Experiment sind einige zentrale physikalische Größen beteiligt, die für das Verständnis des Experiments entscheidend sind:

2.1.1 Energie (E)

Energie bezeichnet die Fähigkeit eines Systems, Arbeit zu verrichten oder Wärme abzugeben. In diesem Experiment bezieht sich die Energie auf die kinetische Energie der Elektronen und die Anregungsenergie der Atome.

- **Formel für kinetische Energie:**

$$E_{\text{kin}} = m/2 v^2$$

- **m:** Masse des Elektrons
- **v:** Geschwindigkeit des Elektrons
- **Einheit:** Joule (J) oder Elektronenvolt (eV)

2.1.2 Elektronenvolt (eV)

Ein Elektronenvolt ist die Energie, die ein Elektron gewinnt, wenn es durch eine Spannung von 1 Volt beschleunigt wird. 1 Elektronenvolt entspricht etwa $1,602 \times 10^{-19}$ Joule.

$$1 \text{ eV} = 1,602 \times 10^{-19} \text{ J}$$

2.1.3 Kinetische Energie (E_{kin})

Die kinetische Energie eines Elektrons beschreibt die Bewegung des Elektrons. Ein Elektron, das von der Kathode (der negativen Elektrode) durch ein elektrisches Feld beschleunigt wird, hat eine kinetische Energie, die von der angelegten Spannung abhängt.

- **Formel:** $E_{\text{kin}} = e \cdot U$
 - **e:** Elektronenladung in Coulomb(C) ($e = 1,602 \times 10^{-19}$)
 - **U:** Beschleunigungsspannung in Volt (V)

2.1.4 Anregungsenergie (E_{anregt})

Dies ist die Mindestenergie, die ein Elektron aufbringen muss, um ein Atom anzuregen. Im Fall von Quecksilber beträgt diese Energie etwa 4,9 eV, was dem Energieunterschied zwischen dem Grundzustand und dem ersten angeregten Zustand eines Quecksilberatoms entspricht.

- **Wert für Quecksilber:** $E_{\text{anregt}}=4,9 \text{ eV}$

2.1.5 Arbeit (W)

Arbeit ist die Energiemenge, die aufgebracht wird, um ein Objekt zu bewegen. In diesem Experiment bezieht sich die Arbeit auf die Energie, die notwendig ist, um ein Elektron durch das elektrische Feld zu beschleunigen.

2.1.6 Strom (I)

Der Strom, der durch die Anode gemessen wird, hängt davon ab, wie viele Elektronen mit ausreichend Energie die Anode erreichen. Der Strom wird durch die Anzahl der Elektronen bestimmt, die die Anode erreichen und detektiert werden.

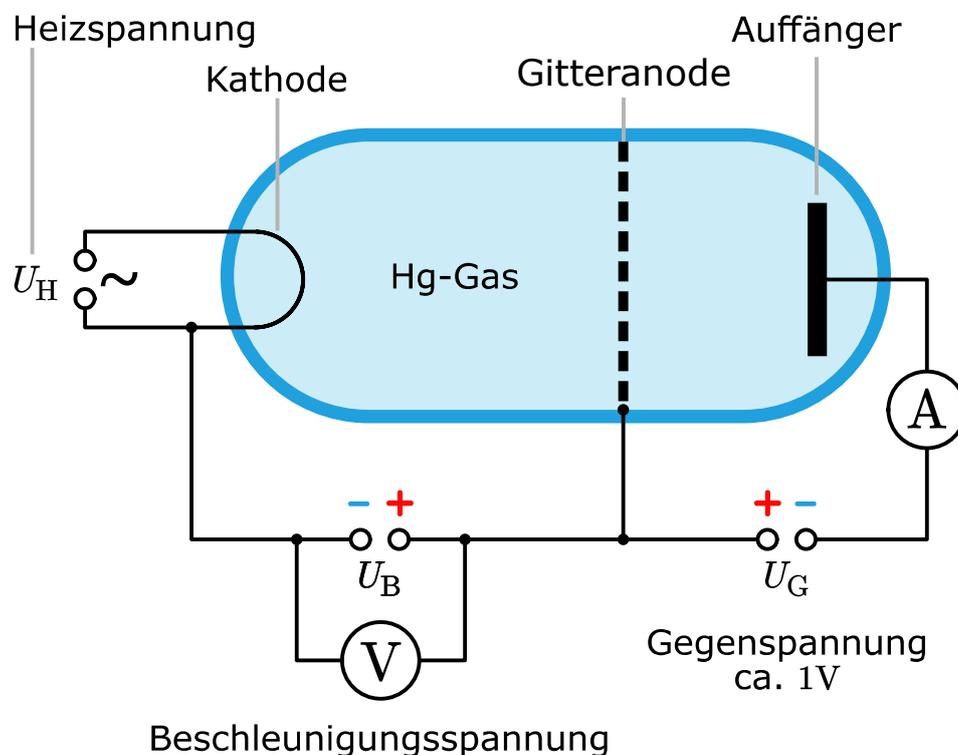
2.1.7 Spannung (U)

Die Spannung zwischen Kathode und Anode steuert die Energie, mit der die Elektronen beschleunigt werden. Eine höhere Spannung bedeutet, dass die Elektronen mehr kinetische Energie erhalten.

2.2 Der Ablauf des Experiments – Physikalische Größen im Detail

Der Ablauf des Franck-Hertz-Experiments lässt sich gut anhand des vereinfachten Aufbaus der Röhrenschialtung (s. *Abbildung 1*) erklären, wie er in der Skizze dargestellt ist. Im Zentrum des Experiments steht eine evakuierte Glasröhre, die mit einem geringen Druck an Quecksilberdampf gefüllt ist. Innerhalb dieser Röhre befinden sich drei zentrale Elektroden: eine Glühkathode, ein durchlässiges Gitter und eine Auffängeranode. Am linken Ende der Röhre befindet sich die Glühkathode, die durch eine Heizspannung erhitzt wird. Dieser Vorgang führt zum sogenannten glühelektrischen Effekt: Elektronen erhalten durch die Wärme genug Energie, um das Metall der Kathode zu verlassen. Diese Elektronen besitzen zunächst nur eine geringe kinetische Energie.

Zwischen der Kathode und dem Gitter wird eine Beschleunigungsspannung (U_b) angelegt. Sie bewirkt, dass die negativ geladenen Elektronen in Richtung des positiv geladenen Gitters beschleunigt werden. Je höher die Spannung, desto mehr kinetische Energie erhalten die Elektronen. Die kinetische Energie ist dabei direkt proportional zur angelegten Spannung ($E_{\text{kin}}=e \cdot U_b$)

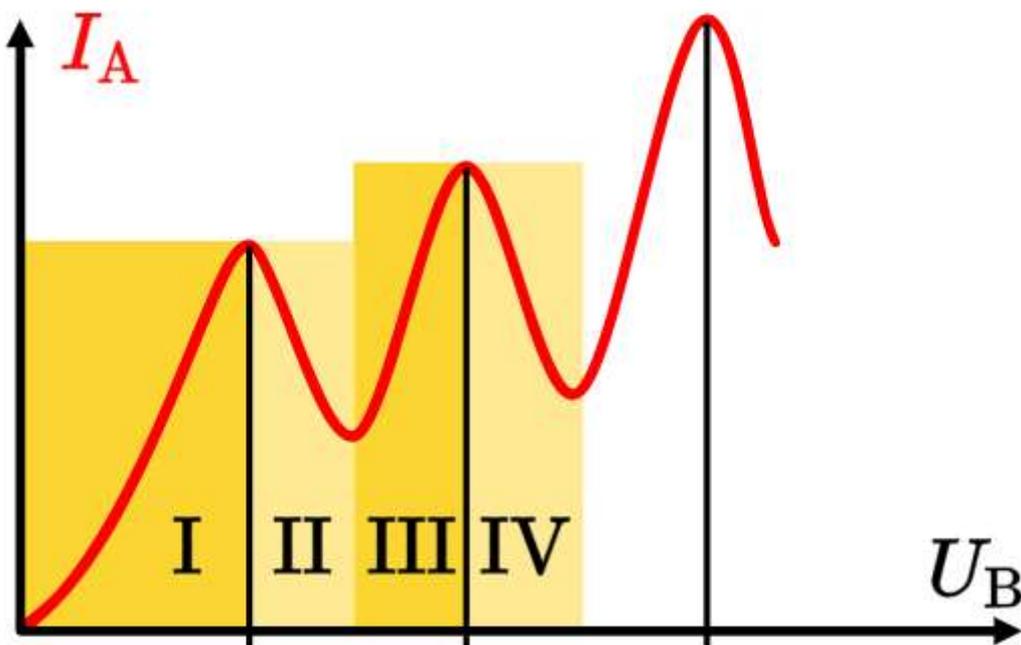


(Abbildung 1)

Während ihres Fluges in Richtung Gitter bewegen sich die Elektronen durch den in der Röhre enthaltenen Quecksilberdampf. Dabei kommt es zu Kollisionen zwischen den Elektronen und den Hg-Atomen. Solange die kinetische Energie der Elektronen unter der Anregungsenergie von etwa 4,9 eV liegt, verlaufen diese Stöße elastisch, das heißt, die Elektronen prallen lediglich ab und verlieren kaum Energie. Sobald jedoch die Beschleunigungsspannung so groß ist, dass die Elektronen mindestens 4,9 eV Energie besitzen, kommt es zu inelastischen Stößen: Die Elektronen geben genau diese Energiemenge an das Quecksilberatom ab, das dadurch in einen angeregten Zustand übergeht. Infolgedessen verlieren die Elektronen exakt 4,9 eV ihrer kinetischen Energie.

Nach dem Passieren des Gitters, das für die Elektronen durchlässig ist, treffen diese auf eine weitere Hürde: Zwischen Gitter und dem Auffänger liegt eine kleine Gegenspannung (U_a). Diese Spannung verhindert, dass energiearme Elektronen die Anode erreichen. Nur diejenigen Elektronen, die trotz möglicher Energieverluste durch Kollisionen noch ausreichend kinetische Energie besitzen, können diese Gegenspannung überwinden und zur Anode gelangen. Der dort gemessene Strom (I_a) ist somit ein direktes Maß für die Anzahl der Elektronen, die erfolgreich bis zur Anode durchdringen.

Wenn man nun die Beschleunigungsspannung U_b schrittweise erhöht, zeigt sich ein charakteristisches Verhalten: Zunächst steigt der Strom (*Phase 1 der Abbildung 2*), da mehr Elektronen genügend Energie bekommen, um zur Anode zu gelangen. Sobald U_b jedoch etwa 4,9 V erreicht, sinkt der Strom plötzlich (*Phase 2*), weil viele Elektronen durch inelastische Stöße mit den Hg-Atomen Energie verlieren und die Gegenspannung nicht mehr überwinden können. Nun steigt der Strom wieder, da die Spannung wieder steigt und der Vorgang sich wiederholt (*Phase 3*) und der Strom sinkt wieder sobald U_b ein Vielfaches von etwa 4,9 eV erreicht (*Phase 4*). Bei noch höheren Spannungen kann ein einzelnes Elektron mehrere Anregungen auf seinem Weg zur Anode durchlaufen, wobei es schrittweise seine Energie verliert. Das Resultat ist eine periodische Strom-Spannungs-Kurve (s. *Abbildung 2*), in der sich Maxima und Minima abwechseln – jedes Minimum entspricht einem weiteren Vielfachen der Anregungsenergie.



(Abbildung 2)

3. Ziele und Umsetzung des Franck-Hertz-Versuchs

3.1 Zielsetzung des Projekts

Ziel dieses Projekts ist die experimentelle Untersuchung des Franck-Hertz-Versuchs, der eine der bedeutendsten experimentellen Bestätigungen der Quantennatur von Energiezuständen in Atomen darstellt. Mit diesem Versuch wird nachgewiesen, dass Elektronen beim Zusammenstoß mit Atomen nur bestimmte, diskrete Energiemengen übertragen können, also, dass sich die wie oben erklärt eine periodische Strom-Spannungs-Kurve bildet.

Das Projekt verfolgt dabei aber nicht nur das Ziel, diese quantisierten Energieübertragungen qualitativ nachzuweisen, sondern auch die zugrunde liegenden physikalischen Prinzipien detailliert zu verstehen, experimentell zu überprüfen und zu dokumentieren. Im Fokus steht insbesondere die Beobachtung und Analyse des charakteristischen Verlaufs der Stromstärke in Abhängigkeit von der Beschleunigungsspannung, um die Anregungsenergie des verwendeten Atomgases – in diesem Fall Quecksilber – experimentell zu bestimmen.

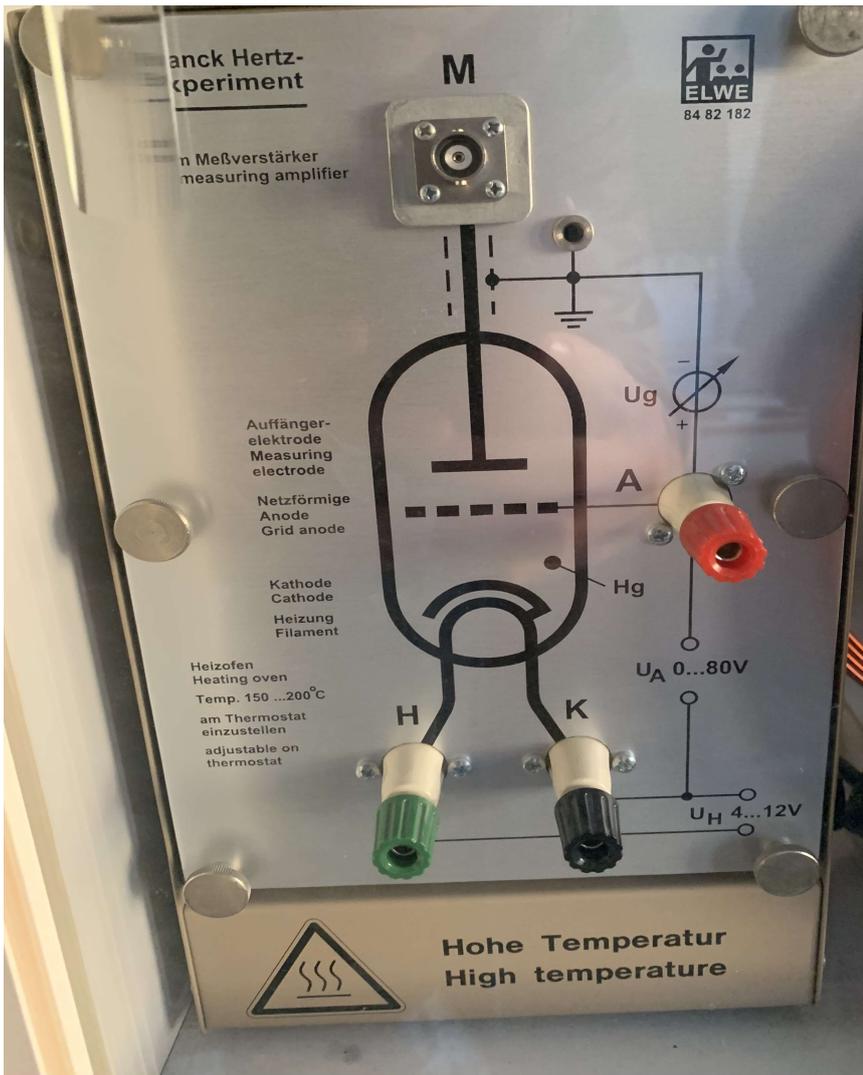
Ein weiterer wesentlicher Aspekt der Zielsetzung liegt in der praktischen Umsetzung des Versuchs. Dies beinhaltet die korrekte Inbetriebnahme der Franck-Hertz-Röhre, das sichere Handling mit Quecksilberdampf, das Einjustieren geeigneter Spannungen und das Auslesen reproduzierbarer Messdaten.

Darüber hinaus werden im Projekt auch Grenzen und Herausforderungen des Versuchsaufbaus betrachtet. So sollen etwa auftretende Abweichungen im Messverlauf – etwa durch thermische Einflüsse, Kontaktpotenziale oder unerwartete Stromverläufe – erkannt, diskutiert und mit physikalischen Überlegungen eingeordnet werden. Das Ziel ist es also nicht nur, ein klassisches Experiment zu reproduzieren, sondern es kritisch zu hinterfragen, physikalisch tiefgehend zu verstehen und in den Gesamtkontext der Quantentheorie einzuordnen.

3.2 Umsetzung des Versuchs

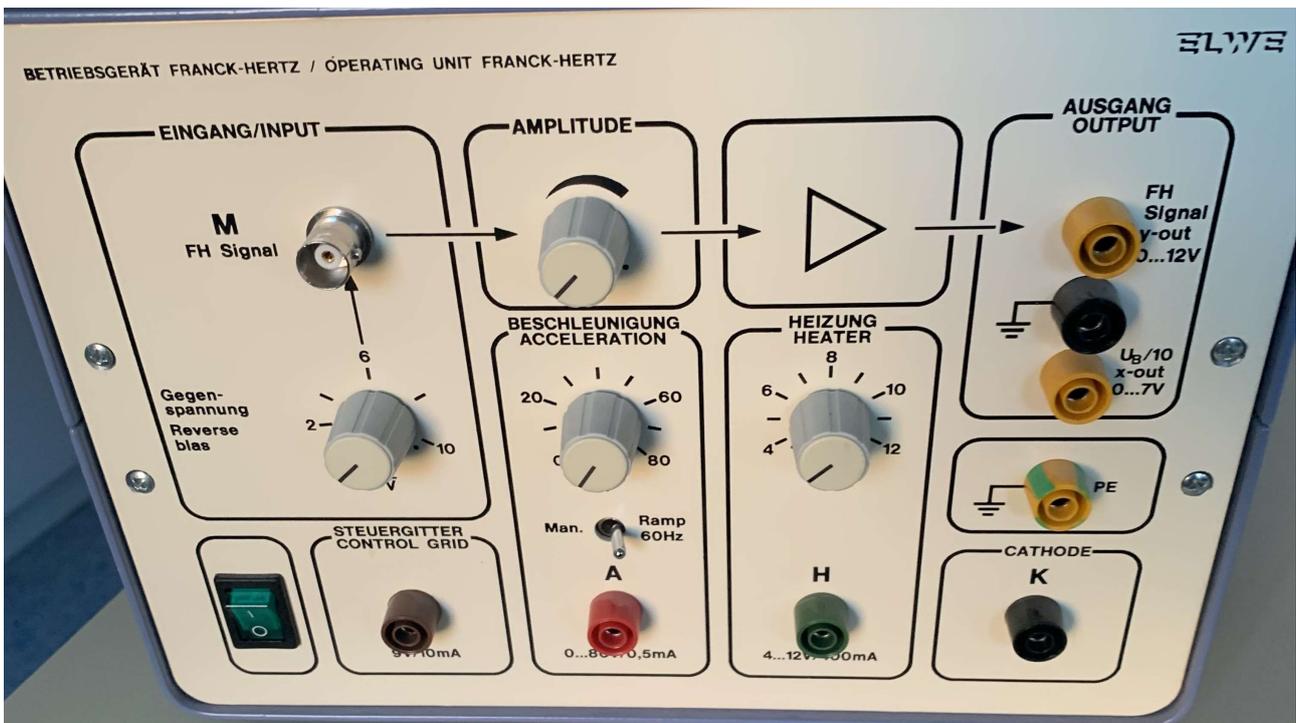
Der Franck-Hertz-Versuch wurde mit einer klassischen Glasröhre der Firma Elwe (heute 3bScientific, *siehe Abbildung 3*) durchgeführt, die Quecksilberdampf enthält und mit drei Elektroden ausgestattet ist: einer glühenden Kathode, einem Gitter (zur Steuerung der Elektronen) und einer Anode zur Strommessung. Die Elektronen werden durch den glühelektrischen Effekt aus der Kathode emittiert. Die Originalmessung wurde bei 150° Celcius und einer Beschleunigungsspannung von 30V durchgeführt.

Die Versuchsanordnung besteht aus einer evakuierten Glasröhre, die mit Quecksilber befüllt ist. Die Röhre ist auf einer Frontplatte montiert, an der sich auch die Anschlüsse für die Heizung und die Spannungsversorgung befinden. Die Temperaturregelung erfolgt durch ein spezielles Heizgerät, das mit einem Drehregler gesteuert wird. Die Einstellung der optimalen Dampfdruckverhältnisse erfolgt durch Aufheizen der Röhre auf ca. 130-150 °C.



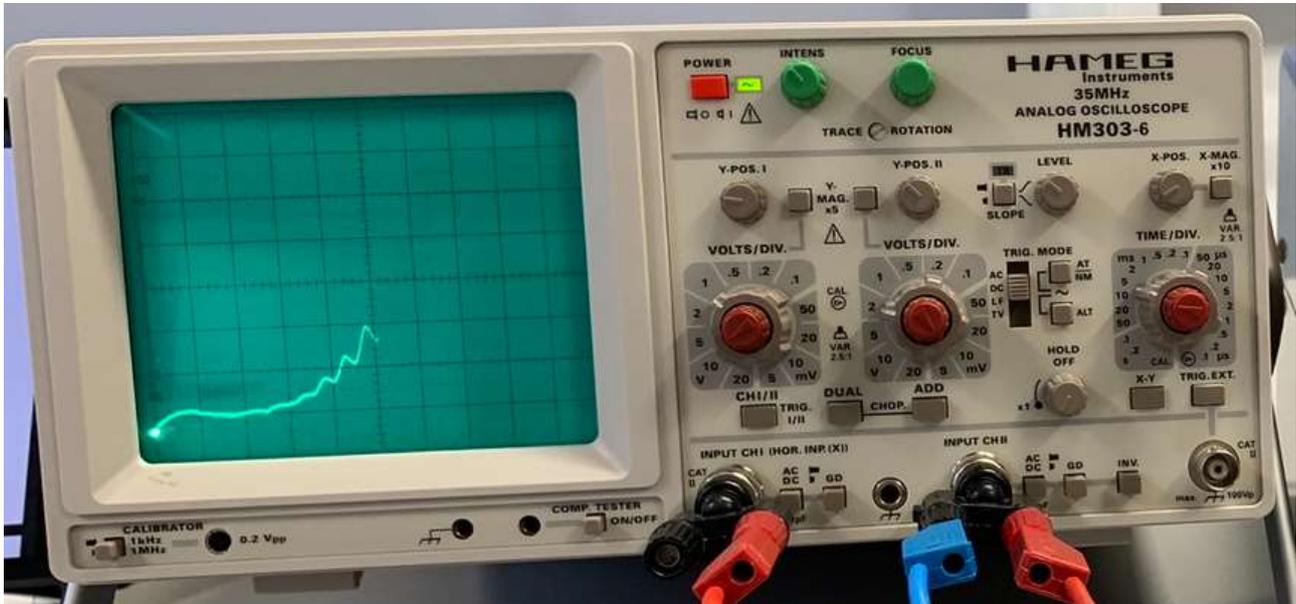
(Abbildung 3)

Um die Stabilität der Messungen zu gewährleisten, musste zunächst sichergestellt werden, dass die indirekt beheizte Kathode durch die Heizspannung (ca. 6–7 V) vollständig durchgewärmt war. Diese Anheizzeit betrug etwa 10 bis 15 Minuten. Parallel dazu wurde die Beschleunigungsspannung über den Signalausgang des Betriebsgeräts (*Abbildung 4*) langsam erhöht, wobei bei etwa 30 V eine geeignete Kurve erkennbar sein sollte. Durch gleichmäßiges Erhöhen dieser Spannung sollten charakteristische Maxima und Minima im gemessenen Anodenstrom sichtbar gemacht werden. Diese wurden mithilfe eines angeschlossenen Oszilloskops (*Abbildung 5*) im XY-Modus dargestellt, wobei die Skalierung typischerweise auf $x = 0,5 \text{ V/Div}$ und $y = 1 \text{ V/Div}$ eingestellt wurde.



(Abbildung 4)

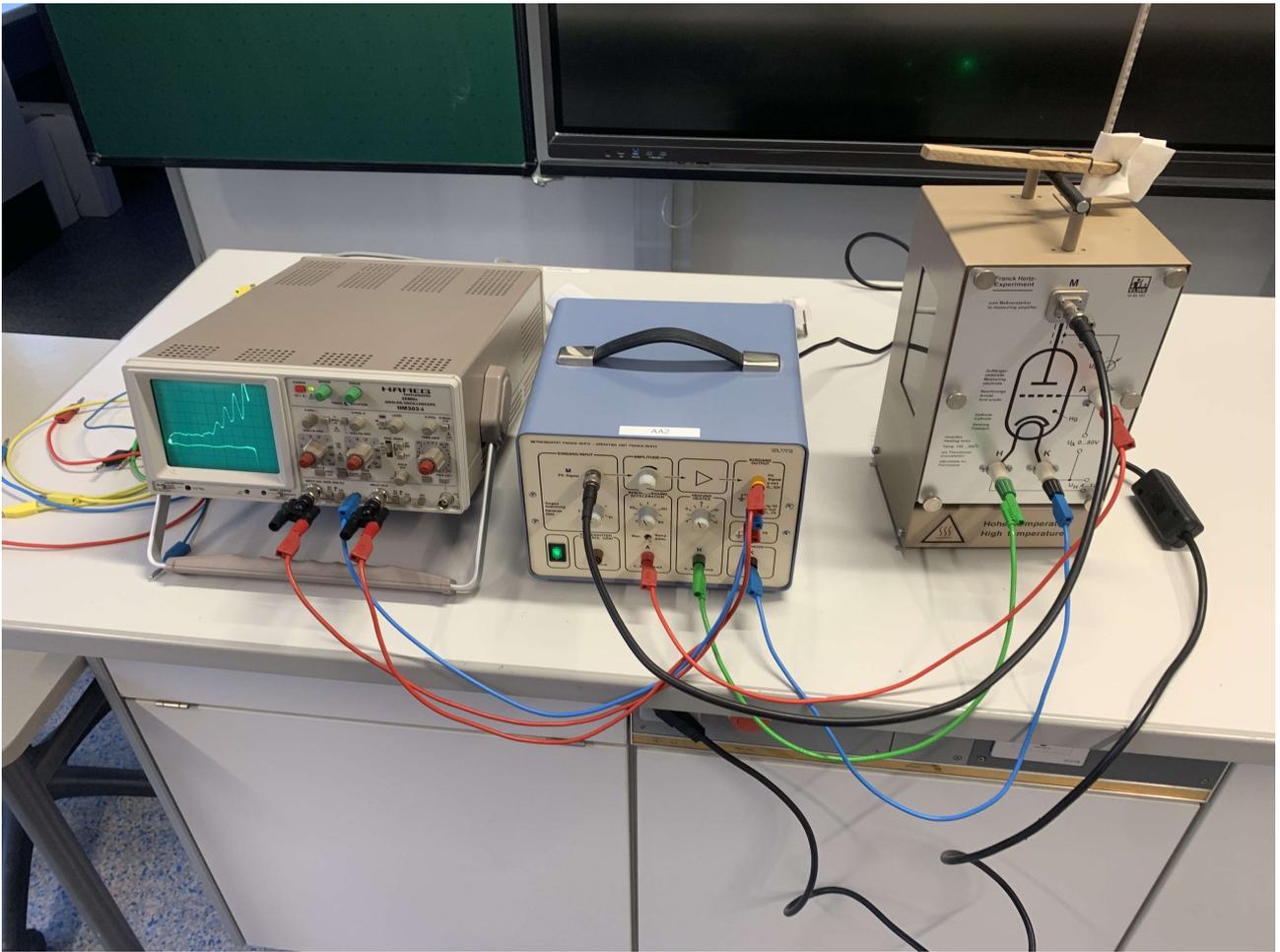
Besonders wichtig für die Durchführung war die Kalibrierung der Spannungs- und Stromwerte sowie das Feintuning der Parameter wie Gegenspannung und Signalverstärkung, um eine möglichst klare Darstellung der typischen Strom-Spannungs-Kurve auf dem Oszilloskop (Abbildung 5) mit ihren periodischen Einbrüchen und Maxima zu erhalten.



(Abbildung 5)

Insgesamt erforderte die Umsetzung ein sorgfältiges Vorgehen in Bezug auf Temperatur, Spannungsversorgung und Gerätekalibrierung des ganzen Versuchsaufbaus (Abbildung 6). Die systematische Veränderung der Beschleunigungsspannung und das gleichzeitige Beobachten der Stromverläufe ermöglichten schließlich die erfolgreiche Erfassung der typischen Franck-Hertz-

Kurve mit periodisch auftretenden Stromminima, die die quantisierte Energieübertragung zwischen Elektronen und Quecksilberatomen eindrucksvoll nachweist.

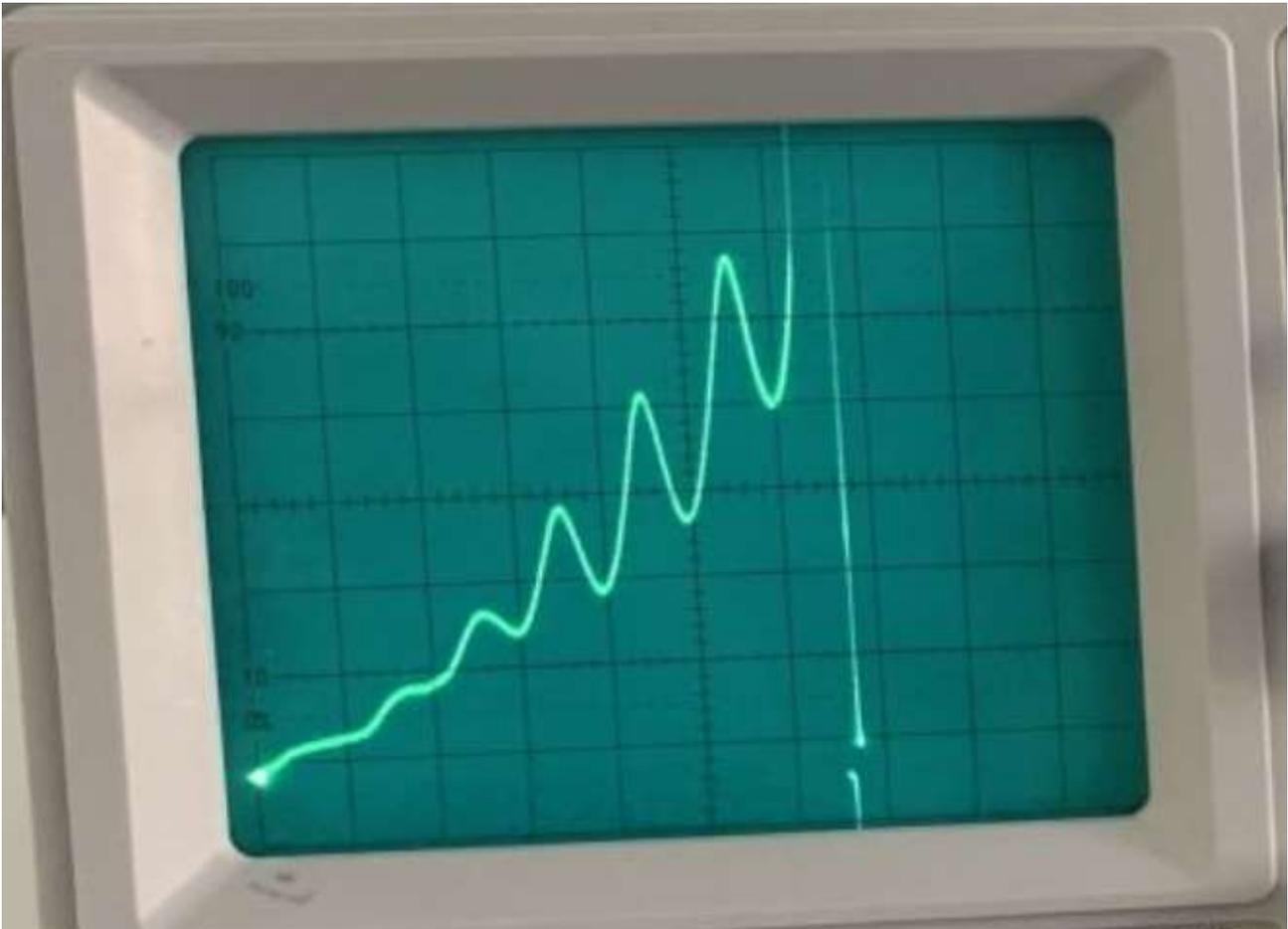


(Abbildung 6)

4. Ergebnisse

4.1 Originalmessung

Meine Originalmessung (*Abbildung 7*), bei der man die beste Entwicklung der Minima und Maxima der Strom-Spannungskurve erkennen konnte, habe ich bei einer Temperatur von 150° Celcius, einer Beschleunigungsspannung von 30V, einer Heizspannung von 7V und einer Gegenspannung von 1V gemacht.



(Abbildung 7)

Ein Kästchen entspricht hier auf der X-Achse 5V und man erkennt das sich die Minima hier immer ca. alle 4,9V bilden, so wie der Erwartungswert.

Jedoch treffen hier in dieser Messung auch einige unerwartete Phänomene auf, die sich unterschiedlich erklären lassen. Zum Einen sieht man, dass sich die Minima und Maxima am Start der Kurve, bei ca. 5V-10V nur gering bis gar nicht gebildet haben. Dies liegt an mehreren überlagernden Effekten, die das Zustandekommen eines deutlich sichtbaren periodischen Verlaufs in diesem Bereich erschweren.

Zum Einen könnte es daran liegen, dass, obwohl die mittlere Energie der beschleunigten Elektronen in diesem Bereich nahe an der Anregungsenergie von 4,9 eV liegt, die Energieverteilung der

Elektronen (bedingt durch die thermische Emission aus der Glühkathode) relativ breit ist. Das bedeutet, viele Elektronen haben noch etwas weniger als 4,9 eV und sind daher nicht in der Lage, die Hg-Atome anzuregen. Gleichzeitig haben nur wenige Elektronen deutlich mehr als 4,9 eV. Diese Verteilung führt dazu, dass inelastische Stöße nicht gebündelt, sondern unregelmäßig auftreten, was verhindert, dass sich ein ausgeprägtes Stromminimum ausbildet.

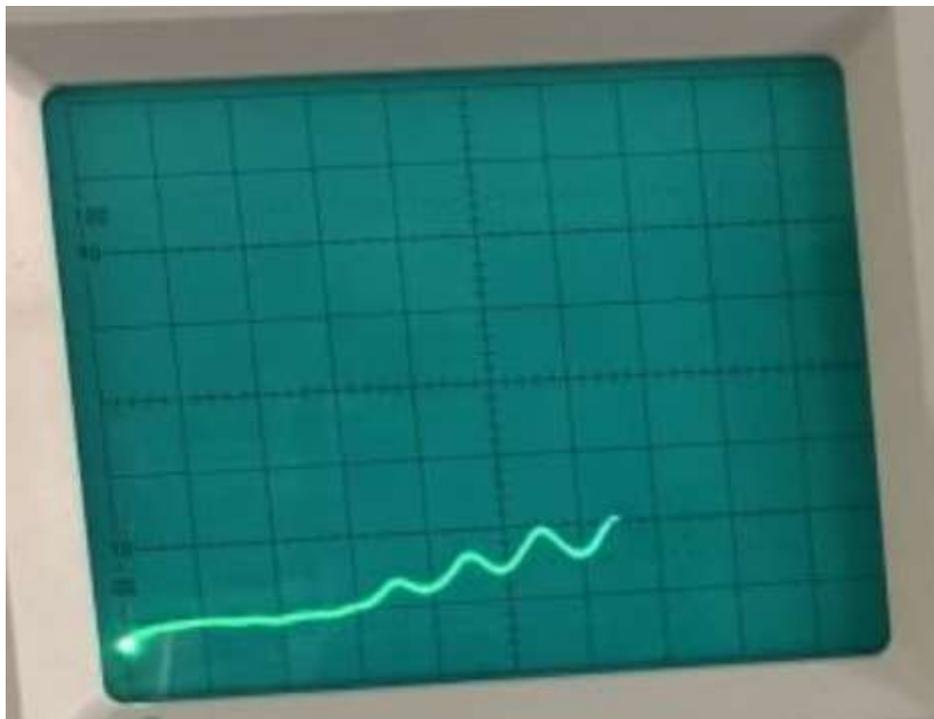
Hinzu kommt das sogenannte Kontaktpotenzial zwischen Kathode und Gitter, das der Beschleunigung der Elektronen effektiv entgegenwirkt. Obwohl am Netzgerät beispielsweise 6 V eingestellt sind, stehen den Elektronen möglicherweise nur 4–5 eV zur Verfügung, was oft nicht genug ist, um systematisch Hg-Atome anzuregen. Ein erster deutlicher Energieverlust durch inelastische Stöße (und damit ein messbares Minimum im Anodenstrom) könnte also erst ab einer höheren Spannung auftreten, als die eigentliche Anregungsenergie vermuten lässt.

Im Bereich von 5–10 V sind die Bedingungen für die Bildung klarer Minima und Maxima im Anodenstrom zwar theoretisch bereits teilweise erfüllt, in der Praxis sind die Stoßwahrscheinlichkeit, die Energieverteilung und das Kontaktpotenzial jedoch so gelagert, dass die Kurvenform noch unscharf bleibt. Die deutliche Ausbildung des ersten Minimums (und späterer Maxima) beginnt also oft erst bei Spannungen deutlich über 7 V.

4.2 Alternative Messungen

Um zu veranschaulichen, wie sich die verschiedenen anderen Einstellungen des Betriebsgerät auf die Kurve auswirken, habe ich weitere Messungen mit den gleichen Werten wie bei der Originalmessung unternommen und dabei jeweils einen Parameter geändert.

Zuerst habe ich die Heizspannung geändert von vorzeitig 7V auf 6V (*Abbildung 8*).

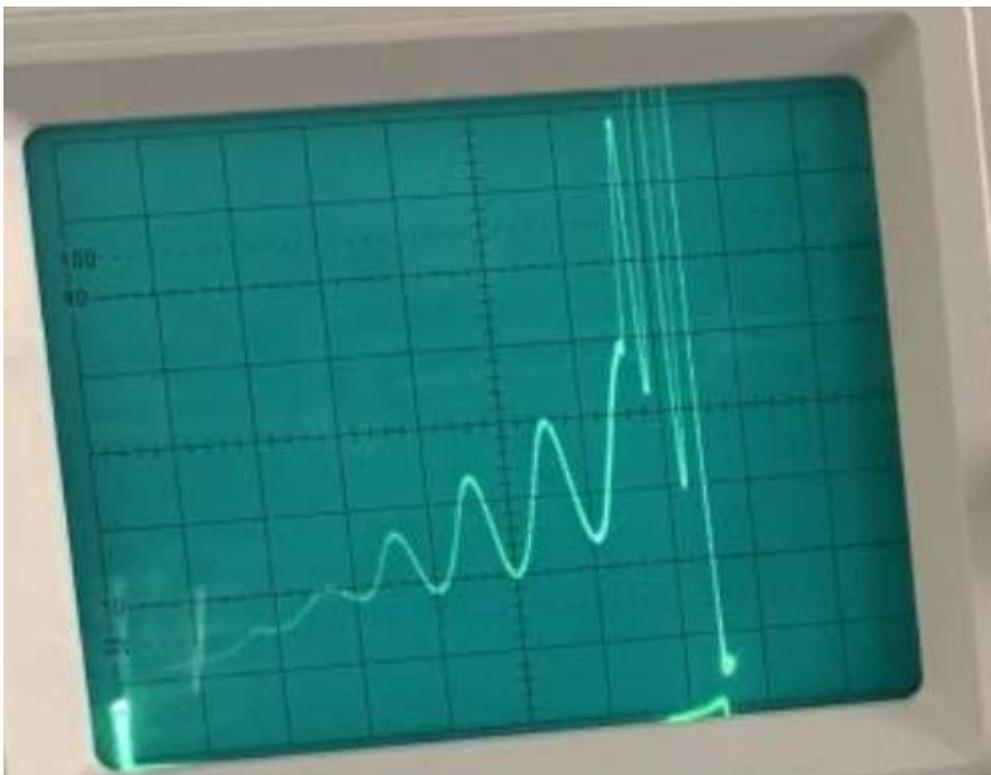


(Abbildung 8)

In diesem Diagramm lässt sich eine deutlich kleinere und abgeschwächte Kurve erkennen, bei der die Minima und Maxima erst deutlich später sichtbar sind. Dieser Effekt lässt sich durch

verschiedene physikalische Ursachen erklären, die alle mit der geringeren Temperatur der Glühkathode zusammenhängen. Eine niedrigere Heizspannung führt dazu, dass die Kathode nicht mehr stark genug erhitzt wird, um eine ausreichende Anzahl an Elektronen durch den glühelektrischen Effekt zu emittieren. Dadurch entsteht ein insgesamt geringerer Elektronenstrom, was wiederum bedeutet, dass weniger Elektronen die Anode erreichen und der gemessene Strom deutlich kleiner wird. Gleichzeitig besitzen die verbleibenden Elektronen im Mittel eine geringere kinetische Energie, was zur Folge hat, dass viele von ihnen nicht die nötige Energie erreichen, um Quecksilberatome anzuregen. Selbst wenn einzelne Elektronen genügend Energie besitzen, reicht ihre Anzahl nicht aus, um die typischen Stromabfälle durch inelastische Stöße in Form deutlicher Minima sichtbar zu machen. Hinzu kommt, dass bei geringerem Strom elektronische Störungen und Messrauschen einen größeren relativen Einfluss auf die Kurve haben, was die Erkennung von Maxima und Minima zusätzlich erschwert. Insgesamt führt eine zu geringe Heizspannung also dazu, dass die Elektronenanzahl und deren mittlere Energie zu niedrig sind, um den charakteristischen Verlauf der Franck-Hertz-Kurve klar abzubilden. Die Kurve wirkt flach, weniger strukturiert und ist nur schwer auswertbar.

Eine weitere Alternative ist die Veränderung der Gegenspannung. Ich habe sie hierbei von ursprünglich 1V auf 2V erhöht (*Abbildung 9*).



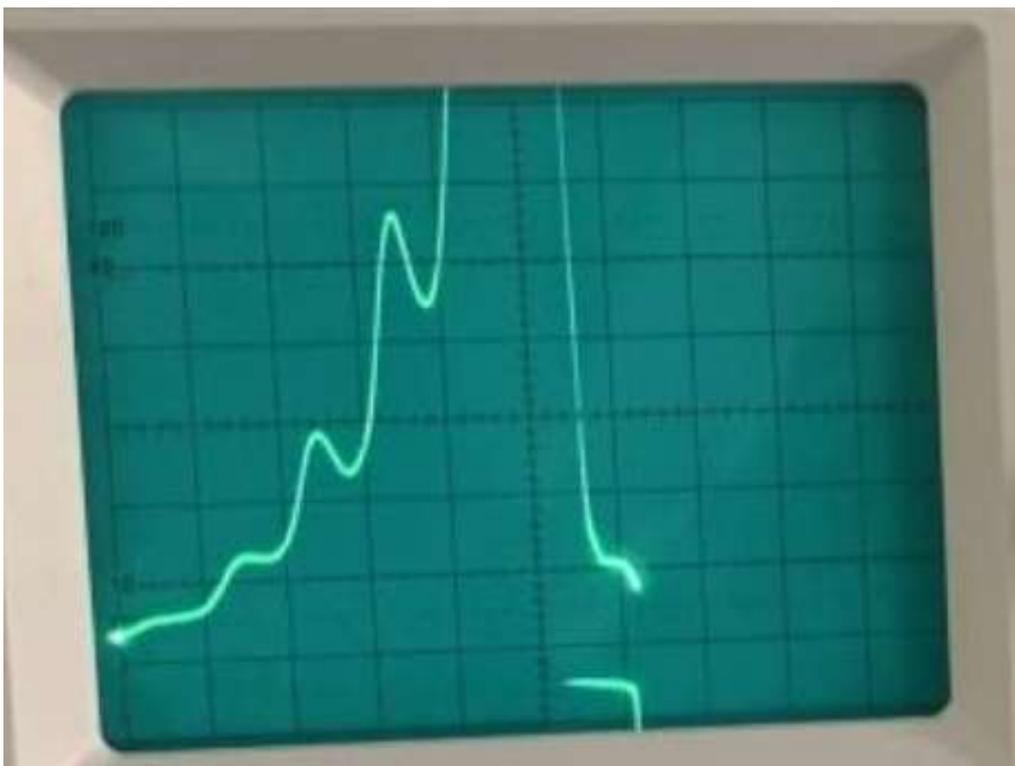
(Abbildung 9)

Als hier eine erhöhte Gegenspannung eingestellt wurde, zeigt zuerst noch eine normale erwartete Kurve wie sie auch bei der Originalmessung zu sehen war, allerdings zeigt sich im höheren Spannungsbereich zwar noch eine erkennbar periodische Struktur der Strom-Spannungs-Kurve, doch die Kurve wirkt zunehmend instabil und stark verzerrt. Die Maxima und Minima treten weiterhin auf, aber sie verlaufen deutlich steiler und unregelmäßiger: Der Strom springt ungewöhnlich schnell an und fällt abrupt wieder ab. Dieses Verhalten lässt sich darauf

zurückführen, dass die hohe Gegenspannung nur noch Elektronen mit vergleichsweise hoher kinetischer Restenergie durchlässt – also solche, die nach ihren Kollisionen mit den Quecksilberatomen nur wenig oder gar keine Energie verloren haben. Da die meisten Elektronen jedoch bei diesen hohen Beschleunigungsspannungen mehrfach inelastisch streuen und dabei Energie verlieren, wird der Strom an der Anode zunehmend von wenigen, „glücklich durchgekommenen“ Elektronen bestimmt.

Das führt dazu, dass kleine Änderungen in der Beschleunigungsspannung eine überproportional starke Wirkung auf den gemessenen Strom haben: Sobald ein Elektron knapp genug Energie hat, um trotz der Gegenspannung zur Anode zu gelangen, wird es gezählt – fällt es knapp unter diese Schwelle, wird es gebremst. Die Folge ist eine extrem steile, fast sprunghafte Veränderung der Stromstärke im Bereich der Maxima und Minima. Diese starke, unruhige Dynamik führt dazu, dass die Kurve zwar formal noch den bekannten periodischen Verlauf zeigt, aber deutlich schwerer auszuwerten ist. Besonders die genaue Lage der Minima wird undeutlich, und die Kurve wirkt insgesamt weniger sauber. Die hohe Gegenspannung wirkt in diesem Fall also als zu starker Filter und verzerrt das ursprüngliche Messsignal in seiner Form, ohne es vollständig unkenntlich zu machen.

Ein letzter Ansatz war noch die Veränderung der Temperatur. In diesem Fall wurde die Temperatur von ursprünglich 150° Celsius auf 130° Celsius verringert (*Abbildung 10*).



(Abbildung 10)

Wenn die Temperatur der Franck-Hertz-Röhre von 150 °C auf 130 °C gesenkt wird, zeigt sich eine auffällige Veränderung im Verlauf der Strom-Spannungs-Kurve: Die Kurve steigt auf der y-Achse, also in Bezug auf den gemessenen Strom, deutlich schneller an. Gleichzeitig bleiben die charakteristischen Minima und Maxima weiterhin klar erkennbar und treten in etwa denselben

Spannungsabständen auf wie zuvor. Dieses Verhalten lässt sich durch die veränderte Quecksilberdampfdichte in der Röhre erklären.

Bei einer geringeren Temperatur verdampft weniger Quecksilber, was dazu führt, dass die Dichte des Quecksilberdampfes im Inneren der Röhre abnimmt. Das bedeutet, dass die mittlere freie Weglänge der Elektronen, also die durchschnittliche Strecke, die ein Elektron zurücklegt, bevor es mit einem Quecksilberatom kollidiert, größer wird. Dadurch haben mehr Elektronen die Möglichkeit, ohne oder mit nur wenigen Kollisionen bis zur Anode zu gelangen, wodurch insgesamt mehr Elektronen den Weg dorthin schaffen. Dies führt zu einem schnelleren Anstieg des Stroms bei niedrigen Spannungen, da die Gegenspannung noch nicht stark genug ist, um diese Elektronen signifikant zu bremsen. Auch bei verringerter Dampfdichte passieren also diese Anregungskollisionen, wenn auch etwas seltener, sodass die typische periodische Struktur der Kurve erhalten bleibt, aber auf einem insgesamt höheren Stromniveau.

4.3 Probleme beim Messen

Ein zentrales Problem beim Messen im Franck-Hertz-Versuch war die instabile Temperatur der Röhre. Die Heizvorrichtung konnte die gewünschte Temperatur von etwa 150 °C nur unzureichend konstant halten. Stattdessen kam es während der Messungen immer wieder zu kleineren, aber spürbaren Temperaturschwankungen. Diese führten dazu, dass sich die Kurve auf dem Oszilloskop oder Messgerät innerhalb von Sekunden ständig veränderte. Der Stromverlauf wirkte dadurch unruhig, die Minima und Maxima verschoben sich leicht oder wurden undeutlicher, und eine klare, reproduzierbare Kurve ließ sich kaum erfassen.

Besonders problematisch war, dass man nie genau sagen konnte, ob eine beobachtete Veränderung auf eine Spannungseinstellung oder auf eine Temperaturschwankung zurückzuführen war. Eine kontinuierliche Messreihe wurde dadurch stark erschwert. Selbst bei gleichbleibender Spannung zeigte das Messgerät Schwankungen, was eine zuverlässige Auswertung nahezu unmöglich machte. Dieses Problem zog sich durch alle Versuchsphasen und erforderte wiederholte Messungen, bei denen dennoch keine vollständig stabile Kurve erzielt werden konnte.

Zudem war die Ablesegenauigkeit durch das analoge Messgerät begrenzt. Gerade bei kleinen Stromstärken, wie sie im Anfangsbereich der Spannung auftreten, war das Signal oft kaum vom Grundrauschen zu unterscheiden. Die Bewertung einzelner Kurvenmerkmale war daher an einigen Stellen mit Unsicherheiten behaftet.

Ein weiteres Problem bestand in der langen Aufwärmphase der Röhre. Zwar wurde eine ausreichende Zeit zum Stabilisieren eingeplant, doch aufgrund der beschriebenen Temperaturschwankungen konnte nicht sichergestellt werden, dass der Zustand über den gesamten Messzeitraum stabil blieb. Dies führte dazu, dass sich Messkurven selbst bei identischen Einstellungen mitunter deutlich unterschieden.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass der Versuch eine hohe Sensibilität gegenüber äußeren und technischen Einflüssen aufweist. Eine präzise und reproduzierbare Messung erfordert daher nicht nur ein gutes Verständnis der physikalischen Zusammenhänge, sondern auch große Sorgfalt im Umgang mit dem Versuchsaufbau.

5. Ausblick

Der Franck-Hertz-Versuch bietet auch über ein Jahrhundert nach seiner ersten Durchführung hinaus zahlreiche Ansatzpunkte für Weiterentwicklung und vertiefende Untersuchungen. Während der experimentellen Arbeit mit der klassischen Glasröhre sind diverse Herausforderungen aufgetreten, die Anlass geben, über technische Verbesserungen und methodische Erweiterungen nachzudenken. So könnte beispielsweise eine stabilere und automatisierte Temperaturregelung wesentlich zur Verlässlichkeit der Messungen beitragen. Gerade im Hinblick auf die beobachteten Schwankungen bei der Dampfdichte aufgrund instabiler Heizleistung wäre ein elektronisch geregeltes Heizsystem sinnvoll, das die Temperatur konstant auf dem gewünschten Wert hält. Auch eine digitale Strommessung mit direkter Anbindung an eine Software zur Datenerfassung würde nicht nur die Präzision erhöhen, sondern die Auswertung deutlich vereinfachen und reproduzierbarer machen. Der manuelle Ablesevorgang ist fehleranfällig, vor allem wenn sich die Kurve durch äußere Störungen schnell verändert.

Eine weitere Möglichkeit zur Weiterentwicklung des Versuchs liegt in der Variation des verwendeten Gases. Der klassische Franck-Hertz-Versuch nutzt Quecksilber, doch auch mit Edelgasen wie Neon, Helium oder Argon lassen sich interessante Ergebnisse erzielen. Diese Gase haben andere Anregungsenergien und damit jeweils eigene charakteristische Strom-Spannungskurven. Durch den Vergleich solcher Kurven könnten Schüler und Studierende ein noch tieferes Verständnis für die quantisierte Natur von Energiezuständen in Atomen gewinnen und lernen, wie sich atomare Eigenschaften experimentell nachweisen lassen.

Darüber hinaus wäre eine Kombination mit spektralanalytischen Methoden eine sinnvolle Erweiterung. Während des Versuchs emittieren angeregte Atome Photonen, wenn sie in ihren Grundzustand zurückkehren. Der Einsatz eines Spektrometers zur parallelen Beobachtung des emittierten Lichts könnte somit eine direkte Verbindung zwischen beobachtetem Energieverlust der Elektronen und der emittierten Photonenenergie herstellen. Vor allem bei Neongas lässt sich dies auch für das menschliche Auge sichtbar machen.

Auch wenn der Versuch in seiner klassischen Form hervorragend zur qualitativen Demonstration quantisierter Energieübertragung geeignet ist, bleibt offen, inwieweit er für eine exakte quantitative Analyse tauglich ist. Fragen nach der Genauigkeit der ermittelten Anregungsenergien, der Rolle von Kontaktspannungen oder der Reproduzierbarkeit der Messwerte unter verschiedenen Bedingungen sind weiterhin relevant und könnten im Rahmen weiterführender Projekte genauer untersucht werden.

Schließlich wären auch digitale, interaktive Versuchsumgebungen oder Simulationen denkbar, die es ermöglichen, die Effekte unter idealisierten Bedingungen zu erkunden und direkt mit den realen Messdaten zu vergleichen. Eine solche Verknüpfung von Theorie und Praxis würde das physikalische Verständnis vertiefen und den Versuch stärker in den modernen naturwissenschaftlichen Unterricht integrieren. Alles in allem zeigt sich, dass der Franck-Hertz-Versuch auch heute noch ein großes Potenzial zur Weiterentwicklung bietet – sei es durch technische Innovationen, methodische Ergänzungen oder vertiefende Fragestellungen, die über das schulische Niveau hinausgehen.