

Versuch: P2-54

Franck-Hertz-Versuch

- Auswertung -

Vorbemerkung

Bei diesem Versuch galt es, die Funktion und Aussage des Franck-Hertz-Versuchs nachzuvollziehen. Die Auswertung und Aufnahme der Messkurve wurde deutlich durch den XY-Schreiber erleichtert, der uns zum ersten Mal im Praktikum begegnete.

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung zur Quecksilber-Franck-Hertz-Röhre	2
1.1	Franck-Hertz-Röhre	2
1.2	Franck-Hertz-Kurven bei verschiedenen Temperaturen	2
1.3	Aufnahme der Anodenstromkurve	5
1.4	Ionisationsarbeit von Quecksilber	6
1.5	Emissionslinien bei brennender Gasentladung	7
2	Bestimmung der nächst höheren Anregungsenergie von Quecksilber	8
3	Neon Franck-Hertz-Röhre	9

1 Einführung zur Quecksilber-Franck-Hertz-Röhre

1.1 Franck-Hertz-Röhre

Diese Aufgabe diente nur zur Einführung. Es sollte nur der Vorbereitung, bzw. der Vorbereitungshilfe entsprechend die Schaltung für die Franck-Hertz-Röhre aufgebaut werden und danach mit dem Heizen begonnen werden. Die Temperatur wurde wie in Aufgabe 1.2 benötigt eingestellt. Zur Anschauung seien hier der Aufbau und der Ort des Geschehens - die Röhre - abgebildet:

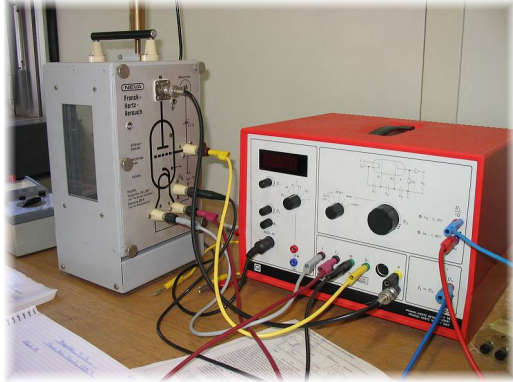


Abb.1: Aufbau

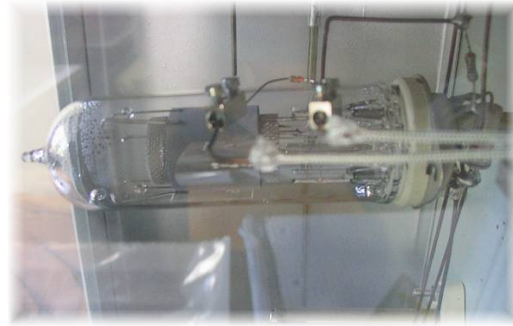


Abb.2: Franck-Hertz-Röhre

1.2 Franck-Hertz-Kurven bei verschiedenen Temperaturen

Hier wurde nun die Röhre als Starttemperatur auf 170°C aufgeheizt. Bevor wir nun zum Messprozess übergehen, sollte sich zunächst ein Überblick über die Effekte verschafft werden, die aus Veränderung der Parameter U_1 , U_3 und U_H resultieren:

- Aus der Veränderung der Heizspannung war eine deutliche Abflachung der Franck-Hertz-Kurve zu sehen, die Maxima waren außerdem deutlich schwächer ausgeprägt. Dies liegt schlicht daran, dass weit weniger Elektronen emittiert werden und somit ein geringerer Strom registriert werden kann. Somit ließen wir die Spannung die ganze Zeit auf dem Maximum.
- Die Spannung U_3 , die zwischen dem Beschleunigungsgitter und der Auffangelektrode liegt, sollte minimal gewählt werden. Auch dies ist verständlich - immerhin wird das Elektron nach Passieren des Beschleunigungsgitters abgebremst, je geringer die Abbremsung umso höher ist der registrierte Strom.
- U_1 sollte maximal eingestellt sein, dreht man die Spannung herunter, so flacht die Kurve (wie beim Aufdrehen von U_3) ab.

Für U_2 wurden feste Einstellungen gewählt, auf die noch eingegangen wird. Wir stellten nun also die gewünschte Temperatur ein und beobachteten das Bild auf dem Oszilloskop. Dafür wurde an U_2 eine Sägezahnspannung angelegt. Wir veränderten die Parameter, um eine möglichst ideale Kurve zu bestimmen, und schalteten dann das Oszilloskop aus. Dafür wurde der XY-Schreiber angeschlossen, der einen Stift zweidimensional bewegen konnte, je nach angelegter Spannung. Die Eingangsspannung für U_2 wurde dann auf die lineare Rampe eingestellt, so dass der XY-Schreiber die Kurve auf das untergelegte Papier zeichnete. Danach wurde U_2 auf Reset geschaltet, der XY-Schreiber ausgeschaltet und nach Veränderung der Temperatur die gleiche Prozedur wiederholt. Dazu ist noch einiges zu erwähnen. Zunächst konnte es passieren, dass die Franck-Hertz-Kurve nach oben hin abgeschnitten dargestellt wurde, also zu viele Elektronen bei der Auffangelektrode eintrafen. Dann war folgendes Bild zu sehen:

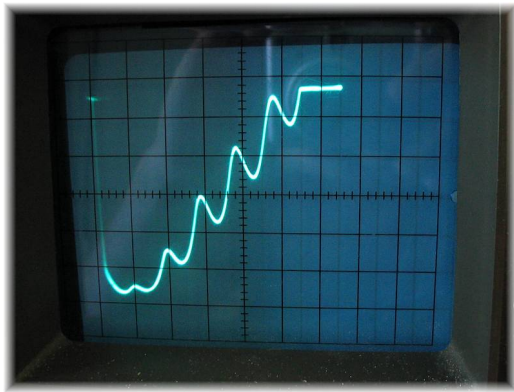


Abb.3: abgeschnittene Kurve

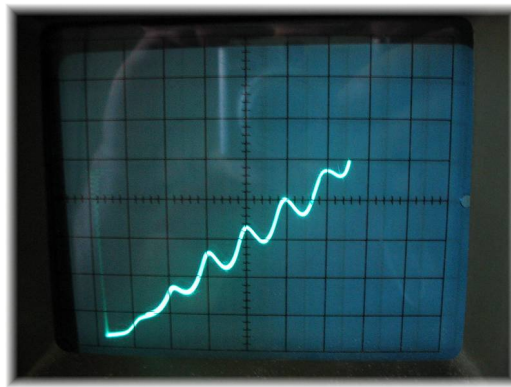


Abb4.: optimale Einstellung

Dies ließ sich mittels einer richtigen Einstellung von U_1 beheben, man musste die Spannung dafür leicht reduzieren. Zur Auswertung ist desweiteren wichtig, dass sich der Bereich, in dem die Messung durchgeführt wird, auf 30V erstreckt. Die 'Distanz' vom Anfangs- zum Endpunkt der Spannung sind also 30V. Allerdings wurde auch die Skalierung am XY-Schreiber notiert, um genauer auswerten zu können, da die Betreuerin sagte, dass der Wert von 30V nicht exakt sei.

Erwähnenswert ist noch, dass sich zu Beginn der Aufzeichnung des XY-Schreibers eine kleine Fluktuation (möglicherweise Spannungsspitze) einstellt, die direkt am Anfang einem sehr wirren Verlauf folgt. Dieser Verlauf ist in Anlage 1 sehr schön zu sehen (Anm: es erschien nicht übermäßig sinnvoll, die gezeichneten Graphen zu digitalisieren, weil von einem Gewinn der Messgenauigkeit eher nicht ausgegangen werden kann). Um nun diese Form an Anfang jeder Kurve zu vermeiden, gingen wir folgendermaßen vor: bevor die Spannung U_2 von *Reset* auf *lineare Rampe* gestellt wurde, ließen wir den Stift kurz auf das Papier drücken, um einen Anfangspunkt zu haben. Dann hoben wir den Stift an, wechselten auf die lineare Rampe, wodurch zunächst der wilde Anfangsverlauf beschrieben wurde. Da jedoch der Stift nicht auf das Papier drückte, ist der Verlauf in den restlichen Messungen nicht zu sehen. Sobald der Stift nun wieder bei der ursprünglichen Kurve angekommen war, drückten die den Stift aufs Papier und ließen die Kurve zeichnen. Daher erklärt sich also die Lücke zwischen den Kurven und dem Punkt zu Beginn einer jeden Messung.

Das Ziel dieses Versuchsteils war nun also die Anregungsenergie niedrigster Stufe zu ermitteln. Um dies zu tun, betrachten wir die einzelnen Maxima und messen den Abstand zwischen ihnen, was auf den Blättern im Anlage 2 bis Anlage 6 zu sehen ist. Es ergeben sich somit als Durchschnittsanregungsenergien für die unterste Anregungsenergie:

Temperatur [°C]	172	160	150	140	120
$\bar{E}_{Anregung}$ [eV]	4,9	5,0	5,0	5,0	5,6

Wie sich natürlich bereits leicht aus den Kurven ablesen lässt, ist ein Abfall der Qualität zu tieferen Temperaturen hin zu verzeichnen; bei 120°C ist die Franck-Hertz-Form nur noch am Beginn der Kurve zu erkennen. Deuten wir also unsere Kurven. Die Kurve bei 170°C ist die 'schönste', folgt also genau der erwarteten Form. Die mittlere freie Weglänge ist aufgrund der vielen Atome (bzw. der sich schnell bewegenden Atome) im Weg der Elektronen sehr gering - somit wird sehr schnell nach Erreichen der nötigen Energie die Anregung vollzogen. Damit haben wir recht sauber aufeinander folgende Maxima. Zu höheren Temperaturen hin erfolgt dann aufgrund der kleineren Weglänge ein deutlicher Anstieg der Kurve, denn hier haben nur viele Elektronen viel Energie und aufgrund der geringen Temperatur und somit großen mittleren freien Weglänge geben sie ihre Energie seltener sofort nach Erreichen der Anregungsenergie ab. Damit erklären sich auch die ungenaueren Werte bei den letzten Messungen. Nichtsdestotrotz haben wir einen Erfolg zu verzeichnen: der Literaturwert für die erste Anregungsenergie beträgt 4,89 eV, was wir im Rahmen unserer Messgenauigkeit mit einem Wert von

$\bar{E}_{1.Anregung} = 5,1 \text{ eV}$ voll bestätigen können (Abweichung zum Lit.-Wert: $\approx 4,1\%$).

Es sei noch angemerkt, wie sich die einzelnen Spannungen haben, bzw. wie wir sie verstellen mussten, um die ideale Einstellung der Kurve zu erhalten. Mit sinkender Temperatur musste U_1 verringert und U_3 erhöht werden, was im Einklang mit der Vorbetrachtung steht.

In diesem Versuchsteil sollte allerdings noch eine weitere Größe untersucht werden: die Kontaktspannung. Diese kommt dadurch zustande, dass Anode und Kathode aus verschiedenen Materialien bestehen (s.Vorbereitung) und natürlich durch Unterschiede in der Temperatur. Um die Kontaktspannung zu berechnen, addiert man zunächst U_1 und den Abstand des 1. Maximums zum Beginn der Messung (also 0V). Dann subtrahiert man noch die durchschnittliche Spannung zur Anregung:

$$U_{Kontakt} = U_{1.Max} + U_1 - \overline{U}_{Anregung} \quad (1)$$

Ein größeres Problem ist, dass sich die ersten Maxima bei den hohen Temperaturen schon sehr nah am Anfang befinden. Die Werte für die Kontaktspannung sind somit recht ungenau:

Temperatur [°C]	172	160	150	140	120
$U_{Kontakt}$ [V]	1,8	1,8	1,5	1,4	1,3

Dabei ist anzumerken, dass der Wert für die größte Temperatur gemittelt und am 2.Maximum orientiert ist, da das 1.Maximum nicht sichtbar ist. Betrachtet man die Werte, so ergibt sich als Resultat unserer Messung ein deutlicher Zusammenhang von Temperatur und Kontaktspannung, die mit der Temperatur ansteigt.

Schlussendlich sei noch angemerkt, dass die Kurve am Oszilloskop nicht genau das Aussehen hatte, welches später am XY-Schreiber ausgegeben wurde (was unter anderem zur Folge hatte, dass man fast über den Papierrand hinaus malte). Dies lässt sich wahrscheinlich auf den Unterschied von Sägezahnspannung und linearer Rampe zurückführen.

1.3 Aufnahme der Anodenstromkurve

In diesem Aufgabenteil sollten wir die Anodenstromkurve bei einer Temperatur von 150°C aufnehmen und durch entsprechende Auftragung das uns schon durch den Versuch *Glüh-und Feldemission* bekannte Schottkysche Raumladungsgesetz bestätigen, welches einen Verlauf gemäß

$$I_A = \lambda \cdot U^{\frac{3}{2}} \quad (2)$$

vorhersagt. Die Kurve sollte, wie in der Vorbereitung erklärt, keine Franck-Hertz-Form aufweisen. Wir maßen nun also, mit vorher entsprechend eingestellten Parametern, die Anodenspannung und den Anodenstrom. Hierbei stellte sich aber nach kurzer Zeit heraus, dass die Stromstärke deutlich zu niedrig war, als dass man sie mit den Messgeräten am Platz hätte messen können. Somit behielten wir uns damit, dass wir die Spannung an einem entsprechend geschalteten Widerstand von $R = 20\text{k}\Omega$ maßen und dann entsprechend umrechneten. Natürlich könnte man jetzt zuerst I über U auftragen und sich einreden, dass man die Abhängigkeit von $U^{3/2}$ sähe. Sinnvoller erscheint es, die Werte in Geradenform aufzutragen, denn es gilt:

$$\ln(I_A) = \frac{3}{2} \cdot \ln(U) + \ln(\lambda) \quad (3)$$

Wir erhalten mit folgenden Messwerten:

Anodenspannung U [V]	Spannung am Widerstand [mV]	Anodenstrom I_A [μA]	$\ln(I_A)$	$\ln(U)$
0	0	0		
2,2	5	0,25	-1,39	0,79
3,8	8	0,4	-0,92	1,34
6	12	0,6	-0,51	1,79
7,9	17	0,85	-0,16	2,07
9,9	23	1,15	0,14	2,29
12	30	1,5	0,41	2,48
13,8	41	2,05	0,72	2,62
16	56	2,8	1,03	2,77
18,1	72	3,6	1,28	2,90
19,9	97	4,85	1,58	2,99
22	113	5,65	1,73	3,09
24,2	128	6,4	1,86	3,19
26,1	142	7,1	1,96	3,26
28,1	162	8,1	2,09	3,34
29,9	190	9,5	2,25	3,40
31,7	217	10,85	2,38	3,46

folgendes Schaubild:

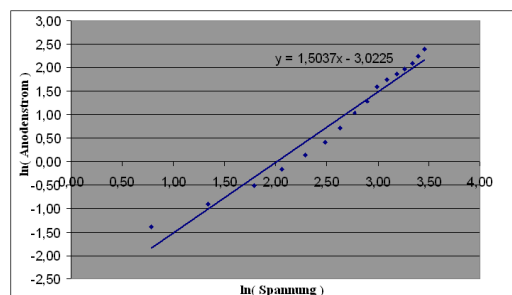


Abb.5: Anodenstrom über Spannung

Mit der eingezeichneten Geradengleichung ergibt sich eine phantastische Bestätigung der Theorie, wir liegen nicht einmal einen halben Prozentpunkt neben den erwarteten 1,5. Somit können wir das Raumladungsgesetz als bestätigt ansehen. Weiterhin können wir, um einen Eindruck der Größenordnung zu gewinnen, die mittlere freie Weglänge aus dem Y-Achsenabschnitt errechnen. Es folgt damit:

$$\lambda = 4,9 \cdot 10^{-8} \text{ m}.$$

1.4 Ionisationsarbeit von Quecksilber

In diesem Aufgabenteil wollen wir den Elektronen vor dem Stoß so viel Energie geben, dass sie in der Lage sind, die Atome, auf die sie treffen, zu ionisieren (die hierfür notwendige Energie ist nach Literaturangaben $10,44 \text{ eV}$). Hierfür dürfen die Elektronen natürlich nicht schon früher stoßen und nur anregen, weshalb wir die Teilchendichte klein halten wollten und somit die Temperatur auf niedrige 120°C einstellten. Durch die Ionisation treten im Gasraum positive Ionen auf, welche die Raumladung in der Nähe der Kathode herabsetzen, was zu einem steilen Anodenstromanstieg, bzw. Auffängerstromabfall führt. Beide Voraussagen wollen wir in dieser Aufgabe prüfen:

- Zunächst soll mittels XY-Schreiber der Abfall des Auffängerstroms registriert und daraus die Ionisationsenergie bestimmt werden. Dies war schnell erledigt - das Ergebnis ist in Anlage 7 zu sehen; an der fraglichen Stelle fällt der Strom, nach dem Beginn einer typischen Franck-Hertz-Form, rasant ab. Da wir praktischerweise bei ebenfalls 120°C die Kontaktspannung bestimmt haben, ergibt sich nun die Ionisationsarbeit als:

$$W_{Ion} = 10,8 \text{ eV} - 1,3 \text{ eV} = 9,5 \text{ eV} \quad (4)$$

Damit liegen wir leider fast 10% unter dem Literaturwert (möglichen Einfluss auf die Rechnung könnten die unterschiedlichen Spannungen U_1 und U_3 haben, denn der Wert für die Kontaktspannung wurde mit anderen Parametern ermittelt).

- Die 2.Möglichkeit der Bestimmung ist die Messung von Anodenspannung und Anodenstrom. Leider war der Anodenstrom so gering, dass wir über einem entsprechend geschalteten Widerstand ($R = 20k\Omega$) die Spannung abgreifen mussten, um den Strom zu bestimmen. Natürlich wurde auch hier wieder die Kurve mittels Veränderung der Parameter optimal gestaltet. Es ergaben sich folgende Messwerte:

Anodenspannung [V]	U am Widerstand [mV]	Anodenstrom [μA]
0	11	0,55
1,9	30	1,5
4	59	2,95
6	89	4,45
8	120	6
10	318	15,9
12	514	25,7
14	576	28,8
15,8	627	31,35
18	699	34,95
19,9	753	37,65
21,9	812	40,6
23,9	871	43,55
26,1	935	46,75
28,2	996	49,8
29,9	1044	52,2
31,7	1096	54,8

Stellen wir dies graphisch dar, so erhalten wir:

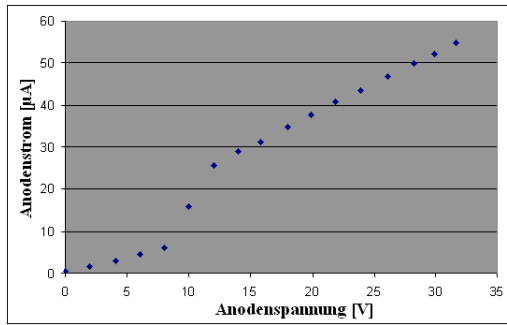


Abb.6: Anodenstrom über Anodenspannung

Dies ist genau der erwartete Verlauf, eine Unterteilung in zwei sehr unterschiedliche Gebiete, mit einem starken Sprung dazwischen. Bei diesem Sprung liegt nun die gesuchte Ionisationsenergie. Aufgrund mangelnder Messwerte in diesem Sprungbereich kann man mit Blick auf den Graphen guten Gewissens $W_{Ion} = 10 \text{ eV}$ annehmen, was ein sehr guter Wert ist, wenn man bedenkt, dass man sogar noch umständlich die Messung über den Widerstand ausführen musste.

1.5 Emissionslinien bei brennender Gasentladung

Hier sollte nun eine ständige Gasentladung gezündet werden, welche dann mittels eines Taschenspektroskops zu beobachten war. Das Taschenspektroskop war Fernrohrförmig, der innere Aufbau könnte mit einem Gitter verwirklicht sein. Wir sollten damit nun die Emissionslinien vom Quecksilber untersuchen und es ergaben sich erwartungsgemäß die Spektrallinien bei violett (Lit.-Wert 436nm), blau (Lit.-Wert 493nm), grün (546nm) und gelb (579nm). Desweiteren beobachteten wir normales Tageslicht, was sich logischerweise aus dem ganzen Spektrum zusammensetzte, und das Spektrum einer Gasentladungs-Deckenlampe im Praktikumsraum, welche in sehr diskreten Linien emittierte.

2 Bestimmung der nächst höheren Anregungsenergie von Quecksilber

In *Aufgabe 1.2* haben wir die niedrigste Anregungsenergie von Quecksilber bestimmt. Nun möchten wir einen Schritt weitergehen und die nächst höhere Anregungsenergie ausmessen. Dafür wurden gemäß der Vorbereitung kleinere Modifikationen vorgenommen: da die Elektronen mehr Energie bei einem inelastischen Stoß zur Verfügung haben sollen, um höhere Anregungsenergien zu erreichen, müssen wir:

- a) die mittlere freie Weglänge erhöhen, damit die Elektronen mehr Zeit bis zu einem Stoß haben. Dies wird durch Temperaturreduktion auf 120°C erreicht.
- b) die Elektronen schneller beschleunigen, indem wir das Raumladungsgitter zu einem Beschleunigungsgitter umfunktionieren.

Wir stellten dieses also ein und erhielten die Kurve aus Anlage 8. Dies ist eine sehr verwirrende Kurve. Macht man sich aber bewusst, was passiert, dann wird das Bild klarer: auf seinem Weg wird das Elektron (bei höheren Spannungen) immer und immer wieder beschleunigt, stößt dann inelastisch, wird wieder beschleunigt, etc. Ob nun das Elektron 3mal den ersten Zustand anregt und 5mal den zweiten Zustand, ist eine von den Parametern abhängige Wahrscheinlichkeitsfrage. Wir finden also in dieser Kurve viele verschiedene Linearkombinationen der einzelnen Niveaus. Die Linearkombinationen haben dann folgende Form:

$$E = l \cdot 4,89\text{eV} + m \cdot 6,7\text{eV} \quad l, m \in \mathbb{N} \quad (5)$$

Dabei kommen also viele Linearkombinationen vor, die in der Summe unter 30 eV bleiben. Dadurch erklärt sich auch, warum die Kurve zum Ende hin immer „holpriger“ wird, also verschieden stark ausgeprägte Maxima auftreten: je höher die Spannung ist, desto häufiger finden die Stöße statt und umso mehr Möglichkeiten der Kombination gibt es auch. Zur Auswertung könnte man nun so vorgehen, dass man das erste und zweite Maximum identifiziert und aus den Abständen die beiden Anregungsstufen erhält. Dies lässt sich schnell durchführen: wir erhalten als Werte genau die erwarteten Literaturangaben. Eine weitere Möglichkeit der Auswertung, die auf einen Vorschlag der Tutorin zurückgeht, ist folgende: man geht von den bekannten Werten aus und identifiziert die einzelnen Linearkombinationen. Dies ist auf dem Blatt *Anlage 8* geschehen und man sieht, dass die Erwartungen für die Werte von $\overline{E}_{1.\text{Anreg}} = 4,9\text{ eV}$ und $\overline{E}_{2.\text{Anreg}} = 6,7\text{ eV}$ gerechtfertigt waren, denn die einzelnen Peaks konnten recht genau Linearkomb. der Literaturwerte zugeordnet werden. Hierbei ist wichtig anzumerken, dass natürlich unterschiedliche Kombinationen nah aneinander liegen können, so sind z.B. $5 \cdot 4,9 \approx 1 \cdot 4,9 + 3 \cdot 6,7$.

3 Neon Franck-Hertz-Röhre

Für diesen Versuch wechselten wir die Apparatur und verwendeten eine Neon Franck-Hertz-Röhre, welche den Vorteil hat, dass das Heizen entfällt, da Neon bereits bei Zimmertemperatur gasförmig ist. Der Versuch sah folgendermaßen aus:

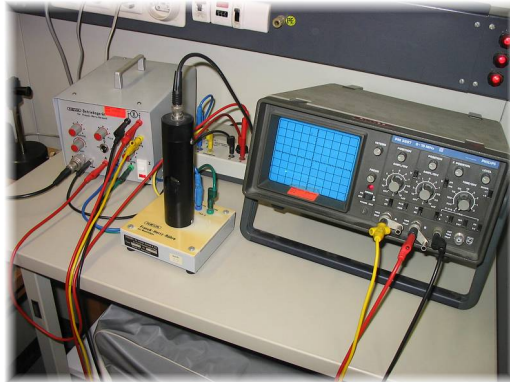


Abb.7: Neon-Franck-Hertz-Röhre

Man konnte nun manuell die Beschleunigungsspannung erhöhen und führte den emittierten Elektronen so Energie zu. Analog zur Quecksilberapparatur fanden nun wieder inelastische Stöße statt, wodurch die Hüllenelektronen angeregt wurden und dann unter Emission eines Photons wieder in den Grundzustand zurück fielen. Die Emission dieses Lichts konnte in der Röhre in Form von Ringen gesehen werden, welche von oben nach unten zum Kathodengitter wanderten. Der Abstand zweier Ringe entspricht der Anregungsenergie (leider konnten die Ringe nicht mit der Kamera aufgenommen werden). Man erhöhte nun die Spannung kontinuierlich die Spannung und beobachtete, wie sich die Ringstruktur veränderte. Man konnte ebenfalls die Kurven am Oszilloskop verfolgen:

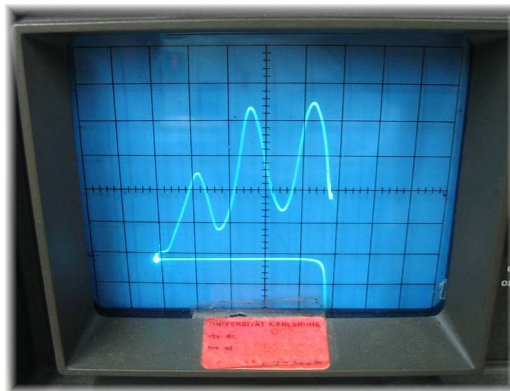


Abb.8: Oszil-Bild der Neon-Franck-Hertz-Röhre

Als Messwerte ergaben sich also:

Ringnummer	Spannung [V]
1.	23,3
2.	41,4
3.	60,7

Somit ergeben sich als Anregungsenergien $18,1 \text{ eV}$ und $19,3 \text{ eV}$, was mit den Literaturwerten im Bereich von $18,3 - 18,8 \text{ eV}$ sehr gut übereinstimmt. Zur Erinnerung: in diesem Versuch lässt sich nur eine Spanne für den Literaturwert angeben, weil man eigentlich eine nahe zusammen liegende Gruppe von Termübergängen beobachtet.