

# Bericht zum Franck–Hertz–Versuch

Anton Haase, Michael Goerz

10. Oktober 2005

GP II

Tutor: K. Lenz

## 1 Einführung

Anfang des 20. Jahrhunderts führten die beiden deutschen Physiker James Franck und Gustav Hertz einen Versuch zur Wechselwirkung zwischen bewegten Elektronen und Gasmolekülen durch. Das im folgenden beschriebene Experiment bildet dabei im Prinzip die Umkehrung des bereits behandelten Photoeffekts, der einige Jahre zuvor Hinweise auf eine gequantelte Natur lieferte. Der Aufbau ist auch in diesem Fall sehr simpel. Das Herzstück des Versuchs ist eine mit Quecksilberdampf gefüllte Elektronenröhre, in der sich sowohl eine Kathode zur Emission von freien Elektronen und eine Anode zur Beschleunigung der selben befindet. Die Anode wird dabei durch ein Gitter realisiert, so dass die beschleunigten Elektronen durch diese Anordnung hindurchfliegen können. Hinter diesem Beschleunigungsapparat befindet sich schließlich noch eine Auffängerelektrode, welche ein geringes Bremspotential relativ zu dem Gitter besitzt, so dass sehr langsame Elektronen keine Möglichkeit haben den Auffänger zu erreichen. Zu dem Gesamtaufbau des Experimentes gehören schließlich noch Messgeräte zur Erfassung der Beschleunigungsspannung und dem Auffängerstrom. In Abb. 1 ist ein Schaltbild des Versuchsaufbaus gezeigt (die Heizspannung zur Emission der Elektronen an der Kathode wurde hier der Übersichtlichkeit halber weggelassen).

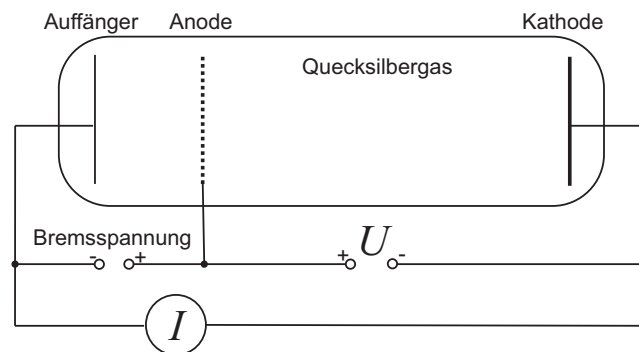


Abb. 1: Experimenteller Aufbau

Franck und Hertz stellten zur Untersuchung einer Wechselwirkung unterschiedliche Beschleunigungsspannungen  $U$  ein und maßen den Auffängerstrom  $I$ . Ohne Gasfüllung wäre zunächst ein ansteigender Strom zu erwarten, da es immer mehr Elektronen gelingt den Auffänger zu erreichen. Führt man den Versuch mit einer Quecksilberdampfzuführung durch so ist dies auch zunächst der Fall. Ab einer bestimmten Beschleunigungsspannung bricht der Strom jedoch schlagartig ein und beginnt dann mit weiter erhöhter Spannung zu steigen. Es zeigte sich, dass dieser Einbruch in regelmäßigen Abständen (auf der Spannungsachse) wiederkehrte (qualitativer Verlauf siehe Abb. 2).

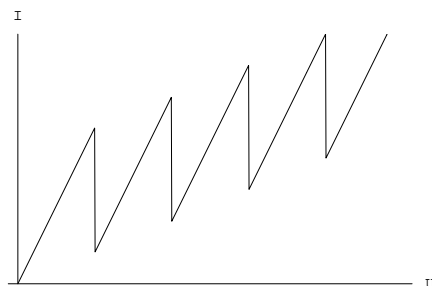


Abb. 2: Qualitativer Strom-Spannungsverlauf (idealisiert)

Der Grund für dieses Phänomen liegt in den diskreten Energieniveaus (Anregungszustände) der Quecksilberelektronen, wie es das Bohr-Sommerfeld-Atommodell vorsieht. Die Erhöhung der Beschleunigungsspannung kommt einer Erhöhung der kinetischen Energie der bewegten Elektronen gleich. Es kommt zu elastischen Stößen mit den Quecksilbermolekülen. Ist jedoch ein bestimmter Grenzwert erreicht, so gibt das Elektron in einem unelastischen Stoß seine Energie an das Quecksilbermolekül ab und regt dieses an. Bei dem Übergang zurück in den Grundzustand wird dann ein Photon einer durch den Atomaufbau festgelegten Wellenlänge emittiert. Der Schwellwert für die kinetische Energie des Elektrons liegt also bei der Energie, welche das emittierte Photon später besitzt.

$$E_{\text{kin}} = h \cdot \nu_{\text{Photon}} \quad (1)$$

Da ein Photon einer Wellenlänge nur eine feste Energie besitzt und der atomare Aufbau von Quecksilber keine anderen Anregungszustände ermöglicht, tritt der Effekt nur ein, wenn das stoßende Elektron mindestens die Energie  $E_{\text{Photon}}$  hat. Hat das Elektron eine größere Energie, so wird lediglich der Teil, der der Photonenenergie entspricht übertragen. Die erwartete Energiedifferenz zwischen zwei Minima beträgt bei Quecksilber 4.89 eV. Bei anderen Gasen ist sie entsprechend anders, je nach „Höhe“ des Anregungszustandes.

Die Temperatur des Gases sollte selbst lediglich einen Einfluss auf den Strom haben, nicht jedoch auf die Position der Minima. Die höhere Bewegung der Moleküle bei einer Erwärmung erhöht die Stoßwahrscheinlichkeit und damit den Widerstand der Röhre. Einen Einfluss auf den Anregungszustand des Quecksilbers gibt es jedoch nicht.

## 2 Aufgaben

1. Beobachtung der Elektronenstoß-Anregungskurve (Franck-Hertz-Kurve) von Quecksilber bei einer Ofentemperatur von etwa 190 °C mit dem Oszilloskop. Optimierung der Kurve durch geeignete Einstellung der experimentellen Parameter (Ofenheizung, Kathodenheizung, Beschleunigungsspannung).
2. Quantitative Aufnahme der Kurve mit einem X-Y-Schreiber. Bestimmung der zugehörigen Übergangsenergie in Quecksilber. Berechnung der Wellenlänge und Frequenz des Überganges.
3. Beobachtung und Registrierung weiterer Anregungskurven für Temperaturen von 150 und 210 °C. Qualitative Diskussion der Ergebnisse.
4. Aufnahme und Auswertung einer Franck-Hertz-Kurve für Neon bei Zimmertemperatur.

### 3 Auswertung

#### 3.1 Optimierung der Apparatur

Nach dem Anschluss der Geräte und Einstellung aller relevanten Spannungen für die Quecksilberröhre, gelang es uns auf dem Oszilloskop eine vollständig der Erwartung entsprechende Franck-Hertz-Kurve zu beobachten. Sie entsprach qualitativ der in der Einführung gezeigten, allerdings in deutlich weicherer Form. Bedauerlicherweise konnten wir das gute Ergebnis auf dem Bildschirm nicht mittels des Schreibers auf Papier übertragen, da die Verstärkung des Betriebsgerätes defekt war und die Empfindlichkeit des Schreibers nicht ausreichte. Es gelang uns dennoch einige „Wellenbewegungen“ aufzuzeichnen, die für eine quantitative Auswertung ausreichend sind.

#### 3.2 Quantitative Auswertung

Aus den gewonnenen Messkurven wurde von uns die jeweilige Kalibrierung für die Kurven erstellt. Einem Zentimeter auf dem Papier wurde dabei ein entsprechende Spannung zugeordnet. Die Ergebnisse dieser Zwischenrechnung sind auf dem jeweiligen Messergebnis vermerkt. Der Fehler ergab sich aus dem Messfehler des Multimeters. Zur Auswertung der jeweiligen Grenzspannungen haben wir die Maxima der Kurven herangezogen, wobei auf dem Messergebnis der Ablesefehler eingezeichnet wurde. Die resultierenden Spannungen haben wir über die Ordnung der Maxima aufgetragen. Aus den Steigungen konnten wir schließlich die Spannung und damit Übergangsenergie ablesen. Die Ergebnisse sind im folgenden nacheinander aufgeführt.

<b>Messung 1 (170)</b>					
	Kalibrierungsfaktor	Abs. Fehler	Rel. Fehler		
	1.01		0.02	0.020	
Ordnung	Spannung (cm)	Fehler (cm)	Spannung (V)	Fehler (V)	
1	11.2	0.2	11.3	0.4	
2	16	0.2	16.2	0.4	
3	20.9	0.2	21.1	0.5	
4	25.9	0.2	26.2	0.6	

<b>Messung 2 (168)</b>					
	Kalibrierungsfaktor	Abs. Fehler	Rel. Fehler		
	1.15		0.02	0.017	
Ordnung	Spannung (cm)	Fehler (cm)	Spannung (V)	Fehler (V)	
1	9.9	0.2	11.4	0.4	
2	14.2	0.2	16.3	0.4	
3	18.1	0.2	20.8	0.5	

<b>Messung 3 (140)</b>					
	Kalibrierungsfaktor	Abs. Fehler	Rel. Fehler		
	1.01		0.02	0.020	
Ordnung	Spannung (cm)	Fehler (cm)	Spannung (V)	Fehler (V)	
1	11.1	0.2	11.2	0.4	
2	16	0.2	16.2	0.4	
3	20.9	0.2	21.1	0.5	
4	26.1	0.2	26.4	0.6	

<b>Messung 4 (170)</b>					
	Kalibrierungsfaktor	Abs. Fehler	Rel. Fehler		
	1.04		0.02	0.019	
Ordnung	Spannung (cm)	Fehler (cm)	Spannung (V)	Fehler (V)	
1	11	0.2	11.4	0.3	
2	15.5	0.2	15.7	0.4	
3	20.2	0.2	20.4	0.5	
4	25.1	0.2	25.4	0.6	

Tabelle 1: Tabellarische Ergebnisse der Quecksilberröhre

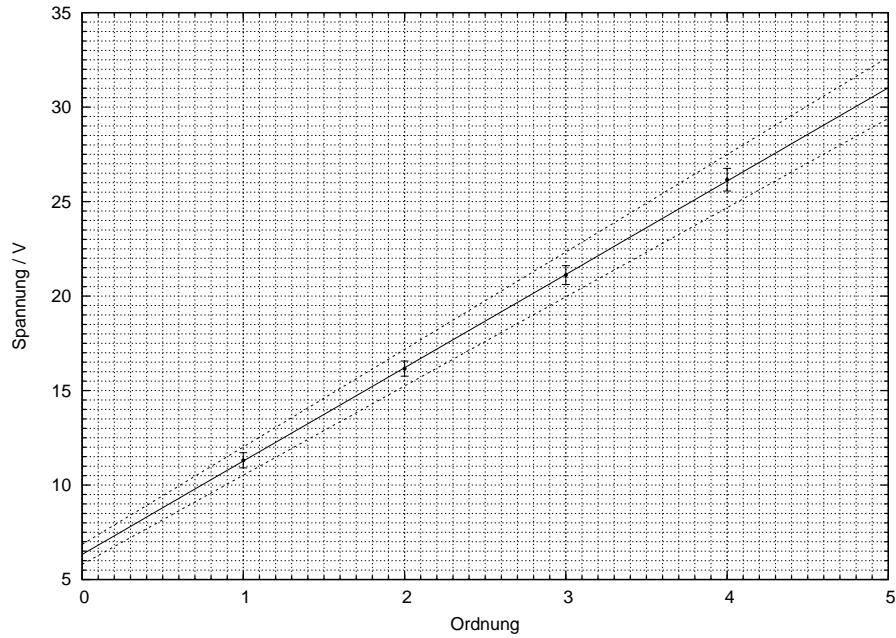


Abb. 3: Messung 1, Temperatur 170 °C, Steigung:  $(4.9 \pm 0.3)$  V

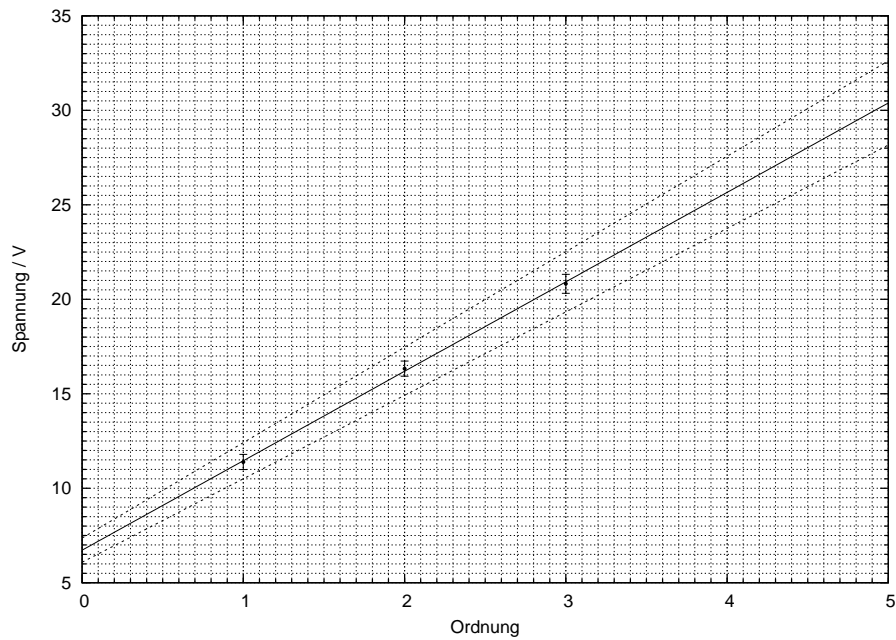


Abb. 4: Messung 2, Temperatur 168 °C, Steigung:  $(4.7 \pm 0.4)$  V

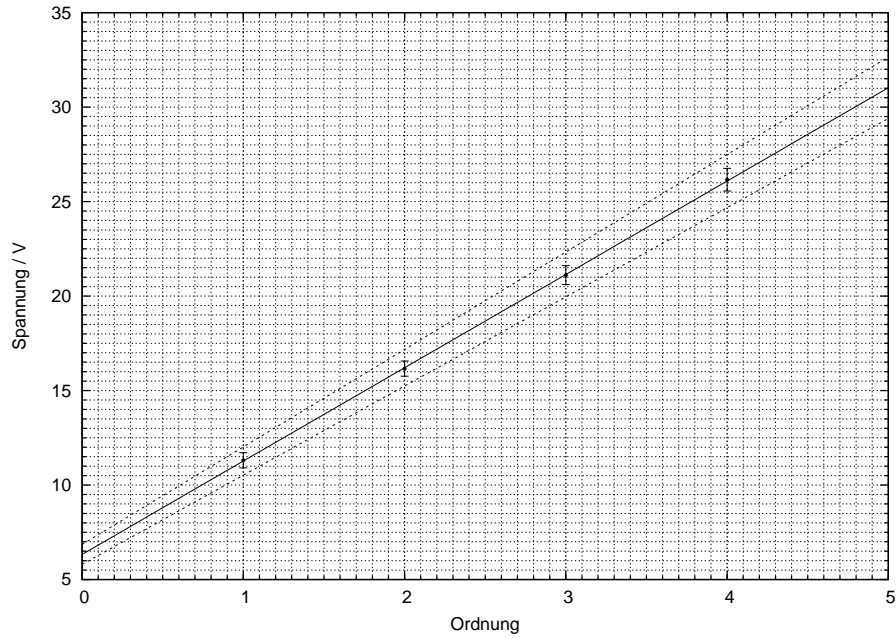


Abb. 5: Messung 3, Temperatur 140 °C, Steigung:  $(5.0 \pm 0.3)$  V

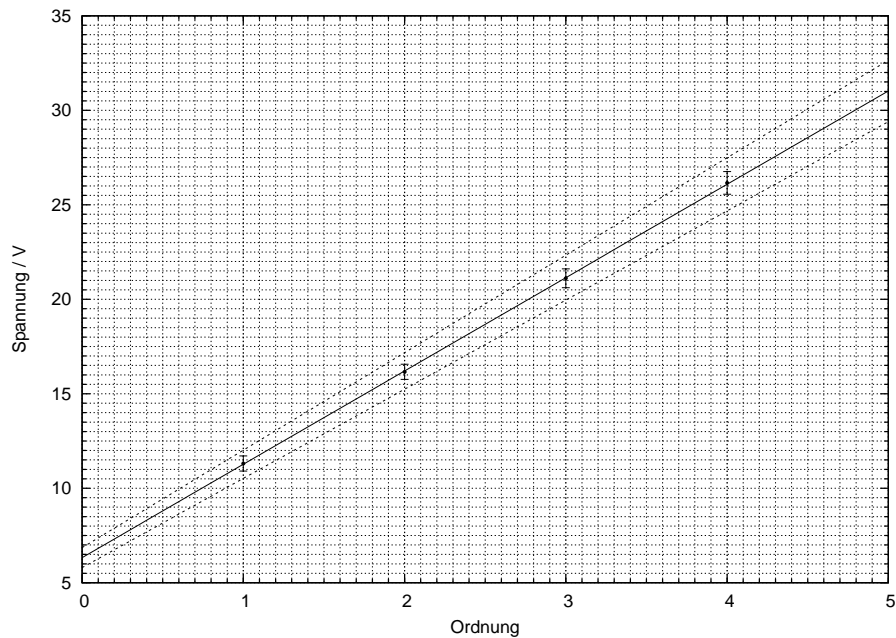


Abb. 6: Messung 4, Temperatur 170 °C, Steigung:  $(4.6 \pm 0.2)$  V

Aus dem Mittelwert dieser vier Messungen ergibt sich eine Übergangsenergie von

$$E = (4.8 \pm 0.2) \text{ eV}$$

Dieser Wert ist innerhalb des Fehlerintervalls identisch mit dem in der Einleitung genannten Literaturwert von  $E = 4.89 \text{ eV}$ .

Die Frequenz und Wellenlänge des emittierten Lichts ergeben sich dabei aus der Beziehung (1). Das Resultat dieser Berechnung ist für den vorliegenden Fall

$$\nu = (1.2 \pm 0.1) \cdot 10^{15} \text{ Hz.}$$

Die zugehörige Wellenlänge ist damit

$$\lambda = (250 \pm 10) \cdot 10^{-9} \text{ nm.}$$

Das abgestrahlte Licht liegt also im UV-Bereich.

### 3.3 Temperaturabhängigkeit

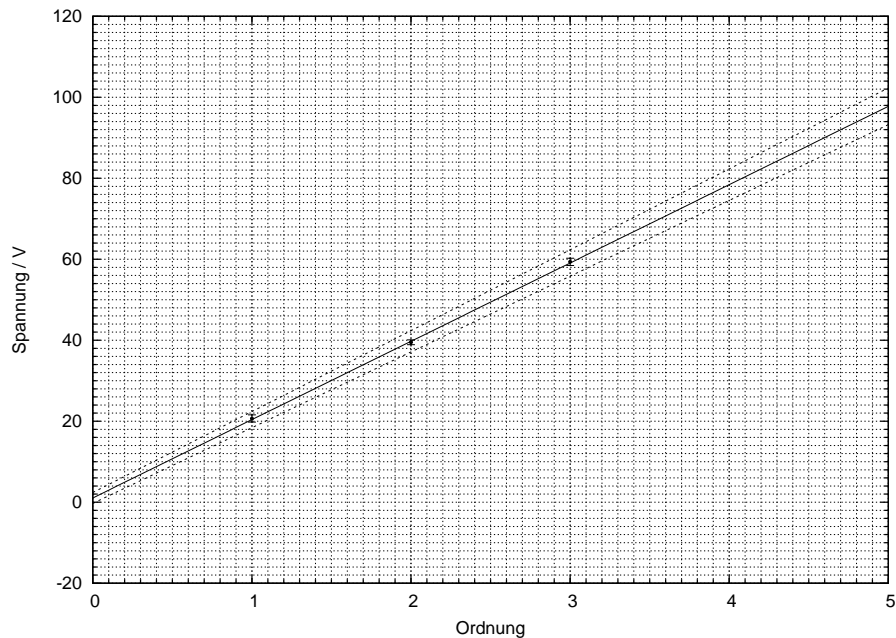
In einem weiteren Experiment wurde nun die Temperatur der Quecksilberröhre verändert. Dies hat einen Einfluss auf die Anzahl der dampfförmigen Moleküle und damit auf dem Dampfdruck des Quecksilbers. Wir haben die Franck-Hertz-Kurve für zwei verschiedene Temperaturen aufgezeichnet, wobei alle anderen Parameter nicht verändert wurden. Das Ergebnis bestätigt deutlich die in der Einführung geäußerte Erwartung. Der hohe Dampfdruck und die erhöhte Molekularbewegung führt zu einer Erhöhung der Stoßwahrscheinlichkeit. Der Widerstand der Apparatur steigt also mit steigender Temperatur. Folglich kommt es zu einer Abschwächung des gemessenen Stroms. Auf die Abstände zwischen den Anregungen hat die Temperatur jedoch keinen Einfluss. Die Messergebnisse liegen dem Messprotokoll bei.

### 3.4 Franck-Hertz-Versuch mit Neon

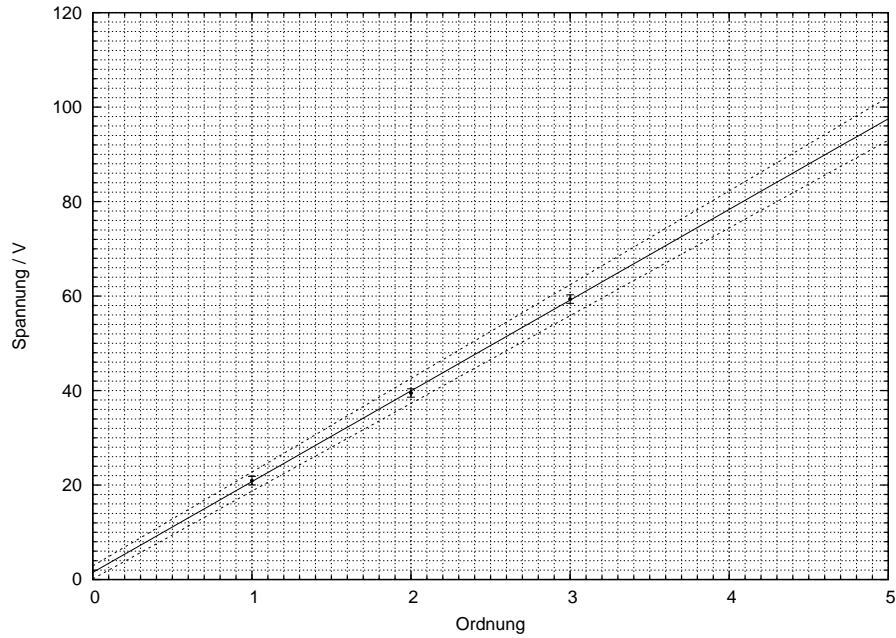
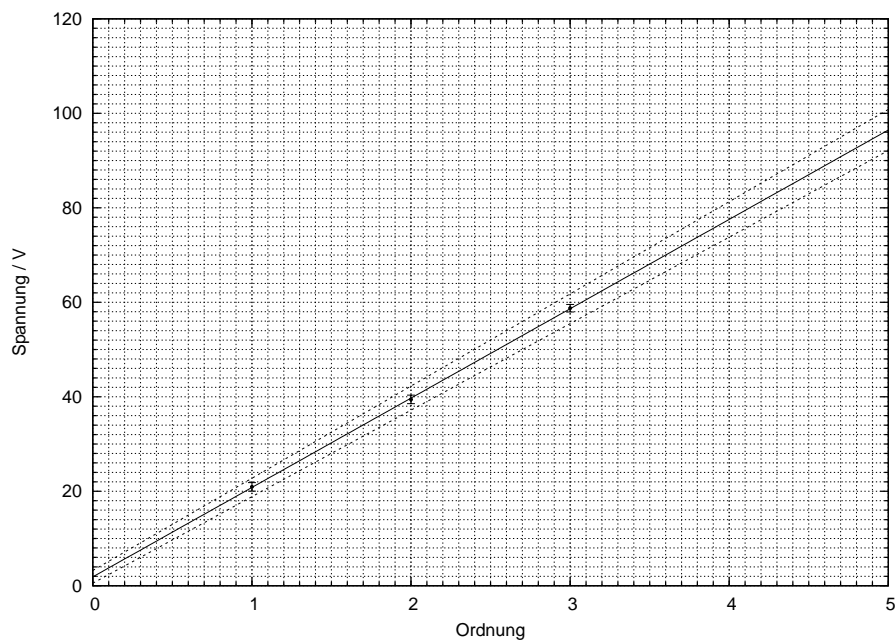
Im Anschluss an die durchgeführten Untersuchungen an der Quecksilberröhre wurde diese durch eine Neonröhre ersetzt, um dort analoge Untersuchungen bei Zimmertemperatur vorzunehmen. Wir haben hier ebenfalls vier Messungen durchgeführt. Die Ergebnisse der quantitativen Auswertung sind im folgenden aufgeführt.

<b>Messung 1</b>					
		Kalibrierungsfaktor	Abs. Fehler	Rel. Fehler	
		2.65	0.02	0.008	
Ordnung	Spannung (cm)	Fehler (cm)	Spannung (V)	Fehler (V)	
1	7.8	0.3	20.7	0.9	
2	14.9	0.2	39.5	0.6	
3	22.4	0.3	59.4	0.9	
<b>Messung 2</b>					
		Kalibrierungsfaktor	Abs. Fehler	Rel. Fehler	
		2.65	0.02	0.008	
Ordnung	Spannung (cm)	Fehler (cm)	Spannung (V)	Fehler (V)	
1	7.9	0.3	20.9	0.9	
2	14.9	0.3	39.5	0.9	
3	22.4	0.3	59.4	0.9	
<b>Messung 3</b>					
		Kalibrierungsfaktor	Abs. Fehler	Rel. Fehler	
		2.72	0.02	0.007	
Ordnung	Spannung (cm)	Fehler (cm)	Spannung (V)	Fehler (V)	
1	7.7	0.3	20.9	0.9	
2	14.5	0.3	39.4	0.9	
3	21.6	0.2	58.8	0.8	
<b>Messung 4</b>					
		Kalibrierungsfaktor	Abs. Fehler	Rel. Fehler	
		2.64	0.02	0.008	
Ordnung	Spannung (cm)	Fehler (cm)	Spannung (V)	Fehler (V)	
1	7.9	0.2	20.9	0.6	
2	14.9	0.2	39.3	0.6	
3	22.4	0.3	59.1	0.9	

Tabelle 2: Tabellarische Ergebnisse der Neonröhre

Abb. 7: Neon-Messung 1, Steigung:  $(19.3 \pm 0.7 \text{ V})$



Abb. 8: Neon-Messung 2, Steigung:  $(19.2 \pm 0.7$  V)Abb. 9: Neon-Messung 3, Steigung:  $(18.9 \pm 0.6$  V)

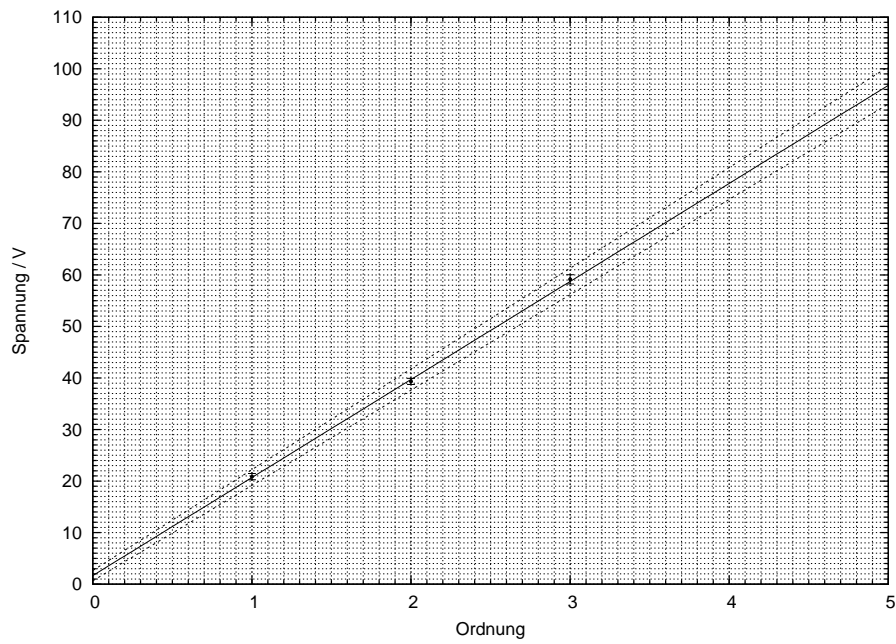


Abb. 10: Neon-Messung 4, Steigung:  $(19.0 \pm 0.6 \text{ V})$

Wieder ergibt sich aus dem Mittelwert der Steigungen die Anregungsenergie von

$$E = (19.1 \pm 0.4) \text{ eV.}$$

Diese große Energiedifferenz würde zunächst eine Lichtemission sehr kurzer Wellenlänge vermuten. Tatsächlich ist die Lichtemission jedoch im sichtbaren Bereich des Spektrums. Dies erklärt sich durch mehrere Anregungslevel, die zwischen der gemessenen Anregungsenergie liegen. Der sichtbare Effekt lässt sogar lokalisierte Leuchtstellen zwischen Kathode und Anode erkennen, welche die Bereiche der Anregung (also der ausreichenden kinetischen Energie der Elektronen) sichtbar machen.

## 4 Zusammenfassung und Diskussion

Insgesamt ist der durchgeführte Versuch als Erfolg zu bezeichnen. Es ist uns gelungen die quantisierte Natur der Atome und Moleküle zu veranschaulichen und nachzuweisen. Die Verstärkung der Apparatur war bedauerlicherweise defekt, so dass der Nachweis nur in sehr gering ausgeprägten Maxima zu beobachten ist. Dennoch entspricht insbesondere die Kurve der Quecksilbermessung 2 unserer theoretischen Erwartung. Die große Breite der Maxima führte bei der Auswertung zu einem erhöhten Fehler, da die Lokalisierung der tatsächlichen Extrempunkte nur mit einer gewissen Toleranz vorgenommen werden konnte. Desweiteren stellte es sich als schwierig heraus, die auf den Messergebnissen notierte Temperatur während der Aufzeichnung konstant zu halten. Geringfügige Verzerrungen der relativen Größenunterschiede zwischen den Stufen einer Kurve sind somit nicht auszuschließen.

Trotz der beschriebenen Probleme ist der Unterschied bei der temperaturabhängigen Messung deutlich erkennbar. Die Kurve bei 200 °C ist deutlich schwächer als die Vergleichsmessung bei 150 °C. Die Erklärung für dieses Phänomen wurde bereits in der Auswertung vorgenommen.

Die Messung an der Neonröhre verlief weitestgehend problemlos und erlaubte eine gute quantitative Auswertung. Zu bemängeln ist einzig, dass die defekte Verstärkung dazu führte, dass die Kurve zwischen den Maxima stets unter den Empfindlichkeitsbereich des Schreibes rutschte, so dass „platte“ Minima entstanden sind. Dies ist jedoch nicht weiter von Bedeutung, da auch hier die Maxima zur Auswertung herangezogen wurden. Ein zusätzlicher Vorteil der Neonapparatur liegt in der Sichtbarkeit des emittierten Lichtes, so dass die diskreten Anregungszonen sehr schön zwischen Kathode und Anode zu beobachten waren. Die Anzahl der Stellen bestätigte auch die Ergebnisse in der Messkurve.