

V500

Das Photoeffekt

Amelie Hater
amelie.hater@tu-dortmund.de

Ngoc Le
ngoc.le@tu-dortmund.de

Durchführung: 11.06.2024

Abgabe: 18.06.2024

TU Dortmund – Fakultät Physik

Inhaltsverzeichnis

1 Zielsetzung	3
2 Theorie	3
2.1 Vorbereitungsaufgaben	5
3 Durchführung	6
4 Auswertung	6
4.1 Strom-Spannungs Kennlinie und Beleuchtungsstärke	6
4.2 Grenzspannungen für verschiedene Wellenlängen	7
4.3 Planck-Konstante und Austrittsarbeit des Kathodenmaterials	11
5 Diskussion	13
Literatur	13
Anhang	13
Originaldaten	13

1 Zielsetzung

Das Ziel des Versuchs ist die Auseinandersetzung mit dem Photoeffekt. Dazu wird die Strom-Spannungskennlinie einer Photozelle gemessen und das Plancksche Wirkungsquantum bestimmt.

2 Theorie

Grundlegend für den Versuch ist der Lichtelektrische Effekt. Dieser beschreibt das Auslösen von Elektronen aus einem Metall durch Licht. Dieser kann außerdem dazu verwendet werden das Plancksche Wirkungsquantum h zu bestimmen. Notwendig dafür ist die Relation

$$E_\gamma = h \cdot \nu \quad (1)$$

E_γ ist Strahlungsenergie eines Photons und ν ist die Frequenz des Photons. Wird ein Metall mit Licht bestrahlt, kann die Energie eines Lichtquants nur auf einmal ganz an ein Elektron im Metall abgeben werden. Falls diese Energie größer ist als die Austrittsarbeit des Metalls löst sich das Elektron aus dem Metall. Im Versuch ist zwischen dem bestrahlten Metall und einer Anode ein Gegenfeld aufgebaut. Durch die Variation der Spannung des Gegenfeldes kann die kinetische Energie bestimmt werden, die die Elektronen nach deren Austreten haben. Es gilt :

$$E_{\text{kin}} = e \cdot U_g \quad (2)$$

Die gesamte Energiebilanz ist

$$E_\gamma = \Phi + e \cdot U_g \quad (3)$$

mit Φ als materialspezifische Austrittsarbeit. Eine schematische Darstellung des Fotoeffekts mit Gegenfeld ist in Abbildung (1) zu sehen.

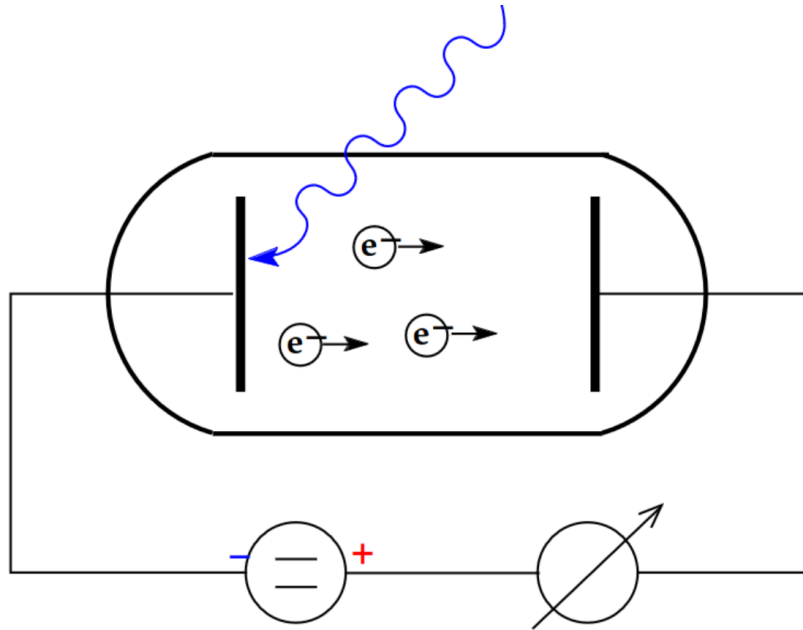


Abbildung 1: Schematische Darstellung des Fotoeffekts und einem Gegenfeld.

Bei Durchführung der Bestrahlung der Metallplatte mit Licht werden verschiedene Eigenschaften des Fotoeffekts deutlich. Der Photostrom ist instantan mit der Bestrahlung des Metalls messbar. Außerdem ist die Anzahl der ausgelösten Elektronen direkt proportional zur Lichtintensität bei einer festen Frequenz. Zudem gibt es für jedes Material eine feste Grenzfrequenz, ab der Elektronen ausgelöst werden. Diese Grenzfrequenz ist unabhängig von der Lichtintensität. Die Energieverteilung der Elektronen hängt von der verwendeten Lichtfrequenz ab. Die klassische Interpretation des Lichts als elektromagnetische Welle kann allein die Eigenschaft erklären, dass die Anzahl der ausgelösten Elektronen direkt proportional zu der Intensität des einstrahlenden Lichtes abhängt. Daher müssen quantenmechanische Erklärungen verwendet werden. Ein wichtiger Faktor ist, dass die Elektronen im Material bereits eine bestimmte Energie besitzen, die durch die Fermi-Dirac Verteilung gegeben ist. Diese Verteilung ist in Abbildung (2) zu sehen.

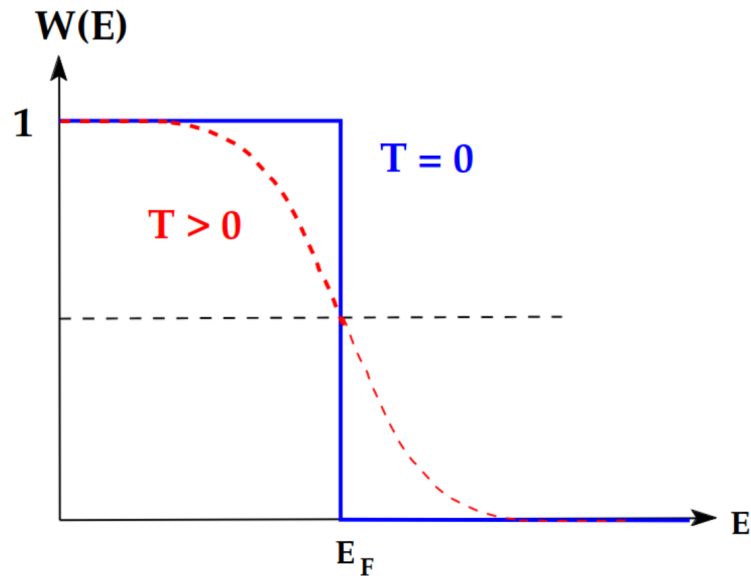


Abbildung 2: Wahrscheinlichkeit, dass ein Zustand mit bestimmter Energie im thermischen Gleichgewicht ist.

2.1 Vorbereitungsaufgaben

Zur Vorbereitung sollen die ausgetrahlten Wellenlängen einer Hg-Hochdrucklampe recherchiert werden. Die Wellenlängen sind zusammen mit den entsprechenden Farben, Frequenzen und Energien in Tabelle (1) aufgelistet.

Tabelle 1: Von Hg-Lampe emittierte Wellenlängen mit Frequenz ν und Energie im Bereich des sichtbaren Lichts.

Farbe	Wellenlänge [nm]	ν [THz]	Energie [eV]
violett	404,66	740,85	3,06
violett	407,78	735,18	3,04
blau	435,83	687,87	2,84
cyan	435,83	609,83	2,52
grün	435,83	549,00	2,27
orange	576,96	519,61	2,15
orange	579,07	517,71	2,15
rot	435,83	480,87	1,99

kleine Änderung

3 Durchführung

4 Auswertung

4.1 Strom-Spannungs Kennlinie und Beleuchtungsstärke

Die gemessenen Photoströme und die zugehörigen Spannungen bei vollständiger Beleuchtungsstärke sind in der Tabelle (2) aufgelistet. Zusätzlich sind die Photostrome bei einer halben Beleuchtungsstärke in der Tabelle (3) aufgeführt. Für die Auswertung werden allerdings diese und die folgenden Spannungen der Messungen mit (-1) multipliziert, damit für die Berechnung der Planck-Konstante das richtige Vorzeichen herauskommt. Jedoch wird durch das wechselnde Vorzeichen der Spannungen die weitere Auswertung qualitativ nicht benachteiligt. Diese Umrechnung wäre durch Umschalten des Schaltbilds nicht nötig gewesen.

Mithilfe der beiden Messreihen werden zwei Strom-Spannungs Kennlinien in der Abbildung (3) graphisch dargestellt. Der Verlauf dieser beiden Messreihen entspricht den Erwartungen. Bei einer höheren Beschleunigungsspannung nähert sich der Photostrom asymptotisch dem Maximum an. Wenn die Spannung sich der Grenzspannung annähert, nimmt der Photostrom quadratisch ab. Dieser Verlauf wird in der Abbildung (5) genauer dargestellt. Außerdem ist anhand der Abbildung (3) zu erkennen, dass der Photostrom sich mit einem kleinen Spalt bzw. mit einer kleineren Beleuchtungsstärke, ebenfalls verkleinert.

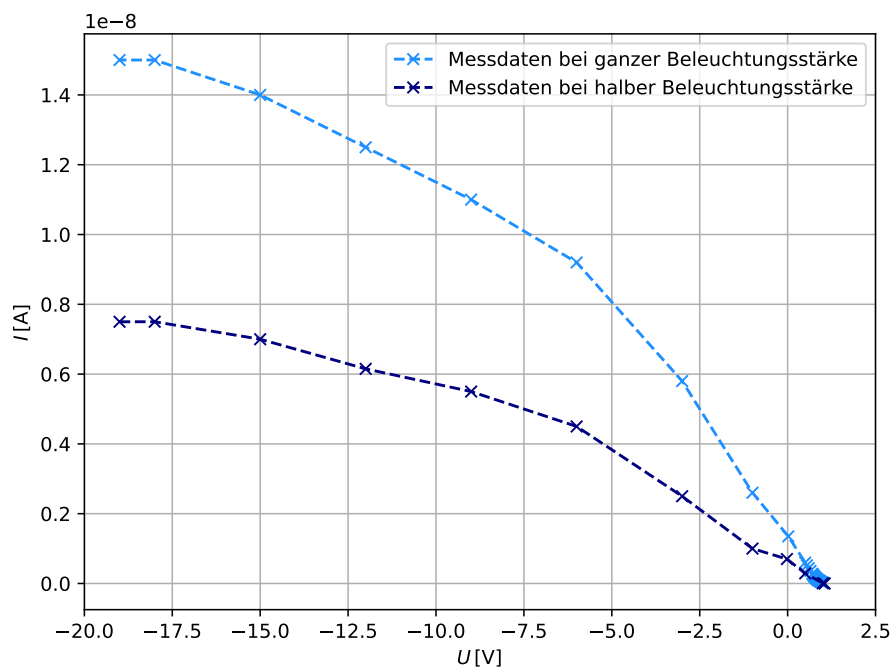


Abbildung 3: Strom-Spannungs Kennlinien der blauen Linien bei zwei verschiedenen Beleuchtungsstärken.

Tabelle 2: Gemessene Photoströme in Abhängigkeit der Spannung bei ganzer Beleuchtungsstärke.

U [V]	I [nA]	U [V]	I [nA]	U [V]	I [nA]
-1,05	0	-0,80	0,160	-0,02	1,350
-1,00	0,030	-0,78	0,175	1,00	2,600
-0,96	0,038	-0,76	0,200	3,00	5,800
-0,94	0,052	-0,74	0,230	6,00	9,200
-0,92	0,062	-0,72	0,255	9,00	11,00
-0,90	0,078	-0,70	0,280	12,00	12,50
-0,88	0,090	-0,65	0,360	15,00	14,00
-0,86	0,105	-0,60	0,440	18,00	15,00
-0,84	0,115	-0,55	0,520	19,00	15,00
-0,82	0,140	-0,50	0,600		

Tabelle 3: Gemessene Photoströme in Abhängigkeit der Spannung bei halber Beleuchtungsstärke.

U [V]	I [nA]	U [V]	I [nA]
19,00	7,50	3,00	2,50
18,00	7,50	1,00	1,00
15,00	7,00	0,02	0,70
12,00	6,15	-0,50	0,29
9,00	5,50	-1,00	0,07
6,00	4,50	-1,05	0

4.2 Grenzspannungen für verschiedene Wellenlängen

In den Abbildungen (4), (5), (6) und (7) sind die Messdaten des linearen Verlaufs des Photostroms für verschiedene Wellenlängen dargestellt. Hierfür ist \sqrt{I} gegen U aufgetragen und es wird jeweils eine Ausgleichsgerade eingezeichnet. Mithilfe dieser Abbildungen lassen sich die verschiedenen Grenzspannungen in Abhängigkeit der Wellenlänge bestimmen. Die zugehörigen Messdaten sind in den Tabellen (4), (2), (5) und (6) aufgelistet. Die Ausgleichsgeraden entsprechen der Form

$$\sqrt{I} = m \cdot U + b.$$

Daraus ergibt sich für die Grenzspannung

$$U_G = \frac{-b}{m}.$$

Demnach ergeben sich die folgenden Grenzspannungen

$$U_{G, \text{ violett}} = (1,21 \pm 0,15) \text{ V}$$

$$U_{G, \text{ blau}} = (1,09 \pm 0,10) \text{ V}$$

$$U_{G, \text{ grün}} = (0,62 \pm 0,07) \text{ V}$$

$$U_{G, \text{ orange}} = (0,54 \pm 0,04) \text{ V}.$$

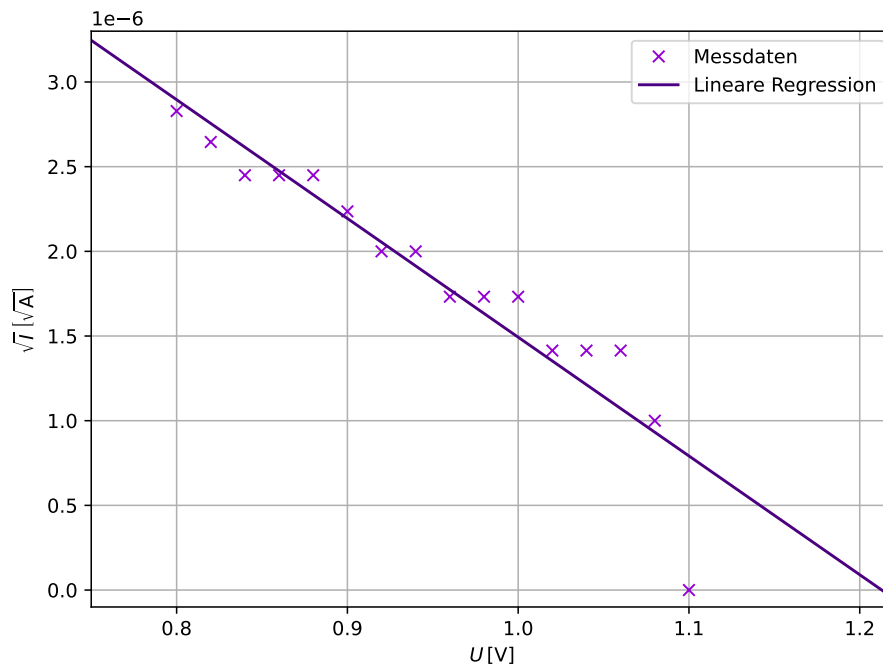


Abbildung 4: Graphische Darstellung der Messreihe und Ausgleichsgerade für die violette Linie.

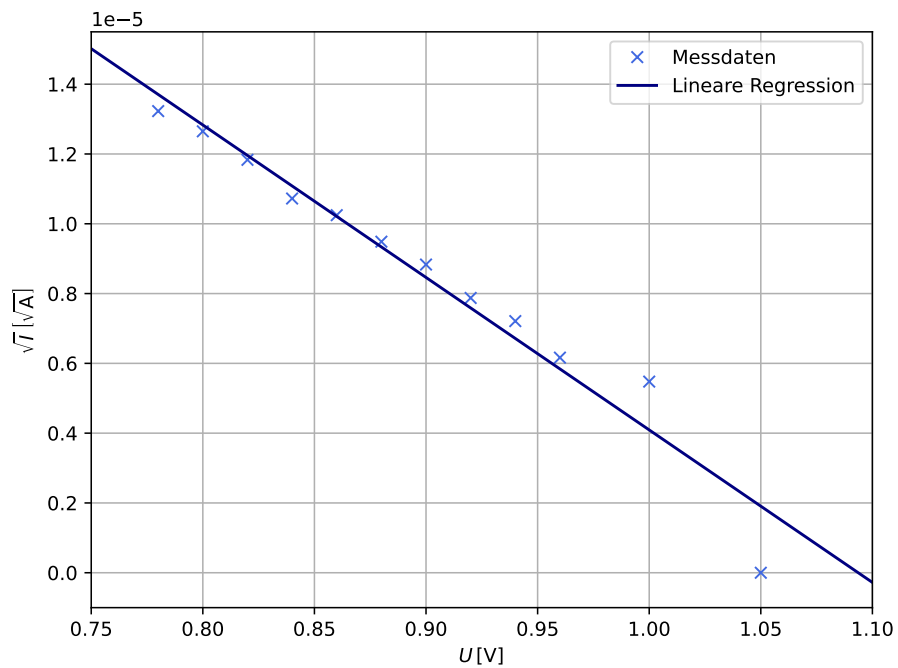


Abbildung 5: Graphische Darstellung der Messreihe und Ausgleichsgerade für die blaue Linie.

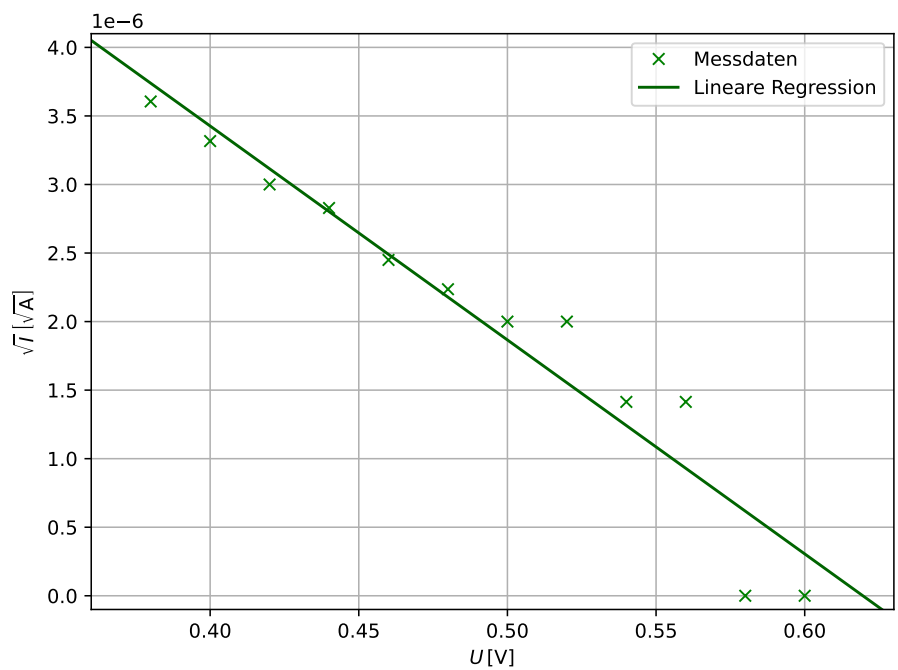


Abbildung 6: Graphische Darstellung der Messreihe und Ausgleichsgerade für die grüne Linie.

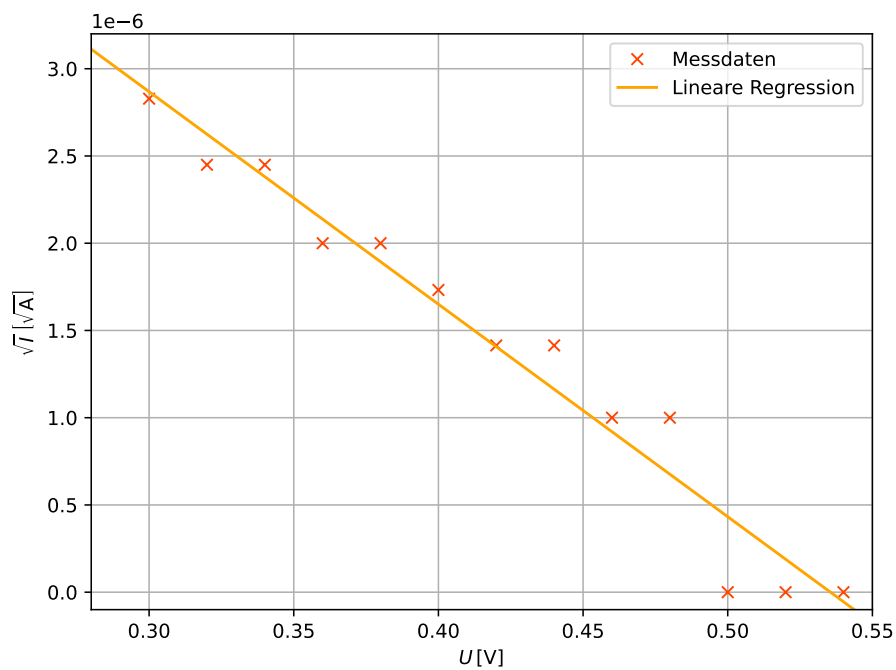


Abbildung 7: Graphische Darstellung der Messreihe und Ausgleichsgerade für die orangene Linie.

Tabelle 4: Gemessene Photoströme in Abhängigkeit der Spannung für die violette Linie.

U [V]	I [pA]	U [V]	I [pA]
-1.10	0	-0.94	4
-1.08	1	-0.92	4
-1.06	2	-0.90	5
-1.04	2	-0.88	6
-1.02	2	-0.86	6
-1.00	3	-0.84	6
-0.98	3	-0.82	7
-0.96	3	-0.80	8

Tabelle 5: Gemessene Photoströme in Abhängigkeit der Spannung für die grüne Linie.

$U[\text{V}]$	$I[\text{pA}]$	$U[\text{V}]$	$I[\text{pA}]$
-0.6	0	-0.48	5
-0.58	0	-0.46	6
-0.56	2	-0.44	8
-0.54	2	-0.42	9
-0.52	4	-0.40	11
-0.50	4	-0.38	13

Tabelle 6: Gemessene Photoströme in Abhängigkeit der Spannung für die orangene Linie.

$U[\text{V}]$	$I[\text{pA}]$	$U[\text{V}]$	$I[\text{pA}]$
-0.54	0	-0.40	3
-0.52	0	-0.38	4
-0.50	0	-0.36	4
-0.48	1	-0.34	6
-0.46	1	-0.32	6
-0.44	2	-0.30	8
-0.42	2		

4.3 Planck-Konstante und Austrittsarbeit des Kathodenmaterials

Um die Planck-Konstante und die Austrittsarbeit zu bestimmen, werden die Grenzspannungen benötigt. Zunächst werden die Grenzspannungen betrachtet, welche anhand der jeweiligen Tabellen abgelesen werden. Diese werden anschließend gegen die Frequenz f aufgetragen und eine Ausgleichsgerade wird eingezeichnet. Die zugehörigen Frequenzen sind in der Tabelle (1) aufgeführt. Die Ausgleichsgerade ergibt sich aus den Gleichungen (??) und (??), weswegen die Steigung der Planck-Konstante in eV s und der Betrag vom y -Achsen Abschnitt der Austrittsarbeit ϕ_A in eV entspricht. Daraus folgt

$$h_{\text{exp},1} = (2,95 \pm 0,25) \text{ eV s}$$
$$\phi_{A,\text{exp},1} = (1,03 \pm 0,16) \text{ eV} .$$

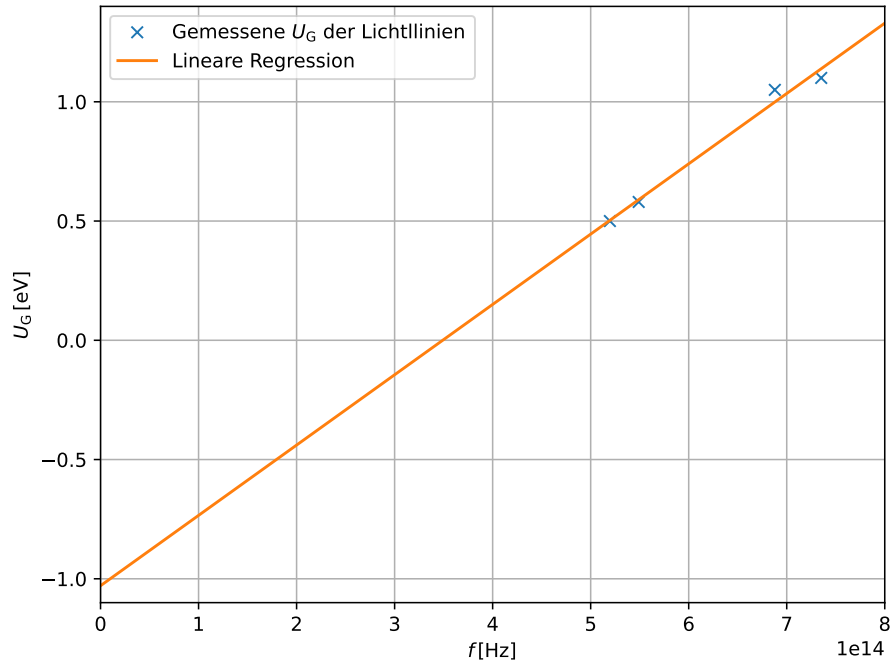


Abbildung 8: Gemessene Grenzspannungen in Abhängigkeit der Frequenz mit einer Ausgleichsgerade.

Bei der zweiten Methode wird die Planck-Konstante sowie die Austrittsarbeit mithilfe der berechneten Grenzspannungen aus den Ausgleichsgeraden in (4.2) berechnet. Damit werden wie bei der ersten Methode die Grenzspannungen gegen die Frequenz aufgetragen und eine Ausgleichsgerade durchgezogen. Durch die Ausgleichsgerade ergeben sich die Werte

$$h_{\text{exp},2} = (3,219 \pm 0,098) \text{ eV s}$$

$$\phi_{\text{A,exp},2} = (1,14 \pm 0,06) \text{ eV}.$$

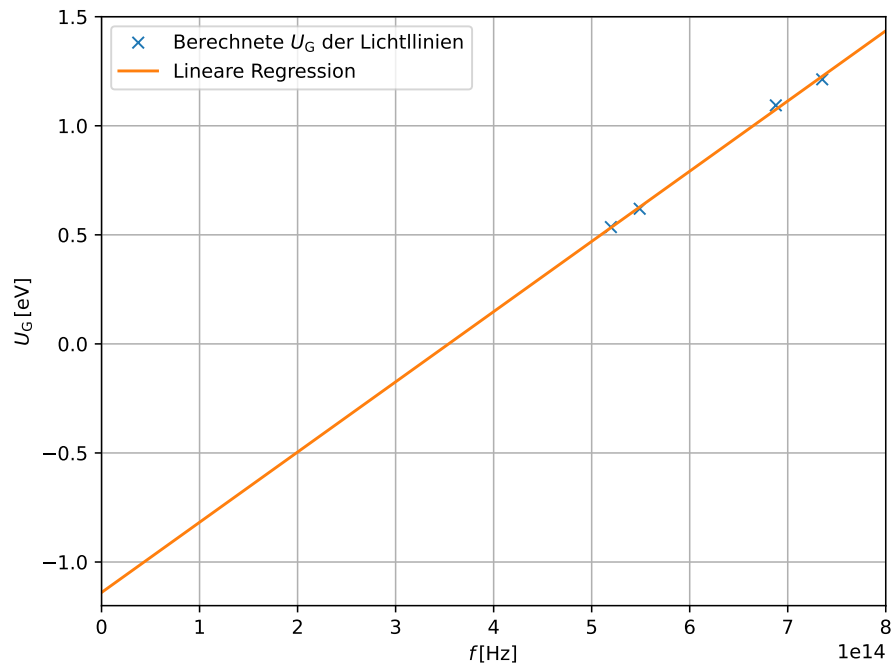


Abbildung 9: Berechnete Grenzspannungen in Abhängigkeit der Frequenz mit einer Ausgleichsgerade.

5 Diskussion

Literatur

[1] Unknown. *Das Photoeffekt*. TU Dortmund, Fakultät Physik. 2024.

Anhang

Originaldaten