

Physikalisches Anfängerpraktikum

Sommersemester 2023

Versuch 35

Tutor: Birte Beier

Fotoeffekt

1 Einleitung

1.1 Ziel des Versuchs

In diesem Experiment wird die Gegenfeldmethode benutzt, um über die Sperrspannung für fünf starke Linien des Hg-Spektrums zwischen gelb und nahem Ultravioletten die maximale kinetische Energie als Funktion der Lichtfrequenz zu bestimmen, die durch den Photoeffekt freigesetzten Elektronen besitzen. Außerdem soll das Plancksche Wirkungsquantum und die Auftrittsarbeit berechnet werden, indem die Sperrspannungen für verschiedene Frequenzen anhand der Messdaten graphisch bestimmt und die lineare Beziehung berücksichtigt werden.



Abbildung 1: Aufbau des Versuchs Fotoeffekt

1.2 Physikalische Grundlagen

1.2.1 Drude-Theorie

Im Drude-Modell wird ein elektrischer Leiter als Ionenkristall betrachtet. Dieser Ionenkristall setzt sich aus den einzelnen Metallatomen in Ionen mit positiver Ladung, die eine bestimmte Anzahl ihrer Valenzelektronen abgeben und so ein stabiles Gitter bilden, und den freien Elektronen, die eine Elektronenwolke aus delokalisierten Elektronen bilden und verantwortlich für die Stromleitung sind, zusammen.

1.2.2 Photoeffekt

In Abhängigkeit von der Temperatur zeigen die Elektronen eine charakteristische Energieverteilung, die so genannte Fermi-Verteilung. Bei einer Temperatur von 0 K sind die Energien der Elektronen gleichmäßig zwischen 0 und der Fermi-Energie E_F verteilt und es gibt keine Elektronen mit höheren Energien als E_F . Wenn die Temperatur des Metalls steigt, wird diese Grenze weniger streng (vgl. Abbildung 3 a)).

Die Leitungselektronen sind im Metall gebunden und bevölkern dort kontinuierlich alle Energiezustände von Null bis zur Fermienergie. Laut Drude-Theorie können sich die Elektronen im Metall frei bewegen, aber das Metall nicht verlassen. Allerdings können Elektronen aus einer Halbleiter- oder Metalloberfläche durch Bestrahlung eines Lichts mit der bestimmten Mindestfrequenz, die vom Metall abhängt (für die meisten Metalle wird UV-Licht benötigt), herausgelöst werden. Die zusätzliche Energie, die benötigt wird, um Elektronen von der Fermi-Energie E_F aus dem Potentialtopf in den Außenraum zu bringen, wird als Austrittsarbeit A bezeichnet.

Ein Elektron im Metall wird von einem Photon mit der Energie $h\nu$ getroffen und so stark angeregt wird, dass es sich aus dem Metall herauslöst. Diese Energie wird auf das Elektronen übertragen, addiert mit dem Energiezustand des Elektrons E_e ist dementsprechend nach der Energieerhaltung die gesamte Energie des Elektrons unter dem erregten Zustand:

$$h\nu + E_e = E_F + A + E_{kin}. \quad (1)$$

Hierbei ist h das Plancksche Wirkungsquantum und ν die Frequenz des Photons. Anschaulich ist diese Gleichung in Abbildung 3 b) im Potenzialtopfmodell dargestellt.

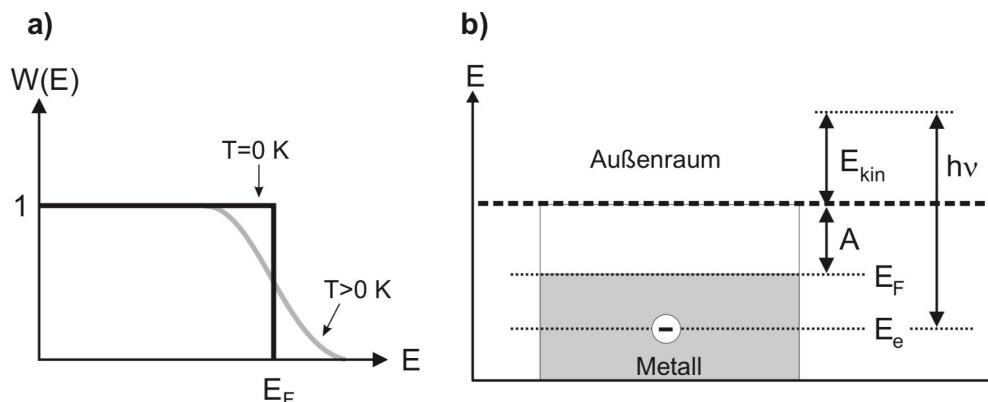


Abbildung 3: a) Qualitative Darstellung der Wahrscheinlichkeitsverteilung der Energie von Elektronen in einem Metall. b) Potenzialtopfmodell

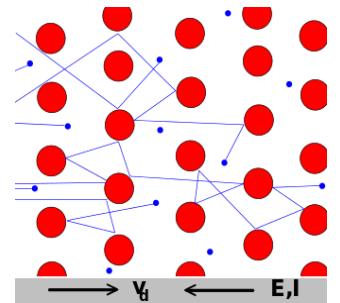


Abbildung 2: Ionenkristall

Von besonderem Interesse ist der Fall $E_e = E_F$, da die kinetische Energie dann maximal wird. Es gilt dann nach Gleichung 1

$$E_{kin,max} = h\nu - A. \quad (2)$$

Zwischen der Frequenz und der maximalen kinetischen Energie besteht also ein linearer Zusammenhang mit dem Planckschen Wirkungsquantum als Proportionalitätsfaktor.

1.2.3 Gegenfeldmethode

Die Gegenfeldmethode wird benutzt, um die maximale kinetische Energie der herausgelösten Elektronen zu bestimmen. Dafür benötigt man eine Photozelle. Eine Photozelle besteht aus einem Glaskolben, welcher unter Vakuum steht, sowie einer Photokathode und einem Anodenring (vgl. Abbildung 4)

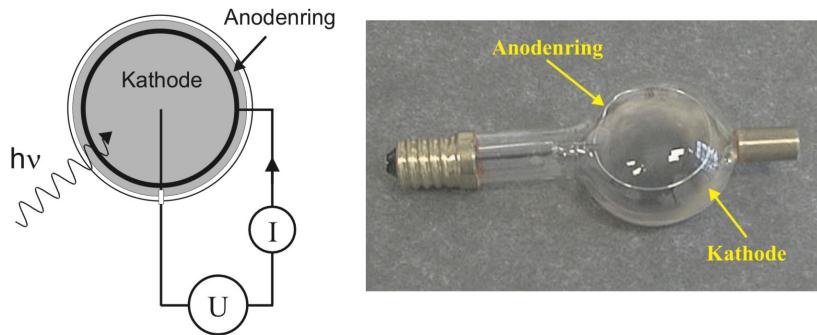


Abbildung 4: Aufbau einer Photozelle

Die Photokathode ist ein Metall, welches eine geringe Austrittsarbeit vorweist, sodass der Photoeffekt besonders leicht entstehen kann. Man kann außerdem eine Spannung zwischen der Photokathode und dem Anodenring legen. Eine positive Spannung kann dazu beitragen, dass alle aus der Kathode ausgelösten Photoelektronen die Anode erreichen, während eine negative angelegte Spannung die losgelösten Elektronen durch das entstehende Gegenfeld behindert, sodass nur noch Elektronen mit höherer kinetischer Energie und damit größerem E_e die Anode erreichen können.

Bei der Sperrspannung U_s können gerade selbst alle Elektronen nicht mehr den Anodenring erreichen, und der Photostrom verschwindet. Wenn man nun die elektrische Arbeit mit der maximalen kinetischen Energie gleichsetzt, erhält man folgende Relation:

$$e U_s = E_{kin,max} = h\nu - A \propto \sqrt{I} \quad (3)$$

e ist hier die Elementarladung, welche der Ladung eines Elektrons entspricht.

Bei $T = 0K$ verschwindet der Fotostrom bei $U = U_s$. In der Realität nähert sich der Strom jedoch asymptotisch dem Wert Null an, da bei $T > 0K$ Leitungselektronen oberhalb der Fermikante existieren, deren Anzahl exponentiell mit ihrem Abstand zur Fermikante abnimmt. Um die Sperrspannung zu bestimmen werden wir dann nur das lineare Teil ins Betracht ziehen, damit die Abweichung vermieden wird.

1.3 Messverfahren

Für verschiedene bekannte Frequenzen, die Spektrallinien von Quecksilber, wird die Sperrspannung bestimmt. Dafür wird der Photostrom für verschiedene Spannungen bestimmt, die man mithilfe von einem Netzteil einstellen kann. Der Photostrom ist allerdings sehr klein, weshalb man einen Strom-Spannungswandler benutzt, um stattdessen die Spannung, die nach dem ohmschen Gesetz linear zum Strom ist, mit einem Multimeter zu messen.

2 Versuchsdurchführung

2.1 Versuchsaufbau, Versuchsdurchführung und Messprotokoll

Siehe folgende Seiten.

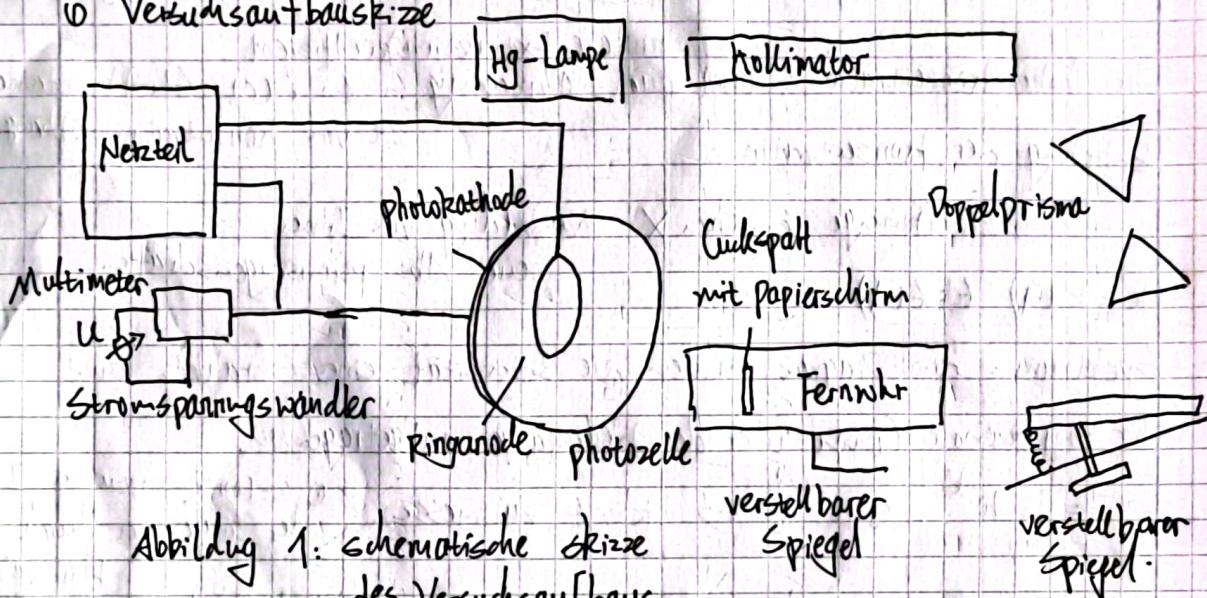
Versuch 35 —— Fotoeffekt

Yuting Shi
Yulai Shi

Messaufbau:

- Spektrometeraufbau mit z Prismen und eingebauter Vakuumfotzelle
- Hg-Spektral-Lampe mit Netzteil (Ablesefehler: $\Delta U_0 = 0,01 \text{ V}$)
- Pico-Ampermeter mit externem Netzteil
- Multimeter

① Versuchsaufbauskizze



②

Wir haben das Hg-Lampe eingeschaltet. Dann schwenken wir den Spiegel im Fotozellenraster mit dem Hebel so, dass auf dem Schirm oben auf Raster ein Spektrum auftaucht.

Durch Drehen an der großen Rändelschraube haben wir den Spektrometer verstellt, die Linien über die Marke geschoben.

Wir messen die Strom-Spannungs-Kennlinien für die mit Linien bei den Wellenlängen: 578 nm (gelb), 546,1 nm (grün), 435,8 nm (blau), 405 nm (violett), 365 nm (UV). Für den Fotostrom Messung benutzen wir einen Multimeter im Bereich $0\text{--}1\text{--}10\text{--}\infty$

Jetzt justieren wir wieder den Spiegel, bis die UV-Linie innerhalb der mittleren Markierung des Schirms liegt.

Tabelle 1: Photostromspannung mit Fehler in Abhängigkeit der Legierungsspannung UV-Licht, $\lambda = 324,3 \text{ THz}$

$U_0 \text{ [V]}$	0	-0,1	-0,2	-0,3	-0,4	-0,5	-0,6	-0,7	-0,8	-0,9	-1,0	-1,1	-1,2	-1,3
$U_1 \text{ [V]}$	3,020	2,733	2,459	2,273	1,946	1,714	1,495	1,268	1,061	0,873	0,717	0,557	0,430	0,314
$\Delta U_1 \text{ [V]}$	0,006	0,007	0,005	0,006	0,004	0,004	0,005	0,005	0,007	0,008	0,004	0,003	0,003	0,003

Tabelle 2: Photostromspannung mit Fehler in Abhängigkeit der Legierungsspannung. Violettes Licht, $\lambda = 740,2 \text{ THz}$

$U_0 \text{ [V]}$	0,3	0,2	0,1	0	-0,1	-0,2	-0,3	-0,4	-0,5	-0,6	-0,7	-0,8	-0,9
$U_1 \text{ [V]}$	4,114	3,778	3,436	3,086	2,746	2,417	2,119	1,824	1,557	1,317	1,070	0,868	0,673
$\Delta U_1 \text{ [V]}$	0,007	0,006	0,006	0,004	1,003	0,004	0,004	0,003	0,004	0,003	0,004	0,004	0,004

Wir nehmen die Kennlinie ab 0V im Schrift von 0,1V hin zu negativen Vorspannungen auf und beenden die Messreihe wenn U_1 einen Wert im Bereich von 20m50mV erreicht.

$U_0 \text{ [V]}$	-1,0	-1,1	-1,2	-1,3	-1,4	-1,5
$U_1 \text{ [V]}$	0,493	0,355	0,224	0,124	0,061	0,015
$\Delta U_1 \text{ [V]}$	0,003	0,004	0,003	0,003	0,002	0,002

Tabelle 3: photostromspannung mit Fehler in Abhängigkeit der Gegenspannung, blaues Licht, $\lambda = 637,9 \text{ nm}$

$U_0 [\text{V}]$	0,3	0,2	0,1	0	-0,1	-0,2	-0,3	-0,4	-0,5	-0,6	-0,7	-0,8	-0,9	-1,0	-1,1	-1,2	-1,3	-1,4
$U_2 [\text{V}]$	5,452	4,989	4,487	4,014	3,533	3,064	2,643	2,248	1,874	1,528	1,217	0,915	0,652	0,421	0,232	0,113	0,028	
$\Delta U_2 [\text{V}]$	0,007	0,006	0,006	0,005	0,007	-0,006	0,005	0,005	0,005	0,006	0,005	0,004	0,004	0,003	0,002	0,002	0,003	

Tabelle 4: Photostromspannung mit Fehler in Abhängigkeit der Gegenspannung, grünes Licht, $\lambda = 549,0 \text{ nm}$

$U_0 [\text{V}]$	0,3	0,2	0,1	0	-0,1	-0,2	-0,3	-0,4	-0,5	-0,6	-0,7	-0,8	-0,9	-	-	-	-	-
$U_2 [\text{V}]$	4,369	3,789	3,229	2,683	2,146	1,678	1,212	0,840	0,595	0,274	0,088	0,018						
$\Delta U_2 [\text{V}]$	0,006	0,006	0,005	0,004	0,003	0,004	0,003	0,003	0,003	0,003	0,002	0,002						

Tabelle 5: Photostromspannung mit Fehler in Abhängigkeit der Gegenspannung, gelbes Licht, $\lambda = 587,7 \text{ nm}$

$U_0 [\text{V}]$	0,3	0,2	0,1	0	-0,1	-0,2	-0,3	-0,4	-0,5	-0,6	-0,7	-0,8	-0,9	-	-	-	-	-
$U_2 [\text{V}]$	2,296	1,873	1,524	1,127	0,805	0,517	0,291	0,144	0,052	0,020								
$\Delta U_2 [\text{V}]$	0,007	0,006	0,006	0,005	0,004	0,004	0,004	0,004	0,003	0,003	0,002							

Anschließend haben wir den Untergrundstrom U_{I_0} bei einer hohen Sperrspannung (-4V). Die Ströme sollen dann auf den Untergrundstrom U_{I_0} korrigiert und aus den so erhaltenen Werten die Wurzel gezogen. Dies werden wir in Auswertung darstellen.

Tabelle 6: Dunkelmessung bei -4V Gegenspannung:

Farbe	UV	violett	blau	grün	gelb
U_{I_0} [V]	-0.016	-0.014	-0.023	-0.009	-0.004
ΔU_{I_0} [V]	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006

$$\Delta U_0 = 0.01 \text{ V}$$

BB

3 Auswertung

Die Auswertung der Messdaten erfolgt in zwei Schritten: Als erstes werden die Sperrspannungen für die jeweiligen Spektrallinien ausgerechnet. Dann werden mithilfe dieser Sperrspannungen und der Gleichung 3 das Plancksche Wirkungsquantum berechnet.

3.1 Bestimmung der Sperrspannungen

Die Sperrspannung U_s kann bestimmt werden, in dem man die Relation zwischen dem Photostrom I und der Gegenspannung U_0 betrachtet. Zunächst bemerkt man, dass aufgrund der Geometrie der Photozelle der Photostrom und die quadrierte Gegenspannung unter idealen Umständen linear zusammenhängen. In der Realität wird diese Linearität jedoch nicht beobachtbar sein, da dieser ideale Zustand nur beim absoluten Nullpunkt zustande kommt. Aber man kann dennoch aus den experimentellen Messwerten die lineare Relation extrapoliieren.

Es ist also nötig, die Messwerte in ein U_0 - \sqrt{I} -Diagramm einzutragen, um dann mithilfe einer Ausgleichsgeraden den Schnittpunkt mit der U_0 -Achse zu bestimmen. Da im Versuch allerdings aus praktischen Gründen nicht der Photostrom I , sondern eine dazu proportionale Spannung U_I gemessen wurde, wird auf der y-Achse stattdessen $\sqrt{U_I}$ aufgetragen. Dies ist allerdings auch nicht akkurat, weil bei einer sehr hohen Gegenspannung immer noch eine gewisse Dunkelspannung U_{I0} gemessen werden kann, die durch die thermische Energie der Elektronen bedingt ist. Erst wenn man die Dunkelspannung von U_I abzieht erhält eine zu I proportionale Größe. Die Werte müssen also in ein U_0 - $\sqrt{U_I - U_{I0}}$ -Diagramm eingetragen werden.

Gleichzeitig müssen auch die Fehler der Messwerte betrachtet werden. Der Fehler der Gegenspannung ist vom Aufbau bekannt und beträgt $\Delta U_0 = 0,01V$ (vgl. Abschnitt 2.1). Um aber den Fehler von $\sqrt{U_I - U_{I0}}$ zu berechnen, muss das Prinzip der Fehlerfortpflanzung beachtet werden. Aus diesem folgt, dass sich der Fehler mit

$$\begin{aligned}\Delta \sqrt{U_I - U_{I0}} &= \sqrt{\left(\frac{\partial \sqrt{U_I - U_{I0}}}{\partial U_I} \Delta U_I\right)^2 + \left(\frac{\partial \sqrt{U_I - U_{I0}}}{\partial U_{I0}} \Delta U_{I0}\right)^2} \\ &= \sqrt{\left(\frac{\Delta U_I}{2\sqrt{U_I - U_{I0}}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta U_{I0}}{2\sqrt{U_I - U_{I0}}}\right)^2}\end{aligned}\tag{4}$$

berechnen lässt.

Die Fehler von U_I und U_{I0} , also jeweils ΔU_I und ΔU_{I0} , lassen sich einfach vom Handbuch des Multimeters ablesen, welches in Abbildung 3 gezeigt ist. Die Fehler hierfür sind in den Tabellen 1-6 angegeben. Diese kann man nun in Gleichung 4 einsetzen,

um $\Delta\sqrt{U_I - U_{I0}}$ zu berechnen. Die Ergebnisse sind in Tabellen 7 - 11 dargestellt:

U_0 [V]	U_I [V]	$U_I - U_{I0}$ [V]	$\sqrt{U_I - U_{I0}}$ [\sqrt{V}]	$\Delta\sqrt{U_I - U_{I0}}$ [\sqrt{V}]
0	3,02	3,036	1,7424	0,002
-0,1	2,733	2,749	1,6580	0,0021
-0,2	2,459	2,475	1,5732	0,0022
-0,3	2,213	2,229	1,4930	0,0024
-0,4	1,946	1,962	1,4007	0,0025
-0,5	1,714	1,730	1,3153	0,0023
-0,6	1,495	1,511	1,2292	0,0024
-0,7	1,268	1,284	1,1331	0,0027
-0,8	1,066	1,082	1,0402	0,0029
-0,9	0,883	0,899	0,948	0,003
-1,0	0,717	0,733	0,856	0,004
-1,1	0,557	0,573	0,757	0,003
-1,2	0,430	0,446	0,668	0,004
-1,3	0,314	0,330	0,5745	0,0008
-1,4	0,219	0,235	0,4848	0,0009
-1,5	0,149	0,165	0,4062	0,0010
-1,6	0,089	0,105	0,3240	0,0012
-1,7	0,041	0,057	0,2387	0,0015
-1,8	0,011	0,027	0,1643	0,0022

Tabelle 7: $\sqrt{U_I - U_{I0}}$ und Fehler zu den jeweiligen Gegenspannungen. UV-Licht, $\nu = 821,3 \text{ THz}$

U_0 [V]	U_I [V]	$U_I - U_{I0}$ [V]	$\sqrt{U_I - U_{I0}}$ [\sqrt{V}]	$\Delta \sqrt{U_I - U_{I0}}$ [\sqrt{V}]
0,3	4,114	4,128	2,032	0,012
0,2	3,778	3,792	1,9473	0,0021
0,1	3,436	3,45	1,8574	0,0022
0	3,086	3,1	1,7607	0,002
-0,1	2,746	2,76	1,6613	0,0021
-0,2	2,418	2,432	1,5595	0,0023
-0,3	2,119	2,133	1,4605	0,0024
-0,4	1,824	1,838	1,3557	0,0022
-0,5	1,558	1,572	1,2538	0,0024
-0,6	1,317	1,331	1,1537	0,0026
-0,7	1,07	1,084	1,0412	0,0029
-0,8	0,868	0,882	0,939	0,003
-0,9	0,673	0,687	0,829	0,004
-1	0,498	0,512	0,716	0,004
-1,1	0,355	0,369	0,6075	0,0008
-1,2	0,224	0,238	0,4879	0,0009
-1,3	0,124	0,138	0,3715	0,0011
-1,4	0,061	0,075	0,2739	0,0013
-1,5	0,015	0,029	0,1703	0,0021

Tabelle 8: $\sqrt{U_I - U_{I0}}$ und Fehler zu den jeweiligen Gegenspannungen. Violettes Licht, $\nu = 740,2\text{ THz}$

U_0 [V]	U_I [V]	$U_I - U_{I0}$ [V]	$\sqrt{U_I - U_{I0}}$ [\sqrt{V}]	$\Delta\sqrt{U_I - U_{I0}}$ [\sqrt{V}]
0,3	5,452	5,475	2,34	0,011
0,2	4,989	5,012	2,239	0,011
0,1	4,487	4,51	2,124	0,012
0	4,014	4,037	2,009	0,012
-0,1	3,533	3,556	1,8857	0,0021
-0,2	3,064	3,087	1,757	0,002
-0,3	2,643	2,666	1,6328	0,0021
-0,4	2,243	2,266	1,5053	0,0023
-0,5	1,874	1,897	1,3773	0,0022
-0,6	1,528	1,551	1,2454	0,0024
-0,7	1,217	1,24	1,1136	0,0027
-0,8	0,915	0,938	0,969	0,003
-0,9	0,652	0,675	0,822	0,004
-1	0,421	0,444	0,666	0,004
-1,1	0,232	0,255	0,505	0,0009
-1,2	0,113	0,136	0,3688	0,0011
-1,3	0,028	0,051	0,2258	0,0016

Tabelle 9: $\sqrt{U_I - U_{I0}}$ und Fehler zu den jeweiligen Gegenspannungen. Blaues Licht, $\nu = 687,9 \text{ THz}$

U_0 [V]	U_I [V]	$U_I - U_{I0}$ [V]	$\sqrt{U_I - U_{I0}}$ [\sqrt{V}]	$\Delta\sqrt{U_I - U_{I0}}$ [\sqrt{V}]
0,3	4,369	4,378	2,092	0,012
0,2	3,789	3,798	1,9488	0,0021
0,1	3,229	3,238	1,7994	0,0022
0	2,683	2,692	1,6407	0,0021
-0,1	2,146	2,155	1,468	0,0024
-0,2	1,678	1,687	1,2988	0,0023
-0,3	1,212	1,221	1,105	0,0027
-0,4	0,84	0,849	0,921	0,003
-0,5	0,505	0,514	0,717	0,004
-0,6	0,252	0,261	0,5109	0,0008
-0,7	0,088	0,097	0,3114	0,0013
-0,8	0,018	0,027	0,1643	0,0022

Tabelle 10: $\sqrt{U_I - U_{I0}}$ und Fehler zu den jeweiligen Gegenspannungen. Grünes Licht, $\nu = 549,0 \text{ THz}$

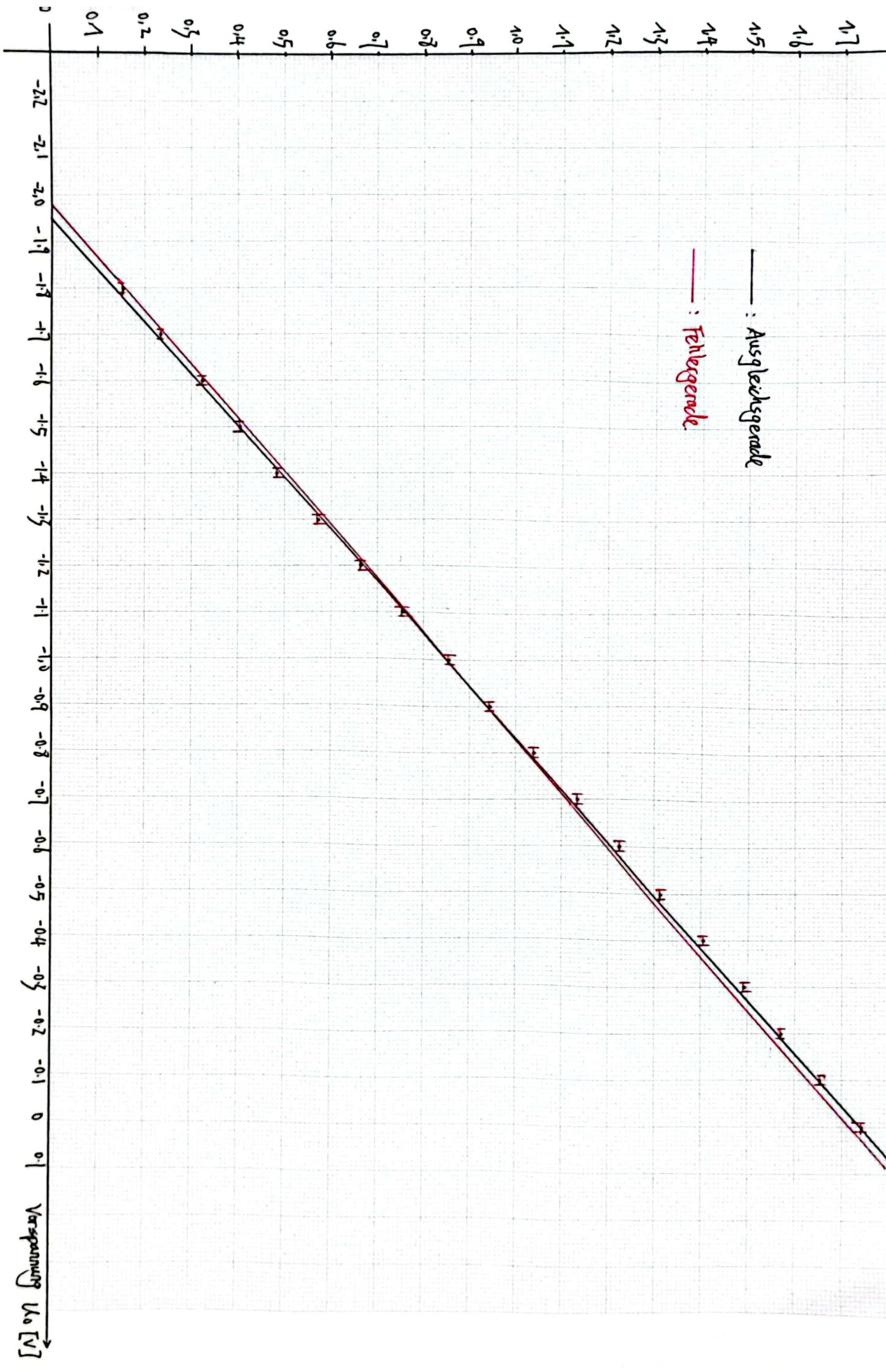
U_0 [V]	U_I [V]	$U_I - U_{I0}$ [V]	$\sqrt{U_I - U_{I0}}$ [\sqrt{V}]	$\Delta\sqrt{U_I - U_{I0}}$ [\sqrt{V}]
0,3	2,296	2,3	1,5166	0,0023
0,2	1,873	1,877	1,37	0,0022
0,1	1,524	1,528	1,2361	0,0024
0	1,127	1,131	1,0635	0,0028
-0,1	0,805	0,809	0,899	0,003
-0,2	0,517	0,521	0,722	0,003
-0,3	0,291	0,295	0,5431	0,0008
-0,4	0,144	0,148	0,3847	0,001
-0,5	0,052	0,056	0,2366	0,0015
-0,6	0,02	0,024	0,1549	0,0023

Tabelle 11: $\sqrt{U_I - U_{I0}}$ und Fehler zu den jeweiligen Gegenspannungen. Gelbes Licht, $\nu = 518,7 \text{ THz}$

Die Fehler bei den meisten dieser Werte ist nicht groß genug, um auf die Diagramme eingezeichnet zu werden. Sie werden dann weggelassen. Stattdessen wird zur Bestimmung der Fehlergeraden der Fehler von der Vorspannung ΔU_0 eingezeichnet.

Die Werte aus den obigen Tabellen werden nun in die vorher genannten Diagramme eingetragen, und dann die lineare Relation durch eine Ausgleichsgerade extrapoliert. Diese sind in Diagramm 1-5 gestellt.

Diagramm 1: $\sqrt{\lambda_2 - \lambda_1} - \lambda_0$ Diagramm für UV-Licht $\nu = 821,3 \text{ THz}$



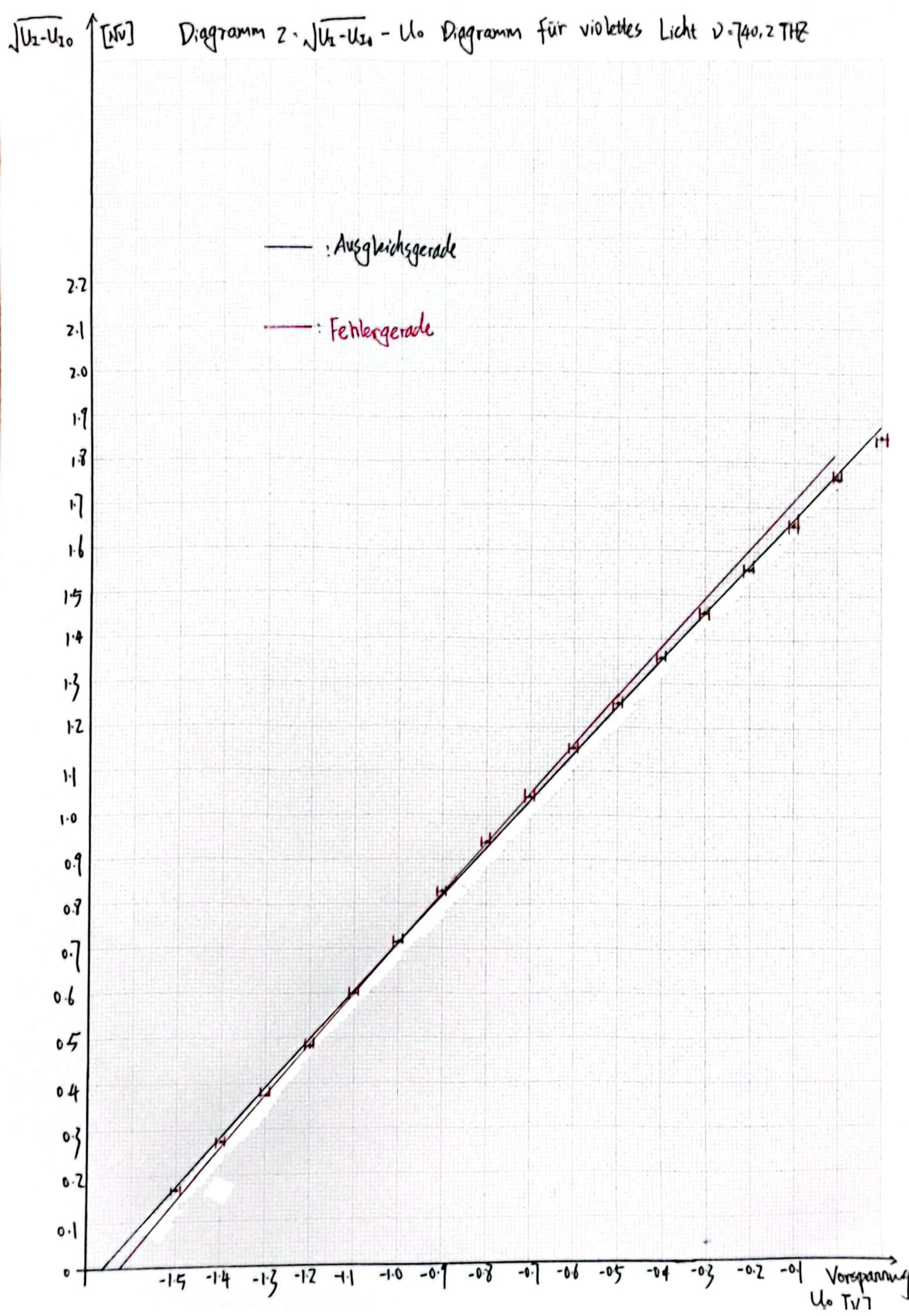
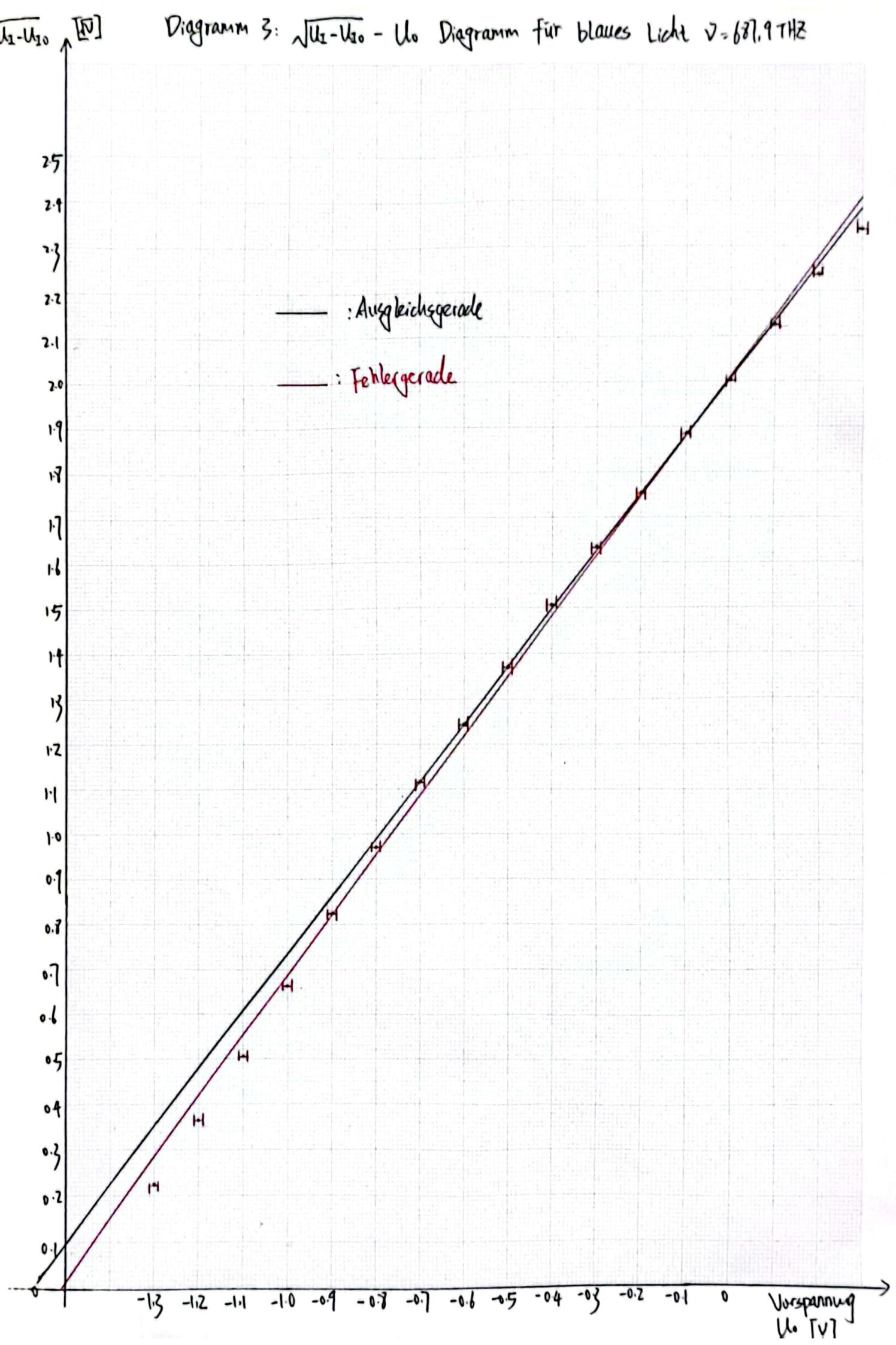
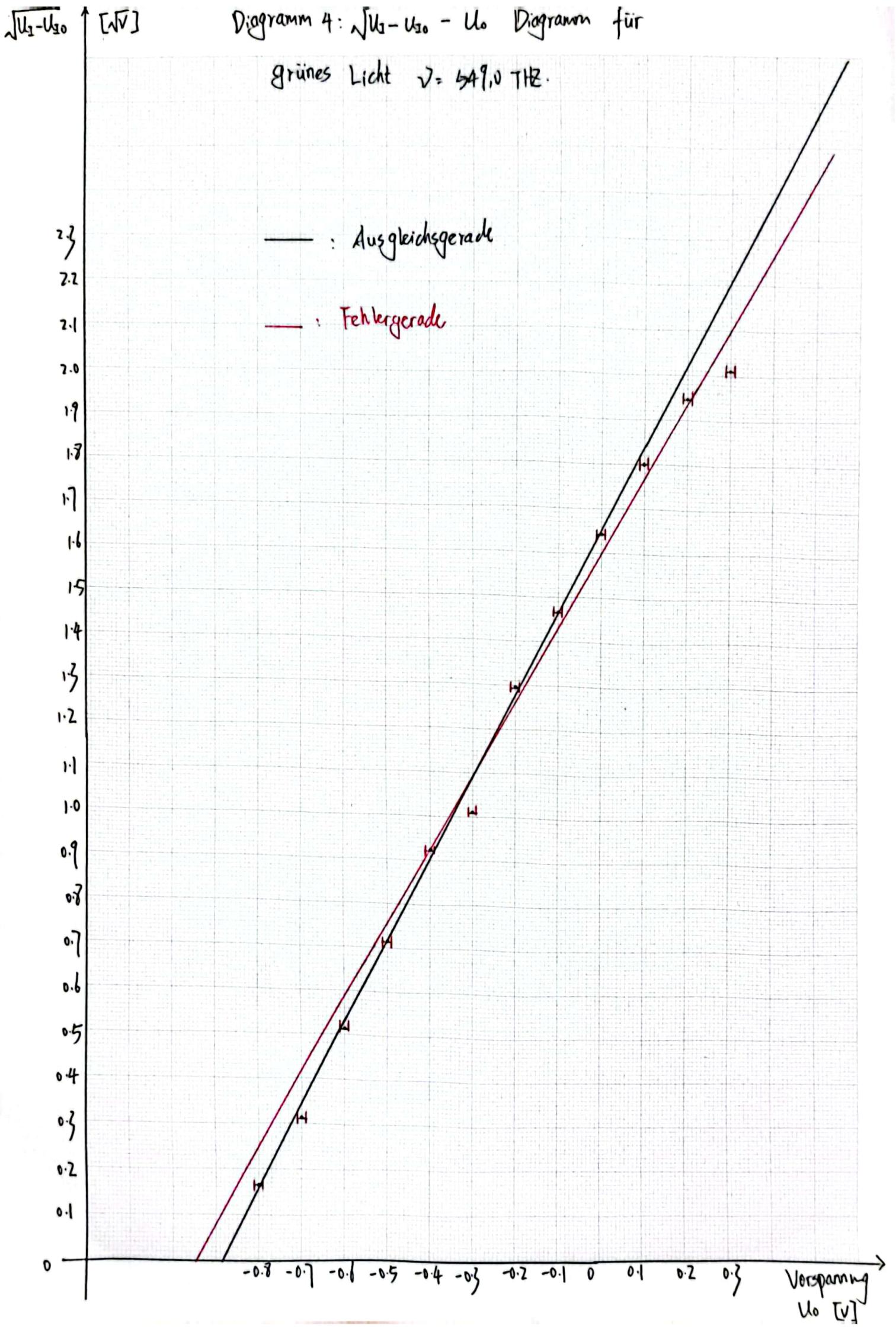


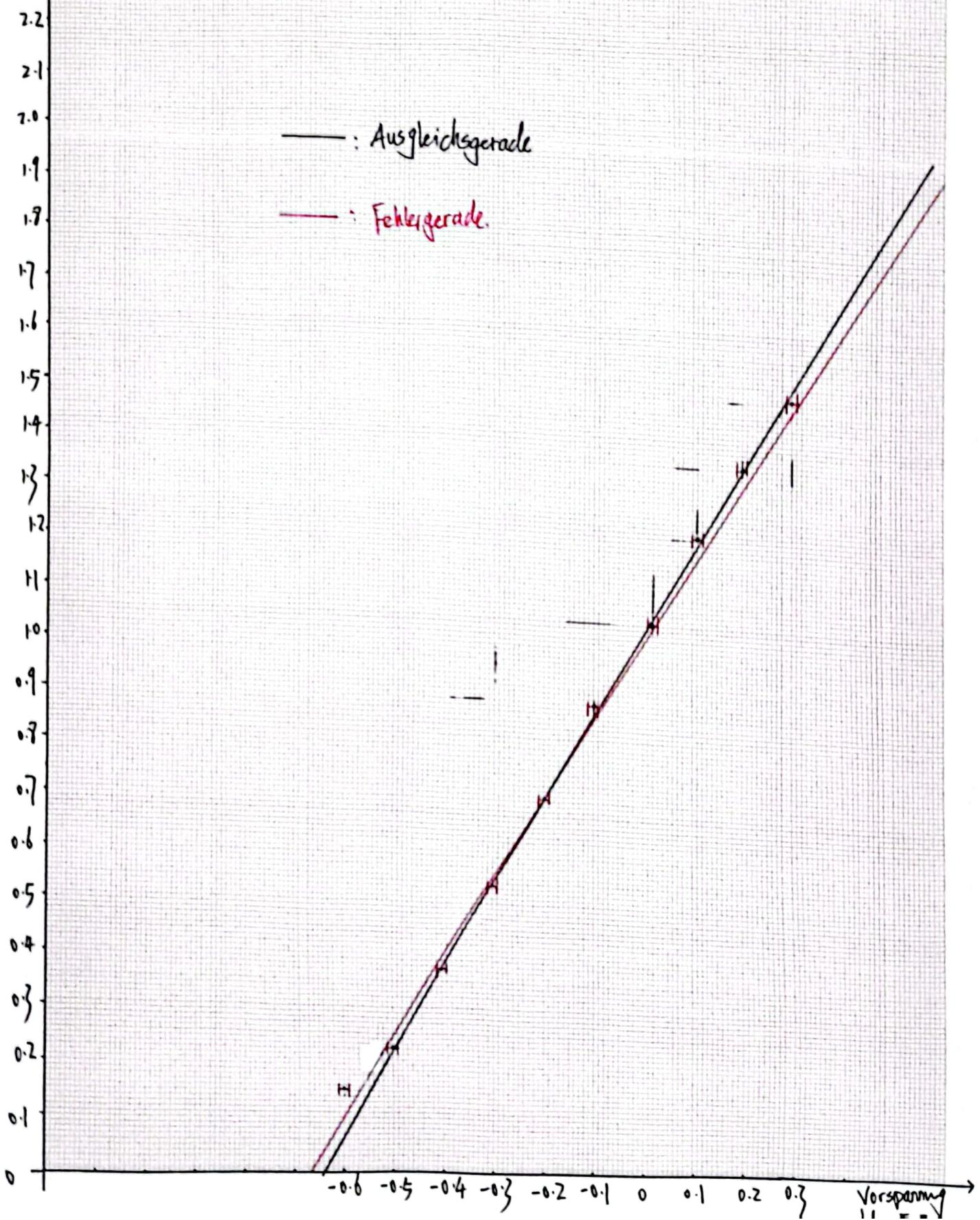
Diagramm 3: $\sqrt{U_2 - U_{20}} - U_0$ Diagramm für blaues Licht $\nu = 687,9 \text{ THz}$





$\sqrt{U_2 - U_{20}}$ [V]

Diagramm 5: $\sqrt{U_2 - U_{20}} - U_0$ Diagramm für gelbes Licht $\lambda = 518.7 \text{ THz}$.



Aus diesen Diagrammen lassen sich nun die Sperrspannungen und ihre Fehler bestimmen. Dabei ist der Schnittpunkt der Ausgleichsgerade mit der x-Achse U_s und $|U_s - U_{s,F}|$ entspricht ΔU_s , wobei $U_{s,F}$ der Schnittpunkt der Fehlergerade mit der x-Achse ist. Die Ergebnisse sind in Tabelle 12 eingetragen.

Tabelle 12: Sperrspannungen mit Fehler und ihren zugehörigen Frequenzen

Frequenz ν [THz]	U_s [V]	ΔU_s [V]
821,3	-1,95	0,03
740,2	-1,63	0,03
687,9	-1,58	0,06
549,0	-0,89	0,06
518,7	-0,64	0,02

3.2 Bestimmung des Planckschen Wirkungsquantums

Zunächst kann man erkennen, dass nach Gleichung 3 zwischen der Sperrspannung U_s und der Frequenz ν eine lineare Relation besteht, indem man die Gleichung zu

$$U_s = \frac{h}{e}\nu - \frac{A}{e} \quad (5)$$

umformt. So wird ersichtlich, dass der Proportionalitätsfaktor dieser Relation

$$a = \frac{h}{e} \quad (6)$$

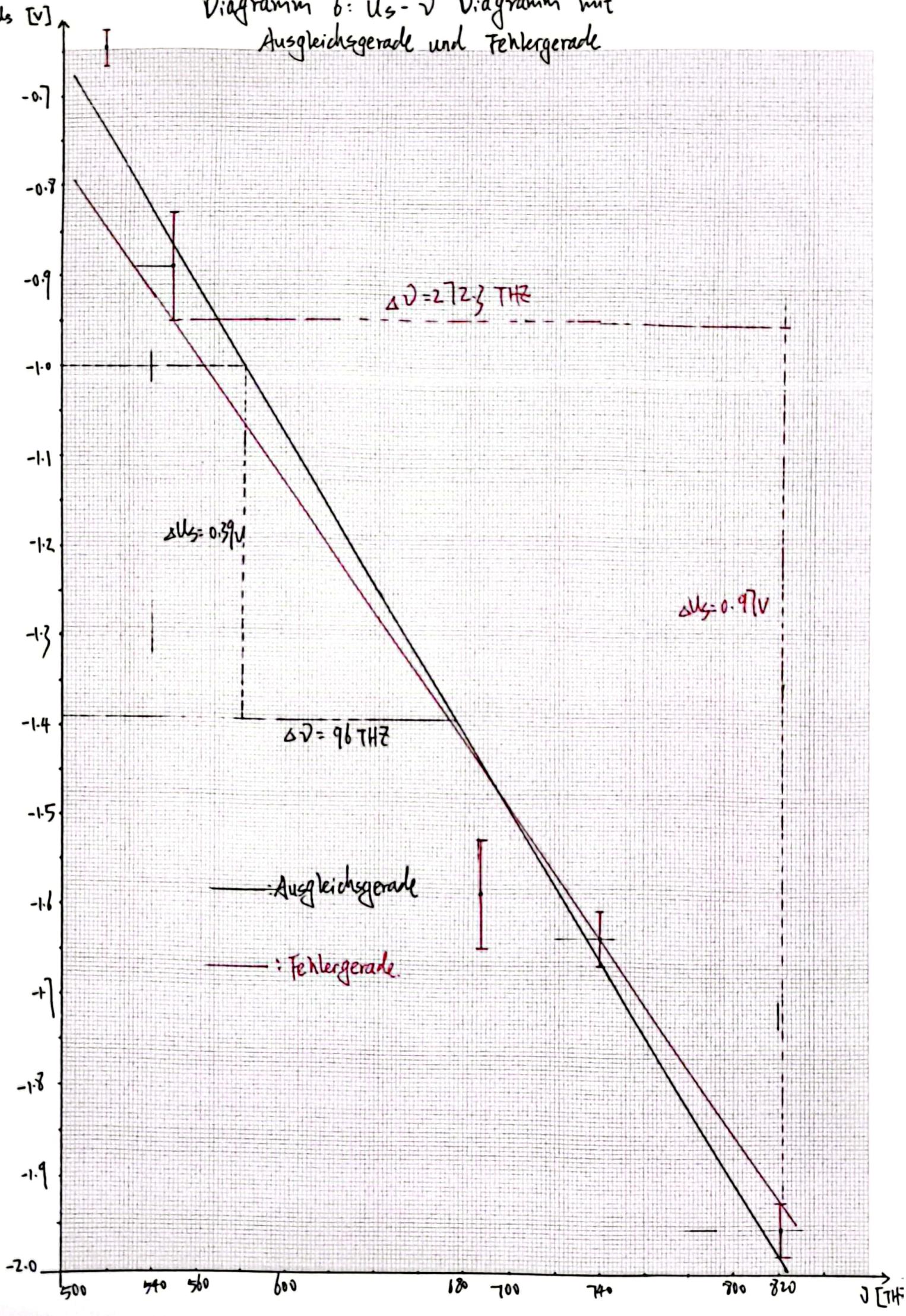
ist. Wenn man a bestimmt, kann mit dem Wert der Elementarladung dann nach dem Umstellen der Formel zu

$$h = a \cdot e \quad (7)$$

das Plancksche Wirkungsquantum berechnen.

Den Proportionalitätsfaktor a kann man bestimmen, indem man die Werte aus Tabelle 12 in ein ν - U_s -Diagramm eingträgt, um die Steigung zu bestimmen. Dies ist in dem Diagramm 6 dargestellt:

Diagramm b: $U_S - V$ Diagramm mit Ausgleichsgerade und Fehlergerade



Die Steigung der Ausgleichsgerade ist hier $a_A \approx -0,0041 \frac{V}{\text{THz}}$ und die Steigung der Fehlergerade $a_F \approx -0,0036 \frac{V}{\text{THz}}$. Damit ergibt sich für den Proportionalitätsfaktor $a = a_A \pm |a_A - a_F| \approx (-0,0041 \pm 0,0005) \frac{V}{\text{THz}}$.

Da die Elementarladung mit $e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ bekannt ist, lässt sich das Plancksche Wirkungsquantum mit Gleichung 7 und unter Beachtung der Fehlerfortpflanzung berechnen als:

$$h = a \cdot e = 0,0041 \text{ V/Thz} \cdot 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C} \approx 6,408 \cdot 10^{-34} \text{ Js} \quad (8)$$

$$\Delta h = e\Delta a = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C} \cdot 0,0005 \text{ V/Thz} \approx 0,001 \cdot 10^{-34} \text{ Js} \quad (9)$$

$$\Rightarrow h = (6,408 \pm 0,001) \cdot 10^{-34} \text{ Js} \quad (10)$$

Ein Vergleich mit dem Literaturwert $h_{Lit} = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$ zeigt, dass dieser innerhalb der Fehlergrenzen liegt. Die Abweichung ist also nicht signifikant:

$$\frac{|h - h_{Lit}|}{\Delta h} = \frac{0,218}{0,001} = 218 \quad (11)$$

Mit 218σ ist die Fehlerabweichung auf jeden Fall schon signifikant. Daher möchten wir noch zusätzlich die relative Abweichung berechnen:

$$\frac{|h - h_{Lit}|}{h_{Lit}} = \frac{0,218}{6,626} \approx 3,29\% \quad (12)$$

Unser Messwert weicht also tatsächlich nicht von dem Literaturwert ab. Wir sind daher ziemlich konservativ bei der Fehlerabschätzung.

4 Zusammenfassung und Diskussion

In diesem Experiment haben wir das Planck'sche Wirkungsquantum, symbolisiert als h , ermittelt, indem wir das Verhältnis zwischen den Sperrspannungen und den Lichtfrequenzen analysiert haben. Um diese Sperrspannungen zu erhalten, haben wir den Fotostrom bei verschiedenen Vorspannungen gemessen und den Schnittpunkt des linearen Abschnitts der Daten als Sperrspannung identifiziert.

Der experimentell ermittelte Wert des Planck'schen Wirkungsquantums beträgt $h = (6,402 \pm 0,001) \cdot 10^{-34} \text{ Js}$, was eine signifikante Abweichung von etwa 218σ vom Literaturwert zeigt. Daher haben wir den relativen Fehler berechnet, der lediglich 3,29% beträgt. Dies deutet darauf hin, dass unser Ergebnis nicht allzu weit vom Literaturwert entfernt ist und darauf hinweist, dass die Genauigkeit unserer Messung durchaus akzeptabel ist. Der Grund, warum unser Ergebnis stark von dem Literaturwert

abweicht, liegt hauptsächlich darin, dass wir bei der Fehlerabschätzung konservativ vorgegangen sind, insbesondere da die gesamte Analyse und Auswertung auf handgezeichneten Grafiken basiert.

Der Fehler bei h ist hauptsächlich auf relativ große Fehler bei der Bestimmung von U_S zurückzuführen (siehe Diagramm 6). Da die Fehlerbalken in den Diagrammen 1 bis 5 aus Datenpunkten des linearen Abschnitts der $U_S - \sqrt{U_I - U_{I0}}$ Kurven erstellt wurden, hätte ΔU_S verringert werden können, wenn mehr Datenpunkte als Teil des linearen Abschnitts in diesen Diagrammen betrachtet worden wären. Mit derselben Ausrüstung könnte der Fehler durch Erfassung zusätzlicher Messwerte verringert werden, um die lineare Beziehung genau zu identifizieren und mögliche Ausreißer zu erkennen.

Aus dem Diagrammen ist ersichtlich, dass einige Punkte erheblich von der Anpassungslinie abweichen. Da die Sperrspannung U_S für jede Frequenz durch den Schnittpunkt des $U_S - \sqrt{U_I - U_{I0}}$ -Diagramms bestimmt wird, ist es möglich, dass wir den linearen Teil nicht vollständig berücksichtigt haben. Aufgrund der hohen Auflösung auf der x-Achse kann selbst eine geringfügige Abweichung zu einem erheblichen Fehler führen. Für zukünftige Experimente wäre es daher sinnvoll, den Photoeffekt für mehr Lichtfrequenzen zu untersuchen, um die Zufälligkeit in den Daten zu verringern und die Genauigkeit zu verbessern.

Zusätzliche gemessene Werte von $\sqrt{U_I - U_{I0}}$ hätten erhalten werden können, wenn kleinere Schritte zur Verringerung von U_S verwendet worden wären, beispielsweise Schritte von 0,05 V oder sogar 0,01 V, die die kleinstmöglichen Schritte mit unserer Stromversorgung waren. Auf diese Weise hätte eine präzisere Bestimmung des Anfangs und des Endes des linearen Abschnitts ermöglicht werden können, was zu Fehlerbalken geführt hätte, die weniger von den Referenzlinien abweichen.

5 Quelle

Drude-Theorie (<https://de.wikipedia.org/wiki/Drude-Theorie>)

Wagner, J. (2022, 25. August). Physikalisches Anfängerpraktikum [Praktikumsanleitung]. Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg. Abgerufen am 02. Oktober 2023, von https://www.physi.uni-heidelberg.de/Einrichtungen/AP/info/Corona/PR_I_2022.pdf