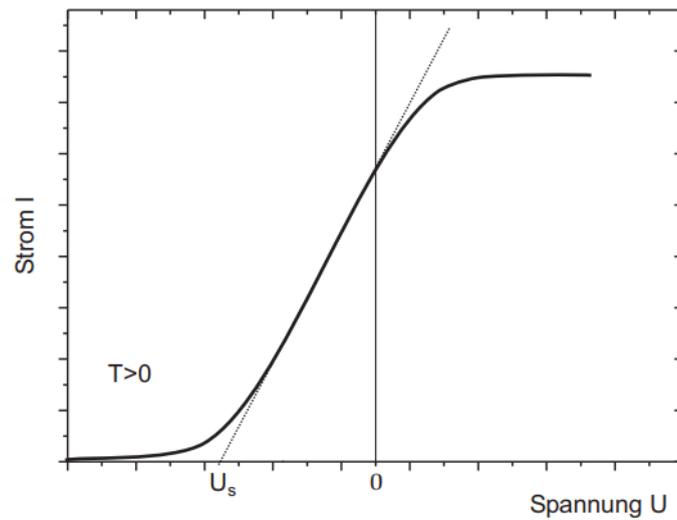


Versuch 35 - Fotoeffekt

PAP 1, [2] [1]

26.09.2024



Teilnehmender Student: **Jonathan Rodemers**

Gruppe des Teilnehmenden: 1

Kurs: Nachmittags

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Motivation	1
1.2	Messverfahren	1
1.2.1	Aufbau des Spektrometers	1
1.2.2	Messverfahren	1
1.2.3	Zielsetzung	1
1.3	Grundlagen aus der Physik	2
1.3.1	Fermi-Energie und Elektronenemission	2
1.3.2	Einsteins fotoelektrische Gleichung	2
1.3.3	Weiterr Versuchsspezifische Überlgungen	2
2	Durchführung	3
2.1	Messprotokol	3
3	Auswertung	13
3.1	Auswertungstabellen	13
3.2	Sperrspannungen	15
3.3	Bestimmung des Plankkonstante	15
4	Zusammenfassung und Diskussion	16
	Quellen- und Literaturverzeichnis	17

1. Einleitung

1.1 Motivation

Der photoelektrische Effekt ist ein grundlegendes Phänomen der Quantenphysik, das das teilchen-ähnliche Verhalten von Licht offenbart. Er war entscheidend für die Bestätigung der Quantentheorie, da die klassische Physik nicht erklären konnte, warum Licht mit einer Frequenz unterhalb eines bestimmten Schwellenwerts unabhängig von der Intensität keine Elektronen aus einem Material ausstößt. Mit diesem Experiment soll der photoelektrische Effekt nachgewiesen werden, indem die kinetische Energie der Elektronen gemessen wird, die von einem Metall emittiert werden, wenn es mit Licht verschiedener Frequenzen bestrahlt wird. Ziel ist es, die Beziehung zwischen der Energie der Photonen und der Energie der emittierten Elektronen zu überprüfen, wie sie durch die Einsteinsche Gleichung beschrieben wird. Außerdem bietet das Experiment eine Methode zur Bestimmung der Planckschen Konstante, einer fundamentalen Konstante der Quantenmechanik.

1.2 Messverfahren

Der Versuchsaufbau besteht aus einem Prismenspektrometer, einer Quecksilberdampfampe, einer Vakuum-Fotozelle und Messinstrumenten, darunter ein Picoammeter und ein Multimeter. Eine Quecksilberdampfampe liefert unterschiedliche Spektrallinien, die durch zwei Prismen geleitet werden, um das Licht in seine verschiedenen Wellenlängen zu zerlegen. Die Fotozelle ist so positioniert, dass sie diese Wellenlängen einfängt, wobei die emittierten Elektronen einen messbaren Strom erzeugen.

1.2.1 Aufbau des Spektrometers

Das Licht der Quecksilberdampfampe durchläuft eine Reihe optischer Komponenten, darunter zwei Prismen zur Dispersion, und wird dann auf die Fotozelle gerichtet. Ein beweglicher Spiegel steuert den Weg des Lichtstrahls und lenkt verschiedene Spektrallinien auf die Fotozelle.

1.2.2 Messverfahren

Bei dem Experiment wird die Strom-Spannungs-Kennlinie für fünf markante Spektrallinien von Quecksilber zwischen dem gelben und dem ultravioletten Bereich aufgezeichnet. Die Spannung wird allmählich erhöht, bis der emittierte Strom den Wert Null erreicht, was darauf hinweist, dass die energiereichsten Elektronen durch das entgegengesetzte Feld blockiert wurden (Stoppspannung).

1.2.3 Zielsetzung

Die Stoppspannung wird für jede Wellenlänge gemessen, woraus die maximale kinetische Energie der emittierten Elektronen berechnet wird. Diese Daten werden zur Bestimmung der Planckschen Konstante verwendet, indem die lineare Beziehung zwischen der Energie des Elektrons und der Frequenz des einfallenden Lichts analysiert wird.

1.3 Grundlagen aus der Physik

Der photoelektrische Effekt tritt auf, wenn Photonen mit ausreichender Energie auf eine Metalloberfläche treffen und welche dabei Elektronen emittiert. Die kinetische Energie (E_{kin}) dieser emittierten Elektronen hängt von der Energie der Photonen ab, die mit der Frequenz des Lichts zusammenhängt (ν) durch die Gleichung:

$$E_{kin} = h\nu - A \quad (1.1)$$

wobei:

- h die Planckkonstante ist,
- ν die Frequenz des Lichts,
- A die Auslösearbeit, also die Minimale Energie um ein Elektron auszulösen.

1.3.1 Fermi-Energie und Elektronenemission

Die Elektronen in einem Metall besetzen Energieniveaus bis zu einem Maximum. Wenn Licht mit dem Metall in Wechselwirkung tritt, können nur Elektronen auf oder nahe dem Fermi-Niveau entweichen, wenn sie genügend Photonenenergie absorbieren. Die Energieverteilung der Elektronen wird durch die Fermi-Dirac-Verteilung beschrieben, und die Emissionswahrscheinlichkeit steigt mit der Photonenenergie, die die Arbeitsfunktion übersteigt.

1.3.2 Einsteins fotoelektrische Gleichung

Die Einsteinsche photoelektrische Gleichung beschreibt, wie die Energie des emittierten Elektrons von der Photonenenergie abhängt. Wenn die Photonenenergie die Arbeitsfunktion des Metalls übersteigt, verwandelt sich die überschüssige Energie in die kinetische Energie des ausgestoßenen Elektrons:

$$h\nu = A + E_{kin} \quad (1.2)$$

Im Experiment wird die Sperrspannung zur Messung der maximalen kinetischen Energie der Elektronen verwendet:

$$eU_s = h\nu - A \quad (1.3)$$

1.3.3 Weiterer Versuchsspezifische Überlegungen

Aufgrund der geringen Ströme, die in der Fozelle erzeugt werden (in der Größenordnung von Picoampere), muss das Signal verstärkt und indirekt über die Spannung gemessen werden. Das Experiment berücksichtigt auch die Hintergrundströme, die abgezogen werden müssen, um genaue Ergebnisse zu erhalten.

2. Durchführung

2.1 Messprotokoll

Jonathan Dodonov
 Theodora Lazarovic

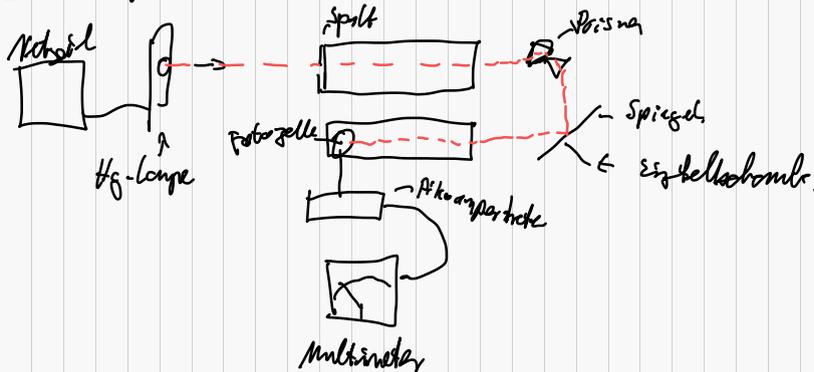
Messprotokoll
 Versuch 35

26.09.24

Geräte:

- Spektrometerschalen mit 2 Prismen und eingebauter Vakuumfotozelle.
- Quecksilberdampfkerze + Netzteil
- Piko-Ampereometer
- Multimeter

Vorbereitung:



Felds Spannungserweiterung: $\Delta U = 0,01 V$

26.09.24 A. Wautzen

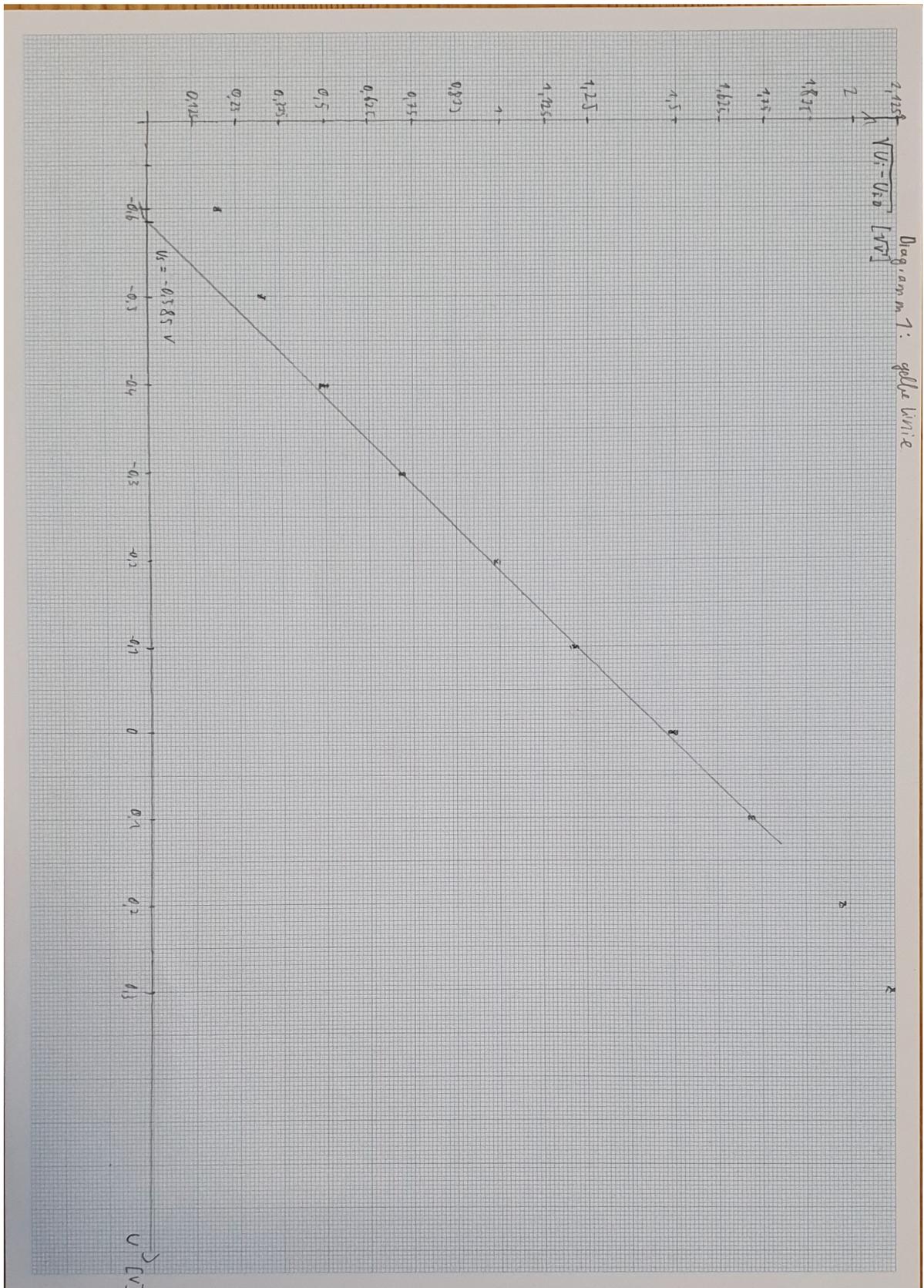
Farbe:					
	gelbes Licht	$U_{\{I0\}}$ [V]:	-0.021	$\Delta U_{\{I0\}}$ [V]:	0.001
Nr	U [V]	U_I [V]	ΔU_I [V]	$\sqrt{U_I - U_{\{I0\}}}$	$\Delta \sqrt{U_I - U_{\{I0\}}}$
1	0.3	4.48	0.01	2.1216	0.0020
2	0.2	3.73	0.01	1.9367	0.0030
3	0.1	2.978	0.002	1.7318	0.0010
4	0	2.239	0.002	1.5033	0.0010
5	-0.1	1.538	0.002	1.2486	0.0010
6	-0.2	0.963	0.002	0.9920	0.0010
7	-0.3	0.524	0.002	0.7382	0.0020
8	-0.4	0.217	0.001	0.4879	0.0010
9	-0.5	0.069	0.001	0.3000	0.0020
10	-0.6	0.017	0.001	0.1949	0.0040
11	-0.7			0.1449	0.0030
12	-0.8			0.1449	0.0030

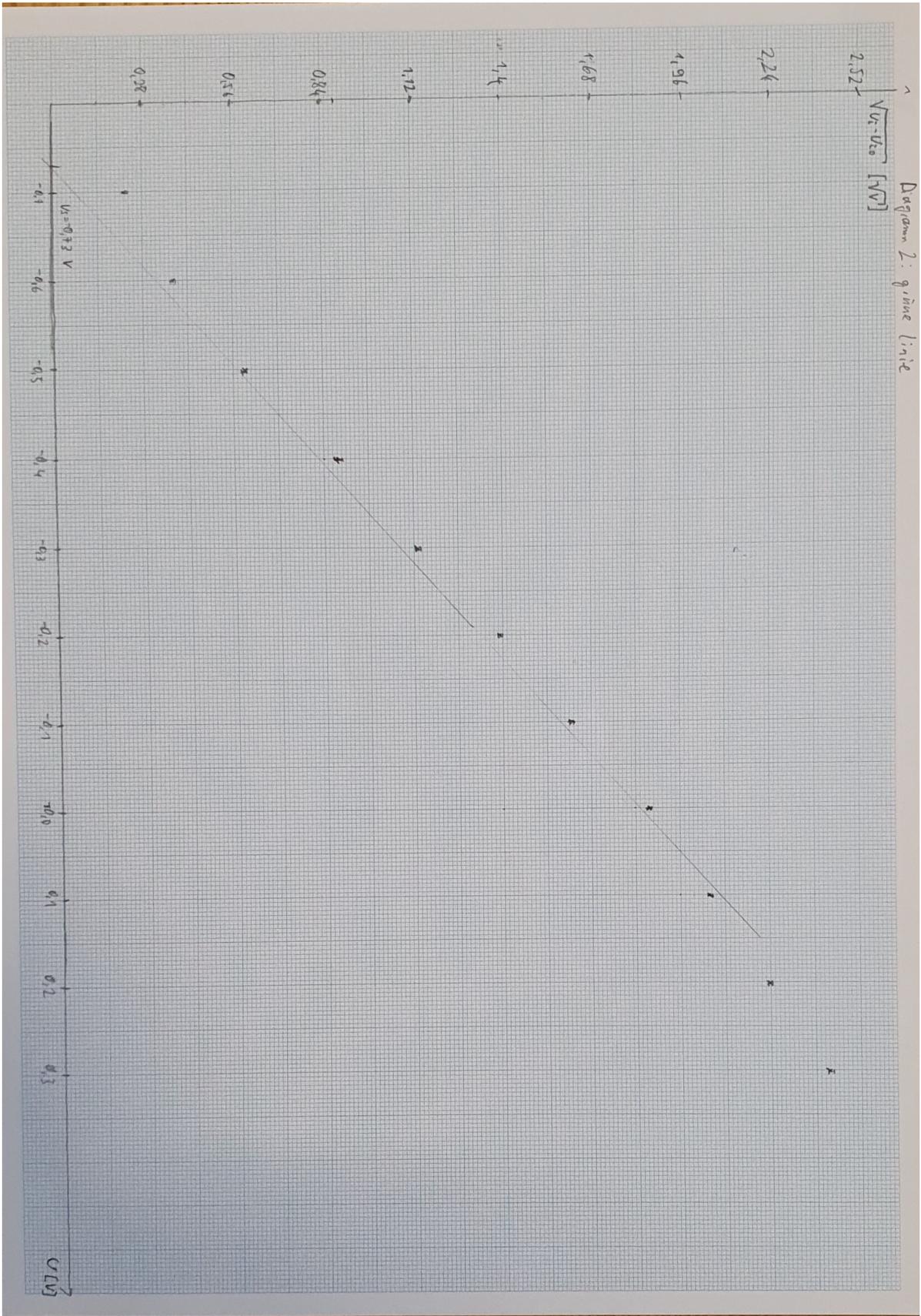
Farbe:					
	grünes Licht	$U_{\{I0\}}$ [V]:	-0.036	$\Delta U_{\{I0\}}$ [V]:	0.001
Nr	U [V]	U_I [V]	ΔU_I [V]	$\sqrt{U_I - U_{\{I0\}}}$	$\Delta \sqrt{U_I - U_{\{I0\}}}$
1	0.3	5.83	0.01	2.4220	0.0020
2	0.2	5.01	0.01	2.2463	0.0020
3	0.1	4.18	0.01	2.0533	0.0020
4	0	3.428	0.003	1.8612	0.0010
5	-0.1	2.575	0.003	1.6159	0.0010
6	-0.2	1.912	0.003	1.3957	0.0010
7	-0.3	1.251	0.002	1.1345	0.0010
8	-0.4	0.763	0.002	0.8939	0.0010
9	-0.5	0.331	0.001	0.6058	0.0010
10	-0.6	0.115	0.001	0.3886	0.0020
11	-0.7	0.015	0.001	0.2258	0.0030
12	-0.8			0.1897	0.0030
13	-0.9			0.1897	0.0030

Farbe:					
	blaues Licht	$U_{\{I0\}}$ [V]:	-0.095	$\Delta U_{\{I0\}}$ [V]:	0.001
Nr	U [V]	U_I [V]	ΔU_I [V]	$\sqrt{U_I - U_{\{I0\}}}$	$\Delta \sqrt{U_I - U_{\{I0\}}}$
1	0.3	8.85	0.01	2.9910	0.0020
2	0.2	8.07	0.01	2.8570	0.0020
3	0.1	7.28	0.01	2.7160	0.0020
4	0	6.51	0.01	2.5700	0.0020
5	-0.1	5.71	0.01	2.4090	0.0020
6	-0.2	4.97	0.01	2.2510	0.0020
7	-0.3	4.2	0.01	2.0720	0.0020
8	-0.4	3.512	0.003	1.8990	0.0010
9	-0.5	2.869	0.002	1.7220	0.0010
10	-0.6	2.233	0.002	1.5260	0.0010
11	-0.7	1.648	0.002	1.3200	0.0010
12	-0.8	1.122	0.003	1.1030	0.0010
13	-0.9	0.685	0.002	0.8830	0.0010
14	-1	0.355	0.002	0.6710	0.0020
15	-1.1	0.151	0.001	0.4960	0.0010
16	-1.2	0.041	0.001	0.3690	0.0020
17	-1.3			0.3080	0.0020
18	-1.4			0.3080	0.0020

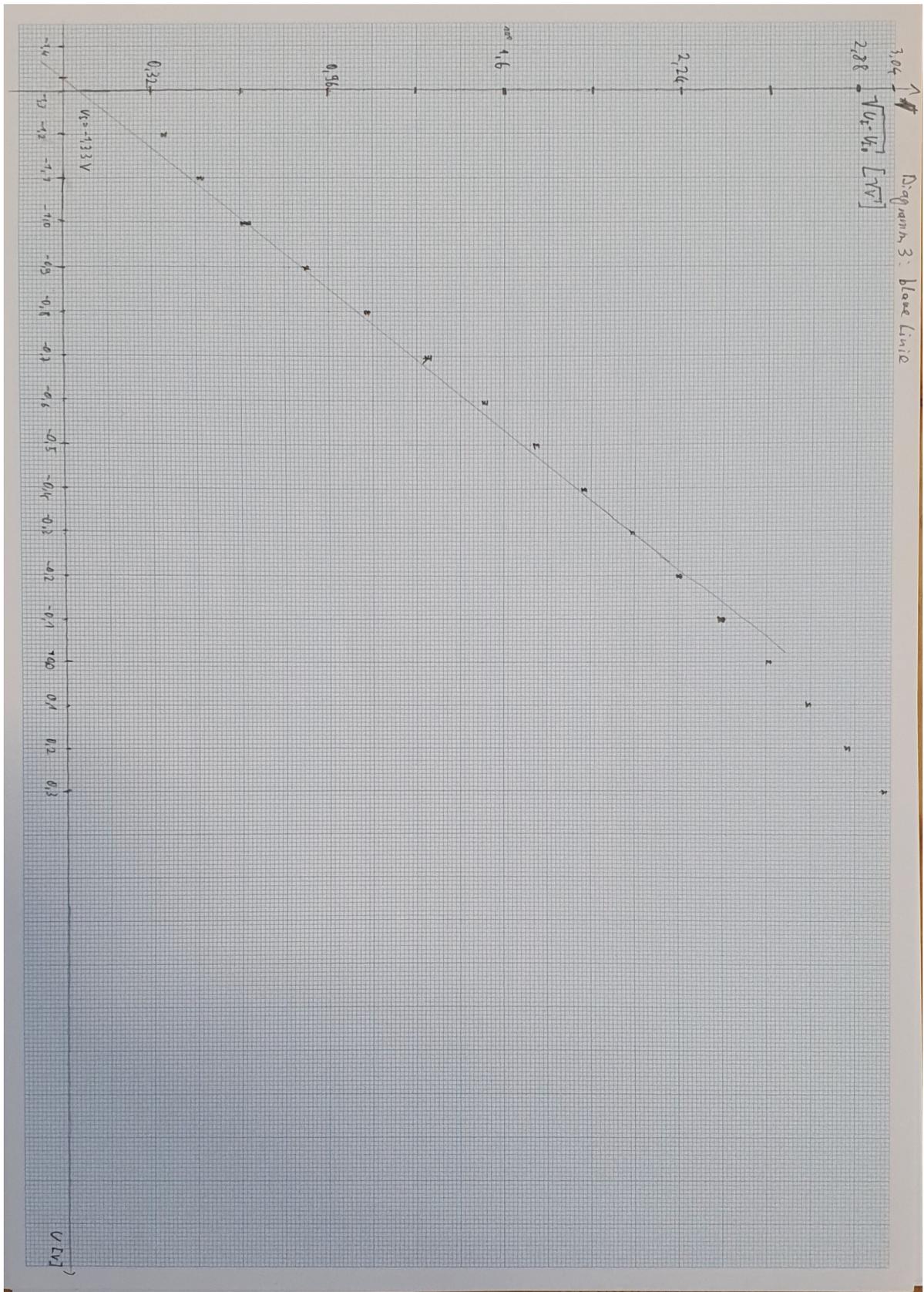
Farbe:					
	violettes Licht	$U_{\{I0\}}$ [V]:	-0.057	$\Delta U_{\{I0\}}$ [V]:	0.001
Nr	U [V]	U_I [V]	ΔU_I [V]	$\sqrt{U_I - U_{\{I0\}}}$	$\Delta \sqrt{U_I - U_{\{I0\}}}$
1	0.3	8.06	0.01	2.8490	0.0020
2	0.2	7.45	0.01	2.7399	0.0020
3	0.1	6.81	0.01	2.6205	0.0020
4	0	6.12	0.01	2.4854	0.0020
5	-0.1	5.55	0.01	2.3679	0.0020
6	-0.2	4.92	0.01	2.2309	0.0020
7	-0.3	4.3	0.01	2.0873	0.0020
8	-0.4	3.7	0.01	1.9383	0.0030
9	-0.5	3.147	0.002	1.7900	0.0010
10	-0.6	2.57	0.002	1.6208	0.0010
11	-0.7	2.033	0.005	1.4457	0.0020
12	-0.8	1.556	0.002	1.2700	0.0010
13	-0.9	1.116	0.002	1.0831	0.0010
14	-1	0.726	0.002	0.8849	0.0010
15	-1.1	0.433	0.002	0.7000	0.0020
16	-1.2	0.23	0.001	0.5357	0.0010
17	-1.3	0.097	0.001	0.3924	0.0020
18	-1.4	0.03	0.001	0.2950	0.0020

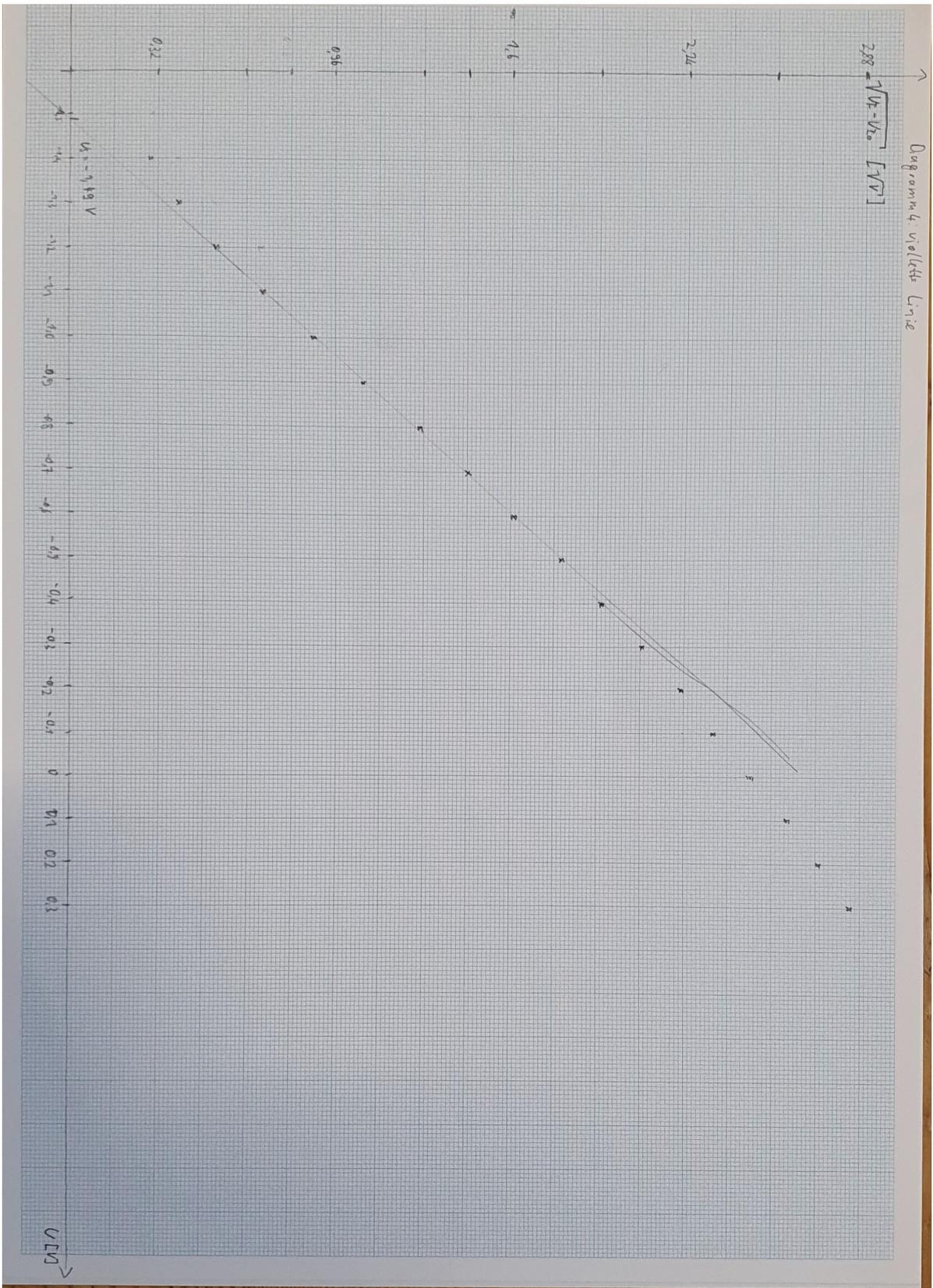
	Farbe:				
	UV Licht	U_{I0} [V]:	-0.067	ΔU_{I0} [V]:	0.001
Nr	U [V]	U_I [V]	ΔU_I [V]	$\sqrt{U_I - U_{I0}}$	$\Delta \sqrt{U_I - U_{I0}}$
1	0	8.14	0.02	2.8650	0.0060
2	-0.1	7.75	0.02	2.7960	0.0060
3	-0.2	6.83	0.02	2.6260	0.0060
4	-0.3	6.21	0.02	2.5050	0.0060
5	-0.4	5.63	0.02	2.3870	0.0060
6	-0.5	4.98	0.02	2.2470	0.0070
7	-0.6	4.4	0.02	2.1140	0.0070
8	-0.7	3.8	0.02	1.9660	0.0070
9	-0.8	3.183	0.005	1.8030	0.0020
10	-0.9	2.644	0.002	1.6470	0.0010
11	-1.0	2.097	0.002	1.4710	0.0010
12	-1.1	1.635	0.002	1.3050	0.0010
13	-1.2	1.196	0.002	1.1240	0.0010
14	-1.3	0.83	0.002	0.9470	0.0010
15	-1.4	0.503	0.002	0.7550	0.0010
16	-1.5	0.277	0.001	0.5870	0.0010
17	-1.6	0.14	0.001	0.4550	0.0010
18	-1.7	0.06	0.001	0.3560	0.0010
19	-1.8	0.018	0.001	0.2920	0.0010



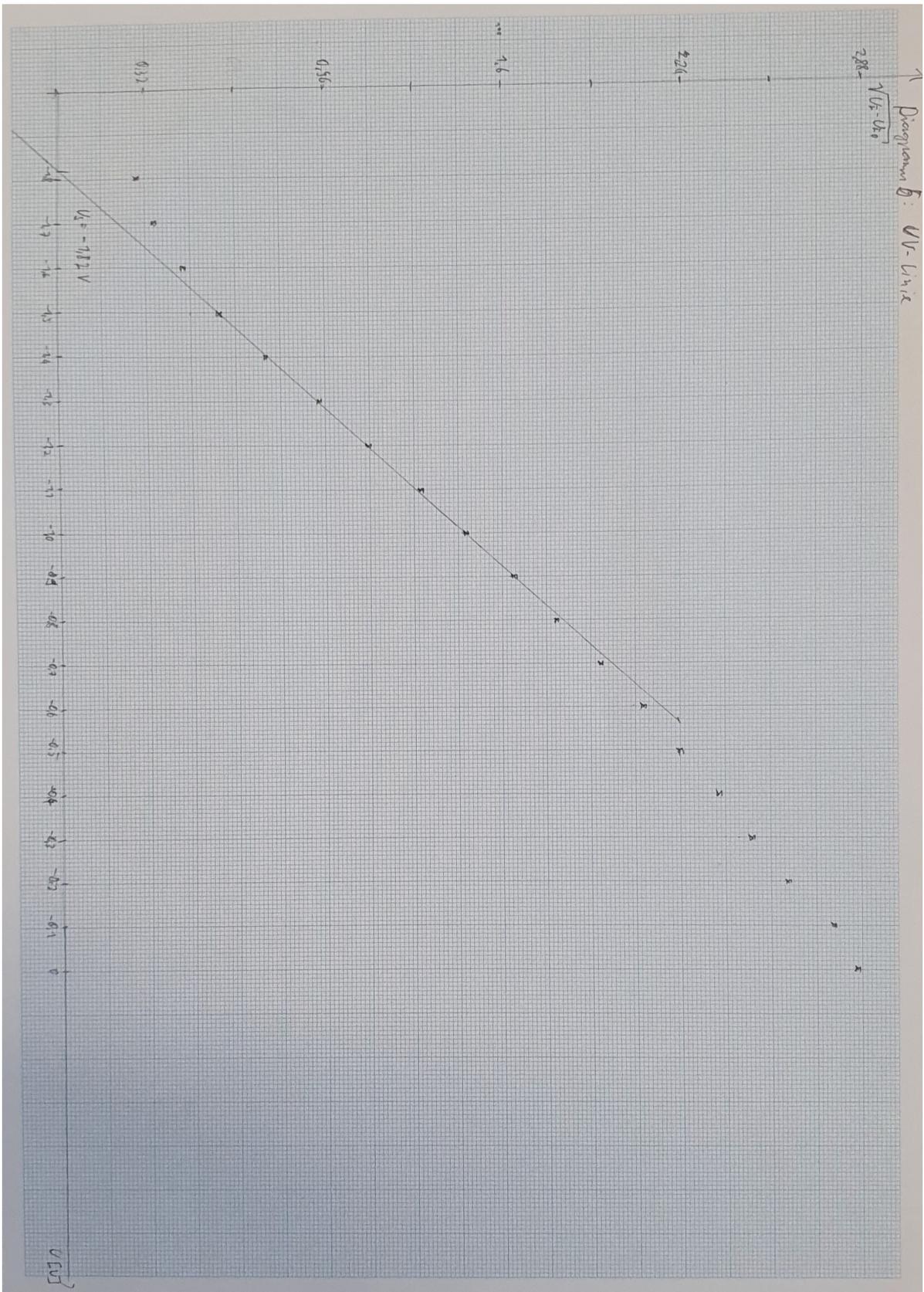


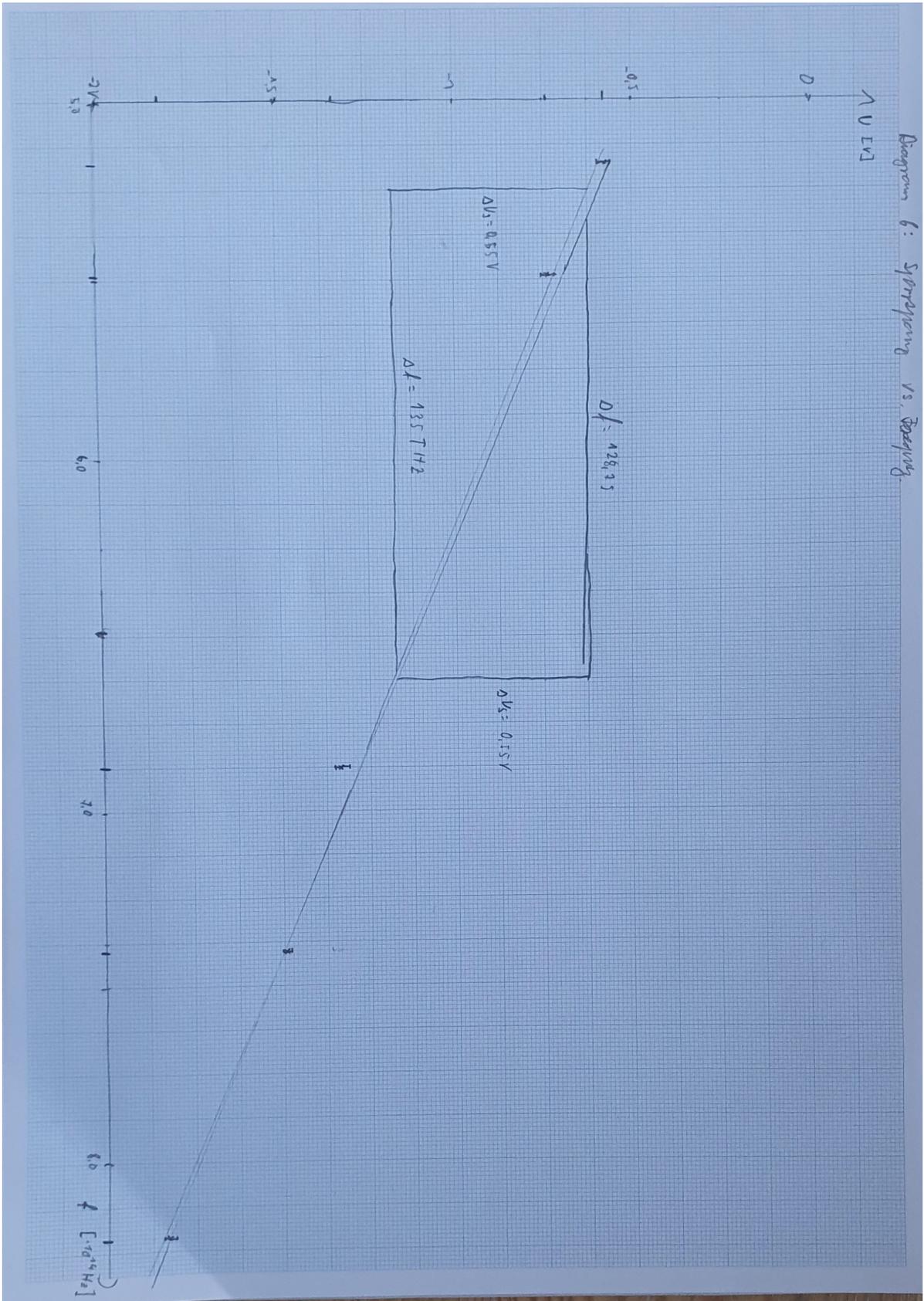
VERSUCH 35 - FOTOEFFEKT





VERSUCH 35 - FOTOEFFEKT





3. Auswertung

3.1 Auswertungstabellen

Tabelle 3.1: Messdaten für UV- Licht

Nr	U [V]	U_I [V]	ΔU_I [V]	$\sqrt{U_I - U_{I0}}$	$\Delta\sqrt{U_I - U_{I0}}$
1	0.0	8.14	0.02	2.8650	0.0060
2	-0.1	7.75	0.02	2.7960	0.0060
3	-0.2	6.83	0.02	2.6260	0.0060
4	-0.3	6.21	0.02	2.5050	0.0060
5	-0.4	5.63	0.02	2.3870	0.0060
6	-0.5	4.98	0.02	2.2400	0.0070
7	-0.6	4.40	0.02	2.1140	0.0070
8	-0.7	3.83	0.02	1.9940	0.0070
9	-0.8	3.183	0.005	1.8100	0.0070
10	-0.9	2.644	0.002	1.6470	0.0070
11	-1.0	1.996	0.002	1.4760	0.0070
12	-1.1	1.635	0.002	1.3540	0.0070
13	-1.2	1.196	0.002	1.1240	0.0070
14	-1.3	0.886	0.002	0.9410	0.0070
15	-1.4	0.503	0.002	0.7550	0.0070
16	-1.5	0.277	0.001	0.5630	0.0060
17	-1.6	0.142	0.001	0.3780	0.0060
18	-1.7	0.069	0.001	0.3560	0.0060
19	-1.8	0.018	0.001	0.2100	0.0060
UV Licht: $U_{I0} = -0.067$ V, $\Delta U_{I0} = 0.001$ V					

Tabelle 3.2: Messdaten für violettes Licht

Nr	U [V]	U_I [V]	ΔU_I [V]	$\sqrt{U_I - U_{I0}}$	$\Delta\sqrt{U_I - U_{I0}}$
1	0.3	8.06	0.01	2.8490	0.0020
2	0.2	7.45	0.01	2.7399	0.0020
3	0.1	6.81	0.01	2.6205	0.0020
4	0.0	6.12	0.01	2.4854	0.0020
5	-0.1	5.55	0.01	2.3679	0.0020
6	-0.2	4.92	0.01	2.2390	0.0020
7	-0.3	4.3	0.01	2.0873	0.0020
8	-0.4	3.73	0.01	1.9383	0.0020
9	-0.5	3.147	0.002	1.7900	0.0010
10	-0.6	2.57	0.002	1.6480	0.0010
11	-0.7	2.033	0.002	1.4680	0.0010
12	-0.8	1.556	0.002	1.2700	0.0010
13	-0.9	1.116	0.002	1.0570	0.0010
14	-1.0	0.726	0.002	0.8849	0.0010
15	-1.1	0.433	0.002	0.7000	0.0020
16	-1.2	0.243	0.002	0.4920	0.0020
17	-1.3	0.097	0.001	0.3924	0.0020
18	-1.4	0.043	0.001	0.2950	0.0020
Violettes Licht: $U_{I0} = -0.057$ V, $\Delta U_{I0} = 0.001$ V					

Tabelle 3.3: Messdaten für blaues Licht

Nr	U [V]	U_I [V]	ΔU_I [V]	$\sqrt{U_I - U_{I0}}$	$\Delta\sqrt{U_I - U_{I0}}$
1	0.3	8.85	0.01	2.9910	0.0020
2	0.2	8.07	0.01	2.8570	0.0020
3	0.1	7.28	0.01	2.7160	0.0020
4	0.0	6.51	0.01	2.5700	0.0020
5	-0.1	5.71	0.01	2.4090	0.0020
6	-0.2	4.97	0.01	2.2510	0.0020
7	-0.3	4.2	0.01	2.0720	0.0020
8	-0.4	3.512	0.003	1.8720	0.0020
9	-0.5	2.869	0.002	1.7220	0.0020
10	-0.6	2.233	0.002	1.5260	0.0020
11	-0.7	1.648	0.002	1.3200	0.0020
12	-0.8	1.122	0.003	1.0600	0.0030
13	-0.9	0.685	0.002	0.8830	0.0020
14	-1.0	0.355	0.002	0.6710	0.0020
15	-1.1	0.151	0.001	0.4960	0.0020
16	-1.2	0.041	0.001	0.3690	0.0020
17	-1.3	0.004	0.001	0.3080	0.0020

Blaues Licht: $U_{I0} = -0.095$ V, $\Delta U_{I0} = 0.001$ V

Tabelle 3.4: Messdaten für grünes Licht

Nr	U [V]	U_I [V]	ΔU_I [V]	$\sqrt{U_I - U_{I0}}$	$\Delta\sqrt{U_I - U_{I0}}$
1	0.3	5.83	0.01	2.4220	0.0020
2	0.2	5.01	0.01	2.2463	0.0020
3	0.1	4.18	0.01	2.0533	0.0020
4	0.0	3.428	0.003	1.8612	0.0010
5	-0.1	2.575	0.003	1.6159	0.0010
6	-0.2	1.912	0.003	1.3957	0.0010
7	-0.3	1.251	0.002	1.1345	0.0010
8	-0.4	0.763	0.002	0.8939	0.0010
9	-0.5	0.331	0.001	0.6058	0.0010
10	-0.6	0.115	0.001	0.3886	0.0020
11	-0.7	0.015	0.001	0.2258	0.0030

Grünes Licht: $U_{I0} = -0.036$ V, $\Delta U_{I0} = 0.001$ V

Tabelle 3.5: Messdaten für gelbes Licht

Nr	U [V]	U_I [V]	ΔU_I [V]	$\sqrt{U_I - U_{I0}}$	$\Delta\sqrt{U_I - U_{I0}}$
1	0.3	4.48	0.01	2.1216	0.0020
2	0.2	3.73	0.01	1.9367	0.0030
3	0.1	2.978	0.002	1.7318	0.0010
4	0.0	2.239	0.002	1.5033	0.0010
5	-0.1	1.538	0.002	1.2486	0.0010
6	-0.2	0.963	0.002	0.9920	0.0010
7	-0.3	0.524	0.002	0.7382	0.0020
8	-0.4	0.217	0.001	0.4879	0.0010
9	-0.5	0.069	0.001	0.3000	0.0020
10	-0.6	0.017	0.001	0.1949	0.0040

Gelbes Licht: $U_{I0} = -0.021$ V, $\Delta U_{I0} = 0.001$ V

Hierbei wurden die Fehler nach der Gausschen Fehlerfortpflanzungsformel von den Programm Exel berechnet.

3.2 Sperrspannungen

Aus den Diagrammen 1-5 kann man auf der Abszisse die Sperrspannungen ablesen. Es ergibt sich hierbei folgende Tabelle: Diese Werte wurden im Diagramm 6 eingezeichnet. Dabei wurde

Wellenlänge [nm]	Frequenz [THz]	Sperrspannung [V]
578	518,7	$-0,585 \pm 0,02$
546	549,0	$-0,73 \pm 0,02$
436	687,6	$-1,33 \pm 0,02$
405	740,0	$-1,49 \pm 0,02$
365	821,3	$-1,82 \pm 0,02$

Tabelle 3.6: Sperrspannungen und Wellenlänge

der Fehler so abgeschätzt, dass er für alle anderen möglichen Ausgleichsgeraden beinhaltet.

3.3 Bestimmung des Plankkonstante

Aus dem Diagramm 6 bestimmen wir die Steigung m der Ausgleichsgeraden:

$$m = (0,0041 \pm 0,0002) \frac{V}{THz}$$

Das Vorzeichen der Negativen Sperrspannung und der Steigung wurde dabei schon ausgeglichen. Und wir erhalten aus Formel 1.3, eine Formel für h :

$$h = m \cdot e \tag{3.1}$$

Dabei ist m die gemessene Steigung und e die Elektronenmasse. Mithilfe der Fehlerformel:

$$\Delta h = e \cdot \Delta m \tag{3.2}$$

folgt h mit:

$$h = (6,5 \pm 0,3) \cdot 10^{-34} \text{Js}$$

Dabei wurde der im Taschenrechner hinterlegte Wert für die Elementarladung verwendet, der dort als $1,60217649 \cdot 10^{-19}$ eingespeichert ist.

4. Zusammenfassung und Diskussion

In diesem Versuch haben wir den Fotoeffekt genauer untersuchen können. Dazu haben wir eine Quecksilberdampfampe und 2 Prismen verwendet, um das Spektrum der Quecksilberdampfampe aufzuspalten und die einzelnen Spektrallinien auf die Fotokathode zu richten. So konnten wir die Eigenschaften des Fotoeffekts für verschiedene Frequenzen des Lichts untersuchen.

Dabei haben wir den Linearen Teil der Spannungs-Strom-Kurve bis zur Abszisse extrapoliert und konnten damit die jeweiligen Sperrspannung der Lichtfrequenzen bestimmen. Hieraus ergaben sich die Werte der Tabelle 3.6.

Weiternoch haben wir diese Werte gegen die Frequenz in einem weiteren Diagramm abgetragen und erhalten aus der Steigung dieser Geraden, multipliziert mit der Elementarladung die Planksche Konstante. Diese haben wir in diesem Experiment bestimmt mit:

$$h = (6,5 \pm 0,3) \cdot 10^{-34} \text{ Js}$$

Vergleichen wir diesen Wert mit dem Literaturwert von $6.62607015 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$ [3] erhalten wir eine Abweichung von 0.42σ . Dies zeigt, dass wir trotz der recht ungenauen Methode des händischen Extrapolierens, ein guten Wert ermittelten konnten und das Experiment erfolgreich war.

Quellen- und Literaturverzeichnis

- [1] CAPTAIN JONI: *pap1-tex-vorlage*. <https://github.com/captain-joni/pap1-tex-vorlage>. – [Online; Stand 28.08.2024]
- [2] DR. J. WAGNER: *Physikalisches Praktikum 1 für Studierende der Physik B.Sc.* <https://www.physi.uni-heidelberg.de/Einrichtungen/AP/info/Corona/PAP1.pdf>. – [Online; Stand 01/2014]
- [3] WIKIPEDIA: *Plancksche Konstante*. <https://de.wikipedia.org/wiki/Planck-Konstante>. – [Online; Stand 29.09.2024]