

Physiklabor für Anfänger*innen
Ferienpraktikum im Wintersemester 2019/2020

Versuch 81: Photoeffekt

Gruppe

(durchgeführt am bei)

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	3
Abbildungsverzeichnis	4
Tabellenverzeichnis	4
1 Ziel des Versuchs	5
2 Benutzte Gleichungen	5
3 Aufbau und Durchführung	6
3.1 Versuchsaufbau mit Photodiode	6
3.2 Durchführung mit Photodiode	6
3.3 Versuchsaufbau mit Solarzelle	7
3.4 Durchführung mit Solarzelle	7
4 Messung	8
4.1 Kennlinien für verschiedene Intensitäten	8
4.2 Kennlinien für verschiedene Frequenzen	10
4.3 Siliziumsolarzelle	11
5 Auswertung	12
5.1 Kennlinien für verschiedene Intensitäten	12
5.2 Kennlinien für verschiedene Frequenzen	13
5.3 Bestimmung des Planckschen Wirkungsquantums	16
5.4 Siliziumsolarzelle	18
6 Diskussion	20
6.1 Kennlinien für verschiedene Intensitäten	20
6.2 Kennlinien für verschiedene Frequenzen	20
6.3 Bestimmung des Planckschen Wirkungsquantum	20
6.4 Solarzelle	21
7 Anhang	23
8 Literaturverzeichnis	28

Abbildungsverzeichnis

1	Versuchsaufbau mit Photodiode	6
2	Versuchsaufbau mit Solarzelle	7
3	Kennlinien der Photozelle für verschiedene Lichtintensitäten . .	12
4	Intensitätsverteilung der Wellenlängen für verschiedene LEDs . .	13
5	Wurzel aus der Stromstärke über der Spannung aufgetragen, mit Fehlerbalken und durchgeführter linearer Regression	15
6	Energi $e \cdot U_0$ aufgetragen gegen die Frequenz ν der LEDs, mit durchgeführter linearer Regression und eingezeichneten Fehler- balken	17
7	Strom-Spannungs-Kennlinien, sowie Leistungs-Spannungs-Kennlinie der Messungen mit einer Siliziumsolarzelle	19
8	Laborheftseite1	23
9	Laborheftseite2	24
10	Laborheftseite3	25
11	Laborheftseite4	26
12	Laborheftseite5	27

Tabellenverzeichnis

1	Angegebene Unsicherheiten des digitalen Multimeters, für ver- schiedene Einstellungen	8
2	Messung der Stromstärke und der Spannung für Licht der Farbe cyan mit verschiedene Intensitäten	9
3	Gemessene Werte für die Spannung und die Stromstärke der Photozelle bei der Beleuchtung mit unterschiedlichen LEDs . . .	10
4	Messwerte für Spannung und Strom der Solarzelle mit Verbrau- cher (LED)	11
5	Messwerte für Spannung und Strom ohne Verbraucher (Brücke)	11
6	Wellenlängen und Frequenzen der LEDs	13
7	Aus Tabelle 3 berechnete Werte der Wurzel der Stromstärken .	14
8	Steigung und y-Achsenabschnitt der Kennlinien für verschiedene Wellenlängen	15
9	Grenzspannung U_0	16
10	Energien $e \cdot U_0$ die dem Elektron im elektrischen Feld zwischen Anode und Kathode zugeführt wird.	16
11	Messwerte mit Unsicherheiten für Spannung und Strom mit Ver- braucher (LED)	18
12	Messwerte mit Unsicherheiten für Spannung und Strom ohne Verbraucher (Brücke)	18

1 Ziel des Versuchs

Ziel des Versuchs ist es die Grenzspannung U_0 einer Photodiode, die mit Licht von verschiedenen LEDs mit unterschiedlichen Wellenlängen bestrahlt wird, zu bestimmen und daraus das Plancksche Wirkungsquantum zu ermitteln. Außerdem sollen mehrere U-I-Kennlinien bei unterschiedlichen Lichtintensitäten für die Photodiode für Gegen- und Ziehspannung bestimmt werden.

Außerdem soll die U-I-Kennlinie einer Solarzelle aufgenommen werden.

2 Benutzte Gleichungen

Die Energie eines Photons berechnet sich durch:

$$E = h\nu \quad (1)$$

Die maximale kinetische Energie eines Photoelektrons ist gegeben durch:

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

Die elektrische Leistung ergibt sich aus Spannung und Stromstärke folgendermaßen:

$$P = U \cdot I \quad (3)$$

3 Aufbau und Durchführung

3.1 Versuchsaufbau mit Photodiode

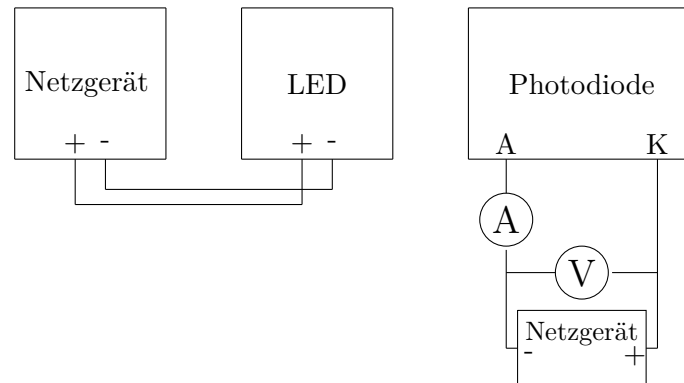


Abbildung 1: Versuchsaufbau mit Photodiode

Der Versuchsaufbau vgl. [Abbildung 1](#) besteht aus einer Leuchtdiode (LED), die über ein Netzgerät mit Spannung versorgt wird. Gegenüber der LED befindet sich eine Photodiode, die aus einem evakuierten Glaskolben besteht, in dem wiederum eine Anode und eine Kathode befinden. Beim Auftreffen der Photonen auf das Kathodenmaterial werden Elektronen aus dem Material ausgelöst. Zwischen Anode und Kathode, liegt eine Spannung an, die bei Nutzung der Gegenfeldmethode dazu führt, dass nur Elektronen mit genügend großer kinetischer Energie die Anode erreichen. Wird die Spannung umgepolt nimmt die Anzahl der auf die Anode treffenden Elektronen aufgrund des anziehenden elektrischen Felds bis zur Sättigung zu. Die auftreffenden Elektronen erzeugen einen Photostrom, der über ein in Reihe geschaltetes Ampèremeter messbar ist. Die Spannung zwischen Anode und Kathode wird durch ein weiteres Netzgerät geliefert und kann durch ein parallel geschaltetes Voltmeter gemessen werden.

3.2 Durchführung mit Photodiode

Zunächst wird die Spannung der LED auf bis zu 5 V eingestellt. Auf dem Ampèremeter ist bei ausreichend eingestellter Spannung nun eine Stromstärke messbar. Die Spannung, die an der Photodiode anliegt wird nun so variiert, dass zum einen die Stromstärke auf 0 A abfällt und zum anderen die maximale Spannung (5 V) eingestellt ist, so dass wenn möglich die Sättigung sichtbar wird. Diese Messung der Strom-Spannungs-Kennlinie wird mit der gleichen LED bei veränderter Intensität (also veränderter Spannung) wiederholt.

Bei der Einstellung ähnlicher Intensität werden nun Strom-Spannungs-Kennlinien für LEDs mit verschiedenen emittierten Wellenlängen aufgenommen. Die Emissionsspektren der LEDs können mit Hilfe eines Analysators aufgenommen werden.

3.3 Versuchsaufbau mit Solarzelle

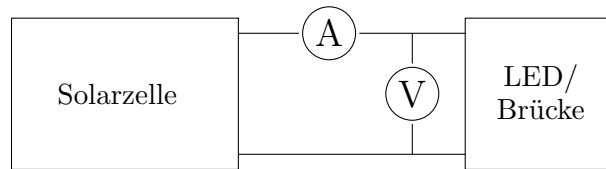


Abbildung 2: Versuchsaufbau mit Solarzelle

Im zweiten Teil, wird eine Silizium-Solarzelle zunächst an einen Verbraucher (eine LED) und danach an eine Brücke angeschlossen. Die Spannung wird mit einem Voltmeter in parallel Schaltung zum Verbraucher beziehungsweise der Brücke gemessen und die Stromstärke mit einem Ampèremeter in Reihenschaltung dazu (vgl. [Abbildung 2](#)).

3.4 Durchführung mit Solarzelle

Die Silizium Solarzelle wird zu Beginn der Messung an einen möglichst sonnigen Bereich gestellt und es werden Strom und Spannung gemessen. Anschließend wird sie Schritt für Schritt abgedeckt und es werden wieder die Strom- und Spannungswerte aufgenommen. Dies wird sowohl für den Verbraucher (LED), als auch für die Brücke durchgeführt.

4 Messung

Für die mit Multimeter gemessenen Werte berechnen sich die Unsicherheiten je nach Einstellung folgendermaßen:

Einstellung	Unsicherheit
20 V	$s_U = \pm(0,8\% + 0,01)\text{V}$
2 V	$s_U = \pm(0,5\% + 0,001)\text{V}$
2 mA	$s_I = \pm(0,5\% + 0,001)\text{mA}$
200 mA	$s_I = \pm(1,5\% + 0,1)\text{mA}$

Tabelle 1: Angegebene Unsicherheiten des digitalen Multimeters, für verschiedene Einstellungen

4.1 Kennlinien für verschiedene Intensitäten

Zunächst wurden drei Messungen mit Licht der Farbe cyan durchgeführt. Hierbei wurde die Intensität des Lichts zwischen den Messungen verändert. Die Einstellungen des digitalen Multimeters liegen für die Spannung bei 20 V und für die Stromstärke bei 2 mA.

Es wurden folgende Werte für die Spannung und die Stromstärke gemessen:

hohe Intensität		mittlere Intensität		niedrige Intensität	
U [V]	I [mA]	U [V]	I [mA]	U [V]	I [mA]
		Gegenspannung			
0,01	0,044	0,01	0,035	0,01	0,018
0,41	0,071	0,43	0,059	0,41	0,030
0,90	0,106	0,92	0,088	0,68	0,037
1,37	0,139	1,31	0,111	0,94	0,043
1,89	0,175	1,84	0,138	1,20	0,048
2,65	0,228	2,32	0,161	1,73	0,056
3,10	0,260	2,69	0,177	2,02	0,060
3,58	0,291	3,04	0,192	2,50	0,064
4,21	0,328	3,50	0,209	3,03	0,068
4,35	0,346	4,08	0,227	3,45	0,071
4,88	0,364	4,63	0,242	3,98	0,073
5,12	0,377	5,09	0,254	4,44	0,075
5,58	0,401	5,81	0,272	5,01	0,077
5,90	0,419			5,96	0,080
		Ziehspannung			
-0,01	0,043	-0,01	0,034	-0,01	0,018
-0,25	0,027	-0,26	0,021	-0,25	0,011
-0,48	0,014	-0,42	0,013	-0,42	0,006
-0,62	0,009	-0,60	0,006	-0,61	0,002
-0,72	0,004	-0,71	0,002	-0,69	0,001
-0,79	0,002	-0,81	0,001	-0,74	0,000
-0,84	0,001	-0,87	0,000		
-0,86	0,001				
-0,92	0,000				
-1,12	0,000				

Tabelle 2: Messung der Stromstärke und der Spannung für Licht der Farbe cyan mit verschiedenen Intensitäten

4.2 Kennlinien für verschiedene Frequenzen

Die Einstellungen des Multimeters aus Versuchsteil 1 wurden für diesen Versuchsteil beibehalten. Für die verschiedenen LEDs wurden folgende Werte für Stromstärke und Spannung gemessen:

$U[V]$ $I[mA]$	$U[V]$ $I[mA]$	$U[V]$ $I[mA]$	$U[V]$ $I[mA]$
-0,01 0,018	-0,01 0,016	-0,01 0,018	-0,01 0,016
-0,25 0,011	-0,20 0,008	-0,12 0,014	-0,16 0,010
-0,42 0,006	-0,35 0,002	-0,36 0,006	-0,24 0,006
-0,61 0,002	-0,38 0,001	-0,43 0,004	-0,31 0,004
-0,69 0,001	-0,40 0,001	-0,55 0,002	-0,46 0,001
-0,74 0,000	-0,45 0,000	-0,60 0,001	-0,47 0,000
-0,74 0,000	-0,45 0,000	-0,66 0,000	-0,47 0,000
(a) cyan	(b) rot	(c) grün	(d) orange

$U[V]$ $I[mA]$	$U[V]$ $I[mA]$	$U[V]$ $I[mA]$
-0,01 0,016	-0,01 0,017	-0,01 0,018
-0,16 0,013	-0,23 0,013	-0,17 0,014
-0,30 0,010	-0,38 0,011	-0,25 0,012
-0,59 0,005	-0,62 0,007	-0,46 0,008
-0,83 0,002	-0,70 0,005	-0,60 0,005
-0,96 0,001	-0,86 0,003	-0,69 0,003
-0,99 0,001	-0,98 0,002	-0,76 0,002
-1,00 0,001	-1,05 0,001	-0,82 0,001
-1,01 0,001	-1,08 0,001	-0,89 0,001
-1,07 0,000	-1,12 0,001	-0,95 0,000
-1,07 0,000	-1,20 0,000	-0,95 0,000
(e) lila	(f) violett	(g) blau

Tabelle 3: Gemessene Werte für die Spannung und die Stromstärke der Photozelle bei der Beleuchtung mit unterschiedlichen LEDs

Die durch den Analysator aufgenommenen Messwerte für die Emissionsspektren der LEDs sind in [Abbildung 4](#) abgebildet.

4.3 Siliziumsolarzelle

Die Einstellungen des genutzten digitalen Multimeters waren in diesem Versuchsteil für die Messung mit LED bei $U = 20\text{ V}$ und $I = 200\text{ mA}$ und für die Messung mit der Brücke bei $U = 2\text{ V}$ und $I = 200\text{ mA}$. Da die Schwankung der Stromstärke allerdings während der Messung relativ groß war, wird der statistische Fehler hier wie folgt abgeschätzt:

$$s_{I_{\text{stat}}} = 2\text{ mA} \quad (4)$$

Bei der Messung mit der Solarzelle und einer LED als Verbraucher wurden folgende Werte für die Spannung U und die Stromstärke I gemessen:

$U[\text{V}]$	$I[\text{mA}]$
1,98	163
1,91	100
1,87	65
1,86	55
1,83	38
1,8	24
1,78	13
1,7	3
1,56	0

Tabelle 4: Messwerte für Spannung und Strom der Solarzelle mit Verbraucher (LED)

Bei der Verwendung einer Brücke anstelle der LED wurden folgende Werte gemessen:

$U[\text{V}]$	$I[\text{A}]$
0,103	63
0,085	53
0,05	42
0,04	34
0,033	28
0,021	18
0,014	12
0,008	7
0,002	2

Tabelle 5: Messwerte für Spannung und Strom ohne Verbraucher (Brücke)

5 Auswertung

5.1 Kennlinien für verschiedene Intensitäten

Für die Spannungs- und Stromwerte aus [Tabelle 2](#) wurden mit [Tabelle 1](#) die Unsicherheiten berechnet. Diese liegen für die Spannung in einem Bereich zwischen 0,01 V und 0,05 V und für die Stromstärke zwischen 0,001 mA und 0,002 mA. Im folgenden Schaubild sind die gemessenen Werte für die Stromstärke über den gemessenen Spannungswerten aufgetragen. Aufgrund der Größenordnung der berechneten Unsicherheiten wurde zur Übersichtlichkeit auf Fehlerbalken verzichtet.

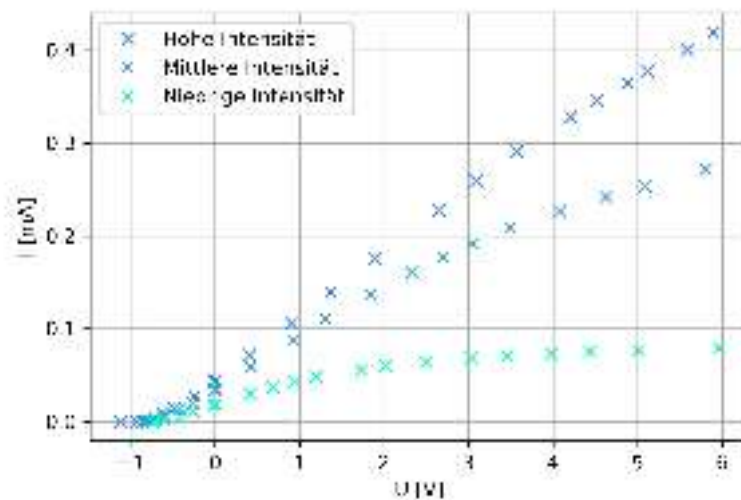


Abbildung 3: Kennlinien der Photozelle für verschiedene Lichtintensitäten

5.2 Kennlinien für verschiedene Frequenzen

Trägt man die erhaltenen Werte für die Emissionsspektren der LEDs auf erhält man folgende Grafik:

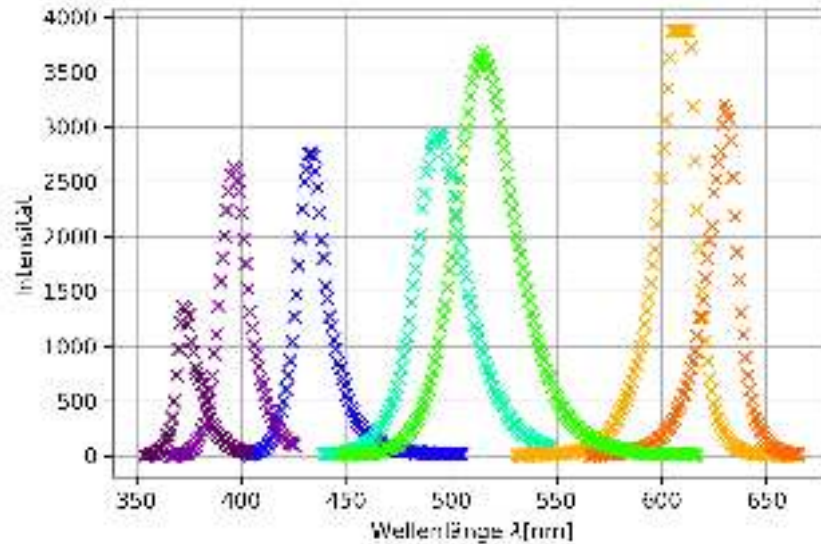


Abbildung 4: Intensitätsverteilung der Wellenlängen für verschiedene LEDs

Die aus den Messwerten berechneten mittleren Wellenlängen der LEDs sind mit den zugehörigen Standardabweichungen als Unsicherheiten in folgender Tabelle angegeben, außerdem wurde aus den Wellenlängen mit $c = 299792458 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ (vgl. Quelle [2]) und mit

$$\nu = \frac{c}{\lambda} \quad (5)$$

$$s_\nu = \frac{c}{\lambda^2} s_{\lambda} \quad (6)$$

die Frequenz der LEDs berechnet.

Farbe	$\lambda[\text{nm}]$	$\nu[10^{14} \text{ Hz}]$
violett	380 ± 30	$6,03 \pm 0,18$
lila	398 ± 10	$4,78 \pm 0,008$
blau	436 ± 12	$7,53 \pm 0,19$
cyan	497 ± 15	$6,88 \pm 0,19$
grün	519 ± 18	$7,9 \pm 0,5$
orange	605 ± 12	$5,8 \pm 0,2$
rot	627 ± 11	$4,96 \pm 0,10$

Tabelle 6: Wellenlängen und Frequenzen der LEDs

In den erhaltenen Messwerten sind immer die Intensitäten für das gesamte Spektrum von sichtbarem Licht aufgelistet und die Messwerte sind auch für weit vom Maximum der Intensität entfernten Wellenlänge noch in einem Bereich von 10. Deshalb wurden in den Berechnungen nur die Bereiche um circa 100 nm um das Intensitätsmaximum genutzt, um systematische Fehler zu vermeiden.

Von den gemessenen Werten für Spannung und Stromstärke aus [Tabelle 3](#) werden durch [Tabelle 1](#) die Unsicherheiten von Spannung und Stromstärke berechnet. Zur Linearisierung der Kennlinien wird im folgenden Schaubild die Wurzel aus der Stromstärke über der Spannung aufgetragen. Die Unsicherheiten wurden hierbei mit Gaußscher Fehlerfortpflanzung folgendermaßen berechnet:

$$s_{\sqrt{I}} = \frac{s_I}{2\sqrt{I}} \quad (7)$$

Daraus ergeben sich folgende Werte:

$\sqrt{I} [\sqrt{A}]$	$\sqrt{I} [\sqrt{A}]$	$\sqrt{I} [\sqrt{A}]$
0.00424±0.00012	0.00400±0.00013	0.00400±0.00013
0.00332±0.00015	0.00283±0.00018	0.00316±0.00016
0.0024±0.0002	0.0014±0.0004	0.0024±0.0002
0.0014±0.0004	0.0010±0.0005	0.0020±0.0003
0.0010±0.0005	0.0010±0.0005	0.0010±0.0005
(a) cyan	(b) rot	(c) orange
$\sqrt{I} [\sqrt{A}]$	$\sqrt{I} [\sqrt{A}]$	$\sqrt{I} [\sqrt{A}]$
0.00400±0.00013	0.00412±0.00012	0.00424±0.00012
0.00361±0.00014	0.00361±0.00014	0.00374±0.00014
0.00316±0.00016	0.00332±0.00015	0.00346±0.00014
0.0022±0.0002	0.00265±0.00019	0.00283±0.00018
0.0014±0.0004	0.0022±0.0002	0.0022±0.0002
0.0010±0.0005	0.0017±0.0003	0.0017±0.0003
0.0010±0.0005	0.0014±0.0004	0.0014±0.0004
0.0010±0.0005	0.0010±0.0005	0.0010±0.0005
0.0010±0.0005	0.0010±0.0005	0.0010±0.0005
(d) lila	(e) violett	(f) blau
$\sqrt{I} [\sqrt{A}]$	$\sqrt{I} [\sqrt{A}]$	
	0.00424±0.00012	
	0.00374±0.00013	
	0.0024±0.0002	
	0.0020±0.0003	
	0.0014±0.0004	
	0.0010±0.0005	
	(g) grün	

Tabelle 7: Aus [Tabelle 3](#) berechnete Werte der Wurzel der Stromstärken

Hierbei wurden die Werte für $I = 0 \text{ A}$ nicht mit aufgenommen, da es nach [Gleichung 7](#) nicht möglich ist die dazugehörigen Unsicherheiten zu berechnen.

Trägt man diese Werte gegen die Spannung U mit Fehlerbalken auf, wobei die Fehlerbalken von Wurzel I für den Wert $I = 0 \text{ A}$ nicht eingezeichnet wurden, und führt eine lineare Regression durch, so ergibt sich folgendes Schaubild:

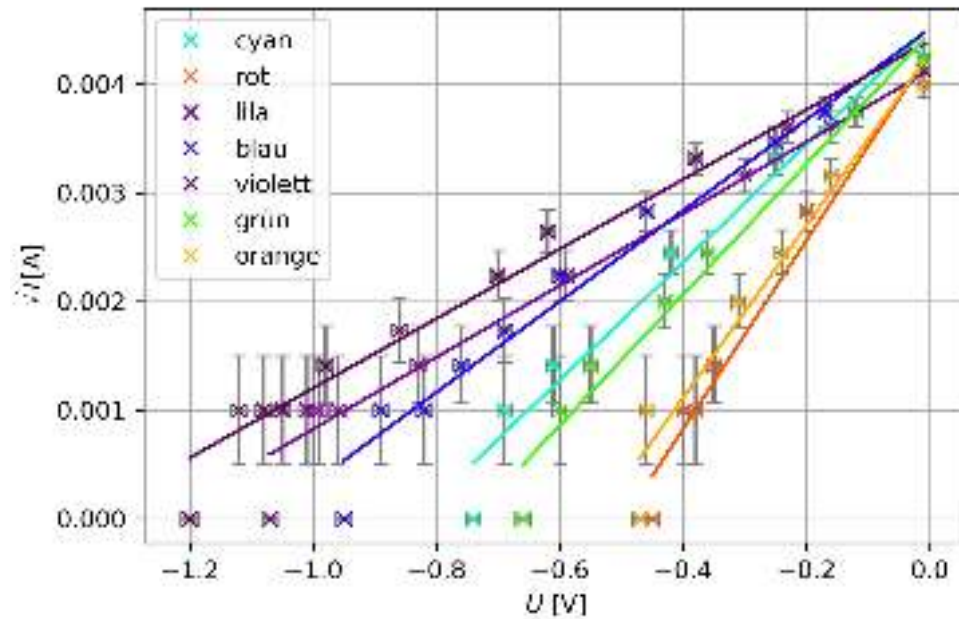


Abbildung 5: Wurzel aus der Stromstärke über der Spannung aufgetragen, mit Fehlerbalken und durchgeführter linearer Regression

In der folgenden Tabelle sind jeweils der y-Achsenabschnitt a und die Steigung b für die unterschiedlichen Wellenlängen aufgelistet:

LED	y-Achsenabschnitt a [$\sqrt{\text{A}}$]	Steigung b [$\frac{\text{V}}{\sqrt{\text{A}}}$]
cyan	$0,0045 \pm 0,0003$	$0,0054 \pm 0,0005$
rot	$0,0043 \pm 0,0003$	$0,0087 \pm 0,0008$
lila	$0,00413 \pm 0,00016$	$0,0033 \pm 0,0002$
blau	$0,00451 \pm 0,00017$	$0,0042 \pm 0,0003$
violett	$0,00440 \pm 0,00016$	$0,00320 \pm 0,00019$
grün	$0,0045 \pm 0,0002$	$0,0060 \pm 0,0005$
orange	$0,0043 \pm 0,0003$	$0,0079 \pm 0,0009$

Tabelle 8: Steigung und y-Achsenabschnitt der Kennlinien für verschiedene Wellenlängen

Für die Grenzspannung, also die Spannung bei der gilt $I = 0 \text{ A}$ gilt:

$$0 = a + b \cdot U_0 \quad (8)$$

Nach umstellen der Gleichung folgt daraus für U_0 :

$$U_0 = -\frac{a}{b} \quad (9)$$

Die Unsicherheiten, berechnen sich aus den Unsicherheiten von Steigung und Achsenabschnitt folgendermaßen:

$$s_{U_0} = \sqrt{\left(\frac{-1}{b}s_a\right)^2 + \left(\frac{a}{b^2}s_b\right)^2} \quad (10)$$

Daraus ergeben sich für die verschiedenen LEDs folgende Grenzspannungen:

LEDs	Grenzspannung $U_0[\text{V}]$
cyan	$-0,84 \pm 0,08$
rot	$-0,50 \pm 0,05$
lila	$-1,25 \pm 0,09$
blau	$-1,08 \pm 0,08$
violett	$-1,37 \pm 0,10$
grün	$-0,74 \pm 0,07$
orange	$-0,54 \pm 0,04$

Tabelle 9: Grenzspannung U_0

5.3 Bestimmung des Planckschen Wirkungsquantums

Multipliziert man die Grenzspannung aus [Tabelle 9](#) mit der Elektronenladung e , so ergeben sich mit $e = -1,602176634 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ (vgl. Quelle [3]) folgende Werte, wobei sich die Fehler durch Fehlerfortpflanzung berechnen mit:

$$s_{eU_0} = e \cdot s_{U_0} \quad (11)$$

LEDs	$e \cdot U_0 [10^{-19} \text{ J}]$
cyan	$1,34 \pm 0,16$
rot	$0,79 \pm 0,09$
lila	$2,00 \pm 0,14$
blau	$1,73 \pm 0,13$
violett	$2,20 \pm 0,15$
grün	$1,19 \pm 0,11$
orange	$0,87 \pm 0,06$

Tabelle 10: Energien $e \cdot U_0$ die dem Elektron im elektrischen Feld zwischen Anode und Kathode zugeführt wird.

Trägt man die obigen Werte der Energien aus [Tabelle 10](#) über den Frequenz der jeweiligen LEDs (vgl. [Tabelle 6](#)) auf, so wird nach [Gleichung 2](#) ein linearer Zusammenhang erwartet. Der y-Achsenabschnitt sollte hierbei der negativen Auslöserarbeit $-\phi$ entsprechen und die Steigung dem Planckschen Wirkungsquantum h :

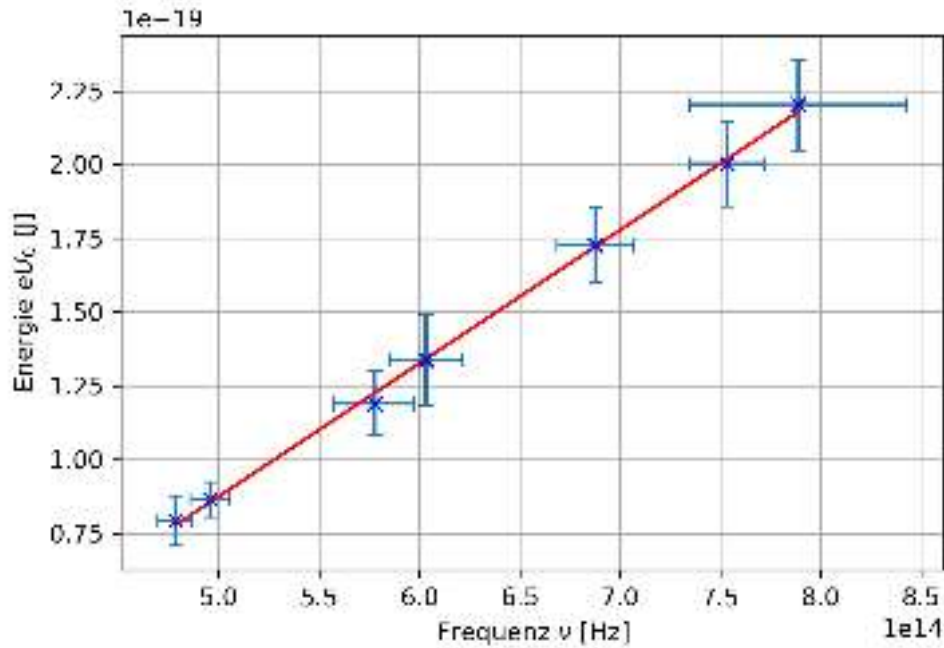


Abbildung 6: Energi $e \cdot U_0$ aufgetragen gegen die Frequenz ν der LEDs, mit durchgeführter linearer Regression und eingezeichneten Fehlerbalken

Aus der linearen Regression wurden folgende Werte erhalten:

$$h = (4,51 \pm 0,08) \cdot 10^{-34} \text{ J s} \quad (12)$$

$$\phi = (1,38 \pm 0,08) \cdot 10^{-19} \text{ J} \quad (13)$$

5.4 Siliziumsolarzelle

Die durch quadratische Addition erhaltenen Unsicherheiten für die Messwerte aus [Tabelle 4](#) und [Tabelle 5](#) sind in folgenden Tabellen mit den Messwerten angegeben:

U[V]	I[A]
1.98 ± 0.01	163 ± 3
1.91 ± 0.01	100 ± 3
1.87 ± 0.01	65 ± 2
1.86 ± 0.01	55 ± 2
1.83 ± 0.01	38 ± 2
1.8 ± 0.01	24 ± 2
1.78 ± 0.01	13 ± 2
1.7 ± 0.01	3 ± 2
1.56 ± 0.01	0 ± 2

Tabelle 11: Messwerte mit Unsicherheiten für Spannung und Strom mit Verbraucher (LED)

U[V]	I[A]
0.103 ± 0.001	63 ± 2
0.085 ± 0.001	53 ± 2
0.05 ± 0.001	42 ± 2
0.04 ± 0.001	34 ± 2
0.033 ± 0.001	28 ± 2
0.021 ± 0.001	18 ± 2
0.014 ± 0.001	12 ± 2
0.008 ± 0.001	7 ± 2
0.002 ± 0.001	2 ± 2

Tabelle 12: Messwerte mit Unsicherheiten für Spannung und Strom ohne Verbraucher (Brücke)

Im folgenden Schaubild sind für die Messwerte der beiden Messreihen, die mit der Solarzelle durchgeführt wurden, in dem die Stromstärke gegenüber der Spannung aufgetragen ist. Zusätzlich wurde für die Messreihe mit LED die Leistung durch [Gleichung 3](#) berechnet und eingezeichnet.

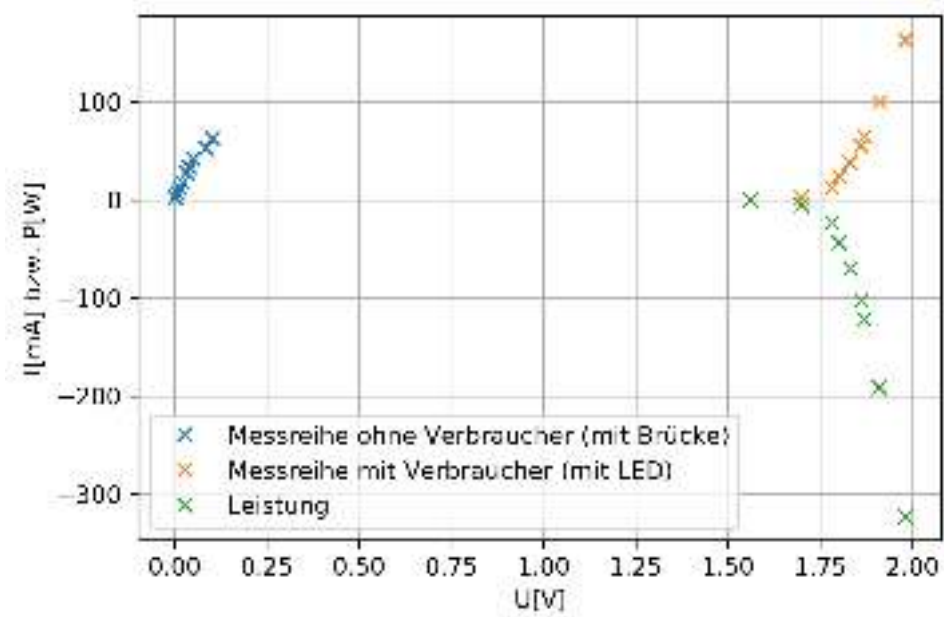


Abbildung 7: Strom-Spannungs-Kennlinien, sowie Leistungs-Spannungs-Kennlinie der Messungen mit einer Siliziumsolarzelle

Die Leerlaufspannung U_{oc} liegt dann vor, wenn die gemessene Stromstärke verschwindet, also nach [Tabelle 11](#) bei:

$$U_{oc} = (1,56 \pm 0,01) \text{ V} \quad (14)$$

6 Diskussion

6.1 Kennlinien für verschiedene Intensitäten

Vergleicht man die verschiedenen Strom-Spannungs-Kennlinien aus [Abbildung 3](#), so stellt man fest, dass für höhere Lichtintensität bei gleicher Spannung eine höhere Stromstärke gemessen wird. Dies bestätigt die Vermutung, dass höhere Lichtintensität die Anzahl an gelösten Elektronen erhöht. Außerdem fällt auf, dass die erwartete „S-förmige“ Kurve vor allem für schwache Intensitäten gut zu erkennen ist. Dies liegt daran, dass die Sättigung bei kleinerer Intensität schneller sichtbar wird, was vermutlich an der kleineren Anzahl gelöster Elektronen liegt.

Die Grenzspannung ist für alle drei Intensitäten, wie erwartet, die gleiche, da die Energien der gelösten Elektronen nicht von der Intensität, sondern nur von der Wellenlänge des benutzten Lichts abhängt, wie auch in [Gleichung 1](#) schnell ersichtlich wird.

Zusammenfassend lässt sich also festhalten, dass die Intensität nicht die Energie der gelösten Elektronen, sondern nur die Anzahl verändert, was auch auf einen Teilchencharakter von Licht hindeutet. Es ergibt anschaulich Sinn, dass eine größere Anzahl an Photonen nur eine größere Anzahl an Elektronen löst und nicht ihre Energie verändert. Betrachtet man Licht allerdings als Welle, so ist nicht ersichtlich, warum die maximale Energie der Photoelektronen bei steigender Intensität konstant ist.

6.2 Kennlinien für verschiedene Frequenzen

In den Ergebnissen wurde deutlich, dass bei Licht mit höheren Frequenzen die Grenzspannung U_0 größer wird. Betrachtet man Licht als Photonenstrom, so ist dieser durch die zunehmende der Energie der einzelnen Photonen und infolgedessen auch die kinetische Energie der herausgelösten Photoelektronen steigt. Bei größerer kinetischer Energie wird dann eine größere Grenzspannung gemessen. Die Ergebnisse können also mit der Teilchenstromanschauung des Lichts erklärt werden. Betrachtet man Licht als Welle kann die beschriebene Frequenzabhängigkeit nicht erklärt werden.

6.3 Bestimmung des Planckschen Wirkungsquantum

Nach Quelle [1] lautet der Literaturwert für das Plancksche Wirkungsquantum.

$$h_{\text{lit}} = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J s} \quad (15)$$

Der aus unseren Messwerten berechnete Wert ist nach [Gleichung 12](#):

$$h = (4,51 \pm 0,08) \cdot 10^{-34} \text{ J s} \quad (16)$$

Vergleicht man die beiden Werte in Einheiten der Standardunsicherheit, so ergibt sich ein Wert von:

$$t = \frac{|h_{\text{lit}} - h|}{s_h} = 26 \quad (17)$$

Die beiden Werte sind demnach nicht miteinander verträglich. Da in [Abbildung 6](#) allerdings ein klarer linearer Verlauf sichtbar ist, der sich auch in der kleinen Unsicherheit der Steigung der Ausgleichsgeraden (h) widerspiegelt, scheinen systematische Fehler im Versuchsdurchführung aufgetreten zu sein. Eine mögliche Ursache hierfür könnte die Nutzung von zwei Digitalmultimetern im Stromkreis sein. Damit das Ampère und das Voltmeter keinen Einfluss auf die Messergebnisse haben, muss der Innenwiderstand verschwinden (Ampèremeter) bzw. unendlich groß werden (Voltmeter). Da diese Idealisierung in der Realität allerdings nicht erfüllt wird, was zu systematischen Fehlern der gemessenen Stromstärken und Spannungen führt. Die Hintergrundbeleuchtung scheint allerdings keinen Einfluss auf Wert für h zu haben, da diese nur zu einer Verschieben der Ausgleichsgerade in [Abbildung 6](#) führen würde und nicht die Steigung beeinflusst. Daraus lässt sich schließen, dass der Versuch keine genaue Methode liefert um das Plancksche Wirkungsquantum zu bestimmen.

6.4 Solarzelle

In [Abbildung 7](#) wird deutlich, dass nur einzelne Ausschnitte der Spannungs-Strom-Kennlinien gemessen wurden.

Die Messreihe mit LED setzt erst bei der Leerlaufspannung U_{oc} ein. Der Verlauf der Stromstärke und der Leistung entsprechen in diesem Bereich aber dem erwarteten Verlauf.

Die Messung ohne Verbraucher entspricht nicht dem erwarteten Verlauf (Nulllinie). Dies könnte dadurch erklärt werden, dass die verwendete Brücke einen signifikanten Innenwiderstand hat, wodurch nach $U = R \cdot I$ ein linearer Verlauf erwartet wird, der sich im Schaubild für kleine Spannungen widerspiegelt.

Der Versuchsaufbau scheint aufgrund der großen Lücken und der fehlerhaften Kennlinie nicht dafür geeignet zu sein, die gesamten Strom-Spannungs-Kennlinien aufzunehmen.

7 Anhang



Abbildung 8: Laborheftseite1

Intensität U=2,5V U=2,5V			
U [V]	I [mA]	U [V]	I [mA]
0,01	0,035	-0,01	0,034
0,43	0,059	-0,26	0,021
0,82	0,088	-0,42	0,013
1,21	0,111	-0,60	0,006
1,84	0,138	-0,71	0,002
2,32	0,161	-0,81	0,001
2,69	0,177	-0,89	0,000
3,04	0,192		
3,50	0,205		
4,08	0,227		
4,63	0,242		
5,08	0,254		
5,81	0,272		

Intensität U=2V			
U [V]	I [mA]	U [V]	I [mA]
0,01	0,018	-0,01	0,018
0,41	0,030	-0,25	0,011
0,68	0,037	-0,42	0,006
0,94	0,043	-0,61	0,002
1,20	0,048	-0,69	0,001
1,73	0,056	-0,74	0,000
2,02	0,060		
2,50	0,064		
3,03	0,068	4,44	0,075
3,465	0,071	5,01	0,077
3,98	0,073	5,36	0,080

Abbildung 9: Laborheftseite2

rot LED: $\lambda \approx 630$		rot LED: $\lambda \approx 630$	
U [V]	I [mA]	U [V]	I [mA]
0,01	0,044	-0,01	0,046
-0,01	0,042	-0,20	0,008
-0,26	0,031	-0,35	0,002
-0,52	0,020	-0,38	0,001
-0,70	0,013	-0,40	0,001
-0,96	0,005	-0,45	0,000
-1,04	0,003		
-1,17	0,001		
-1,22	0,001		
-1,32	0,000		

rot LED: $\lambda \approx 630$		blau LED: $\lambda \approx 430$	
U [V]	I [mA]	U [V]	I [mA]
-0,01	0,046	-0,01	0,018
-0,16	0,013	-0,17	0,014
-0,30	0,010	-0,25	0,012
-0,58	0,005	-0,46	0,008
-0,83	0,002	-0,60	0,005
-0,96	0,001	-0,55	0,003
-1,07	0,000	-0,76	0,002
-0,88	0,001	-0,82	0,001
-1,00	0,001	-0,85	0,001
-1,01	0,001	-0,95	0,000

Abbildung 10: Laborheftseite3

blauer LED $\lambda = 360\text{nm}$		grüne LED $\lambda = 515\text{nm}$	
U[V]	I[mA]	U[V]	I[mA]
-0,01	0,017	-0,01	0,018
-0,23	0,013	-0,12	0,014
-0,38	0,011	-0,36	0,006
-0,62	0,007	-0,60	0,001
-0,70	0,005	-0,66	0,000
-0,86	0,003	-0,43	0,004
-0,88	0,002	-0,55	0,002
-1,05	0,001		
-1,08	0,001		
-1,12	0,001		
-1,20	0,000		

orange LED $\lambda = 640\text{nm}$	
U[V]	I[mA]
-0,01	0,016
-0,16	0,010
-0,24	0,006
-0,46	0,001
-0,47	0,000
-0, 24 31	0,004

Abbildung 11: Laborheftseite4

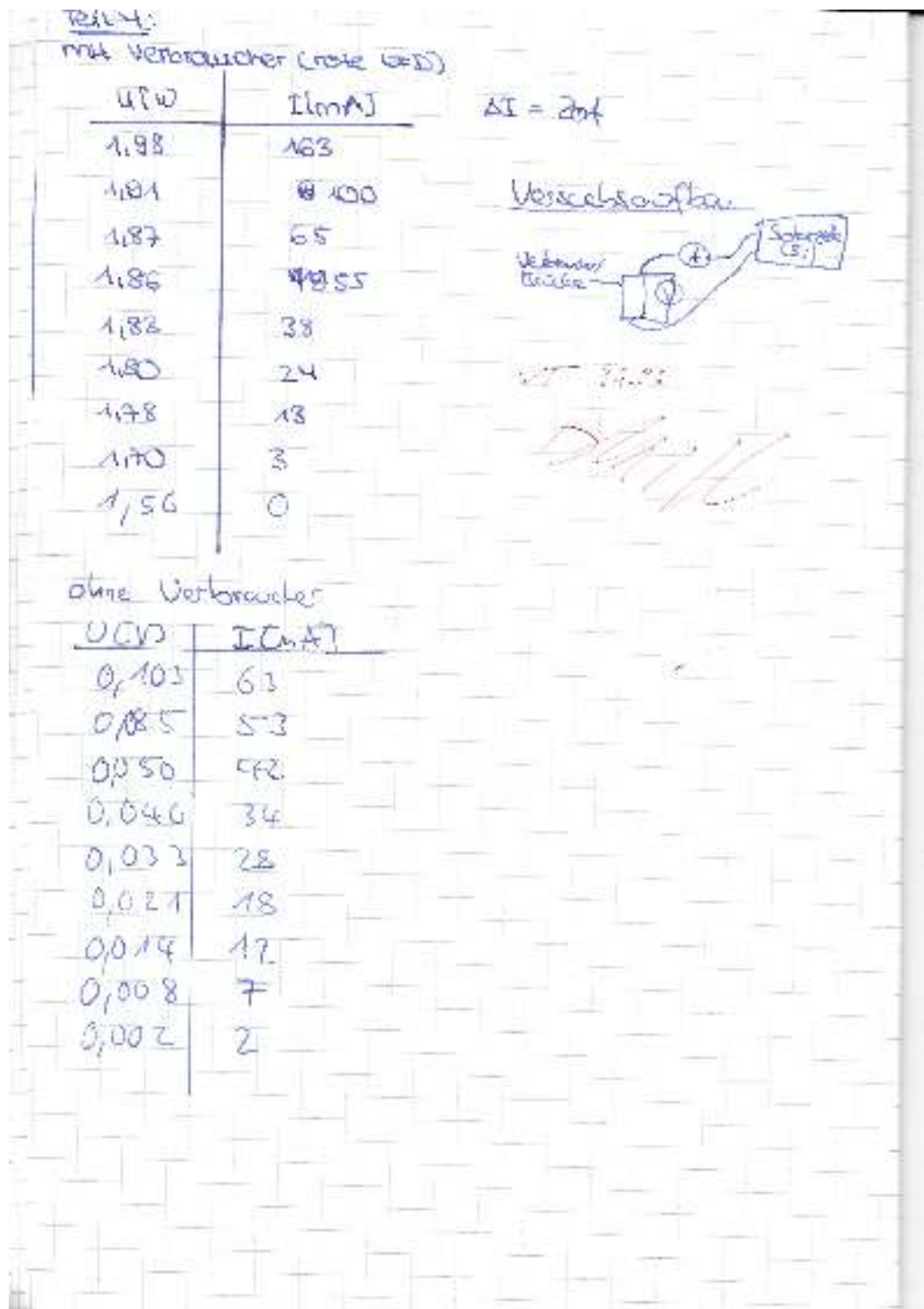


Abbildung 12: Laborheftseite5

8 Literaturverzeichnis

[1] Versuchsanleitungen, Physik Labor für Anfänger Teil 2, Universität Freiburg

[2] Lichtgeschwindigkeit, Wikipedia, 07.03.2020

<https://de.wikipedia.org/wiki/Lichtgeschwindigkeit>

[3] Elementarladung, Wikipedia, 07.03.2020

<https://de.wikipedia.org/wiki/Elementarladung>