

Praktikum Physik  
Versuch 3.2: pn-Übergang und Solarzelle

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Theorie</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Häusliche Vorarbeit</b>	<b>4</b>
3.1	An welchen Stellen des I-U Diagramms wird eine höhere Dichte an Messwerten benötigt?	4
3.2	I-U Diagramme für eine unbeleuchtete und beleuchtete Solarzelle . . . . .	5
3.3	Einfluss der Widerstände auf den Füllfaktor . . . . .	5
3.4	Aktueller Stand der Technik bei Solarzellen . . . . .	5
<b>4</b>	<b>Aufbau und Durchführung</b>	<b>6</b>
4.1	Aufbau . . . . .	6
4.2	Durchführung . . . . .	7
<b>5</b>	<b>Auswertung Versuch</b>	<b>8</b>
<b>6</b>	<b>Wertung/Fazit</b>	<b>10</b>
<b>7</b>	<b>Anhang</b>	<b>11</b>
<b>8</b>	<b>Literatur</b>	<b>14</b>

## 1 Einleitung

In der folgenden Ausarbeitung wird die Funktionsweise einer Solarzelle anhand des Versuches „pn-Übergang und Solarzelle“ messtechnisch untersucht. Der Versuch behandelt den Unterschied einer unbeleuchteten und einer beleuchteten Solarzelle. Die Ergebnisse werden graphisch und rechnerisch ausgewertet.

## 2 Theorie

TODO

### 3 Häusliche Vorarbeit

#### 3.1 An welchen Stellen des I-U Diagramms wird eine höhere Dichte an Messwerten benötigt?

Am Anfang der Kennlinie von  $-2V$  bis  $0V$  ist der Verlauf relativ linear. Dadurch werden theoretisch nur zwei Messwerte und praktisch nur wenige Messwerte benötigt. Das liegt daran, dass die Diode für diesen Fall in Sperrrichtung geschaltet ist und die Spannung am parallelgeschalteten Widerstand  $r_{sh}$  abfällt (siehe Abbildung 1). Ab  $0V$  wird die Diode nicht mehr in Sperrrichtung sondern in Flussrichtung geschaltet, wodurch der Anteil des Stromes der durch die Diode fließt zunimmt. Da die Kennlinie der Diode exponentiell verläuft und der größte Teil der Spannung nun an der Diode abfällt, muss die Anzahl der Messwerte deutlich erhöht werden.

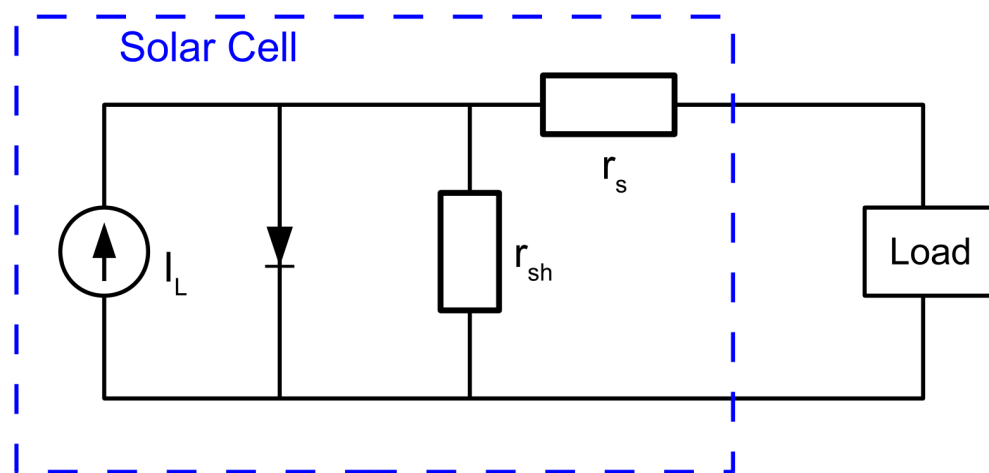


Abbildung 1: Ersatzschaltbild der Solarzelle

### 3.2 I-U Diagramme für eine unbeleuchtete und beleuchtete Solarzelle

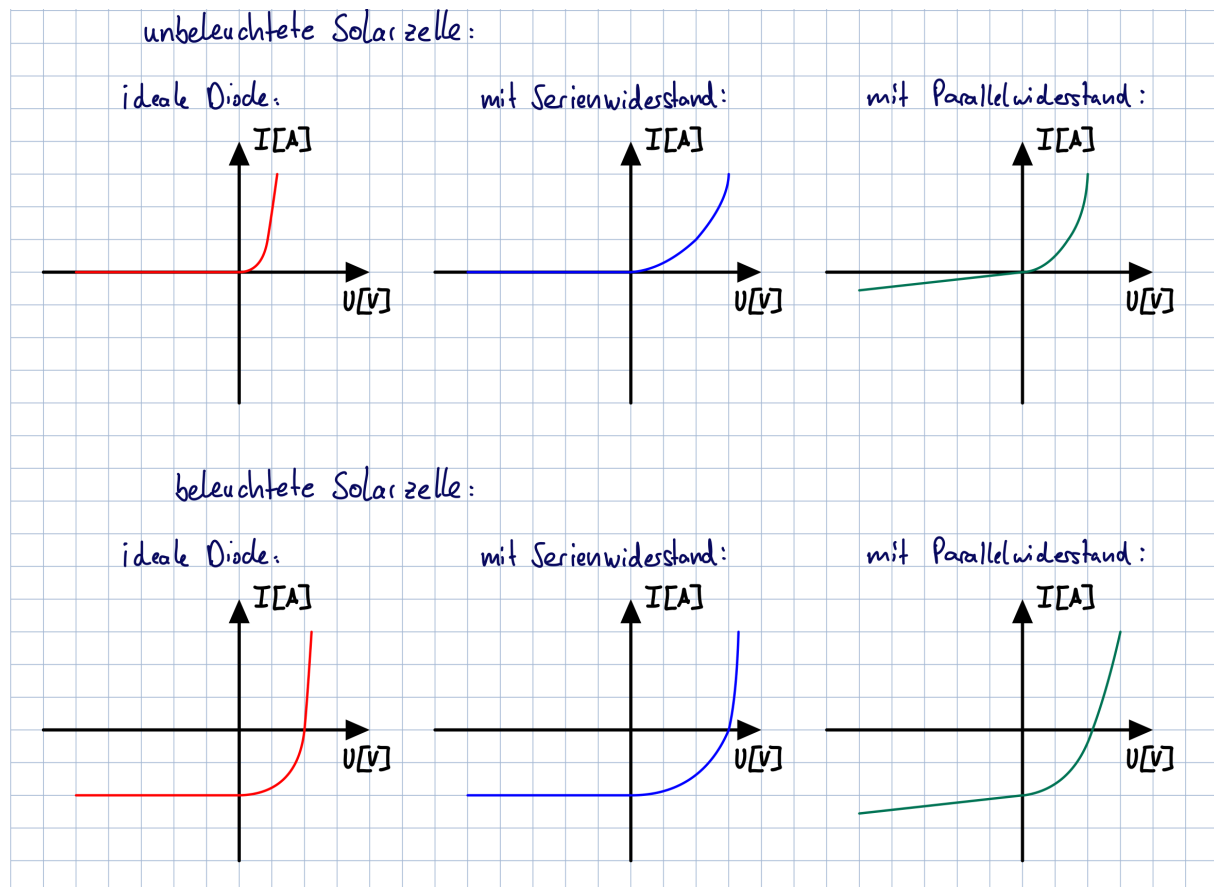


Abbildung 2: Kennlinien für beleuchtete- und unbeleuchtete Solarzelle

### 3.3 Einfluss der Widerstände auf den Füllfaktor

Je größer der Füllfaktor wird, desto mehr ähnelt die Kennlinie einer idealen Stromquelle. Das heißt die Solarzelle wird effizienter, je näher der Füllfaktor am Wert 1 liegt. Dies wäre der Fall, wenn der Serienwiderstand gegen 0  $\lim_{r_s \rightarrow 0}$  und der Parallelwiderstand gegen unendlich ginge  $\lim_{r_{sh} \rightarrow \infty}$  (siehe Abbildung 1).

### 3.4 Aktueller Stand der Technik bei Solarzellen

Solarzellen bestehen zum größten Teil aus p-dotiertem und n-dotiertem Silizium. Es wird vor Allem wegen der hohen Verfügbarkeit auf der Erde verwendet. Man unterscheidet zwischen polykristallinen- und monokristallinen Zellen. Polykristalline Zellen werden aus Silizium gegossen und haben einen Wirkungsgrad von 12-16%. Monokristalline Zellen werden aus gezüchtetem Silizium gebaut, wodurch die Herstellung teurer ist. Dafür wird ein höhere Effizienz von 14-20% erreicht. Der typische Füllfaktor liegt zwischen 0,5 und 0,7.

## 4 Aufbau und Durchführung

### 4.1 Aufbau

Der Versuchsaufbau ist in Abbildung 3 dargestellt.

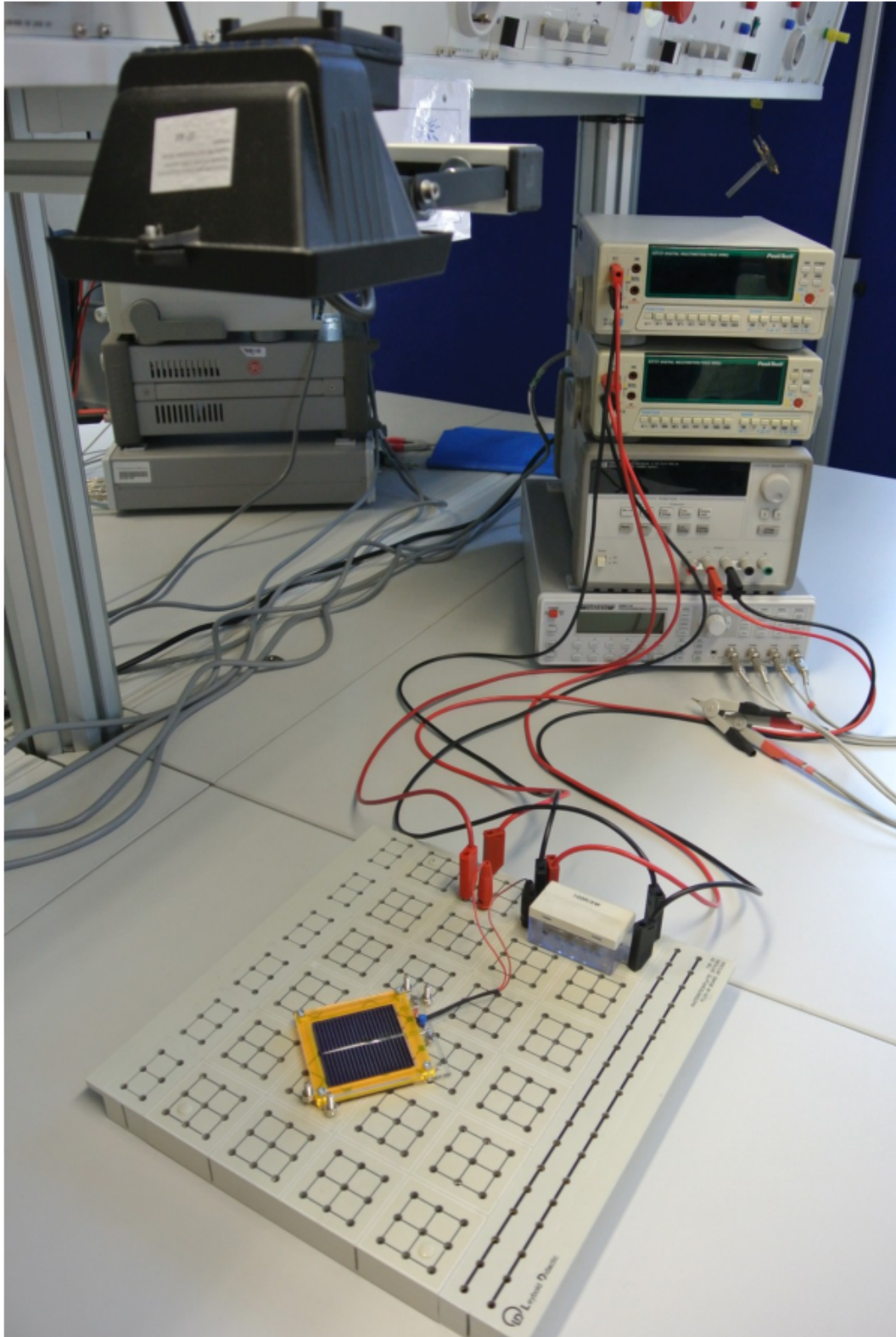


Abbildung 3: Versuchsaufbau

## 4.2 Durchführung

Die Schaltung wird wie in Abbildung 4 zu sehen aufgebaut. Zuerst wird der Versuch mit abgedeckter Solarzelle durchgeführt. Man misst für verschiedene Spannungen  $U_d$  von  $-2,0V$  bis  $0,6V$  die Spannung  $U_R$ . Dadurch lässt sich der Diodenstrom  $I_d$  berechnen. Mit den Strom- und Spannungswerten lässt sich nun die U-I Kennlinie der Diode zeichnen. Danach wird der Versuch nochmal mit beleuchteter Solarzelle wiederholt.

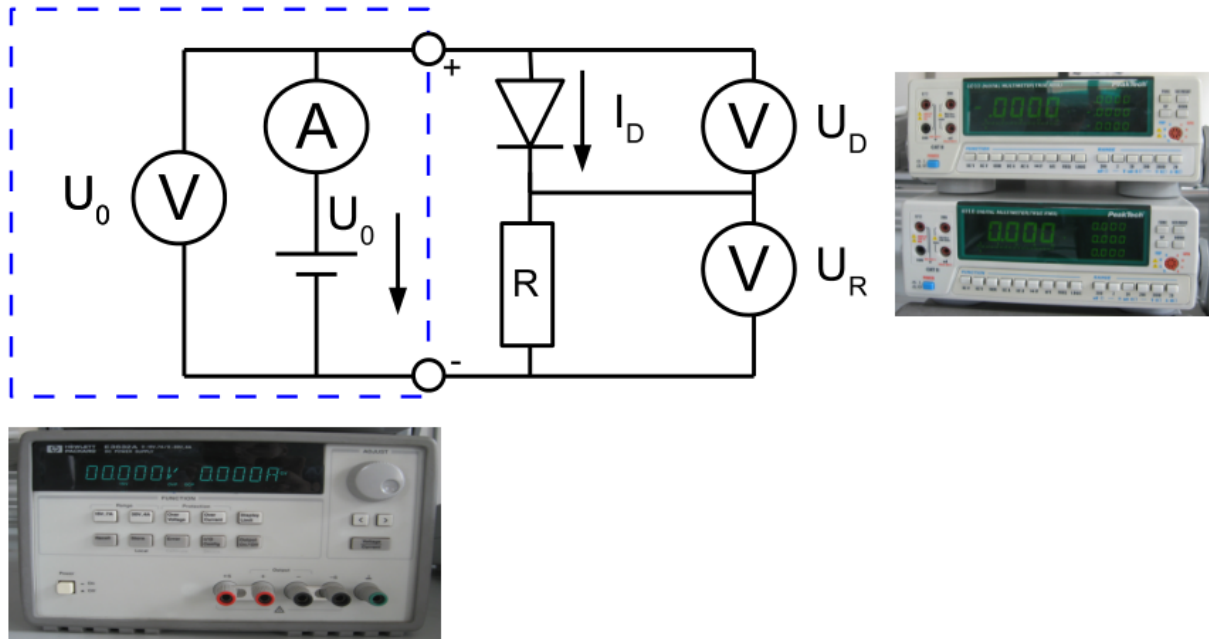


Abbildung 4: Schaltplan

## 5 Auswertung Versuch

Die Kapazität  $C_s$  beträgt:  $924,63 \text{ nF}$ . Die Standardabweichung wird auf  $1 \text{ nF}$  geschätzt.

$$C_s = (925,0 \pm 1,0) \text{ nF}$$

Die Solarzelle hat eine quadratische Grundfläche  $A$  mit einer Seitenlänge ( $l$ ) von  $(52,5 \pm 0,5) \text{ mm}$ .

$$\begin{aligned} A &= l^2 \\ &= (52,5 \text{ mm})^2 \\ &= 2756,25 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\frac{\partial A}{\partial l} = 2l \quad (5.0.1)$$

$$\begin{aligned} U_a &= \left| \frac{\partial A}{\partial l} \right| \cdot U_l = 52,5 \text{ mm}^2 \\ A &= (2756 \pm 53) \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Die Kapazität eines Plattenkondensators mit gegebenem  $\epsilon_r = 11,9$  lässt sich berechnen mit:

$$\begin{aligned} C &= \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot \frac{A}{d} \\ d &= \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot \frac{A}{C} \\ &= 8,854 \cdot 10^{-12} \frac{\text{As}}{\text{Vm}} \cdot 11,9 \cdot \frac{2756,26 \text{ mm}^2}{924,64 \text{ nF}} \\ &= 314,082 \text{ nm} \end{aligned}$$

$$\frac{\partial d}{\partial A} = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot \frac{1}{C} \quad \frac{\partial d}{\partial C} = -\epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot \frac{A}{C^2} \quad (5.0.2)$$

$$U_d = \left| \frac{\partial d}{\partial A} \right| \cdot U_A + \left| \frac{\partial d}{\partial C} \right| \cdot U_C = 6,3222 \text{ nm}$$

$$d = (314,1 \pm 6,4) \text{ nm}$$

Folgende Größen lassen sich in der Abbildung 6 oder der Tabelle 2 im Anhang (Abschnitt 7) ablesen:

Die Leerlaufspannung $U_{OC}$ beträgt:	$0,52 \text{ V}$
Der Kurzschlussstrom $I_{SC}$ beträgt:	$-0,064333 \text{ A}$
Die maximale Leistung $P_{max}$ beträgt:	$-0,024296 \text{ W}$

Der Füllfaktor lässt sich durch die Gleichung ?? berechnen:

$$FF = \frac{-0,024296 \text{ W}}{0,52 \text{ V} \cdot (-0,064333 \text{ A})} = 0,72625$$



Messunsicherheit Multimeter geschätzt:

$$U_M = \pm 0,01 \text{ V}$$

$$U_{OC} = (0,52 \pm 0,01) \text{ V}$$

$$U_R = (-9,65 \pm 0,01) \text{ V}$$

Messunsicherheit vom Widerstand  $R_{SC}$ :

$$R = (150 \pm 10) \Omega$$

Die Messunsicherheit für  $I_{SC}$  berechnet sich wie folgt:

$$I_{SC} = \frac{U_R}{R}$$

$$\frac{\partial I_{SC}}{\partial U_R} = \frac{1}{R} \qquad \frac{\partial I_{SC}}{\partial R} = -\frac{U_R}{R^2} \qquad (5.0.3)$$

$$U_{I_{SC}} = \left| \frac{\partial I_{SC}}{\partial U_R} \right| \cdot U_{U_R} + \left| \frac{\partial I_{SC}}{\partial R} \right| \cdot U_R = 0,00435 \text{ A}$$

$$I_{SC} = (-0,0643 \pm 0,0044) \text{ A}$$

Die Messunsicherheit für  $P_{max}$  berechnet sich wie folgt:

$$P_{max} = U_{OC} \cdot I_{SC}$$

$$\frac{\partial P_{max}}{\partial U_{OC}} = I_{SC} \qquad \frac{\partial P_{max}}{\partial I_{SC}} = U_{OC} \qquad (5.0.4)$$

$$U_{P_{max}} = \left| \frac{\partial P_{max}}{\partial U_{OC}} \right| \cdot U_{U_{OC}} + \left| \frac{\partial P_{max}}{\partial I_{SC}} \right| \cdot U_{I_{SC}} = 0,0029313 \text{ W}$$

$$P_{max} = (-0,0243 \pm 0,0030) \text{ W}$$

Die Messunsicherheit für den Füllfaktor  $FF$  berechnet sich wie folgt:

$$\frac{\partial FF}{\partial P_{max}} = \frac{1}{U_{OC} \cdot I_{SC}} \qquad \frac{\partial FF}{\partial U_{SC}} = -\frac{P_{max}}{U_{SC}^2 \cdot I_{SC}} \qquad \frac{\partial FF}{\partial I_{SC}} = -\frac{P_{max}}{U_{SC} \cdot I_{SC}^2} \qquad (5.0.5)$$

$$U_{FF} = \left| \frac{\partial FF}{\partial P_{max}} \right| \cdot U_{P_{max}} + \left| \frac{\partial FF}{\partial U_{SC}} \right| \cdot U_{U_{SC}} + \left| \frac{\partial FF}{\partial I_{SC}} \right| \cdot U_{I_{SC}} = 0,1533$$

$$FF = (0,73 \pm 0,16)$$

## 6 Wertung/Fazit

Der aus den Messwerten berechnete Füllfaktor liegt mit Ungenauigkeit im realistischen Bereich. Durch die von uns sehr klein gewählte Schrittweite der Messwerte ist es uns gelungen eine nah an der Theorie liegende U-I Kennlinie zu zeichnen. Das Ergebnis des Versuchs ist alles in allem zufriedenstellend.

## 7 Anhang

Ud	I	Ur
-2,000000	-0,000287	-0,043000
-1,000000	-0,000107	-0,016000
0,000000	0,000000	0,000000
0,020000	0,000004	0,000630
0,030000	0,000007	0,001030
0,040000	0,000010	0,001430
0,050000	0,000013	0,001940
0,060000	0,000016	0,002450
0,070000	0,000021	0,003100
0,080000	0,000026	0,003850
0,090000	0,000031	0,004670
0,100000	0,000037	0,005610
0,110000	0,000044	0,006670
0,120000	0,000052	0,007850
0,130000	0,000061	0,009180
0,140000	0,000072	0,010820
0,150000	0,000083	0,012450
0,160000	0,000097	0,014550
0,170000	0,000112	0,016780
0,180000	0,000128	0,019230
0,190000	0,000149	0,022290
0,200000	0,000170	0,025500
0,210000	0,000192	0,028850
0,220000	0,000220	0,033000
0,230000	0,000251	0,037680
0,240000	0,000285	0,042730
0,250000	0,000324	0,048560
0,260000	0,000369	0,055370
0,270000	0,000421	0,063170
0,280000	0,000474	0,071060
0,290000	0,000542	0,081320
0,300000	0,000612	0,091850
0,310000	0,000691	0,103600
0,320000	0,000789	0,118390
0,330000	0,000913	0,137020
0,340000	0,001047	0,157040
0,350000	0,001213	0,181930
0,360000	0,001401	0,210200
0,370000	0,001637	0,245500
0,380000	0,001906	0,285900
0,390000	0,002240	0,336000
0,400000	0,002641	0,396100
0,410000	0,003170	0,475500
0,420000	0,003774	0,566100
0,430000	0,004571	0,685700
0,440000	0,005630	0,844500
0,450000	0,006834	1,025100
0,460000	0,008308	1,246200
0,470000	0,010369	1,555300
0,480000	0,013100	1,965000
0,490000	0,016633	2,495000
0,500000	0,021040	3,156000
0,510000	0,027493	4,124000
0,520000	0,035027	5,254000
0,530000	0,045420	6,813000
0,540000	0,059007	8,851000
0,550000	0,076933	11,540000
0,560000	0,098853	14,828000
0,570000	-	-
0,580000	-	-
0,590000	-	-
0,600000	-	-

Tabelle 1: Messwerte Solarzelle unbeleuchtet

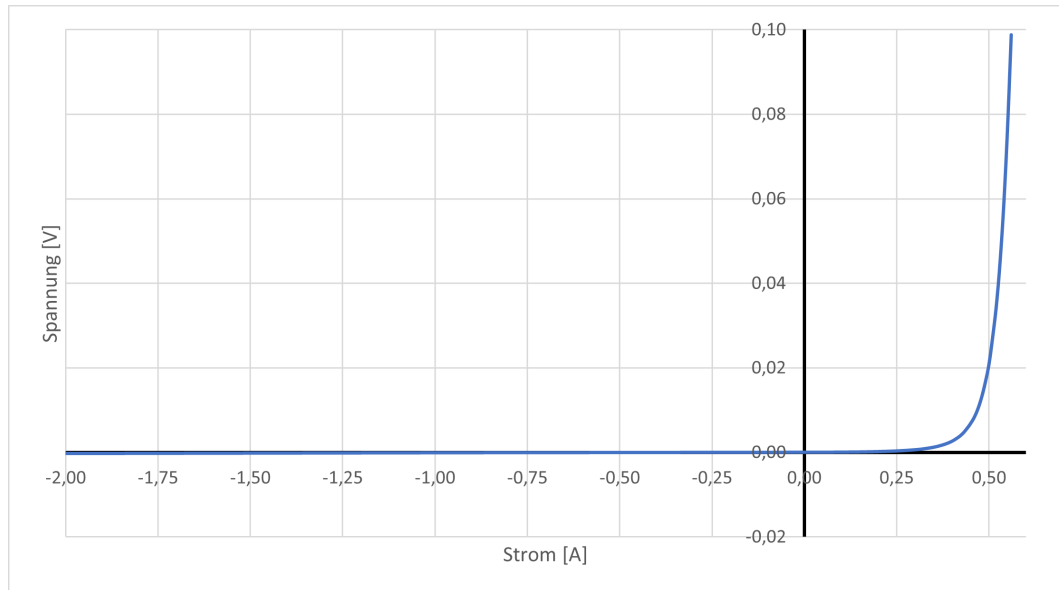


Abbildung 5: Diagramm Solarzelle unbeleuchtet

Ud	I	Ur	Pmax
-2,000000	-0,065000	-9,750000	0,130000
-1,000000	-0,065000	-9,750000	0,065000
0,000000	-0,064333	-9,650000	0,000000
0,020000	-0,063933	-9,590000	-0,001279
0,040000	-0,064093	-9,614000	-0,002564
0,060000	-0,063860	-9,579000	-0,003832
0,080000	-0,063933	-9,590000	-0,005115
0,100000	-0,063713	-9,557000	-0,006371
0,120000	-0,063513	-9,527000	-0,007622
0,140000	-0,063533	-9,530000	-0,008895
0,160000	-0,063480	-9,522000	-0,010157
0,180000	-0,063420	-9,513000	-0,011416
0,200000	-0,063127	-9,469000	-0,012625
0,220000	-0,063180	-9,477000	-0,013900
0,240000	-0,063000	-9,450000	-0,015120
0,260000	-0,062853	-9,428000	-0,016342
0,280000	-0,062800	-9,420000	-0,017584
0,300000	-0,062367	-9,355000	-0,018710
0,320000	-0,062040	-9,306000	-0,019853
0,340000	-0,061587	-9,238000	-0,020939
0,360000	-0,061320	-9,198000	-0,022075
0,380000	-0,060773	-9,116000	-0,023094
0,400000	-0,059573	-8,936000	-0,023829
0,420000	-0,057847	-8,677000	-0,024296
0,440000	-0,054487	-8,173000	-0,023974
0,460000	-0,049507	-7,426000	-0,022773
0,480000	-0,040187	-6,028000	-0,019290
0,500000	-0,023253	-3,488000	-0,011627
0,520000	0,001140	0,171000	0,000593
0,540000	0,048300	7,245000	0,026082
0,560000	0,098840	14,826000	0,055350
0,580000	-	-	-
0,600000	-	-	-

Tabelle 2: Messwerte Solarzelle unbeleuchtet

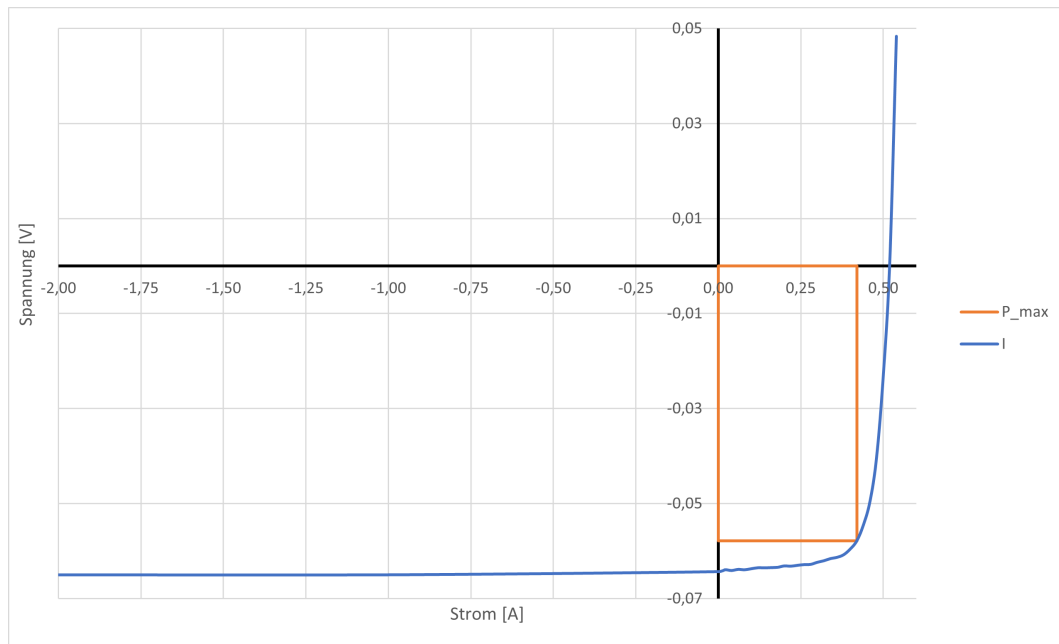


Abbildung 6: Diagramm Solarzelle unbeleuchtet

## **8 Literatur**

[1]