

# I-U-Kennlinien von Halbleitern und Solarzellen

Benjamin Bürger & Philipp Riedl

18.01.2016

## Inhaltsverzeichnis

1	Diode	2
2	Bipolartransistor	5
3	Feldeffekttransistor	7
4	Solarzelle	8

# 1 Diode

Die *Diodengleichung* ist, wie im Kolloquium besprochen

$$I = I_S \left( \exp \left[ \frac{eU}{nk_B T} \right] - 1 \right) \quad (1.1)$$

Dabei ist  $I_S$  der Sättigungsstrom,

$e$  die Elementarladung,

$U$  die Spannung,

$1 \leq n \leq 2$  der Idealitätsfaktor,

$k_B = 1.3806504 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$  die Boltzmann-Konstante und  $T \approx 300 \text{ K}$  die Temperatur

Zuerst haben wir durch manuelles Regeln der Spannung vom Computer das Verhalten der Diode in Sperr- und Durchlassrichtung beobachtet. Dabei haben wir ermittelt ab welchen Werten der Spannung ein maximaler Strom von 100mA durch die Diode fließt. Anschließend haben wir von LabView alle dazwischen liegenden Spannungen abtasten lassen. Der Plot der Diodenkennlinie ist in Abb.1 zu sehen.

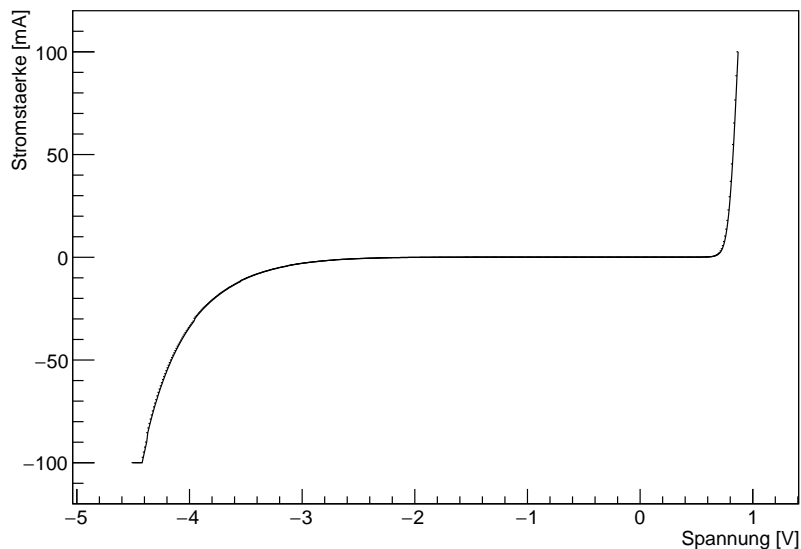


Abbildung 1: Kennlinie der Diode

Ein Fit mit der Diodengleichung durch ROOT ergab einen Sättigungsstrom von  $I_S = (8.02362 \pm 1.06971) \cdot 10^{-6} \text{ mA}$  und einen Idealitätsfaktor von  $2.05119 \pm$

0.0170711. In Abb.2 kann man sehen, dass unser Fit fast perfekt auf unsere Messung passt.

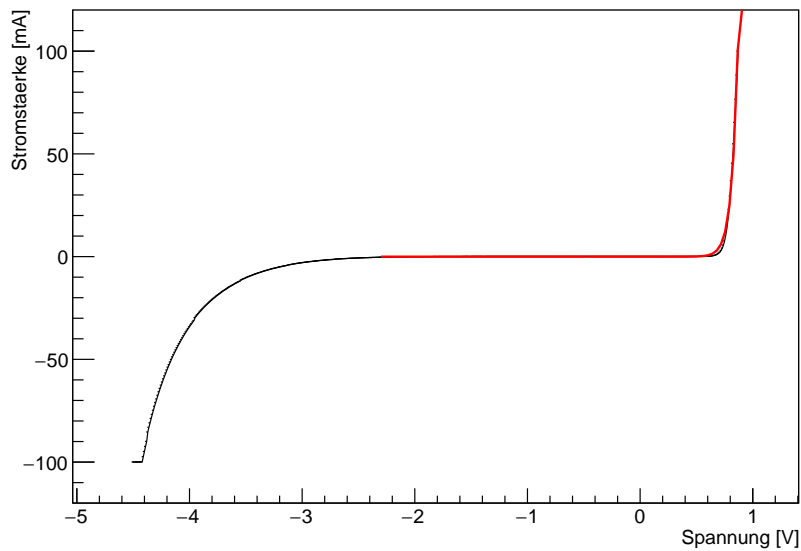


Abbildung 2: Kennlinie der Diode mit Fit (rot)

Danach haben wir einen linearen Fit gemacht, um die Durchbruchspannung zu ermitteln (vgl. Abb.3). Sie ist genau der Nulldurchgang der Funktion  $(99.8388 \pm 3.12753) \frac{V}{mA} \cdot x + (357.991 \pm 12.6134) mA$ . Sie beträgt  $-3.615V$ .

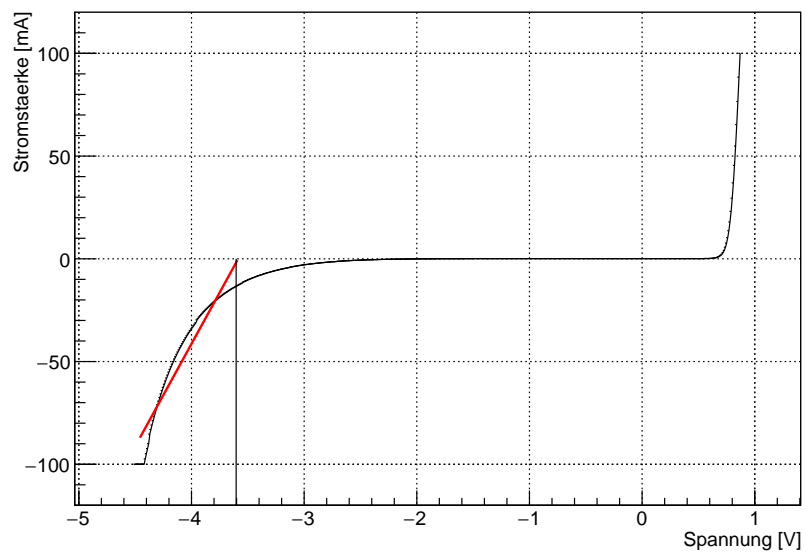


Abbildung 3: Kennlinie der Diode mit linearem Fit (rot)

Bei dem Diodentyp, kann es sich nur um eine Zener-Diode handeln. Dafür sprechen zum einen die niedrige Durchbruchspannung von  $-3.615V$ , normale Gleichrichter-Dioden haben wesentlich höhere Durchbruchspannungen, zum anderen, dass sie bei der Messung keinen bleibenden Schaden davon getragen hat. Zener-Dioden sind dafür ausgelegt, einen Durchbruch in Sperrrichtung zu 'überleben'. Alle anderen Diodentypen sind sehr empfindlich gegen Umpolung und werden dabei in der Regel sofort zerstört. Unsere Diode hingegen hat  $100mA$  in Sperrrichtung ausgehalten.

## 2 Bipolartransistor

Für einen Bipolartransistor können insgesamt vier relevante Kennlinien aufgenommen werden. Die Steigung der Kennlinien an einem bestimmten Arbeitspunkt definiert die jeweiligen Vierpolparameter. Die gemessenen Kennlinien sind in Abbildung 4 zu sehen. Zur Bestimmung der Vierpolparameter wurde der Arbeitspunkt  $U_{CE} = 4V$  und  $I_B = 0,2mA$  gewählt. Für den Kollektorstrom folgt damit  $I_C = 44,922mA$  und für die Basis-Emitter Spannung  $U_{BE} = 0,654V$ . Durch einen linearen Fit an den Messwerten an dieser Stelle erhält man die folgenden Werte

$$h_{11} = \frac{\Delta U_{BE}}{\Delta I_B} = 190\Omega$$

$$h_{12} = \frac{\Delta U_{BE}}{\Delta U_{CE}} = -0,00791$$

$$h_{21} = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B} = 168,95$$

$$h_{22} = \frac{\Delta I_C}{\Delta U_{CE}} = 0.00137 \frac{1}{\Omega}$$

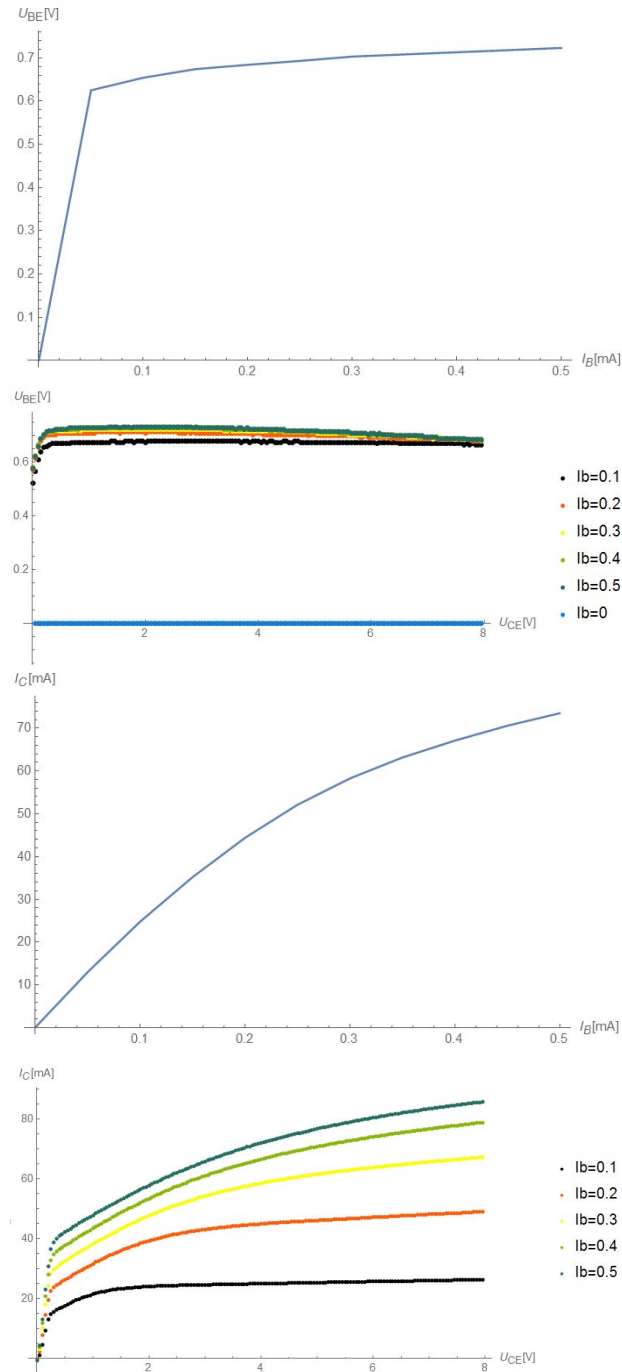


Abbildung 4: von oben: Eingangskennlinie, Spannungswirkungskennlinie, Stromverstärkungskennlinie, Ausgangskennlinie

### 3 Feldeffekttransistor

In Abb.5 haben wir mit Mathematica die Drain-Source-Stromstärke bei verschiedenen festen Gate-Source-Spannungen dargestellt. Dabei wurde die Drain-Source-Spannung jeweils kontinuierlich von 0 bis 10V angehoben. Die Gatespannung haben wir von 1V (rot) bis 1.5V (schwarz) in 0.1V Schritten erhöht. Je kleiner die Gatespannung ist, desto schneller konvergiert die DS-Stromstärke zu einem konstanten Wert.

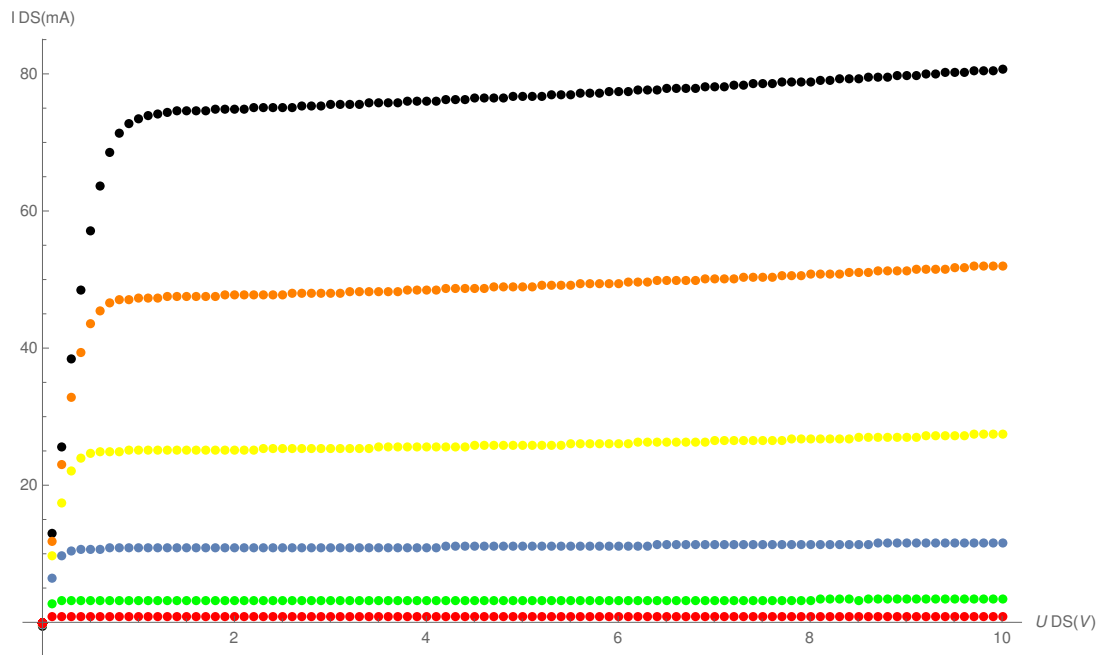


Abbildung 5: Ausgangskennlinie des FET

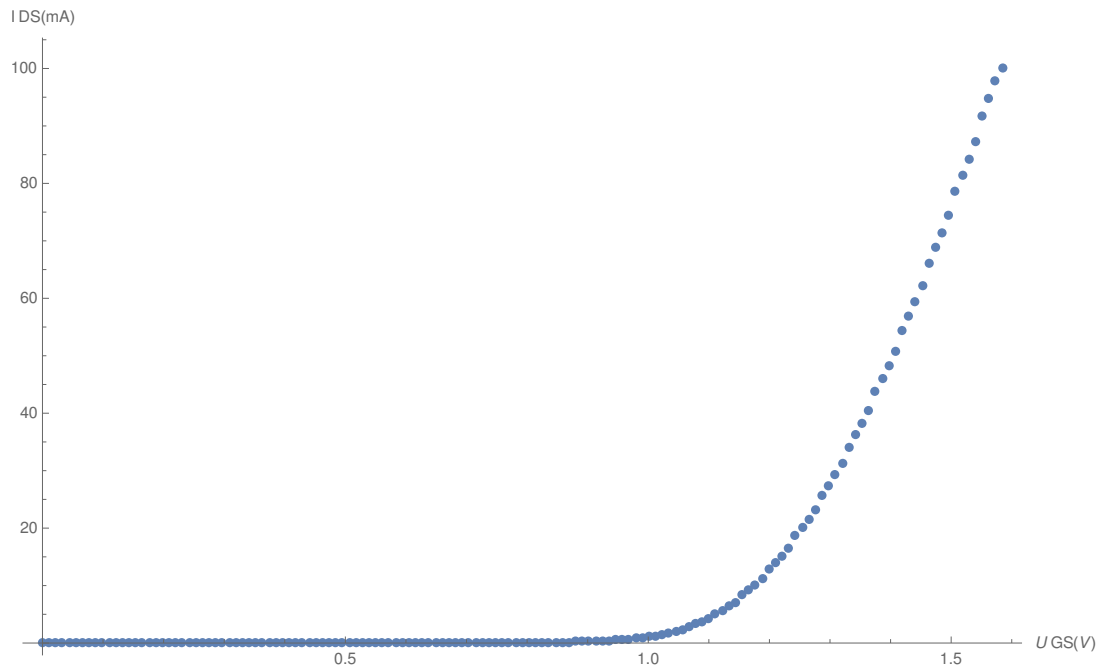


Abbildung 6: Eingangskennlinie des FET

Anschließend haben wir den Drain-Source-Strom in Abhängigkeit der Gate-Source-Spannung gemessen. Die Drain-Source-Spannung war dabei konstant auf dem Wert von 3V. In Abb.6 kann man sehen, dass bei GS-Spannungen  $< 1V$  kein Strom zwischen Drain und Source fließt. Das heißt wir haben es mit einem selbst sperrendem N-Kanal MOSFET zu tun. Ein Vergleich mit dem Datenblatt [2] zeigt, dass wir richtig liegen. Die Eigenschaft des N-Kanals geht bereits aus der Schaltung in der Anleitung hervor.

## 4 Solarzelle

Die Gleichung für die Solarzelle sieht fast genauso wie die Diodengleichung Gl.1.1 aus. Man muss lediglich den Strom  $I_L$  abziehen, der durch einfallende Photonen erzeugt wird.

$$I = I_S \left( \exp \left[ \frac{eU}{nk_B T} \right] - 1 \right) - I_L \quad (4.1)$$

Es wurden 2 verschiedene Typen von Solarzellen untersucht: Eine amorphe Solarzelle, die aus 5 einzelnen Zellen bestand und eine monokristalline. Die Hell- und Dunkelkennlinien haben wir in Abb.7 bis Abb.10 dargestellt.



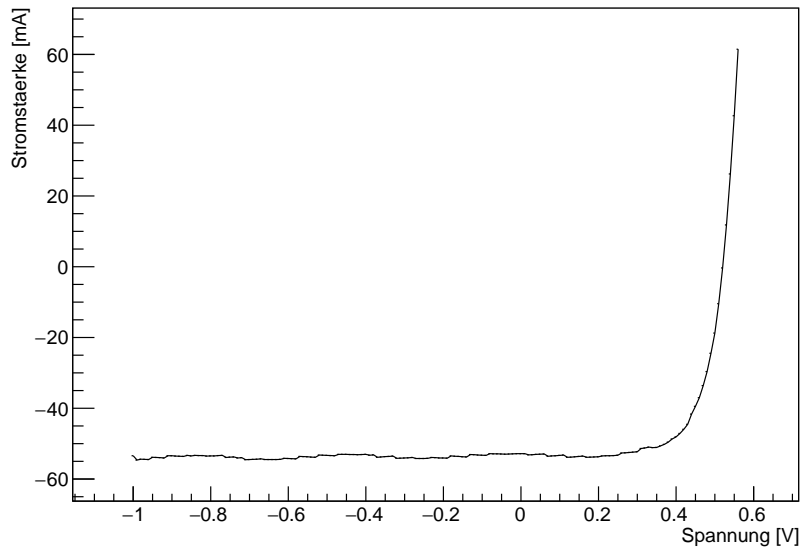


Abbildung 7: Hellkennlinie der monokristallinen Solarzelle

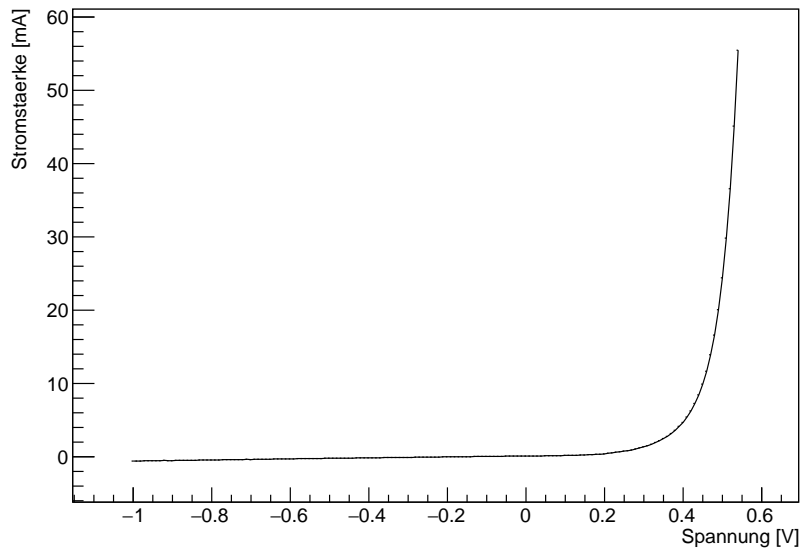


Abbildung 8: Dunkelkennlinie der monokristallinen Solarzelle

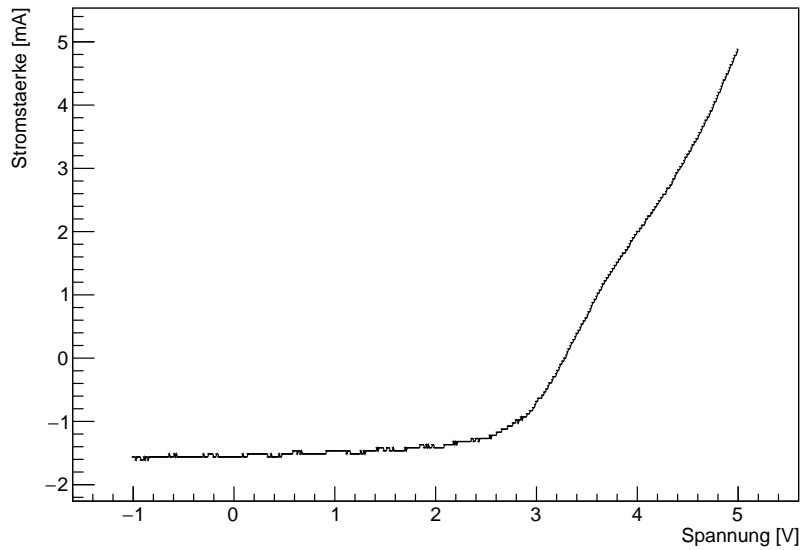


Abbildung 9: Hellkennlinie der amorphen Solarzelle

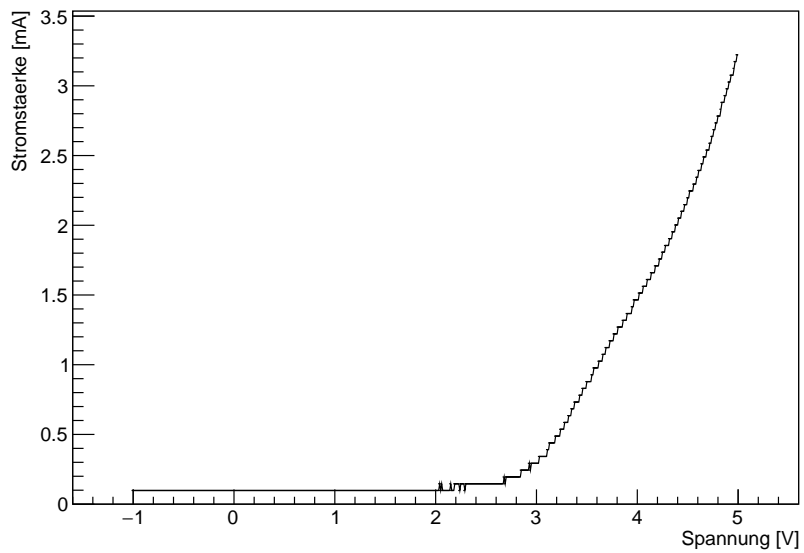


Abbildung 10: Dunkelkennlinie der amorphen Solarzelle

Fittet man an die Dunkelkennlinien der beiden Solarzellen Gl.4.1, erhält man den jeweiligen Sättigungsstrom und Idealitätsfaktor. In Abb.11 und Abb.12 sind die beiden Kennlinien mit den entsprechenden Fits zu sehen.

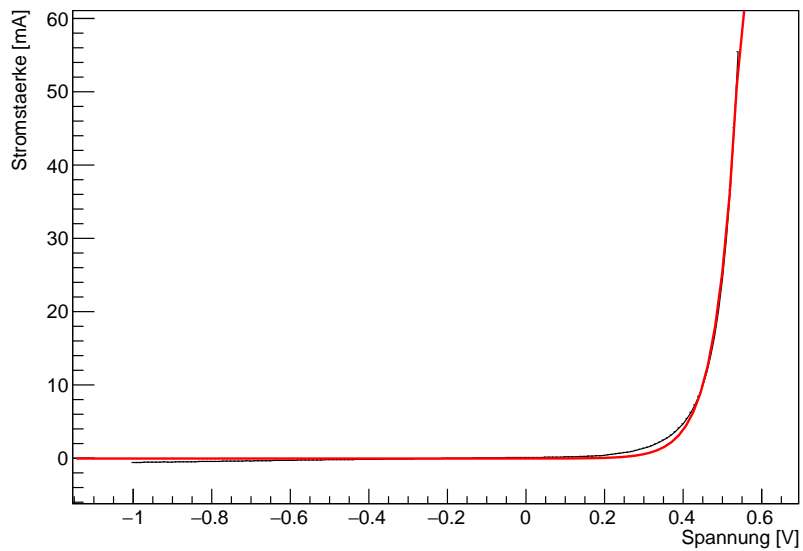


Abbildung 11: Dunkelkennlinie der monokristallinen Solarzelle mit Fit (rot)

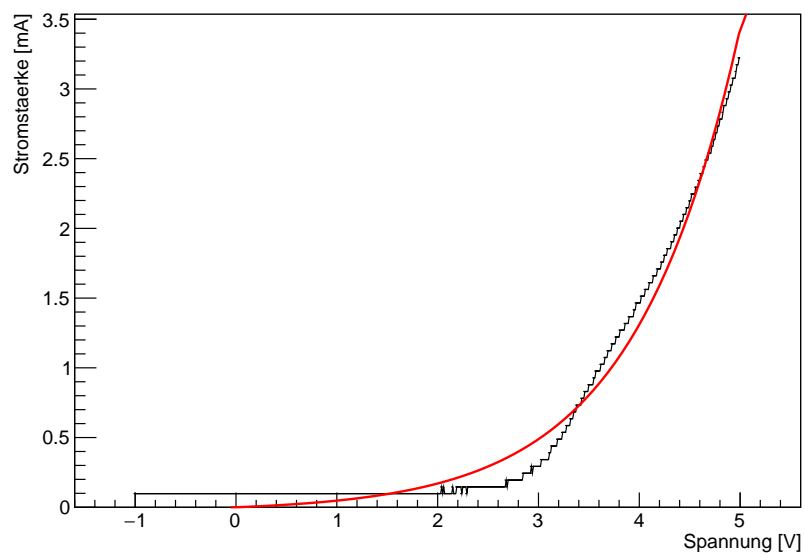


Abbildung 12: Dunkelkennlinie der amorphen Solarzelle mit Fit (rot)

	monokristallin	amorph
Sättigungsstrom	$0.0021277 \pm 0.00012978 \text{ mA}$	$0.0300005 \pm 0.00122113 \text{ mA}$
Idealitätsfaktor	$2.05908 \pm 0.0128412$	$40.7214 \pm 0.380234$
Kurzschlussstrom pro Fläche	$2.6633 \frac{\text{mA}}{\text{cm}^2}$	$0.2041 \frac{\text{mA}}{\text{cm}^2}$
Leerlaufspannung pro Zelle	0.517V	0.6502V
Füllfaktor	0.7233	0.6952
MPP	19.551mW	3.501mW
$\eta$	0.030	0.014

Tabelle 1: Werte der Solarzellen

Während die monokristalline Solarzelle mit einem Idealitätsfaktor von 2.05908 noch fast im Intervall [1,2] liegt, ist die amorphe Zelle mit über 40 sehr weit davon entfernt. Eine Ursache dafür ist möglicherweise das Alter der Zelle. Schon am Verlauf der beiden Kennlinien der amorphen Zelle kann man sehen, dass sie viel zu flach ansteigen und so die Diodengleichung kaum erfüllen können.

Um den Kurzschlussstrom und die Leerlaufspannung der Zellen zu erhalten, muss man die Achsenschnittpunkte der Hellkennlinien betrachten. Aus Abb.13 haben wir einen Kurzschlussstrom  $I_{SC}$  von 52.280mA und eine Leerlaufspannung  $U_{OC}$  von 0.517V der monokristallinen Solarzelle abgelesen. Aus Abb.14 ergab sich ein Kurzschlussstrom von 1.549mA und eine Leerlaufspannung von 3.251V für die amorphe Zelle. Da die amorphe Solarzelle aus 5 einzelnen Zellen bestand muss ihr Wert der Leerlaufspannung noch durch diese Zahl geteilt werden. Man erhält dann 0.6502V (vgl. Tab.1). Um die Kurzschlussströme der beiden Solarzellen vergleichen zu können, betrachtet man sie bezogen auf die Fläche der Zellen. Bei der monokristallinen Solarzelle betrug die Fläche etwa  $\frac{25}{4}\pi\text{cm}^2 = 19.63\text{cm}^2$ , bei der amorphen Solarzelle etwa  $7.59\text{cm}^2$ . Damit ergeben sich die Kurzschlussströme pro Fläche zu  $2.6633 \frac{\text{mA}}{\text{cm}^2}$  und  $0.2041 \frac{\text{mA}}{\text{cm}^2}$ .

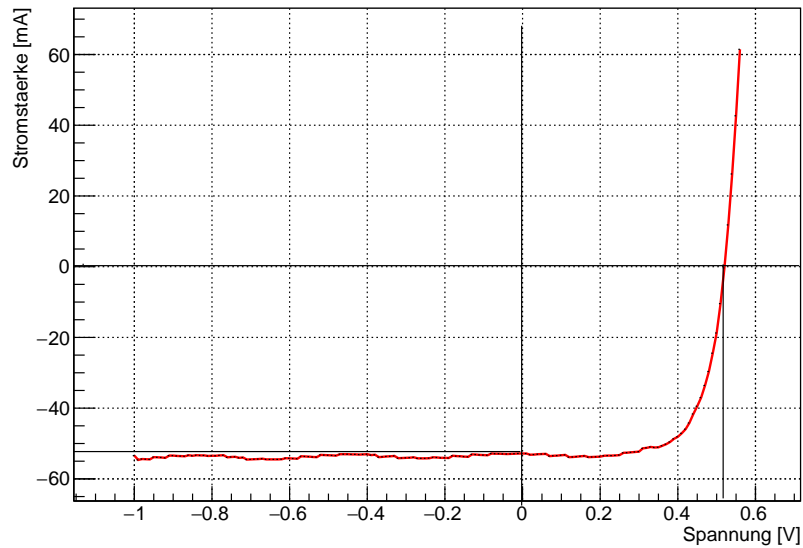


Abbildung 13: Hellkennlinie der monokristallinen Solarzelle mit Achsenabschnitten

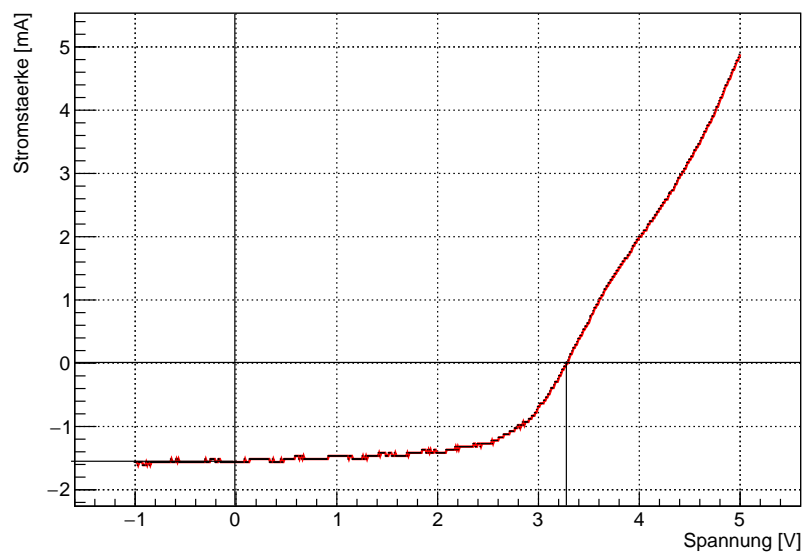


Abbildung 14: Hellkennlinie der amorphen Solarzelle mit Achsenabschnitten

Der Füllfaktor ist der Quotient aus dem *Maximum Power Point* (MPP) und dem Produkt aus Leerlaufspannung  $U_{OC}$  und Kurzschlussstrom  $I_{SC}$ .

$$FF = \frac{MPP}{I_{SC} \cdot U_{OC}} \quad (4.2)$$

Um den MPP der beiden Solarzellen zu ermitteln haben wir deren Leistung gegen die Spannung geplottet (Abb.15, Abb.16). Den MPP konnten wir dann jeweils an dem lokalen Extremum ablesen. Für die amorphe Solazelle ergab sich ein MPP von 3.501mW und für die monokristalline Zelle 19.551 mW. Daraus folgt für die jeweiligen FF: 0.6952 bzw. 0.7233.

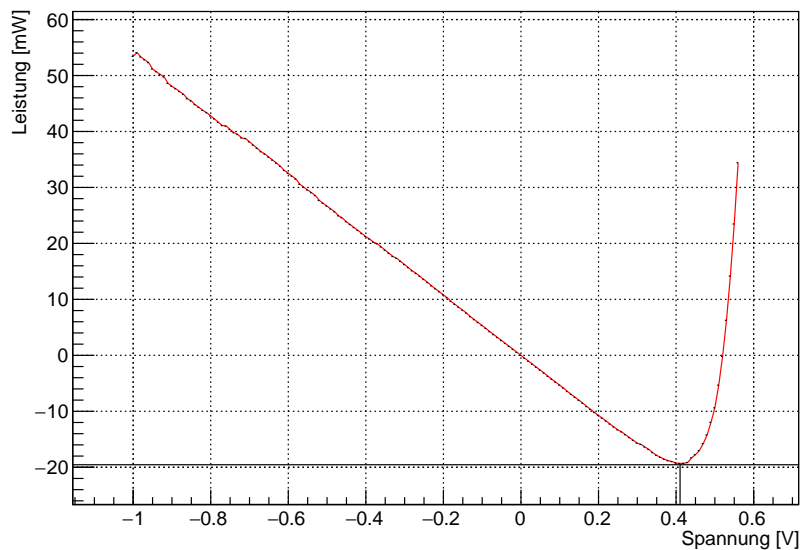


Abbildung 15: Leistung der monokristallinen Solarzelle

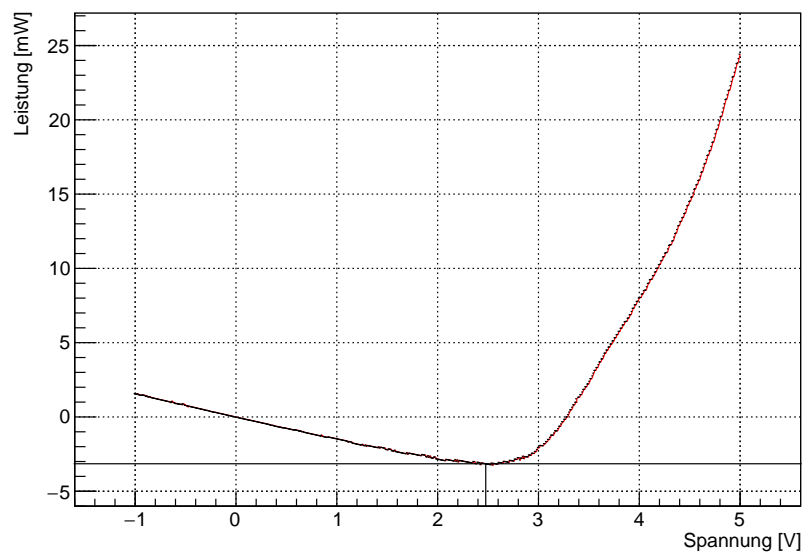


Abbildung 16: Leistung der amorphen Solarzelle



Für die Betrachtung der Effizienz der beiden Zellen berechnen wir zuerst, welche Leistung der Lampe die Zellen erreicht.

$$P_{Zelle} = \frac{P_{Lampe}}{2\pi r^2} * A_{Zelle}$$

Leistung der Lampe:  $P_{Lampe} = 100W$ , der Abstand zwischen Lampe und Zelle:  $r = 22cm$  und die Flächen der Solarzellen:  $A_{amorph} = 7.59cm^2$  und  $A_{mono} = 19.63cm^2$ . Es folgt:

$$P_{amorph} = 0.250W$$

$$P_{mono} = 0.645W$$

Der Wirkungsgrad  $\eta$  ist

$$\eta_{Zelle} = \frac{MPP_{Zelle}}{P_{Zelle}}$$

$$\eta_{amorph} = 0.014$$

$$\eta_{mono} = 0.030$$

Die monokristalline Solarzelle ist mit einem Wirkungsgrad von knapp 3% die effizientere von beiden. Allerdings liegt auch sie fernab von den Werten herkömmlicher Solarzellen, die zwischen 10 und 25% betragen. Dies kann daran liegen, dass unsere Solarzellen beide schon etwas älter sind und Alterungsprozesse die Effizienz stark mindern.

## Literatur

- [1] Metzler Physik; J. Krehn, J.Krause; Schroedel; 4. Auflage
- [2] <http://cdn-reichelt.de/documents/datenblatt/A100/BS108.pdf>, 28.01.2016, 22:25 CET