

► Messungen mit TI-Nspire™ und EasyLink®: Der Maximum-Power-Point (MPP) einer Solarzelle

Jürgen Enders

Solarzellen sind elektrische Bauelemente, die Strahlungsenergie (bevorzugt den kurzwelligen Anteil des Sonnenlichtes) in elektrische Energie umwandeln. Es sind im Prinzip großflächige Halbleiterdioden, bei denen im oberflächennahen pn-Übergang durch den inneren Photoeffekt Ladungsträgerpaare Loch-Elektron erzeugt werden. Einige dieser Ladungsträger rekombinieren wieder, aber der Rest wandert in den n- bzw. p-Halbleiter und kann dort als Strom abgenommen werden. Der hier vorgestellte Versuch kann schon in der Sek. I innerhalb einer Schulstunde durchgeführt werden

Zwei wichtige Kenngrößen einer Solarzelle sind die Leerlaufspannung (hier: U_0) und der Kurzschlussstrom (hier: I_0). Die Leerlaufspannung wird ohne Lastwiderstand gemessen (im Idealfall bei $I_0 = 0$ A) und beträgt etwa 0,5 V. Sie ist unabhängig von der Lichtstärke der Lichtquelle und von der Größe der Solarzelle. Der Kurzschlussstrom wird gemessen, indem man die Solarzelle kurzschließt (im Idealfall bei $U_0 = 0$ V). Er ist im Gegensatz zur Leerlaufspannung abhängig von der Bestrahlungsstärke, der Solarzellengröße und der Ladungsträgerausbeute des verwendeten Materials.

Breibt man eine Solarzelle mit ihrer Leerlaufspannung bzw. ihrem Kurzschlussstrom, so ist die Leistung $P = U \cdot I$ in beiden Fällen 0 W. Dazwischen hat sie ein Maximum, den Maximum-Power-Point (MPP). Im praktischen Betrieb wird man die Solarzelle möglichst dicht oder sogar genau auf diesem MPP betreiben, da sie dort naturgemäß den größten Wirkungsgrad hat.

Im vorliegenden Versuch soll der MPP bestimmt werden. Dazu wird die Solarzelle mit einer Lichtquelle gleichmäßig bestrahlt, und es werden verschiedene Lastwiderstände angeschlossen. Man sieht an der Messung sehr schön, dass die Stromstärke bis hin zu etwa 0,3 V nahezu konstant bleibt, ab 0,4 V jedoch rapide und nahezu linear abfällt.

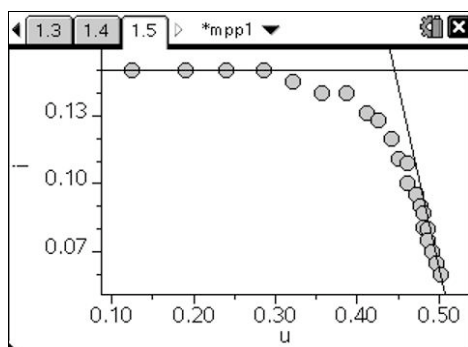


Abb.1: Lastkennlinie

Diese Bereiche sind durch zwei Geraden markiert, deren Schnittpunkte mit den Achsen den Kurzschlussstrom (Hochachse) bzw. die Leerlaufspannung (Rechtsachse) ergeben.

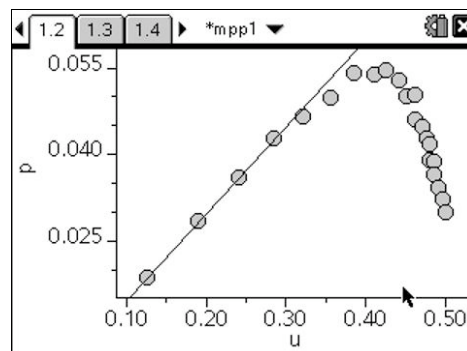


Abb.2: P-U Kennlinie

Stellt man die Leistung gegen die Spannung dar, so ist der nahezu lineare Anstieg der Leistung bei kleinen Spannungen (verdeutlicht durch die eingezeichnete Gerade) ebenso gut zu sehen wie der rapide Leistungsabfall bei höheren Spannungen. Der MPP ist bei ca. 0,41 V erreicht.

Versuchsdurchführung

Es eignen sich Solarzellen verschiedener Bauart; Abb.4 zeigt eine kleine Auswahl davon. Als Lichtquelle hat sich eine Halogenlampe bewährt. Das Messgerät ist ein Vielfachmessgerät wie es auch in Schülerübungen Verwendung findet.

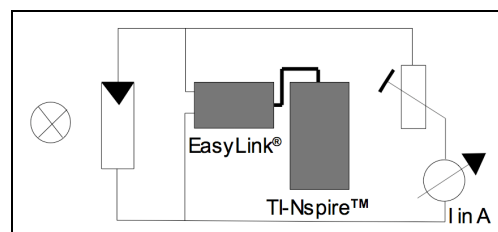


Abb. 3: Schaltskizze

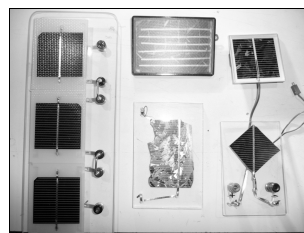


Abb. 4: verschiedene Solarzellen

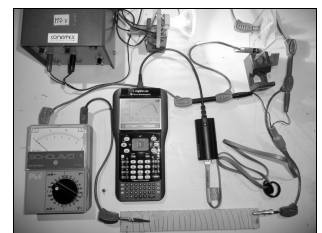


Abb. 5: Versuchsaufbau

Beim Aufbau nach Abb.5 sind Lampe und Solarzelle in Muffen festgeklemmt und einfach auf den Tisch gestellt worden. Die Entfernung Lampe-Solarzelle sollte so eingestellt werden, dass der Kurzschlussstrom etwa 150 mA beträgt (s.u.).

Es ist praktisch, wenn man die Messung mit dem Lastwiderstand 0Ω beginnt und die Spannung U und die Stromstärke I misst. Zu jedem Lastwiderstand werden die Spannung U und die Stromstärke I gemessen. Für die Messung der Stromstärke wird ein handelsübliches Amperemeter verwendet; die Spannung wird mit dem EasyLink® und dem TI-Nspire™ gemessen.

Die Aufnahme der Messwerte erfolgt dabei in der Applikation „Data&Statistics“ im Modus „Ereignisse mit Eintrag“. Soll eine Messung durchgeführt werden, so drückt man ENTER, wodurch der Spannungswert gehalten wird. Im erscheinenden Fenster muss dann die Stromstärke per Hand eingetragen werden. Jetzt vergrößert man den Widerstand und nimmt einen neuen Messwert auf. Am Ende der Messreihe muss man das Experiment mit dem Button unten links auf dem Display stoppen.

Hinweise

Das Experiment lässt sich mit vielen, auch mehrzelligen Solarzellen durchführen. Die Messbeispiele beziehen sich allerdings auf eine einzelne Zelle. Dabei hat sich wegen des schlechten Innenwiderstandes des verwendeten Messinstrumentes ein Kurzschlussstrom von ca. 150 mA als sinnvoll erwiesen. Dieser Strom kann von den gezeigten Solarzellen gut erzeugt werden. Die Beleuchtung ist unproblematisch; hier eignen sich alle Arten von Halogen- und Experimentierleuchten, auch der OHP und die Sonne.

Kritisch ist der Widerstand, denn er sollte im Bereich von 0 bis 10 Ω fein einstellbar sein. Dreh- und Schiebewiderstände haben sich als ungeeignet erwiesen, gut geeignet ist hingegen eine Widerstandskaskade. Da es aber auf den genauen Widerstandswert nicht ankommt, kann man auch einen einfachen Widerstandsdraht verwenden. In der einfachsten Form wickelt man ca. 2 m Konstantandraht (ca. 10 Ω) auf einen Holz- oder Pappstreifen (25 cm x 3 cm) und führt die Drahtenden durch kleine Löcher, um ein Abwickeln zu vermeiden. Man kann dann mit Krokodilklemmen den Widerstandswert gut abgreifen.

Die Messungen wurden alle mit dem Widerstand aus Abb.5 sowie der Solarzelle in Abb.4 unten rechts durchgeführt. Die Greifklemmen des Spannungssensors sind unpraktisch, man kann sie abschneiden und durch handelsübliche Stecker ersetzen.

Auswertung

Zur Bestimmung des MPP muss man zunächst die Messwerte in die Applikation „Lists & Spreadsheets“ in die Spalten A (Spannung) und B (Strom) übertragen. Dann kann man in der Spalte C die Leistung als Produkt aus A und B errechnen lassen. Abb.6 zeigt die entsprechende Tabelle. Anschließend kann man sich P in Abhängigkeit von U darstellen lassen und den MPP näherungsweise grafisch bestimmen. Dazu muss man in der Grafik aus „Data&Statistics“ lediglich die Achsen umbenennen.

	A	B	C	D
	u	i	p	
	=dc01.volt = dc01.eve = a[*]b[*]			
1	0.125122	0.15	0.018768	
2	0.19043	0.15	0.028564	
3	0.240479	0.15	0.036072	
4	0.285645	0.15	0.042847	
5	0.32074	0.145	0.046507	
C1	=0.01876831129266			

Abb. 6: Tabelle

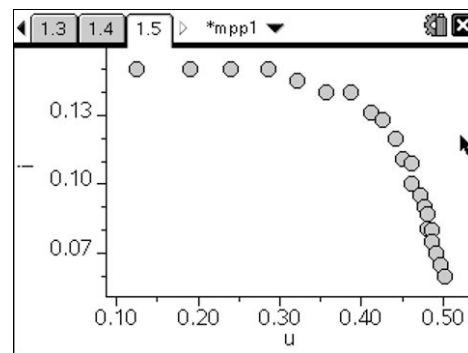


Abb. 7: Lastkennlinie

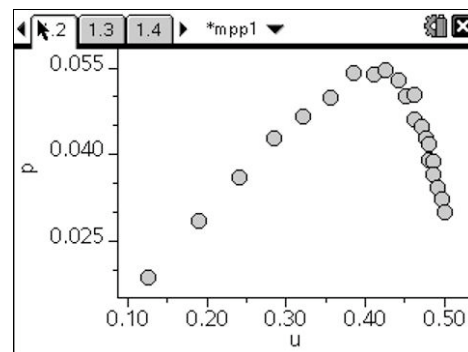


Abb. 8: P-U Kennlinie

Man findet den MPP bei ca. 0,41 V. Die Leistung beträgt dann ca. 0,055 W. Dazu verschiebt man den Cursor auf dem Display und drückt im Maximum auf das Touchpad, um sich die Koordinaten anzeigen zu lassen.

Bei 0,36 V beträgt die Leistung 0,051 W, bei 0,46 V beträgt sie 0,048 W. Es ist also besser, die Solarzelle bei einem zu kleinen Lastwiderstand zu betreiben als bei einem zu großen, da die Leistung besser ausgenutzt wird. Das wird auch bei der Lastkennlinie deutlich, denn 0,36 V liegt fast noch im waagerechten Teil der Kennlinie.

Die vollständige Versuchsbeschreibung mit dem Schülerarbeitsblatt und der Auswertung finden Sie wie viele weitere Versuche unter www.ti-unterrichtsmaterialien.net (bei Projekte/Verlage die Rubrik **T³-Physik** wählen).

Autor:

Jürgen Enders, Hameln (D)
Humboldt-Gymnasium Bad Pyrmont
aj.enders@t-online.de