

2 Charakterisierung von Solarzellen

Weiterführende Darstellungen der Charakterisierung von Solarzellen können in der Verwendeten Literatur [25, 27, 30] gefunden werden.

Zur photoelektrischen Charakterisierung werden Strom-Spannungskennlinien der Solarzellen gemessen (Abb.2.1). Die Dunkelkennlinie wird bei unbeleuchteter Solarzelle erhalten, wenn der gemessene Dunkelstrom über der angelegten Spannung aufgetragen wird. Der Dunkelstrom fließt in Durchlaßrichtung der Photodiode, sein Vorzeichen ist daher positiv.

Für den Dunkelstrom gilt bei einer infiniten Solarzelle folgende Beziehung

$$I = I_0 \left(e^{(e_0 U_K / kT)} - 1 \right), \quad (2.1)$$

wobei I_0 der Sättigungsstrom und U_K die an die Diode angelegte Kontaktspannung sind (+ an p).

Der Sättigungsstrom wird von der Diffusionskonstanten D , der Ladungsträgerkonzentration n bzw. p und der Diffusionslänge L der Elektronen und Löcher bestimmt, wobei A die Zellfläche ist:

$$I_0 = \left(\frac{e_0 D_n n_p A}{L_n} + \frac{e_0 D_p p_n A}{L_p} \right). \quad (2.2)$$

Die Hellkennlinie ist gegenüber der Dunkelkennlinie um den Betrag des Kurzschlußstroms I_{SC} (short circuit) nach unten verschoben. Der Betrag des Kurzschlußstroms entspricht dem maximal meßbaren Photostrom, wobei keine Spannung an der Solarzelle abfällt. Das Vorzeichen des Kurzschlußstroms ist negativ, er fließt entgegen der Durchlaßrichtung der Photodiode.

Bei offenem Stromkreis ohne Stromfluß durch die Zelle wird die Leerlaufspannung V_{oc} (open circuit) gemessen. Sie ist näherungsweise für ($I_{sc} > I_0$)

$$V_{oc} \approx \frac{e_0}{kT} \ln \frac{I_{sc}}{I_0}. \quad (2.3)$$

Um eine möglichst hohe Leerlaufspannung zu erreichen, muß besonders der Sättigungsstrom I_0 minimiert werden. Dazu sollten die Diffusionslängen der Minoritätsladungsträger groß, die Dotierungen hoch und die Solarzellen möglichst dünn sein.

Die von einer Solarzelle in elektrische Energie umgewandelte Lichtenergie kann nur an einem optimalen Arbeitspunkt voll genutzt werden. Dieser Punkt ist in Abb.2.1 als P_m eingezeichnet. Der angeschlossene Verbraucher muß dazu einen Widerstand

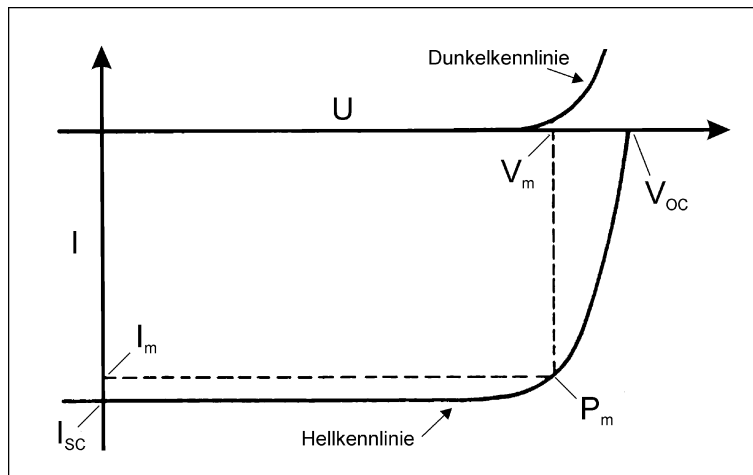


Abb. 2.1: Hell- und Dunkelkennlinie einer Solarzelle mit der Leerlaufspannung V_{OC} und dem Kurzschlußstrom I_{SC} . Am optimalen Arbeitspunkt wird bei einer Spannung V_m und einem Stromfluß I_m eine maximale Leistung P_m abgegeben. [27]

$R_m = V_m/I_m$ besitzen. Die maximal nutzbare Leistung ist durch $P_m = V_m \cdot I_m$ definiert. Der Wirkungsgrad η ist das Verhältnis von maximal nutzbarer zu eingestrahelter Lichtleistung:

$$\eta = \frac{I_m V_m}{P_{hv}}. \quad (2.4)$$

Um die Qualität einer Solarzelle über den Verlauf ihrer Kennlinie einschätzen zu können, wird der Füllfaktor FF eingeführt. Er beschreibt das Verhältnis von maximal nutzbarer Leistung zu theoretischer maximaler Leistungsabgabe, wenn bei gleicher Leerlaufspannung und gleichem Kurzschlußstrom der dann optimale Kennlinienverlauf einem rechten Winkel entsprechen würde:

$$FF = \frac{I_m V_m}{I_{oc} V_{oc}}. \quad (2.5)$$

Für den Wirkungsgrad läßt sich mit dem Füllfaktor die folgende Gleichung formulieren:

$$\eta = \frac{FF I_{sc} V_{oc}}{P_{hv}}. \quad (2.6)$$

Die Photostrom-Spannungskennlinien werden bei realen und nicht optimalen Solarzellen meist stark vom die Zelle überbrückenden Parallelwiderstand R_p und dem in Reihe geschalteten Serienwiderstand R_s beeinflusst.

Ein unerwünschter niedriger Parallelwiderstand wird von Leckströmen längs der Zellgrenzen, niederohmigen Störungen des pn-Überganges oder Strombrücken vom Front- zum Rückkontakt hervorgerufen.

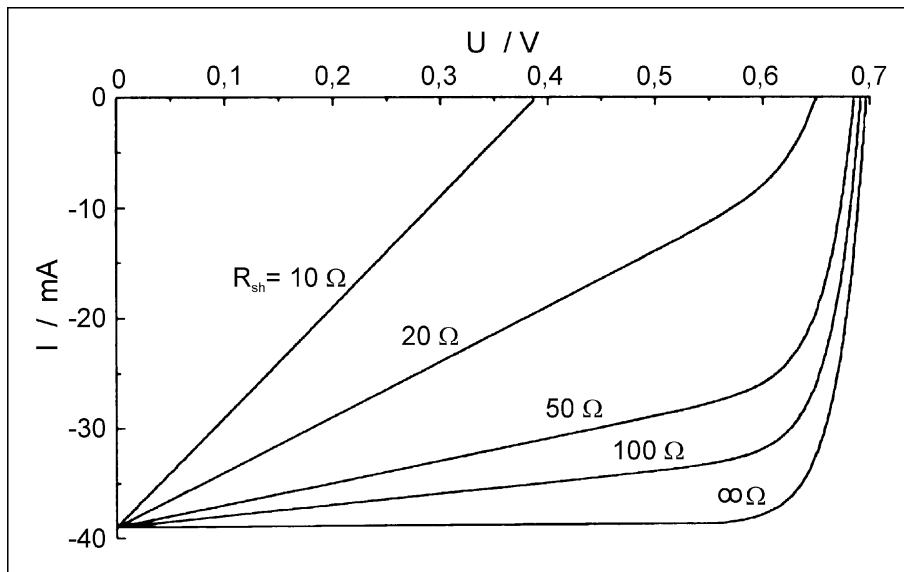


Abb. 2.2: Einfluß des Parallelwiderstandes R_p auf die Kennlinie einer Solarzelle. (nach [27])

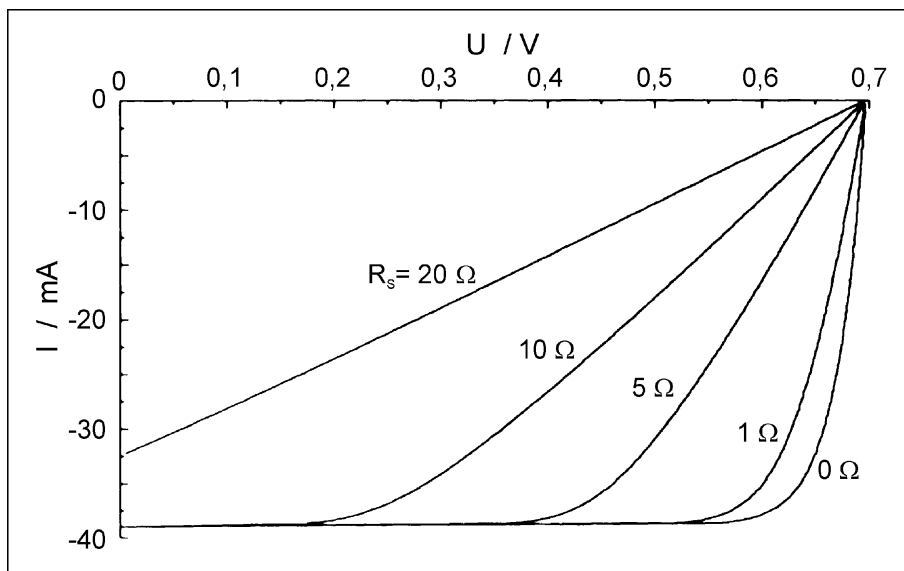


Abb. 2.3: Einfluß des Serienwiderstandes R_s auf die Kennlinie einer Solarzelle. (nach [27])

Die Auswirkungen des Parallelwiderstandes auf den Verlauf der Kennlinie ist in Abb.2.2 gezeigt. Bei kleinen Parallelwiderständen entspricht die Kennlinie der Zelle annähernd der des ohmschen Parallelwiderstandes, was mit einem schlechten Wirkungsgrad und kleinem Füllfaktor verbunden ist.

Der Serienwiderstand setzt sich aus dem ohmschen Widerstand des Halbleiters und der Metallkontakte sowie dem Widerstand des Metall-Halbleiterkontaktes zusammen. Wie in Abb.2.3 dargestellt ist, wird der Kennlinienverlauf mit zunehmendem Serienwiderstand R_s vom ohmschen Widerstand dominiert. Füllfaktor und Wirkungsgrad sinken dabei stark ab.

Genauere Beschreibungen sind in [30] und besonders für reale Solarzellen mit ihren Abweichungen vom idealisierten Verhalten in [27] zu finden. Der physikalische Hintergrund ist in [24] gut dargestellt.