



Photovoltaik

Hinweis.– Dieser Versuch wird in diesem Semester erstmals ausgegeben. Die Skripte ist möglicherweise fehlerbehaftet. Die Versuchsdurchführung ist vielleicht verbesserbar. Bitte teilen Sie Ihre Kritik dem Assistenten bzw. der Praktikumsleitung mit.

Vorbereitung.– Bei diesem Versuch ist eine *in-situ*-Auswertung sehr vorteilhaft. Bringen Sie nach Möglichkeit ein Laptop mit einer Datenauswertesoftware (Igor, Exel, ...) mit. Falls in Ihrer Gruppe niemand ein Laptop besitzt, bringen Sie bitte einen Taschenrechner mit.

Theoretische Grundlagen

Photovoltaik.– Unter Photovoltaik wird die Umwandlung von Lichtenergie, im allgemeinen Sonnenlicht, in nutzbare elektrische Energie mittels geeigneter Solarzellen verstanden. Solarzellen lassen sich elektrisch ähnlich charakterisieren wie elektrochemische Zellen. Vor allem interessiert man sich für die elektrische Leistung der Solarzelle sowie die Möglichkeit, die produzierte Energie chemisch zu speichern. Eine extrem vereinfachte Darstellung der Wirkungsweise einer Halbleiter-Solarzelle finden Sie im Anhang.

Sonnenstrahlung, Himmelsstrahlung, Globalstrahlung.– Die auf dem Erdboden auftreffende Strahlung hat viele Quellen. Die Gesamtstrahlung (Globalstrahlung) setzt sich im Wesentlichen aus der direkten Solarstrahlung und der Himmelsstrahlung (diffus gestreutes Licht, Himmelsblau, Wolkenweiß etc.) zusammen. Unter Umständen tritt noch die von Hängen und Wänden reflektierte Strahlung hinzu, was zu spektralen Veränderungen führen kann. Diese Strahlung ist die Energiequelle der Solarzelle.

Durch die Exposition und Neigung der Hänge und Wände kommt es zu starken Intensitätsschwankungen, die besonders bei wolkenlosem Himmel groß sind. Eine leichte Bewölkung schwächt diese Unterschiede ab, bei dichter Bewölkung sind sie weitgehend aufgehoben.

Den Physikalisch-Chemischen Praktika stehen Strahlungsdaten aus dem Institut für Meteorologie der Freien Universität Berlin zur Verfügung, die täglich aktualisiert werden. Hier sind beispielhaft einige Daten für den 18.06.2010 angegeben:

Globalstrahlung, 18.06.2010	
Uhrzeit	Globalstrahlung [mW/cm ²]
13:00	62,4
13:10	92,0
13:20	74,1
13:30	70,8
13:40	72,7
13:50	48,4

Die eingetragenen Werte sind Mittelwerte der Leistung (Energie/Zeit) für jeweils 10 Minuten, bezogen auf eine Fläche von 1 cm². (Die Werte zu einer bestimmten Uhrzeit beziehen sich auf die VERGANGENEN zehn Minuten VOR dieser Uhrzeit).

Unsere Solarzellen weisen eine Fläche von 406 cm² auf. Die auftreffende mittlere Lichtleistung zwischen 13:20 und 13:30 betrug am 18.06.2010 also 28,74 W. Diese Leistung wird in der Solarzelle aber nicht vollständig in elektrische Energie umgesetzt, denn erstens wird ein Teil der Strahlung gleich wieder reflektiert, zweitens ist von der eintretenden Strahlung nur der kurzwellige Anteil umsetzbar, drittens wird ein erheblicher Teil der elektrisch umgesetzten Strahlung bereits in der Zelle in thermische Energie umgewandelt.

Spannungsquellen.– Jede Spannungsquelle weist einen Innenwiderstand R_i auf, der zusammen mit einem an die Quelle angeschlossenen äußeren Lastwiderstand R_L einen Spannungsteiler bildet. Daher fällt an R_L nicht die gesamte Spannung U_0 („Leerlaufspannung“) der Quelle ab, sondern nur ein als Klemmspannung U_{Kl} bezeichneter Anteil. Für U_{Kl} gilt:

$$U_{Kl} = U_0 \cdot \frac{R_L}{R_i + R_L} \quad (1)$$

Mit dem Ohmschen Gesetz ($I = U_0 / (R_i + R_L)$) folgt

$$U_{Kl} = U_0 - R_i \cdot I. \quad (2)$$

Die elektrische Leistung P einer Quelle ist als Produkt aus fließendem Strom I und Klemmspannung U_{Kl} definiert. Aus dem Ohmschen Gesetz folgt:

$$P = U_{Kl} \cdot I = \frac{U_{Kl}^2}{R_L} = U_0^2 \frac{R_L}{(R_i + R_L)^2}$$

Die Leistung von Spannungsquellen hat typischerweise bei einem bestimmten Lastwiderstand ein Maximum, das aus der $P(R)$ -Kurve entnommen werden kann.

Bei der Solarzelle sind die Kurven $U_{Kl}(R_L)$ und $P(R_L)$ abhängig von der aufgenommenen Strahlung, die von der Tageszeit sowie vom Wetter abhängig ist.

Aufbau und Durchführung:

Zur Durchführung der Versuche werden Ihnen die folgenden Mittel zur Verfügung gestellt:

1. Solarzelle Schott Solar ASI-F 2/12
2. Dekadenwiderstand Voltcraft R-Box 01 (siehe Abb. 1)

3. Multimeter Voltcraft VC120
4. Verbindungskabel
5. Hoffmannscher Wasserzersetzungssapparat, gefüllt mit verdünnter Schwefelsäure oder einem anderen Elektrolyten.

Das Folgende sollten Sie mitbringen:

1. Laptop – Sie brauchen dann die weiter genannten Mittel nicht.
2. Falls Sie kein Laptop haben: Taschenrechner, Millimeterpapier

Die Solarzelle wird in einer Halterung zum Innenhof des Gebäudes Takustr. 3 angebracht. Ein Verbindungskabel wird zum Praktikumsplatz geführt, wo sich die Messgeräte befinden.



Abbildung 1: Voltcraft R-Box 01 als Dekadenwiderstand. Die rote und schwarze Buchse werden als Anschlussbuchsen verwendet, mit diesen wird die Solarzelle verbunden. Widerstände werden durch Betätigen der Schalter zugeschaltet, so dass sich ein variabler Lastwiderstand ergibt. Messen Sie stets von großen zu kleinen Widerständen.

Anleitung zur Durchführung der Experimente

1. **Notieren Sie die Uhrzeit.**
2. Messen Sie mit Hilfe des Multimeters die Leerlaufspannung U_0 der Solarzelle unter Belichtung, indem Sie im Gleichspannungsbereich 0–200 V, evtl. auch 0–20 V, die von der Solarzelle kommenden Verbindungskabel mit den Buchsen $V\Omega mA$ und COM verbinden. Das Voltmeter ist sehr hochohmig, so dass Sie den gemessenen Wert ruhig als Leerlaufspannung interpretieren können.
3. Messen Sie sofort danach den Kurzschlussstrom der Solarzelle, indem Sie den Messmodus des Multimeters umstellen auf 200 mA und wiederum die von der Solarzelle kommenden Verbindungskabel mit den zuvor genannten Eingängen verbinden.
4. Messen Sie die Klemmspannung der Solarzelle unter Belastung mit Hilfe des als variabler Lastwiderstand R_L fungierenden Dekadenwiderstandes. Lesen Sie die Klemmspannung bei

folgenden Widerständen in Ohm ab: 5000, 4000, 3000, 2000, 1800, 1700, 1600, 1500, 1400, 1300, 1200, 1100, 1000, 900, 800, 700, 600, 500, 400, 300, 280, 260, 240, 220, 200, 190, 180, 170, 160, 150, 140, 130, 120, 110, 100, 90, 80, 70, 60, 50.

5. Elektrolysieren Sie für genau zehn Minuten verdünnte Schwefelsäure im Hoffmannschen Wasserzersetzungsgeschloß, notieren Sie die Temperatur in der Lösung und die Uhrzeit zu Beginn und am Ende der Elektrolyse. Nehmen Sie als Druck im Labor Standarddruck an.
6. Berechnen Sie (Taschenrechner, Laptop, Excel, Igor, ...) während der Elektrolyse die elektrische Leistung (U_{KL}^2/R_L) aus dem vorherigen Versuchsteil und tragen Sie am Rechner/auf Millimeterpapier R_L auf:
 - a) die Klemmspannung gegen den Lastwiderstand, entsprechend Abb. 2(a);
 - b) die elektrische Leistung P gegen den Lastwiderstand, entsprechend Abb. 2(b).

Bestimmen Sie die maximale elektrische Leistung P_{max} der Zelle und den zugeordneten Lastwiderstand, an dem das Maximum auftritt.

7. WIEDERHOLEN Sie diese Schritte jeweils alle dreißig Minuten. Verfahren Sie selbstoptimierend: nehmen Sie in der Umgebung des Leistungsmaximums in den nächsten Durchläufen mit höherer Punktdichte auf, damit Sie das Maximum besser bestimmen können.

Eine Beispielmessung sowie die Darstellung in verschiedenen interessierenden Kurvenzügen ist in der Abb. 2 gezeigt.

Auswertung

1. Stellen Sie die Klemmspannung der Solarzelle als Funktion des Stromflusses für alle Uhrzeiten graphisch dar (in EINER Graphik!) und bestimmen Sie den jeweiligen Innenwiderstand der Zelle aus der Steigung bei niedrigen Strömen entsprechend Gl. 2 und Abb. 2c.
2. Stellen Sie die Leerlaufspannung und den Kurzschlussstrom der Solarzelle als Funktion der Uhrzeit graphisch dar.
3. Stellen Sie das Leistungsmaximum der Solarzelle als Funktion der Uhrzeit graphisch dar (mindestens 6 Messpunkte im Abstand von 30 Minuten).
4. Laden Sie sich die aktuellen Strahlungsdaten aus dem Institut für Meteorologie herunter; den Link wird Ihnen der Assistent zur Verfügung stellen.
5. Stellen Sie die Ihren Messungen entsprechenden Strahlungsdaten ebenfalls als Funktion der Uhrzeit dar.
6. Ermitteln Sie aus den Zehnminuten-Leistungsmittelwerten die mittlere Globalstrahlungsinintensität zu den Messzeiten, bezogen auf die Gesamtfläche der Solarzelle.
7. Ermitteln Sie den elektrischen Wirkungsgrad der Solarzelle, indem Sie die erzeugte maximale (!) elektrische Leistung jeweils durch die eingestrahlte Leistung teilen.
8. Stellen Sie den elektrischen Wirkungsgrad der Zelle als Funktion der Uhrzeit dar.
9. Bestimmen Sie die bei der jeweils zehnmütigen Wasserelektrolyse in den gasförmigen Produkten gespeicherte Energie. Benutzen Sie die Reaktionsenthalpie von Sauerstoff und Wasserstoff zu *flüssigem* Wasser!
10. Stellen Sie die als Knallgas gespeicherte Energie graphisch als Funktion der Uhrzeit dar.

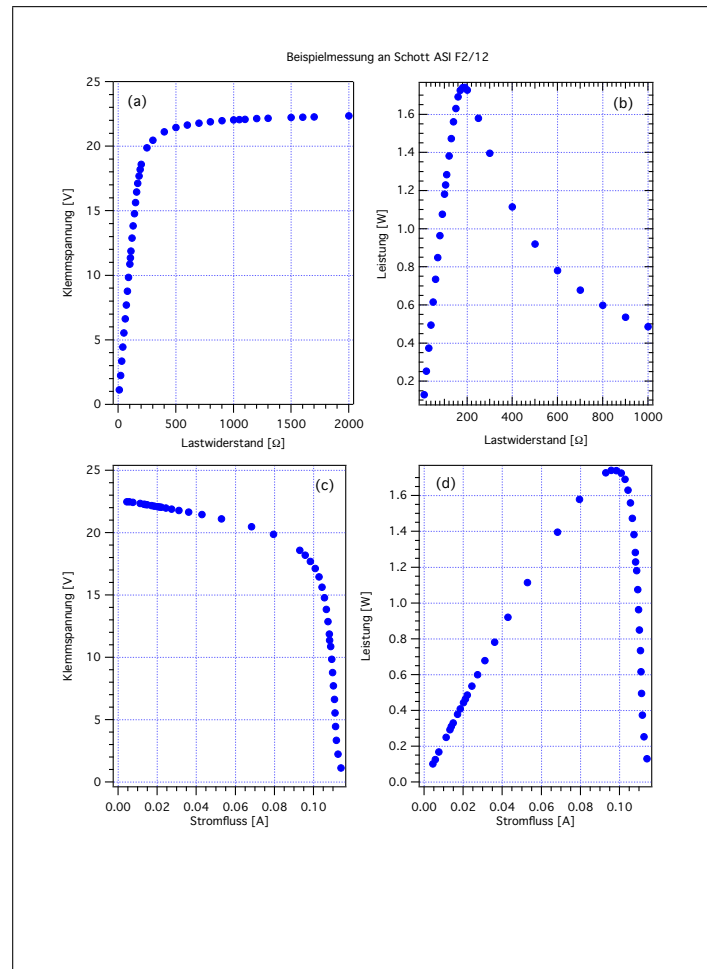


Abbildung 2: Beispiel einer Charakterisierung der Solarzelle. (a): Messung der Klemmspannung bei variiertem Lastwiderstand (Rohdaten) ; (b): daraus abgeleitete elektrische Leistung der Solarzelle bei variiertem Lastwiderstand; (c): Klemmspannung als Funktion des Stromflusses, berechnet aus den Daten in (a);(d): Elektrische Leistung der Solarzelle als Funktion des Stromflusses.

11. Bestimmen Sie den Wirkungsgrad durch Bezug auf den entsprechenden Zehnminutensummenwert der eingestrahlten Energie und stellen Sie *diesen* Wirkungsgrad zusammen mit dem oben bestimmten elektrischen Wirkungsgrad als Funktion der Uhrzeit in *einer* Graphik dar.

Version: 22.06.2010, RF