



PROTOKOLL SEKUNDARSTUFE II

Modul: Photovoltaik
Versuch: Solarzelle 2

I. AUFGABENSTELLUNG

- f) Für ein Photovoltaik-Modul ist die Beleuchtungsstärke E in Abhängigkeit vom Abstand x einer Glühlampe zu bestimmen und grafisch darzustellen.
- g) Die I - U -Kennlinien eines Photovoltaik-Moduls sind zwischen 0V und 4,2V für zwei Beleuchtungsstärken E und für den unbeleuchteten Fall aufzunehmen.
- h) Die Leistungsentnahme einer Solarzelle ist in Abhängigkeit vom äußeren Lastwiderstand R_o für zwei Beleuchtungsstärken E zu ermitteln und grafisch darzustellen.

1

II. VERSUCHSPLANUNG

Zu Aufgabe f)

Die Aufgaben g) und h) bestehen in der Bestimmung elektrischer Größen von Solarzellen in Abhängigkeit von der Beleuchtungsstärke E . Die Beleuchtungsstärke ist z.B. mit der Änderung des Abstands x zwischen Solarzelle und Lichtquelle variierbar. Unter der Voraussetzung, dass diese Lichtquelle näherungsweise punktförmig ist, gilt für ihre Strahlungsintensität D (in Watt/m²) das quadratische Abstandsgesetz $D \sim 1/x^2$. Dieses gilt auch für die Beleuchtungsstärke $E \sim D \cdot \cos \alpha$, wenn der Beleuchtungswinkel α konstant bleibt.

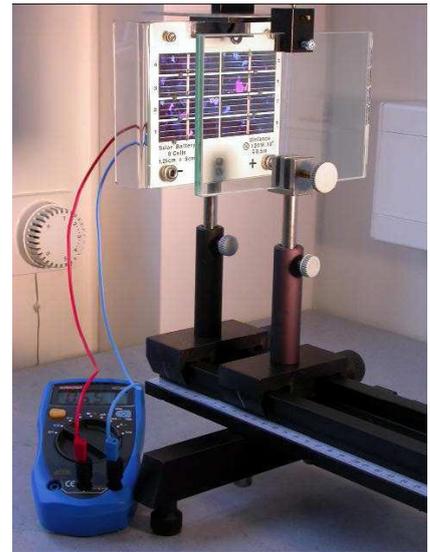
Der Zusammenhang zwischen Beleuchtungsstärke E und Abstand x wird für die verfügbare Apparatur (s. Abb.) zur Vorbereitung der Aufgaben g) und h) ermittelt, indem man zunächst „ E “ an der Oberfläche des PV-Moduls für verschiedene „ x “ der Glühlampe misst, die senkrecht zum PV-Modul ($\alpha \approx 0^\circ$, $\cos \alpha \approx 1$) angeordnet ist, und anschließend die Funktion $E = f(x)$ grafisch darstellt. Als Mindestabstand x zwischen Solarmodul und Glühlampe werden ca. 0,60 m gewählt. Dieser Abstand ist mehrfach größer als die Breite der Solarzelle und die Länge des Glühfadens, so dass die Lichtquelle näherungsweise als punktförmig angenommen werden kann. Diese Annahme und die Gültigkeit des quadratischen Abstandsgesetzes werden mit der grafischen Darstellung der Funktion $E = f(1/x^2)$ geprüft.



Zu Aufgabe g)

In den I - U -Kennlinien spiegeln sich grundlegende Eigenschaften elektronischer Bauelemente (z.B. PV-Module) wider, die zur Beschreibung ihrer Funktionsweise erforderlich sind. Zu diesen Eigenschaften gehören auch das Widerstands ($R = U / I$)- und Leistungsverhalten ($P = U \cdot I$) der Bauelemente, die aus den Kennlinien ableitbar sind. Die I - U -Kennlinien werden aufgenommen, indem man verschiedene Spannungen mittels eines regelbaren Netzgeräts anlegt, den dadurch verursachten Strom misst und die I - U -Wertepaare grafisch darstellt. Erhält man auf diese Weise z.B. eine durch den Koordinatenursprung gehende Gerade (bei metallischen Leitern), ist der Widerstand konstant und unabhängig von der angelegten Spannung.

In Solarzellen wird das Licht unter Ausnutzung des physikalischen Photoeffekts in Strom umgewandelt. Somit ist eine Zunahme des Photostroms I_{ph} -unabhängig von „ U “ - mit steigender Beleuchtungsstärke E zu erwarten. Der Einfluss der Beleuchtungsstärke auf die Kennlinienform wird geprüft, indem man die I - U -Kennlinie des zu untersuchenden Photovoltaik-Moduls für die Beleuchtungsstärken E , $2E$ und für den unbeleuchteten Fall aufnimmt.



Zu Aufgabe h)

Solarzellen sind bekanntlich Stromquellen. Die Abgabeleistung beliebiger Stromquellen ist am größten, wenn der Last- bzw. Außenwiderstand R_a genauso groß ist wie der Innenwiderstand R_i der Stromquelle. In diesem Punkt sollten sich Solarzellen nicht von anderen Stromquellen unterscheiden.

Aufgabe g) basiert teilweise auf der Erwartung, dass sich der Photostrom I_{ph} von Solarzellen mit der Beleuchtungsstärke E ändert – unabhängig von „ U “, also auch bei konstanter Spannung. Eine Änderung des Stroms bei konstanter Spannung muss aber mit einer Änderung des Innenwiderstands R_i der Solarzelle verbunden sein. Das wäre ein wichtiger Unterschied zu anderen bekannten Stromquellen, die einen konstanten Innenwiderstand R_i aufweisen, und mit der Konsequenz verbunden, dass man den Lastwiderstand einer Solarzelle an ihren sich mit der Beleuchtungsstärke E ändernden Innenwiderstand anpassen muss, wenn ihre Abgabeleistung maximal sein soll.

Die Abhängigkeit der Leistungsentnahme einer Solarzelle von ihrem Lastwiderstand R_a wird geprüft, indem man den Lastwiderstand R_a bei der Beleuchtungsstärke E ändert, dabei jeweils den Strom I und die Spannung U der Solarzelle misst, die Leistung $P = U \times I$ berechnet und die Funktion $P_E = f(R_a)$ grafisch darstellt. Ergibt sich für $P_E = f(R_a)$ eine Kurve mit einem Maximum über einem bestimmten R_a -Wert, handelt es sich um die typische P - R_a - Abhängigkeit von Stromquellen, deren Leistung P für $R_i = R_a$ maximal wird.

Der Einfluss der Beleuchtungsstärke E auf den Innenwiderstand R_i der Solarzelle wird geprüft, indem man die Funktion $P_{2E} = f(R_a)$ noch einmal für die doppelte Beleuchtungsstärke $2E$ aufnimmt. Liegen die Maxima der beiden Funktionen $P_E = f(R_a)$ und $P_{2E} = f(R_a)$ über verschiedenen R_a -Werten, wird bestätigt, dass die Beleuchtungsstärke E den Innenwiderstand R_i einer Solarzelle verändert.

III. DURCHFÜHRUNG und AUSWERTUNG

Versuchszubehör (Kontrolle):

- optische Bank mit Reflektorglühlampe, Photovoltaik-Modul (aus 8 Solarzellen bestehend mit Winkelmesseinrichtung) und Hitzeschild aus Glas
- Labornetzgerät XT7-6, Luxmeter LX-1108, Digitalmultimeter VC160
- Solarmotor, 14 Kabel incl. 2 Reduzierstecker, 7 Steckbrücken, Abdeckplatte.

Zu Aufgabe f)

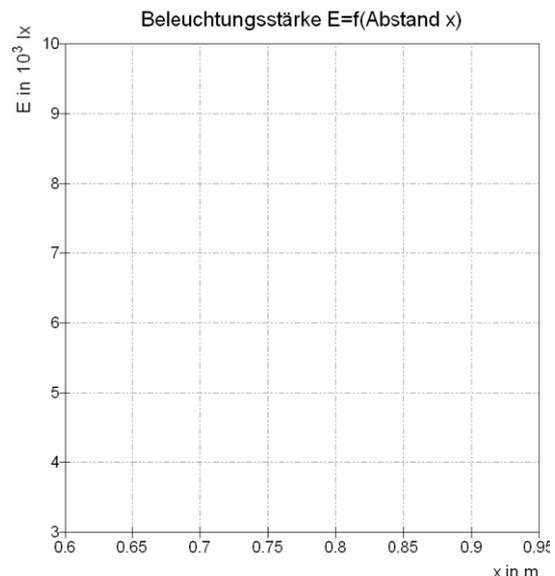
Messbedingungen:

- Photovoltaik-Modul auf der 0,02m-Marke, Wärmeschutzscheibe auf der 0,10m- Marke und Glühlampe auf der 0,60m-Marke der optischen Bank angeordnet.
- Lichtsensor des Luxmeters unmittelbar vor dem PV-Modul zentral befestigt (Kette des Sensors am Haken der Winkelmesseinrichtung einhängt).
- Hinweis: Range-Taster des Luxmeters mehrfach drücken, bis Werte im Display erscheinen. Den im Display angezeigten Faktor berücksichtigen.

Messungen:

- Messung der Beleuchtungsstärken E (in 10^3 lx) für verschiedene Abstände zwischen Glühlampe und PV-Modul im Bereich von 0,60m bis 0,95m mit einer Schrittweite von 0,05m. Folgende Werte wurden ermittelt:

Abstand x/m	Bel.-Stärke $E/10^3$ lx
0,60	
0,65	
0,70	
0,75	
0,80	
0,85	
0,90	
0,95	



Auswertung:

- Öffnen der Software „ReGraPhys“ und Laden der Datei „ $E=f(x)$ “, die eine Diagramm-Vorlage entsprechend dem oben rechts stehendem Muster enthält. Übernahme der Messwerte für E in die 1 y -Spalte von „ReGraPhys“. Grafische Darstellung der Messwerte (Plot-Taster drücken) und Ausdruck des Diagramms.
- Bestimmung des Abstandes $2E x$, bei dem die Beleuchtungsstärke doppelt so groß ist wie beim Abstand $x_E = 0,95m$ (Stern in der Grafik $E = f(x)$ verschieben)

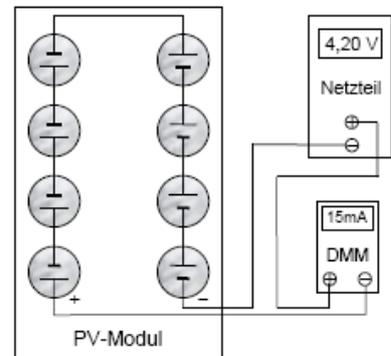
$$x_{2E} = 0,.....m$$

- Transformation der x -Werte in „ReGraPhys“ mit $1/x^2$ ($1/x^2$ in der ersten Zeile ausgewählt) und Beurteilung der Kurvenform. Ergebnis (ankreuzen):
 - $E = f(1/x^2)$ ist eine Gerade
 - $E = f(1/x^2)$ ist nicht annähernd eine Gerade

Zu Aufgabe g)

Messbedingungen:

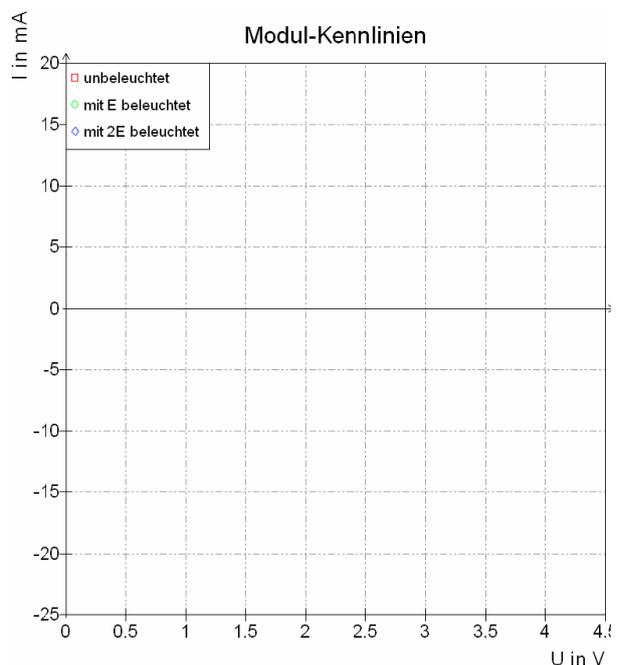
- Solarzellen des PV-Moduls, Netzgerät und Digitalmultimeter (DMM) entsprechend dem nebenstehenden Schaltplan verdrahtet („+“ an mA-Buchse, „-“ an COM-Buchse des DMM, Reduzierstecker verwendet).
- I - U -Kennlinienaufnahme für:
 1. abgedecktes PV-Modul
 2. Beleuchtungsstärke E bei $x_{2E} = 0,95m$
 3. Beleuchtungsstärke $2E$ bei $x_{2E} \approx 0,70m$ [den x_{2E} -Wert aus Aufgabe f) verwenden]



Messungen:

- Einstellen der Spannung am Netzgerät im Bereich von 0V bis 3,00 V in 0,50V-Schritten und im Bereich von 3,20V bis 4,20V in 0,20V-Schritten. Messung des Stroms I (mA) für jede eingestellte Spannung und die Beleuchtungsstärken E , $2E$ und den unbeleuchteten Fall.
- Hinweise: I -Messung bei $U = 0 V$ ($I_{SC} = I$) durch Verbinden der NetzgeräteKabel, nachdem diese vom Netzgerät abgezogen wurden. Vor dem Einschalten des Netzgeräts den Spannungsregler auf Linksanschlag drehen. Die Spannung von 4,2V darf nicht überschritten werden. Stromvorzeichen beachten.
- Folgende Werte wurden ermittelt:

U/V	I_0 / mA	I_E / mA	I_{2E} / mA
0,00			
0,50			
1,00			
1,50			
2,00			
2,50			
3,00			
3,20			
3,40			
3,60			
3,80			
4,00			
4,20			



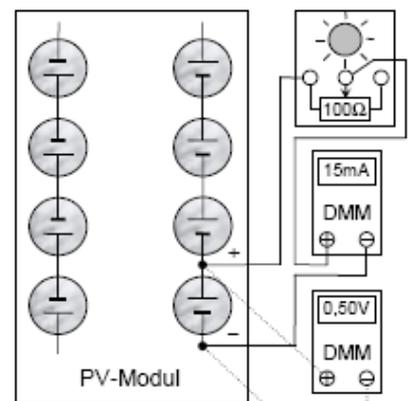
Auswertung:

- Öffnen der Software „ReGraPhys“ und Laden der Datei „Kennlinien“, die eine Diagramm-Vorlage entsprechend dem oben rechts stehendem Muster enthält. Übernahme der Messwerte für I_0 , I_E und I_{2E} in die 1 y -, 2 y - und 3 y -Spalte von „ReGraPhys“. Grafische Darstellung (Plot-Taster betätigt) und Ausdruck der Kennlinien.
- Beobachtungsergebnisse (ankreuzen):
 - Die I - U -Kennlinien sind unabhängig von „ E “ alle gleich
 - Die I - U -Kennlinien verschieben sich mit „ E “ parallel zur I -Achse
 - nimmt „ E “ zu, fällt $|I_{sc}|$
 - nimmt „ E “ zu, steigt $|I_{sc}|$
 - $|I_{sc}|$ ist ein Vielfaches von „ E “
 - $|I_{sc}|$ ist kein Vielfaches von „ E “

Zu Aufgabe h)

Messbedingungen:

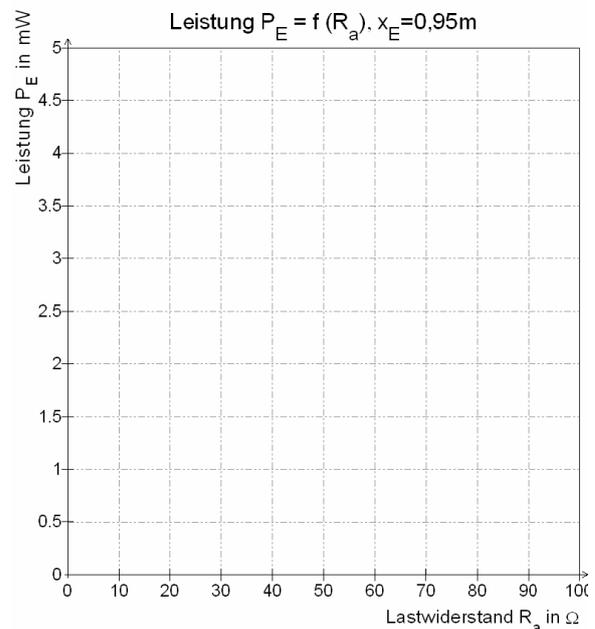
- 1 Solarzelle des PV-Moduls, 1 Widerstands-Dekade und 2 Digitalmultimeter (DMM) entsprechend dem nebenstehenden Schaltplan verdrahtet (Reihenschaltung aus Solarzelle, Widerstands-Dekade und Strommesser; Spannungsmesser parallel zur Solarzelle).
- Die Widerstands-Dekade ist ein in 10W-Stufen von 0 bis 100W veränderlicher Lastwiderstand.
- Aufnahme der Funktionen $P = f(R_a)$ für:
 1. Beleuchtungsstärke E bei $x_{2E} = 0,95m$
 2. Beleuchtungsstärke $2E$ bei $x_{2E} \approx 0,70m$ [den x_{2E} -Wert aus Aufgabe f) verwenden]



Messungen:

- Messung der Spannung U und des Stroms I für Lastwiderstände R_a im Bereich von 0Ω bis 100Ω in 10Ω -Schritten und für die Beleuchtungsstärken E und $2E$.

R_a / Ω	U_E / V	I_E / mA	U_{2E} / V	I_{2E} / mA
0				
10				
20				
30				
40				
50				
60				
70				
80				
90				
100				



Auswertung:

- Öffnen von „ReGraPhys“ und Laden der Datei „ $P = f(R_a)$ -E“. Übernahme der U_E - I_E -Werte in die y_1 - und y_2 -Spalte. Die Leistung $P_E = U_E \cdot I_E$ wird automatisch in der y_3 -Spalte berechnet. Grafische Darstellung (Plot-Taster) und Ausdruck der Funktion $P_E = f(R_a)$. Laden der Datei „ $P = f(R_a)$ -2E“, Eingabe der U_{2E} - I_{2E} -Werte in die y_1 - und y_2 -Spalte und Ausdruck der Funktion $P_{2E} = f(R_a)$.
- Vergleich der Funktionen $P_E = f(R_a)$ und $P_{2E} = f(R_a)$. Ergebnis (ankreuzen):
 - beide Funktionen haben kein P -Maximum
 - beide Funktionen haben ein P -Maximum
 - die Maxima liegen über den gleichen R_a -Werten
 - die Maxima liegen über verschiedenen R_a -Werten
 - Es gilt: $R_a(P_{2E,max}) < R_a(P_{E,max})$
 - Es gilt: $R_a(P_{2E,max}) > R_a(P_{E,max})$

IV. ZUSAMMENSTELLUNG UND DISKUSSION DER ERGEBNISSE

Nicht zutreffende Worte streichen!

- Das quadratische Abstandsgesetz $E \sim (1/x^2)$ ist unter den gewählten Versuchsbedingungen: großer Abstand zwischen PV-Modul und Glühlampe; konstanter Einstrahlungswinkel nicht gültig.
- Die I - U -Kennlinien von Solarzellen verschieben sich mit der Veränderung der Beleuchtungsstärke E parallel zur I -Achse/ U -Achse, weil der Photostrom I_{ph} ($= |I_{sc}|$) von Solarzellen mit zunehmender Beleuchtungsstärke E steigt/fällt.
- Der Photostrom I_{ph} ($= |I_{sc}|$) von Solarzellen ist ein/kein Vielfaches der Beleuchtungsstärke E und somit nicht proportional zu E . Es gilt nicht: $I_{ph} \sim E$.
- Die Abgabeleistung einer Solarzelle ist vom Lastwiderstand abhängig. Die Abgabeleistung ist maximal/minimal, wenn der Lastwiderstand R_a genauso groß ist wie der Innenwiderstand R_i der Solarzelle.
- Der Innenwiderstand R_i einer Solarzelle ist von der Beleuchtungsstärke E unabhängig/abhängig. Der Innenwiderstand R_i einer Solarzelle wird mit zunehmender Beleuchtungsstärke E kleiner/größer.