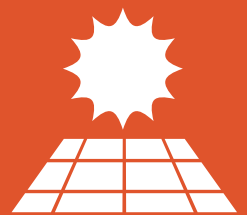
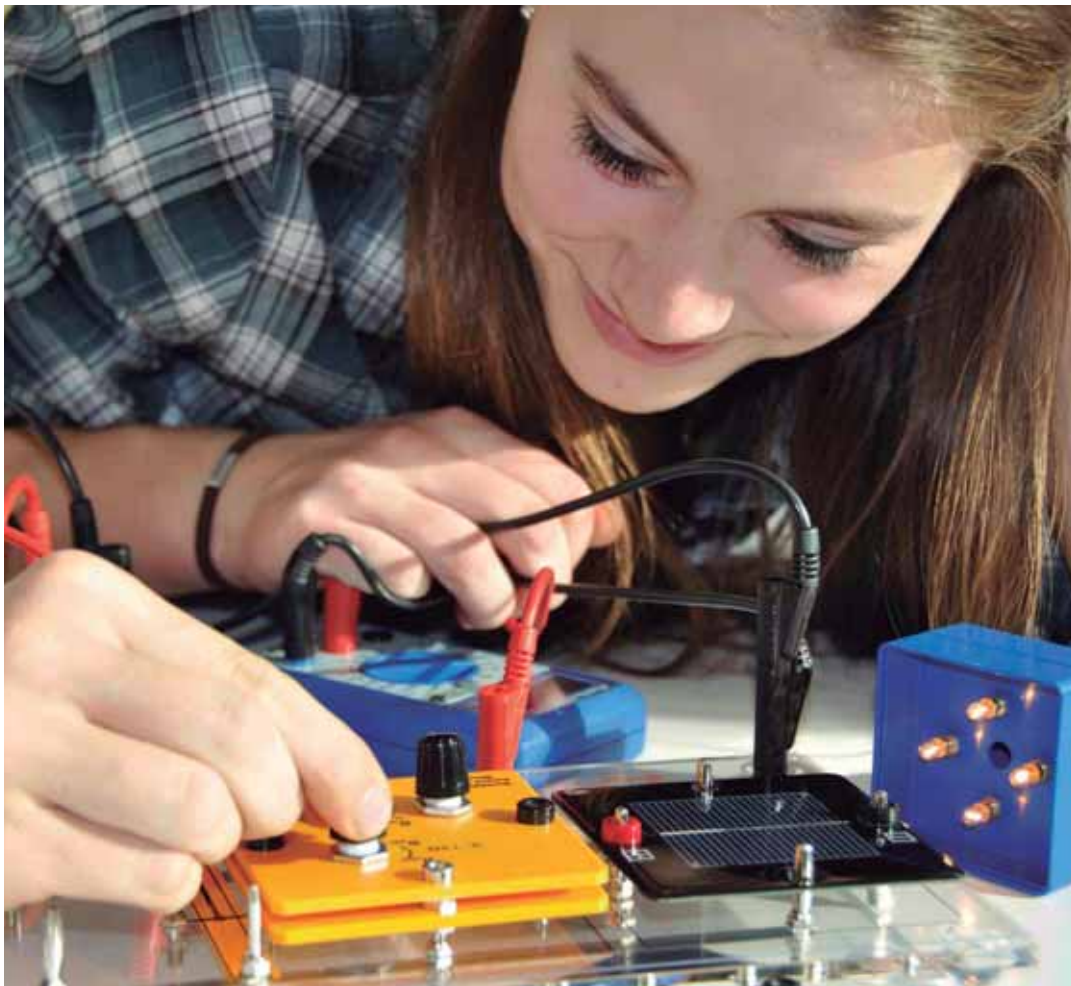
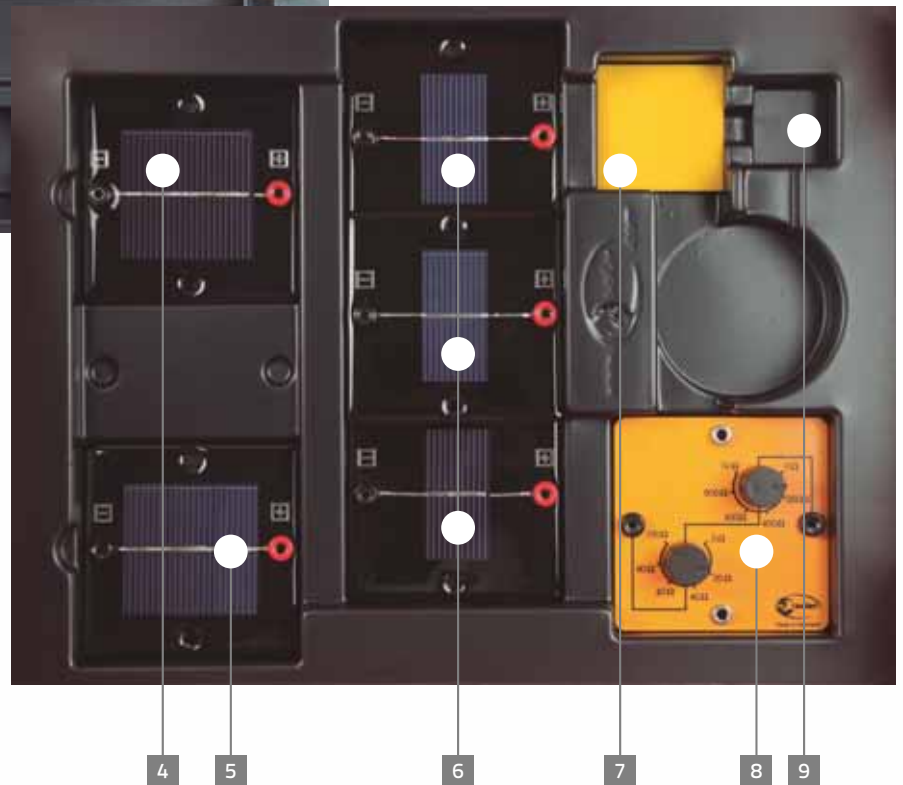
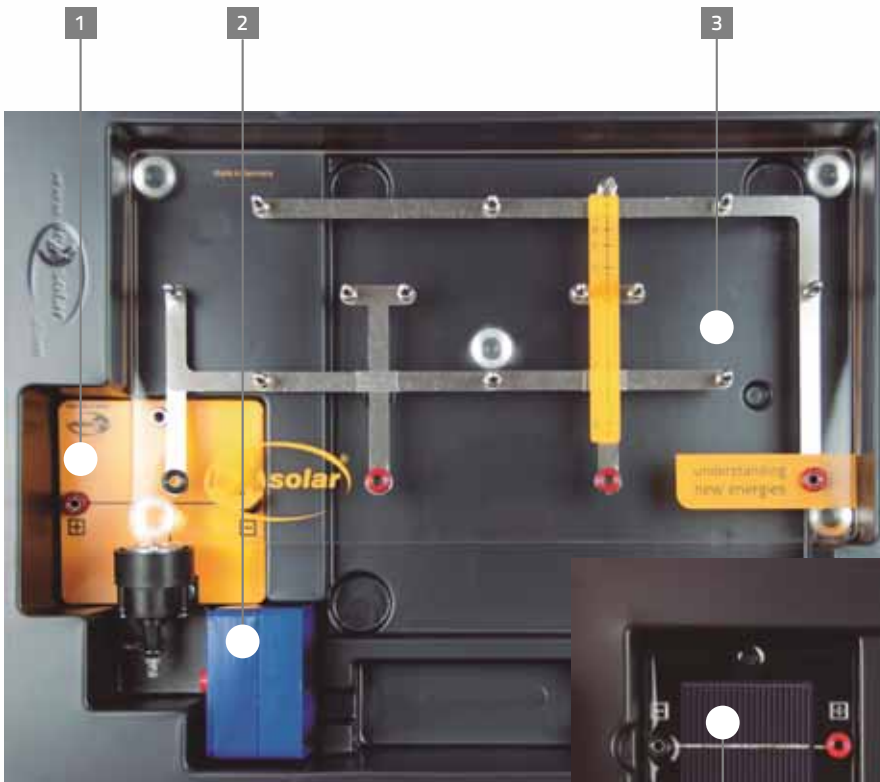


# leXsolar-PV Large



Lehrerheft

Layout diagram leXsolar-PV Large  
 Item-No.1103  
 Bestückungsplan leXsolar-PV Large  
 Art.-Nr.1103

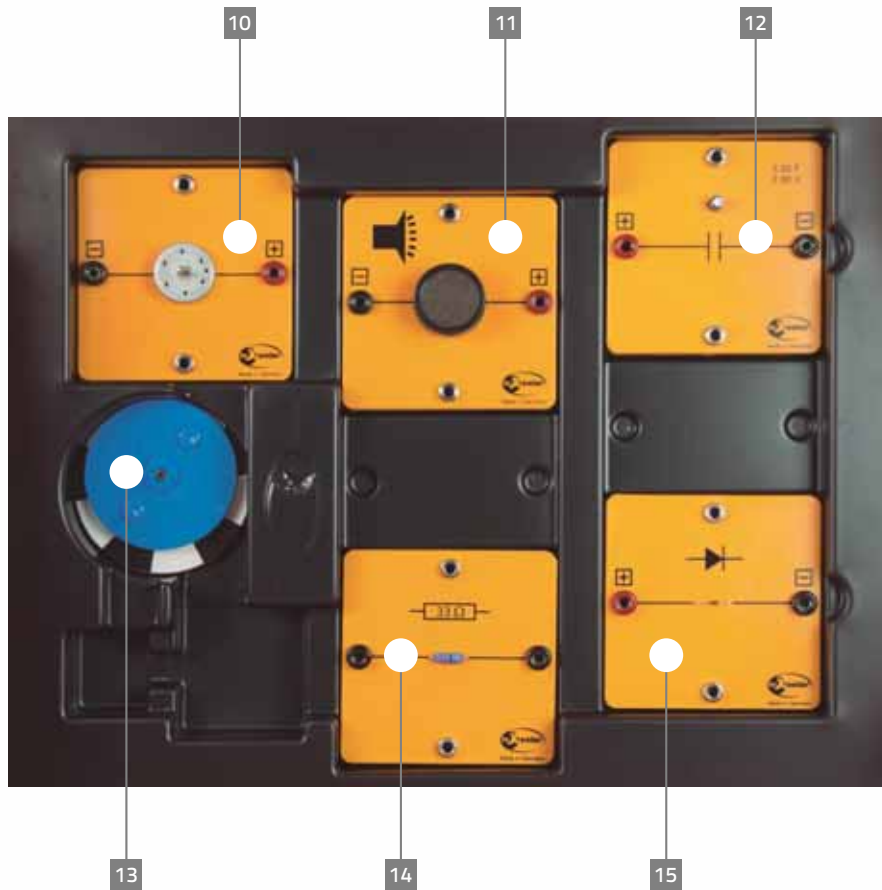


- 1** 1100-24 Gear motor module  
1100-24 Getriebemotormodul
- 2** 1100-20 Lighting module  
1100-20 Beleuchtungsmodul
- 3** 1100-19 leXsolar-Base unit Large  
1100-19 leXsolar-Grundeinheit groß
- 4** 1100-02 Solar module 0.5 V, 840 mA  
1100-02 Solarmodul 0.5 V, 840 mA
- 5** 1100-07 Solar module 1.5 V, 280 mA  
1100-07 Solarmodul 1.5 V, 280 mA
- 6** 3x1100-01 Solar module 0.5 V, 420 mA  
3x1100-01 Solarmodul 0.5 V, 420 mA
- 7** 1100-30 Color filters  
1100-30 Satz Farbfilter
- 8** 1100-23 Potentiometer module  
1100-23 Potentiometermodul
- 9** 1100-29 Solar cell cover set (4 pieces)  
1100-29 Satz Abdeckungen f. Solarzelle

Version number  
 Versionsnummer

III-01.24\_L3-03-129\_19.05.2016

Layout diagram leXsolar-PV Large  
 Item-No.1103  
 Bestückungsplan leXsolar-PV Large  
 Art.-Nr.1103



- 10** 1100-27 Motor module without gear  
1100-27 Motormodul ohne Getriebe
- 11** 1100-25 Buzzer module  
1100-25 Hupenmodul
- 12** 1400-07 Capacitor module 220 mF, 2.5V  
1400-07 Kondensatormodul 220 mF, 2.5V

- 13** 1100-28 Color discs - Set 1  
1100-28 Farbscheiben-Set I
- 14** 1100-22 Resistor module  
1100-22 Widerstandsmodul
- 15** 1100-21 Diode module  
1100-21 Diodenmodul

# leXsolar - PV Large

## Lehrerheft

### Inhalt

Kapitel 1: Theoretische Grundlagen zur Photovoltaik .....	6
1.1 Einleitung .....	6
1.1.1 Was ist Photovoltaik? .....	6
1.1.2 Photovoltaik im Spektrum der erneuerbaren Energiequellen .....	6
1.1.3 Kosten .....	7
1.1.4 Effizienz .....	8
1.1.5 Anwendungen .....	9
1.2 Anforderungen an Materialien für die Photovoltaik .....	9
1.3 Phänomenologische Erklärung des p/n-Übergangs .....	10
1.3.1 Der Halbleiterkristall .....	10
1.3.2 Dotierung von Halbleitern .....	10
1.3.3 Der p/n-Übergang .....	11
1.4 Photovoltaik für Fortgeschrittene .....	13
1.4.1 Bändermodell und Energielücke .....	13
1.4.2 Absorption und Absorptionsspektrum .....	14
1.4.3 Warum gibt es eine ideale Bandlücke für Solarzellen? .....	15
1.4.4 Eigenschaften und Verhalten der Ladungsträger im Kristall: Generation von Elektron-Loch-Paaren bei Beleuchtung .....	16
1.4.5 Aufbau der Solarzelle .....	17
Kapitel 2: Bezeichnung und Handhabung der Experimentiergeräte .....	19
1. Verstehen des leXsolar Stecksystems .....	25
2. Optische Täuschungen .....	28
2.1 Der Grundaufbau für Farbscheibenexperimente .....	29
2.2 Farbeigenschaften .....	30
2.3 Die additive Farbmischung .....	31
2.4 Optische Täuschungen mit der Benham-Scheibe .....	32
2.5 Optische Täuschungen mit der Relief-Scheibe .....	33
3. Experimente zu verschiedenen Strahlungsarten .....	34
3.1 Der Einfluss der diffusen Strahlung auf die Solarzellenleistung (qualitativ) .....	35
3.2 Der Einfluss der diffusen Strahlung auf die Solarzellenleistung (qualitativ) .....	36
3.3 Der Intensität der Albedostrahlung von verschiedenen Stoffen (qualitativ) .....	37

4. Die Abhängigkeit der Solarzellenleistung von der beleuchteten Fläche .....	38
5. Die Abhängigkeit der Solarzellenleistung vom Einfallswinkel des Lichts.....	42
5.1 Die Abhängigkeit der Solarzellenleistung vom Einfallswinkel des Lichts (qualitativ) .....	43
5.2 Die Abhängigkeit der Solarzellenleistung vom Einfallswinkel des Lichts (quantitativ) .....	45
6. Die Abhängigkeit der Solarzellenleistung von der Beleuchtungsstärke .....	47
6.1 Die Abhängigkeit der Solarzellenleistung von der Beleuchtungsstärke 1 (qualitativ).....	48
6.2 Die Abhängigkeit der Solarzellenleistung von der Beleuchtungsstärke 2 (qualitativ).....	49
6.3 Die Abhängigkeit der Solarzellenleistung von der Beleuchtungsstärke 1 (quantitativ) .....	51
7. Die Abhängigkeit der Solarzellenleistung von der Temperatur.....	53
8. Die Abhängigkeit der Solarzellenleistung von der Frequenz des einfallenden Lichts .....	56
9. Der Diodencharakter der Solarzelle.....	59
9.1 Die Dunkelkennlinie einer Solarzelle .....	60
9.2 Der Innenwiderstand einer Solarzelle bei Sperr- und Durchlassrichtung bzw. Abdunkelung und Beleuchtung.....	62
10. Die U-I-Kennlinie einer Solarzelle .....	64
10.1 Die Abhängigkeit der Solarzellenleistung von der Last.....	66
10.2 Die U-I-Kennlinie und der Füllfaktor einer Solarzelle .....	68
10.3 Die U-I-Kennlinie einer Solarzelle in Abhängigkeit von der Beleuchtungsstärke .....	71
11. Das Verhalten von Spannung und Stromstärke in Reihen- und Parallelschaltung von Solarzellen .....	74
11.1 Das Verhalten der Spannung und Stromstärke in Reihen- und Parallelschaltungen von Solarzellen (qualitativ).....	75
11.2 Das Verhalten der Spannung und Stromstärke in Reihen- und Parallelschaltungen von Solarzellen (quantitativ) .....	76
12. Das Verhalten von Spannung und Stromstärke bei der Abschattung von Solarzellen in Reihen- und Parallelschaltung.....	78
12.1 Das Verhalten der Spannung und Stromstärke bei der Abschattung einer Solarzelle in Reihenschaltungen (qualitativ).....	79
12.2 Das Verhalten der Spannung und Stromstärke bei der Abschattung einer Solarzelle in Reihenschaltungen (quantitativ) .....	80
12.3 Das Verhalten der Spannung und Stromstärke bei der Abschattung von Solarzellen in Parallelschaltungen (quantitativ).....	82
13. Simulation eines Inselsystem mit Solaranlage.....	84
14. Anwendungsexperimente.....	89
14.1 Die Wirkungsgradbestimmung mehrere Energieumwandlungen .....	90
14.2 Drehrichtung und Geschwindigkeit eines Motors.....	92
14.3 Anlaufstrom und Betriebsstrom eines Motors.....	93



# Kapitel 1: Theoretische Grundlagen zur Photovoltaik

## 1.1 Einleitung

### 1.1.1 Was ist Photovoltaik?

Photovoltaik (PV) ist die *direkte* Umwandlung von Licht in elektrische Energie mit Hilfe von Solarzellen (auch photovoltaische Zellen genannt). Indem zu diesem Zweck Sonnenlicht verwendet wird, handelt es sich per Definition um eine erneuerbare Energiequelle.

Die Betonung liegt dabei auf *direkt*, da die Erzeugung von elektrischer Leistung mit Hilfe anderer erneuerbaren Energien über mindestens einen Umweg erfolgt. Im Fall der Wärmeenergie als Energiequelle (Solarthermie, Erdwärme und Biomasse) handelt es sich bei diesem Umweg um eine Turbine, die mit einem Generator verbunden ist. Im Falle kinetische Energie (Wind-, Wasser- und Gezeitenkraft) wird zumindest ein Generator benötigt. Hingegen kommt bei der Photovoltaik keines dieser Geräte mit mechanischen Bestandteilen zur Anwendung. Daraus resultieren ein vergleichsweise geringer Wartungsaufwand und eine lange Lebensdauer. Aufgrund dieser herausragenden Position werden hohe Erwartungen an die zukünftige Rolle Photovoltaiktechnologie im Energiemix geknüpft.

### 1.1.2 Photovoltaik im Spektrum der erneuerbaren Energiequellen

Wir verfügen auf der Erde nur über drei Energiequellen, die mit menschlichen Zeitmaßstäben betrachtet, als unbegrenzt bezeichnet werden können. Diese drei wiederum sind die Quelle aller durch den Menschen genutzten erneuerbaren Energien. Die Bezeichnung erneuerbare oder regenerative Energiequelle ist dabei aus streng physikalischer Sicht eigentlich falsch, hat sich im Sprachgebrauch aber etabliert.

Die drei Quellen regenerativer Energie sind die Sonnenstrahlung, die Erdwärme sowie die Rotationsenergie der Erde. Abbildung 1.1 stellt diese Energiequellen und die daraus gespeisten erneuerbaren Energieformen dar.

Abbildung 1.2 ist das Verhältnis der verschiedenen Formen der Absorption, Reflexion und Nutzung der Solarenergie auf der Erde dargestellt. Man erkennt daran, dass der technische Energieumsatz des Menschen gegenüber der Solarenergieeinstrahlung auf die Erde vernachlässigbar klein ist. Die Nutzung der Photovoltaik bietet also ein nahezu unerschöpfliches Potential für die Energieversorgung des Menschen.

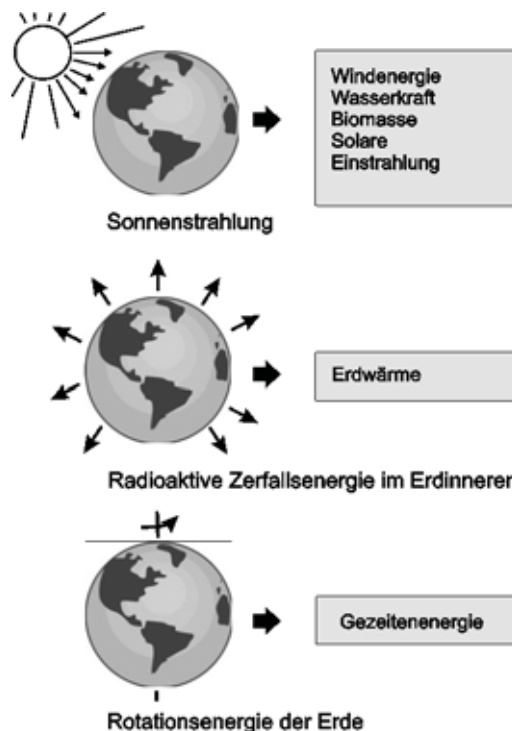
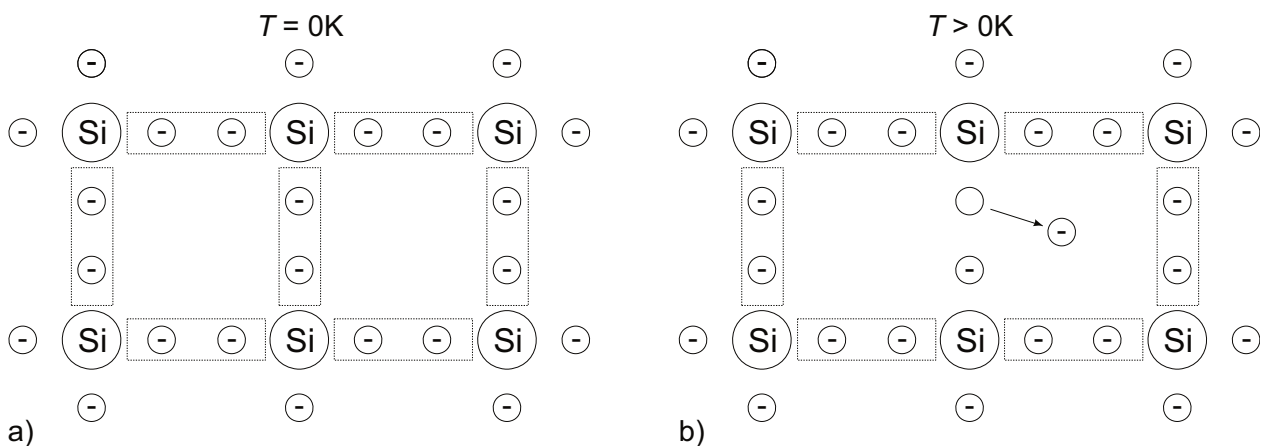


Abbildung 1.1: Die Quellen regenerativer Energie.

## 1.3 Phänomenologische Erklärung des p/n-Übergangs

### 1.3.1 Der Halbleiterkristall

Das für die Herstellung von Solarzellen zurzeit wohl bekannteste Halbleitermaterial ist Silizium. Im Periodensystem der Elemente ist es in der vierten Hauptgruppe zu finden – das heißt ein Siliziumatom besitzt vier Valenzelektronen. Im Halbleiterkristall sind diese Außenelektronen für die Bildung von stabilen Bindungen zwischen benachbarten Siliziumatomen verantwortlich. In Abbildung 0.4 a) wird der Aufbau eines solchen Kristalls schematisch wiedergegeben: Idealerweise bilden die Atomrümpfe des Silizium ein festes Kristallgitter. Da alle Elektronen an der Atombindung teilnehmen, gibt es keine freien Ladungsträger im Kristall. Jedoch können sich durch Energiezufuhr, z. B. in Form von Wärme, Elektronen aus dem Kristallgitter lösen, die dann als freie Ladungsträger zur Verfügung stehen. Bei Raumtemperatur ist bereits ein kleiner Teil der Elektronen auf diese Weise *thermisch aktiviert* (s. Abbildung 0.4 b)). An Stelle des gebundenen Elektrons bleibt ein „Loch“ zurück. Diesem wird formal eine positive Ladung und die Bezeichnung *Defektelektron* zugeordnet.



**Abbildung 0.4:** a) Schematische Darstellung der Doppelbindungen zwischen den Valenzelektronen von Siliziumatomen bei der Bildung eines Kristallgitters. Bei einer Temperatur von  $0\text{K}$  sind keine freien Ladungsträger im Kristall vorhanden. b) Durch thermische Aktivierung können sich Elektronen aus der Bindung lösen und als freie Ladungsträger zum Stromfluss beitragen. Der entstandenen Leerstelle wird formal eine positive Ladung und die Bezeichnung *Defektelektron* zugeordnet.

Die Leitfähigkeit eines Halbleiters steigt mit wachsender Temperatur. Im Realfall ist es allerdings auch unter Reinraumbedingungen nicht möglich völlig reine Siliziumkristalle herzustellen. Es existiert immer eine beträchtliche Anzahl an Verunreinigungen durch Fremdatome, die die intrinsische (materialeigene) Leitfähigkeit verfälscht. Auch in der Nähe des Temperaturnullpunkts wird es daher immer schon eine endliche Zahl freier Ladungsträger geben. Für Silizium beträgt die intrinsische Ladungsträgerdichte  $n_i$  bei  $20^\circ\text{C}$  beispielsweise  $n_i = 10^{10}\text{cm}^{-3}$ , d.h. bei dieser Temperatur gibt es  $10^{10}$  freie Elektronen und  $10^{10}$  freie Löcher pro Kubikzentimeter. Die Dichte der Verunreinigungen im Kristall beträgt typischerweise allerdings rund  $10^{16}\text{cm}^{-3}$ , liegt also um Größenordnungen über der Dichte der intrinsisch freien Ladungsträger. Die Eigenschaften des Kristalls werden sozusagen von den Verunreinigungen dominiert.

Es ist allerdings auch möglich solche Verunreinigungen gezielt einzusetzen, um die Eigenschaften des Halbleiters zu manipulieren. Man spricht hierbei von der so genannten *Dotierung*, die für die Herstellung funktionierender Halbleiterbauelemente unabdingbar ist.

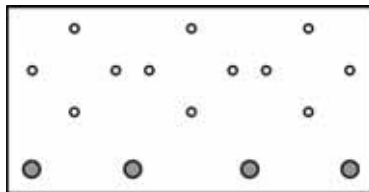
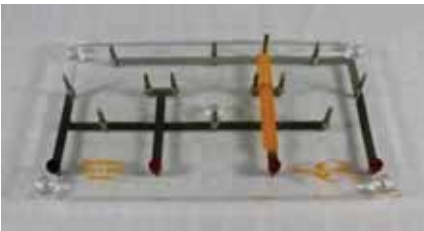
### 1.3.2 Dotierung von Halbleitern

Im thermodynamischen Gleichgewicht ( $T = \text{konst.}$ , keine Belichtung) ist in einem perfekten Kristall die Anzahldichte von Elektronen und Löchern,  $n$  und  $p$ , gleich groß. Durch den Einbau von Fremdatomen (Dotierung) kann man  $n$  und  $p$  gezielt verändern. Beispielsweise führt der Einbau eines Phosphoratoms auf einem Si-Gitterplatz zu einer Erhöhung der Elektronenkonzentration im Leitungsband. Ursache dafür ist, dass ein Phosphoratom (fünfte Hauptgruppe des Periodensystems) fünf Valenzelektronen besitzt, von denen nur vier für Bindungen mit den benachbarten Si-Atomen

## Kapitel 2: Bezeichnung und Handhabung der Experimentiergeräte

In der folgenden Auflistung werden alle im leXsolar-PV Large enthaltenen Einzelteile aufgeführt. Zu jeder Komponente finden Sie die Bezeichnung mit Artikelnummer, eine Abbildung, das Piktogramm in den Versuchsaufbauten und Hinweise zur Bedienung. Mit Hilfe der Artikelnummer können Sie jedes Einzelteil separat nachbestellen.

### Grundeinheit 1100-19

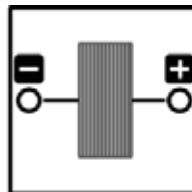


Die Grundeinheit ist eine Steckplatine auf der bis zu 3 Module in Reihe oder parallel zueinander geschaltet werden können. Der Strom fließt über die an der Unterseite angebrachten Leitungen. Um die Komponenten auf der Grundeinheit mit anderen zu verbinden, befinden sich am unteren Ende 4 Anschlüsse.

Die beiden Schaltpläne zum Auflegen auf die Grundeinheit zeigen jeweils die Verbindungen für eine Reihen- oder Parallelschaltung. Zum Wechsel zwischen Reihen- und Parallelschaltung müssen die Module jeweils um 90° gedreht aufgesteckt werden.

Des Weiteren befindet sich in der Mitte rechts ein Schattenstab mit orangefarbener Winkelskala. Dieser Schattenstab kann dazu genutzt werden, um auf der Grundeinheit aufgesteckte Solarmodule in einen bestimmten Winkel zu einer Lichtquelle zu halten. Für einen scharf umrissenen Schatten sollte die Lichtquelle ausreichend klein sein und einen möglichst großen Abstand zur Grundeinheit besitzen.

### Solarmodul 1100-01 0,5V 420 mA

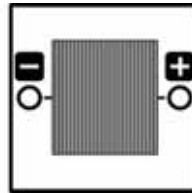


#### Technische Daten:

Material: polykristallines Silizium  
Leerlaufspannung: 0,5V  
Kurzschlussstromstärke: 420mA  
Spitzenleistung: 0,2Wp



### Solarmodul 1100-02 0,5V 840 mA

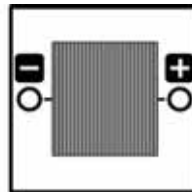


Auf der Rückseite befindet sich die Angabe zur Leerlaufspannung und Kurzschlussstromstärke

#### Technische Daten:

Material: polykristallines Silizium  
Leerlaufspannung: 0,5V  
Kurzschlussstromstärke: 840mA  
Spitzenleistung: 0,4Wp

### Solarmodul 1100-07 1,5V 280 mA

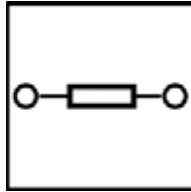


Das Solarmodul ist eine Reihenschaltung aus den 3 Solarzellen. Auf der Rückseite befindet sich die Angabe zur Leerlaufspannung und Kurzschlussstromstärke

#### Technische Daten:

Material: polykristallines Silizium  
Leerlaufspannung: 1,5V  
Kurzschlussstromstärke: 280mA  
Spitzenleistung: 0,13Wp

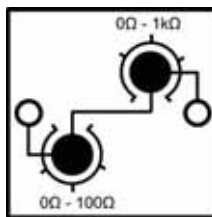
### Widerstandsmodul 1100-22



#### Technische Daten:

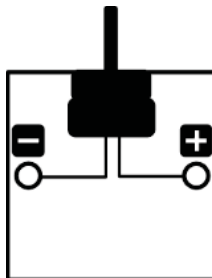
Maximalleistung: 2W

### Potentiometermodul 1100-23



Das Potentiometermodul besteht aus einem 0-100Ω-Drehwiderstand und einem 0-1kΩ-Drehwiderstand. Beide sind in Reihe geschaltet, sodass das Potentiometermodul Widerstände zwischen 0 Ω bis 1100 Ω annehmen kann. Die Messungenauigkeit beim Einstellen eines Widerstandes liegt bei 5 Ω beim kleineren Drehwiderstand und bei 20 Ω beim Größeren. Durch das Potentiometer dürfen keine Ströme von mehr als 190 mA fließen.

### Getriebemotormodul 1100-24



#### Technische Daten:

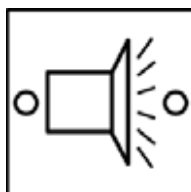
Anlaufstrom:  $\cong 20\text{mA}$

Anlaufspannung:  $\cong 0,35\text{V}$

Minimaler Betriebsstrom: 10mA

Maximalspannung: 4V

### Hupenmodul 1100-25



#### Technische Daten:

Startspannung: 0,7V

Startstrom: 0,3mA



## 1. Verstehen des leXsolar Stecksystems

### Aufgabe

Untersuche verschiedene Schaltungen, um die leXsolar-Grundeinheit kennenzulernen.

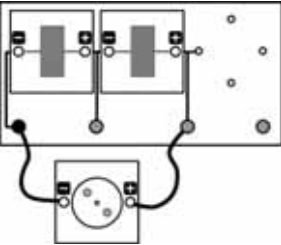
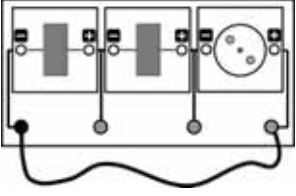
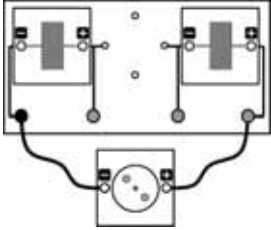
### Benötigte Geräte

- leXsolar-Grundeinheit
- 3 kleine Solarzellen
- leXsolar-Motor
- 3 Messleitungen

### Durchführung:

1. Baue die Schaltungen 1- 6 nacheinander auf und überprüfe, ob der Motor sich dreht.
2. Untersuche für jede Schaltung die Grundeinheit und zeichne den Schaltplan. Entscheide, ob es sich um eine Reihen- oder Parallelschaltung handelt.
3. Beschreibe die Energieumwandlungen und die physikalischen Prozesse während des Experiments mit Schaltung 1

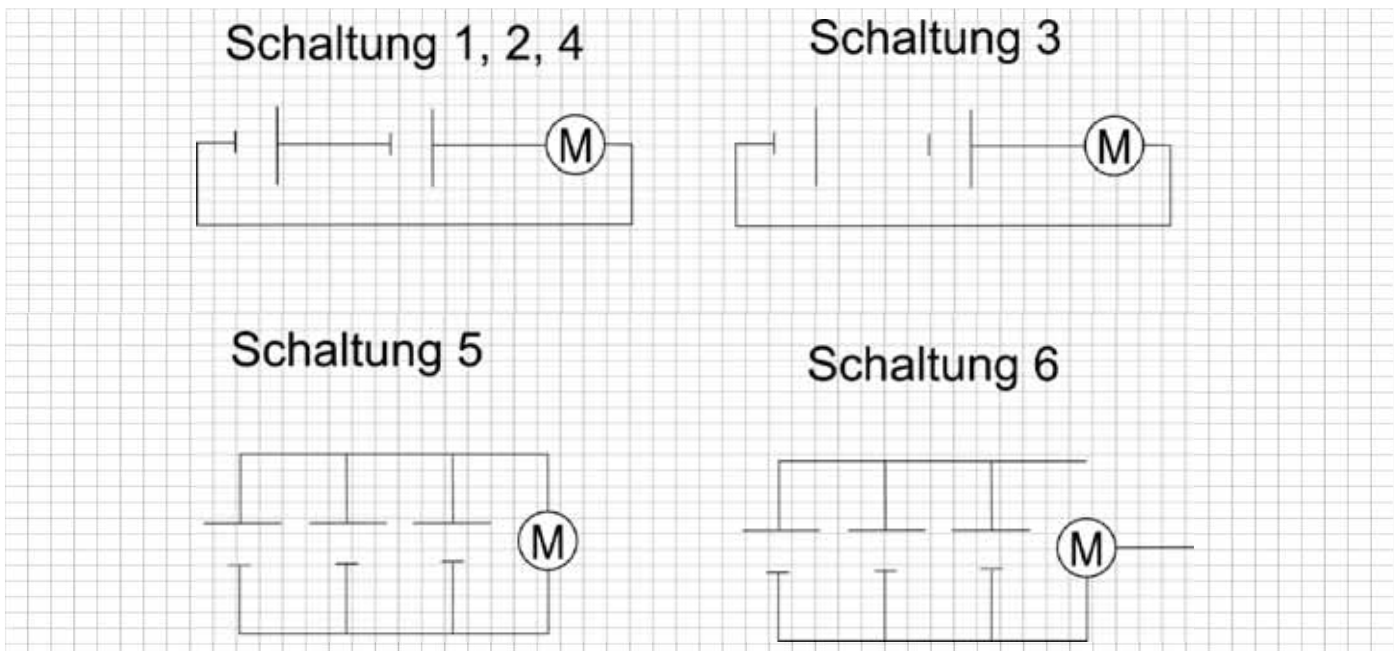
### Auswertung

Schaltung 1	Schaltung 2	Schaltung 3
 <p>Dreht sich der Motor?  <input checked="" type="checkbox"/> ja    <input type="checkbox"/> nein</p>	 <p>Dreht sich der Motor?  <input checked="" type="checkbox"/> ja    <input type="checkbox"/> nein</p>	 <p>Dreht sich der Motor?  <input type="checkbox"/> ja    <input checked="" type="checkbox"/> nein</p>
<p>Es handelt sich um eine:  <input checked="" type="checkbox"/> Reihenschaltung  <input type="checkbox"/> Parallelschaltung</p>	<p>Es handelt sich um eine:  <input checked="" type="checkbox"/> Reihenschaltung  <input type="checkbox"/> Parallelschaltung</p>	<p>Es handelt sich um eine:  <input type="checkbox"/> Reihenschaltung  <input type="checkbox"/> Parallelschaltung</p>



## 1. Verstehen des leXsolar Stecksystems

Schaltung 4	Schaltung 5	Schaltung 6
Dreht sich der Motor? <input checked="" type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein	Dreht sich der Motor? <input checked="" type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein	Dreht sich der Motor? <input type="checkbox"/> ja <input checked="" type="checkbox"/> nein
Es handelt sich um eine: <input checked="" type="checkbox"/> Reihenschaltung <input type="checkbox"/> Parallelschaltung	Es handelt sich um eine: <input type="checkbox"/> Reihenschaltung <input checked="" type="checkbox"/> Parallelschaltung	Es handelt sich um eine: <input type="checkbox"/> Reihenschaltung <input type="checkbox"/> Parallelschaltung



3.

In der Schaltung 1 wird Lichtenergie (elektromagnetische Energie) in elektrische Energie umgewandelt. Beim Motor wird dann die elektrische Energie in Rotationsenergie umgewandelt. Dafür werden zunächst, Elektronen aus ihren Elektronen-Loch-Paarbindungen durch die Lichtenergie gelöst. Aufgrund des immanenten elektrischen Feldes in der Verarmungszone bewegen sich die Elektronen und Löcher, durch den Stromkreis, wenn dieser geschlossen ist.

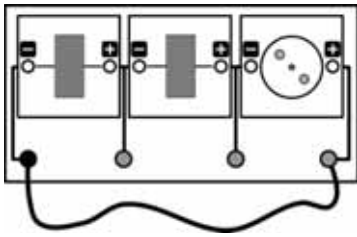


## 5.1 Die Abhängigkeit der Solarzellenleistung vom Einfallswinkel des Lichts (qualitativ)

### Aufgabe

Untersuche das Verhalten des Motors in Abhängigkeit vom Einstrahlwinkel.

### Aufbau

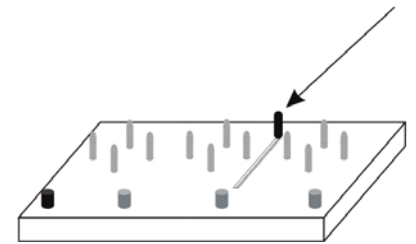


### Benötigte Geräte

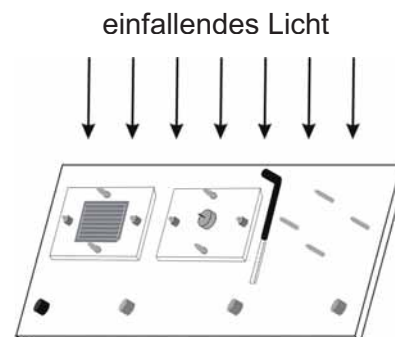
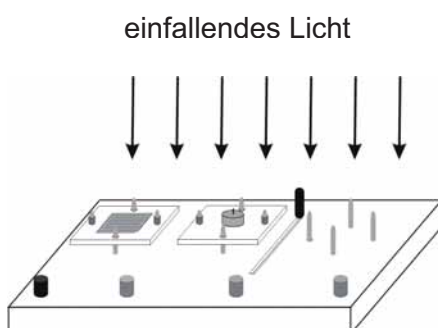
- leXsolar-Grundeinheit
- 2 kleine Solarzellen
- Motor
- 1 Messleitung

### Durchführung

1. Bei diesem Versuch kommt der Schattenstab der Grundeinheit zum Einsatz. Dieser befindet sich oben rechts auf der Grundeinheit (siehe Skizze). Mit ihm kann die Neigung der Grundeinheit zur Lichtquelle gemessen werden. Dazu muss die Grundeinheit zunächst so gedreht werden, dass der Schatten, den der Schattenstab wirft, auf die Winkelskala fällt. Den aktuellen Neigungswinkel kann man dann am Ende des Schattens ablesen. Mache dich zunächst mit der Funktion des Schattenstabs vertraut!



2. Baue aus Solarzelle und Motor eine Reihenschaltung auf. Halte nun die Grundeinheit mit der Vorderseite zur Lichtquelle. Dabei soll der Schattenstab keinen Schatten werfen - das Licht also senkrecht auf die Solarzelle fallen. (linke Skizze)  
Verkippe nun die Grundeinheit, sodass sie nicht mehr direkt in Richtung der Lichtquelle zeigt. Dabei wird vom Schattenstab ein Schatten geworfen. (rechte Skizze)  
(Hinweis: Für mehr Übersichtlichkeit ist das nötige Verbindungskabel zum Schließen des Stromkreises sowie die Drehscheibe auf dem Motor in den Skizzen nicht mitgezeichnet!)







## 10. Die U-I-Kennlinie einer Solarzelle

### Lernziele

Die Solarzellenleistung in Abhängigkeit von der Last.

- Die Schüler messen die Spannung und Stromstärke für 3 verschiedene Verbraucher.
- Die Schüler berechnen die Leistung der Solarzelle und die Widerstände der Verbraucher.
- Die Schüler vergleichen die Leistung in Abhängigkeit vom Verbraucher.
- Die Schüler erkennen, dass ohne weitere Messungen kein eindeutiger Zusammenhang zwischen Leistung und Widerstand benannt werden kann.

Die U-I-Kennlinie einer Solarzelle

- Die Schüler messen Spannung und Stromstärke der Solarzelle bei verschiedenen Widerständen.
- Die Schüler berechnen die Leistung für verschiedenen Messwerte.
- Die Schüler zeichnen ihre Messwerte in das U-I- und U-P-Diagramm.
- Die Schüler beschreiben die U-I- und U-P-Kennlinie.
- Die Schüler schließen aus den Messwerten, dass die Leistung der Solarzelle vom angeschlossenen Widerstand abhängt und einen maximalen Wert besitzt (Maximum Power Point (MPP)).
- Die Schüler berechnen den Füllfaktor der Solarzelle.

Die U-I-Kennlinie einer Solarzelle in Abhängigkeit von der Beleuchtungsstärke

- Die Schüler messen Spannung und Stromstärke der Solarzelle bei verschiedenen Widerständen und Beleuchtungen.
- Die Schüler berechnen die Leistung für verschiedenen Messwerte.
- Die Schüler zeichnen ihre Messwerte in das U-I- und U-P-Diagramm.
- Die Schüler vergleichen die U-I- und U-P-Kennlinien untereinander und erkennen, dass die U-I-Kennlinie entlang der der y-Achse verschoben wird.
- Die Schüler beschreiben, dass der Maximum MPP sich entlang nahezu parallel zur y-Achse verschiebt.
- Die Schüler erklären, dass sich die U-I-Kennlinie entlang der y-Achse verschiebt, da eine geringe Beleuchtung weniger Elektronen-Loch-Paarbildung bedeutet.

### Vorwissen

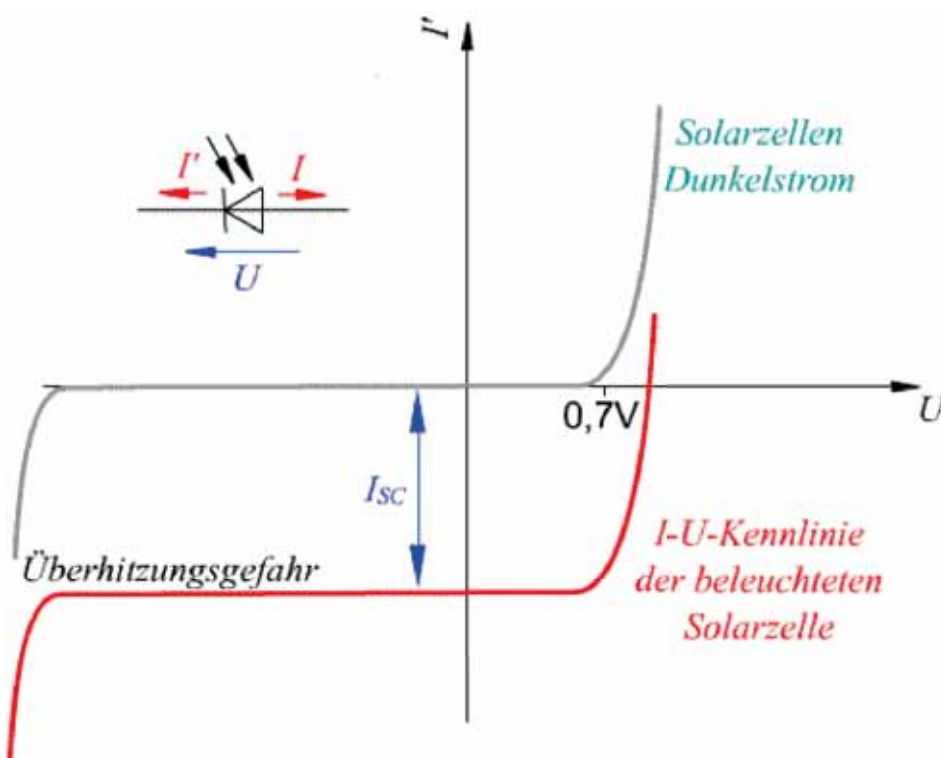
- Die Schüler wissen, dass der Füllfaktor ein Maß für die Effizienz der Solarzelle ist.
- Die Schüler können den Wirkungsgrad bestimmen.



## 10. Die U-I-Kennlinie einer Solarzelle

### Experimentier- und Nachbereitungshinweise

- Die Beleuchtungsstärke darf nicht durch das Verändern der Spannung am Beleuchtungsmodul geändert werden, da sich hierdurch auch das Spektrum ändert. Dieses hat ebenfalls einen Einfluss auf die Leistung der Solarzelle.
- Anstelle des Potentiometers kann auch der Kondensator verwendet werden. Bei einer Beleuchtungsspannung von 5V wird der Kondensator durch das Solarmodul so geladen, dass er alle Widerstände kontinuierlich annimmt und die Schüler genügend Zeit haben die Messwerte aufzunehmen. Bei der Verwendung des Kondensators ist darauf zu achten, dass der Minuspol (Pluspol) des Kondensators am Minuspol (Pluspol) der Solarzelle anliegt und dass der Kondensator entladen ist. Da den Schülern eventuell nicht bewusst ist, dass der Kondensator verschiedene Widerstände annimmt, sollten die Schüler neben der Leistung des Solarmoduls auch den Widerstand des Kondensators berechnen.
- In der Auswertung der U-I-Kennlinie bietet es sich an, darauf einzugehen, dass Solarkraftanlagen mit MPP-Trackern ausgestattet sind. Sie sorgen dafür, dass sie immer am MPP arbeitet. Der berechnete Wirkungsgrad entspricht etwa der Hälfte des realen Wertes für polykristallines Silizium (14%-20%). Dies liegt daran, dass der Wirkungsgrad bei geringerer Beleuchtung sinkt und er normalerweise bei einer Bestrahlung von  $1000 \text{ W/m}^2$  bestimmt wird.
- Ebenfalls bietet es sich an, die U-I-Kennlinie der Solarzelle mit der einer Diode zu vergleichen. Misst man die U-I-Kennlinie einer Diode entsteht der Graph von Experiment 9.1. Tauscht man die Diode mit einer Solarzelle in der gleiche Orientierung von p- und n-Übergang aus und nutzt eine Spannungsquelle, die Leistung aufnehmen kann, verschiebt sich der Graph entlang der Ordinate um den Photostrom nach unten (Siehe nachfolgende qualitative Abbildung).



Die U-I-Kennlinie, welche im Experiment 10.2 gemessen wird, befindet sich „umgeklappt“ im 4. Quadranten.

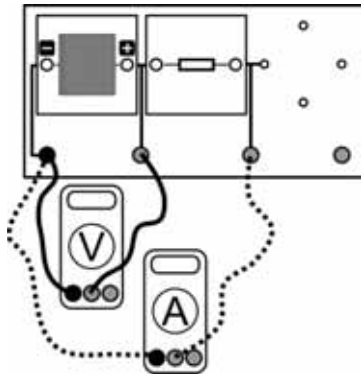


## 10.1 Die Abhängigkeit der Solarzellenleistung von der Last

### Aufgabe

Bestimme die Leistung eines Solarmoduls bei unterschiedlichen Verbrauchern.

### Aufbau



### Benötigte Geräte

- leXsolar-Grundeinheit
- leXsolar-Beleuchtungsmodul
- 1 großes Solarmodul
- 1 Strommessgerät
- 1 Spannungsmessgerät
- 1 Widerstandsmodul
- 1 Hupenmodul
- 1 Motormodul
- 1 PowerModul (9V)

### Durchführung

1. Baue den Versuch entsprechend der Versuchsanordnung auf. Schalte das Beleuchtungsmodul bei einer Spannung von 9V ein. Stecke zunächst das Widerstandsmodul auf.
2. Miss die Stromstärke und die Spannung der Solarzelle.
3. Wiederhole die Messung mit dem Hupen- und dem Motormodul. Erfasse alle Messwerte in einer Tabelle.

### Auswertung

1. Berechne die Leistung des Solarmoduls und den Widerstand des Verbrauchers für jeden Verbraucher.
2. Vergleiche die Leistung der Solarzelle bei den verschiedenen Verbrauchern. Ziehe Rückschlüsse zwischen Widerstand und Leistung.

### Messwerte

	Widerstand 33 $\Omega$	Motormodul	Hupe
$U$ (V)	0,61	1,25	1,44
$I$ (mA)	15,5	13,4	2
$P=U \cdot I$ (mW)	9,4	16,8	2,9
$R=U/I$ ( $\Omega$ )	39,4	93,3	720

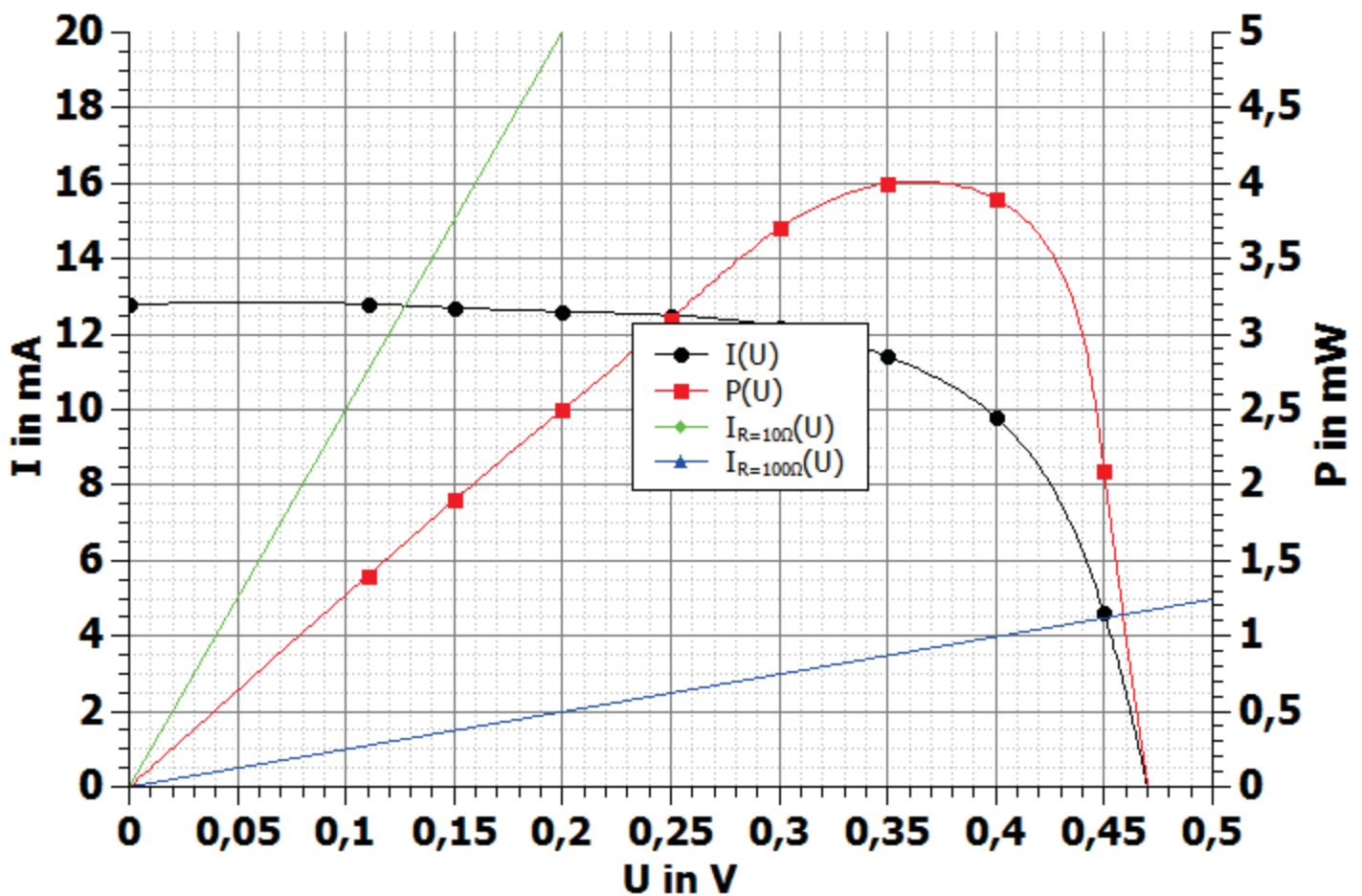


## 10.2 Die U-I-Kennlinie und der Füllfaktor einer Solarzelle

### Messwerte

$U$ (V)	0,47	0,45	0,4	0,35	0,3	0,25	0,2	0,15	0,11	0
$I$ (mA)	0	4,6	9,8	11,4	12,2	12,5	12,6	12,7	12,8	12,8
$P=U \cdot I$ (mW)	0	2,1	3,9	4	3,7	3,1	2,5	1,9	1,4	0

### Diagramme



### Auswertung

3.

Die U-I-Kennlinie zeigt, dass die Stromstärke mit zunehmender Spannung sinkt. Die maximale Spannung und Stromstärke betragen 0,47V beziehungsweise 12,8mA. Die Leistung besitzt bei einer Spannung von 0,35V und einer Stromstärke von 11,4mA ihr Maximum. Mit zunehmenden Abstand zu dieser Spannung sinkt die Leistung bis auf 0.



## 14.1 Die Wirkungsgradbestimmung mehrere Energieumwandlungen

### Messwerte

- mit Leistungsbestimmung am Motor

$h$ (cm)	Höhe, um die das Gewicht gehoben wurde	43,5
$t$ (s)	Zeit für Heben um $h$	34
$U$ (V)	Spannung an Solarzelle	1,45
$I$ (mA)	Stromstärke im Stromkreis der Solarzelle	19

- mit Leistungsmessung an den Glühlampen

$h$ (cm)	Höhe, um die das Gewicht gehoben wurde	43,5
$t$ (s)	Zeit für Heben um $h$	34
$U$ (V)	Spannung über dem Beleuchtungsmodul	12,1
$I$ (mA)	Stromstärke im Stromkreis des Beleuchtungsmoduls	390

### Auswertung

Berechnungen:

Leistung Stromversorgungsgerät	Leistung Solarzelle	Hubleistung am Gewicht
$P_{netz} = U_{netz} \cdot I_{netz}$ $P_{netz} = 12,1V \cdot 390mA$ $P_{netz} \approx 4,7W$	$P_{solar} = U_{solar} \cdot I_{solar}$ $P_{solar} = 1,45V \cdot 19mA$ $P_{solar} \approx 27,6W$	$P_{Hub} = \frac{W_{Hub}}{t} = \frac{m \cdot g \cdot h}{t}$ $P_{Hub} = \frac{0,02kg \cdot 9,81 \frac{m}{s^2} \cdot 0,435m}{34s}$ $P_{Hub} = 2,5mW$
Wirkungsgrad Leistung der Solarzelle in Hubleistung	Wirkungsgrad elektrische Leistung der Stromversorgungsgeräts in Hubleistung	
$\eta_a = \frac{P_{Hub}}{P_{solar}}$ $\eta_a = \frac{2,5mW}{27,6mW}$ $\eta_a = 9\%$	$\eta_b = \frac{P_{Hub}}{P_{netz}}$ $\eta_b = \frac{2,5mW}{4700W}$ $\eta_b = 0,05\%$	

Ergebnis: Der Wirkungsgrad der Energieumwandlung elektrische Energie Solarzelle > potentielle Energie Gewicht beträgt **9%**.

Der Wirkungsgrad der Energieumwandlung elektrische Energie Stromversorgungsgerät > Strahlungsenergie > elektrische Energie Solarzelle > potentielle Energie Gewicht beträgt **0,05%**.





A series of horizontal dotted lines spanning the width of the page, intended for taking notes.



A series of horizontal dotted lines spanning the width of the page, intended for taking notes.

leXsolar GmbH  
Strehleener Straße 12-14  
01069 Dresden / Germany

Telefon: +49 (0) 351 - 47 96 56 0  
Fax: +49 (0) 351 - 47 96 56 - 111  
E-Mail: [info@lexsolar.de](mailto:info@lexsolar.de)  
Web: [www.lexsolar.de](http://www.lexsolar.de)