



UNTERRICHTSMODUL PHOTOVOLTAIK

PHOTOVOLTAIK

ARBEITSBLATT UND LEHRERINFORMATION

Fachinhalte:

- ▶ Elektrische und thermische Solaranlagen
- ▶ Silizium, Halbleiter, Dotierung, pn-Übergang, Elektronen und „Löcher“
- ▶ Monokristalline, Polykristalline, Dünnschicht und organische Solarzellen
- ▶ Funktion, Bauformen und Herstellung von Photovoltaik
- ▶ Technische Komponenten, wie z. B. Wechselrichter, und Einstufung einer Photovoltaikanlage
- ▶ Globalstrahlung, Gesamtenergiebilanz, Klimawandel, CO₂-Einsparung

PHOTOVOLTAIK

Energie aus Sonneneinstrahlung ist ein wichtiger Baustein der erneuerbaren Energien und stellt eine Maßnahme im Kampf gegen den Klimawandel dar. Sonnenenergie trägt dazu bei, Treibhausgase zu verringern, wie sie zum Beispiel bei der Energieerzeugung mittels fossiler Brennstoffe entstehen. Der Begriff Photovoltaik setzt sich aus dem griechischen Wort für Licht, „Phos“, und der Einheit „Volt“ für elektrische Spannung zusammen und bezeichnet ausschließlich Anlagen, bei denen die direkte Sonneneinstrahlung elektrischen Strom erzeugt. Die Bedeutung der Photovoltaik für die Stromerzeugung in Deutschland hat in den letzten Jahren stetig zugenommen. In 2019 betrug der Anteil von Photovoltaik an der Stromerzeugung 7,7 Prozent.

► Basisaufgabe ► Bonusaufgabe

AUFGABEN

1. AUFBAU UND FUNKTION EINER SOLARZELLE

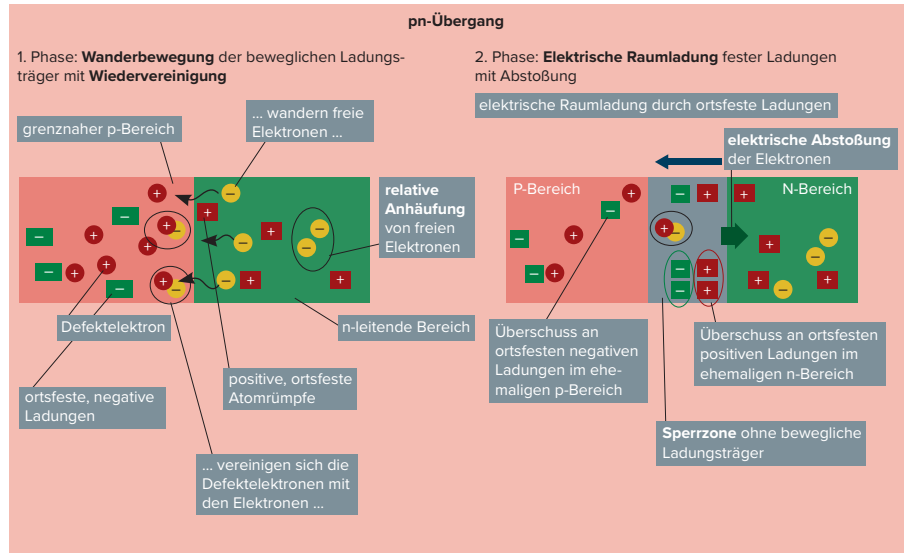
- Schau dir die Einzelbilder in Abbildung 1 mit allen Fachbegriffen und Textbausteinen genau an und fülle dann die Lücken mit den Fachbegriffen aus den Bildern.

MATERIAL	AUFBAU EINER SOLARZELLE
<p>Halbleiter Silizium</p> <p>keine frei beweglichen Ladungsträger</p> <p>Silizium-Atom mit 4 Außenelektronen</p> <p>Kristallgitterstruktur</p> <p>bei Zimmertemperatur</p>	<p>Solarzellen bestehen aus Halbleitermaterial und produzieren elektrischen Strom bei Sonneneinstrahlung. _____ nennt man beispielsweise die chemischen Stoffe _____ oder Germanium. Sie haben bei _____ eine feste Kristallstruktur, das bedeutet, dass die Atomrümpfe und die vier äußeren Elektronen des Siliziums fest in einer _____ gebunden sind. Es gibt _____.</p> <p>Bei niedriger Temperatur ohne größere Wärmeschwingung der Kristalle leiten Halbleiter den elektrischen Strom nicht.</p>
<p>n-Dotierung, n-leitend</p> <p>Fremdatom</p> <p>1 Elektron frei beweglich</p> <p>Fünfwertiges Phosphor-Atom</p>	<p>p-Leitung</p> <p>Loch, Defektelektron</p> <p>Bor mit 3 gebundenen Außenelektronen</p>
<p>Mit dem Trick der Dotierung (lat. für „Ausstattung“) werden Halbleiter auch bei geringen Temperaturen leitfähig. Dazu baut man gezielt _____ mit mehr oder weniger Außenelektronen als bei Silizium in den Kristall ein. Bei Verunreinigung mit _____ atomen, d. h. mit fünf Elektronen in der Außenschale, verbinden sich nur vier Elektronen mit dem Silizium-Kristallgitter und _____. Der Bereich ist n-leitend, eine _____. Eine _____, d. h. eine Leitfähigkeit bei Anlegen einer äußeren Spannung durch bewegliche, scheinbar positive Ladungen, erreicht man beispielsweise durch den Einbau des Elements _____, also einem Elektron weniger als bei Silizium. Dabei gehen drei Außenelektronen eine feste Bindung mit den Silizium-Nachbarn ein. Bei einer Bindung zum Nachbarn liegt ein _____ vor, ein _____. Beim Anlegen einer äußeren Spannung füllen freie, zum Pluspol wandernde Elektronen diese Lücke. Das Defektelektron wandert dann als freie, scheinbar positive Ladung zum Minuspol. Der Bereich heißt p-leitend.</p>	

Abbildung 1

MATERIAL

AUFBAU EINER SOLARZELLE



Für die Funktion der Solarzelle ist der _____ wichtig, also der Bereich, wo p- und n-Leitung aneinanderstoßen. Denn hier findet bei Sonneneinstrahlung die Stromerzeugung durch Trennung der Ladungen statt. Ohne äußere Spannung findet in der ersten Phase eine _____ der beweglichen Ladungen mit _____ von beweglichen Ladungen statt. Es _____ aufgrund der _____ im n-Bereich in den p-Bereich ein und springen dort in die Lücken. Hier _____, bewegliche, positive Lücken verschwinden. Im _____ bleiben _____ zurück. Andererseits verarmt der _____ an freien Elektronen durch die Wanderbewegung in den p-Bereich. Zurück bleiben die _____ des Phosphors. Als Zweites bildet sich in der zweiten Phase eine _____ ortsfester Ladungen aus. Die _____ verhindert eine weitere Wanderung der Elektronen in den p-Bereich. Der pn-Übergang ist eine elektrische _____ ohne bewegliche Ladungsträger, aber mit ortsfester Raumladung.

Abbildung 1

- In Abbildung 2 wird die Funktionsweise einer Solarzelle bei Sonneneinstrahlung erklärt. Lies dir zuerst die Textbausteine aufmerksam durch und ordne die zugehörigen Großbuchstaben jeder passenden Situation im Bild zu.

MATERIAL**FUNKTION EINER SOLARZELLE**

- A** Pralle Sonneneinstrahlung trifft in der Sperrzone, also dem Bereich des pn-Übergangs, auf vereinigte Löcher und Elektronen.
- B** Bei geringer Strahlungsenergie wegen ungenügender Lichtstärke, Reflexion oder schlechtem Einstrahlwinkel lösen sich die Elektronen aus den Lücken und fallen dann wieder in die Lücken zurück.
- C** Starke Sonneneinstrahlung schlägt bei Strahlung die Elektronen aus den Löchern heraus.
- D** Die ausgelösten Elektronen sind frei beweglich und wandern – angetrieben von der Raumladung in der Sperrzone – in Richtung n-leitendem Bereich.
- E** Das Metallgitter im n-Bereich fängt die Elektronen auf.
- F** Über Verbraucher und Strommesser fließen die Elektronen als elektrischer Strom über den Metallkontakt in den p-leitenden Bereich.
- G** Das Strommessgerät zeigt einen negativen Gleichstrom an. Negativ, da Elektronen fließen, und Gleichstrom, da die Stromrichtung nicht wechselt.
- H** Nach der Trennung von Löchern und Elektronen wandern die Löcher (scheinbar) zur p-leitenden Schicht.

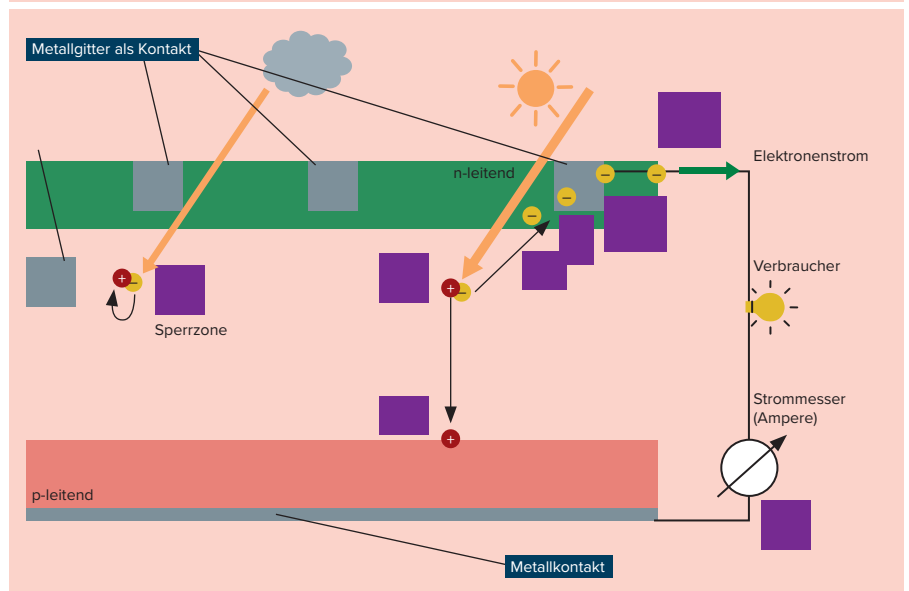


Abbildung 2

2. HERSTELLUNG, BAUFORMEN UND ANWENDUNG VON VERSCHIEDENEN SOLARZELLENTYPEN

► Macht euch zunächst im Experten-Team mit der Gewinnung des Halbleitermaterials Silizium und der Herstellung der verschiedenen Typen von Solarzellen vertraut (Abbildung 3). Lest die Eigenschaften von eurem Solarzellen-Typ in der Tabelle (Abbildung 4) aufmerksam durch und vervollständigt mit dem Wissen aus Abbildung 3 die Lücken. Nutzt für eure Einschätzung eine Skala mit fünf Stufen von „sehr hoch“, „hoch“, „klein“, „gering“, „sehr gering“.

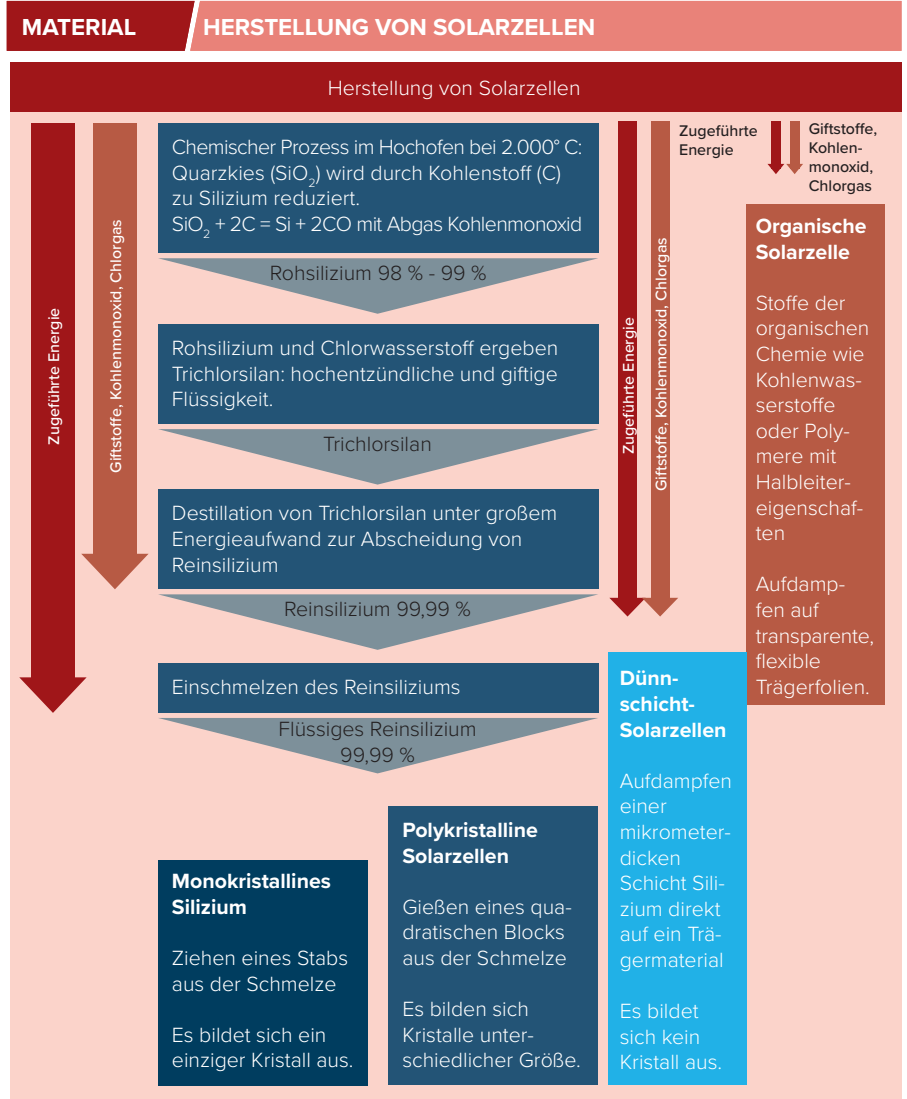

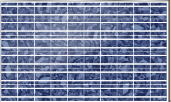




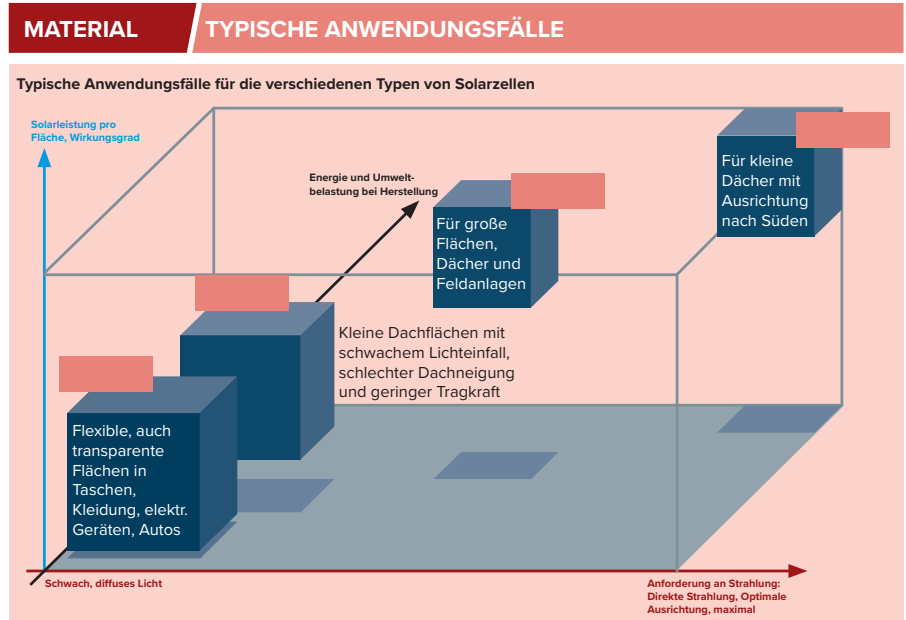
Abbildung 3

MATERIAL	KENNZEICHEN VON SOLARZELLEN			
	MONOKRISTALLIN	POLYKRISTALLIN	DÜNNSCHICHT	ORGANISCH
TYPISCHES AUSSEHEN	 <small>Quelle: xangai – stock.adobe.com</small>	 <small>Quelle: xangai – stock.adobe.com</small>	 <small>Quelle: iaremenko – stock.adobe.com</small>	 <small>Quelle: iaremenko – stock.adobe.com</small>
OBERFLÄCHE	Glatt	Rau, einzelne Kristallgrenzen sichtbar	Glatt	Glatt
FARBE				
AUFBAU	Zerschneiden des Kristalls in dünne Scheiben. Dotierung. Anbringen der Metallkontakte.	Zerschneiden des Gussblocks in dünne Scheiben. Elektrische Zusammenschaltung der Scheiben. Dotierung. Metallkontakte.	Sehr dünne Zelle (1–5 Mikrometer). Empfindlich, da kein Rahmen. Effizient bei schwachem Licht. Aufdampfen von nicht-kristallinem Silizium auf flexibles Trägermaterial.	Dünnste Schichten von Polymeren, aufgedampft auf Trägermaterial. Alle Arten von Trägern (flexibel, transparent, etc.).
EIGENSCHAFTEN BEI LICHT-EINFALL	Direkte Sonneneinstrahlung bei guter Ausrichtung.	Auch schwaches und diffuses Licht. Vielfach Reflexionen an Kristallgrenzen.	Auch schwaches und diffuses Licht.	Auch schwaches und diffuses Licht.
WIRKUNGSGRAD	22 %	15 %	10 % – 13 %	7 % – 11 %
LEBENSDAUER	Sehr hoch	Hoch	Klein	Gering
ENERGIE BEI HERSTELLUNG				
UMWELTBELASTUNG BEI HERSTELLUNG				

Quelle: <https://www.wegatech.de/ratgeber/photovoltaik/grundlagen/poly-oder-monokristalline-module/>

Abbildung 4

- ▶ In Abbildung 5 sind in einem dreidimensionalen, qualitativen Diagramm mit den Achsen „Anforderung an Strahlung“, „Solarleistung pro Fläche bzw. Wirkungsgrad“ und „Energie und Umweltbelastung bei Herstellung“ typische Anwendungen für die verschiedenen Solarzellentypen dargestellt. Ordnet unter Nutzung der Kennzeichen eurer Solarzelle aus Abbildung 4 die zu eurem Typ von Solarzelle passende Anwendung in Abbildung 5 zu.



▶ **PV-ANLAGE FÜR EIN 4-PERSONEN-HAUS**

Ein 4-Personen-Haushalt verbraucht in Deutschland im Jahr rund 4.000 Kilowattstunden (kWh) Strom. Die erzielbare Leistung einer PV-Anlage hängt wesentlich von der Sonnenscheindauer, der bauart-spezifischen Nennleistung (Kilowatt Peak kWp), der Ausrichtung der Solarmodule und von der Intensität der Strahlung ab. Im Jahr leistet eine Anlage durchschnittlich 800 kWh (im Norden) – 1.000 kWh (im Süden) pro installierter 1 kW Nennleistung. Die Anzahl der zu installierenden 1 kWp-Module ergibt sich aus dem erwünschten Energieertrag E (kWh) geteilt durch die örtliche Jahresstrahlungsenergie. Um 1 Kilowatt Leistung zu erzielen, benötigt man rund 6 qm Solarfläche. Die Kosten für den Aufbau einer (kleinen) PV-Anlage liegen bei rund 1.800 EUR/kW Nennleistung.

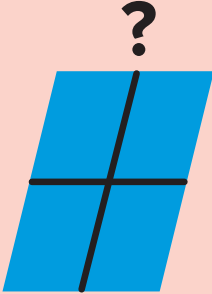

- Berechne die notwendige Fläche der PV-Anlage und die Kosten jeweils für einen 4-Personen-Haushalt im Norden und im Süden von Deutschland und trage die berechneten Werte in die Tabelle ein.

	ANZAHL DER ZU INSTALLIERENDEN 1 KWP-MODULE	GESAMTFLÄCHE DER PV-ANLAGE	GESAMTKOSTEN FÜR INSTALLATION
Im Norden			
Im Süden			

3. ERTRAG EINER PV-ANLAGE ZUM LADEN EINES ELEKTRO-AUTOS UND KREATIVE IDEEN FÜR PV-STANDORTE

Abbildung 6 zeigt ein Elektroauto mit einer Fahrleistung von 10.000 km im Jahr. Dafür ist durchschnittlich ein jährlicher Energiebedarf von 1.500 kWh notwendig. In Abbildung 7 ist dargestellt, wie sich der Energieertrag einer PV-Anlage berechnet. Er setzt sich aus der Sonneneinstrahlung im ganzen Jahr an einem Standort, der Globalstrahlung, der Fläche der Solarzellen und verschiedenen Verlustfaktoren zusammen. Nähere Angaben dazu, wie die Ausrichtung der Fläche zur Himmelsrichtung und die Neigung zur Sonne als Verlustfaktoren eingehen, findet ihr in Abbildung 8. Berücksichtigt auch die Angaben zu den verschiedenen Typen von Solarzellen aus Abbildung 4.

- ▶ Arbeitet zur Versorgung eines Elektroautos durch eine PV-Anlage mit Nennleistung 1.500 kWh im Jahr zwei kreative Montageorte und dazu jeweils passende Solarzellentypen aus. Wählt als geografische Standorte je eine Stadt aus der Tabelle in Abbildung 8 aus. Nutzt die angegebenen Formeln aus Abbildung 7 zur Berechnung und tragt die Werte in die Tabelle in Abbildung 6 ein.
- ▶ Begründet eure Wahl von Standort und Solarzellentyp in Stichworten.

MATERIAL	ERTRAG EINER PV-ANLAGE
	
	Stromverbrauch im Jahr: 1.500 kWh Fahrleistung pro Jahr: 10.000 km

Zwei kreative Ideen für PV-Anlagen zur Versorgung des E-Autos mit 1.500 kWh im Jahr

LAGE	VERFÜGBARE GEBÄUDEFLÄCHE	BERECHNETE FLÄCHE DER PV-ANLAGE	TYP SOLARZELLE	MAX. WIRKUNGS-GRAD	AUS-RICHTUNG	GLOBAL-STRAHLUNG	NEIGUNGS-FAKTOR

Abbildung 6




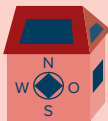

Energieertrag im Jahr in kWh/qm	Jährliche Globalstrahlung in kWh/qm	Wirkungsgrad der Solarzelle	Faktor für Neigung und Ausrichtung in Prozent	Performance Ratio PR in Prozent berücksichtigt alle elektrischen Verluste der Anlage
				
$\text{Energieertrag im Jahr (kWh)} = \text{Globalstrahlung (kWh/qm)} \times \text{gesamte Modulfläche (qm)} \times \text{Wirkungsgrad} \times \text{Faktor} \times (\text{Performance Ratio} = 0,76)$				
$\text{Mindestfläche der Solarzelle (qm)} = \frac{\text{Energieertrag im Jahr (kWh)}}{\text{Globalstrahlung (kWh/qm)} \times \text{Wirkungsgrad} \times \text{Neigungsfaktor} \times \text{Performance Ratio}}$				

Abbildung 7

Globalstrahlung im Jahr nach Standort

Standort	Globalstrahlung (kWh/m²)
Hamburg	900 kWh/m²
Berlin	1.000 kWh/m²
Köln	1.000 kWh/m²
Stuttgart	1.100 kWh/m²
München	1.200 kWh/m²

Quelle: Deutscher Wetterdienst

Einfluss von Ausrichtung und Dachneigung auf die Strahlung

DACH-NEIGUNG	NORD	OST	SÜD-OST	SÜD	SÜD-WEST	WEST
0° – 10°	80 %	90 %	95 %	95 %	95 %	90 %
11° – 40°	60 %	80 %	95 %	100 %	95 %	80 %
41° – 90°	30 %	60 %	70 %	80 %	70 %	60 %

Quelle: Viessmann

Abbildung 8