

Nachname, Vorname:

Matrikelnummer:

Studiengang:

Erreichte Punktzahl:

Note:

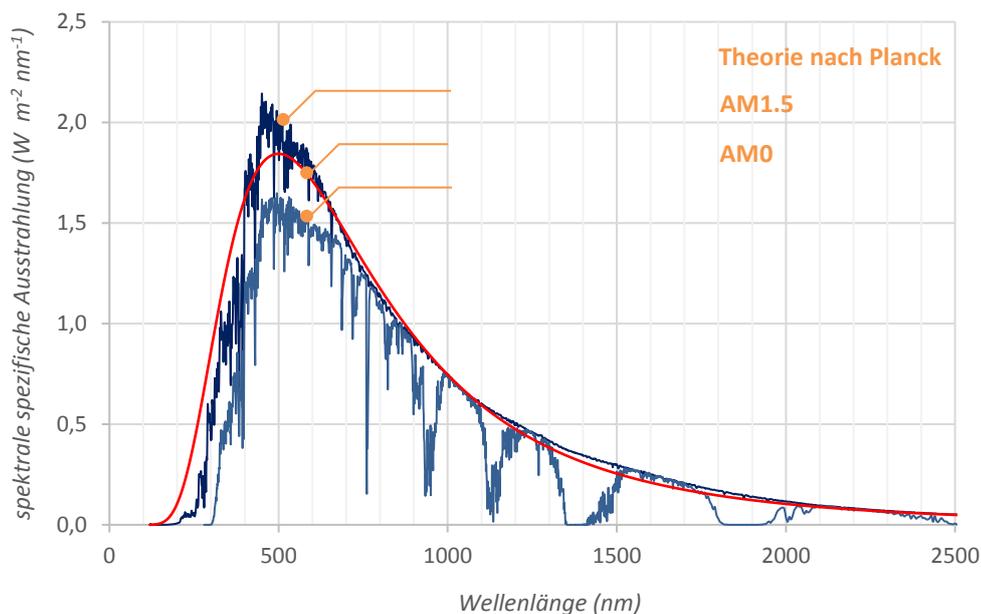
Aufgabe	1	2	3	4	5	6	Summe
Maximal	8	15	12	6	12	8	61
Erreicht							

Bitte beachten Sie:

- Diese Probeklausur erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Sie dient ausschließlich als grobe Orientierung zu Ablauf und Gliederung der Abschlussklausur. Lösungen zur Übungsklausur werden nicht veröffentlicht. Ähnliche Aufgaben mit Lösungen finden Sie aber in Ihren Übungsunterlagen.
- Erlaubte Hilfsmittel: Taschenrechner (nichtprogrammierbar) und die letzte Seite der Klausur mit Konstanten.
- Die Klausur umfasst 6 Aufgaben, die jeweils erreichbaren Punkte stehen für jede Aufgabe in Klammern am Ende des jeweiligen Aufgabentextes.
- Dauer der Klausur: 120 min.

Aufgabe 1: Sonnenspektrum (8 Punkte)

- a.) Ordnen Sie den drei Verläufen in Abbildung 1 die zugehörigen Bezeichnungen zu und begründen Sie Ihre Wahl ausführlich. (1,5 Punkte)
- b.) Durch welche Effekte entstehen die Unterschiede zwischen den Kurven und wie sind die charakteristischen Einbrüche im Spektrum zu erklären? (3 Punkte)
- c.) Wie würde das AM0-Spektrum auf dem Merkur und dem Pluto aussehen? Begründen Sie Ihre Antwort anhand des Planck'schen Strahlungsgesetzes. (1 Punkt)
- d.) Nehmen Sie an, dass sich das Maximum des Sonnenspektrums von ca. 500 nm im Grünen zu 600 nm im Orangenen verschiebt. Berechnen Sie die Solarkonstante dieses Gedankenexperiments und vergleichen Sie diese mit der uns vertrauten realen Solarkonstante. (2,5 Punkte)
(Oberfläche der Sonne: $6,1 \cdot 10^{18} \text{ m}^2$, Entfernung Sonne-Erde: $1,50 \cdot 10^8 \text{ km}$, Stefan-Boltzmann-Konstante: $5,67 \cdot 10^8 \text{ W/m}^2/\text{K}^4$)

**Abbildung 1: Sonnenspektrum**

Aufgabe 2: Dünnschichtphotovoltaik (15 Punkte)

- a.) Nennen Sie drei Materialien, die sich als Dünnschichtmaterial eignen und geben Sie jeweils zwei Vor- und Nachteile der Technologien an. (3 Punkte)
- b.) Zeichnen Sie die Schichtfolge einer typischen CIGS-Dünnschichtsolarzelle. Beschriften Sie die einzelnen Schichten und geben Sie jeweils deren Aufgabe an. Welche Materialien werden für die einzelnen Schichten verwendet? (4 Punkte)
- c.) Zeichnen Sie das Banddiagramm der im Aufgabenteil b.) diskutierten Schichtfolge. Welche Besonderheit ergibt sich an den Grenzflächen im Vergleich zu den Vorgängen in einer klassischen Siliziumsolarzelle? Wie beeinflusst diese Besonderheit den Ladungstransport an den Grenzflächen? (4 Punkte)
- d.) Durch welche beiden Methoden lässt sich die Bandlücke des CIGS-Absorbers beeinflussen? Welche Rolle spielt eine korrekt eingestellte Bandlückenenergie für die Photovoltaik? (2 Punkte)
- e.) Berechnen Sie für den Absorber $\text{CuIn}_{0,7}\text{Ga}_{0,3}\text{Se}_2$ die Menge an Gallium in einer Zelle mit einer Zellfläche von $A = 1 \text{ m}^2$ und einer Absorberdicke von $d = 1 \text{ }\mu\text{m}$. Gehen Sie von einer Dichte des Absorbers von $\rho = 5,7 \text{ g/cm}^3$ aus. (2 Punkte)
(Molmassen: $M_{\text{Cu}} = 63,6 \text{ g/mol}$, $M_{\text{In}} = 114,8 \text{ g/mol}$, $M_{\text{Ga}} = 69,7 \text{ g/mol}$, $M_{\text{Se}} = 79,0 \text{ g/mol}$)

Aufgabe 3: Analytik (12 Punkte)

- a.) Nennen Sie drei Verfahren, die bei der Untersuchung der elektrischen oder optischen Eigenschaften von Solarzellen Anwendung finden. Erklären Sie die Funktionsweise der Verfahren und nennen Sie die Größen die damit analysiert werden können. (3 Punkte)
- b.) Die Strom-Spannungs-Kennlinie einer Solarzelle wird im Dunkeln und unter Beleuchtung gemessen. Für eine große negative Spannung messen Sie im Dunkeln einen Strom von $I = 2 \mu\text{A}$ und bei Beleuchtung $I = 6,8 \text{ A}$. Bestimmen Sie aus diesen Angaben den Kurzschlussstrom und die Leerlaufspannung der Solarzelle und begründen Sie Ihr Vorgehen. (2 Punkte)
- c.) Zeichnen Sie mithilfe der Kenngrößen aus Aufgabenteil b.) die Kennlinie im Dunkeln und unter Beleuchtung und beschriften Sie sie vollständig. (2 Punkte)
- d.) Erläutern Sie wie mit Hilfe der Strom-Spannungs-Kennlinie der Wirkungsgrad der Solarzelle ermittelt wird. (1 Punkt)
- e.) Wie ändern sich die Kenngrößen aus der Strom-Spannungs-Kennlinie wenn Sie die Fläche der Solarzelle verdoppeln? Begründen Sie Ihre Antwort. (2 Punkte)
- f.) Zeichnen Sie das Ersatzschaltbild einer idealen Solarzelle unter Beleuchtung. Diskutieren Sie die Aufgaben der einzelnen Bauteile darin. Wie lässt sich die Genauigkeit dieses Modells noch weiter optimieren? (2 Punkte)

Aufgabe 4: Tandemsolarzellen (6 Punkte)

- a.) Aus den beiden Absorber-Materialien GaInP (Bandlücke von 1,8 eV) und GaAsP (Bandlücke von 1,0 eV) soll eine Tandemsolarzelle konstruiert werden. Wie sollten die pn-Übergänge der zwei Materialien optisch und elektrisch sinnvollerweise zu einander orientieren werden? Begründen Sie Ihre Antwort. (1,5 Punkte)
- b.) Diskutieren Sie den Unterschied zwischen einer Zwei- und einer Vier-Kontakt-Verschaltung in einer Tandemsolarzelle. Nennen Sie jeweils zwei Vor- und Nachteile für die beiden Verschaltungsarten? (2 Punkte)
- c.) Welche maximalen Wirkungsgrade konnten bislang mit multi-junction-Solarzellen erreicht werden? Welche weiteren Verlustmechanismen treten bei der Energieumwandlung dabei trotzdem generell auf? Nennen Sie mindestens zwei Verlustkanäle. (1,5 Punkte)
- d.) Nennen Sie außer der Tandem- oder Multi-Junction-Solarzelle ein weiteres technologisches Konzept, um den Wirkungsgrad einer Solarzelle mit einfachem pn-Übergang zu steigern und erläutern Sie kurz das Funktionsprinzip. (1 Punkt)

Aufgabe 5: Stromertrag (12 Punkte)

Ein Haushalt in Karlsruhe mit einem jährlichen Stromverbrauch von 4000 kWh möchte diesen gerne durch eine Solaranlage aus polykristallinen Siliziummodulen mit der Effizienz von 15 % decken. Bei einer optimalen Ausrichtung der Module kann eine jährliche Bestrahlung von 1.200 kWh/m² erreicht werden.

- a.) Zeichnen Sie eine grobe Schaltskizze wie ein derartiges System zur Bereitstellung des Eigenbedarfs aussehen könnte. Welche zusätzlichen Komponenten neben dem Solarmodul werden benötigt und welche Aufgaben haben diese? (2,5 Punkte)
- b.) Berechnen Sie die notwendige maximale Nennleistung der Solaranlage damit der Strombedarf gedeckt werden kann. Nehmen Sie für Ihre Berechnung einen plausiblen Wert für weitere Generator- und Systemverluste an. Benennen Sie außerdem vier Ursachen für diese auftretenden Verluste. (4 Punkte)
- c.) Um welchen Faktor steigt der jährliche Stromertrag in etwa, wenn die Anlage in einer der sonnenreichsten Regionen der Erde, wie z. B. in der Sahara, aufgestellt werden würde? (1 Punkt)
- d.) Schätzen Sie die prinzipiellen Stromgestehungskosten dieser Anlage in Karlsruhe ab. Gehen Sie dabei von Investitionskosten in Höhe von 1.400 €/kW_p und einer Lebensdauer von 20 Jahren aus. Berücksichtigen Sie die Finanzierung der Anlage sinnvoll. (2 Punkte)
- e.) Nennen Sie vier weitere Kostenpunkte der Anlage, die neben den reinen Gesteherungskosten im Laufe der Lebensdauer auf die Haushaltseigentümer zu kommen werden. (1 Punkt)
- f.) Der Stromertrag hängt stark vom Wirkungsgrad der Solarzellen ab. Auf welchen Wert wird der Wirkungsgrad der hier verwendeten Solarzellen während einer Lebensdauer von 20 Jahren auf Grund von Degradation vermutlich absinken? Nennen Sie mindestens zwei treibende Kräfte dieser Degradation. (1,5 Punkte)

Aufgabe 6: Solarthermie (8 Punkte)

- a.) Nennen Sie die zwei gängigsten Kollektortypen zur Erwärmung von Brauchwasser für den Hausgebrauch. Welchen primären Vor- und Nachteil haben die beiden Technologien. (2 Punkte)
- b.) Zeichnen und beschriften Sie den Querschnitt des gängigsten Kollektortyps aus Aufgabenteil a.). Welche Aufgaben haben die einzelnen Bestandteile? (2 Punkte)
- c.) Die im Kollektor umgesetzte Wärmeleistung lässt sich vereinfacht schreiben als:

$$\dot{q}_{\text{Wärme}} = \alpha \cdot \tau \cdot j_{\text{Einfall}} - k_{\text{Verlust}} \cdot (T_{\text{Absorber}} - T_{\text{Umgebung}})$$

darin sind j_{Einfall} die flächenbezogene solare Einstrahlung auf den Absorber und α , τ sowie k_{Verlust} Konstanten. Welche Prozesse beschreiben diese Konstanten bei der Umwandlung von Strahlungsenergie in Wärmeenergie? Berechnen Sie mit obiger Gleichung den Wirkungsgrad für einen Absorber bei einer Temperatur von 100 °C und einer Umgebungstemperatur von 20 °C. Die Konstanten nehmen folgende Werte an: $\alpha = \tau = 0,9$ und $k_{\text{Verlust}} = 4 \text{ W/m}^2\text{K}$. Die solare Einstrahlung beträgt 1.000 W/m^2 . (2,5 Punkte)

- d.) Beschreiben Sie ausführlich den Aufbau und die Funktion eines Solarturmkraftwerks. Welche große Herausforderung zur Erzielung ausreichender Effizienzen ist mit diesem speziellen Großkraftwerktyp verbunden? (1,5 Punkte)

Name:

Matrikelnummer:

Naturkonstanten:

Absoluter Temperaturnullpunkt	T_0	-273,15	°C
Atomare Masseneinheit	u	$1,661 \cdot 10^{-27}$	kg
Avogadro-Konstante	N_A	$6,022 \cdot 10^{23}$	mol ⁻¹
Bohr'scher Radius	a_0	$0,529 \cdot 10^{-10}$	m
Boltzmann-Konstante	k_B	$1,381 \cdot 10^{-23}$	J/K
Elektrische Feldkonstante	ϵ_0	$8,854 \cdot 10^{-12}$	As/Vm
Elektronenmasse	m_e	$9,109 \cdot 10^{-31}$	kg
Elementarladung	e	$1,602 \cdot 10^{-19}$	C
Euler'sche Zahl	e	2,718	
Kreiszahl	π	3,142	
Lichtgeschwindigkeit im Vakuum	c_0	$2,998 \cdot 10^8$	m/s
Magnetische Feldkonstante	μ_0	$1,257 \cdot 10^{-6}$	Vs/Am
Neutronenmasse	m_n	$1,675 \cdot 10^{-27}$	kg
Planck'sches Wirkungsquantum	h	$6,626 \cdot 10^{-34}$	Js
	\hbar	$1,055 \cdot 10^{-34}$	Js
Protonenmasse	m_p	$1,673 \cdot 10^{-27}$	kg