

6 Übungsblatt Photovoltaik

6.1 (Thermodynamik)

a)

Der erste Hauptsatz der Thermodynamik lautet “Die innere Energie eines isolierten Systems ist konstant.”. Man kann auch so formulieren: “Führt man einem System von außen die Wärmeenergie ΔQ zu, so kann sie teilweise zu einer Arbeitsleistung $-\Delta W$ verbraucht werden. Der Rest von ΔQ führt zur Steigerung der inneren Energie U des Systems um ΔU : $\Delta Q = \Delta U - \Delta W$.”. Die Summe der dem System zugeführten Arbeit und der ihm netto zugeführten Wärmeenergie ist gleich der Änderung der Inneren Energie. D.h. Änderungen der inneren Energie sind nur durch Austausch irgendeiner Energieform möglich.

Die innere Energie ist die gesamte dem System innewohnende Energie. Sie kann die Bewegungsenergie der Moleküle sein, im Falle des idealen Gases ist dies die einzig mögliche Form der inneren Energie, wobei dann die innere Energie nur von der Temperatur abhängt ($U = \frac{3}{2}nRT$). Als Zustandsgröße hängt die innere Energie nur vom Zustand ab und nicht vom Weg, wie dieser erreicht wurde. Das die innere Energie eine Zustandsgröße ist folgt daraus, dass Energie in verschiedenen Formen auftreten kann und daher die innere Energie unabhängig vom Weg der zu einem Zustand führt ist, was eine Voraussetzung für eine Zustandsgröße ist.

b)

Der zweite Hauptsatz der Thermodynamik lautet “Kein System kann Wärmeenergie einem einzelnen Reservoir entnehmen und sie vollständig in Arbeit umsetzen, ohne dass eine Veränderung im System oder der Umgebung auftreten.” Dies kann man auch formulieren für die Entropie: “Die Entropie des Systems und seiner Umgebung kann niemals abnehmen”.

Die Entropie stellt ein Maß für die Unordnung eines Systems dar, so kann lokal eine geringere Entropie erzeugt werden, jedoch wird hierdurch in der Umgebung die Entropie erhöht, und zwar so stark, dass insgesamt die Entropie nicht abnimmt. Die Entropie hängt als Zustandsgröße nur vom Zustand des Systems ab.

c)

Der Carnot-Wirkungsgrad ist definiert als:

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$$

im Fall für eine $T_2 = 300\text{ K}$ warme Solarzelle und der Sonne mit der Temperatur $T_1 = 5762\text{ K}$ folgt also ein Carnot-Wirkungsgrad von:

$$\eta = \frac{5462}{5762} \approx 0.9479$$

D.h. $\eta \approx 94,79\%$. Dieser ist sehr viel größer als der Wirkungsgrad der Zelle, wenn man die Eigenschaften der Bandlücke betrachtet, für den wir einen Wirkungsgrad von $\eta \approx 43.76\%$ gefunden hatten. Der Wirkungsgrad ist ca. doppelt so groß, wobei wir nur ca. 5% Verluste haben im Falle des Carnot-Wirkungsgrades und über 50% für die Solarzelle in Beachtung der Bandlückeneigenschaften. Dies zeigt, dass man noch viel aus den Zellen rausholen kann, wenn man geeignete Methoden entwickelt um auch die restliche Strahlung in Energie umzusetzen, z.B. durch die Thermophotovoltaik oder zumindest erstmal durch die 3rd Generation Solarzellen, wobei hierdurch ein größerer Strahlungsbereich abgedeckt wird. Natürlich bleibt es eine Kostenfrage inwieweit sich die Wirkungsgraderhöhung lohnt.

6.2 (Konzentrator-Solarzelle)

a)

Die Konzentration bzw. Bündelung eines Lichtstrahls bedeutet, dass mehr Photonen auf einen Punkt auf der Solarzelle aufschlagen. Somit kann mehr Energie pro Fläche gewonnen werden. Aus thermodynamischer Sicht kann man sagen, dass eine Temperaturerhöhung durch Fokussierung des Strahles erreicht wird, somit wird also (vgl. 1 c) T_1 erhöht, mit höherem T_1 steigt aber auch der Carnot-Wirkungsgrad, der für die Thermodynamik relevant ist. Das die Temperatur erhöht wird, kann man sich so vorstellen, dass die Photonen direkt in Wärme umgewandelt würden und durch eine größere Anzahl würden natürlich mehr Phononen entstehen, also auch mehr Wärme.

Alternativ kann man auch davon ausgehen, da wir Schwarzkörperstrahler betrachten, dass auf Grund der Temperaturerhöhung durch die Konzentration nach dem Wienschen Verschiebungsgesetz das Strahlungsspektrum verschoben wird und so ein größerer Teil der Strahlung absorbiert werden kann, da nun mehr Photonen eine größere Energie besitzen als der Gap und diesen nun überwinden können.

b)

Die Leerlaufspannung V_{OC} wird durch höhere Konzentration größer, dies kann man sich am Strom-Spannungs-Diagramm der Diode klarmachen, wobei durch höhere Konzentration mehr Photonen ankommen, wodurch der Photostrom vergrößert wird, also der Graph weiter nach "unten", d.h. ins negative I , geshiftet wird. Die Leerlaufspannung wird nun langsam nach rechts laufen, d.h. größer werden umso weiter der Graph nach "unten" geshiftet wird.

c)

Die Kurzschlussstromdichte sei proportional zur Konzentration K , d.h. der Kurzschlussstrom steigt linear mit der Konzentration. Die Leerlaufspannung wird wie in b) be-

sprochen langsam durch höhere Konzentrationen steigen ($\approx 0.1 V$ pro Verzehnfachung der Konzentration). Der Füllfaktor wird leicht sinken. Es ist zu bestimmen, wie sich der Wirkungsgrad der Konzentrator-Solarzellen mit keiner, 10-facher und 100-facher Konzentration ändern. Der Wirkungsgrad $\eta = \frac{I_{SC} \cdot V_{OC} \cdot FF}{P_{in}}$ erhöht sich ca. um 2% pro Verzehnfachung der Konzentration. D.h. der Wirkungsgrad von der Solarzelle ohne Konzentration ändert sich nicht, bei 10-facher Konzentration erhalten wir eine Erhöhung um ca. 2%. Für die 100-fache Konzentration würde eine 4%ige Erhöhung folgen, da jedoch die Größe der Linse hier langsam beginnt einen Einfluss zu zeigen, können wir von einer etwas geringeren Steigerung der Effizienz ausgehen, die grob geschätzt bei 3,8% liegen dürfte. Mit noch höherer Konzentration wird die Linsenfläche immer weiter anwachsen müssen (wobei dies technisch nicht für große Solarzellen dann mehr machbar ist, da die Linsen so groß nicht gemacht werden können), zudem müssen die Linsen auch die Zellen möglichst im Brennpunkt haben, so, dass eine Verschiebung in größere Entfernungen nötig wird oder Teile der Strahlung aus der Fokussierung verloren gehen, da diese neben der Zelle ankommt.

6.3 (Wirkungsgrad)

Es gilt für den Wirkungsgrad (mit der Quanteneffizienz $\eta_{absorption} = 1$)

$$\eta = \eta_{thermalisierung} \cdot \eta_{thermodynamisch} \cdot FF$$

mit $\eta_{thermodynamisch} = \frac{qV_{OC}}{E_G}$, wobei $E_G = 1,08 eV$ und $V_{OC} = \frac{kT}{q} \ln \left(\frac{j_L}{j_0} + 1 \right)$, einsetzen liefert also:

$$\eta = \eta_{thermalisierung} \cdot \frac{kT}{E_G} \ln \left(\frac{j_L}{j_0} + 1 \right) \cdot FF.$$

Die Effizienz der Thermalisierung ist über die Erwartungswerte:

$$\eta_{thermalisierung} = \frac{\langle \varepsilon_e + \varepsilon_h \rangle}{\langle \hbar \omega_{abs} \rangle}$$

definiert ?

a)

Die Kurzschlussstromdichte j_s erhalten wir aus:

$$\eta = \eta_{thermalisierung} \cdot \frac{kT}{E_G} \ln \left(\frac{j_L}{j_0} + 1 \right) \cdot FF \Rightarrow j_L = j_0 \left[\exp \left(\frac{E_G}{kT} \frac{\eta}{\eta_{thermalisierung} FF} \right) - 1 \right]$$

Leider ist mir nicht klar, wie dort ein Geometriefaktor reinkommen soll und auf Grund der Definition der Thermalisierungseffizienz kann ich den Term nicht berechnen.

b)

Der Faktor f wird wohl in $\eta_{thermalisierung}$ stecken, somit also in einem Exponenten, jedoch steht $\eta_{thermalisierung}$ im Nenner des Argumentes, d.h. durch Erhöhung von f würde j_L kleiner werden, aber wir wollen j_L größer haben, damit auch V_{OC} das zu $\ln j_L$ proportional ist steigt. Daher setzen wir $\eta_{thermalisierung} \propto \frac{1}{f}$. Da in der Leerlaufspannung V_{OC} das j_L im Logarithmus im Zähler steht, wird da j_L mit steigendem f steigt auch V_{OC} mit steigendem f steigen:

$$V_{OC} = \frac{kT}{q} \ln \left(\frac{j_L(f)}{j_0} + 1 \right).$$

Wir wollen V_{OC} steigend haben, damit der Wirkungsgrad mit höherem f steigt, da strahlende Rekombination dies ermöglichen sollte, da weniger Wärmeverluste auftreten.

c)

Es ist der maximale Solarzellen-Wirkungsgrad zu vergleichen zwischen nur strahlender und 80%-nicht strahlender Rekombination. Zu erwarten ist, dass die strahlende Rekombination einen höheren Wirkungsgrad als die zum Teil nicht-strahlende Rekombination hat. Leider kann ich quantitativ nichts dazu sagen, da ich leider die **a)** und **b)** nicht lösen konnte.