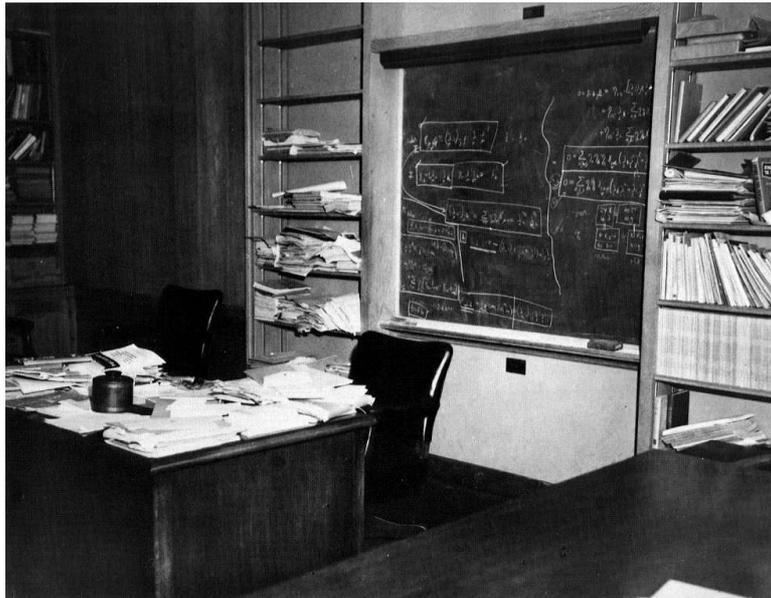


14. November 2005

Silizium-Solarzelle

Gruppe 36

Simon Honc shonc@web.de	Christian Hütter Christian.huetter@gmx.de
-----------------------------------	---



I. Inhaltsverzeichnis

I.	Inhaltsverzeichnis.....	2
II.	Theoretische Grundlagen	3
1.	Das Potentialtopfmodell	3
2.	Das Bändermodell	3
3.	Die Fermiverteilung	3
4.	Elektronen und Elektronenlöcher	4
5.	Plancksches Strahlungsgesetz	6
6.	Carnot'scher Wirkungsgrad	7
III.	Durchführung des Versuchs	8
	Aufgabe 1: Kennlinien intensitätsabhängig messen.....	8
	Aufgabe 2: Kurzschlussstrom spektral aufgelöst messen	11
	Aufgabe 3: Kennlinien temperaturabhängig messen	12
	Aufgabe 4: Vergleich Solarzelle und Kernenergie.....	13
IV.	Literatur und Quellangaben.....	14
	Anhang	15
	Datenblätter	15

II. Theoretische Grundlagen

1. Das Potentialtopfmodell

Bei diesem Modell stellt man sich vereinfachend vor, dass das elektrische Potential der Atomrümpfe eines Festkörpers durch einen Potentialtopf beschrieben werden kann. Bringt man nun gedanklich ein Elektron in das System, so besetzt es einen möglichst energiearmen Zustand des Potentialtopfes. Bei einer Temperatur die dem Absoluten Nullpunkt zustrebt $T \rightarrow 0$ fallen jedoch nicht alle Elektronen auf den Energieärmsten Zustand. Dies Verbietet das Pauli-Prinzip, nachdem zwei Elektronen nicht gleichzeitig den gleichen Zustand besetzen dürfen. So füllen die Elektronen bei $T = 0$ von unten die Zustände, bis zur so genannten Fermienergie E_F , auf. Anhand dieses einfachen Modells lassen sich einige Eigenschaften einfacher Metalle erklären. So kann z.B. die spezifische Wärme, die elektrische Leitfähigkeit oder der Paramagnetismus erklärt werden.

Wie so oft findet jedoch auch dieses Modell seine Grenzen. Das Potentialtopfmodell vermag es nicht die Existenz von Halbleitern oder Isolatoren vorauszusagen.

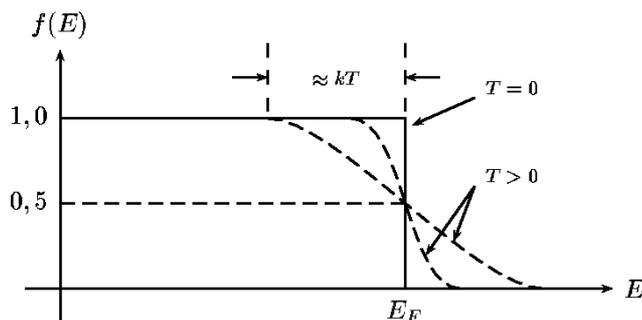
Hier bringt uns das so genannte Bändermodell weiter.

2. Das Bändermodell

Mit Hilfe des Bändermodells ist es uns möglich die Leitfähigkeit von Festkörpern zu beschreiben. Hierbei können die Festkörper in Leiter, Halbleiter und Isolatoren unterteilt werden. Durch die Überlagerung der Energieniveaus der einzelnen Atome, ergeben sich die sog. Energiebänder. Wenn man sich nun mehrere "Ebenen" dieser Energiebänder vorstellt, so trägt das letzte vollbesetzte Energieband den Namen Valenzband. Aus diesem Band können nun Elektronen durch Energiezufuhr in das nächst höher gelegene Leitungsband gehoben werden. Hier ist der Name Programm. Erst Elektronen im Leitungsband bedingen ein Leitungsvermögen. Elektronen im Leitungsband können sich annähernd frei bewegen. Wenn wir also noch einmal auf die Unterteilung von Leiter, Halbleiter und Isolatoren zurückkommen, so ist ein Leiter dadurch gekennzeichnet, dass sich das Leitungs- und Valenzband teilweise überlappen. Beim Halbleiter liegt zwischen dem Leitungs- und Valenzband eine Energielücke von $0 \leq E_G \leq 4 \text{ eV}$ (Si: 1,1 eV; GaAs: 1,43 eV). Bei einer Energielücke von mehr als 4 eV, spricht man von einem Isolator. Wobei man natürlich sagen muss, dass es zwischen Halbleitern und Isolatoren keine scharf gezogene Grenze gibt.

3. Die Fermiverteilung

Wie schon zuvor erwähnt gibt bei $T=0$ die Fermienergie E_F den höchsten besetzten Zustand an. Die Besetzungswahrscheinlichkeit kann bei $T \rightarrow 0$ mit einer Θ -Funktion beschrieben werden. Für Temperaturen $T > 0$ flacht die sogen. Fermikante immer mehr ab.



Die Wahrscheinlichkeitsverteilung $f(E, T)$, in einem freien Elektronengas der Temperatur T einen Zustand mit der Energie E zu besetzen, wird durch die Fermi-Dirac-Verteilungsfunktion

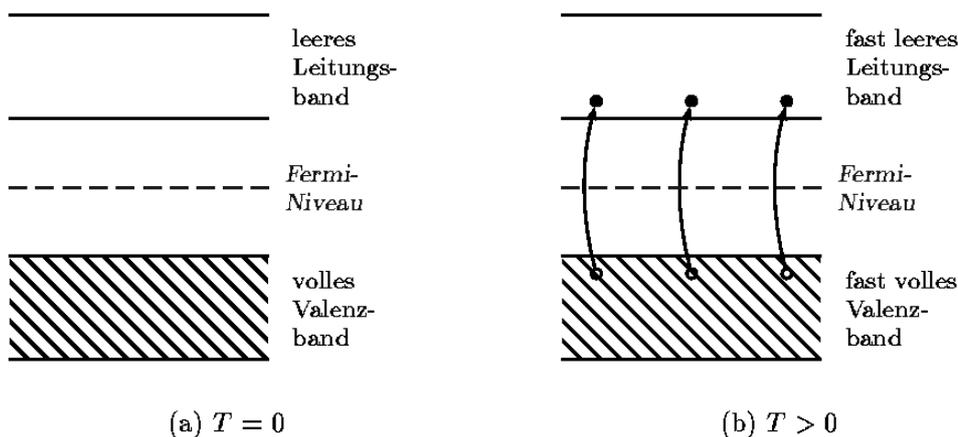
$$f(E, T) = \frac{1}{e^{\frac{E-E_F}{k_B T}} + 1}$$

beschrieben.

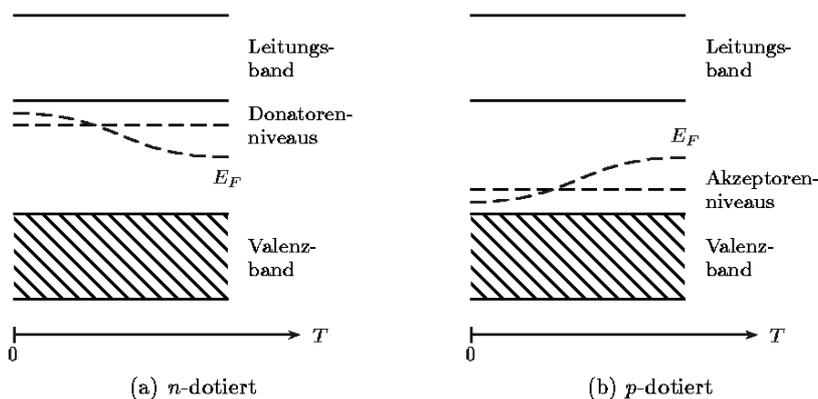
4. Elektronen und Elektronenlöcher

Es gibt nun mehrere Möglichkeiten das Leitungsvermögen eines Halbleiters zu erhöhen.

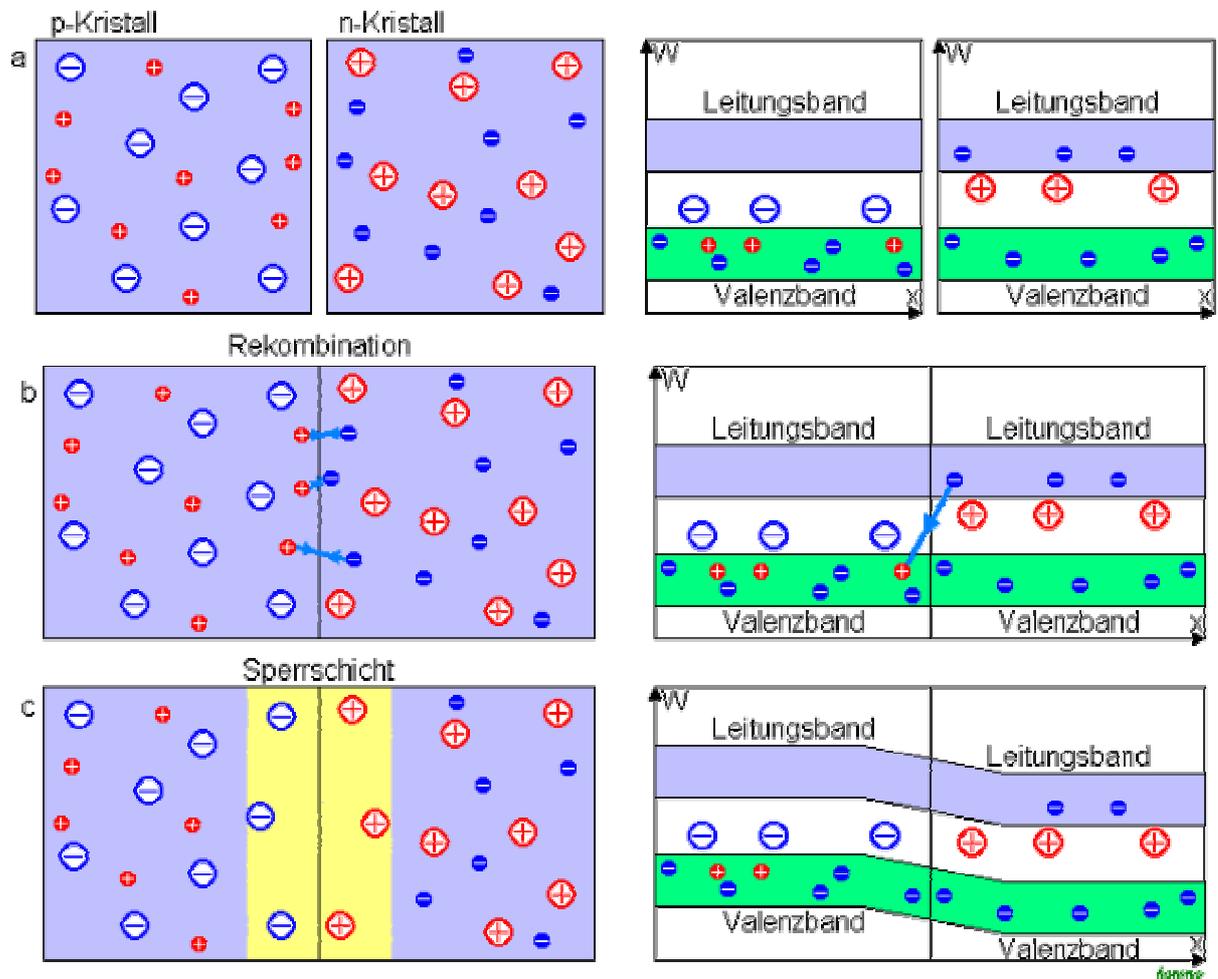
- Thermische Anregung: Bei größer werdenden Temperaturen wechseln immer mehr Elektronen aus dem Valenzband (dank der zugeführten Wärmenergie) in das Leitungsband. Dadurch haben wir zum einen Elektronen im Leitungsband und zum anderen entstehen Löcher im Valenzband, die auch zur Leitfähigkeit beitragen. D.h. die Leitfähigkeit nimmt zu. Jedoch ist der Zuwachs der Leitfähigkeit bei Raumtemperatur eher gering.



- Die Dotierung: Hier werden in die Kristallstruktur des Halbleiters absichtlich Fremdatome zugefügt. Hierfür werden Atome aus der benachbarten Hauptgruppe verwendet. Je nachdem ob wir Löcher erzeugen wollen oder Zusätzliche Elektronen für das Leitungsband bereitstellen wollen, wird dem Kristall Akzeptoren (p-dotiert) oder Donatoren (n-dotiert) zugefügt. Die zugefügten Atome nehmen also Elektronen auf oder geben im anderen Fall welche ab. Dadurch Ionisieren sie.

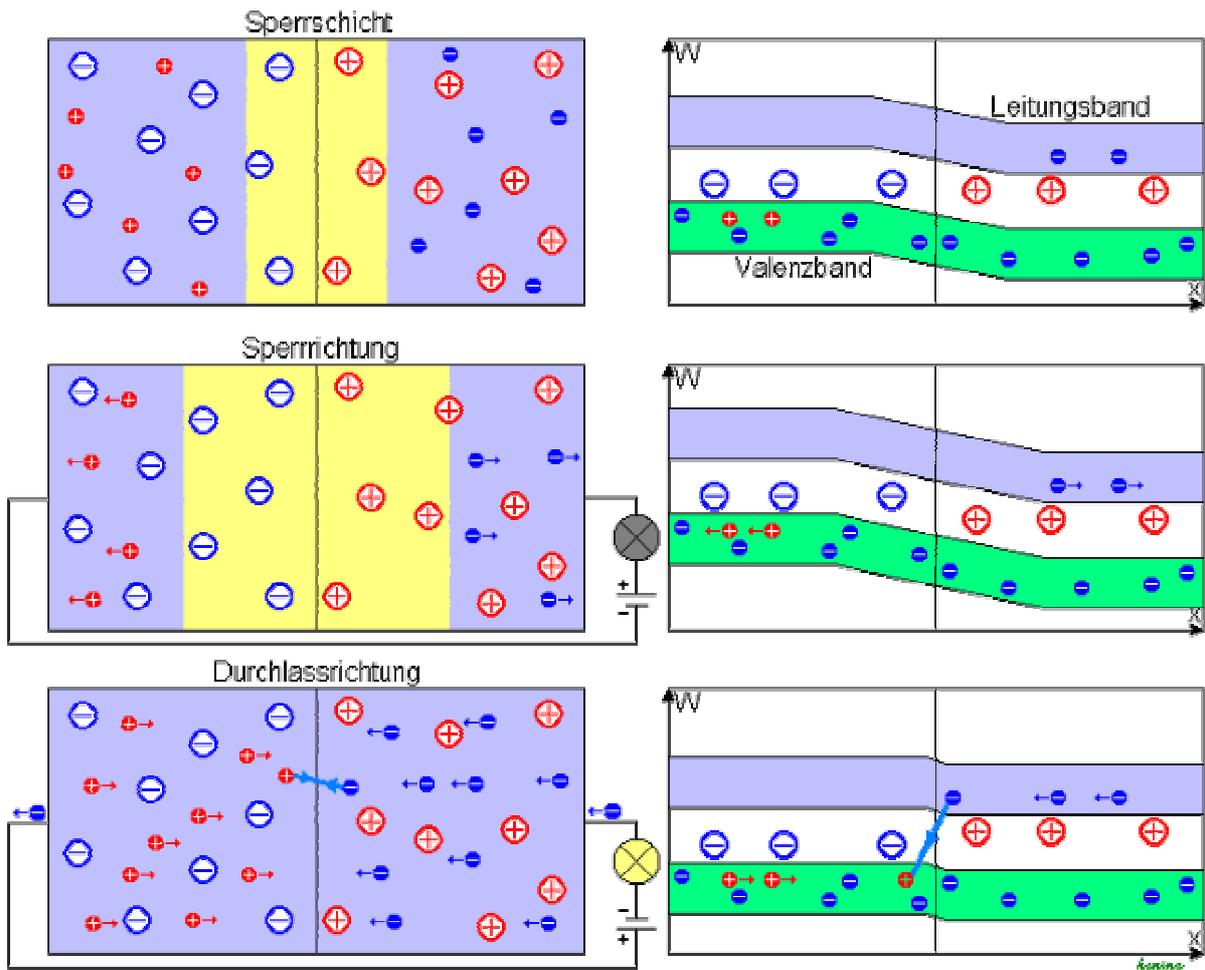


Fügen wir nun einen p- und einen n-dotierten Halbleiter aneinander, so diffundieren Elektronen vom n-Halbleiter in den p-Halbleiter und Rekombinieren dort. Andersherum diffundieren die Löcher in die entgegengesetzte Richtung. Auf diese Weise entsteht ein elektrisches Feld, das dem Diffusionsprozess entgegen wirkt, und den ihn schließlich zum Erliegen bringt. Es entsteht eine Sperrschicht



Legen wir nun eine elektrische Spannung in "Sperrrichtung" an so vergrößert sich die Sperrschicht noch mehr.

Legen wir die elektrische Spannung andersherum an so verkleinert sich die aufgebaute elektrische Spannung. Es diffundieren nun immer weiter Ladungsträger und rekombinieren. Da von der äußeren Quelle immer neu Ladungsträger zugeführt und gleichzeitig abgeführt werden, entsteht ein elektrischer Strom.



- “Optische“ Anregung: In diesem Fall wird Elektronen durch einfallendes Licht so viel Energie zugeführt, dass ein Elektron-Loch-Paar entsteht (d.h. ein Elektron wird in das Leitungsband gehoben und hinterlässt im Valenzband ein Loch). Befindet sich das Elektron-Loch-Paar in einem elektrischen Feld, so werden sie in entgegengesetzte Richtung beschleunigt. Geschieht dies in der Sperrschicht und ist diese nicht zu dick, so dass z.B. nur wenige Elektronen rekombinieren können, fließt Strom.

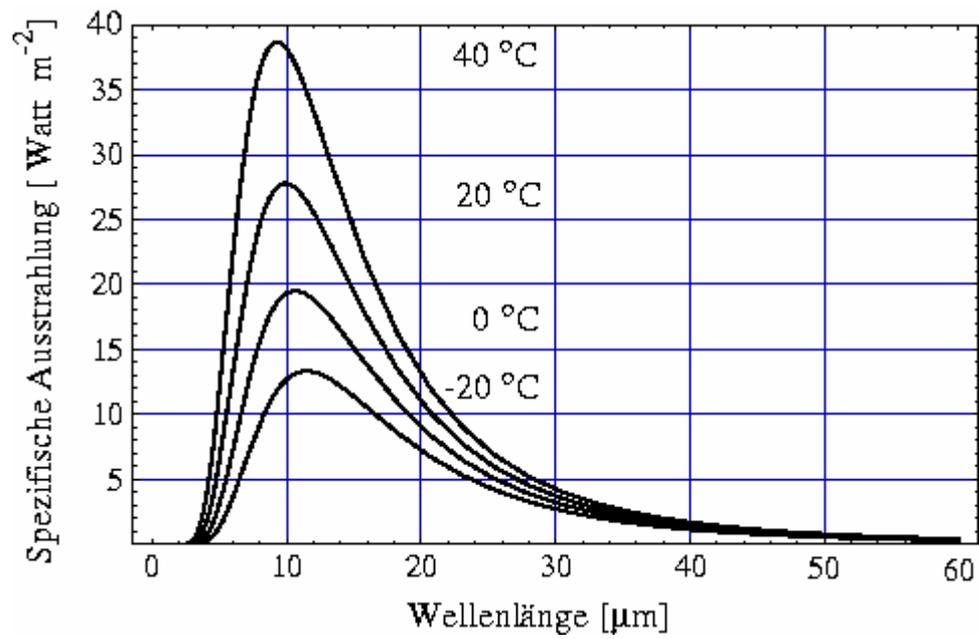
5. Plancksches Strahlungsgesetz

Unsere Solarzelle wird im Versuch mit einer Heliumlampe bestrahlt.

Diese Lichtquelle wird als punktförmig angenommen. Das Spektrum der Lampe nehmen wir als das eines Schwarzen Strahlers an. Damit können wir das Spektrum mit dem Planckschen Strahlungsgesetz

$$u_f(f, T) = \frac{8\pi f^2}{c^3} \frac{hf}{e^{hf/(k_B T)} - 1}$$

beschreiben.



6. Carnot'scher Wirkungsgrad

Als Wirkungsgrad η , ist das Verhältnis von abgegebener zu Aufgenommener Leistung, definiert.

$$\eta = \frac{I \cdot U}{P_e}$$

III. Durchführung des Versuchs

Aufgabe 1: Kennlinien intensitätsabhängig messen

- a) Messen sie für drei Solarzellen (A: blau, B: gelb, C: rot) die Dunkelkennlinien von -4V bis 0,6V.

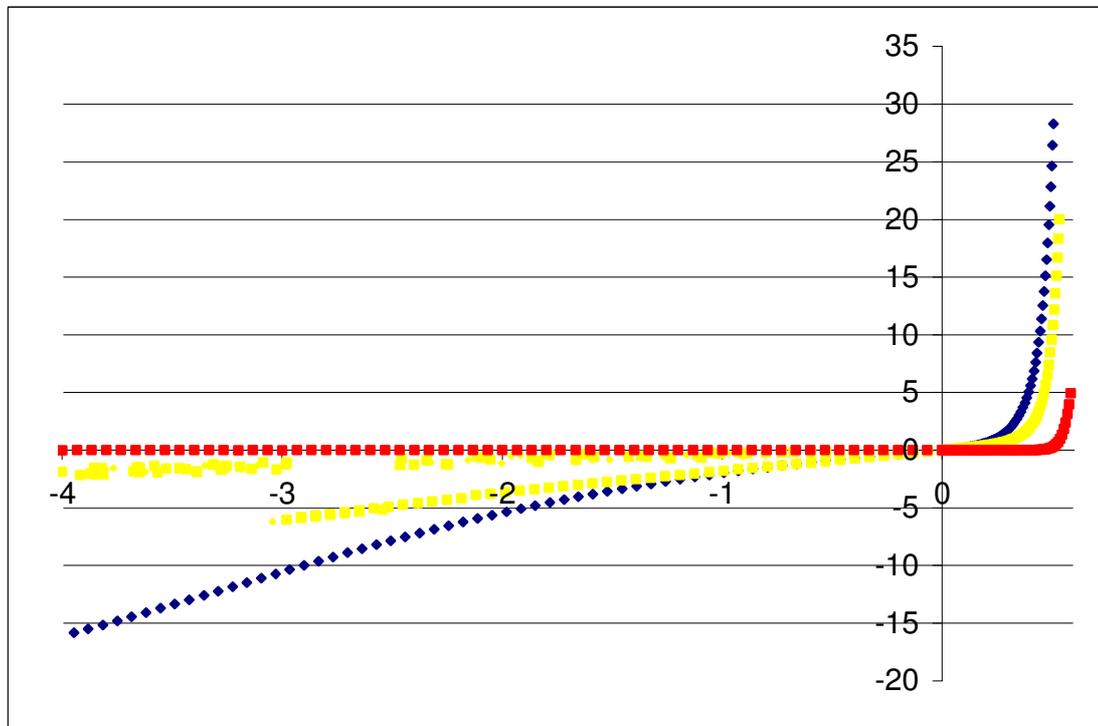


Abbildung 1: Dunkelkennlinien von Solarzellen (Datenblatt im Anhang)

Ohne Beleuchtung ist die Kennlinie einer Solarzelle gleich der einer Diode. D.h. dass sich bei angelegter Sperrspannung ein Sättigungsstrom einstellt. Ab einer Durchbruchsspannung steigt der Strom dann exponentiell an.

$$I(U) = I_D + I_K = I_S \left(e^{\frac{eU}{k_B T}} - 1 \right) - I_K \quad \text{mit } I_K = 0$$

- Bei unserem Versuch sehen wir für die Solarzelle C (rot) das erwartete Ergebnis.
- Bei Solarzelle B (gelb) wurde im Sperrbereich die Messung dreimal durchgeführt, mit drei unbefriedigenden Ergebnissen. Es ist anzunehmen, dass es uns nicht gelungen ist konstant über den ganzen Versuch die Solarzelle lichtgeschützt zu halten. Für die weitere Auswertung wurde für den Sperrstrom der Mittelwert bei $U \approx -4V$ angenommen: $I_S = -1,95mA$.
- Bei Solarzelle A (blau) ist ebenfalls ein Abfall trotz Sperrrichtung zu beobachten. Dies ist zum einen durch einen Lichteinfall zu erklären. Andererseits könnten auch Temperaturabhängigkeiten gemessen worden sein.

- b) Messen sie für eine Solarzelle die Strom-Spannungs–Kennlinie intensitätsabhängig (sechs Variationen des Abstands zur „punktförmigen“ Lichtquelle; Solarzelle B)

Wir haben die Messung für die Solarzelle B mit einem Abstand zur Lichtquelle von 7cm, 8cm, 9cm, 15cm, 25cm und 40 cm durchgeführt.

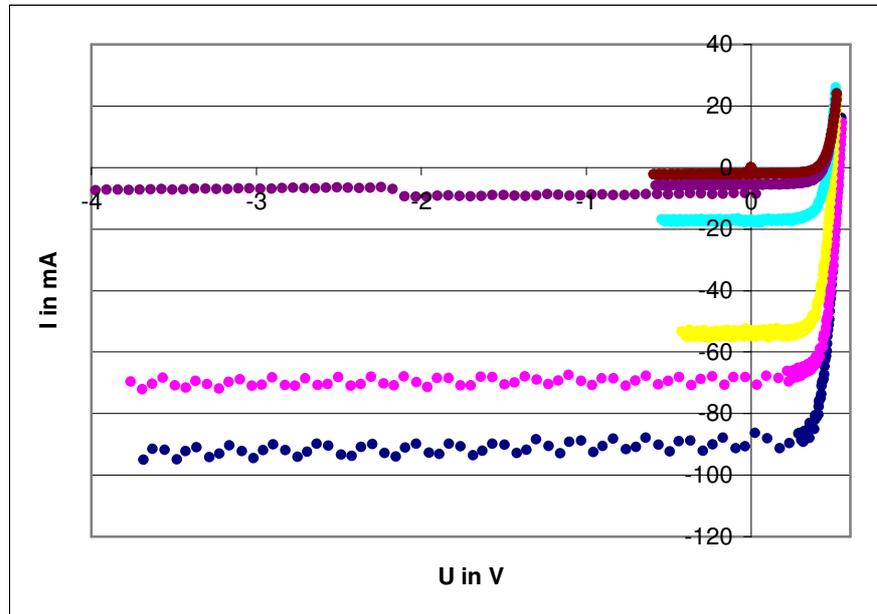


Abbildung 2: Strom-Spannungs-Diagramm für verschiedene Abstände (Datenblatt siehe Anhang)

Man sieht schön, dass sich für die unterschiedlichen Abstände verschiedene Sättigungsströme einstellen.

- c) Bestimmen sie intensitätsabhängig den Kurzschlussstrom und die Leerlaufspannung, sowie den Wirkungsgrad mit dem die Solarzellen die auf sie fallende Strahlungsintensität der Halogenlampe in elektrische Leistung umwandelt. Warum ist der Wirkungsgrad bei Sonneneinstrahlung höher?

Betrachten wir also die einzelnen Sättigungsströme zueinander (d.h. $U=0$):

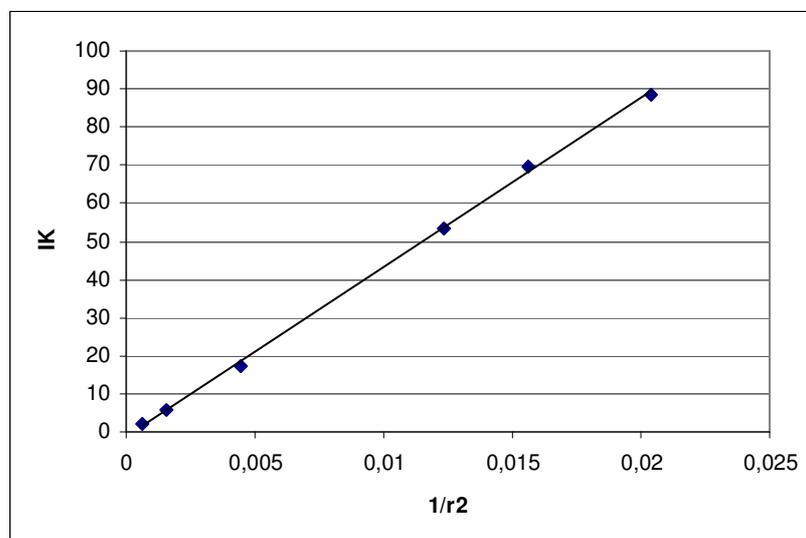


Abbildung 3: Kurzschlussstrom (Datenblatt siehe Anhang)

Man sieht hier schön, dass mit größerem Abstand der Kurzschlussstrom kleiner wird:

$$I_K \propto \frac{1}{r^2}$$

Für die Leerlaufspannung (d.h. $I=0$) folgt:

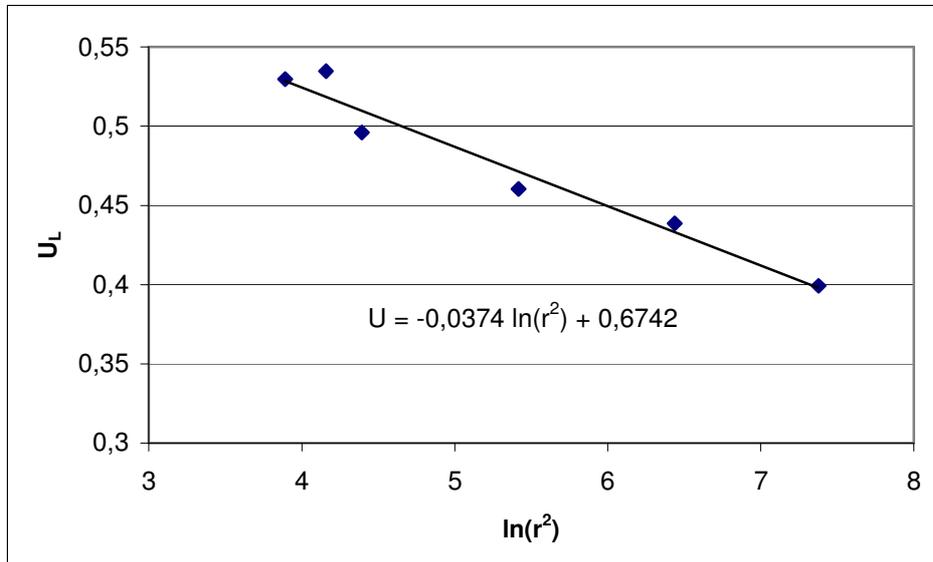


Abbildung 4: Leerlaufspannung (Datenblatt siehe Anhang)

Mit $U_L = \frac{k_B T}{e} \ln\left(\frac{I_K}{I_S} + 1\right) \approx -\frac{k_B T}{e} \ln(r^2) + const.$ folgt $\frac{k_B T}{e} = 0,0374 \frac{1}{C} K$

Für den maximalen Wirkungsgrad η einer Messung bei konstantem Abstand, müssen wir erst die maximale Leistung bestimmen (Es gilt: $P_{Lampe}=55W$, $A=4cm^2$):

$$\eta = \frac{P_{\max out}}{P_{in}} = \frac{(U(r) \cdot I(r))_{\max}}{P_{Lampe} \frac{A}{4\pi r^2}}$$

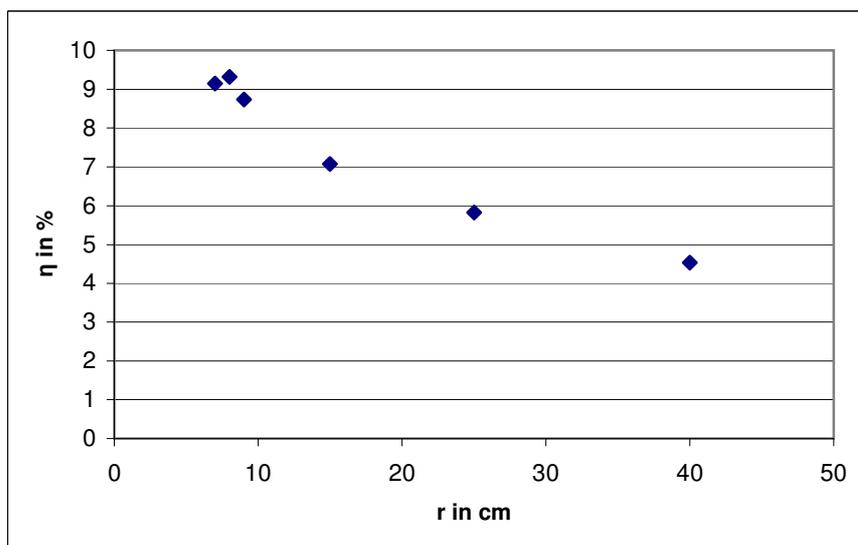
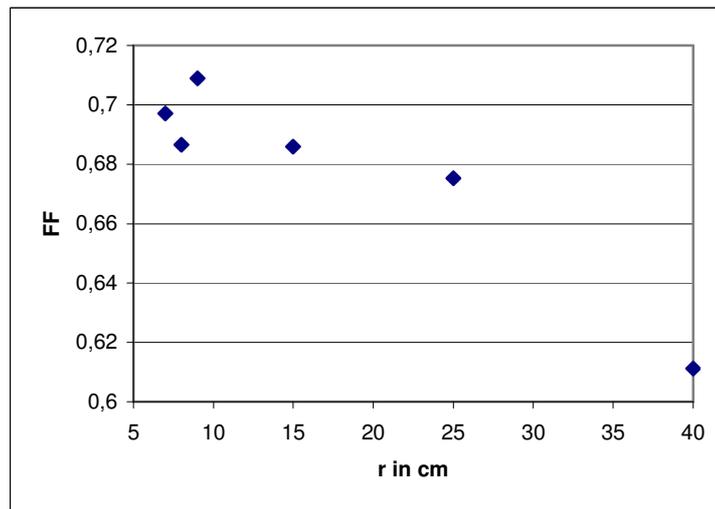


Abbildung 5: Wirkungsgrad (Datenblatt siehe Anhang)

Der Wirkungsgrad ist in Sonnenlicht wahrscheinlich wesentlich höher, da im Sonnenlicht auch höherenergetischere Wellenlängen vorkommen, die unsere Halogenlampe nicht erzeugen kann.

d) Berechnen sie den Füllfaktor FF der Solarzellen.

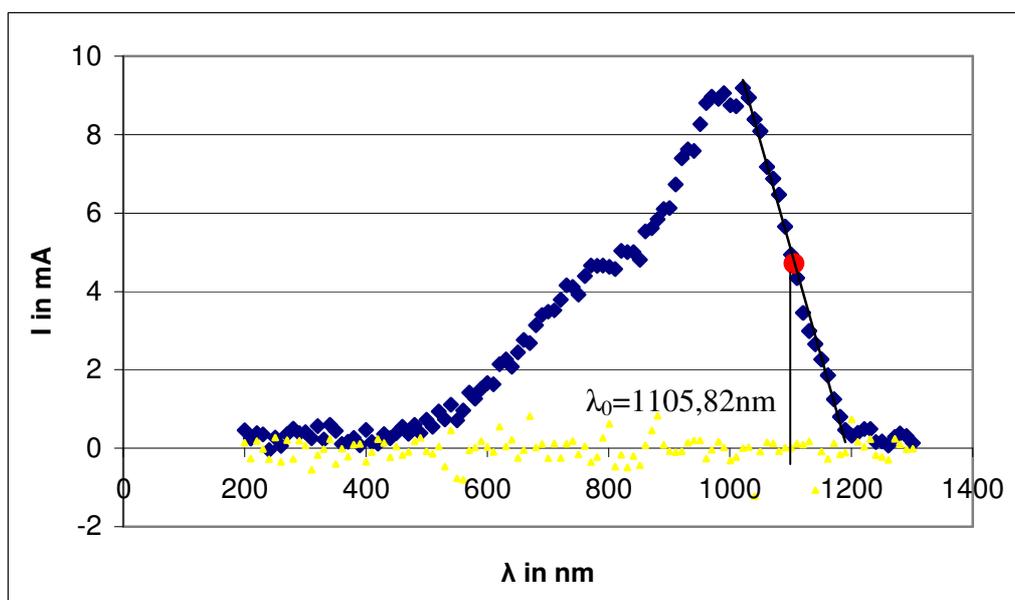
$$FF = \frac{(U \cdot I)_{\max}}{U_L \cdot I_K}$$



Aufgabe 2: Kurzschlussstrom spektral aufgelöst messen

Messen sie den Kurzschlussstrom der Solarzellen in Abhängigkeit von der Photonenenergie und bestimmen sie daraus den Bandabstand

Die Messung wurde zweimal durchgeführt, da mit den ersten Werten nichts anzufangen war (gelb):

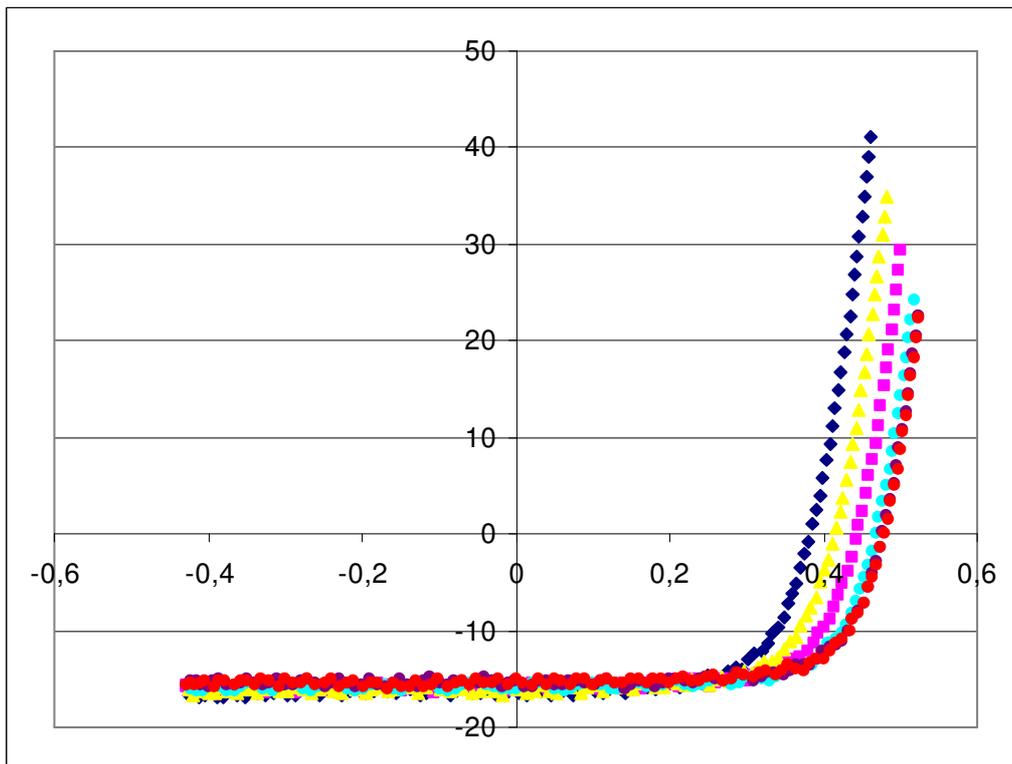


Für die Bandlücke gilt: $\Delta E = \frac{hc}{\lambda_0} = 1,121 \text{ eV}$

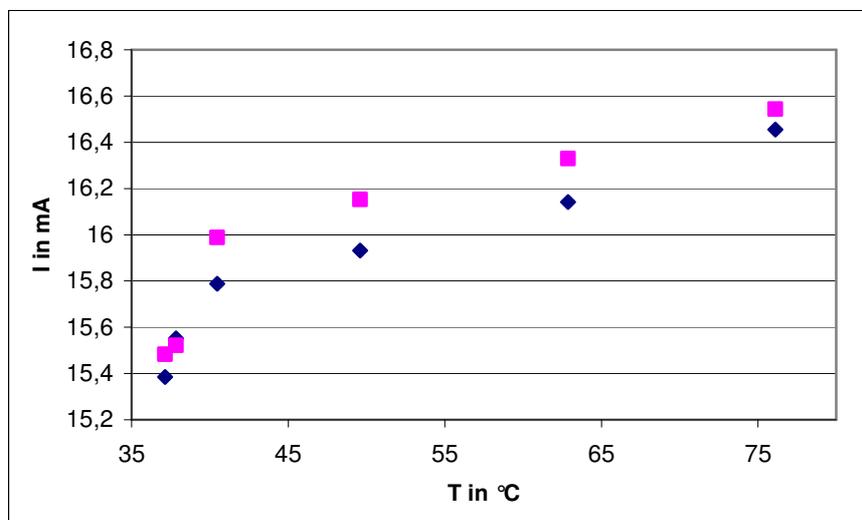
Damit liegen wir sehr genau in der Nähe des Literaturwerts von 1,12 eV.

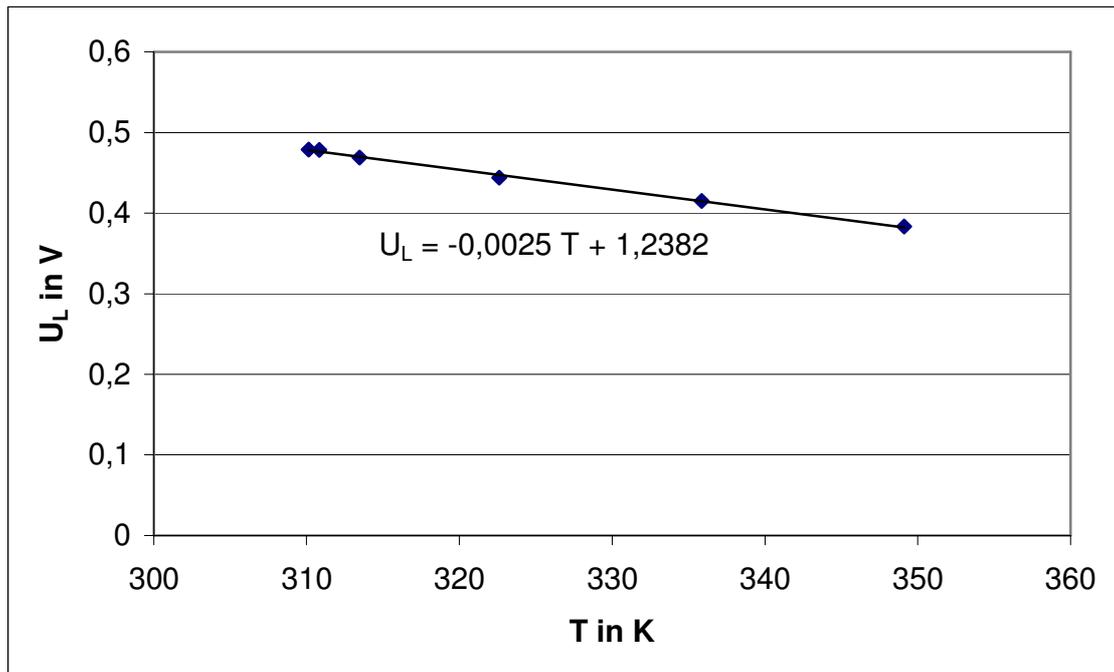
Aufgabe 3: Kennlinien temperaturabhängig messen

Messen sie nun für die Strom-Spannung- Kennlinien der Solarzellen temperaturabhängig. Bestimmen sie Kurzschlussstrom, Sperrstrom (in guter Näherung bei $V = -0,5 \text{ V}$) und Leerlaufspannung temperaturabhängig und ermitteln sie durch Extrapolation der Leerlaufspannung auf $T = 0 \text{ K}$ den Bandabstand von Silizium



Kurzschlussstrom I_K (blau) und Sperrstrom I_S (violett):





Für $T=0$ gilt: $\Delta E = eU_L(T=0) = 1,238\text{eV}$

Aufgabe 4: Vergleich Solarzelle und Kernenergie

Schätzen sie ab, wie viele km^2 Fläche in unseren Breiten mit Solarzellen zu bedecken wären, um einen Block eines Kraftwerkes mit $P=1\text{GW}$ zu ersetzen. Würde das genügen? Die mittlere Leistung der Sonnenstrahlung beträgt über das Jahr, Tag und Nacht und alle Wetterlagen gemittelt $p=120\text{Wm}^{-2}$.

Wir nehmen einen Wirkungsgrad von 10%-25% an. Damit erhalten wir:

$$A = \frac{P}{\eta p} = 33\text{-}83 \text{ km}^2$$

IV. Literatur und Quellangaben

- Gerthsen/Kneser/Vogel, Physik, Springer Verlag, 15. Auflage, 1986

Anhang

Datenblätter