

Solarenergie als Energie der Zukunft



Eine Facharbeit von Sebastian Millner

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	1
1. Vorwort	2
2. Funktion und Aufbau von Solarzellen	2
2.1 Das Funktionsprinzip einer Halbleiterdiode	2
2.2 Funktion einer Solarzelle	3
2.3 Praktische Umsetzung bei einer monokristallinen Solarzelle	4
2.4 Andere Bautypen	5
3. Wirkungsgrad einer Solarzelle	6
3.1 Versuch 1: Abhängigkeit von der Farbe des Lichts	6
3.2 Versuch 2: Kennlinie einer Solarzelle	7
3.3 Weitere Einflussgrößen	9
4. Praktische Anwendung	9
4.1 Solarmodule	9
4.2 Solarsysteme	10
5. Effizienz von Solarsystemen	11
5.1 Rechenbeispiel bezogen auf einen vier Personen Haushalt	11
5.2 Förderungsprogramme	11
5.3 Schule und Photovoltaik – eine Projekt, die sich rechnet	12
6. Solarenergie als Energie der Zukunft	13
Anlagen	15

1. Vorwort

Immer mehr Menschen installieren Solargeneratoren auf ihren Dächern, um fossile Energie und Geld zu sparen. Solarenergie wird als eine Energie der Zukunft bezeichnet. Die Bedeutung photovoltaischer Energie wächst, doch nur wenige wissen, wie diese Technik funktioniert und welche Chancen sich bieten. Diese Arbeit erklärt die Arbeitsweise und die Wirtschaftlichkeit einer Solarzelle.

2. Funktion und Aufbau von Solarzellen

2.1 Das Funktionsprinzip einer Halbleiterdiode

Da eine Solarzelle auf der Technik einer *Halbleiterdiode* basiert, ist es zu nächst notwendig, die Grundlagen der Halbleiterphysik zu verstehen.

Eine Halbleiterdiode besteht allgemein aus einer positiv und einer negativ dotierten Halbleiterschicht, im Regelfall Silizium. An die Reinheit des aus Quarzsand hergestellten Silizium werden höchste Anforderungen gestellt. So darf bei Solarzellen beispielsweise auf 5 Millionen Siliziumatome maximal ein Fremdatom kommen.

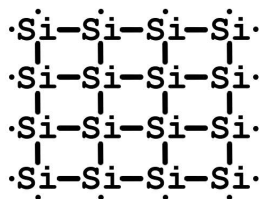


Abb. 2.1
Struktur eines Siliziumkristalls

Silizium ist vierbindig, das heißt, es hat vier Bindungselektronen auf der Außenschale. In der Bindung, dem sogenannten Siliziumkristall; teilt sich ein Siliziumatom seine Bindungselektronen mit vier Nachbaratomen, weil es den energetisch günstigsten Zustand von 8 Elektronen auf der Außenschale anstrebt (Abb. 2.1).

Es bestehen also Atombindungen zwischen den einzelnen Halbleiteratomen.

Da die Elektronen sich nur schwer aus ihren Bindungen lösen lassen, ist reines Silizium ein schlechter Leiter, doch durch Dotierung oder Energiezufuhr kann die Leitfähigkeit verbessert werden.

Um Silizium negativ zu *dotieren* (lat. doto: ausstatten), werden in das Silizium Elemente aus der V. Hauptgruppe, wie zum Beispiel Phosphor, gegeben. Diese Elemente haben fünf Elektronen auf der Außenschale. Folglich ist nun zunächst an der Stelle, an der eines dieser Atome im Kristall sitzt für die Bindung ein Elektron zuviel vorhanden (Abb. 2.1). Dieses Elektron ist im Kristall frei beweglich und kann somit den elektrischen Strom leiten. Es hinterlässt ein positiv geladenes Ion da dem eingefügtem Atom nun eine Ladung fehlt.

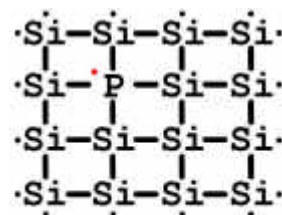


Abb 2.2
N-dotiertes Silizium mit einem freien Elektron (rot)

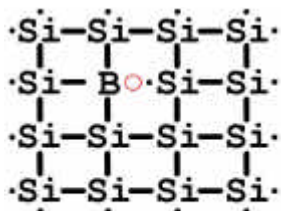


Abb 2.3
P-dotiertes Silizium mit einem Loch (rot)

Beim positiven Dotieren, werden Elemente aus der III. Hauptgruppe, zum Beispiel Bor, beigegeben. Da sich bei diesen Elementen nur drei Bindungselektronen auf der Außenschale befinden, fehlt nun ein Elektron im Kristall (Abb. 2.2). Diese positiv geladene Lücke bezeichnet man als *Loch*. Da Elektronen aus Nachbaratomen das Loch füllen können, sind auch diese Löcher beweglich, weil diesem Nachbaratom nun ein Elektron fehlt. Da die beigegebenen Atome in diesem

Fall ein Elektron bekommen, werden sie zu negativen Ionen. Auch Löcher leiten den elektrischen Strom.

Das dotierte Material an sich ist neutral geladen, da auf jede Ladung ein entgegengesetzt geladenes Ion kommt.

Interessant wird es, wenn man p-dotiertes und n-dotiertes Silizium zusammenbringt. Es entsteht ein so genannter *p-n-Übergang*. Elektronen aus dem n-dotiertem Silizium treffen auf positiv geladene Löcher im p-dotiertem Silizium. Würde man die Ionen außer Betracht lassen, käme man zu dem Schluss, alle Ladungen in den dotierten Materialien würden sich nun rekombinieren. Am Grenzbereich des negativ dotiertem

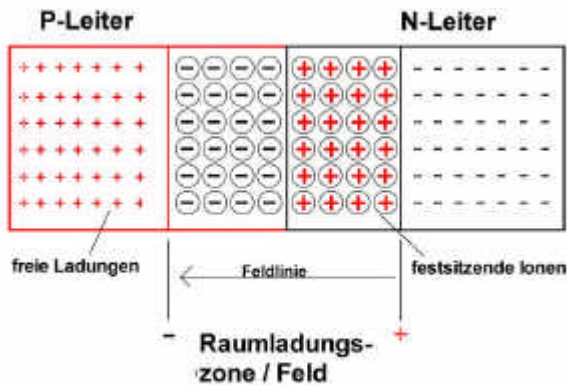


Abb 2.4
Modell einer Halbleiterdiode

Siliziums entsteht jedoch eine positive Ladung, da nun kein Elektron mehr vorhanden ist, um die Ladung der Ionen auszugleichen. Umgekehrt entsteht durch die fehlenden Löcher und die negativen Ionen im positiv dotierten Bereich ein negative Ladung. Durch diesen Potentialunterschied besteht nun ein elektrisches Feld, das verhindert, dass weitere Löcher und Elektronen übertreten können (Abb. 2.4). Der p-n-Übergang, das elektrische Feld, wird auch *Raumladungszone*, *Sperrschicht* oder *verbotene Zone* genannt.

Im Halbleiter besteht auf Grund des Feldes eine gewisse Grundspannung, die allerdings nicht genutzt werden kann, da sie bei Schließung des Stromkreises sofort verfällt.

Schließ man eine Gleichspannungsquelle mit dem Pluspol am n-Leiter und dem Minuspol am p-Leiter an, so fließt kein Strom. Das Feld in der Raumladungszone wird sogar noch verstärkt.

Polte man nun um, so fließt ein Strom, da das elektrische Feld am Übergang abgebaut wird. Die Elektronen des Minuspols gleichen die Ladung der positiven Ionen aus. Der Elektronen Mangel am Pluspol gleicht die Ladung der negativen Ionen aus, so dass das Feld abgebaut wird und den Stromfluss nicht mehr aufhalten kann.

Nach diesem Prinzip funktioniert eine Halbleiterdiode.

2.2 Funktion einer Solarzelle

Vom Prinzip her ist eine Solarzelle eine beleuchtete Halbleiterdiode.

Der *lichtelektrische Effekt* bewirkt, dass Bindungselektronen des Siliziums genug Energie erhalten um ihr Atom zu verlassen. Ein *Photon* trifft auf ein Elektron und stößt dieses so aus dem Atom. So entstehen im Silizium Paare aus jeweils einem Elektron und einem Loch, da das Elektron beim Verlassen seiner Bindung ein Loch in dieser hinterlässt.

Der folgende Vorgang lässt sich an Hand bekannter Erscheinungen theoretisch herleiten:

Das elektrische Feld im Halbleiter beschleunigt die Elektronen und Löcher im p-n-Übergang so, dass sich die Löcher in Richtung der Feldlinien zum p-Leiter und die Elektronen gegen die Feldlinien zum n-Leiter bewegen. Dadurch wird verhindert, dass sich die Elektronen Lochpaare sofort wieder rekombinieren.

Im Normalfall würden die Ladungen jetzt die Feldladung ausgleichen und den Vorgang zum Stillstand bringen, doch durch die hohe Elektronenbeweglichkeit im Halbleitermaterial ($\mu(\text{Si})=190 \text{ m}^2/\text{Vs}$; zum Vergleich: $\mu(\text{Cu})=3,1 \text{ m}^2/\text{Vs}$) und die Energie, die das Licht den Ladungen gibt, haben die Ladungen jedoch bereits eine hohe Geschwindigkeit. Sie verfügen über ausreichende kinetische Energie um zwischen den Atomrümpfen der Ionen durchzutreten und setzen sich nicht in die Lücken bei den Ionen, da die Anziehungskraft zwischen den Ionen und den Ladungen nicht ausreicht. Auf diese Weise entsteht eine brauchbare Spannung zwischen p-Leiter und n-Leiter, die sich mit einem Spannungsmessgerät erfassen lässt.

So wird ein Teil der Energie des Lichts in elektrische Energie umgewandelt.

2.3 Praktische Umsetzung bei einer monokristallinen Solarzelle

In der Praxis besteht eine monokristalline Solarzelle aus zwei entgegengesetzt dotierten, dünnen Siliziumplatten, wobei die positive Platte so konstruiert ist, dass sie Licht absorbiert und der N-Leiter lichtdurchlässig ist. Damit die Raumladungszone des Halbleiters möglichst nah an der Oberfläche liegt, muss die negativ dotierte Platte, die später bestrahlte Platte, besonders dünn sein. Diese hat ungefähr eine Dicke von 0,0002 mm während die positiv dotierte Platte zirka 0,3 mm dick ist. Aufeinander gesetzt ergeben die Platten den Hauptbestandteil der Solarzelle. Die Platten werden von einem Siliziumstab abgesägt.

Um die Spannung abnehmen zu können werden Kontakte benötigt. Der P-Leiter, die untere Seite wird komplett mit einem Leiter beschichtet, während der durchsichtige N-Leiter per Siebdruckverfahren eine Art Leitungsgitter erhält. Dieses Gitter darf nur möglichst wenig Fläche beanspruchen, damit nicht zuviel Zellenfläche verdeckt wird. Die obere Seite der Zelle wird noch zusätzlich mit einer Antireflexionsschicht bestückt.

Der Wirkungsgrad dieser Form von Solarzellen liegt bei industrieller Fertigung bei etwas 16 bis 17 %. Laborwerte liegen bei zirka 23 %.

Der Nachteil dieser Solarzellen ist die sehr kostenaufwendige Herstellung. Es wird sehr viel Energie benötigt, um das hochreine monokristalline Silizium herzustellen. Durch die beim Zersägen entstehenden Späne kommt es zu einem erheblichen Materialverlust. Dieser Solarzellentyp hat auf Grund des vergleichbar hohem Wirkungsgrad bei relativ einfacher Herstellung den größten Marktanteil.

2.4 Andere Bautypen

Um den Wirkungsgrad weiter zu erhöhen und die Kosten zu senken, wurden andere Solarzellen entwickelt, die gegenüber der klassischen monokristallinen Solarzelle verschiedene Vorteile haben:

2.4.1 Polykristalline Solarzellen

Bei *polykristallinen Zellen* wird auf das aufwendige Verfahren zur Herstellung eines einzelnen, großen Kristalls verzichtet. Das geschmolzene Silizium wird direkt in größere quadratische Blöcke gegossen, die dann zersägt werden und wie monokristalline Zellen weiterverarbeitet werden.

In der Draufsicht kann man deutlich erkennen, dass diese Zellen aus mehreren kristallinen Zonen bestehen, wobei jede Zone wie eine einzelne kleine monokristalline Solarzelle fungiert. An den Grenzbereichen der einzelnen Kristalle treten jedoch Probleme in der Energieumwandlung auf. Deswegen liegt der Wirkungsgrad dieser Zellen etwas unter dem der monokristallinen Solarzelle. Im PreisLeistungsverhältnis haben polykristalline Zellen deshalb nur einen sehr geringen Vorteil. Der Marktanteil ist mittlerweile fast genau so groß wie der von monokristallinen Zellen.

2.4.2 Multikristalline Bänder- und Dünnschicht Zellen.

Bei diesem Typ entfällt der aufwendige Sägeprozess, da mit einem Dünnen, direkt aus der Schmelze hergestelltem Siliziumband gearbeitet wird. Die weitere Herstellung ist entsprechend.

Die industrielle Herstellung solcher Zellen ist zur Zeit noch nicht möglich.

2.4.3 Zellen aus amorphem Silizium

Vor allem in kleinen, energiesparenden Elektrogeräten wie Taschenrechner oder Uhren wird dieser Solarzellentyp verwendet.

Bei der Herstellung wird dotiertes Silizium auf einen Träger wie zum Beispiel Glas aufgedampft. Obwohl hier keine kristalline Form vorliegt, tritt eine halbleitende Wirkung auf.

Die Vorteile dieser Zelle sind offensichtlich. Der Sägeprozess entfällt komplett und es wird nur sehr wenig Silizium benötigt. Deswegen ist die Herstellung von Zellen mit *amorphem* (lat. gestaltlos) Silizium sehr kostengünstig. Weiterhin werden durch das Trägermaterial erheblich größere Zellen möglich.

Für größere Projekte ist dieser Typ zur Zeit allerdings nicht gut geeignet, da aufgrund des kleinen Wirkungsgrades erheblich mehr Platz benötigt wird als bei kristallinen Zellen.

Für den speziellen Gebrauch, zum Beispiel in der Weltraumtechnik, wurden weitere Zellen erfunden. Andere Materialien und Techniken führen zu Wirkungsgraden von bis zu 30 %

3. Wirkungsgrad einer Solarzelle

Der Wirkungsgrad einer Solarzelle hängt von vielen Faktoren ab. Ich möchte die Untersuchung mit zwei Experiment einleiten. Danach möchte ich auf weitere Punkte eingehen.

3.1 Versuch 1: Abhängigkeit von der Farbe des Lichts

3.1.1 Zusammenstellen einer Versuchsanordnung

Da die einzelnen Spektralfarben des Lichts verschiedene Wellenlängen und Energiewerte haben, liegt es nahe, das Verhalten der Zelle bei verschiedenen Strahlungen zu testen.

Für diesen Versuch benötigt man eine Solarzelle, die man im Elektrohandel erhalten kann. Es empfiehlt sich die Wahl einer bruchfesten Zelle mit bereits angelöteten Kontakten. Anderenfalls können auf Grund der Empfindlichkeit schnell Probleme auftreten, die zu höheren Kosten führen und die Versuchsergebnisse verfälschen. Des Weiteren benötigt man einen hellen Strahler, nach Möglichkeit mit hohem UV-Anteil, ein Gradsichtprisma, entsprechende Halterungen, ein Spannungsmessgerät für den Millivoltbereich und einen abdunkelbaren Raum.

Das Prisma wird in einer geeigneten Entfernung zum Strahler aufgestellt, so dass sich ein breites, deutlich abgestuftes Lichtspektrum ergibt. Nun sucht man mit der Hilfe eines Schirmes oder eines einfachen Blattes nach der Stelle, an der das Spektrum groß und scharf genug ist. Das Blatt muss schräg gehalten werden, damit die einzelnen Farbflächen rechteckig sind, annähernd die gleiche Strahlungsdichte haben. Jetzt wird eine lichtundurchlässige Schablone hergestellt, die der Fläche der am kleinsten abgebildeten Spektralfarbe freilässt.

Die Schablone wird auf der Solarzelle angebracht und diese wiederum in der Position des Papiers. Die Zelle sollte so eingebaut werden, dass sie verschiebbar ist und das freie Stück mit den einzelnen Farben beleuchtet werden kann. Bei der Durchführung ist der Raum abzudunkeln.

3.1.2 Durchführung der Messungen

Bei den bei diesem Versuch durchgeführten Messungen wurde eine monokristalline Solarzelle mit selbst angelöteten Kontakten verwendet. Leider zerbrach die Zelle während des Experiments teilweise, während schlecht angelötete Kontakte zu Wackelkontakten führten. Trotz allem ließen sich einigermaßen brauchbare Messungen machen.

Für UV-Licht lag die Spannung immer bei zirka 2,5 mV, während bei weißem Licht Werte von durchschnittlich 12,9 mV zu erkennen waren. Wegen einem Wackelkontakt ergaben sich für gelbes Licht Werte um 10,9 mV und Werte um 4,9 mV (Tab.). Die Werte waren reproduzierbar.

Bei einem kurzem Zusatzversuch wurde der Lichteintrittswinkel verändert, wobei sich ergab, dass bei spitzerem Winkel die Spannung absank.

3.1.3 Auswertung

Aus den durchgeführten Messungen lässt sich erkennen, dass der Wirkungsgrad einer Solarzelle von der Wellenlänge des Lichtes abhängig ist. Die im Versuch gewählte monokristalline Silizium Solarzelle scheint also auf das weiße und das gelbe Licht, die eine höhere Wellenlänge haben besser zu reagieren, als auf das UV-Licht. Aus der Literatur lässt sich entnehmen, dass Silizium den langwelligen Teil des Lichtes besser als den kurzwelligen (Vgl. Ladener S. 37).

Der Wirkungsgrad einer Solarzelle ist allgemein stark abhängig von der Wellenlänge des Lichtes. Siliziumzellen können nur da Licht im Bereich bis 1200 nm nutzen. Dies hängt damit zusammen, dass eine gewisse Energie notwendig ist, um ein Elektron von seinem Atomrumpf zu befreien. Die Photonen des Lichtes mit einer Wellenlänge von mehr als 1200 nm verfügen nicht über diese Energie. Deswegen wird die Energie dieses Sonnenlichtbestandteil, der zirka 24 % des gesamten Sonnenlichts ausmacht, in Wärme Energie umgewandelt. Haben die Elektronen einmal genug Energie, so benötigen sie auch nicht mehr, weshalb auch die Energie oberhalb dieser Schwellenenergie in Wärme umgewandelt wird. Hierbei gehen weitere 30 % der Sonnenenergie verloren.

3.2 Versuch 2: Kennlinie einer Solarzelle

3.2.1 Aufbau

Wie eine Diode, hat eine Solarzelle eine vom Verbrauchswiderstand abhängige Kennlinie. Zur Bestimmung dieser Linie benötigt man die Solarzelle (siehe Versuch 1), ein Strommessgerät, ein Spannungsmessgerät, eine starke Lampe und ein Potentiometer. Gemessen wird der Strom, der durch das Potentiometer fließt, und die dort anliegende Spannung.

3.2.2 Durchführung der Messungen

Zu Anfang ist der Widerstand des Potentiometers auf das Minimum einzustellen. Nun werden Spannung und Strom gemessen und in eine Tabelle eingetragen. Der Widerstand des Potentiometers wird in kleinen, angepassten Schritten vergrößert und jeweils der Messvorgang wiederholt. Wenn die Stromstärke nicht mehr steigt, und die Spannung gegen Null geht, kann der Messvorgang beendet werden.

Spannung V_R in $10^{-2} V$	Stromstärke I_R in V
0	2,81
5	2,55
10	2,05
15	1,37
16	1,25
17	1,00
19	0,80
2	0,66
21	0,50
21,5	0,40
22	0,25

Da der Versuch in diesem Falle nur mit einem Solarzellenbruchstück durchgeführt wurde, mögen die Werte von den Standardwerten abweichen, was für die Erkenntnis aber nicht relevant ist, da jedes Bruchstück wie eine ganze Solarzelle funktioniert. Die Messwerte sind der Tabelle zu entnehmen (Tab. 1)

Tab 1: Messungen

Überträgt man die Werte in ein I-A-Diagramm, so erhält man eine, im Diagramm 1 zu sehende, charakteristische Kennlinie:

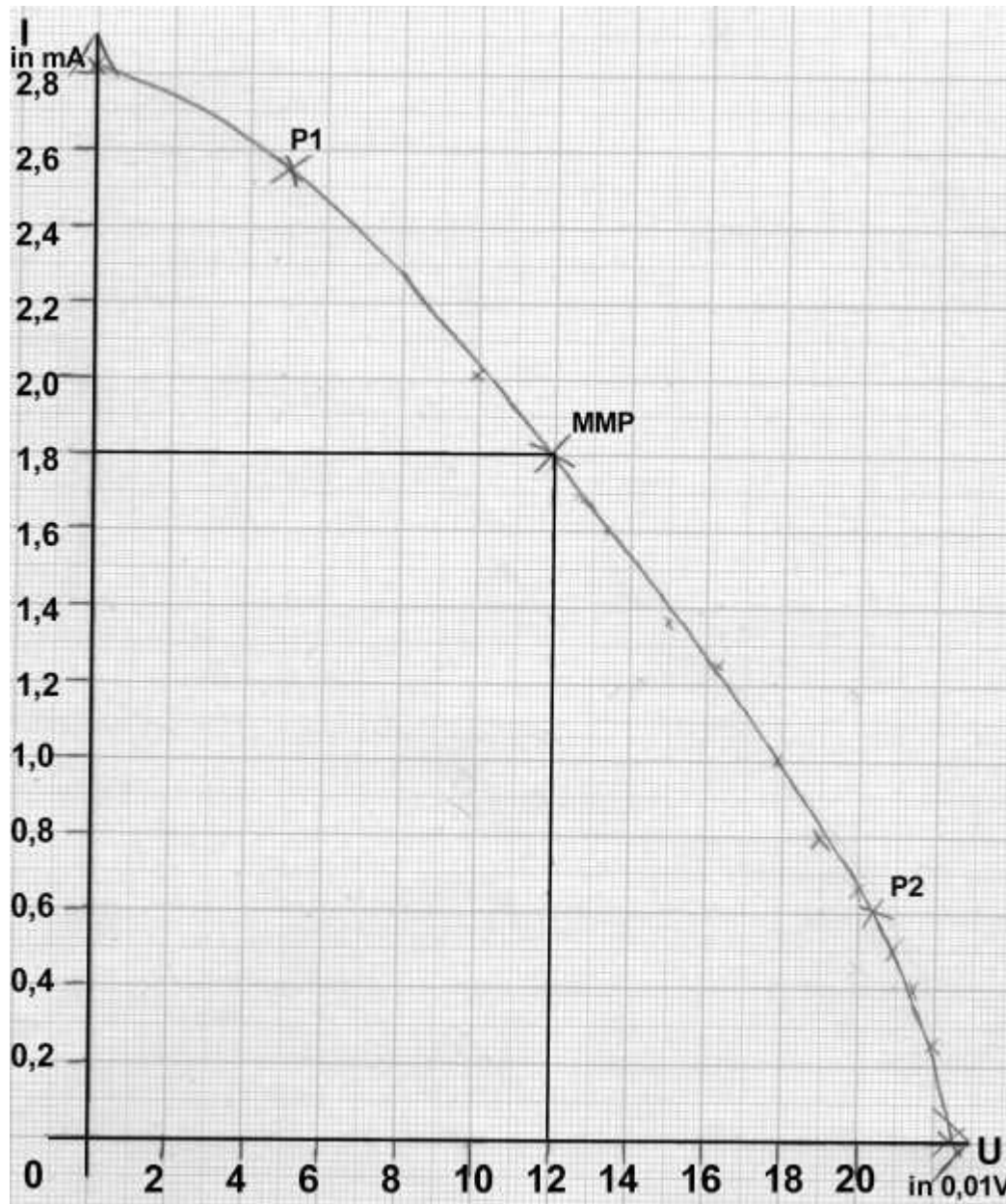


Diagramm 1: Kennlinie einer Solarzelle

3.2.3 Auswertung

Es lässt sich feststellen, dass die Leistung $P=U \cdot I$ sehr stark vom Verbrauchswiderstand abhängt.

Ist der Widerstand sehr klein, oder sehr groß, so ist die Leistung sehr klein. Es gibt einen Punkt auf der Kennlinie, an dem die Leistung maximal ist, an dem der Widerstand also optimal auf die Solarzelle abgestimmt ist. Dieser Punkt nennt sich in der Fachsprache *Maximum-Power-Point* (MMP)

Weitere Punkte auf der Kennlinie sind wichtig. Bei 0 Volt Spannung kann man eine vergleichsweise hohe Stromstärke ablesen. Diese Stromstärke ist definiert als

Kurzschlussstrom der Solarzelle. Geht weiterhin die Stromstärke gegen Null, so ist die Spannung maximal. Dieser Spannung nennt sich Leerlaufspannung. Beim Erhöhen des Widerstandes steigt die Spannung zunächst schnell an, während die Stromstärke sich nur wenig verändert. Dieser Bereich endet bei P1. Hier beginnt die Stromstärke stärker zu fallen. Ab Punkt P3 fällt die Stromstärke sehr stark ab, wobei die Spannung nahezu konstant bleibt. Durch diese Punkte ist die Kennlinie der Zelle definiert.

3.3 Weitere Einflussgrößen

An weiteren Experimenten lässt sich zeigen, dass die Leistung einer Solarzelle noch von vielen anderen Faktoren abhängig ist. Bei Veränderung der Intensität der Einstrahlung ergibt sich, dass der Kurzschlussstrom sich proportional verändert, während die Leerlaufspannung nahezu konstant bleibt. Erhöht man die Arbeitstemperatur der Zelle, so ergibt sich, dass hierbei die Leerlaufspannung abfällt. Halbiert man die Zellenfläche, so halbiert sich die Stromstärke, während die Spannung konstant bleibt. Desto spitzer der Eintrittswinkel ist, desto geringer wird die Leistung.

Aus den durch die Einflussgrößen verursachten Variationsmöglichkeiten folgt jeweils eine Verschiebung des MMP und des Innenwiderstandes. Der Verbrauchswiderstand muss also auch auf Temperatur, Strahlungsintensität, Winkel und Zellenfläche abgestimmt sein. Da Temperatur, Winkel und Strahlungsintensität im Verlauf des Tages und im Verlauf eines Jahres variieren, es ergeben sich erhebliche Probleme für die praktische Nutzung.

4. Praktische Anwendung

4.1 Solarmodule

Im Handel sind Zellen sowohl einzeln, als auch in Modulform erhältlich. Welches Produkt benötigt wird, hängt von der Anwendung ab. Im Regelfall werden aber fertige Module verwendet.

Ein Modul besteht aus einer oder mehreren Zellen, die so verarbeitet sind, dass sie den gewünschten Witterungs- und Leistungsanforderungen entsprechen. Ein Beispiel für den äußeren Aufbau eines Moduls liefert die folgende Grafik (Abb. 4.1) Schaltet man die Zellen eines Moduls in Reihe, so bewirkt dieses eine Erhöhung der Spannung bei konstanter Stromstärke. Schaltet man die Zellen parallel, so wird die Stromstärke erhöht. In Kombination lassen sich beide Größen erhöhen.



Abb. 4.1 Aufbau eines Solarmoduls (Ladener S. 45, Solartex-Firmenunterlagen)

Es kann passieren, dass eine Zelle im Modul nicht mehr funktioniert, weil sie beschädigt oder einfach beschattet ist. Fließt Strom durch eine dieser Solarzellen, so werden diese erhitzt und unter Umständen vollständig zerstört. Diese Gefahr wird als Hotspot bezeichnet. Um diese Hotspots zu verhindern, werden in den Modulen parallel zu den Zellen Schutzdioden geschaltet, die den Strom umleiten.

4.2 Solarsysteme

4.2.1 Autonome Systeme

Autonome Systeme sind *netztunabhängige Inselanlagen*, die ihren gesamten Energiebedarf selbst decken. Anwendungsgebiete sind zum Beispiel elektronische Kleingeräte wie Taschenrechner oder Uhren, Wohnwagen, Gartenlampen und – Pumpen, Parkautomaten oder sogar ganze Häuser, die zu weit vom Netz entfernt sind. Das Problem dieser Systeme ist, dass der Solargenerator die entsprechende Größe haben muss, um den Bedarf auch in der Zeit geringer Einstrahlung abdecken muss. Zur Speicherung der Energie werden *Akkus* benötigt, die den Preis erheblich in die Höhe treiben. Zum Betrieb normaler elektrischer Geräte wird ein *Wechselrichter* benötigt. Ein Laderegler sorgt dafür, dass die Zellen immer im optimalen Leistungsbereich arbeiten. Nach Möglichkeit sollten die Geräte an das Solarkraftwerk, das im Regelfall eine Gleichspannung von 12 oder 24 Volt liefert, angepasst werden. Dieser Systemtyp ist nur dann geeignet, wenn Netzstrom zu teuer, oder nicht erreichbar ist.

4.2.2 Netzgekoppelte Systeme

Bei Netzgekoppelten Systemen wird bei Energieüberschuss Energie an das Netz verkauft und bei Engpässen Energie gekauft. Dadurch werden weniger Module benötigt und auf die Akkus kann gänzlich verzichtet werden. Stromhersteller betreiben bereits

mit mehrere großflächige Anlagen dieser Art, wie z. B. das Solarkraftwerk auf den neuen Messehallen in München, dem größten Solarkraftwerk der Welt. Bei diesen Anlagen wird der Strom direkt an einen netzgekoppelten Wechselstromrichter angeschlossen. Für den Verbraucher sind diese Systeme deswegen interessant, weil Sie vom Staat erheblich subventioniert werden.

5. Effizienz von Solarsystemen

5.1 Rechenbeispiel bezogen auf einen vier Personen Haushalt

Leider sind elektrische Geräte stärker zweck- als verbrauchsorientiert. Geräte, wie zum Beispiel ein Computer verbrauchen sehr viel Strom. Der Stromverbrauch eines vierköpfigen Haushalts liegt nach Informationen der Stromhersteller bei etwa 4000 kWh/a. Die Jahreskosten liegen zwischen 1000 DM bei konventioneller Stromherstellung und 1600 DM bei Verwendung regenerativer Energien wie Wind-, Wasser- oder Sonnenenergie. Schon allein an diesem Rechenbeispiel lässt sich erkennen, dass die Kosten bei regenerativer Erzeugung erheblich höher sind.

Die Jahressonneneinstrahlung pro Quadratmeter liegt bei etwa 1200 kWh/m²a, die zu etwa 12 % in elektrischen Strom umgewandelt werden können. Es bleiben 144 kWh/m²a, die theoretisch umgewandelt werden. Folglich müsste die Fläche für das Solarkraftwerk des Modellhaushalts etwa 27 m² betragen. Abgesehen wird hier noch von Verlusten durch Beschattung oder zu spitzen Lichteintrittswinkel. Im Elektronikhandel bekommt man Anlagen für 3000kWh/a in einer Größe von ca 37 m². Ein Modul von 0,8 m² Größe kostet im Elektrohandel etwa 1400 DM. Die Kosten für die Module der Musteranlage lägen also bei optimaler Umwandlung bei etwa 47 000 DM Die realen Kosten können weitaus höher sein. Hinzu kommen die Installationskosten, Kosten für die Halterung und weitere Geräte.

Aus den Rechnungen lässt sich erkennen, dass es etwa 50 Jahre dauern würde, bis sich eine Solarzelle theoretisch bezahlt machen würde. Da die Module aber nur eine begrenzte Haltbarkeit haben und verschleißen, ist davon auszugehen, dass die Anlage bis dahin nicht mehr funktioniert. Es scheint, als wären Solarzellen unwirtschaftlich.

5.2 Förderungsprogramme

Um die Stromerzeugung durch Sonnenenergie für den Verbraucher attraktiver zu machen, gibt es mehrere Förderungsprogramme. Neben den aufgelisteten gibt es weitere, standortspezifische Förderprogramme.

5.2.1 Das 100.000 Dächerprogramm

Dieses Programm wird von der Bundesanstalt für Wiederaufbau angeboten. Es ermöglicht die Aufnahme eines langfristigen, kostengünstigen Kredit mit freien Jahren für Privatpersonen und Gewerbe, die sich eine neue Solaranlage mit einer Leistung von mehr als 1 kWp zulegen. Der Zinssatz liegt hier bei 1,9%/a. (Vgl. kfw)

5.2.2 Das Erneuerbare-Energie-Gesetz

In diesem, seit dem 1. 4. 2000, gültigen Gesetz ist festgeschrieben, dass für jede Kilowattstunde, die von einer regenerativen Energiequelle ins Netz eingespeist wird, einer Vergütung von 99 Pf gezahlt wird. Dieses Förderprogramm ist für die nächsten 20 Jahre garantiert. (Vgl. Siemens, Photon.de)

5.3 Schule und Photovoltaik – eine Projekt, die sich rechnet

Ein Solarprojekt, das 1996 an einer Hamburgerschule durchgeführt wurde zeigt, wie man mit Solarenergie und Förderprogrammen Profit machen kann.

Durch Spendengelder schaffte es eine engagierte Gruppe auf dem Dach der Schule für 40 000 DM eine 3 kW Solaranlage zu installieren. Die Stadt Hamburg zahlt in einem speziellen Förderprogramm pro kWh 1,80 DM, so dass mit der Anlage jährlich 5 400 DM eingenommen werden. Auf diese Weise würde sich die Anlage in 8 Jahren selbst finanzieren.

Da das Projekt mit Spendengeldern finanziert wurde, stehen die Einnahmen für weitere Projekte zur Verfügung. Für den Unterricht bietet das Solarkraftwerk interessante Experimentiermöglichkeiten und Rechenbeispiele für die Mathematikurse. (Vgl. hh.schule.de)

6. Solarenergie als Energie der Zukunft

Die Rechnungen zeigen, dass es durchaus möglich ist, effiziente Solaranlagen zu installieren. Diese Effizienz hängt zwar an Subventionen, wird aber langfristig zu einer Steigerung der Nachfrage nach Solarzellen führen. Deswegen ist es zu erwarten, dass billigere Massenproduktionsmethoden entwickelt werden und sich der Preis für die Module langfristig erheblich verringert.

Durch die Knappheit und den hohen Preis fossiler Energie ist es notwendig, neue Ressourcen zu erschließen. Sonnenenergie kann eine gute Lösung für diese Probleme sein. Deswegen ist Solarenergie eine Energie der Zukunft.

Literaturverzeichnis

Bücher

Heinz Lader; Solare Stromversorgung - Grundlagen, Planung, Anwendung, Stufen bei Freiburg/1995² (=Ladener)

Bilder

Titelseite: www.siemenssolar.de

Internet

<http://www.siemenssolar.de/100000undeeg.htm>(=Siemens)

<http://www.photon.de> (=photon.de)

<http://www.kfw.de/de/unsere%20kreditprogramme/kreditprogrammederkfw/baue/modernisierenundenergiesparen/dcher-solars/inhalt.jsp> (=kfw)

<http://www.hh.schule.de/gydoe/umwelt/solarzelle.html> (=hh.schule.de)

Anlagen

Erklärung

Hiermit versichere ich, dass ich die Arbeit selbständig angefertigt, keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel benutzt und die Stellen der Facharbeit, die im Wortlaut oder im wesentlichen Inhalt aus anderen Werken entnommen wurden, mit genauer Quellenangabe kenntlich gemacht habe

Verwendete Informationen aus dem Internet sind dem/r Lehrer/in vollständig im Ausdruck zu Verfügung gestellt worden

Name in Druckschrift _____

Ort, Datum, Unterschrift _____