

Aufgabe 3.1 Strom-Spannungs-Charakteristik einer Solarzelle

In der Vorlesung haben wir die Strom-Spannungs-Charakteristik einer Solarzelle hergeleitet:

$$J(U) = J_0 \left[e^{eU/k_B T} - 1 \right] - J_L. \quad (1)$$

- Siehe Kurve für $J_L = 6A$ in Abbildung 1.
- Bei ungefähr $U = 0.62V$ und $I = 5.74A$ liegt der Punkt maximaler Leistung. Wir setzen die Verbraucher-Gerade so an, dass sie die J - U -Charakteristik am Punkt maximaler Leistung schneidet, siehe Abbildung 1.
- Da der photoinduzierte Strom J_L proportional zur Lichtintensität ist, fällt dieser Strom in unserem Beispiel auf den Wert $J_L = 3A$, wenn die Lichtintensität auf die Hälfte sinkt. So wie der Arbeitspunkt nun zu liegen kommt, ist die aufgenommene Leistung um ca. einen Faktor 4 reduziert. Damit die maximal mögliche Leistung aufgenommen werden kann, muss der Lastwiderstand R_L erhöht werden mit $R_L^{\text{neu}} = R_I + 2R_L^{\text{alt}}$.

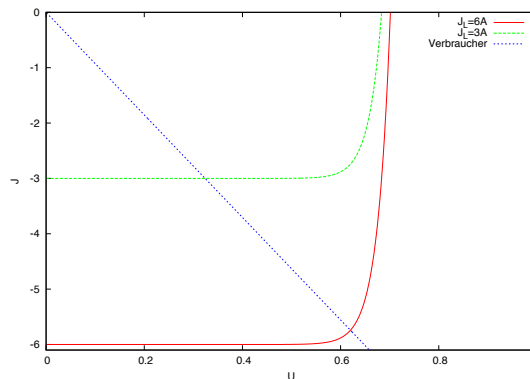


Abbildung 1: Strom-Spannungscharakteristik mit Verbraucher

- In der Praxis wird ein sogenannter Maximum-Power-Point-Tracker verwendet. Dieser regelt, wieviel Strom einem angehängten Wechselrichter zugeführt wird und stellt sicher, dass die Photovoltaikanlage am Punkt maximaler Leistung arbeitet, siehe Wikipedia-Artikel zum Solarwechselrichter.
- Als Vergleichswert nehmen wir die Huygens-Sonde, welche über keinen Antrieb verfügt und eine Leistung von bis zu 350W benötigt. Eine realistische Grösse für die Solarpanel-Fläche auf Raumsonden ist $A = 64m^2$ (Rosetta-Sonde). Die Intensität nimmt quadratisch mit der Entfernung R ab, das heisst wir können mit der Solarkonstanten $I_E = 1367 \frac{W}{m^2}$ die Intensität I_P , welche wir bei einem Planet in unserem Sonnensystem erwarten mit $I_P = I_E \frac{R_P^2}{R_E^2}$ berechnen. Mit einem Wirkungsgrad von $\eta = 0.15$ können wir bei unseren Planeten die folgende Leistung beziehen:

Planeten	Erde	Mars	Jupiter	Saturn	Uranus	Neptun
$R [AE]$	1	1.524	5.203	9.582	19.201	30.047
$P [W]$	13123	5650	485	143	36	15

Unsere Raumsonde hat etwa bis zum Jupiter genug Leistung, um Daten aufzunehmen und uns zurück zur Erde zu senden. Wir können damit nachvollziehen, wieso die Cassini-Huygens Sonde und die Rosetta-Sonde unterschiedlich konzipiert worden sind. Während für die Saturnmission Solarpanels für die Cassini-Huygens Weltraumsonde wenig nützlich gewesen wären und sie daher nicht mit Solarzellen ausgestattet wurde, ist die Rosetta-Sonde für die Erkundung des Asteroidengürtels (2-3.4AE) mit Solarpanels im Weltall unterwegs.

Aufgabe 3.2 Solarmodul

- Um eine Spannung von 10V zu erzielen, müssen 20 der vorgegebenen Solarzellen in Serie geschaltet werden. Hängt man 5 solcher Reihen parallel zueinander, liefert das Modul einen Strom von 10A. Unser Solarmodul besteht daher aus 100 Solarzellen. Bedecken wir mit solchen Solarmodulen ein Dach von $10m^2$, erhalten wir eine Leistung von 1kW.
- Wird ein Wasserstromvolumen $\frac{V}{t}$ über eine Nettofallhöhe h einer Wasserturbine mit Wirkungsgrad η zugeführt, so ist die Leistung dieses Wasserkraftwerks gegeben als $P = \frac{\rho V g h \eta}{t}$, mit ρ der Dichte von Wasser und g der Erdbeschleunigung. Um dieselbe Leistung wie die Photovoltaik-Anlage zu generieren, benötigen wir ein Wasserstromvolumen zwischen 20.4 ($\eta = 1$) und 25.5 ($\eta = 0.8$) Litern pro Sekunde.
- Die mit pysolar bestimmten Lichtintensitäten in Zürich für einen sonnigen Tag im April und zur Mittagszeit über ein Jahr hinweg sind in Abbildung 2 und 3 dargestellt.

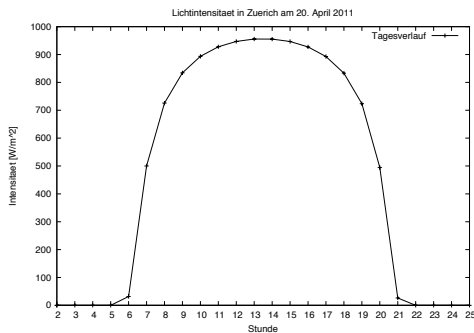


Abbildung 2: Tagesverlauf in Zürich

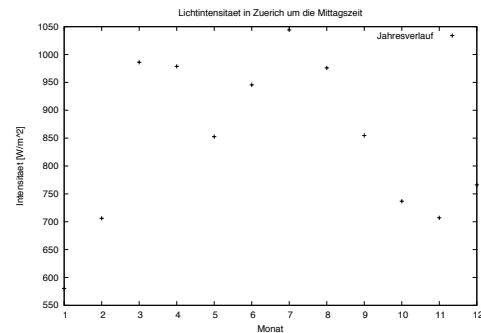


Abbildung 3: Jahresverlauf in Zürich

- Wenn das Licht stets senkrecht auf unser Solarmodul eintrifft, haben wir am 20. April 2011 eine durchschnittliche Leistung $P = 1.11kW$ und beziehen eine Energie $E = 17.63kWh$. Wird das Solarmodul auf dem Dach nicht ausgerichtet, erhalten wir für ein Süddach mit einem Neigungswinkel von 47 Grad $P = 0.39kW$ und $E = 6.18kWh$.

Aufgabe 3.3 Monte-Rosa Hütte

- Damit die 48V-Batterien mit dem Solargenerator aufgeladen werden können, benötigen wir mindestens eine Spannung von 48V und erhalten daher bei einer Nominalleistung von 16056 W einen Strom von maximal 334.5A. Wir schätzen daher, dass wir ca. einen Strom von 300A bei Nominalleistung haben.

- b) Eine Leistung von $16056W_p$ bedeutet, dass die $84m^2$ grosse Solaranlage bei einer Bestrahlungsstärke von $1000W/m^2$ eine Leistung von $16056W$ abgibt. Die verwendeten Solarzellen haben also einen Wirkungsgrad von $\eta = 0.19$. Für unsere eigene Abschätzung der Intensität können wir wieder unser pysolar-python-Programm verwenden. In Abbildung 4 ist die durchschnittliche Leistung über die Monate hinweg unter Berücksichtigung der südlichen Ausrichtung und des 66 Neigungswinkels der Monte-Rosa-Hütte dargestellt. Wenn man nur den Neigungswinkel berücksichtigt, sinkt die Leistung ein wenig im Juni und Juli, da die Sonne besonders hoch steht und schräg von oben auf die Solarpanels scheint. Wird jedoch zusätzlich zur Höhe des Sonnenstandes, auch der Azimuthalwinkel miteinbezogen, sinkt die Leistung extrem in den Sommermonaten, da die Tagesdauer steigt, aber der Beitrag aus den zusätzlichen Morgen- und Abendstunden relativ klein ist. Insbesondere wenn die Sonne im Sommer im Nordosten aufgeht, können von der Sonne direkt keine Strahlen auf die Solaranlage an der Südwand gelangen. Nehmen wir an, dass aufgrund von Reflexion an Schneeflächen immer eine gewisse Mindeststrahlung besteht, können wir unsere pessimistische Abschätzung etwas korrigieren. Bei einer Hintergrundintensität von mindestens 50% der Sonnenstrahlung, erhält man für einen durchwegs sonnigen Mai eine durchschnittliche Leistung von $6-7kWh$.

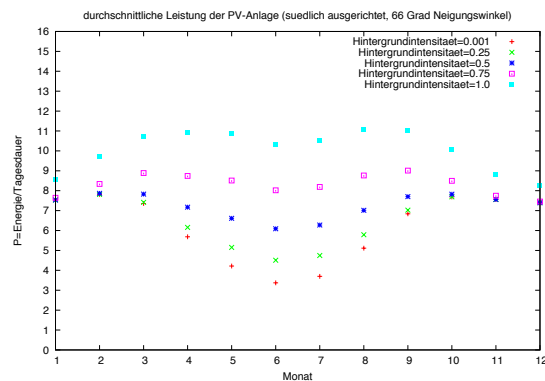


Abbildung 4: Durchschnittliche Leistung der Photo-Voltaik-Anlage auf der Monte Rosa Hütte

- c) Wenn wir von einem Strom $I = 300A$ ausgehen, dauert es ca. $10h$ um eine Batterie $3000Ah$ aufzuladen, wenn wir keine Saturierungseffekte beim Laden berücksichtigen. Diese Dauer liegt unterhalb der Tagesdauer in den Sommermonaten.
- d) Eine Leistung von $P = 2.6kW$ ist eine ungefähr 6 mal kleinere Leistung als die Nominalleistung, das heisst wir brauchen 6 mal länger um die Batterie zu laden. Wenn wir von einer Tageslänge von $15h$ ausgehen, benötigen wir 4 Tage, um die Batterie aufzuladen.
- e) Die Batterien speichern ungefähr eine Energie von $E = 200kWh$. Wenn die Monte-Rosa Hütte während einer Nacht mit 120 Personen besetzt ist, stehen $1.7kWh$ pro Gast zur Verfügung. Bei der Anenhütte stehen bei voller Besetzung jedem Gast zu jeder Stunde $1kWh$ zur Verfügung.
- f) Die Batterien nehmen ein Volumen $V = 4m \times 2m \times 1m = 8m^3$ ein. Ihre Energiedichte $\rho = E/V = 0.025kWh/l$ ist einen Faktor 360 geringer als Rapsöl. Treibstoffe wie Rapsöl oder Benzin haben eine grosse Energiedichte, weshalb es schwierig ist, elektrische Energiespeicher mit kompetitiven Energiedichten zu entwickeln, welche in Fahrzeugen verwendet werden können.
- g) siehe Wikipedia-Eintrag zum Thema Energiespeicher, Abschnitt Speichern elektrischer Energie.