Hochschule Aalen

Dokumentation über die Energetische Amortisation der Photovoltaik Anlage auf der HTW - Aalen

vorgelegt von Hegele, Schiele, Seng
Semester F4
Fachrichtung Automatisierungstechnik

Hochschule Aalen

Dokumentation über die Energetische Amortisation der Photovoltaik Anlage auf der HTW - Aalen

Autor	Tobias Hegele Matr.-Nr 25734
	Frank Schiele Matr.-Nr 25514
	Achim Seng Matr.-Nr 25943
Semester	F4
	Schwerpunkt Automation
Betreuer	
Beginn/ Ende	01.04.2008/23.07.2008

Danksagung

Unser besonderer Dank geht an unsere Kommilitonen die uns mit Rat und Tat zur Seite gestanden sind. Des Weiteren der HTW-Aalen die uns die nötigen Räumlichkeiten und Hilfsmittel zur Verfügung gestellt hat. Sowie den Hausmeistern die uns den Zugang zur Photovoltaikanlage ermöglicht haben. Herrn Ehrmann der uns im Energie-Kompetenzzentrum beraten hat. Aber ganz besonders bei Herr Thorsten Fehrmann der uns die ganzen Information der Anlage zur Verfügung gestellt hat. Und selbstverständlich auch noch Frau Schiele für den leckeren Erdbeerkuchen.

Hochschule Aalen

Inhalt

1. Die Anlage……. 1
2. Solarzellen…….……. 2
   2.1. Das Prinzip……. 2
   2.2. Monokristalline Solarzellen…… 3
      2.2.1.1. Größe und Wirkungsgrad…….…… 3
      2.2.1.2. Herstellung klassischer monokristalliner Solarzellen. 3
      2.2.1.3. Veredelung der Oberfläche……. 3
      2.2.1.4. Erscheinungsbild……. 4
      2.2.1.5. Zellform…….. 4
   2.3. Polykristalline Solarzellen…….. 4
      2.3.1.1. Größe und Wirkungsgrad …….. 5
      2.3.1.2. Zellform und Farbe……5
      2.3.1.3. Herstellung klassischer monokristalliner Solarzellen…6
   2.4. Dünnschicht Solarzellen……. 6
      2.4.1.1. Technologische Vorteile……6
      2.4.1.2. Serienfertigung……... 6
      2.4.1.3. Gestaltung……..7
      2.4.1.4. Form und Farbgebung……7
3. Energetische Amortisation…….. 8
4. Abgrenzung……. 8
5. Informationsbeschaffung…… 19
6. Einzelrechnung…… 19
   6.1. Berechnung Arbeitsstunden…… 19
   6.2. Berechnung Solarmodule…… 19
   6.3. Berechnung Untergestell…… 10
7. Berechnung Gesamt..... 10
8. Standortvergleich…… 11
   8.1. Intensität der Sonneneinstrahlung…….. 11
   8.2. Standortvorteil Spanien…….. 12
9. Bilanz……. 12
10. Ausblick……..... 13
   10.1. Silizumzellen mit multikristallinen Zellen (mc-Si)…..……. 13
   10.2. III-V Halbleiter Solarzellen (GaAs)…….. 13
   10.3. Halbleiter –Elektrolytzellen z.B. Kupferoxid/ NaCl- Lösung…… 13
   10.4. Organische Solarzellen (Werkstoffe aus der organischen Chemie)… 13
11. Anhang
   A1. Mind-Map
   A2. Berechnungstabelle

Hochschule Aalen

Abstrakt

In der folgenden Dokumentation wollen wir die energetische Amortisation einer Photovoltaikanlage beschreiben. Als Beispiel haben wir uns die Anlage, die auf dem Dach der HTW Aalen installiert ist, herausgesucht. Da die Anlage über die drei gängigsten Solarzellentypen verfügt gehen wir im ersten Teil auf die einzelnen Zellentypen ein und erläutern die Funktionsweise. Im Weiteren wird erklärt welche Werte wir für die Berechnung als relevant gehalten haben und wir dann daraus unsere Berechnungen aufgebaut haben. Zum Schluss wird dann näher auf das Ergebnis eingegangen und es auf andere Anlagen und Studien bezogen.

1. Die Anlage

Die Anlage hat eine Nennleistung von 555,24 kWp. Kurz zur Erklärung: „W_p bzw. kW_p (gesprochen: *(Kilo)watt piek*) ist die Maßeinheit für die maximale Leistung, insbesondere für die höchste elektrische Leistung, die ein Gerät umsetzen kann. Der Begriff setzt sich zusammen aus der Einheit Watt und dem englischen Wort *peak* für *Spitze*.“[1]. Sie wird unter standardisierten Testbedingungen gemessen, die 25°C Zellentemperatur, 1000W/m² Bestrahlungsstärke, Sonnenlicht-Spektrum 1,5 und Einstrahlwinkel 90° sind. Es sind fast 6000m² Solarfläche auf dem Dach der HTW verbaut. Der Betreiber die Firma Baden Solar kalkuliert einen Jährlichen Ertrag von 235 000€. Nach ihrer Energetischen Amortisation spart die Anlage jedes Jahr 297t CO_2 ein.
Zum Beispiel ein Smart braucht nur 116gCO_2/km[2] also könnte man 2 560 344 km im Jahr mit ihm fahren, ein Porsche welcher 297g CO_2/km[3] verbraucht nur noch 1 000 000 km im Jahr.

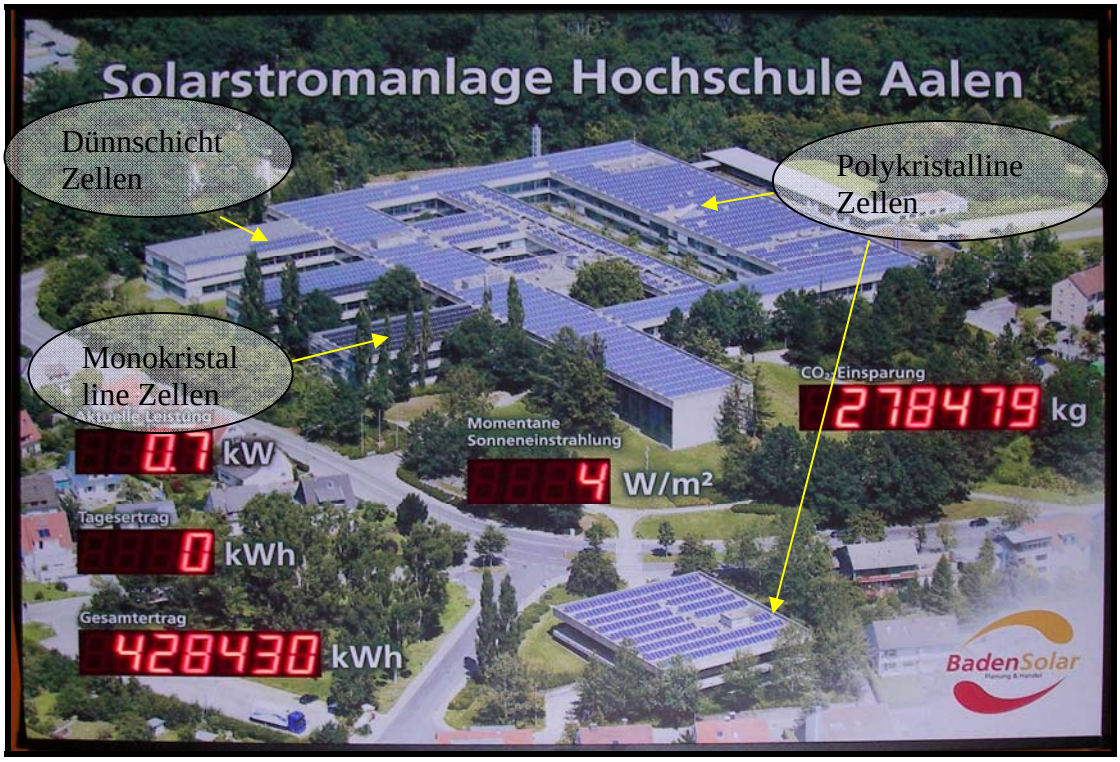


Abb. 1

[1] Wp (Maßeinheit) Wikipedia 15.6.2008 http://de.wikipedia.org/wiki/Wp_%28Ma%C3%9Feinheit%29
[2] http://www.spiegel.de/auto/aktuell/0,1518,463901,00.html
[3] http://www.spiegel.de/auto/aktuell/0,1518,463901,00.html

2. Solarzellen

2.1. Das Prinzip

Energiewandlung mit Solarzellen beruht auf dem photovoltaischen Effekt, der bei der Bestrahlung von speziell behandelten Halbleitermaterialien mit Licht geeigneter Wellenlängen auftritt.

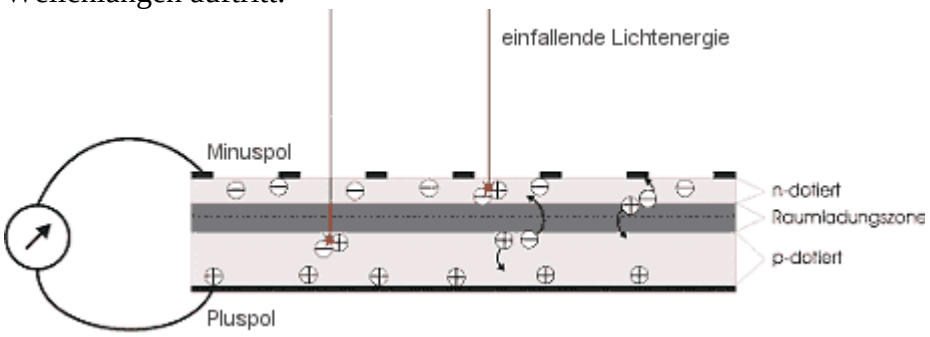


Abb. 2

Bei handelsüblichen mono- und polykristallinen Solarzellen wird hochreines Silizium in Form von Wafern (ca. 0,3 mm dicke Siliziumscheiben) als Halbleitermaterial verwendet.

Wird die Oberseite des Wafers mit Phosphor-Atomen und die Unterseite mit Bor-Atomen angereichert, so entsteht zwischen beiden Zonen ein elektrisches Feld. Trifft Licht auf diese Solarzelle, werden freie Ladungsträgerpaare gebildet, die sich unter dem Einfluss des inneren elektrischen Feldes trennen. Die negativen Ladungsträger, die Elektronen, gelangen zur oberen Fläche und an der unteren Seite bildet sich eine positive Ladung. Auf diese Weise entsteht eine Gleichspannung zwischen Ober- und Unterseite, die mittels Elektroden abgegriffen werden kann.

Der Abgriff der Spannung geschieht in der Praxis durch ein aufgedrucktes, feines Netz von Kontaktierungen auf der Oberseite der Zelle (Minuspol) und einen großflächig aufgedruckten Kontakt auf der Unterseite (Pluspol). Die netzartige Ausführung auf der Zellenoberseite wird gewählt, um den Lichteinfall auf die Zelle so wenig wie möglich zu behindern.

Noch vor der Kontaktierung wird die Oberfläche des ursprünglich silbergrauen, spiegelblanken Wafers mit einer Antireflexschicht aus Siliziumnitrid oder Titandioxid versehen. Diese verringert unerwünschte Reflexionen des einfallenden Sonnenlichtes und trägt damit zur Wirkungsgradsteigerung der Zelle bei. Außerdem verleiht sie der Solarzelle ihre typische blaue bis schwarze Färbung. Weitere Zellenfärbungen werden durch Variation der Dicke der Antireflexschicht erreicht.

2.2. Monokristalline Solarzellen

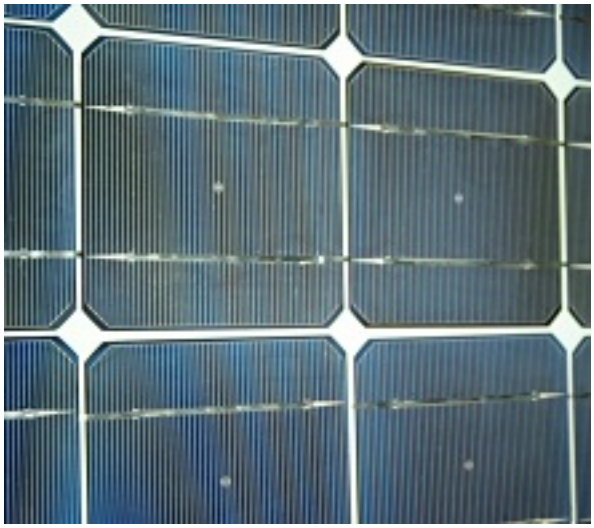


Abb. 3

„Monokristalline Solarzellen sind die Klassiker der Solartechnologie. Mit monokristallinen Solarzellen wurden die ersten Solarmodule für die Raumfahrt hergestellt. Da sie den höchsten Wirkungsgrad in der Umwandlung von Solarstrahlung zu Strom, bezogen auf die zur Verfügung stehende Fläche haben werden sie überall dort eingesetzt, wo höchste Effizienz gefragt ist, wie z.B. bei Satelliten. Über ein Drittel aller verwendeten Solarzellen sind heute aus monokristallinem Silizium.

2.2.1. Größe und Wirkungsgrad

Die Größe monokristalliner Solarzellen beträgt zwischen ca. 100 x 100 mm und maximal ca. 150 x 150 mm, je nach Hersteller. Der elektrische Wirkungsgrad (Verhältnis eingestrahlter Solarenergie zu daraus erzeugtem Strom) ist ebenfalls produktabhängig. Er bewegt sich zwischen 14 % und 17 % bei Solarzellen für die "terrestrische" Anwendung in Standard-Solarmodulen. Bei (entsprechend extrem teuren) Weltraum-Solarzellen kann er weit darüber liegen.

2.2.2. Herstellung klassischer monokristalliner Solarzellen

Aus geschmolzenem Silizium wird ein Monokristall gezogen. Er ist säulenförmig. Der runde Kristallstab wird in einzelne Scheiben zersägt. Die hieraus resultierenden Scheiben nennt man Wafer. Sie sind sehr dünn und zerbrechlich und stellen die Ausgangsbasis für die Herstellung der monokristallinen Solarzelle dar, die in weiteren High-Tec- Verarbeitungsschritten daraus entsteht. Der Wafer ist kreisrund. Je nach Hersteller wird er entweder so zur Solarzelle verarbeitet oder so zugeschnitten, dass er quadratisch ist oder beinahe quadratisch und somit besser in ein rechteckiges Solarmodul passt.

2.2.3. Veredlung der Oberfläche

Das Herstellungsverfahren für "Saturn-Zellen" wurde entwickelt, um den Wirkungsgrad zu steigern. Hierfür wird die Oberfläche der Zellen mit einer leichten Prismenstruktur versehen. Auf diese Weise kann die Zelle noch besser das Sonnenlicht einfangen. Die Zelle wirkt daher dunkler und anthrazitfarben. Zusätzlich werden die feinen Linien der Stromabnehmer in kleinen Gräben untergebracht, um die aktive Zelloberfläche zu maximieren.

2.2.4. Erscheinungsbild

Dadurch, dass das Silizium monokristallin ist, erscheinen die monokristallinen Solarzellen sehr eben und glatt. Sie weisen nicht die polykristalline Kristallstruktur auf. Häufig sind monokristalline Solarzellen sehr dunkel. Verbreitet sind die Farben dunkelblau, anthrazit und schwarz. es ist auch möglich, monokristalline Solarzellen durch die Variation der Schichtdicke der Farbabsorptionsschicht in weiteren Farben oder semitransparent herzustellen. Die EFG-Zellen haben jedoch ein leicht welliges Erscheinungsbild, so dass sie ein wenig ähnlich den polykristallinen Zellen schimmern.

2.2.5. Zellform

Sehr typisch für monokristalline Solarzellen ist die "square-round" - Form, eine quadratische Zelle mit runden Ecken. Um eine möglichst dichte Belegung zu erzielen ohne zuviel Zellmaterial wegschneiden zu müssen, wird die runde Kristallstange dem Quadrat angenähert abgeflacht. Daher entsteht das typische Modulbild mit den rautenförmigen Zellzwischenräumen.
Bei einem schwarzen Modulhintergrund können allerdings sehr gut zur Gebäudeintegration geeignete nahezu einheitlich schwarze Module entstehen, aus denen nur die Metallisolation hervorglitzert.“[4]

2.3. Polykristalline Solarzellen

Abb. 4

Für jeden, der Solartechnik sichtbar machen und in seiner Materialqualität zur Wirkung kommen lassen möchte, sind polykristalline Solarzellen empfehlenswert. Durch die verschieden ausgerichteten Kristalle in der Zelle trifft das Licht mal auf die stumpf geschnittenen Kristalle, mal quer zur Kristallstruktur auf die Zelle. Daher sieht man helle und dunkle Kristallstrukturen. Bewegt sich der Betrachter und ändert er seinen Blickwinkel, entsteht ein changierender Eindruck. Polykristalline Solarzellen glänzen und 'funkeln' daher in der Sonne. Je näher man der Solarzelle kommt, desto beeindruckender ist die Struktur. Dunkelgraue polykristalline Solarzellen können von einigen Metern Entfernung beinahe ähnlich wie dunkler Granit wirken. Blaue polykristalline Solarzellen strahlen königsblau, goldene funkeln wie Metall in der Sonne.

[4] http://www.solarintegration.de/index.php?id=146

2.3.1. Größe und Wirkungsgrad

Die Größe der polykristallinen Solarzelle beträgt in der Regel 125 x 125 mm oder 150 x 150 mm, kann jedoch je nach Hersteller variieren. Einige Hersteller bieten größere Solarzellen mit bis zu 200 mm Seitenlänge an, bei rechteckigen Zellformaten.

Der elektrische Wirkungsgrad (Verhältnis des eingestrahlten Lichtes zum erzeugten elektrischen Strom) polykristalliner Solarzellen hat sich in den letzten Jahren stark verbessert und beträgt in der Regel zwischen 11 % und 14 %. Einige Hersteller bieten jedoch bereits polykristalline Solarzellen mit einem Wirkungsgrad bis zu 15,6 % an.

Polykristalline Solarzellen schimmern im Sonnenlicht und changieren bei unterschiedlichen Sichtwinkeln. Sie sind heute eine der am weitesten verbreiteten Solarzellenarten.

2.3.2. Zellform und Farbe

Die Solarzellen sind in der Regel quadratisch oder auch häufig rechteckig. Die am weitesten verbreitete Farbe ist königsblau. Je nach Hersteller sind auch anders farbige Solarzellen erhältlich, z.B. graue, grüne goldene oder magentafarbene.

2.3.3. Herstellung klassischer polykristalliner Solarzellen

Zur Herstellung polykristalliner Solarzellen wird die Silizium-Schmelze in eine rechteckige Form gegossen und blockweise erkaltet. Dabei entstehen in dem Siliziumblock eine Vielzahl von Kristallen mit unterschied-licher Ausrichtung und Größe. Der erhaltene Kristallblock ist daher multikristallin.

Dieser wird zu Stangen mit quadratischem Querschnitt verarbeitet, aus denen dann der einzelne Siliziumwafer gesägt wird. Hierbei ist es möglich nicht nur vollquadratische, sondern auch rechteckige Zellen herzustellen.

Die polykristalline Technologie ist insgesamt energiesparender, als die monokristalline, daher beträgt die Energie-Amortisation nur noch drei Jahre.

2.4. Dünnschicht-Solarzellen

Abb. 5

Dünnschicht-Solarzellen bestehen aus nur hauchdünnen Solarzellen-Schichten. Dabei kommen unterschiedliche Halbleiter-Materialien auf verschiedenen Substraten zum Einsatz. Dünnschicht-Solarzellen auf biegsamen Substraten wie z.B. Metall sind zudem flexibel.
Amorphe Silizium-Solarzellen (aSi) auf Metallsubstrat
Amorphe Silizium-Solarzellen (aSi) auf Glassubstraten
CIS-Dünnschicht auf Glassubstrat
CdTe-Dünnschicht auf Glassubstrat

2.4.1. Technologische Vorteile

Dünnschicht-Solarzellen wurden später als die kristallinen Solarzellen aus Silizium entwickelt. Ihr Vorteil: Während zur Produktion von Solarzellen aus kristallinem Silizium die Kristallblöcke zersägt werden müssen, um aus dem Siliziumblock die Wafer herzustellen, wird bei Dünnschicht-Solarzellen das Halbleitermaterial in dünnen Schichten direkt auf das Substrat aufgebracht. Das spart sowohl Material als auch Energie ein. Zudem lassen sich die Prozesse besser automatisieren. So sind z.B. bereits "roll-to-roll-Verfahren" bei der Produktion von amorphen Silizium-Solarzellen auf Metallsubstrat üblich.

2.4.2. Serienfertigung

Doch trotz dieses hohen Potenzials gibt es auch Nachteile der Dünnschichttechnologien. Die Produktionstechnologien erlauben noch nicht, das theoretische Potenzial wirklich voll auszuschöpfen. Besonders das Erzielen hoher Wirkungsgrade auf größeren Flächen bereitet nach wie vor Probleme. Amorphe Silizium-Solarzellen auf Glassubstrat haben noch einen relativ geringen Wirkungsgrad (ca. 6...8 %), die CIS-Technologie wird gerade erst serienreif und die Cadmium-Tellurid-Dünnschicht ist wegen ihres wenn auch nur geringen Anteils des Schwermetalles Cadmium in die Kritik geraten.

2.4.3. Gestaltung

Gestalterisch haben die einheitlich schwarzen Flächen Vor- und Nachteile: Einerseits ermöglichen sie einheitlich dunkle Fassaden-Flächen, andererseits ist die Gestaltungsfreiheit stark eingeschränkt. Die Formate der Solarmodule sind weit weniger flexibel, als bei den kristallinen Solarzellen, denn die Dünnschicht-Zelle existiert nicht einzeln, sondern wird gleich flächig als in sich verschaltetes Modul auf das Substrat beschichtet. Die Glassubstrate haben dabei herstellerspezifisch festgelegte Maße, die nicht individuell angepasst werden können, da die automatisierten Produktionsstraßen auf das handling eines Glasformates ausgelegt
sind.

2.4.4. Form- und Farbgebung

Abweichende Formate werden erzielt, indem die in einem Format von z.B. 600 x 1200 mm fertig beschichteten Glasscheiben zersägt und zwischen zwei Glasscheiben mit dem gewünschten Modulformat gelegt werden. Auf diese Weise entsteht Verschnitt und häufig ein dreifacher Glasverbund.

Die Farbe kann gegenwärtig nicht modifiziert werden. Da die Branche derzeit vor allem um hohe Wirkungsgrade kämpft, wird die Realisierung von Farbvarianten zum gegenwärtigen Zeitpunkt nicht im Zentrum der Entwicklung stehen. Allerdings haben japanische Hersteller bereits in Forschungsprojekten farbige Dünnschichtzellen entwickelt. Grundsätzlich ist hier eine ähnliche Manipulationsmöglichkeit gegeben wie bei den farbigen kristallinen Solarzellen.

Ein Bereich, in dem bereits abweichende Formate und diverse Farben von Dünnschicht-Solarzellen gefertigt werden, ist der Kleinprodukte-Bereich. So werden Armbanduhren auch mit weißen Dünnschicht-Solarzellen-Ziffernblättern angeboten.

3. Energetische Amortisation

„Eines der hartnäckigsten Vorurteile gegen die Photovoltaik lautet, der Aufwand für die Herstellung einer Solarstromanlage sei größer als der Ertrag, den sie je liefern könne.“ [5] Bei unserem Projekt wollen wir zeigen, in wie fern sich der Aufbau einer solchen Anlage aus energetischer Sicht lohnt und das solche Gerüchte schon seit Jahrzehnten nicht mehr stimmen. Was ist energetische Amortisation? „Als energetische Amortisationszeit wird der Zeitraum betrachtet, den die Solarzelle Strom erzeugen muss, um die bei der Herstellung aufgewendete Energie zurückzuliefern.“[6] Um ein möglichst realistisches Ergebnis zu bekommen, müssen wir alle Prozesse die zum Primärenergieaufwand beitragen miteinbeziehen. Wenn man sich andere Bilanzen zu diesem Thema ansieht, stellt man fest, dass es bei vergleichbaren Anlagen große Abweichungen gibt. Die Untersuchungen der Hersteller fallen hier meistens besser aus, als die von Unabhängigen Organisationen. Auf Grund der immer besser werdenden Herstellungsmöglichkeiten, verbessern sich die Werte Jahr für Jahr und liegen momentan bei 2 ½ bis 6 Jahren, je nach Zellentyp, was die Rücklaufzeit angeht. Hierbei ist klar dass es kein richtig und falsch gibt. Von vorneherein ist sicher, das unser Ergebnis nur ungefähr in die Richtung der tatsächlichen Amortisation geht, da die Einzelwerte die wir für die Rechnung verwenden teilweise schon eine zu große Toleranz zulassen. Wir wollen mit unserer Recherche nur eine Ungefähre Richtung angeben, in wie weit sich der Bau einer Photovoltaik-Anlage lohnt. Um das Ergebnis möglichst anschaulich zu gestallten, werden wir für alle Werte den CO_2 Ausstoß mit angeben, da er in den letzten Jahren zu einem der Wichtigsten Themen geworden ist.

4. Abgrenzung

Es ist immer schwierig zu sagen welche Punkte man mit aufnehmen soll und welche nicht. Der Vorteil hier besteht darin, dass man einige Werte nicht mit aufnehmen muss, da sie so gering sind und man sie letztendlich vernachlässigen kann. Hierzu ein kurzes Bespiel: Bei der Berechnung, wie viel CO_2 eine durchschnittliche Arbeitsstunde verbraucht, gehört die Menge CO_2, die der Mensch ausatmet natürlich auch dazu. Da allerdings ein Mensch während einer Stunde nur ca. 0,04 kg CO_2 ausatmet und der CO_2 Ausstoß bei anderen Punkten wie zum Beispiel der Anfahrt oder der Benutzung von Arbeitsgeräten(Bohrmaschine, Kran, Computer…) wesentlich höher liegt, brauchen wir diesen Wert hier nicht berücksichtigen. Wir wollen jedoch alle Wichtigen Punkte miteinbeziehen. Da aber dies einen enormen Zeitaufwand bedeuten würde, greifen wir auf Daten anderer Bilanzen und Studien zurück, bei denen bereits all dies berücksichtigt wurde. Bei der Solarzellenherstellung zum Beispiel: Transport, Silizium Abbau, Herstellung, Arbeitsaufwand, Energieaufwand der Firmen und deren Mitarbeiter, …). In einem Mindmap haben wir deswegen alle Punkte die uns eingefallen sind gesammelt und anschließend besprochen welche relevant sind und welche nicht, so das klar definiert ist wie sich unsere Berechnung am Ende zusammenstellt.

[5] Johannes Brennreuter PHOTON Dezember 2002 Seite 49
[6] Energetische Amortisation von Solarzellen, www.Energiesparhaus.de 10.6.2008

5. Informationsbeschaffung

Der schwierigste Teil unseres Projektes war die Informationsbeschaffung. Es erwies sich schon als mühselig eine Ansprechpartner der Firma zu finden, die die Anlage konzeptioniert, geplant und gebaut hat . Aber letztendlich landeten wir bei Thorsten Fehrmann bei BadenSolar GmbH & Co. KG, welcher uns freundlicherweise die Daten über die Anlage zur Verfügung stellte. Unteranderem erhielten wir eine Stückliste der Anlage mit Herstellerangeben. Da allerdings einige der Hersteller keine Ökobilanzen ihrer Produkte erstellt hatten und uns Werte wie den Primärenergieaufwand nicht zur Verfügung stellen konnten, haben wir hierfür Mittelwerte von vergleichbaren Produkten genommen. Da dies für alle Werte die wir benötigten zu aufwändig geworden währe, haben wir bei der Unterkonstruktion und der Verkabelung die Gesamt Werte aus anderen Studien übernommen. Dabei haben wir auf die Vollständigkeit der Berechnungen geachtet.

6. Einzelrechnung

Wie wir auf einzelnen Wert, gekommen sind möchte ich an Hand von ein paar Beispiel erklären.

6.1. Berechnung Arbeitsstunden

Zuerst einmal haben wir uns Gedanken gemacht was wir alles berücksichtigen müssen. Als erstes die Anfahrt: Wenn wir hier von einer durchschnittlichen Strecke von 25 Km(einzeln), das 2 Personen mitfahren und das in einem durchschnittlichen Mittelklasse Waagen, der 0,2Kg CO_2 pro gefahrenen Kilometer verbraucht, ausgehen, kommen wir auf 5kg CO_2 pro Anfahrt. Dann werden dort ca. 5 Stunden gearbeitet was dann pro Arbeitsstunde einen Ausstoß von 1kg CO_2 zur Folge hat. Dort bei der Arbeit werden Maschinen eingesetzt wie zum Beispiel eine Bohrmaschine, im Büro ein Computer aber auch Fahrzeuge wie ein Kran zum Verladen. Bei einem Computer liegen wir bei ca. 100W(mit Peripherie), was einen CO_2 Ausstoß von 61g in der Stunde ergibt. Der Umrechnungsfaktor für den CO_2 Ausstoß pro kWh beträgt laut Ökotest 0,61 kg CO_2/kWh. Die Geräte bei der Montage sind es die hier richtig ins Gewicht fallen(Kran, Stapler, Bohrmaschine, …). Sie sind nur einen Teil der Arbeitszeit in Betrieb und werden nur Prozentual eingerechnet. Was uns letztlich zu dem Ergebnis bringt, das hier 2kg CO_2 in der Stunde anfallen. Insgesamt liegen wir dann bei 3kgCO_2/h. Uns ist natürlich klar das dieser Wert nur ganz grob stimmt. Wenn wir ihn mit anderen Werten, die wir gefunden haben, vergleichen, liegen wir im oberen Mittelfeld und schätzungsweise nicht einmal so daneben. Was uns vollkommen ausreicht um eine grobe Tendenz anzugeben.

6.2. Berechnung Solarmodule

Bei anderen Faktoren wie zum Beispiel den Solarmodulen nehmen wir hierfür die Primärenergiewerte, bei denen bereits alles Wichtige berücksichtig ist, was wir vorher definiert haben. Hier haben wir für die polykristallinen Module, die bei unserer Anlage hauptsächlich verbaut sind einen Primärenergieaufwand von 4000 kWh/kWp. Wenn man nun den Wert auf ein Modul mit 0,215kWp bezieht, erhält man 868 kWh und somit 529,5 kg CO_2. Die Werte der anderen Module kann man der Berechnungstabelle im Anhang entnehmen.

6.3. Berechnung Untergestell

Für den Energieverbrauch des Untergestells haben wir folgende Berechnung übernommen. „Die Neualuminiumgewinnung aus Tonerde erfolgt üblicherweise als Schmelzflusselektrolyse und benötigt aktuell ca. 13,5 kWh/kg. Als „worst-case-Bedingung“ wird als Ausgangsmaterial 100% Neualuminiumangenommen (ohne Recyclinganteil):13,5 kWh/kg x 16,5 kg = 223 kWh für eine Anlage mit 1kW.Diese Energie wird in 223 kWh/(900 kWh/a) = 0,25 Jahren erzeugt. Die Energierücklaufzeit der Gesamtanlage verlängert sich somit durch das Aluminiumgestell im worst case um 1/4 Jahr!“[7] Somit erhalten wir eine Primärenergiemenge von 122951 kWh und einen CO_2 Ausstoß von 75000kg.

7. Berechnung Gesamt

Für die gesamt Bilanz wurden nun die einzelnen Werte der jeweiligen Bereiche berechnet und addiert. Um sich das ganze besser vorstellen zu können, ist zusätzlich noch angegeben wie lange die Gesamte Anlage in Betreib sein muss um den Kohlenstoffdioxidausstoß, der beim Bau entstanden ist, wieder auszugleichen. Wenn man davon ausgeht das die Anlage in einem Jahr 297 000 kg CO_2 einspart(Angabe von BadenSolar GmbH & Co. KG), sind es am Tag durchschnittlich 814 kg CO2. In der Realität schwankt dieser Wert natürlich, was an der Witterung und der Jahreszeit liegt. Je nach Jahreszeit wandert der Einstrahlwinkel bei uns zwischen 61,4° am 21.Juni und 14,5° am 21.Dezember was eine zusätzliche Abweichung ausmacht.

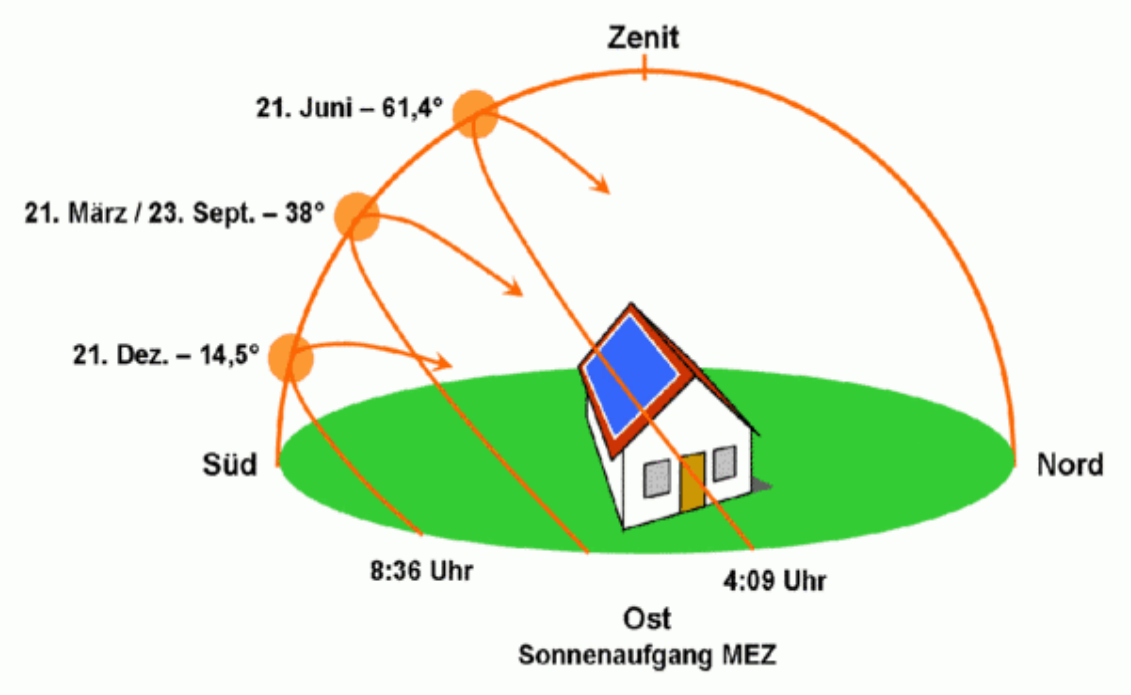


Abb. 6

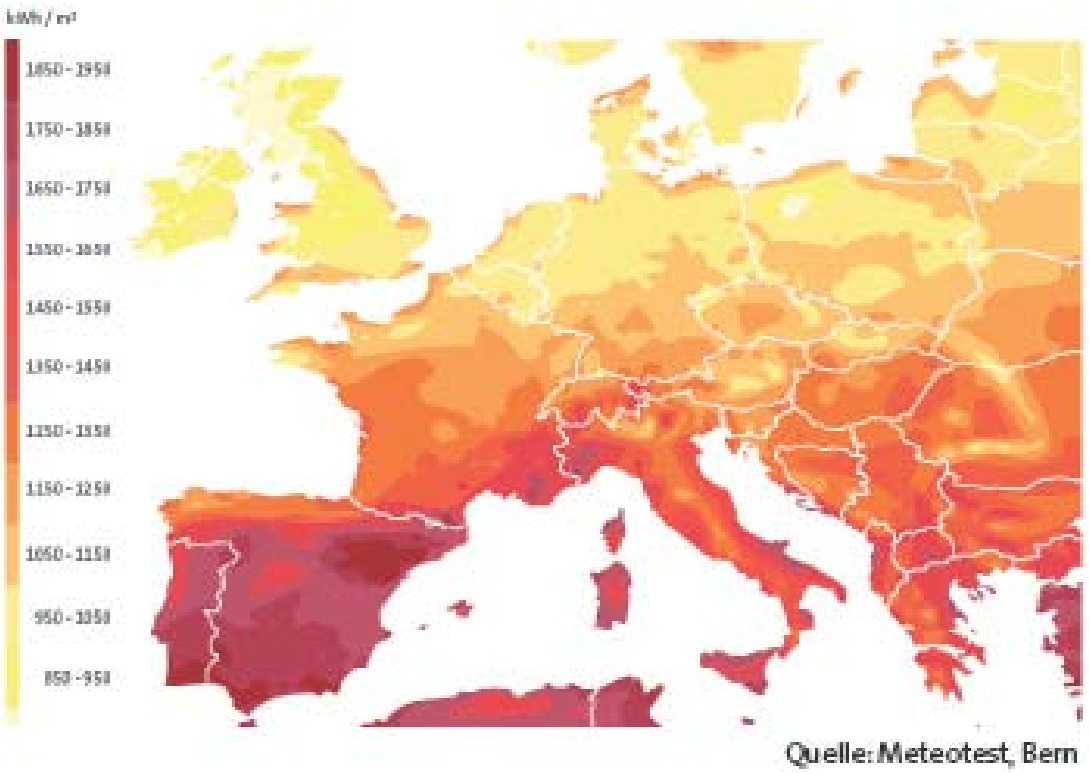
[7] Energierücklaufzeit bei Alu-Aufbausystemen Schletter GmbH Solarmontagesysteme

1.	Solarzellen	2 187 422 kWh	1 334 328 kg CO_2	1617 Tage	83%
2.	Wechselrichter	248 100 kWh	151 542 kg CO_2	184 Tage	9%
3.	Unterkonstruktion	122 951 kWh	75 000 kg CO_2	91 Tage	5%
4.	Elektrik	49 180 kWh	30 000 kg CO_2	36 Tage	2%
5.	Sonstiges	1 311 kWh	800 kg CO_2	1 Tage	0%
6.	Arbeitsstunden	37 377 kWh	22 800 kg CO_2	28 Tage	1%
	Gesamt	2 646 642 kWh	1 612 652 kg CO_2	1957 Tage	

Als Resultat bekommen wir heraus, das die energetische Amortisation für diese Anlage ca. 5 ½ Jahre Dauert und die Primärenergiemenge 1 612 652 kg CO_2 beträgt.

8. Standortvergleich

8.1. Intensität der Sonneneinstrahlung



Deutschland - Aalen

1050 – 1150 kWh / m²

Spanien - Sevilla / Alcolea

1750 - 1850 kWh / m²

8.2. Standortvorteil Spanien

Durch die günstigere Lage in Bezug auf die Intensität der Sonneneinstrahlung würde die Photovoltaik Anlage der Hochschule Aalen, falls sie in Spanien stehen würde, eine deutlich geringere energetische Amortisationszeit haben.

9. Bilanz

Die Photovoltaik-Anlage der HTW Aalen amortisiert sich in Bezug der zur Herstellung und der zum Betrieb benötigten Energie bereits nach 5 ½ Jahren.
Während ihrer Laufzeit spart sie jährlich 290.000 kg CO_2 ein.
Somit ist sie im Gegensatz zu konventionellen Kraftwerken wie beispielsweise Kohle- oder Gaskraftwerken, die sich während ihrer gesamten Laufzeit nicht amortisieren, mehr als nur eine sinnvolle Alternative.
Durch Verbesserungen in den Fertigungsprozessen und durch Entwicklungen im Bereich der Leistungssteigerung und längerer Haltbarkeit wird nicht nur die Effizienz gesteigert, sondern auch die Amortisationszeit noch weiter verkürzt.

10.Ausblick

Die Aufgabe von Solarzellen ist die Produktion von Strom. Daher ist ein hoher Wirkungsgrad erwünscht. Hierbei sind Wirkungsgrade im Bereich von 20% oder mehr durchaus möglich.
Jedoch ist der Wirkungsgrad nicht alleine ausschlaggebend ob ein Zelltyp als besonders geeignet gilt. Viel wichtiger sind die Kosten, zu denen der Strom aus Sonnenlicht gewonnen wird. Für den Großteil der Kosten sind die Herstellung der Zellen sowie die Anschaffung der dafür benötigten Materialien verantwortlich.
Darüber hinaus ist die Ausbeute, also das Verhältnis von der zur Herstellung aufgewendeten Energie zum Ertrag, sowie die Emission von Schadstoffen bei Produktion und über die Betriebszeit ein wichtiges Kriterium.

Die Entwicklung von Solarzellen geht nun in die Richtung einen möglichst guten Kompromiss aus den oben genannten Faktoren zu finden.
Derzeit werden die nachfolgend aufgelisteten Solarzellen als die am besten geeigneten angesehen, wobei sich manche davon noch in der Entwicklung befinden.

10.1. Siliziumzellen mit multikristallinen Zellen: (mc-Si):

-Wirkungsgrad von bis zu 16%
-relativ kurze Energierücklaufzeit
-derzeit die Zelle mit dem günstigsten Preis-Leistungs-Verhältnisses

10.2. III-V-Halbleiter Solarzellen: (GaAs)

-hoher Wirkungsgrad von bis zu 30%
- geringer Leistungsabfall durch Erwärmung
- sehr teuer in der Herstellung, häufige Anwendung in der Raumfahrt

10.3. Halbleiter-Elektrolytzellen: (z. B. Kupferoxid/NaCl-Lösung)

-einfach und kostengünstige Herstellung
-Leistungsfähigkeit begrenzt
-Zuverlässigkeit begrenzt

10.4. Organische Solarzellen: (Werkstoffe aus der organischen Chemie)

- möglicherweise eine kostengünstige Fertigung
- bisher schlechter Wirkungsgrad
- kurze Lebensdauer