

Berufs- und Weiterbildungszentrum Buchs
Technische Berufsmaturitätsschule

Interdisziplinäre Projektarbeit

Photovoltaik – Energie bis an das Ende der Erde



Autor: Mirco Blöchliger, TBMA-3
Staudenstrasse 21
9472 Grabs

Alen Masinovic, TBMA-3
Thalerstrasse 21
9424 Rheineck

Betreuung: Gregor Lenherr

Eingereicht bei: Gregor Lenherr

Ort, Abgabetermin: Buchs SG, 13. März 2014

1 Abstract

Die Photovoltaik beschäftigt sich mit der Umformung von Sonnenenergie in Elektrizität. Dies ist eine der umweltfreundlichsten Arten, elektrische Energie zu gewinnen. Gründe dafür sind zum Beispiel, dass kaum schädliche Stoffe bei der Stromerzeugung entstehen, aber auch, dass die Energiequelle nicht nur nachhaltig ist, sondern der Ursprung und Motor allen Lebens auf dieser Erde ist. Warum also diese natürliche, zuhauf gegebene Energie nicht nutzen? Zudem kann man eine solche Anlage, ohne grossen Aufwand, auf dem eigenen Dach installieren lassen und so selber einen Beitrag zur Stromerzeugung und gleichzeitig auch zu unserer Umwelt leisten. Eine solche Anlage ist ausserdem auch wirtschaftlich attraktiv, denn obwohl die Investitionskosten am Anfang relativ hoch sind, amortisiert sich diese nach gut 10 Jahren bereits wieder. Der weitere Strom der danach noch in das öffentliche Netz gespeist wird, schaut als Gewinn heraus. Damit eine solche Anlage richtig funktioniert, sind verschiedene Komponenten von entscheidender Bedeutung, welche zusammengesetzt eine funktionstüchtige Photovoltaik-Anlage bilden. Hat man eine solche Photovoltaik-Anlage installiert, ist es noch entscheidend, wo man sie aufgebaut hat, denn der Ertrag ist von Ort zu Ort sehr unterschiedlich.

Photovoltaic is about the transformation of solar energy into electricity. This is one of the most environmental friendly ways to win electrical energy. Reasons for this are for example that hardly any harmful substances arise by generating the electricity, but also that the source of energy is not only sustainable, but it is the origin and motor of all life on this earth. So why not utilise this natural, abundant given energy? In addition you can have installed such a system on your own roof with little effort - and this makes oneself a contribution to electricity generation and at the same time also to our environment. Such a system is also economically attractive because, although the investment costs are relatively high at the beginning, this pays off in about 10 years. With the additional electricity, which is thereafter fed into the public network, a profit can be realized. In order that such a system may work correctly different components are of crucial importance which - put together - are forming a functioning photovoltaic system. When such a photovoltaic system is being installed, it is vital at which spot such system is placed, because the earnings of it differs from place to place.

2 Inhaltsverzeichnis

1	Abstract	2
2	Inhaltsverzeichnis	3
3	Einleitung	5
4	Hauptteil	6
4.1	Geographische Aspekte	6
4.1.1	Die Sonne	6
4.1.2	Die Jahreszeiten/ Tag und Nacht	7
4.1.3	Strahlungsenergie	9
4.1.4	Geeignete Orte.....	10
4.2	Geschichte der Photovoltaik	11
4.2.1	Die Entdeckung.....	11
4.2.2	Weitere Forschungen	11
4.2.3	Sonnenenergie im Weltall.....	12
4.3	Die Solarzelle	13
4.3.1	Aufbau einer Solarzelle	13
4.3.2	N-Dotierung.....	13
4.3.3	P-Dotierung.....	14
4.3.4	Silicium.....	14
4.3.5	Der Photoeffekt	15
4.3.6	Bändermodell.....	15
4.3.7	Funktionsweise einer Solarzelle	16
4.3.8	Vorteile.....	18
4.3.9	Nachteile	18
4.4	Experiment	19
4.4.1	Versuch 1 - Einfallswinkel des Lichts.....	19
4.4.2	Versuch 2 - Strahlungsintensität.....	22
4.4.3	Versuch 3 - Temperatur der Solarzelle	24
4.5	Typen von Silicium-Solarzellen	26
4.5.1	Monokristalline Zellen.....	26

4.5.2	Polykristalline Zellen.....	27
4.5.3	Dünnschichtzellen	28
4.6	Wechselrichter	29
4.6.1	Modulwechselrichter.....	29
4.6.2	Strangwechselrichter.....	29
4.6.3	Multistrangwechselrichter.....	30
4.6.4	Zentralwechselrichter	30
4.7	Funktionsschema einer gesamten Photovoltaik-Anlage	31
4.8	Wirtschaftliche Berechnung.....	32
5	Fazit.....	34
6	Danksagung.....	35
7	Quellenverzeichnis.....	36
8	Abbildungsverzeichnis	39
9	Eidesstattliche Erklärung	43
10	Anhang.....	44

3 Einleitung

Egal ob wir Licht brauchen, etwas Warmes zu Essen oder saubere Wäsche haben wollen; Für all dies brauchen wir elektrischen Strom, um die jeweiligen Geräte einschalten, beziehungsweise benutzen zu können. Wie man sieht, hat der Strom in der heutigen Zeit einen hohen Stellenwert erlangt und ist beinahe nicht mehr wegzudenken. Wir könnten uns heutzutage ohne ihn gar kein normales Leben mehr vorstellen. Strom gibt es aber nicht erst seit dem Beginn des 21. Jahrhunderts, sondern schon seit dem Ende des 19. Jahrhunderts. Der Mensch weiss also beinahe 100 Jahre den elektrischen Strom herzustellen und zu gebrauchen. Dies wird sich auch in Zukunft nicht ändern. Da die Weltbevölkerung rasch wächst, steigt auch der Bedarf an Strom immer weiter. Die elektrischen Geräte haben dank des menschlichen Fortschritts einen immer höheren Wirkungsgrad. In anderen Worten heisst das, dass Geräte immer sparsamer werden und so für die verrichtete Arbeit weniger zugeführte Energie brauchen. Auf den Gesamtenergiebedarf relativiert sich dies aber durch das Bevölkerungswachstum wieder. Warum aber verbessert man immer nur die Endverbrauchergeräte um die Umwelt zu schonen, anstatt sich eine Energiequelle zu suchen, die Probleme wie Kohlenstoffdioxid-Emissionen und radioaktiven Müll gar nicht erst mit sich bringen? Nichtsdestotrotz bleibt bei der heute am meist verbreiteten Art der Stromerzeugung, in den Atomkraftwerken, immer mehr radioaktiver Abfall zurück, welcher viele Jahrtausende an sicheren Orten gelagert werden muss, um Mensch und Umwelt nicht zu gefährden.

Seit den 70-er Jahren ist man sich vieler Umweltprobleme bewusst, so auch jenes der Atomkraftwerke. Damals begann man diesem Problem nachzugehen und suchte nach einer Lösung. Man suchte nach einer umweltfreundlichen Art, elektrischen Strom zu erzeugen. Bis heute sind einige Methoden bekannt, wie man umweltfreundlichen Strom gewinnen kann, zum Beispiel mithilfe von Biomasse, Windkraft, Wasserkraft oder auch mithilfe der Photovoltaik.

Die Photovoltaik ist die direkte Umwandlung von Sonnenlicht in elektrische Energie. Man kennt sie am besten bei Taschenrechnern oder auch bei Wohnwägen, welche durch Licht mit Strom versorgt werden. Da kleinere Geräte oder auch Wohnwägen wenig Elektrizität brauchen, macht es gerade dort besonders Sinn, auf diese Weise die benötigte Energie zu erzeugen. Schwieriger wird es bei Häusern oder gar ganzen Städten, da deren Strombedarf nicht mehr so leicht gedeckt werden kann. Doch ganz unmöglich ist die Sache auch nicht.

In dieser Arbeit wird dargestellt, wie eine Photovoltaik-Anlage aufgebaut ist, wie sie funktioniert und an welchen Orten sie effizient genutzt werden kann. Im Weiteren wird eine wirtschaftliche Berechnung durchgeführt, bei der aufgezeigt wird, wie rentabel eine solche Anlage für jeden Einzelnen sein kann. Ebenso wird veranschaulicht, dass Photovoltaik eine gute Möglichkeit ist, um von den umweltbelastenden Methoden Strom zu produzieren, wegzukommen. Es ist unsere Welt, in der wir noch unser ganzes Leben vor uns haben.

4 Hauptteil

4.1 Geographische Aspekte

In diesem Kapitel werden die geographischen Aspekte behandelt, welche mit der Photovoltaik stark in Verbindung gebracht werden können. Wie entsteht die Energie, die wir hier auf unserer Erde nutzen können? Warum ist der Wirkungsgrad nicht überall gleich auf unserer Erde? Ferner wird beschrieben, wie es zum Tag- und Nachtspiel kommt und warum es die Jahreszeiten gibt.

4.1.1 Die Sonne

Die Sonne, das Zentrum unseres Sonnensystems, der Motor allen Lebens auf dieser Erde. Sie besitzt mehr Masse als das 330'000-fache der Erde und im Durchmesser würde die Erde 109-mal hineinpassen. Die Sonne hat eine unvorstellbare Energieabstrahlung, denn jede Sekunde strahlt sie das 20'000-fache unseres Primärenergieverbrauch seit Anbeginn der Industrialisierung (19. Jahrhundert) ab. Als Primärenergie bezeichnet man ursprüngliche vorhandene Energieformen wie zum Beispiel Erdöl, Erdgas, etc.

Die Sonne besteht grösstenteils aus Helium und Wasserstoff und ist somit im Eigentlichen eine grosse Gaskugel. Ein anderer Vergleich, um aufzuzeigen, was für ein unglaublicher Energieträger die Sonne ist: Die Sonne setzt die Energie durch Kernfusion um. Heisst: 4 Wasserstoffkerne zu einem Heliumkern. Bei dieser Umwandlung werden pro Kilogramm erzeugtem Helium 630 Terajoule Energie frei. Ein Kraftwerk der Grösse Gösgen produziert diese Menge innerhalb einer Woche. Die Sonne produziert in ihrem Innern pro Sekunde eine Menge von 6000 Megatonnen Helium aus Wasserstoff. Die Menge der Energie, welche die Erde trifft, beträgt immer noch gut ein Milliardstel der gesamten Sonnenenergie, und das bei einer Distanz Sonne-Erde von 149.6 Mio. km. In Zahlen ist dies rund 1 kW pro Quadratmeter bei senkrechter Einstrahlung. Jedoch wirkt die Sonne nicht immer senkrecht auf die Erde ein und mit wolkigen Wetterverhältnissen ist sie auch nicht immer zu sehen. Doch selbst Deutschland, mit der abgeflachten Einstrahlung und vorherrschendem Klima, erhält 80-mal mehr Energie als es verbraucht. (www.wikipedia.org)



Abbildung 1 - Grössenvergleich Sonne-Erde
(www.erdikon.de)

Die Sonne hat ein ungefähres Alter von 4.57 Milliarden Jahren. In dieser Zeit hat sie durch Kernfusion rund 14'000 Erdmassen Wasserstoff in Helium umgewandelt, wobei 90 Erdmassen an Energie frei wurden. Durch Ansammlung von Helium im Kern, wird dieser immer kompakter und bezieht weiteres Material ein. Dabei nimmt die Leuchtkraft und der Durchmesser der Sonne langsam zu, der Kern schrumpft immer weiter zusammen, die Temperatur nimmt drastisch zu bis bei einer Kernfusion Helium in Kohlenstoff umgewandelt wird. Es entsteht ein Überdruck und die Sonne bläst sich zu einem roten Riesen auf. Sie wird Merkur und Venus verschlucken, und der Erde sehr nahe kommen. Zu diesem Zeitpunkt ist auf der Erde längst kein Leben mehr möglich. Dieses Szenario wird laut Forschern in etwa 1.75 - 3.25 Milliarden Jahren eintreffen. (www.wikipedia.org)

4.1.2 Die Jahreszeiten/ Tag und Nacht

Viele glauben, dass der Grund für die Jahreszeiten in der nicht kreisförmigen Umlaufbahn liegt. Denn durch ihre elliptische Gestalt, ist der, sich ihr entlang bewegende Himmelskörper, also die Erde, mal näher, und mal weiter weg von der Sonne. So glauben sie, ist es mal wärmer, ein andermal kälter. Dies stimmt aber überhaupt nicht. Der wahre Grund liegt darin, dass die Erdachse nicht senkrecht zur Umlaufebene um die Sonne liegt, sondern um $23,27^\circ$ geneigt ist. Diese Schräglage hält sie während der Umkreisung um die Sonne bei. So ergibt es sich, dass ein halbes Jahr die Südhalbkugel stärker von der Sonne bestrahlt wird und ein halbes Jahr die Nordhalbkugel. Dadurch werden die Tage im Sommer länger und im Winter kürzer, je nach Position auf der Erde. Dies bedeutet auch, dass die Sonne von der Erde aus gesehen auf und ab pendelt. (www.klett.de)

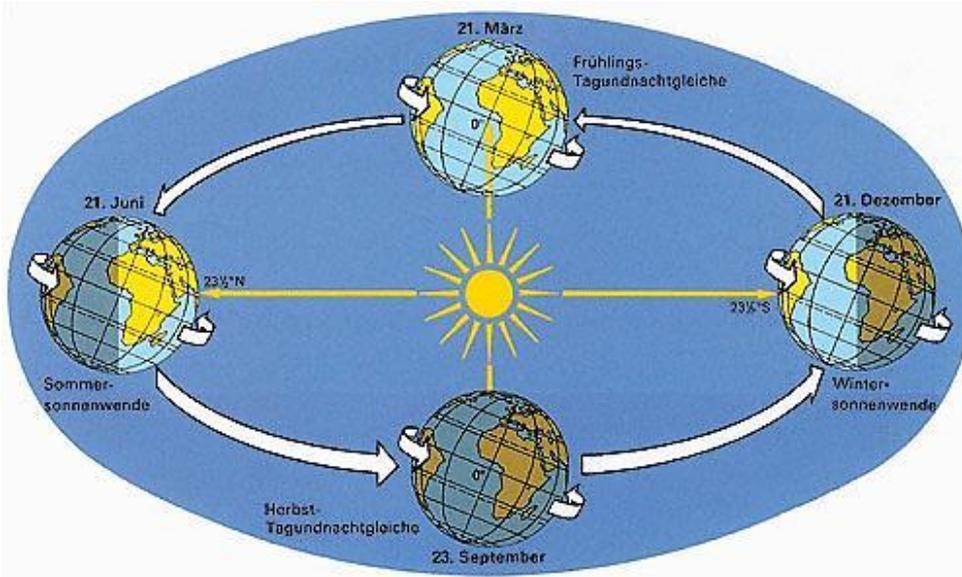


Abbildung 2 – Entstehung der Jahreszeiten
(www.klett.de)

Dieses Pendeln findet in der Zone zwischen den Wendekreisen $23,5^\circ$ nördlicher bis $23,5^\circ$ südlicher Breite statt. Also rund um den Äquator. Man nennt sie auch die Tropenzone. In der Tropenzone gibt es keine Jahreszeiten, und die Tageszeiten sind annähernd gleich lang, denn diese Zone wird beinahe gleichmässig bei jeder Umlaufposition beleuchtet. Das heisst, am Äquator ist es immer 12 Stunden lang Tag und 12 Stunden lang Nacht. An den Wendekreisen variiert dies zwischen 10,5 und 13,5 Stunden. Im Allgemeinen kann gesagt werden, dass der Tag-Nacht-Unterschied grösser wird, je weiter man sich vom Äquator entfernt.

In der Mittelbreite ($23,5^\circ$ - $66,5^\circ$) entstehen die uns bekannten Jahreszeiten, deren Beginn durch 4 Fixdaten festgelegt ist.

Am 21. März ist auf der Nordhalbkugel (bei uns) Frühlingsanfang, auf der Südhalbkugel (Australien, Süd-Amerika) der Herbstanfang. An diesem Tag herrscht, unabhängig von der Lage auf der Erde, Tag- und Nachtgleiche. Also 12 Stunden Tag und 12 Stunden Nacht.

Am 21. Juni steht die Sonne über dem nördlichen Wendekreis, also auf $23,5^\circ$ nördlicher Breite. Die Spitze der Erdachse am Nordpol zeigt nun Richtung Sonne, was bedeutet, dass der nördliche Teil bis zum Polarkreis vollkommen beleuchtet wird. Hingegen sind die Gebiete südlich des

südlichen Polarkreises völlig im Dunkeln (Polarkreis=66.5° nördlicher und südlicher Breite). Auf der Nordhalbkugel ist jetzt Sommeranfang, auf der Südhalbkugel Winteranfang. Der 21. Juni ist auf der Nordhalbkugel der längste Tag im Jahr. Ab diesem Zeitpunkt werden die Tage wieder kürzer, die Nächte hingegen länger.

Am 23. September passiert dasselbe wie am 21. März, nur in die andere Richtung. Die Sonne steht wieder über dem Äquator und es kommt zur Tag- und Nachtgleiche. Diesmal aber bewegt sich die Sonne Richtung südlicher Polarkreis, welches bedeutet, dass auf der Nordhalbkugel Herbstanfang ist, und auf der Südhalbkugel Frühlingsanfang.

Am 21. Dezember steht die Sonne über dem südlichen Wendekreis, die Erdachse zeigt am Nordpol von der Sonne weg. Nun wird der Südpol vollständig beleuchtet und der Nordpol ist vollkommen im Dunkeln. Die Südlichen Mittelbreiten erleben nun den längsten Tag des Jahres (Sommeranfang), die nördlichen Mittelbreiten den kürzesten Tag (Winteranfang). Ab jetzt wandert die Sonne wieder gen Norden, die Tage werden auf der Nordhalbkugel wieder länger und das Spiel beginnt am 21. März wieder von vorne.

Letztlich die Zone zwischen dem Polarkreis und dem Pol (66.5°-90°) nördlicher und südlicher Breite, in denen nur 2 Jahreszeiten existieren, welche man Polartag und Polarnacht nennt. Diese beiden Jahreszeiten dauern je ein halbes Jahr, heisst also, es ist ein halbes Jahr Tag, ein halbes Jahr Nacht. In der Nordpolarregion ist vom 21. März bis 23. September, in der Südpolarregion vom 23. September bis 21. März Polartag. In der anderen Jahreshälfte ist jeweils Polarnacht. Je weiter man sich in dieser Zone vom Pol entfernt, desto höher ist die Chance, dass man auch in der Polarnacht für kurze Zeit die Sonne zu Gesicht bekommt, und die Sonne untergeht. (www.klett.de)

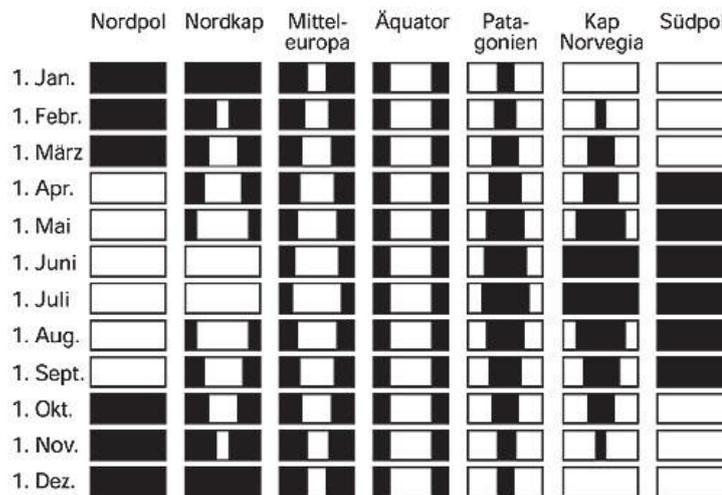


Abbildung 3 – Tageslängen in verschiedenen Breiten
(www.klett.de)

Für eine Umrundung der Sonne braucht die Erde exakt 365 Tage 5 Stunden 48 Minuten und 46 Sekunden. Diese Bewegung nennt man auch die Erdrevolution. Die Differenz zum Kalenderjahr von 365 Tagen wird durch Schalttage ausgeglichen, welche nach den folgenden Gesetzmässigkeiten eintreten: Alle 4 Jahre hat der Februar 29 Tage anstatt 28. Im vollen Jahrhundert (1800,1900) fällt er aus. In jedem durch 400 teilbaren Jahr (1600,2000) findet er statt. (www.klett.de)

Im Gegensatz zur Erdrevolution gibt es auch noch die Rotation, welche das Drehen der Erde um ihre eigene Achse beschreibt, also das Tag- und Nachtspiel. Eine komplette Drehung dauert 24 Stunden. Damit nicht auf der ganzen Welt die gleiche Zeit ist (da auch vom Sonnenstand nicht überall der gleiche Tageszeitpunkt ist), wird die Weltkugel in 24 Zeitzonen unterteilt. Die Zeitzone, von welcher man ausgeht, ist jene von London. Wir liegen in der Zeitzone +1, also muss man bei uns 1 Stunde zur Zeit, die in London vorherrscht, dazuzählen. Ist es in London beispielsweise 12:00 Uhr, so ist es bei uns schon 13:00 Uhr.

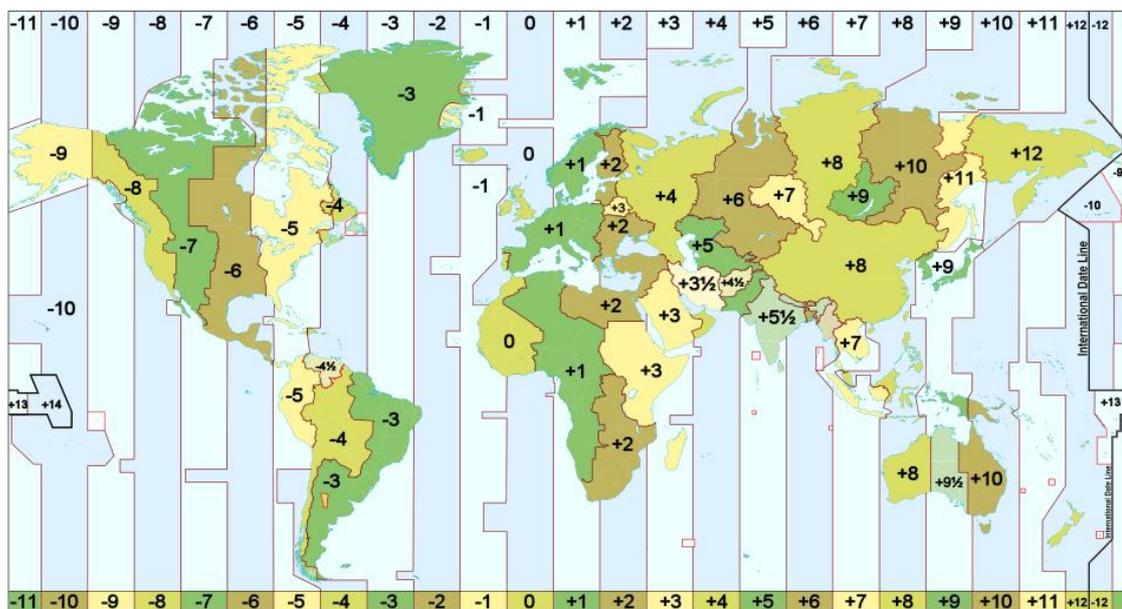


Abbildung 4 – Zeitzonenkarte, Weltzeit
(www.fungeo.de)

4.1.3 Strahlungsenergie

Je nach Position auf der Erde, ergeben sich für die Sonnenstrahlen verschiedene Einfallswinkel. Je steiler die Strahlen auf der Erdoberfläche auftreffen, desto grösser ist die Strahlungsenergie, weil sie bei einem steileren Winkel eine kleinere Fläche beleuchtet. Man nennt dies auch das Lambertsche Gesetz. So gilt beispielsweise in den Mittelbreiten im Sommer: Verhältnismässig starke Sonneneinstrahlung durch steilen Einfallswinkel in Verbindung mit längeren Tagen führen zu einer Erwärmung des Klimas. Genau gleich hängen die klimatischen Bedingungen der anderen Jahreszeiten mit diesen Faktoren zusammen: Im Winter sind die Tage kürzer und der Einfallswinkel der Sonne ist flacher, das Klima kühlt ab. Aus dem kann man nun erschliessen, warum es an den Polen so kalt ist und am Äquator so heiss. An den Polen scheint die Sonne immer flach auf die Erde, das heisst, die Sonnenstrahlen müssen mit derselben Energie eine grössere Fläche bescheinen. Die Folge: Es ist kalt. Am Äquator trifft die Sonne in einem sehr steilen Winkel auf die Erde (bis zu 90°) und muss so nur eine kleine Fläche bescheinen. Die Strahlungsenergie ist intensiver, es wird wärmer. So ergeben sich wiederum durch die Wanderung der Sonne nicht nur die Tageslänge, sondern auch die vorherrschenden Temperaturen. (www.klett.de)

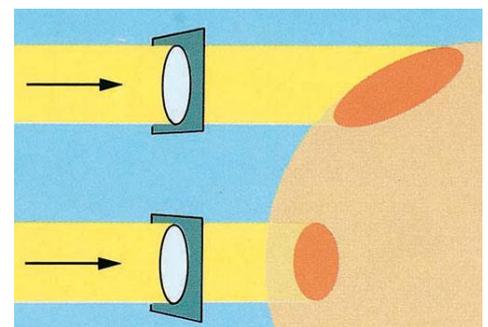


Abbildung 5 – Einfallswinkel der Sonnenstrahlen
(www.klett.de)

4.1.4 Geeignete Orte

Um die geeignetsten Gebiete der Erde für eine Photovoltaik-Anlage zu finden, muss man vorher wissen, welche Faktoren eine Auswirkung auf den Ertrag an produziertem Strom einer solchen Anlage haben. Die Erdkrümmung ist der wesentlichste Faktor, denn durch diese herrscht wieder das Lambertsche Gesetz. Je steiler der Einfallswinkel der Sonne ist, desto intensiver ist die Strahlungsenergie auf der Erde. So haben Länder, die sich am oder nahe am Äquator befinden, das grösste Solarstrahlungspotential. Aber auch im Kleineren, z.B. der Unterschied zwischen Schaffhausen und dem Tessin, ist es eindeutig spürbar. Während in Schaffhausen das Strahlungspotential lediglich 1300 kWh/m² beträgt, hat man im Tessin bereits einen Wert von 1450 kWh/m² pro Jahr. Wie hoch die Strahlungsintensität der einzelnen Orte ist, sieht man aber auch der Vegetation an. Im Tessin gibt es z.B. Palmen und andere Pflanzen, welche man in Schaffhausen nicht antrifft. Sehr geeignete Gebiete in Europa sind demzufolge Südspanien, Malta, Teile von Griechenland, Süditalien und ein Teil von Südfrankreich. Weniger geeignete Gebiete sind dafür der Norden der britischen Inseln, Norden von Finnland, Schweden und Norwegen.

Wie man auf der unteren Karte sieht, sind auch die Berge ein positiver Faktor. So sind auf der Karte die Alpen mit einem Wert von bis zu 1800 kWh/m² dargestellt.

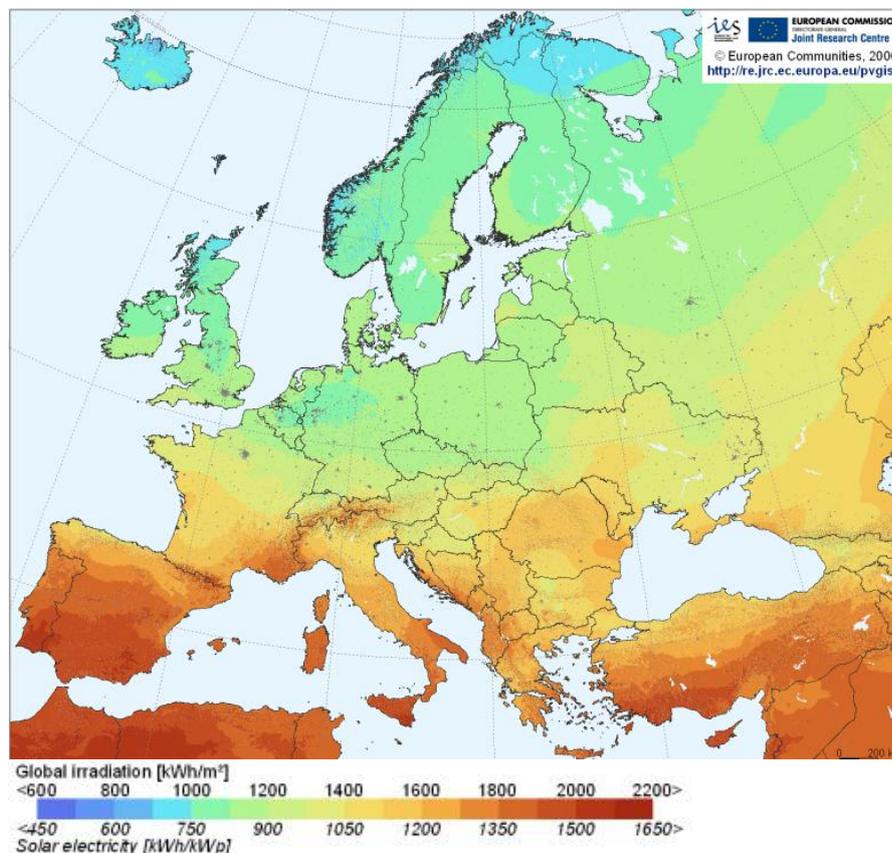


Abbildung 6 - Solarstrahlungspotential in Europa
(www.wikimedia.org)

4.2 Geschichte der Photovoltaik

Wann wurde das Prinzip der Solarzelle entdeckt? Was war daran so revolutionär im Vergleich zu anderen Energiegewinnungsarten? Wie begann die Erfolgsgeschichte der Photovoltaik im Bereich Raumfahrt? Das alles sind Fragen, mit denen sich dieses Kapitel beschäftigt.

4.2.1 Die Entdeckung

Im Jahr 1839 brachte Alexandre Edmond Becquerel mit der Entdeckung des photoelektrischen Effekts die Grundlage für die Photovoltaik. Der photoelektrische Effekt beschreibt das Loslösen eines Elektrons aus einer Bindung (z.B. in einem Atom, Valenzband, Leitungsband eines Festkörpers), indem es ein Photon absorbiert. Damit dies aber der Fall ist, muss die Energie des Photons mindestens so gross sein wie die Bindungsenergie des Elektrons. Elektromagnetische Strahlung besteht aus diesen Photonen. Deshalb werden sie auch als Lichtteilchen bezeichnet. Diese Entdeckung fand aber erst Generationen später eine praktische Anwendung. (www.wikipedia.org)

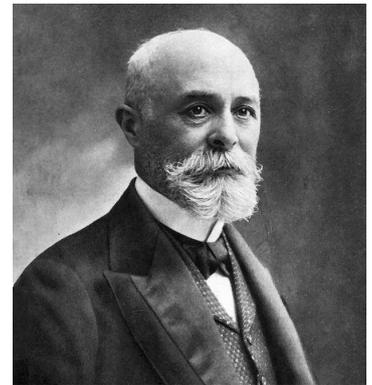


Abbildung 7 - Alexandre Edmond Becquerel (1820-1891)
(www.referate.mezdata.de)

4.2.2 Weitere Forschungen

Erst 1873 wird die Entwicklungsgeschichte der Photovoltaik weitergeschrieben. Willoughby Smith löste durch die Feststellung, dass sich bei Belichtung der elektrische Widerstand (Abbremsung des Elektronenflusses) von Selen veränderte, weitere Forschungen zu diesem Thema aus.

1876 gelang es schliesslich William Grylls Adams zu zeigen, dass Selen Elektrizität produziert, wenn man es dem Licht aussetzt. Obwohl Selen sehr wenig elektrische Energie umsetzt, und damit zu wenig Energie produziert, um damalige elektrische Bauteile zu betreiben, war hiermit doch der Beweis erbracht, dass ein Feststoff Licht direkt in elektrische Energie umwandeln kann. Dies war zu damaliger Zeit etwas sehr Aussergewöhnliches, denn damals wurde die meiste Energie mit Wärme oder kinetischer Energie (Bewegung, Reibung) gewonnen. Energiegewinnung war also mit grösserem Aufwand verbunden und jetzt produziert gewissermassen ein Feststoff wie Selen elektrische Energie nur durch die Einwirkung des Lichtes. Für die Menschen damals eine regelrechte Zauberei.

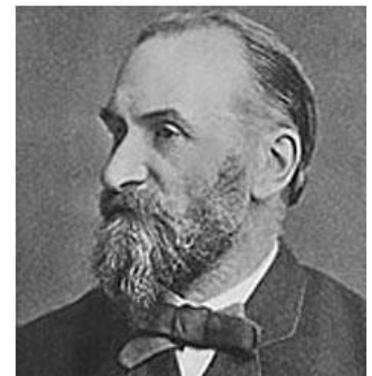


Abbildung 8 - William Grylls Adams (1836-1915)
(www.solarpowerworldonline.com)

Charles Fritts baute 1883 ein erstes Modul aus Selenzellen (den Vorläufer des Photovoltaikmoduls). Erst jetzt kam es bei vielen Wissenschaftlern der damaligen Zeit zu grundlegenden Arbeiten mit dem photoelektrischen Effekt. So kam es, dass 1884 Julius Elster zusammen mit Hans Friedrich Geitel, 1887 Heinrich Rudolph Hertz und auch 1887 Wilhelm Ludwig Franz Hallwachs den Photoeffekt entdeckten und bedeutende Arbeiten über diesen vorwiesen. Zusätzliche Forscher trugen zu weiteren Erkenntnissen des lichtelektrischen Effekts bei, bis 1907 Albert Einstein eine theoretische Erklärung für den Photoeffekt lieferte. 1921 erhielt er dafür den Nobelpreis für Physiker. (www.wikipedia.org)

1940 stellte Russell Shoemaker Ohl fest, dass bei Beleuchtung Silizium Strom erzeugt. Er war auch an weiteren Untersuchungen und an der Entdeckung beteiligt, die Eigenschaften durch gezieltes Dotieren bei Halbleitern mit Fremdstoffen zu ändern und so einen p-n-Übergang zu schaffen. Der p-n-Übergang ist der Materialübergang zwischen der p-dotierten und der n-dotierten Schicht. Also der Bereich, in dem die Dotierung von positiv zu negativ wechselt.



Abbildung 9 - Russell Shoemaker Ohl (1898-1987)
(www.blogspot.com)

Schliesslich wurden 1953 in den Bell Laboratories in New Jersey kristalline Silizium-Solarzellen mit jeweils 2cm² und einem Wirkungsgrad von über 4 Prozent hergestellt. Eine Zelle erreichte sogar einen Wirkungsgrad von 6 Prozent. Nach weiteren Verbesserungen konnte der Wirkungsgrad auf bis zu 11 Prozent gesteigert werden. Die erste technische Anwendung der Solarzellen wurde bei der Stromversorgung der Telefonverstärker 1955 gefunden.

Heute erreichen die Solarzellen je nach Technologie (Monokristallin-, Polykristallin-, Dünnschichtzelle) einen Wirkungsgrad zwischen 10 und 24 Prozent. Sogenannte Konzentratorzellen können sogar einen Wirkungsgrad von bis zu 40 Prozent vorweisen. (www.wikipedia.org)

4.2.3 Sonnenenergie im Weltall

Hans Ziegler konnte sich 1958 gegen die US-Armee mit seiner Idee, Photovoltaikzellen zum Betrieb eines Senders in einem Satellit, durchsetzen. Damals nahmen die Sender ihre Energie noch von chemischen Batterien. Die Idee war nun, dass der Betrieb eines solchen Senders mit Photovoltaik-Zellen länger gewährleisten werden konnte, als durch Einsatz von Batterien. Der erste Satellit, der diese Technik besass, trug den Namen „Vanguard I“. Und tatsächlich konnten die Signale des Senders bis Mai 1964 empfangen werden. Durch die lange Messdauer des Satelliten konnte die Erde auf ein, bis dahin nicht zu erreichende Genauigkeit vermessen werden, und es wurde

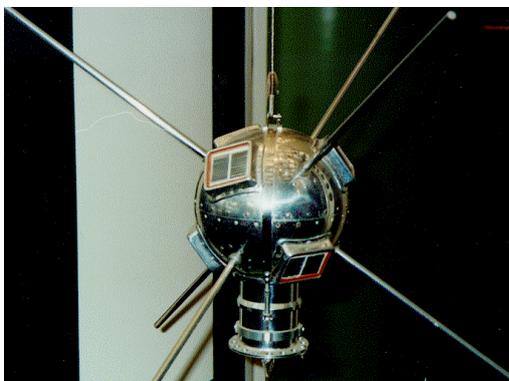


Abbildung 10 - Satellit "Vanguard I"
(www.particle.kth.se)

klar, dass sie nicht genau kugelförmig ist. Dies war der Grundstein für die weitere Verwendung, der damals noch sehr teuren Solarzellen. Aufgrund dessen, wurden Solarzellen viele Jahre vorwiegend für Raumfahrtzwecke weiterentwickelt, da sie sich als ideale Stromversorger für Raumfahrtsonden und Satelliten erwiesen.

Heute werden nicht nur die Sender, sondern auch die Triebwerke eines Nachrichtensatelliten mit Solarzellen betrieben. Praktisch alle, der weltweit etwa 1000 Satelliten, beziehen heute ihren Strom über Photovoltaik. (www.wikipedia.org)

4.3 Die Solarzelle

Im Kapitel über die Solarzelle werden Aufbau und die Funktionsweise einer solchen Zelle beschrieben. Zudem wird der Photoeffekt genauer erklärt und gezeigt, warum der Einfallswinkel des Lichtes und die vorherrschende Temperatur eine Rolle spielen.

4.3.1 Aufbau einer Solarzelle

Der Kern einer Solarzelle ist in drei Schichten aufgebaut. Aus der sogenannten n-dotierten Schicht (negativ geladen), der p-dotierten Schicht (positiv geladen) und dazwischen aus der Grenzschicht (p-n-Übergang). Man nennt diese auch die Raumladungszone. Die n-dotierte Schicht ist lediglich 0.001 mm dick, um genügend Licht bis auf die Raumladungszone hindurch zu lassen. Die p-dotierte Schicht hingegen ist etwa 0.3 – 0.6 mm dick um die tiefer eindringenden Photonen absorbieren zu können. Um einen Stromfluss gewährleisten zu können, wird auf der unteren Seite ein durchgehender, metallischer Kontakt, welcher den elektrischen Pluspol bildet, angebracht. Auf der oberen Seite wird mit einem Kontaktband, welches viele kleine Kontaktfinger besitzt, der elektrische Minuspol gebildet. Die Kontaktfinger verdecken so nicht die ganze Fläche, sodass trotzdem noch Licht auf die Siliciumschicht auftrifft. Eine Glasplatte zum Schutze des empfindlichen Aufbaus ist oberhalb angebracht. (www.solarenergysystems.eu)

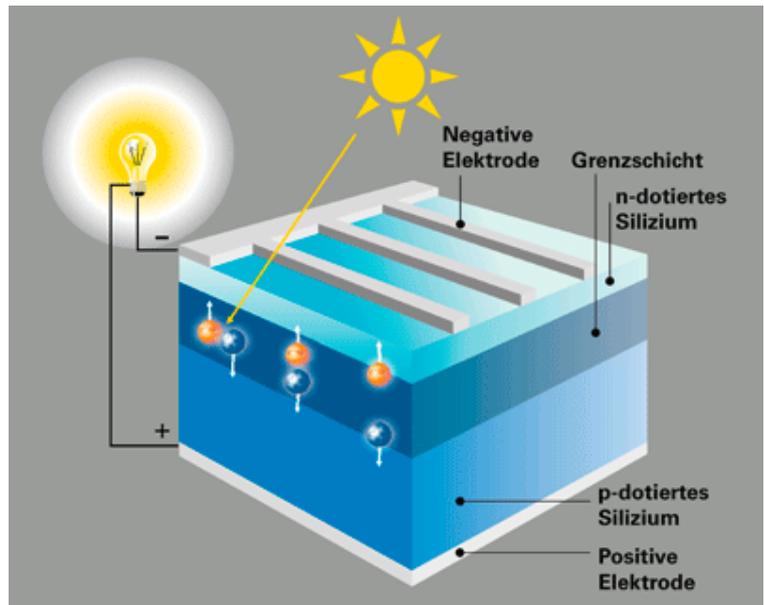


Abbildung 11 - Aufbau einer Solarzelle
(www.sunpower-solutions.de)

4.3.2 N-Dotierung

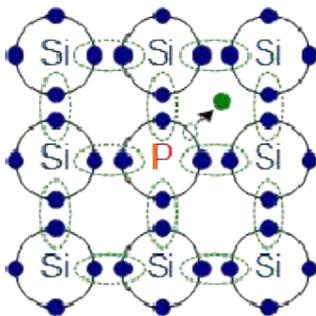


Abbildung 12 - Phosphor gibt sein 5. Elektron ab, das keine Bindung eingehen kann.
(www.halbleiter.org)

Das Grundmaterial für die heutigen Solarzellen ist Silicium. Die n-dotierte Schicht ist negativ geladen, da dort ein Elektronenüberschuss herrscht. Diese Eigenschaften erhält man, indem man dem Silicium Phosphor beigibt. Phosphor ist 5-wertig, welches bedeutet, dass es fünf Valenzelektronen besitzt. Valenzelektronen (auch Aussenelektronen) sind Elektronen, welche sich im äußersten Orbital eines Atoms aufhalten, und eine Bindung mit einem anderen Atom eingehen. Da aber Silicium nur 4-wertig ist, also nur vier Valenzelektronen besitzt, kann das Phosphor nur mit vier Silicium-Atomen eine Bindung eingehen. Das übrige, fünfte Valenzelektron, gibt Phosphor ab und dient als freier Ladungsträger. (www.halbleiter.org)

4.3.3 P-Dotierung

Im Gegensatz zu den frei werdenden Elektronen bei der Dotierung mit Phosphor, bewirkt Bor genau das Gegenteil. Das 3-wertige Element kann ein zusätzliches Valenzelektron aufnehmen und reißt damit ein Loch in das Valenzband des Siliciumatoms. Dadurch fehlt es an Elektronen. Die p-dotierte Schicht ist positiv geladen. Durch die Löcher werden die Elektronen im Valenzband beweglich, welches dazu führt, dass die Löcher immer in entgegengesetzter Richtung zur Elektronenbewegung nachrücken. In der p-dotierten Schicht sind die positiven Löcher der Ladungsträger. (www.halbleiter.org)

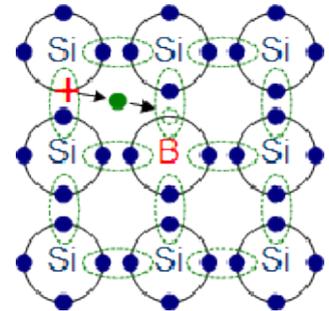


Abbildung 13 - Durch füllen von Löchern, entstehen an anderen Stellen neue Löcher (www.halbleiter.org)

4.3.4 Silicium

Da Silicium eines der wichtigsten Materialien einer Photovoltaikanlage ist, wollen wir es etwas näher beschreiben. Wichtig beim Silicium ist, dass es so rein wie möglich ist, damit der höchste Wirkungsgrad erreicht werden kann. Von 10 Millionen Siliziumatomen dürfen maximal zwei Fremdatome vorhanden sein. Somit muss die Solarzelle eine Reinheit von 99.99998 % aufweisen können. Silicium ist ein grau-schwarzes Halbmetall und weist oft einen bronzenen bis bläulichen, typisch metallischen Glanz auf. Dieses Element ist eines der häufigsten Elemente auf unserer Erde, denn allein die Erdkruste besteht aus rund 25.8 Gewichtsprozent Silicium. Silicium kommt also in ausreichender Menge vor, und dies in Form von Sand.



Abbildung 14 - Halbmetall Silicium (www.wikimedia.org)

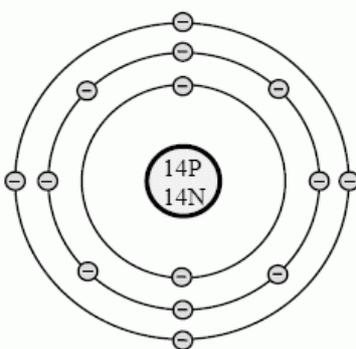


Abbildung 15 - Bohrsches Atommodell von Silicium (www.iwenz.de)

Deshalb ist es auch besser bekannt als Quarzsand. Quarzsand besteht grösstenteils aus Siliciumoxid, welchem zur Herstellung von Solarzellen Sauerstoff entzogen wird und so nur noch reines Silicium zurückbleibt. Silicium wird aber nicht nur zur Herstellung von Solarzellen gebraucht, sondern vielmehr in der Mikroelektronik z.B. für Computerchips. Auch ein grosses Anwendungsgebiet ist die Herstellung von Glas, welches aus geschmolzenem Siliciumoxid besteht. Auch Silikon ist ein Silicium-Produkt. Ob nun das Silicium, das der Handwerker als Dichtungsmasse benutzt, oder jenes, welches bei der Schönheitschirurgie zum Einsatz kommt. (www.wikipedia.org)

4.3.5 Der Photoeffekt

Licht besteht in der Theorie aus kleinsten Teilchen, den sogenannten Photonen. Aus diesem Grund werden sie auch als Lichtteilchen bezeichnet. Photonen haben keine Masse, was bewirkt, dass sie sich immer mit Lichtgeschwindigkeit bewegen. Trifft nun ein solches Photon mit seiner

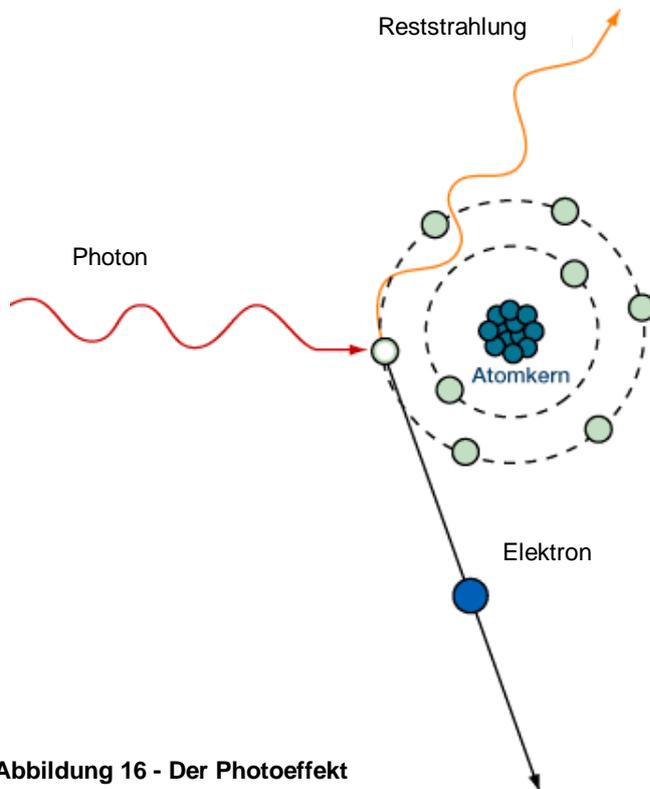


Abbildung 16 - Der Photoeffekt
(www.i.onmeda.de)

enormen Wucht auf ein Valenzelektron, reisst es dieses aus seiner Bahn und gibt es frei. Dass dies aber möglich ist, muss die Energie des Photons mindestens so gross sein, wie die Bindungsenergie des Elektrons. Das nun freigewordene negative Elektron kann sich auf seiner Suche nach einem positiven Proton, um den Ausgleich wieder herzustellen, frei im Raum bewegen. Die Reststrahlung ist die Energie, welche nach dem Zusammenstoss mit dem Elektron, noch vorhanden ist. Dabei ist der Aufprallwinkel des Photons auf das Elektron von sehr grosser Bedeutung. Streift ein Photon das Elektron nur in einem flachen Winkel, so behält das Photon fast seine ganze Energie. Je steiler so ein Photon aber mit einem Elektron zusammenprallt, desto mehr Energie geht auf das Elektron über und die Reststrahlung wird kleiner. Dies ist auch der Grund, warum es bei einer Photovoltaikanlage auf den Einfallswinkel des Lichtes ankommt.

(www.wikipedia.org)

4.3.6 Bändermodell

Eine andere Variante den Photoeffekt zu veranschaulichen, ist jene mit dem Bändermodell. Mit dem Valenz- und Leitungsband. Das untere Valenzband entspricht dabei den normalen Elektronen der Valenzschale. Also den Valenzelektronen. Das obere Leitungsband repräsentiert die Elektronen, welche frei beweglich sind, also den Stromfluss ermöglichen. Die Bandlücke, oder auch der Bandabstand, ist der Abstand zwischen den beiden Bändern. Ist der Abstand sehr gering oder überlappen sich diese Bänder, so spricht man von einem Leiter (Metalle), da keinerlei Energieaufwand nötig ist, dass die Elektronen vom Valenzband in das Leitungsband übergehen. Deshalb leiten Metalle so gut.

(www.wikipedia.org)

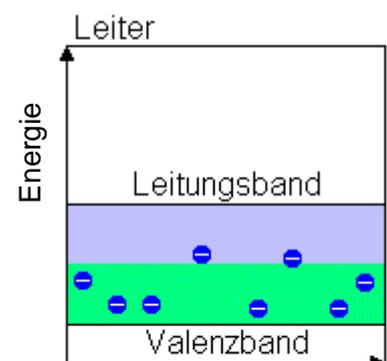


Abbildung 17 - Bändermodell Leiter
(www.wikimedia.org)

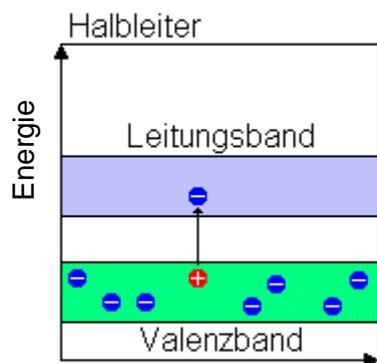


Abbildung 18 - Bändermodell Halbleiter
(www.wikimedia.org)

Bei einem Halbleiter (Silicium) sind die Bänder weiter auseinander. Das bedeutet, dass eine Energiezufuhr stattfinden muss, um die Elektronen vom Valenzband ins Leitungsband zu heben. Genau das geschieht nun wieder mit dem Photoeffekt. Durch die Photonen, die auf die Valenzelektronen treffen, erhalten die Elektronen genügend Energie, um den Sprung auf das Leitungsband zu meistern. Das Photon hebt also im Übertragenen das Elektron vom Valenzband in das Leitungsband hinauf. So wird die Leitfähigkeit des Siliciums stark erhöht. Auch thermische Energie, also Wärme, kann dem Elektron genügend Energie zur Verfügung stellen, um den Sprung zu schaffen. Dies bedeutet wiederum, dass die Leitfähigkeit eines Halbleiters mit höherer Temperatur zunimmt. Deshalb werden Halbleiter auch als Heissleiter bezeichnet. Mit den

hohen Temperaturen wird die Bandlücke zwischen dem Valenz- und Leitungsband also verringert. Für die Elektronen wird es, je wärmer es ist, immer leichter den Sprung in das Leitungsband zu schaffen. Dadurch wird die Spannung kleiner und die Leistung der Solarzelle sinkt.

Deshalb wäre das Beste für die Photovoltaik, wenn es kalt ist und das Licht in einem steilen Winkel auf die Solarzelle trifft, um die Energieversorgung hauptsächlich durch Photonen zu gewährleisten. Diese Situation trifft man z.B. an einem schönen Wintertag an.

Letztlich spricht man von Isolatoren, wenn die Bandlücke so gross ist, dass die Elektronen den Sprung in das Leitungsband nicht mehr Schaffen (z.B. Gummi). (www.wikipedia.org)

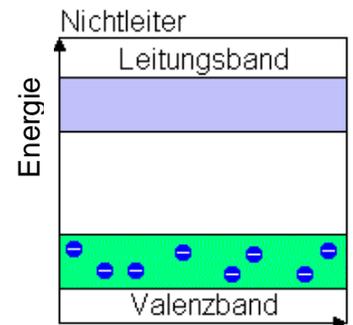


Abbildung 19 - Bändermodell Isolator
(www.wikimedia.org)

4.3.7 Funktionsweise einer Solarzelle

Die freien Elektronen, die aus der n- in die p-Schicht zu gelangen versuchen, wollen mit den Löchern Elektronen-Loch-Paare bilden, um Elektronenüberschuss und Elektronenmangel auszugleichen. Es entstehen ausgeglichene Atome. Zudem baut sich ein elektrisches Feld auf, welches verhindert, dass Elektronen und Löcher in die andere Schicht wechseln können. Es entsteht die 1 µm dicke Raumladungszone oder Grenzschicht. (www.youtube.com)

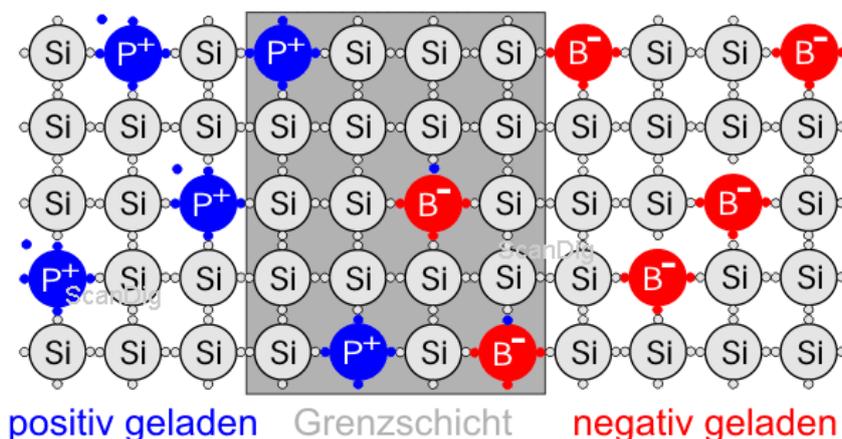
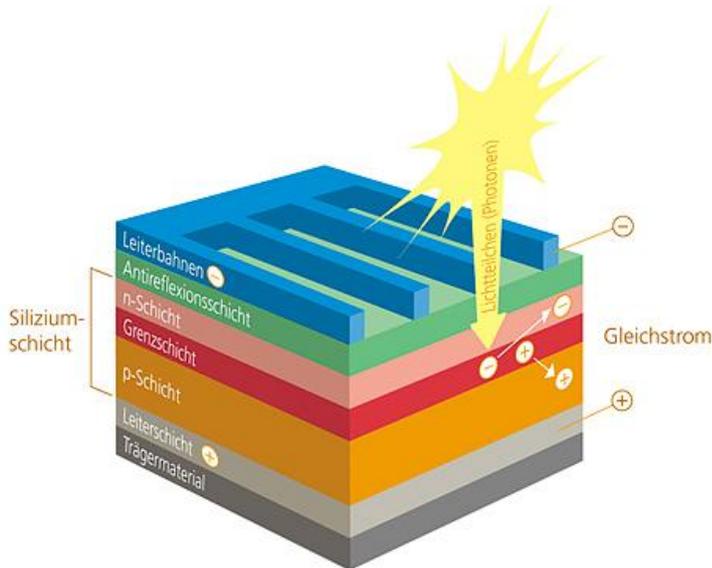


Abbildung 20 - Überschüssige Elektronen von Phosphor-Atomen bewegen sich zu den freien Löchern von Bor-Atomen
(www.filmscanner.info)



Trifft nun Licht auf die Solarzelle, können die Photonen durch die hauchdünne n-Schicht bis auf die Raumladungszone durchdringen. Mit der Energie der Photonen werden die Elektronen-Loch-Paare wieder aufgespalten und durch das elektrische Feld der Grenzschicht auseinandergetrieben. Die Elektronen fließen zurück in die negative n-dotierte Schicht, die Löcher in die positive p-dotierten Schicht. Durch diese Ladungstrennung entsteht zwischen der p-dotierten- und der n-dotierten-Schicht eine Spannung. Die Elektronen und die Löcher wollen sich eigentlich verbinden, doch die Raumladungszone lässt dies nicht zu.

Abbildung 21 - Photonen spalten die Verbindung wieder auf (www.creaenergy.ch)

Bringt man nun auf der Rückseite der Zelle eine dünne Metallschicht an, bildet diese den Pluspol. Der Minuspol bildet oben nur ein dünnes Gitter, welches über die ganze Fläche angebracht wird (Kontaktfinger), damit so viel Licht wie möglich hindurch kommen kann und der Widerstand so gering wie möglich ist. Verbindet man nun die Metallschicht und das Gitter mit einem elektrischen Leiter, ermöglicht man es den Elektronen, zu den Löchern zu fließen. Es entsteht Gleichstrom. (www.youtube.com)

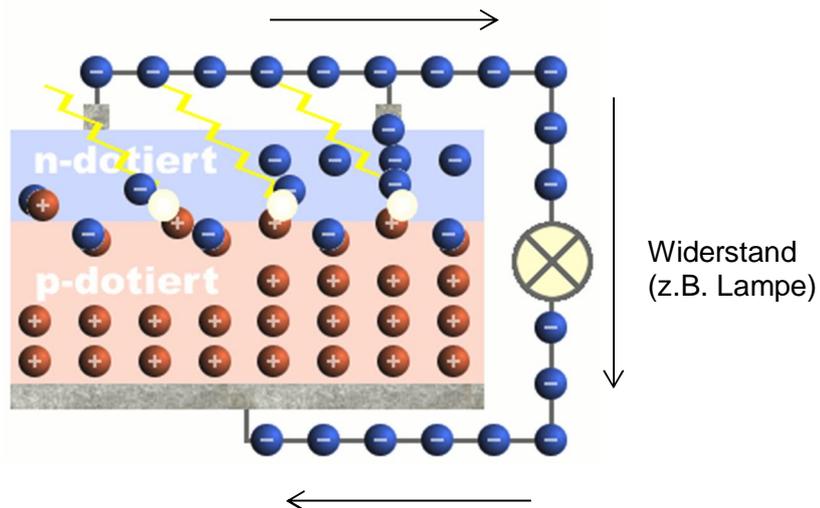


Abbildung 22 - Entstehung des Gleichstroms mit Hilfe eines Leiters (www.solarenergysystems.eu)

4.3.8 Vorteile

Einer der grössten Vorteile der Photovoltaik ist die Energiequelle, nämlich die Sonne. Eine nachhaltigere Energiequelle gibt es nicht. Mit dieser Art von Energieumwandlung werden auch keine umweltschädliche Abfallprodukte wie Kohlenstoffdioxid, Russpartikel und auch kein radioaktiver Müll, wie es zum Beispiel bei Atomkraftwerken der Fall ist, produziert. Zudem kann man eine solche Anlage auf dem eigenen Dach haben und selbständig Strom erzeugen. Somit kann jeder seinen Beitrag und den Umweltgedanken beisteuern. Der Verbraucher kann sich auch vor gierigen Unternehmen schützen, weil der Strompreis von Photovoltaik immer günstiger wird. Hinzu kommt gerade in der heutigen Zeit, dass man nicht weiss, wie die Preise für Strom in die Höhe schiessen, wenn die Atomkraftwerke ausgeschaltet werden.

Heutzutage sind solche Anlagen 25 mal günstiger, als sie es noch vor etwa 20 Jahren waren. Auch der Wirkungsgrad wird laufend verbessert, welches wiederum der Amortisationszeit entgegenkommt. Der Strom, der nach der Amortisationszeit noch produziert wird, schaut als reiner Gewinn heraus. Was die Rohstoffreserven angeht, hat man auch hier keine Probleme, da vom Silizium, als zweithäufigstes chemisches Element in der Erdkruste, mehr als genug vorhanden ist. (www.photovoltaik-web.de)



Abbildung 23 - Vorteile der Photovoltaik
(www.geoplex.de)

4.3.9 Nachteile

Leider bringt uns diese Art der Stromerzeugung neben den vielen Vorteilen auch einige Nachteile, wie etwa, dass die gewonnene Energie sich proportional zur benötigten Fläche verhält; Es benötigt also eine grosse Fläche um Sonnenenergie zu gewinnen. Doch Wissenschaftler arbeiten daran, neue Technologien zu entwickeln, um effizientere Flächennutzungen zu erreichen.

Eine konstante Energieversorgung ist nicht möglich, da in der Nacht die benötigte Energie nicht erzeugt werden kann. Genau in der Nacht wird aber meist mehr Energie benötigt, da man mehr Licht braucht. Man müsste also an der Speichertechnologie der Photovoltaik arbeiten, um jederzeit elektrischen Strom zur Verfügung zu haben. Es ist aber damit zu rechnen, dass bei der Speicherung Energieverluste anfallen.

Wie wir schon bei den Vorteilen gesehen haben, ist die Stromerzeugung mit einer Photovoltaik-Anlage sehr umweltschonend. Die Herstellung einer solchen Anlage jedoch, benötigt viel Energie, und ist somit nicht völlig emissionsfrei. Sie erfordert Energie, chemische Mittel und Wasser. Die Lebensdauer beträgt zirka 20 bis 40 Jahre. Nach einer EU-Studie vergehen vom Beginn der Nutzung dieser Anlagen etwa zwei bis vier Jahre, bis sie wieder die Ressourcen eingebracht haben, die sie aufgewendet haben. (www.photovoltaik-web.de)

4.4 Experiment

Zu Beginn unserer Arbeit hatten wir noch keine konkrete Idee, wie unser Experiment aussehen soll oder was wir mit unserem Experiment zeigen wollen. Deshalb beschlossen wir, uns zuerst in das Thema einzuarbeiten und zu sehen, was sich mit einem Experiment darstellen lassen könnte. Und so kam uns, als wir die Funktionsweise einer Solarzelle bearbeiteten, die Idee, aufzuzeigen welchen Einfluss der Einfallswinkel des Lichtes auf die Leistung einer Solarzelle hat. Als wir uns stärker mit diesem Thema beschäftigten, merkten wir, dass dies nicht der einzige Faktor ist, welcher eine entscheidende Rolle auf die Leistung einer Solarzelle spielt. Auch die Strahlungsintensität, die auf die Solarzelle trifft, verändert die Leistung, welche eine Solarzelle erbringt. Ebenso die Temperatur, welche eine Solarzelle aufweist.

Mit unserem Experiment wollen wir zeigen wie stark sich diese Faktoren auswirken.

Aufbau des Experiments

Unser Experiment besteht aus:

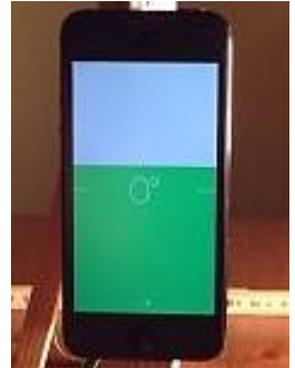
- der Solarzelle, welche wir von Herrn Markus Markstaler erhalten haben
- einem kleinen Stativ, welches wird als Halterung der Solarzelle benutzt und sie so in jede gewünschte Position bringen konnten
- einem 500 Watt Baustellenscheinwerfer
- Messgeräte welche wir vom bzb erhielten, aber auch von Markus Markstaler
- Einem Doppelmeter um die Distanz zu messen
- Das iPhone, welches als Winkelmessinstrument verwendet wurde
- Einen digitalen Thermometer von einer Wetterstation für die Temperaturmessung

4.4.1 Versuch 1 - Einfallswinkel des Lichts

In unserem 1. Versuch zeigen wir, wie die Leistung einer Solarzelle abnimmt, je flacher das Licht auf die Solarzelle trifft. Wie wir noch von der Theorie wissen, sollte die Spannung der Solarzelle etwa gleich bleiben, doch der Stromfluss sollte abnehmen. Dies ist der Fall, weil durch den flacheren Einfallswinkel des Lichts, treffen auch die Photonen in einem flacheren Winkel auf die Elektronen. Durch das geht weniger Energie der Photonen auf die Elektronen über, durch die fehlende Energie schaffen es weniger Elektronen vom Valenzband ins Leitungsband, der Stromfluss wird also kleiner.

Durch die Veränderung des Winkels des Stativs, verschiebt sich der Schwerpunkt der Solarzelle, in der Horizontalen, ein wenig nach hinten. Durch nachschieben des Baustellenscheinwerfers versuchten wir diese Distanzdifferenz zu minimieren, doch nur schon 1mm Abweichung kann eine Messungenauigkeit hervorrufen. Auch kann es sein, dass das iPhone nicht ganz genau den Winkel angibt und ein halber Grad daneben liegt. Auch steigt während des Versuchs die Temperatur der Solarzelle durch die enorme Hitze des Scheinwerfers, welches ebenfalls zur Messungenauigkeit beiträgt. Ein weiterer Punkt für die Ungenauigkeit liegt darin, dass das Messgerät einen Einfluss auf die Solarzelle hat.

Messung 1: Einfallswinkel 90°



Bei unserer 1. Messung beträgt der Einfallswinkel des Lichtes 90°. Der Baustellenscheinwerfer steht dabei in einem Abstand von 60cm zu Solarzelle.



Das Messergebnis beträgt...
 ...für die Spannung: 523.1 mV
 ...für den Stromfluss: 219.2 mA



Messung 2: Einfallswinkel 60°



Bei unserer 2. Messung beträgt der Einfallswinkel des Lichtes nur noch 60°. Der Abstand zwischen der Solarzelle und dem Baustellenscheinwerfer ist und bleibt 60cm.



Das Messergebnis beträgt...
 ...für die Spannung: 520.9 mV (- 2.2 mV)
 ...für den Stromfluss: 211.0 mA (- 8.2 mA)

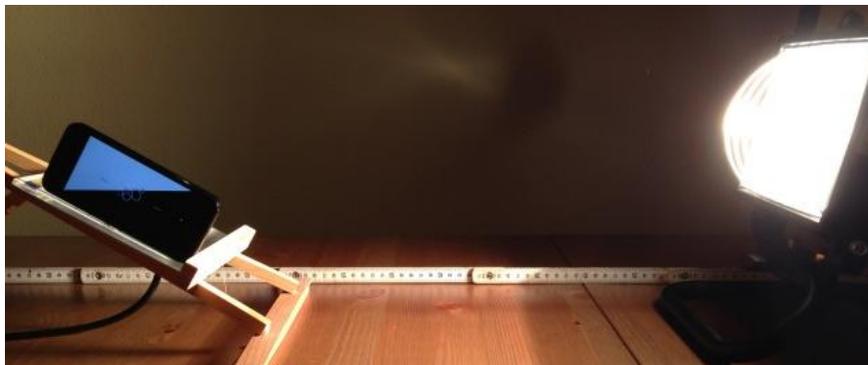


Messung 3: Einfallswinkel 45°

Bei unserer 3. Messung beträgt der Einfallswinkel des Lichtes noch 45°. Der Abstand zwischen der Solarzelle und dem Baustellen-scheinwerfer bleibt derselbe.



Das Messergebnis beträgt...
 ...für die Spannung: 516.9 mV (- 6.2 mV)
 ...für den Stromfluss: 178.1 mA (- 41.1 mA)

**Messung 4: Einfallswinkel 30°**

Bei unserer 4. Messung beträgt der Einfallswinkel des Lichtes noch 30°. Der Abstand zwischen der Solarzelle und dem Baustellen-scheinwerfer bleibt derselbe.

Das Messergebnis beträgt...
 ...für die Spannung: 512.3 mV (- 10.8 mV)
 ...für den Stromfluss: 145.0 mA (- 74.2 mA)



Wie wir sehen hat sich die Theorie in diesem Versuch bewahrheitet. Während die Spannung etwa die gleiche blieb, ist der Stromfluss um mehr als 30% eingebrochen.

4.4.2 Versuch 2 - Strahlungsintensität

In unserem 2. Versuch zeigen wir, wie die Leistung einer Solarzelle durch die Vergrößerung der Strahlungsintensität zunimmt. In der Theorie sollte die Spannung wieder ungefähr die gleiche bleiben und der Stromfluss stark zunehmen. Dies kommt daher, weil sich das Licht schnell von der Quelle aus in alle Richtungen verteilt, weshalb die Strahlungsintensität zum Abstand potentiell abnimmt. Durch die Annäherung des Baustellenscheinwerfers an die Solarzelle, steigt also die Strahlungsintensität potentiell zum verringerten Abstand. Mit der höheren Strahlungsintensität ist auch die Menge der Photonen höher. Es treffen also mehr Photonen Elektronen, welche durch die erhaltene Energie den Sprung ins Leitungsband schaffen. Der Stromfluss wird folglich grösser.

Durch den geringeren Abstand zum Baustellenscheinwerfer, erhöht sich auch die Wärmestrahlung vom Scheinwerfer. Folglich wird die Solarzelle stärker erwärmt und die Messungen erleiden eine Ungenauigkeit. Wir suchten dem so gut es ging entgegen zu wirken und schalteten dafür denn Scheinwerfer nur kurz für die Messung ein. In der Zeit in der wir ihn näher an die Solarzelle rückten blieb er ausgeschaltet.

Eine weitere Möglichkeit für die Ungenauigkeit kann sein, dass wir beim Näherrücken des Scheinwerfers ihn nicht millimetergenau platziert haben und somit auch wieder eine kleine Messdifferenz hervorrufen

Messung 1: Abstand 60cm



Bei unserer 1. Messung beträgt der Abstand zum Scheinwerfer 60cm. Der Winkel in dem das Licht auf die Solarzelle trifft, beträgt 90°.

Das Messergebnis beträgt...
 ...für die Spannung: 523.1 mV
 ...für den Stromfluss: 219.2 mA



Messung 2: Abstand 50cm

Bei unserer 2. Messung beträgt der Abstand zum Scheinwerfer 50cm.
Der Winkel in dem das Licht auf die Solarzelle trifft, bleiben 90°.



Das Messergebnis beträgt...
...für die Spannung: 541.6 mV (+ 18.5 mV)
...für den Stromfluss: 237.7 mA (+ 18.5 mA)

**Messung 3: Abstand 40cm**

Bei unserer 3. Messung beträgt der Abstand zum Scheinwerfer 40cm.
Der Winkel in dem das Licht auf die Solarzelle trifft, bleiben 90°.



Das Messergebnis beträgt...
...für die Spannung: 551.9 mV (+ 28.8 mV)
...für den Stromfluss: 252.0 mA (+ 32.8 mA)



Messung 4: Abstand 30cm

Bei unserer 4. Messung beträgt der Abstand zum Scheinwerfer 30cm.
Der Winkel in dem das Licht auf die Solarzelle trifft, bleiben 90°.



Das Messergebnis beträgt...
...für die Spannung: 563.1 mV (+ 40.0 mV)
...für den Stromfluss: 259.7 mA (+ 40.5 mA)



Wie uns der Versuch zeigt, ist die Leistung der Solarzelle durch die höhere Strahlungsintensität gestiegen. Auch dieser Versuch bewahrheitet also die Theorie. Der Stromfluss ist um beinahe 20% gestiegen. Der Grund warum die Spannung auch um ca. 7% gestiegen ist, liegt laut Markus Markstaler daher, dass das Messgerät einen Einfluss auf die Solarzelle nimmt.

4.4.3 Versuch 3 - Temperatur der Solarzelle

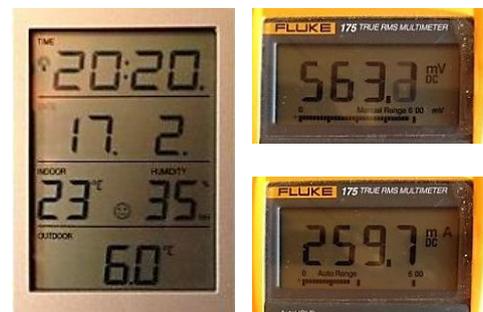
In unserem 3. Versuch zeigen wir, wie die Leistung einer Solarzelle abnimmt, je höher die Temperatur der Zelle ist. In der Theorie sollte der Stromfluss gleich gross bleiben, doch die Spannung sollte kleiner werden. Der Grund liegt darin, dass die Elektronen durch die Thermische Energie (also der vorhandenen Wärme) genügend Energie erhalten, um den Sprung vom Valenzband ins Leitungsband zu schaffen. Dadurch erhöht sich die Leitfähigkeit des Materials, die Spannung nimmt ab.

Auch in diesem Versuch kann es zu Ungenauigkeiten der Messung kommen. Der Grund liegt diesmal bei der Temperaturmessung. Da der digitale Thermometer nur neben die Solarzelle platziert werden kann, ist die Wärmestrahlung die auf den Thermometer trifft nicht exakt gleich intensiv wie die Wärmestrahlung, die auf die Solarzelle trifft.



Messung 1: Temperatur: 23°C

Bei unserer 1. Messung beträgt die Temperatur der Solarzelle 23°C. Der Baustellenscheinwerfer steht dabei in einem Abstand von 30cm zu Solarzelle. Der Einfallswinkel des Lichts beträgt 90°.



Das Messergebnis beträgt...
 ...für die Spannung: 563.1 mV
 ...für den Stromfluss: 259.7 mA

Messung 2: Temperatur: 41°C

Bei unserer 2. Messung beträgt die Temperatur der Solarzelle 41°C. Der Baustellenscheinwerfer steht dabei in einem Abstand von 30cm zu Solarzelle. Der Einfallswinkel des Lichts beträgt 90°.



Das Messergebnis beträgt...
 ...für die Spannung: 499.9 mV (- 63.2 mV)
 ...für den Stromfluss: 226.2 mA (- 33.5 mA)

Auch der 3. Versuch repräsentiert, was in der Theorie geschrieben steht. Die Leistung der Solarzelle ist durch die erhöhte Temperatur kleiner geworden. Dabei ist die Spannung um ca. 11% zusammengebrochen. Dass der Stromfluss auch um ca. 13% zusammengebrochen ist, liegt laut Markus Markstaler daran, dass das Messgerät einen Einfluss auf die Solarzelle hat.

4.5 Typen von Silicium-Solarzellen

Es gibt eine grosse Bandbreite an verschiedenen Solarzellentypen. Grundsätzlich unterscheidet man aber zwischen zwei verschiedenen Typen: den Kristalline- und Dünnschichtzellen.

Schaut man bei den kristallinen Solarzellen genauer hin, so teilt man diese in Mono- und Polykristalline Zellen auf. Der preisliche Unterschied der beiden Macharten ist markant. So sind die Polykristallinen Zellen wegen ihrer Preiswertigkeit in den Photovoltaik-Anlagen am meisten vertreten.

Es gibt noch eine ganze Palette anderer Typen von Solarzellen, wie beispielsweise die Konzentratorzellen, welche mit Hilfe eines Konzentrators (zum Beispiel eine Linse) die Sonnenenergie auf eine kleinere Fläche bündelt um so den Wirkungsgrad zu steigern. Sie sind aber in der herkömmlichen Photovoltaik-Branche nicht von Bedeutung. (www.wikipedia.org)

4.5.1 Monokristalline Zellen

Diese Zellenart wird aus sogenannten Wafern (einkristalline Siliziumscheiben) hergestellt. Dafür wird ein, aus einem Kristall gezüchteter, Ingot benötigt, welcher in hauchdünne Scheiben geschnitten wird (Wafers). Diese hauchdünnen Scheiben (etwa 0.18 bis 0.28mm) durchlaufen nun noch mehrere chemische Bäder um die Sägeschäden zu beseitigen, aber auch um eine Oberfläche zu gestalten, die in der Lage ist, Licht aufzunehmen (absorbieren). Normalerweise ist die Grunddotierung mit Bor bei den Wafers schon vollbracht. Sie sind also die p-dotierte Schicht. Um eine fertige Solarzelle mit p-n-Übergang herzustellen, wird nun die n-dotierte Schicht oberhalb aufgebracht. Dieser Prozess findet in einem Ofen, in einer Phosphor-Atmosphäre statt. Danach wird die Antireflexschicht aufgebracht, welche der Solarzelle erst ihre typische Farbe gibt. Anschliessend wird die Zelle, für den besseren Abgriff des generierten elektrischen Stroms, mit den Leiterschichten ergänzt. Auf der Vorderseite wird ein sehr dünnes Raster aufgebracht, um den Lichteinfall so wenig wie möglich zu behindern. Zusätzlich werden zwei breitere Streifen, auf denen die Bändchen zur Verbindung mehrere Zellen befestigt werden, angebracht. Die Rückseite wird mit einem gut leitendem Material vollflächig beschichtet.

Die monokristallinen Zellen zeichnen sich durch eine homogene Oberfläche aus. Sie erzielen einen Wirkungsgrad zwischen 16 und 22%, welches derzeit dem höchsten Wirkungsgrad aller Photovoltaik Modulen entspricht. Ihre Lebensdauer beträgt 25-30 Jahren. Die höhere Leistung und die höheren Herstellungskosten ergeben auch einen höheren Preis, als bei anderen Photovoltaikanlagen. Deswegen werden sie vor allem dort eingesetzt, wo man aus einer kleinen Fläche maximale Leistung erzielen will. (www.wikipedia.org)

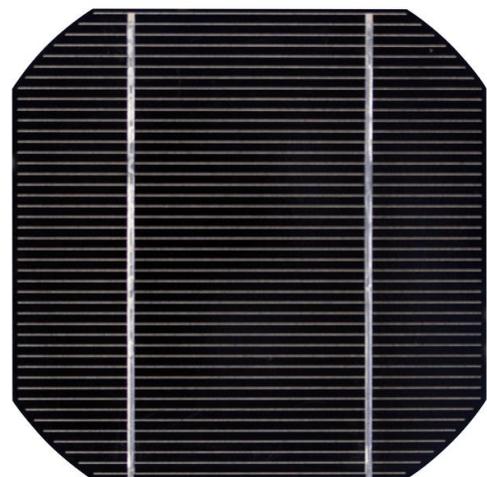


Abbildung 24 - Monokristalline Solarzelle
(www.aes-solar.de)

Ingots

Der Begriff Ingot (englisch für „Barren“) wird im Deutschen nur in einer Weise gebraucht: Man versteht darunter einen Block, welcher aus einem Halbleiter wie Silizium besteht. Ingots können monokristallin sowie auch polykristallin aufgebaut sein.



Abbildung 25 - Ingot zur Waferherstellung
(www.wikimedia.org)

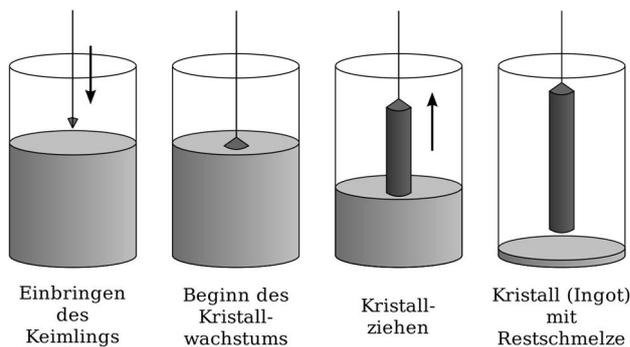


Abbildung 26 - Das Czochralski-Verfahren
(www.wikimedia.org)

Um einen solchen Ingot herzustellen, benötigt man einen Impfkristall. Der Impfkristall wird in eine Silizium-Schmelze getaucht, und durch langsamen Ziehen und Rotieren, ähnlich wie beim Kerzenziehen, entsteht dadurch langsam ein bis zu 2m langer und 30 cm dicker Kristall. Man nennt dieses Verfahren auch das Czochralski-Verfahren. (www.wikipedia.org)

4.5.2 Polykristalline Zellen

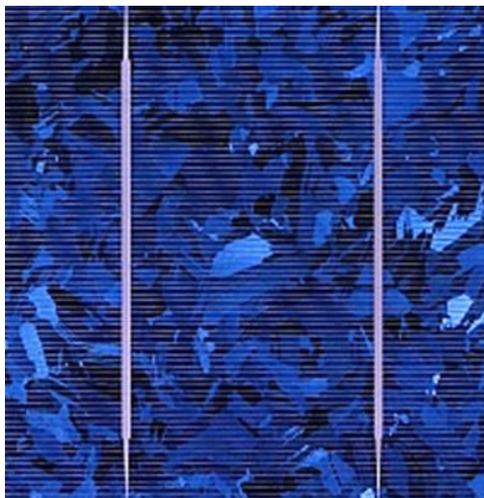


Abbildung 27 - Polykristalline Solarzelle
(www.baunetzwissen.de)

Polykristalline Zellen werden aus gebrochenem Material hergestellt, welches in einer quadratischen Wanne mit der Kantenlänge von 50 cm und einer Höhe von 30 cm eingeschmolzen wird. Dort soll es langsam abkühlen, um möglichst grosse Kristalle zu erzielen. Erst danach, in einem 2. Schritt, werden diese neuen Blöcke dann ebenfalls in Wafern geschnitten. Die polykristallinen Wafern besitzen mehrere Kristalle, weswegen dieses Verfahren auch günstiger ist. Doch durch die Unterbrüche ist die Kapazität, die sie erbringen, nicht so hoch wie bei den „homogenen“ monokristallinen Zellen. Die weiteren Herstellungsschritte sind dieselben, wie bei monokristallinen Modulen.

Aufgrund dieses günstigeren Herstellungsverfahrens sind die polykristallinen Module preiswerter und dadurch die am häufigsten verwendeten bei Photovoltaik-Anlagen.

Das Merkmal der polykristallinen Module ist die unregelmässige, bläulich schimmernde Oberfläche und die kristalline Struktur. Ihre Lebenserwartung beträgt ebenfalls 25-30 Jahre. Wegen dem schlechteren Wirkungsgrad von 14-20% gegenüber monokristallinen Modulen, braucht man jedoch mehr Fläche für dieselbe Leistung. (www.wikipedia.org)

4.5.3 Dünnschichtzellen

Verglichen mit den kristallinen Zellen aus Wafern, sind die Dünnschichtzellen ca. 100-mal dünner. Dies gelingt dadurch, dass man die gewünschte Stoffverbindung direkt auf das Trägermaterial (Glas, Metallblech, Kunststoff) aufdampft. So kann man viel Material einsparen und kostengünstig herstellen. Ausserdem wird im Gegensatz zu den kristallinen Zellen, die Dünnschichtzelle nicht aus einem grossen Stück zugeschnitten, sondern bereits auf ihre fertige Grösse produziert. (www.wikipedia.org)

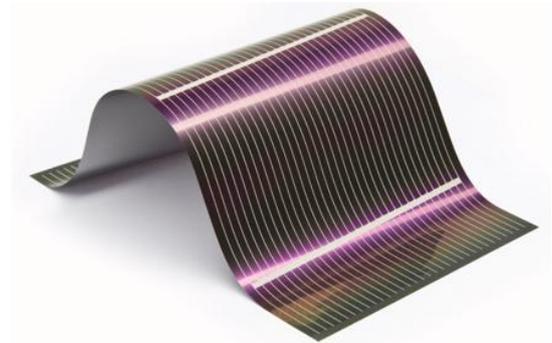


Abbildung 28 – Dünnschichtzelle
(www.itwissen.info)



Abbildung 29 - Sonnendach mit Dünnschichtzellen
(www.l.westfalia.eu)

Durch die hohe Flexibilität werden Dünnschichtzellen als aufrollbare Solarzellen für den Rucksack, eingenäht in Kleidern, aber auch für Designerelemente verwendet. Das grosse Minus bei diesen Amorphen (nicht kristallinen, ungeordneten) Modulen ist der geringe Wirkungsgrad von 5-10%. Daraus folgt, dass der Einsatz für Photovoltaik-Anlagen nur dann Sinn ergibt, wenn eine grosse Fläche zur Verfügung steht. Auch die Lebenserwartung liegt bei unter 20 Jahren. Doch durch deutlich tieferen Preise relativieren sich diese Nachteile wieder. (www.wikipedia.ch)

4.6 Wechselrichter

Der Wechselrichter bildet das Herz der Photovoltaik-Anlage, denn er wandelt den erzeugten Gleichstrom der Solarzelle in Wechselstrom um. Erst durch das, wird die Einspeisung in das öffentliche Netz möglich und somit der erzeugte Strom brauchbar. Das Gerät regelt zudem auch die Effizienz der Anlage, damit der Ertrag so hoch wie möglich ausfällt. Hat man bei seiner Photovoltaik-Anlage auf alle Module etwa die gleiche Sonneneinstrahlung, so muss nur ein Wechselrichter eingesetzt werden. Sind die einzelnen Module aber teils beschattet oder anders ausgerichtet, müssen separate Wechselrichter eingesetzt werden, damit die Leistungsstärkeren oder mehr Besonnenen nicht von den anderen ausgebremst werden. Wechselrichter werden je nach Solarmodulanzahl, Leistung und der Ausrichtung der einzelnen Module einer Photovoltaik-Anlage eingesetzt. (www.solaranlagen-portal.de)

4.6.1 Modulwechselrichter

Modulwechselrichter werden direkt an jedem einzelnen Modul angebracht. Dementsprechend werden viele solche Modulwechselrichter benötigt. Der Vorteil dabei ist, dass die Wechselrichter in einzelnen Teilen der Anlage arbeiten und somit Teilbeschattungen, andere Ausrichtung aber auch unterschiedliche Leistung der einzelnen Module als nicht störend gelten. Beschattet also ein Baum im Verlaufe des Tages ein Modul, stört dies nicht und bremst die anderen Module nicht aus, da jedes Gerät für sich arbeitet. Modulwechselrichter eignen sich vor allem für kleinere Anlagen. (www.photovoltaik-rechner.com)



Abbildung 30 – Modulwechselrichter
(www.solarthemen.de)

4.6.2 Strangwechselrichter

Die Strangwechselrichter sind in der Photovoltaik am besten vertreten. Sie werden mit Hilfe von Kabeln mit mehreren Solarzellen, welche in Reihe geschaltet sind, verbunden. Sie zeichnen sich durch ein gutes Preis-Leistungs-Verhältnis aus, haben aber auch ihre Nachteile. Einerseits wird das Problem durch die Teilbeschattung grösser, andererseits führt die hohe Menge an zu übertragender Gleichspannung zu Verlusten. (www.photovoltaik-rechner.com)



Abbildung 31 - Strangwechselrichter
(www.perspektive-mittelstand.de)

4.6.3 Multistrangwechselrichter

Bei den Multistrangwechselrichtern kommen mehrere Stränge zusammen. Es werden mehrere sogenannte MPP-Tracker (Maximum Power Point Tracking oder auf Deutsch „Maximal-Leistungspunkt-Suche) eingesetzt, um für jeden Strang den optimalen Punkt zu finden. Der Maximum Power Point ist der Punkt, an dem einer Solarzelle die grösste Leistung entnommen werden kann, also das Produkt von Strom und Spannung sein Maximum hat. Dieser Punkt ist abhängig von Bestrahlung und Temperatur der Module. Steigt die Strahlungsintensität, steigt der Stromfluss, die Leistung nimmt zu. Die Spannung bleibt dabei annähernd gleich. Bei steigender Temperatur fällt die Spannung, die Leistung sinkt (Normal $-0,45\%/K$ für kristalline Siliciumzellen). Der Stromfluss ändert sich dabei kaum. Multistrangwechselrichter werden vermehrt bei grösseren Anlagen verwendet und bilden eine Alternative zu den Strangwechselrichtern. (www.wikipedia.org)



Abbildung 32 – Multistrangwechselrichter
(www.shop-muenchner-solarmarkt.de)

4.6.4 Zentralwechselrichter

Das Einsatzgebiet der Zentralwechselrichter sind die Grossanlagen. Sie sind vor allem dann sinnvoll, wenn alle Stränge die gleiche Neigung aufweisen und auch gleich ausgerichtet sind. Heisst also, dass es sich um eine homogene Anlage handelt. Ihr grösster Vorteil ist der gute Wirkungsgrad. Sie haben eine solche Grösse, dass sie meist in einem eigenen Raum untergebracht werden müssen. Ein klarer Nachteil ist, dass bei einer Störung nicht nur ein Teil der Anlage ausfällt, sondern die komplette Anlage ausser Betrieb ist. (www.photovoltaik-rechner.com)



Abbildung 33 - Zentralwechselrichter von
SIEMENS
(www.intersmile.de)

4.7 Funktionsschema einer gesamten Photovoltaik-Anlage

Damit möglichst viel Sonnenstrahlung eingefangen werden kann, werden die Solarmodule meist auf dem Dach installiert. So kann der höchst mögliche Ertrag eingefahren werden. Die einzelnen Photovoltaik-Module wandeln das Sonnenlicht in Gleichstrom um. Um den Strom aber in das öffentliche Netz einspeisen zu können und ihn nutzen zu können, muss er mit Hilfe eines Wechselrichters in Wechselstrom umgewandelt werden. Am meisten dazu verwendet werden die sogenannten Strangwechselrichter, wegen dem guten Preis-Leistungs-Verhältnis. Danach kann der Strom in das Netz eingespeist werden. Durch einen Einspeise-Zähler weiss man auch, wieviel Strom eingespeist worden ist und kann somit errechnen wie hoch die Einspeiserückvergütung für den Besitzer der Photovoltaik-Anlage ausfällt. Die Tarife liegen zwischen 8 und 15 Rp./kWh. Man kann aber den produzierten Strom auch für sich nutzen und nur den überschüssigen Strom ins Netz einspeisen. Bei erhöhter Rückvergütung ist aber wirtschaftlich nur die Volleinspeisung interessant. Der zusätzliche Strom, den man braucht, wird vom öffentlichen Netz bezogen und vom Bezugs-Zähler gezahlt. Die Rückvergütungstarife fallen meistens höher aus, als die öffentlichen Stromtarife. Der Effizienzverlust bei einer Photovoltaik-Anlage beträgt in der heutigen Zeit etwa 10% in 25 Jahren, weshalb die Hersteller meistens eine Garantie von mind. 80% Leistung nach 20 Jahren geben. (www.swissolar.ch)

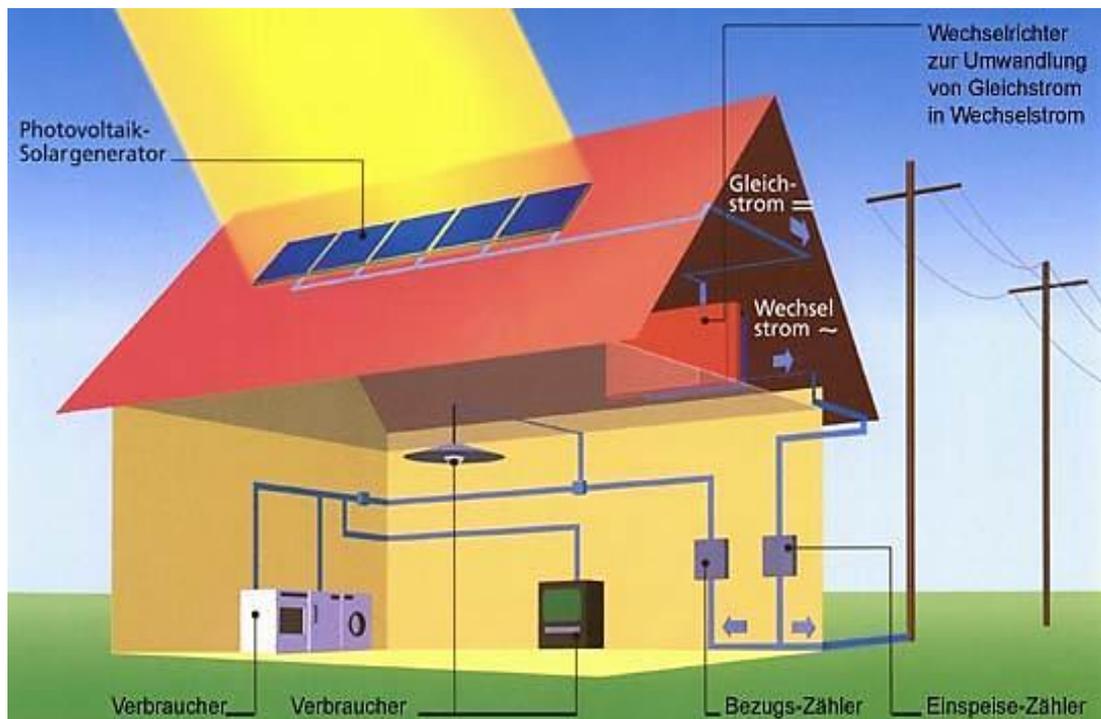


Abbildung 34 - Funktionsschema einer Photovoltaik-Anlage
(www.sturm-heizung.de)

4.8 Wirtschaftliche Berechnung

Wir haben für die wirtschaftliche Berechnung eine Offerte eines aktuellen Umbauprojektes zu Hilfe genommen. Das Projekt befindet sich in Heiligkreuz und beginnt voraussichtlich im Frühling mit der Ausführung. Hier bei dieser Photovoltaikanlage kommen monokristalline Zellen mit einer Leistung von 170Wp pro Modul zum Einsatz. Insgesamt werden 60 Module installiert, welche zusammen eine Leistung von 10.2kWp erbringen. Der Wechselrichter ist ein Multistrangwechselrichter mit einem Wirkungsgrad von 98.1 %.

Angaben:

DC-Leistung (Gleichstromseitige Leistung der Module)	10.2 kWp
AC-Nennleistung (Wechselstromseitig abgegebene Leistung ans Netz)	10.0 kVA
Fläche der Photovoltaikanlage	64.35 m ²

Kostenberechnung:

Photovoltaik-Modul	17'134.00 Fr.
Wechselrichter	3'356.50 Fr.
Photovoltaikunterkonstruktionen (Wasserablaufprofile, Kleinmaterial)	2'294.40 Fr.
Photovoltaikkabel	292.80 Fr.
Stecker, Kleinmaterial	189.75 Fr.
Total Generator	23'267.45 Fr.

Montage Photovoltaik-Anlage	3'575.00 Fr.
Inbetriebnahme	350.00 Fr.
Gesuch an Energieerzeugungsanlage	180.00 Fr.
Gesuch Swissgrid	350.00 Fr.
Planung Photovoltaik-Anlage	500.00 Fr.
Anlagedokumentation klein	50.00 Fr.
Total Montage, Dienstleistung	5'005.00 Fr.

Transport	1'500.00 Fr.
Krankosten	1'200.00 Fr.
Total Hilfsmittel	2'700.00 Fr.

Baubewilligung (war schon vorhanden)	0.00 Fr.
Elektroanschluss	2'500.00 Fr.

Zwischensumme	33'472.45 Fr.
Mehrwertsteuer 8%	2'677.80 Fr.

<u>Gesamtsumme</u>	<u>36'150.25 Fr.</u>
---------------------------	-----------------------------



Abbildung 35 - Projekt Ansicht Norden



Abbildung 36 - Projekt Ansicht Süden



Abbildung 37 - Projekt Ansicht Westen

Amortisationszeit:**Angaben:**

Standort:	Heiligkreuz
Leistung	10.20 kWp
Photovoltaikfläche	64.35m ²
Erzeugte Energie wechselstromseitig	10'035 kWh
Jahresertrag	984.2 kWh/kWp
Vermiedene CO2-Emissionen:	8'894 kg/a

Stromeinspeisung:

Einspeisekonzept	Volleinspeisung
Für die ersten 25 Jahre	0.3929 Fr./kWh (Annahme)

Allgemeine Wirtschaftlichkeitsparameter:

Betrachtungszeitraum	25 Jahren
Kapitalzins	2.00 %

Kostenbilanz:

Investitionen:	36'150.25 Fr.
Einspeisevergütung im ersten Jahr	3'950.04 Fr./a

Ergebnisse nach der Kapitalwertmethode:

Kapitalwert	39'784.99 Fr.
Amortisationszeit:	10.4 Jahre
Rendite	8.8 %

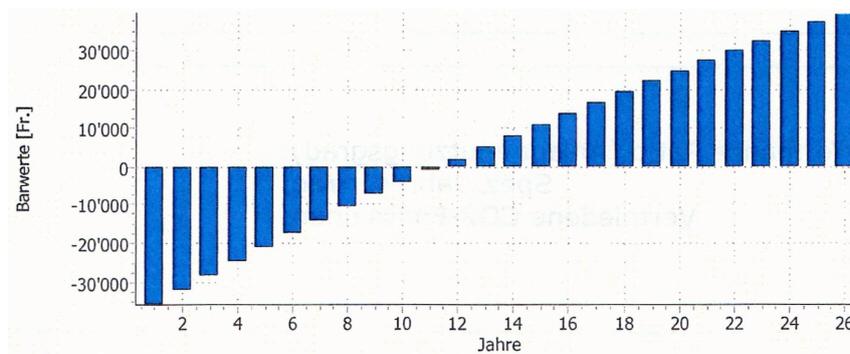


Abbildung 38 - Amortisationszeit-Diagramm

Die Kapitalwertmethode ist sehr aufwendig und kompliziert, weshalb wir die Amortisationszeit auf eine vereinfachte Art berechnet haben. Man verwendet die Investitionen und den Ertrag pro Jahr. Dabei werden die Faktoren der Wertvermehrung des Kapitals nicht berücksichtigt, so dass es schlussendlich eine recht ungenaue Amortisationszeit ergibt.

$$\text{Amortisationszeit} = \frac{\text{Investitionen}}{\text{Ertrag pro Jahr}} = \frac{36'150.25 \text{ Fr.}}{3'950.04 \text{ Fr.}} \cong 9.2 \text{ Jahre}$$

5 Fazit

Die Energiegewinnung mit Photovoltaik präsentierte sich so interessant und faszinierend, wie wir es erahnt haben, weshalb wir äusserst zufrieden mit unserer Themenwahl für unsere Interdisziplinäre Projektarbeit sind. Durch die genauere Befassung mit dem Thema, wurde uns die Photovoltaik immer vertrauter und für uns immer klarer, dass die Photovoltaik noch ein riesiges Potential besitzt. Vor allem heute, in der Zeit der Energiewende, in der man versucht wegzukommen von Atomkraftwerken und sie durch erneuerbare Energien ersetzen will, hat die Photovoltaik gute Chancen auf starke Förderung und Forschung der Technologie. Diese benötigt sie auch, um den immer noch relativ tiefen Wirkungsgrad weiter optimieren zu können und die Kosten für die Anschaffung weiter senken zu können. Somit würde die Photovoltaik-Technologie auch für Leute mit einem etwas kleineren Portemonnaie attraktiv werden. Wir sehen in der Photovoltaik die Energie der Zukunft, denn der Rohstoff für die Energiegewinnung, die Sonne, ist mit keiner Energiequelle vergleichbar. Jeden Tag strahlt sie Energie auf unsere Erde in einem ungeheuren Ausmass, welche wir mit Photovoltaik bestens nutzen können, und das noch bis ans Ende der Erde.

Die grössten Schwierigkeiten bereitete uns die Quellensuche. Quellen hat man schnell gefunden, doch waren sie qualitativ nicht ausreichend für unseren Nutzen oder umgekehrt eine Stufe zu komplex für uns. Auch das Verfassen der Texte beanspruchte mehr Zeit als wir dachten. Trotzdem hatten wir die Zeit über das ganze gesehen, durch Einrechnung genügenden Freiraums, gut im Griff und die Meilensteine gut eingehalten. Das Experiment haben wir bewusst hinausgeschoben, um nachher sattelfest im Thema uns diesem zu widmen und das bestmögliche heraus zu holen. Zudem wussten wir, dass wir bis zur Abgabe einen grossen zeitlichen Freiraum eingeplant hatten. Das einzige, welches uns Sorge bereitete, war die Auftreibung einer Solarzelle. Umso grösser waren aber die Motivation und der Tatendrang, als wir diese in den Händen hielten und unser Experiment beginnen konnte.

Was wir sicherlich gelernt haben ist, dass eine Projektarbeit, auch wenn das Thema von Interesse ist, nicht immer nur Spass macht und alles rosig ist. Jeder hat mal sein Tief oder es mangelt einem an Motivation oder Zeit. Doch dafür arbeitet man im Team, um sich gegenseitig aufzubauen und zu motivieren. Die Freude und der Stolz sind nach erfolgreicher Fertigstellung der Arbeit auch umso grösser.

Persönliche Reflexion – Mirco Blöchlinger

Wenn man in einem Architekturbüro arbeitet ist es fast an der Tagesordnung, dass man mit Photovoltaik konfrontiert wird, denn heutzutage wird auf fast allen Neubauten eine solche Anlage installiert. So kommt es, dass die Photovoltaik, seit ich in der Lehre bin, ein ständiger Begleiter von mir ist. Umso grösser ist bei mir deshalb das Interesse für die Photovoltaik. Wie funktioniert das? Wie ist eine solche Anlage aufgebaut? Mit dieser Arbeit bekam ich nun auf all meine Fragen eine Antwort. Ich war schon immer ein Befürworter der Photovoltaik, einfach weil ich viel damit zu tun habe und die Vorteile kenne, die sie im Zusammenspiel mit anderen ökologischen Systemen in einem Haus hat. Diese Arbeit bestätigt nun meine Haltung zur Photovoltaik und ich kann mit gutem Gewissen jedem Bauherrn die Investition für eine solche Anlage empfehlen.

Durch diese Arbeit habe ich mir ein grosses Wissen über die Photovoltaik angeeignet, welches ich auch in meinem Berufsleben bestens anwenden kann. Zudem weiss ich auch, dass die Photovoltaik sicherlich die Zukunft mitgestalten wird und immer mehr an Bedeutung gewinnen wird. Im Allgemeinen habe ich auch meine Methodenkompetenz erweitert, indem ich gelernt habe, wie ich eine solche Arbeit oder ein Projekt anpacken muss. Auch gelernt habe ich, wie ich im Team produktiv und speditiv arbeiten kann.

Persönliche Reflexion - Alen Masinovic

Als wir uns für dieses Thema entschieden haben, war die Photovoltaik relativ neu für mich. Ich wusste vorhin schon, dass man mit der Sonnenenergie Strom produzieren kann, jedoch hatte ich keine Ahnung, wie sie genau funktioniert. Dank diesem Projekt konnte ich viele positive Erfahrungen sammeln und lernte besser im Team zu arbeiten. Natürlich konnte ich auch mein Wissen um einiges ausbauen, was auch das Ziel der Interdisziplinären Projektarbeit ist. Im Verlauf der Entwerfung dieser Arbeit, wurde ich mir immer mehr bewusst, dass es gar nicht so schwierig ist, einen eigenen Beitrag für die Umwelt zu leisten. Man muss dafür nur Bereitschaft zeigen und dies auch in der Praxis umzusetzen.

6 Danksagung

Herzlichen Dank an...

...Ruth Sinclair, Eidg. dipl. Buchhalterin - Hilfestellung Abstract Übersetzung

...Markus Markstaler, Wissenschaftlicher Mitarbeiter Photovoltaik NTB – Hilfestellung & Beratung

...Sebastian Müller, Techn. Kaufmännischer Praktikant Heizplan AG – Bemühungen

...Hanspeter Tschirky, Eidg. Dipl. Architekt - Hilfestellung

7 Quellenverzeichnis

Internet:

- **Die Sonne:**
<http://www.wasistwas.de/nc/technik/leseproben.html?action=show&showid=9>; gefunden am 25.10.2013
http://de.wikipedia.org/wiki/Sonne#Quantitative_Einordnung; gefunden am 21.10.2013
<http://lexikon.astronomie.info/sonne/>; gefunden am 21.10.2013
<http://www.wasistwas.de/wissenschaft/eure-fragen/planeten-und-raumfahrt/link//e12be34f45/article/was-ist-ein-roter-riese.html>; gefunden am 25.10.2013
<http://www.spiegel.de/wissenschaft/weltall/astronomie-forscher-berechnen-todeszeitpunkt-der-erde-a-923360.html>; gefunden 25.10.2013
- **Die Jahreszeiten/ Tag und Nacht, Strahlungsenergie:**
http://www2.klett.de/sixcms/list.php?page=geo_infothek&article=Infoblatt+Entstehung+der+Jahreszeiten&node=Welt+%2F+Erde; gefunden am 29.11.2013
- **Geeignete Orte:**
<http://www.meteotest.ch/geschaeftsbereiche/energiewirtschaft/solkataster/>; gefunden am 22.11.2013
<http://www.riiseezpower.ch/InfosFAQ/Solkataster/tabid/179/Default.aspx>; gefunden am 22.11.2013
- **Die Entdeckung:**
http://de.wikipedia.org/wiki/Photoelektrischer_Effekt; gefunden am 21.10.2013
http://de.wikipedia.org/wiki/Geschichte_der_Photovoltaik#Die_Entdeckung; gefunden am 21.10.2013
<http://de.wikipedia.org/wiki/Photon>; gefunden am 26.10.2013
- **Weitere Forschungen**
http://de.wikipedia.org/wiki/Geschichte_der_Photovoltaik#Grundlegende_Forschung; gefunden am 02.11.2013
<http://photovoltaik.net/index.php/geschichte-und-entwicklung>; gefunden am 02.11.2013
- **Sonnenenergie im Weltall:**
http://de.wikipedia.org/wiki/Geschichte_der_Photovoltaik#Anwendungen_im_Weltall; gefunden am 30.11.2013
- **Aufbau einer Solarzelle:**
http://www.solarenergysystems.eu/solarzelle_aufbau_und_funktion.html; gefunden am 26.10.2013
<http://www.renewable-energy-concepts.com/?id=658>; gefunden am 30.11.2013

- **N-Dotierung; P-Dotierung:**
<http://www.halbleiter.org/grundlagen/dotieren/>; gefunden am 30.11.2013
- **Silicium:**
<http://de.wikipedia.org/wiki/Silicium#Vorkommen>; gefunden am 14.02.2014
http://www.planet-wissen.de/alltag_gesundheit/werkstoffe/glas/silizium.jsp; gefunden am 14.02.2014
<http://www.formteile.ch/silizium.php>; gefunden am 14.02.2014
- **Der Photoeffekt:**
http://de.wikipedia.org/wiki/Photoelektrischer_Effekt; gefunden am 30.11.2013
<http://de.wikipedia.org/wiki/Compton-Effekt>; gefunden am 30.11.2013
- **Bändermodell:**
<http://www.youtube.com/watch?v=IAsTybR0nfQ>; gefunden am 15.02.2014
<http://de.wikipedia.org/wiki/Valenzband>; gefunden am 15.02.2014
<http://de.wikipedia.org/wiki/B%C3%A4ndermodell>; gefunden am 15.02.2014
<http://de.wikipedia.org/wiki/Leitungsband>; gefunden am 15.02.2014
- **Funktionsweise einer Solarzelle:**
<http://www.filmscanner.info/CCDSensoren.html>; gefunden am 09.02.2014
<http://sunpower-solutions.de/index.php?id=5>; gefunden am 09.02.2014
<http://www.youtube.com/watch?v=z150NEIOS-Q>; gefunden am 26.10.2013
<http://www.youtube.com/watch?v=-m9kmVleuh8>; gefunden am 26.10.2013
<http://www.youtube.com/watch?v=HH4NJs8sOCY>; gefunden am 26.10.2013
<http://www.kk-glas.de/Solaranlagen/SolartechnikFunktion/solartechnikfunktion.html>; gefunden am 09.02.2014
<http://www.planet-schule.de/sf/multimedia-interaktive-animationen-detail.php?projekt=solarzelle>; gefunden am 23.10.2013
<http://www.sonne-24.de/photovoltaik/funktionsweise/>; gefunden am 23.10.2013
<http://www.youtube.com/watch?v=HH4NJs8sOCY>; gefunden am 23.10.2013
<http://www.wasistwas.de/technik/die-themen/artikel/link//31c780a402/article/photovoltaik-zum-anfassen.html>; gefunden am 23.10.2013
- **Vor-und Nachteile:**
<http://www.gesundes-haus.ch/solarzellen-photovoltaik/photovoltaik---vorteile-und-nachteile.html>; gefunden am 07.02.2014
<http://www.energiesparhaus-ratgeber.de/solarstrom-photovoltaik/vor-und-nachteile-einer-photovoltaik-anlage-pv-anlage-bewertung-entscheidung.php>; gefunden am 07.02.2014
<http://www.energieheld.de/photovoltaik/vor-und-nachteile>; gefunden am 07.02.2014
<http://www.fairoil.org/2012/06/photovoltaikanlage-vor-und-nachteile/>; gefunden am 07.02.2014
<http://www.photovoltaik-web.de/dacheignung/vor-und-nachteile-pv.html>; gefunden am 07.02.2014

- **Typen von Silicium-Solarzellen:**
http://de.wikipedia.org/wiki/Solarzelle#Typen_von_Silicium-Solarzellen; gefunden am 02.11.2013
<http://www.gehrlicher.com/de/service/faq/welche-arten-von-pv-modulen-gibt-es/>; gefunden am 02.11.2013
<http://de.solarcontact.com/photovoltaik/pv-module>; gefunden am 02.11.2013

- **Monokristalline Zellen:**
<http://de.wikipedia.org/wiki/Solarzelle#Waferherstellung>; gefunden am 02.11.2013
<http://de.wikipedia.org/wiki/Solarzelle#Czochralski-Verfahren>; gefunden am 02.11.2013
http://www.solarstrom-mit-photovoltaik.de/contents/de/d4_Solarmodularten.html; gefunden am 02.11.2013

- **Ingots:**
http://de.wikipedia.org/wiki/Solarzelle#Herstellung_aus_Siliciumbl.C3.B6cken_oder_-st.C3.A4ben; gefunden am 02.11.2013
<http://de.wikipedia.org/wiki/Ingot>; gefunden am 02.11.2013

- **Polykristalline Zellen:**
<http://de.wikipedia.org/wiki/Solarzelle#Blockgussverfahren>; gefunden am 05.11.2013
<http://de.wikipedia.org/wiki/Solarzelle#Wirkungsgrad>; gefunden am 05.11.2013

- **Dünnschichtzellen:**
http://de.wikipedia.org/wiki/Amorphes_Silicium; gefunden am 05.11.2013

- **Wechselrichter:**
<http://www.solaranlage-ratgeber.de/photovoltaik/photovoltaik-technik/wechselrichter>; gefunden am 02.02.2014
<http://www.photovoltaik-rechner.com/wechselrichter/>; gefunden am 02.02.2014
<https://www.solaranlagen-portal.de/solarenergie-komponenten/wechselrichter.html>; gefunden am 02.02.2014

- **Multistrangwechselrichter:**
http://de.wikipedia.org/wiki/Maximum_Power_Point; gefunden am 09.02.2014

- **Funktionsschema einer gesamten Photovoltaik-Anlage:**
<http://www.gehrlicher.com/de/service/faq/muss-der-photovoltaische-strom-ins-netz-eingespeist-werden/>; gefunden am 10.01.2014
<http://www.swissolar.ch/de/unsere-themen/kev/>; gefunden am 10.01.2014

8 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 - Grössenvergleich Sonne-Erde.....	6
Abbildung 2 - Entstehung der Jahreszeiten	7
Abbildung 3 - Tageslängen in verschiedenen Breiten	8
Abbildung 4 - Zeitzonekarte, Weltzeit	9
Abbildung 5 - Einfallswinkel der Sonnenstrahlen	9
Abbildung 6 - Solarstrahlungspotential in Europa	10
Abbildung 7 - Alexandre Edmond Becquerel (1820-1891).....	11
Abbildung 8 - William Grylls Adams (1836-1915).....	11
Abbildung 9 - Russell Shoemaker Ohl (1898-1987).....	12
Abbildung 10 - Satellit "Vanguard I"	12
Abbildung 11 - Aufbau einer Solarzelle.....	13
Abbildung 12 - Phosphor gibt sein 5. Elektron ab, das keine Bindung eingehen kann.	13
Abbildung 13 - Durch füllen von Löchern, entsteht an anderer Stelle neue Löcher.....	14
Abbildung 14 - Halbmetall Silicium	14
Abbildung 15 - Bohrsches Atommodell von Silicium	14
Abbildung 16 - Der Photoeffekt.....	15
Abbildung 17 - Bändermodell Leiter.....	15
Abbildung 18 - Bändermodell Halbleiter.....	16
Abbildung 19 - Bändermodell Isolator.....	16
Abbildung 20 - Überschüssige Elektronen von Phosphor-Atomen bewegen sich zu den freien Löchern von Bor-Atomen.....	16
Abbildung 21 - Photonen spalten die Verbindung wieder auf.....	17
Abbildung 22 - Entstehung des Gleichstroms mit Hilfe eines Leiters	17
Abbildung 23 - Vorteile der Photovoltaik.....	18
Abbildung 24 - Monokristalline Solarzelle	26
Abbildung 25 - Ingot zur Waferherstellung.....	27
Abbildung 26 - Das Czochralski-Verfahren	27
Abbildung 27 - Polykristalline Solarzelle	27
Abbildung 28 - Dünnschichtzelle	28
Abbildung 29 - Sonnendach mit Dünnschichtzellen	28
Abbildung 30 - Modulwechselrichter	29
Abbildung 31 - Strangwechselrichter	29
Abbildung 32 - Multistrangwechselrichter	30
Abbildung 33 - Zentralwechselrichter von SIEMENS	30
Abbildung 34 - Funktionsschema einer Photovoltaik-Anlage	31
Abbildung 35 - Projekt Ansicht Norden	32
Abbildung 36 - Projekt Ansicht Süden	32
Abbildung 37 - Projekt Ansicht Westen.....	32
Abbildung 38 - Amortisationszeit-Diagramm.....	33

Quellen

Titelbild:

<http://cdn4.spiegel.de/images/image-36407-galleryV9-htdo.jpg>, gefunden am 12.12.2013

Abbildung 1:

<http://www.erdikon.de/images/photoblog/universum/sonne-helios-stern/sonne-erde-helios-001.jpg>;
gefunden am 24.01.2014

Abbildung 2:

<http://www2.klett.de/sixcms/media.php/76/jahreszeiten.jpg>; gefunden am 24.01.2014

Abbildung 3:

<http://www2.klett.de/sixcms/media.php/76/tageslaenge.jpg>; gefunden am 24.01.2014

Abbildung 4:

http://www.fungeo.de/images/Zeitzone/all_e.png; gefunden am 08.03.2014

Abbildung 5:

<http://www2.klett.de/sixcms/media.php/76/strahlungsenergie.jpg>; gefunden am 24.01.2014

Abbildung 6:

http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/28/EU-Glob_opta_presentation.png; gefunden
am 10.01.2014

Abbildung 7:

http://referate.mezdata.de/sj2006/04solartechnik_andreas-pfaffenrot/res-wikipedia/alexandre-edmond_becquerel.jpg; gefunden am 12.12.2013

Abbildung 8:

<http://dtydzegapv70r.cloudfront.net/wp-content/uploads/2013/05/WilliamGryllisAdams.jpg>; gefunden
am 12.02.2014

Abbildung 9:

http://3.bp.blogspot.com/-gU_QZEKjFBk/TrbUp44TDol/AAAAAAAAADg/rGvTj1RAuXA/s320/1251602336a1fp74Hc.jpg; gefunden am 12.12.2013

Abbildung 10:

<http://www.particle.kth.se/~lindblad/muse/ROCK07.GIF>; gefunden am 12.12.2013

Abbildung 11:

<http://sunpower-solutions.de/images/photovoltaik.gif>; gefunden am 09.02.2014

Abbildung 12:

<http://www.halbleiter.org/img/grundlagen/dotieren/n-dotieren.gif>; gefunden am 03.12.2013

Abbildung 13:

<http://www.halbleiter.org/img/grundlagen/dotieren/p-dotieren.gif>; gefunden am 03.12.2013

Abbildung 14:

<http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/6/6a/Silizium.jpg>; gefunden am 14.02.2014

Abbildung 15:

<http://iwenzo.de/wiki/images/3/32/Siliziumatommodell.gif>; gefunden am 14.02.2014

Abbildung 16:

<http://i.onmeda.de/compton-effekt.gif>; gefunden am 15.02.2014

Abbildung 17, 18 & 19:

<http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/fd/B%C3%A4ndermodell.PNG>; gefunden am 15.02.2014

Abbildung 20:

http://www.filmscanner.info/Bilder/CCD_02.gif; gefunden am 03.12.2013

Abbildung 21:

<http://www.creaenergy.ch/sonne/solarstrom>; gefunden am 03.12.2013

Abbildung 22:

http://www.solarenergysystems.eu/uploads/pics/solarzelle_schema3.gif; gefunden am 03.12.2013

Abbildung 23:

http://www.geoplex.de/uploads/pics/vorteile_pv600.png; gefunden am 15.02.2014

Abbildung 24:

http://www.aes-solar.de/images/pix/ku_aes_module_mono_zelle_116.jpg; gefunden am 26.01.2014

Abbildung 25:

http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/23/Monokristalines_Silizium_f%C3%BCr_die_Waferherstellung.jpg; gefunden am 26.01.2014

Abbildung 26:

http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/0/0a/Czochralski_Process_DE.svg/800px-Czochralski_Process_DE.svg.png; gefunden am 26.01.2014

Abbildung 27:

<http://www.baunetzwissen.de/imgs/1/4/1/4/7/0/3b6d9b502075d642.jpg>; gefunden am 26.01.2014

Abbildung 28:

<http://www.itwissen.info/bilder/flexibles-duennschichtsolarmodul-in-cigs-foto-global-solar-doteu.png>; gefunden am 26.01.2014

Abbildung 29:

http://l.westfalia.eu/static/fileadmin/images/text-newsletter/technik/technik_2012_04/solar_1.jpg;

gefunden am 18.02.2014

Abbildung 30:

http://solarthemen.de/wordpress/wp-content/uploads/2011/11/_p1_sto363_sma.jpg; gefunden am

02.02.2014

Abbildung 31:

<http://www.perspektive->

[mittelstand.de/img/x/Pressemeldung/00005650/i/Stringwechselrichter_S_und_MT_1000px.jpg](http://www.perspektive-mittelstand.de/img/x/Pressemeldung/00005650/i/Stringwechselrichter_S_und_MT_1000px.jpg);

gefunden am 02.02.2014

Abbildung 32:

http://www.shop-muenchner-solarmarkt.de/user_html/1339400487/pix/a/n/1203520253-3364.2.jpg;

gefunden am 02.02.2014

Abbildung 33:

http://www.intersmile.de/images/Siemens_inverter_PVS500.jpg; gefunden am 02.02.2014

Abbildung 34:

<http://www.sturm-heizung.de/Photovoltaik/photovoltaik.html>; gefunden am 12.02.2014

Abbildung 35:

Eigenes Bild, gemacht mit EliteCAD

Abbildung 36:

Eigenes Bild, gemacht mit EliteCAD

Abbildung 37:

Eigenes Bild, gemacht mit EliteCAD

Abbildung 38:

Eigenes Bild aus Offerte Hiestand, Heiligkreuz

9 Eidesstattliche Erklärung

„Wir versichern, dass wir die Interdisziplinäre Projektarbeit über die Photovoltaik selbständig angefertigt, nicht anderweitig für Prüfungszwecke vorgelegt, alle benutzten Quellen und Hilfsmittel angegeben, sowie wörtliche und sinngemässe Zitate gekennzeichnet haben.“

Ort, Datum

Unterschrift Mirco Blöchlinger

Ort, Datum

Unterschrift Alen Masinovic

10 Anhang

- **Offerte Hiestand, Heiligkreuz**
- **Arbeitsaufteilung Mind-Map**
- **Terminplanung**
- **Arbeitsjournal**

Offerte Hiestand, Heiligkreuz

Seite: 2

Angebot 2130882

Objekt PVA Hiestand Martin, Optikweg 10, Mels

Pos	Art. Nr.	Bezeichnung	Menge	Einh.	Preis	Gesamt CHF
		MegaSlate II 170 Wp Anzahl: Monokristalline Zellen (40 Stück), Laminat	60 Stück			
		Nennleistung: Leistungstoleranz: Geprüfte Schneelast: Geprüfte Windlast: Allg. Produktgarantie: Leistungsgarantie auf 90%: Leistungsgarantie auf 80%: Aussemasse (L x B x H): Überlappung: Sichtbare Fläche:				
		170 Wp +/-3 % bis 5.4 kN/m ² bis 2.4 kN/m ² 10 Jahre 10 Jahre 20 Jahre 1300 x 875 x 6.5 mm 50 mm 1300 x 825 mm				
2	230290B	SMA STP 10000TL-10 Wechselrichter für die Verschattung der Photovoltaikanlage	1.00	Stück	3.356,50	3.356,50

Typ: SMA STP 10000TL-10
 Einspeisephase: 3 phasiger Anschluss ans Netz
 AC-Nennleistung: 10.0 kVA
 Garantie: 5 Jahre, optional 25 Jahre
 Topologie: transformatorlos
 Masse (BxHxT) in mm: 665 / 690 / 265
 Gewicht: 65 kg

3 940300 Photovoltaikurkerkonstruktion 3S Indach **1.00 Stück** **2.294,40** **2.294,40**

bestehend aus:
 - Wasserlaufprofile (GFK)
 - Haltebalken Module
 - Schrauben, Klebmaterial

Die Holzlatung muss nach unseren Angaben aufgebaut werden, damit die Photovoltaikanlage montiert werden kann.

Das gesamte Montagmaterial sowie alle Halterungen sind aus Aluminium und Edelstahl sowie Glasfaser.

Der Transport ist im Preis nicht inbegriffen.

4 940600 Photovoltaikkabel RADOX **240.00 m** **1,22** **292,80**

RADOX 125, 1x6 mm² schwarz

Herr
 Martin Hiestand
 Optikweg 10
 8887 Mels

Seite: 1

Gams, 09.10.2013

Angebot 2130882

Objekt PVA Hiestand Martin, Optikweg 10, Mels

Unsere Referenz: Hans-Peter Leuenberger 079 584 22 26 /sb
 Unsere MWSt: 167 251

Sehr geehrter Herr Hiestand

Vielen Dank für Ihr Interesse an unseren qualitativ hochwertigen Produkten und Dienstleistungen. Wir sind davon überzeugt, dass unsere Produkte Ihren Ansprüchen an die Qualität gerecht werden, und Sie von unserer langjährigen Erfahrung profitieren können. Anbei unterbreiten wir Ihnen folgendes Angebot:

Photovoltaikanlage Indach

DC-Leistung: 10.2 kWp
 AC-Nennleistung: 10.0 kVA
 Fläche der PV-Anlage: 64.35 m²
 Dachbedeckung: Ziegel

*DC-Leistung: Gleichstromseitig installierte Leistung am Dach
 *AC-Nennleistung: Wechselstromseitig abgegebene Leistung ans Netz

Die Photovoltaikanlage wird **schlüsselbereit** bis zum Zähler installiert. Die Montage und der Anschluss des Zählers ist durch das zuständige EW durchzuführen.

Pos	Art. Nr.	Bezeichnung	Menge	Einh.	Preis	Gesamt CHF
Kosten Generator						
1	9-00100	PV-Modul 3S Indach 170 Wp, mono all black	1.00	Set	17.134,00	17.134,00
		Schweizer Produkt: perfekte Synthese aus robuster, wetterfester Gebäudehülle und effizienter, umweltfreundlicher Solarproduktion.				
		3S Photovoltaikmodul (Indach)				



Seite: 4

Angebot 2130882

Objekt PVA Hiestand Martin, Optikweg 10, Mels

Pos	Art. Nr.	Bezeichnung	Menge	Einh.	Preis	Gesamt CHF
-----	----------	-------------	-------	-------	-------	------------

Eingereichte Gesuche werden bei Nichtauftragserteilung (Auftragserteilung an Dritte) verrechnet

9	950202	<ul style="list-style-type: none"> - Preis exkl. Gebühren! Gesuche Swissgrid - Anmeldung bei SWISSGRID - Einreichung Fortschrittsmeldung - Einreichung Fertigstellungsanzeige - Auditor zur Abnahme (ab 30 kVA) bestellen 	1.00	Stück	350,00	350,00
---	--------	---	------	-------	--------	--------

Sowie Einreichen von Änderungen gegenüber der ursprünglichen Anmeldung

Eingereichte Gesuche werden bei Nichtauftragserteilung (Auftragserteilung an Dritte) verrechnet!

10	950300	<ul style="list-style-type: none"> - Preis exkl. eventuelle Gebühren Planung PV-Anlage Planung und Auslegung der Photovoltaikanlage inkl. Zeichnungen und Ertragsberechnung 	1.00	Stück	500,00	500,00
11	950301	<ul style="list-style-type: none"> Anlagedokumentation klein Anlagedokumentation in 2-facher Ausführung, gebunden - inkl. Anlagedaten - inkl. Datenblätter - inkl. Schemata 	1.00	Stück	50,00	50,00

Total Montage, Dienstleistungen

Kosten Hilfsmittel						
12	960105	Transport, Verpackungskosten bis Baustelle	1.00	Stunden	1.500,00	1.500,00
13	960100	Krankkosten Richtpreis für die Krankkosten für das Herauf- und Herabladen des Materials	1.00	Stück	1.200,00	1.200,00
					5.005,00	

Seite: 3

Angebot 2130882

Objekt PVA Hiestand Martin, Optikweg 10, Mels

Pos	Art. Nr.	Bezeichnung	Menge	Einh.	Preis	Gesamt CHF
-----	----------	-------------	-------	-------	-------	------------

- TÜV-Zulassung
- langlebig, robust
- Elektronenstrahlvernetzte Isolation und Mantel
- Hohe Wärme-, Kälte-, Öl-, Abrieb-, Ozon-, UV- und Weiterbeständigkeit
- Halogenfrei, flammwidrig

5	940602	Stecker, Kleinmaterial	11.00	Set	17,25	189,75
- Stecker (zB MC-T4)						
- div. Kleinmaterial						

23.267,45

Total Generator

Kosten Montage, Dienstleistungen

6	950111	<ul style="list-style-type: none"> Montage PV-Anlage Indach - Montage Unterkonstruktion - Montage Wechselrichter - Montage Module - Verkabelung Module - Verkabelung Wechselrichter 	65.00	m ²	55,00	3.575,00
---	--------	---	-------	----------------	-------	----------

Wenn ein Blitzschutz vorhanden ist wird die Anlage in diesen eingebunden. Ansonsten wird bei traflosen Wechselrichtern ein Erdungskabel bis ins Haus mit eingezogen.

Voraussetzung für die Montage:
Die Installationsanzeige, EEA- Gesuch wurde beim zuständigen Elektrizitätswerk abgegeben und bewilligt. Das Baugesuch wurde von der Gemeinde/Kanton bewilligt. Die vorhandene Dachhaut ist in gutem Zustand und hält den statischen Belastungen stand.

7	950107	<ul style="list-style-type: none"> Inbetriebnahme PV NETTO Inbetriebnahme Ihrer PV-Anlage - inkl. Instruktor 	1.00	Stück	350,00	350,00
8	950200	<ul style="list-style-type: none"> EEA - Gesuch Einreichen des EEA-Gesuchs beim zuständigen EW sowie diverse Abklärungen bezüglich Netzanschluss 	1.00	Stück	180,00	180,00

Seite: 6

Angebot 2130882 PVA Hiestand Martin, Optikweg 10, Mels

Objekt	Pos	Art. Nr.	Bezeichnung	Menge	Einheit	Preis	Gesamt CHF
--------	-----	----------	-------------	-------	---------	-------	------------

ausgelgt werden, bitten wir Sie uns bei Interesse zu kontaktieren,
 so dass wir Ihnen Ihre Möglichkeiten aufzeigen können.

Zwischensumme 33'472.45
 + 8% MWST (von 33'472.45) 2'677.80
Gesamtsumme CHF (Total Steuer 2'677.80) 36'150.25

Lieferumfang:

- Module, Wechselrichter
- Unterkonstruktion inkl. Kabel und Stecker
- DC-seitige Verkabelung
- AC-seitiger Anschluss
- Montage Module / Wechselrichter
- Planung und Auslegung der Anlage
- Elektroanschlusssuche (EEA / ESTI)
- Anmeldung, Unterlagen SWISSGRID
- Krankosten für das Herauf- und Herunterheben des Materials

Lieferung:

Transportkosten im Preis enthalten, Lieferung inkl. Ablad inkl. Montage
 Mängelrügen sind innert 10 Tagen nach Erhalt schriftlich bei uns einzureichen
 ca. 8-12 Wochen Lieferfrist/nach Absprache

Seite: 5

Angebot 2130882 PVA Hiestand Martin, Optikweg 10, Mels

Objekt	Pos	Art. Nr.	Bezeichnung	Menge	Einheit	Preis	Gesamt CHF
--------	-----	----------	-------------	-------	---------	-------	------------

Total Hilfsmittel 2.700,00

Kosten Elektroanschluss

14 970100 AC-Anschluss PV-Anlage 1.00 Stück 2.500,00 2.500,00
 Richtpreis für den AC-seitigen Anschluss der PV-Anlage vom
 Wechselrichterausgang bis zum Zähler.
 - genauer Preis bei Auftragserteilung

- Voraussetzung: Zähler in der Nähe der Wechselrichter, HAK
 gross genug

Total Elektroanschluss 2.500,00

Optionen

15 950203 Baugesuch PV 0.00 Stück 300,00 0,00
 - Einleitung Baubewilligungsverfahren

- Ausfüllen Baugesuch
- Erstellen notwendiger Pläne (wenn erforderlich)
- Einreichung Baugesuch
- Überwachung Bewilligungsablauf

Eingereichte Baugesuche werden bei Nichtauftragserteilung (Auftragserteilung an Dritte) verrechnet

16 970101 AC-Überspannungsschutz 0.00 Stück 600,00 0,00
 - Preis exkl. Gebühren für Baubewilligung!
 AC-seitiger Überspannungsschutz

17 232017B SMA DC-Überspannungsschutz A+B 0.00 Stück 190,00 0,00
 zu SMA STP Wechselrichter (Eingang A+B)

18 9-10000 Datenauswertung 0.00 Set 0,00 0,00
 Datenauswertung
 Gerne können wir Ihnen zu Ihrer PV-Anlage eine professionelle
 Datenauswertung offerieren. Da diese für jedes Objekt spezifisch

Seite: 8

Angebot 2130882

Objekt PVA Hiestand Martin, Optikweg 10, Mels

Pos	Art. Nr.	Bezeichnung	Menge	Einh.	Preis	Gesamt CHF
-----	----------	-------------	-------	-------	-------	------------

Zahlungskonditionen:
 - 50% bei Auftragsbestätigung
 - Rest nach IBN der Anlage, 10 Tage NETTO
 - Netto-Artikel sind nicht skontofähig

Produktgarantien:
 - Module 10 Jahre
 - Unterkonstruktion 10 Jahre
 - Wechselrichter 5 Jahre (Verlängerung auf bis zu 25 Jahre optional)

Sonstiges:
 - Aus produktionstechnischen Gründen (Hersteller der Komponenten) kann es vorkommen, dass die angebotenen Positionen (Modultyp-, Leistung, Wechselrichter) in dieser Form nicht mehr verfügbar sind, bzw. nicht sofort verfügbar sind. (ZB das Modul hat nun mehr Leistung)
 In diesen Fällen ersetzen wir diese Position/en durch ein mindestens gleichwertiges, zu diesem Zeitpunkt verfügbares Produkt.
 - Für die Bewilligung von Baugesuchen, Fördergeldern (Subventionen), Einspeisevergütung, KEV und der Gleichen übernimmt die Heizplan AG keine Haftung.

- Für eventuelle Auflagen, Massnahmen zur Bewilligung (Baubewilligung, EEA, ESTI, u.a.) zum Bau der PV-Anlage trägt die Heizplan AG keine Verantwortung. Die dadurch unerwartet entstehenden Mehrkosten sind somit nicht Bestand des Auftrages und sind daher als Mehraufwand zu verrechnen.
 - Die Heizplan AG übernimmt keine Haftung für:
 o eventuelle Netzprobleme, Schäden durch Netzschwankungen oder sonstige Beeinflussungen auf das Stromnetz in Folge der Installation einer PV-Anlage.

Seite: 7

Angebot 2130882

Objekt PVA Hiestand Martin, Optikweg 10, Mels

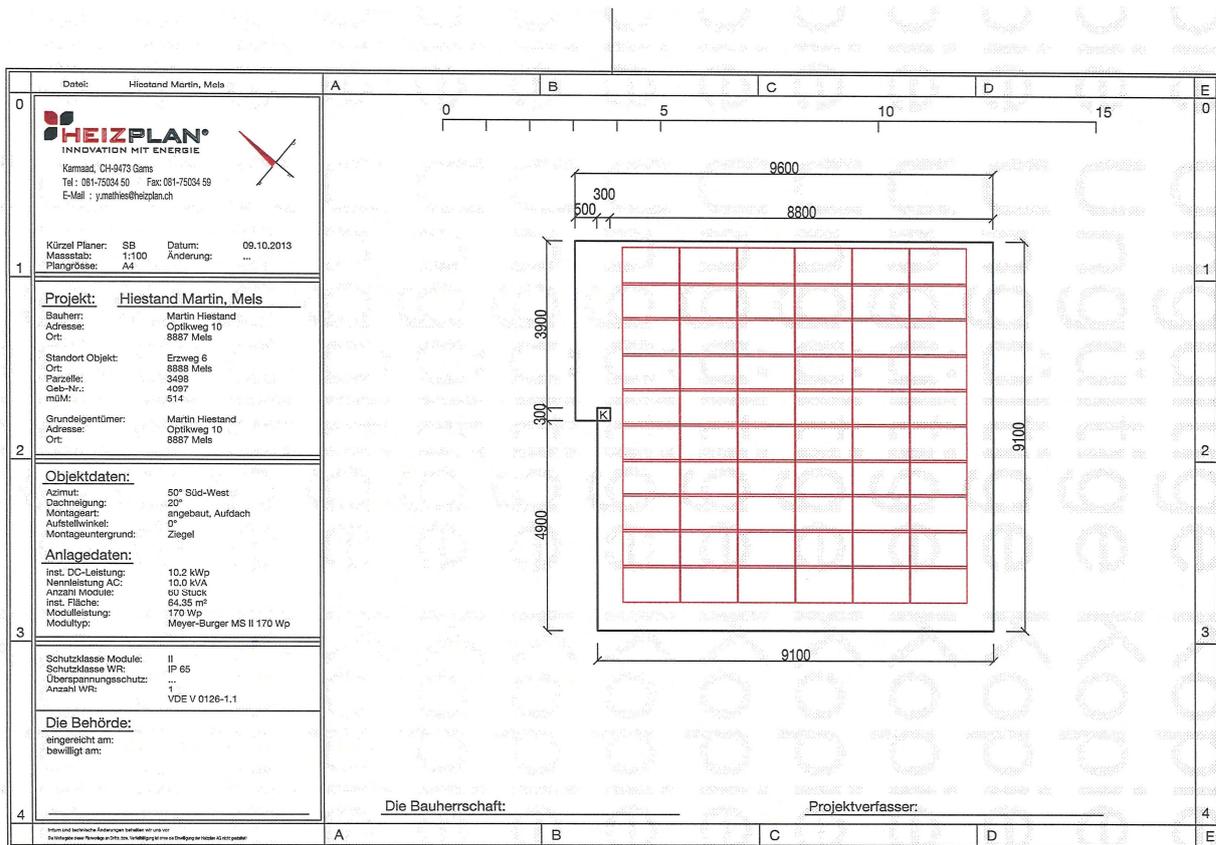
Pos	Art. Nr.	Bezeichnung	Menge	Einh.	Preis	Gesamt CHF
-----	----------	-------------	-------	-------	-------	------------

Regiearbeiten:
 Bei unvorhergesehenen Arbeiten wird ein Regieansatz von CHF 95,- pro Stunde und Mann verrechnet.

Bauseits auszuführende Arbeiten/Abklärungen:
 - statische Überprüfung des Daches, Gebäudes zur Aufnahme der PV-Anlage
 - Schneefänger
 - Absturzsicherung nach Vorschrift für die Montage der Anlage
 - Baugesuch (oder durch Heizplan AG)
 - Kosten Montage und Anschluss Zähler (durch EW)
 - Kosten Dachdecker
 - Kosten Spengler
 - Kosten in Folge möglicher Dachsanierungen (Beseitigung von Undichtheiten im Besonderen bei Flachdächern)

Weitere bauliche Massnahmen und Aufwände sind im Preis nicht inbegriffen.

Inbetriebnahme:
 durch Heizplan AG; einmalige Instruktion am gleichen Tag pauschal netto im Anlagenpreis enthalten. Bei der IBN erhalten Sie auch eine Anlagendokumentation zu Ihrer Anlage.



Seite: 9

Angebot 2130882

Objekt PVA Hiestand Martin, Optikweg 10, Mels

Pos	Art. Nr.	Bezeichnung	Menge	Einh.	Preis	Gesamt CHF
-----	----------	-------------	-------	-------	-------	------------

- o Schäden durch das Herabfallen-, rutschen von Schnee vom Dach durch die PV-Anlage
- o Schäden durch Undichtheiten des Daches welche nicht im Zusammenhang mit der PV-Anlage stehen

Hinweis:

Photovoltaikmodule unterliegen grossen Preisschwankungen.
PV-Modulpreise gelten daher 1 Monat ab Offert-stellung.

Offertstellung:

- Die ersten 2 Offerten erstellen wir kostenlos. Ab der 3. Offerte (Änderung) erlauben wir uns einen Unkostenbeitrag von CHF 75,- zu verrechnen.

Wir hoffen Ihnen hiermit ein attraktives Angebot unterbreitet zu haben und möchten Ihnen für das entgegengebrachte Vertrauen und Interesse danken.

somitige Grüsse

Heizplan AG
Sabrina Bösch
Teamleiterin Photovoltaik /
CAD-Zeichnerin

Gültigkeit der Offerte: 4 Wochen



Heizplan A G
 Karmaad 3 8
 9473 Gams
 +41 81 750 34 5 0
 kontakt@heizplan.ch

Projektname: Hiestand Martin, Mels
 Variantenbezeichnung: Anlagenvariante 10.2 kWp
 09.10.2013



Standort: Heiligkreuz (Mels)
 PV-Leistung: 10.20 kWp
 PV-Brutto-/Bezugsfläche: 64.35 / 64.05 m²

PV-Gen. erzeugte Energie (wechselstromseitig): 10'055 kWh
 Netzeinspeisung: 10'055 kWh

Performance Ratio (Anlagennutzungsgrad): 84.2 %
 Spez. Jahresertrag: 984.2 kWh/kWp
 Vermiedene CO₂-Emissionen: 8'894 kg/a

Die Ergebnisse sind durch eine mathematische Modellrechnung ermittelt worden. Die tatsächlichen Erträge der Photovoltaikanlage können von den hier angegebenen Werten abweichen. Das obige Anlagenschema ersetzt nicht die fachtechnische Planung der Photovoltaikanlage.



Heizplan A G
 Karmaad 3 8
 9473 Gams
 +41 81 750 34 5 0
 kontakt@heizplan.ch

Projektname: Hiestand Martin, Mels
 Variantenbezeichnung: Anlagenvariante 10.2 kWp
 09.10.2013

Wirtschaftlichkeitsberechnung

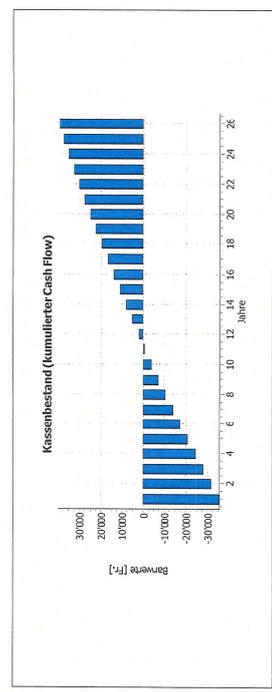
Anlagendaten
 PV-Leistung: 10.20 kWp
 Inbetriebnahme der Anlage: 01.12.2013

Stromerzeugung
 Erzeugungszweck: Volleinspeisung
 Für die ersten 25 Jahre: 0.3929 Fr./kWh (Annahme)

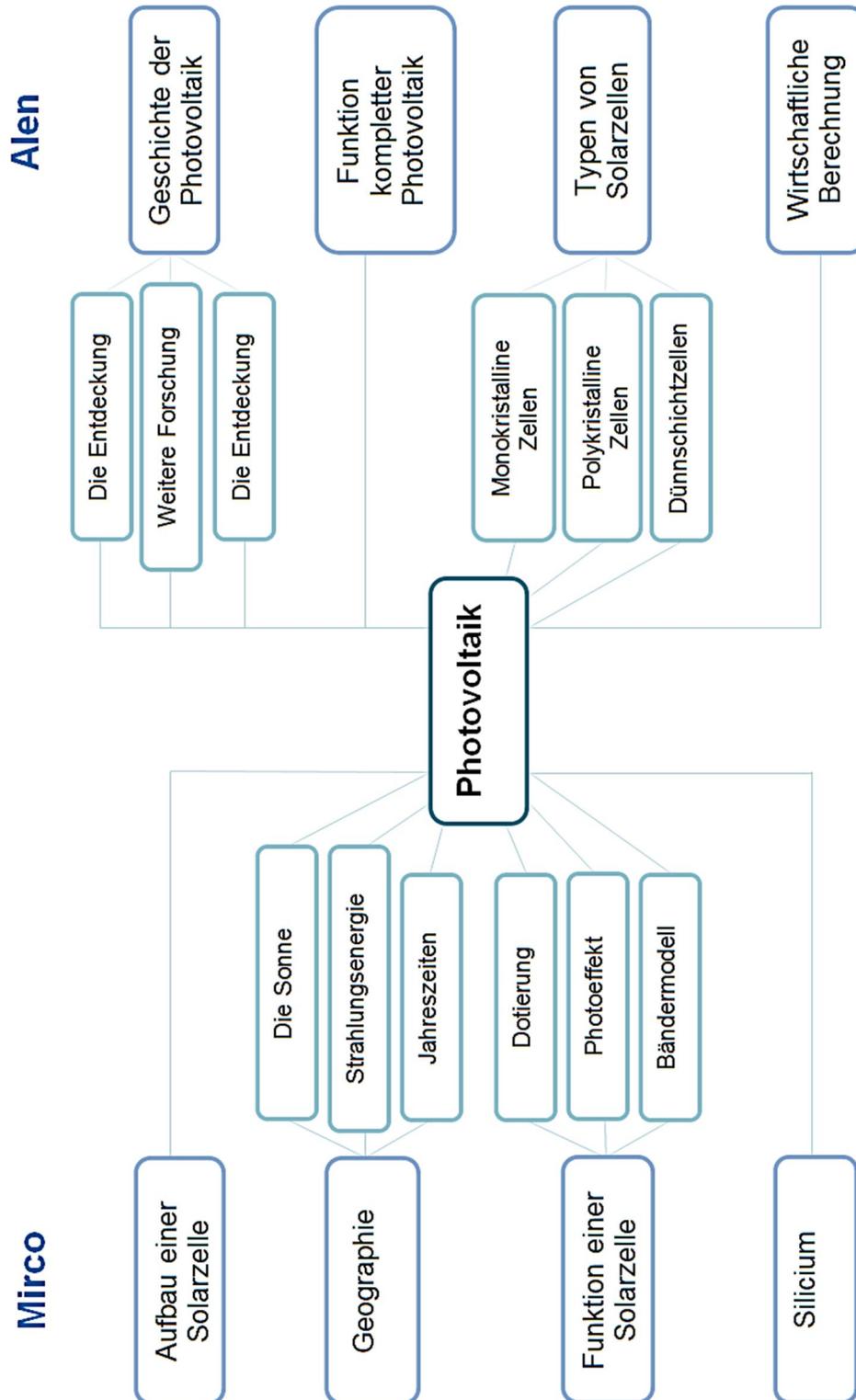
Allgemeine Wirtschaftlichkeitsparameter
 Betrachtungszeitraum: 25 Jahre
 Kapitalzins: 2.00 %
 Alle Angaben mit Umsatzsteuer

Kostenbilanz
 Investition: 36'150.25 Fr.
 Einspeisevergütung im ersten Jahr: 3'950.04 Fr./a

Ergebnisse nach der Kapitalwertmethode
 Kapitalwert: 39'784.99 Fr.
 Amortisationszeit: 10.4 Jahre
 Rendite: 8.8 %

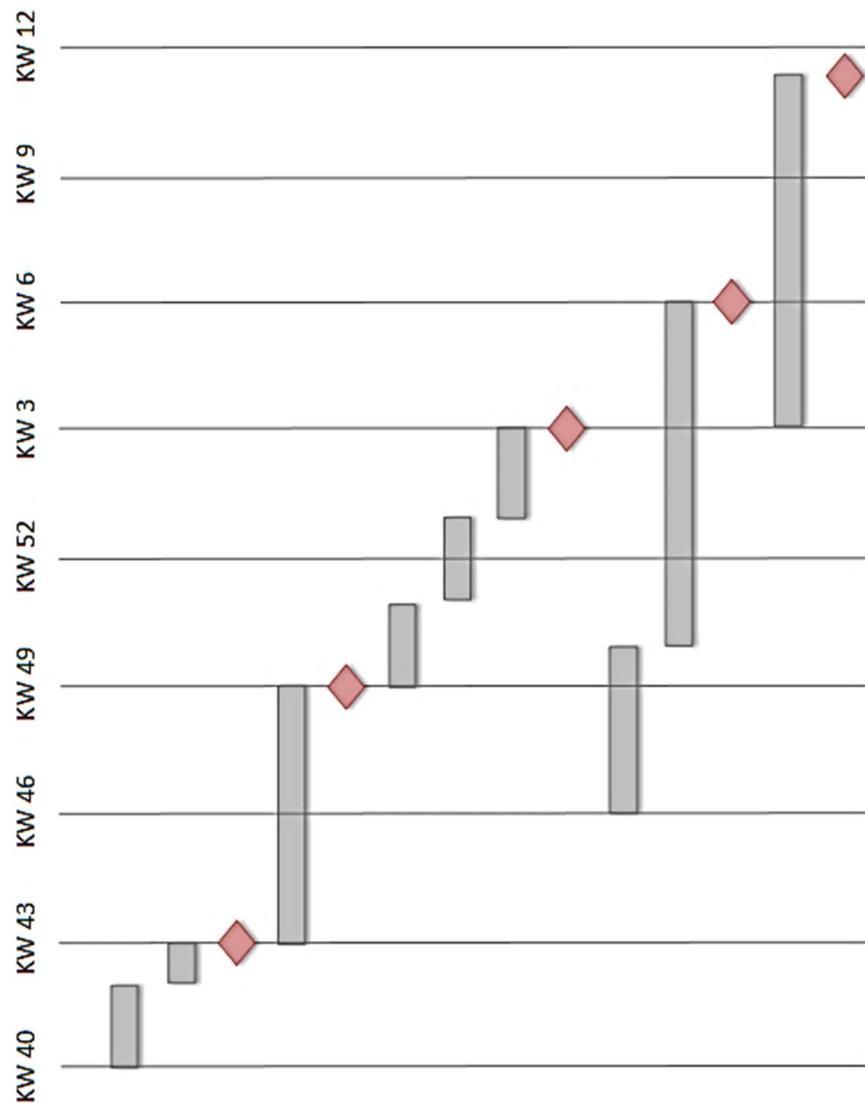


Arbeitsaufteilung Mind-Map



Terminplanung

Projektarbeit Mirco/Alen



Aufgabe	Dauer
Themen besprechen und Quellmaterial suchen	2 Wochen
Eingliederung der Arbeit Grundgerüst erstellen	1 Woche
Aussehen und Gestaltung der Arbeit wissen	0 Wochen
Arbeitssentwurf	6 Wochen
Arbeitssentwurf fertig	0 Wochen
Titelblatt, etc. gestalten Arbeit ausarbeiten	2 Wochen
Abstract, Einleitung, Schlusswort schreiben	2 Wochen
Arbeit vervollständigen (Quellen, Literatur, etc.)	2 Woche
Projektarbeit fertig	0 Wochen
Experiment planen Möglichkeiten suchen	4 Wochen
Experiment umsetzen, fertigstellen	8 Wochen
Experiment funktioniert, fertig	0 Wochen
Einfließen von Verbesserungen, Fertigstellung der Arbeit	8 Wochen
Projektabgabe	0 Wochen

Arbeitsjournal

Kalenderwoche 41 & 42, 07. – 20. Oktober 2013

Tätigkeit:

Wir besprachen, was alles in unserer Arbeit vorkommen sollte, welche Themen wir für unsere Arbeit verwenden möchten und wie die Arbeit in etwa aufgebaut sein sollte. Zuerst verrannten wir uns ein wenig in der Hülle und Fülle der Möglichkeiten, die man mit Photovoltaik hat. Schliesslich entschieden wir uns aber im etwas Kleineren zu bleiben und uns auf die Photovoltaik der einzelnen Haushalte zu konzentrieren.

Ein weiterer Punkt war, sich Gedanken zu machen, welches Zweifach wir in unserer Arbeit einarbeiten wollen.

Reflexion:

Blöchliger Mirco

Ich fand es sehr interessant einmal hineinzusehen, in welchen Anwendungen die Solarzelle auch zum Einsatz kommt. Faszinierend fand ich Einiges, doch wir mussten uns beschränken und uns für etwas entscheiden, weil sonst die Arbeit zu umfangreich geworden wäre. Ich war doch ein wenig überfordert mit der ganzen Informationsflut und Themengebiete, die uns zur Wahl standen. Schliesslich aber brachte ich den Vorschlag, dass wir uns auf die Einfamilienhäuser beschränken, da wir dazu schon eine Bezugsperson hätten und somit auch Zugang zu Informationen. Zudem ist es das Anwendungsgebiet, welches am meisten mit unseren Berufen zu tun hat.

Masinovic Alen

Zu Beginn war es für mich noch nicht so einfach zu beurteilen, welche Teilgebiete der Photovoltaik wichtig und welche eher weniger wichtig sind. Erst mit der Zeit als ich mit Mirco darüber diskutiert und im Internet herumgestöbert habe, um Informationen über die Photovoltaik zu finden, wurde es umso einfacher zu erkennen, welche Themen interessant und natürlich auch nützlich sind für dieses Projekt.

Kalenderwoche 43 & 44, 21. Oktober 2013 – 03. November 2013**Tätigkeit:**

Wir entschieden uns für Geographie als Zweitfach für unsere Arbeit, da wir beide dieses Ergänzungsfach besuchen und wir eine Idee hatten, wie wir diese gut in das Thema einbauen können. Des Weiteren begannen wir, in diesen beiden Wochen, mit der Suche nach Quellen. Damit wir nicht alles doppelt haben, teilten wir uns die Teilgebiete auf, dass sich jeder auf sein Gebiet konzentrieren kann.

Reflexion:**Blöchlinger Mirco**

Als uns die Idee mit Geographie als Zweitfach für die Arbeit in den Sinn kam, war ich einmal mehr froh darüber, dass ich mich für dieses Ergänzungsfach entschieden habe. Bei Geographie ist es relativ einfach einen Bezug zu Photovoltaik herzustellen, da die Sonne, als Energiequelle, und deren Auswirkungen ein interessantes Thema darstellen.

Wie eine Solarzelle funktioniert, war eines der Teilgebiete, welches unbedingt ich machen wollte. Ich fragte mich früher schon, wie die Solarzelle Licht in Strom umwandeln kann und wie das funktioniert.

Masinovic Alen

Es ist wohl Zufall, dass ausgerechnet ich und Mirco dasselbe Ergänzungsfach besuchen nämlich die Geographie. Dies war natürlich ein grosser Pluspunkt für uns beide, weswegen wir, ohne uns darüber den Kopf zerbrechen zu müssen, uns schnell einig waren, dass die Geographie das Zweitfach für diese Projektarbeit sein wird. Darüber war ich sehr froh.

Kalenderwoche 45 & 46, 04. – 17. November, 2013**Tätigkeit**

Wir sortierten unsere Quellen und schrieben unsere ersten Textentwürfe.

Reflexion**Blöchlinger Mirco**

Meine Themen waren: Aufbau einer Solarzelle, Funktionsweise einer Solarzelle und das Kapitel über die Sonne. Ich merkte schnell, dass Texte entwerfen eine zeitaufwendige Angelegenheit darstellt und ich mir mehr Zeit dafür einrechnen muss.

Masinovic Alen

Meine Themen waren: Geschichte der Photovoltaik, wie eine komplette Photovoltaik-Anlage funktioniert und welche Typen von Solarzellen es gibt. Bei der Suche nach Informationen hatte ich keine Probleme.

Kalenderwoche 47 & 48, 18. November 2013 – 01. Dezember 2013**Tätigkeit:**

Wir trugen unsere ersten Textentwürfe via Dropbox zusammen. Dropbox ist eine Internet-Dienstleistung, welche wie eine Cloud funktioniert. Man erstellt einen Ordner und gibt an, welche Benutzer das Zugriffsrecht auf diesen Ordner erhalten. So war es uns ein leichtes die geschriebenen Texte zu einem Ganzen zusammenzufügen.

Wir lasen die Texte durch und besprachen, welche Texte wir ausarbeiten und ergänzen müssen. Auch unterhielten wir uns darüber, welche Texte Grundsätzlich noch fehlten. Zum Beispiel war das Zweifach Geographie noch viel zu wenig in der Arbeit vertreten.

Mit dem Experiment warteten wir noch, da wir uns zuerst in die Materie einarbeiten wollten, um zu sehen, was wir am besten mit unserem Experiment zeigen könnten.

Reflexion**Blöchlinger Mirco**

Mir viel beim Schreiben über die Funktionsweise und Aufbau einer Solarzelle auf, dass es von Vorteil wäre, wenn man wüsste was eine Dotierung ist und wie diese vor sich geht. Auch wäre es verständlicher, wenn man den Photoeffekt in einem separaten Text erklären würde und nicht alles in einen Text integriert. Zum Inhalt Geographie überlegte ich mir, was man weiter schreiben könnte um nicht vom Thema abzukommen. Ich kam auf die Idee, zu schauen wie gross die Strahlungsenergie ist auf verschiedenen Teilen der Erde ist und weshalb sie so unterschiedlich stark einwirkt. Ein weiterer Einfall war, zu zeigen wie die Jahreszeiten entstehen und warum es Tag und Nacht gibt.

Masinovic Alen

Diese Woche bin ich gut vorwärts gekommen mit dem Textschreiben. Was ich sehr gut fand war, dass ich und Mirco uns dank der Dropbox besser und einfacher beraten konnten, da jeder von uns die Arbeit vom eigenen Zuhause sehen konnte.

Kalenderwoche 49 & 50, 02. – 15. Dezember 2013**Tätigkeit**

Wir schrieben die besprochenen, fehlenden Texte und machten einen Entwurf vom Titelblatt und der Einleitung. Die Überlegungen für die Wahl des Titels der Arbeit erwiesen sich als die Zeitaufwendigste Angelegenheit.

Reflexion**Blöchlinger Mirco**

Mich dünkt es, dass mir das schreiben in diesen beiden Wochen besonders leicht gefallen ist. Ich kam schnell voran und war topmotiviert. Auch die Gestaltung des Titelblattes machte mir Spass, da ich gerne gestalterisch tätig bin. Das einzige, was mir Kopfzerbrechen bescherte war die Unschlüssigkeit über die Wahl des Titels.

Masinovic Alen

Was das Textschreiben angeht, ging alles soweit so gut, nur wurden wir uns nicht über den Titel unserer Arbeit nicht einig. Darüber müssen wir noch weiter nachdenken, denn schlussendlich ist es der Titel, der den ersten Eindruck auf den Lesers ausübt.

Kalenderwoche 51 & 52, 16. – 29. Dezember 2013**Tätigkeit:**

Die Texte wurden wieder zusammengetragen und der Titel der Arbeit wurde endlich festgelegt. Zudem haben wir die Kopf- und Fusszeile eingefügt und gestaltet. Auch der Entwurf des Abstracts wurde angefertigt und ein provisorisches Inhaltsverzeichnis eingefügt.

Weiter fanden wir, dass es eine gute Idee wäre, wenn man schon in einem Architekturbüro die Möglichkeit hat, sich einen Einblick in ein Projekt zu verschaffen, eine Offerte für ein solches Projekt genauer unter die Lupe zu nehmen.

Reflexion**Blöchlinger Mirco**

Ich war froh als wir endlich einen Titel gefunden hatten, der treffend war, aber dennoch nicht zu lange. So konnte ich mich wieder voll auf das Gestalten der Kopf- und Fusszeile und des Inhaltsverzeichnisses konzentrieren.

Da ich in einem Architekturbüro arbeite, konnte ich mir einen Einblick in eine Offerte für eine Photovoltaik-Anlage eines laufenden Umbau-Projektes verschaffen. Mein Chef Hanspeter Tschirky nahm sich sogar viel Zeit dafür, mir alles zu erklären und zu zeigen, welches ich ihm hoch anrechnete, da er meist nicht viel Zeit zur Verfügung hat und einem Termin nach dem anderen nacheilen muss. Vor allem jetzt vor Weihnachten.

Masinovic Alen

Für mich und Mirco war es von Vorteil, dass in Mircos Büro viele der Neubauten mit einer Photovoltaik-Anlage ausgerüstet werden. Die Offerte dieses Projekts werden wir sehr gut für unsere IDPA verwenden können, um ein Beispiel aus der Praxis demonstrieren zu können.

Kalenderwoche 01 & 02, 30. Dezember 2013 – 12. Januar 2014

Tätigkeit

Wir haben in der Arbeit die Offerte miteinfließen lassen und das Kapitel in dem sie behandelt wird „Wirtschaftliche Berechnung“ getauft.

Wir haben uns auch Gedanken über das Experiment gemacht und sind zum Schluss gekommen, dass man gut zeigen könnte, von welchen Faktoren die Leistung einer Solarzelle abhängt. Nur: wo bekommen wir eine Solarzelle her, die auch wir bedienen können und mit der sich der Versuch möglichst einfach gestalten lässt? Wir versuchten unser Glück bei der Firma Heizplan AG.

Reflexion

Blöchlinger Mirco

Als Alen die Idee hatte, im Experiment zu zeigen, welche Auswirkungen der Einfallswinkel des Lichtes auf den Ertrag einer Solarzelle hat, kam ich mit dem Vorschlag, dass wir alle Faktoren zeigen könnten, welche ebenfalls einen Einfluss auf den Ertrag haben. Also auch die Temperaturabhängigkeit der Leistung und die Auswirkungen auf die Leistung bei steigender Strahlungsintensität. Etwas schade fand ich, als uns die Firma Heizplan AG nicht helfen wollte. Doch per E-Mail machten sie mir verständlich warum das so ist. Scheinbar unterstützten sie früher gerne solche Projekte, doch der Aufwand war gross und der Dank dafür sehr klein, weshalb sie heute diesen Aufwand nicht mehr betreiben.

Masinovic Alen

Heute haben wir uns viel mehr mit der Planung des Experiments als mit dem Text beschäftigt. Das einzige, was im Text integriert wurde war die Wirtschaftliche Berechnung, da Mirco die Offerte mitgenommen hatte.

Kalenderwoche 03 & 04, 13. – 26. Januar 2014

Tätigkeit:

Wir übersetzten das Abstract und schrieben die meisten Texte ins Reine. Wir machten uns auch auf die Suche nach passenden Bildern, wo sie noch fehlten und setzten sie ein. Zudem bekamen wir von einem Kollegen den Hinweis, dass wir uns mal im NTB melden sollen. Dort könne man uns sicherlich weiterhelfen mit dem Experiment.

Reflexion

Blöchlinger Mirco

Alen und ich gingen nach der Schule noch schnell ins NTB zum Sekretariat. Dort erhielten wir die Nummer von Markus Markstaler. Ich rief ihn am nächsten Tag an und machte mit ihm einen Termin aus um sich mal zu treffen. Ich informierte Alen und war erleichtert, dass es geklappt hatte und wir jetzt eine Bezugsperson hatten für das Experiment.

Masinovic Alen

Nach unserer Arbeit dieser Woche war ich erstaunt darüber, wieviel Qualität und Quantität unser Text mittlerweile hatte. Was mich auch gefreut hatte war, dass sich Markus Markstaler einen Termin für uns eingeplant hatte, um uns offene Fragen über die Photovoltaik zu beantworten.

Kalenderwoche 05 & 06, 27. Januar 2014 – 09. Februar 2014**Tätigkeit**

Wir trafen uns mit Markus und besprachen mit ihm unser Experiment. Er war erfreut über das Interesse welches wir ihm entgegenbrachten und als wir fragten ob er wisse, wo man eine Solarzelle bekomme für unser Vorhaben, meinte er, dass es kein Problem sei, wir würden von ihm alles bekommen was wir bräuchten.

Wir brachten in diesen beiden Wochen auch unsere Texte in eine Reihenfolge und gaben dem ganzen den Feinschliff. Dabei stopften wir die letzten Lücken mit den Ideen, die wir hatten welche Texte noch fehlen. Dies waren zum Beispiel: Silicium als der Grundbaustein einer Solarzelle besser beschreiben oder welches sind allgemein die Vor- und Nachteile einer Photovoltaik-Anlage?

Reflexion**Blöchliger Mirco**

Ich fand das Gespräch mit Markus sehr interessant. Er erklärte uns auch nochmals wie eine Solarzelle funktioniert und gab uns auf alle Fragen, die wir hatten eine ausführliche Antwort. Er ist wirklich ein toller Typ. Auch über den Erhalt der Solarzelle von ihm für das Experiment, habe ich mich sehr gefreut.

Beim Feinschliff der Arbeit verschaffte ich mir nochmals einen Überblick über die gesamte Arbeit. Ich las sie nochmals durch und verbesserte die Stellen, an denen mir ein Fehler aufgefallen ist. Auch suchte ich mir noch mehr Quellen für den Rohstoff Silicium, um den Text zu vervollständigen.

Masinovic Alen

Markus war uns wirklich eine grosse Hilfe. Er hat sich viel Zeit für unsere Fragen genommen und konnte sie auch gut beantworten. Dies hat mit uns geholfen, die bis anhin geschriebenen Text besser zu verstehen, allfällige Verbesserungen vorzunehmen und unsere Texte fortzusetzen.

Kalenderwoche 07 & 08, 10. – 23. Februar 2014

Tätigkeit:

Wir trafen uns am Wochenende um das Experiment zu machen. Wir überlegten uns, wie wir die Solarzelle gut in Position bringen könnten. Im Bastelraum fanden wir ein Ministativ welches sich fabelhaft für die Positionierung der Solarzelle eignete. Wir machten die Fotos und fügten sie in die Arbeit ein. Ausserdem schrieben wir die Beschreibungen zu den einzelnen Versuchen und Messungen.

Neben dem Experiment schrieben wir auch das Fazit und unsere persönliche Reflexion zu der ganzen Arbeit.

Reflexion

Blöchlinger Mirco

Mir machte das Experiment riesen Spass, denn es war einmal eine Abwechslung zum ewigen schreiben. Auch die Idee mit dem kleinen Stativ vom Bastelzimmer fand ich klasse. Es sah aus wie ein richtiges Modell. Der Baustellenscheinwerfer, den wir hatten für das Experiment, war so hell, dass man fast daran erblindete und er wurde so heiss, dass die Luft darüber begonnen hat zu flackern. Es war etwas, was man nicht jeden Tag macht.

Masinovic Alen

Bevor wir das Experiment fertiggestellt hatten, war ich zum Teil skeptisch, ob uns alles gelingen wird. Doch schlussendlich hat alles wunderbar geklappt. Es hat Spass gemacht, einen Teil der IDPA ohne Computer zu fertigen.

Kalenderwoche 09 & 10, 24. Februar 2014 – 09. März 2013**Tätigkeit**

In diesen beiden Wochen haben wir die Arbeit fertig gestellt. Wir haben das Quellenverzeichnis erstellt, das Abbildungsverzeichnis eingefügt und die Quellen sämtlicher Bilder angegeben. Zudem haben wir mit der Danksagung alle Personen erwähnt, welche uns in unserer Arbeit unterstützt haben. Zum Schluss haben wir noch die Eidesstattliche Erklärung vom Script abgeschrieben und denn Anhang zusammengestellt mit der Offerte, der Arbeitsaufteilung, der Terminplanung und dem Arbeitsjournal.

Die Arbeit haben wir dann 4-mal ausgedruckt um es Verwandten und Kollegen zum durchlesen zu geben. Durch die Rückmeldungen wussten wir, ob es verständlich ist, allfällige Verbesserungsvorschläge vorliegen, etc.

Reflexion**Blöchlinger Mirco**

Alen hat mir sein Dokument mit seinen verwendeten Quellen zugeschickt, damit ich die Quellen den einzelnen Texten zuweisen konnte. Umgekehrt habe ich ihm mein Dokument mit den Quellen von den verwendeten Bildern geschickt.

Die Arbeit kam bei den Kollegen gut an, es gab positive Feedbacks und als die fertige Arbeit vor mir lag, war ich schon ein wenig stolz auf Alen und mich.

Masinovic Alen

Wir nähern uns schon allmählich dem Schluss dieser Projektarbeit. Die Texte sind komplett und die Darstellung entspricht unseren Vorstellungen. Es war sehr erleichternd, zu wissen, dass der Arbeit nur noch der letzte Schliff fehlt.

Kalenderwoche 11, 10. – 13. März 2013**Tätigkeit:**

Wir haben die Arbeit 3-fach gebunden, als PDF-Datei abgespeichert und sie auf einen Datenträger gebrannt. Wir sind also bereit für die Abgabe am 13. März.

Reflexion**Blöchlinger Mirco**

Ich freue mich richtig auf die Abgabe der Arbeit und ich habe schon ein wenig meinen Stolz. So eine Arbeit macht man nicht jeden Tag und ist deshalb doch etwas Spezielles.

Masinovic Alen

Nun sind wir zum Schluss der Arbeit gekommen. Auch der letzte Schliff wurde vollbracht. Dank dieses Projekts konnte ich mir neues Wissen aneignen und lernte zudem besser im Team zu arbeiten.