

# Solarzellen und ihre Wirtschaftlichkeit im Kanton Schaffhausen



Eine Maturaarbeit im Fach Geographie

von **Luzius Zumstein**

Betreut von Frau Anna Jablonkay

Schaffhausen, Dezember 2005

## **Inhalt:**

Einleitung .....	3
Wie funktionieren Solarzellen eigentlich? .....	4
Welche Faktoren bestimmen die Produktivität von Solarzellen? .....	6
Wie geeignet ist die Region Schaffhausen für den Einsatz von Solarzellen? .....	8
Wieviel Energie liefern Solarzellen wirklich? .....	9
Staatliche Unterstützung für Investitionen in Solarenergie.....	10
Lohnen sich Solarzellen in der Region Schaffhausen ökonomisch?.....	11
Was wäre in Schaffhausen alles möglich mit Solarzellen? .....	14
Ist ein zusätzlicher Aufwand mit dem Besitz von Solarzellen verbunden? .....	16
Wie umweltfreundlich sind Solarzellen wirklich? .....	17
Solarenergie in der Zukunft.....	19
Fazit .....	20
Zusammenfassung der Arbeit.....	21
Danksagungen .....	22
Quellenverzeichnis .....	23

## Einleitung

Die Zeit, in der die fossilen Brennstoffe nur noch in unzureichenden Mengen vorhanden sein werden, kann nicht mehr als weit entfernte Zukunft beschrieben werden. Die Menschheit verbraucht - trotz steigenden Preisen – weiterhin verschwenderisch die begrenzten Reserven fossiler Energieträger und beeinträchtigt damit auch noch ihren eigenen Lebensraum. Erdölkrisen gab es schon einige und wird es vermutlich in der Zukunft vermehrt geben. Die Weltbevölkerung wächst weiterhin, und der Verbrauch von fossilen Energieträgern steigt jedes Jahr an. Dazu kommen die zahlreichen Folgen der globalen Erwärmung, die man heute kaum mehr als bloss eine Theorie bezeichnen kann. Früher oder später müssen wir auf alternative Energien umsteigen, wenn wir unseren energieaufwändigen Lebensstandard und unseren Lebensraum erhalten wollen. Eine Alternative, die sicher viel Potenzial hat, ist die Solarenergie. Die Sonne wird noch Jahrmillionen scheinen, und sie liefert uns kostenlos Energie.

Allerdings ist die Installation einer Solaranlage teuer, und daher stellen sich viele die Frage, ob es sich schon lohnt, auf Solarzellen für die Strom- und/oder Warmwasserproduktion umzustellen. Zu diesen Leuten gehören auch meine Eltern und ich. Als uns vor ein paar Monaten klar wurde, dass unser Dach eine Reparatur nötig hat, überlegten wir uns, ob eine Reparatur nicht mit der Installation einer Solaranlage kombiniert werden sollte. Doch wir wussten einfach nicht, ob sich diese teure Investition auch auszahlen würde. Dies und mein Interesse an Umweltschutz führten mich zu folgender Leitfrage für meine Maturaarbeit:

Lohnen sich Solarzellen in der Region Schaffhausen (ökologisch wie auch ökonomisch) für Privatbesitzer?

Ich will folgendes untersuchen:

- Wie funktionieren Solarzellen eigentlich?
- Welche Faktoren bestimmen die Produktivität von Solarzellen? Wie geeignet ist die Region Schaffhausen für deren Einsatz?
- Nach wieviel Zeit wären die Kosten amortisiert bei verschiedenen Szenarien?
- Ist ein zusätzlicher Aufwand mit dem Besitz von Solarzellen verbunden?
- Was wäre in Schaffhausen alles möglich mit Solarzellen?

Die Frage ob sich Solarzellen ökonomisch lohnen ist eine Sache, doch lohnen sie sich auch ökologisch? Die meisten würden „selbstverständlich“ als Antwort geben. Doch die Herstellung von Solarzellen gilt als äusserst energieaufwändig, und es wird behauptet, dass diese auch verschiedene Schadstoffe produziere. Darum füge ich folgenden Punkt noch an:

- Wie umweltfreundlich sind Solarzellen wirklich?

Zuletzt will ich noch die Zukunftsaussichten für die Solarenergie betrachten.

## Wie funktionieren Solarzellen eigentlich?

In diesem Kapitel erkläre ich kurz, wie Solarzellen funktionieren. Dabei muss man immer zwischen Photovoltaik und Solarthermie unterscheiden. Das erste ist die Herstellung von Strom und das zweite die Warmwasserproduktion durch Solarenergie. Grundsätzlich sind die beiden Anlagen vollkommen unterschiedlich.

### Photovoltaische Solarzellen

Solarzellen bestehen aus verschiedenen Halbleitermaterialien. Halbleiter sind Stoffe, deren elektrische Leitfähigkeit zwischen der eines Isolators und der eines Leiters liegen. Unter Zufuhr von Energie (Licht/Wärme) werden sie elektrisch leitfähig.

Über 95 % aller auf der Welt produzierten Solarzellen bestehen aus dem Halbleitermaterial Silizium (Si). Silizium eignet sich am Besten, da es das zweithäufigste Element der Erdrinde ist. Somit ist es in ausreichenden Mengen vorhanden. Bei der Herstellung wird das Halbleitermaterial dotiert. So nennt man das gezielte Einbringen von gewissen Fremdatomen, um die elektrische Leitfähigkeit zu verändern. Damit kann man zwischen der positiv (p) und der negativ (n) dotierten Halbleiterschicht ein elektrisches Feld erzeugen. Durch eintreffende Photonen können Elektronen aus ihren Bindungen im Atomgitter gelöst werden. Diese negativ geladenen Elektronen sind danach frei beweglich. Zurück bleibt ein positiv geladenes „Loch“. Das elektrische Feld bewirkt jetzt, dass sich „Loch“ und Elektron in verschiedene Richtungen bewegen. Dieser Effekt führt zu einem Potenzialunterschied: der elektrischen Spannung, welche durch Metallkontakte aufgegriffen werden kann.

Die durchsichtige Antireflexschicht schützt die Zelle und verringert ausserdem die Menge an reflektiertem (und damit verlorenem) Licht.<sup>1/2</sup>

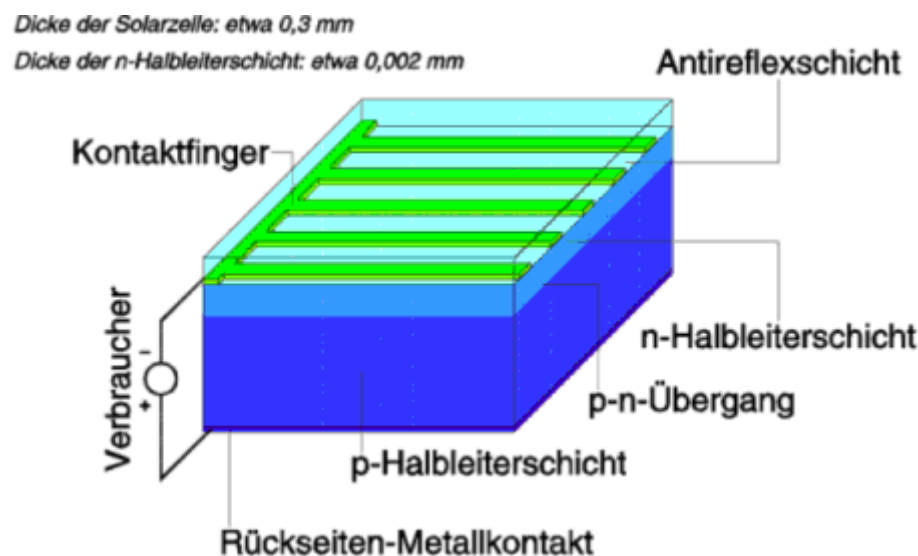


Abb. 1: Prinzipieller Aufbau einer kristallinen Solarzelle

Quelle: <http://www.solarserver.de/wissen/photovoltaik.html#wie>

<sup>1</sup> <http://www.solarserver.de/wissen/photovoltaik.html#wie>

<sup>2</sup> Ralf Haselhuhn, Photovoltaik, Köln 2005, S.11

## Solarthermie

Eine thermische Solaranlage wandelt Solarenergie in Wärme um, die dann der Wassererwärmung und auch manchmal der Heizung dient. Die eigentliche Solarzelle ist hier ein sogenannter Kollektor. Dieser besteht zum grössten Teil aus einem Absorber, welcher der Aufnahme der Sonnenstrahlung dient. Die Energie der Sonnenstrahlung wird dabei in Wärme umgewandelt und an eine Wärmeträgerflüssigkeit weitergegeben. Da thermische Verluste an die Umgebung unerwünscht sind, werden die Absorber in isolierende Kästen aus Glas eingebettet.

Ist die Temperatur am Warmwasserspeicher der Anlage um einige Grad tiefer als die am Kollektor, wird eine Umlaufpumpe in Betrieb genommen, die dann die Wärmeträgerflüssigkeit zirkulieren lässt. Somit kommt die aufgenommene Wärme in den Warmwasserspeicher. Folgende Abbildung erklärt dies besser als viele Worte.

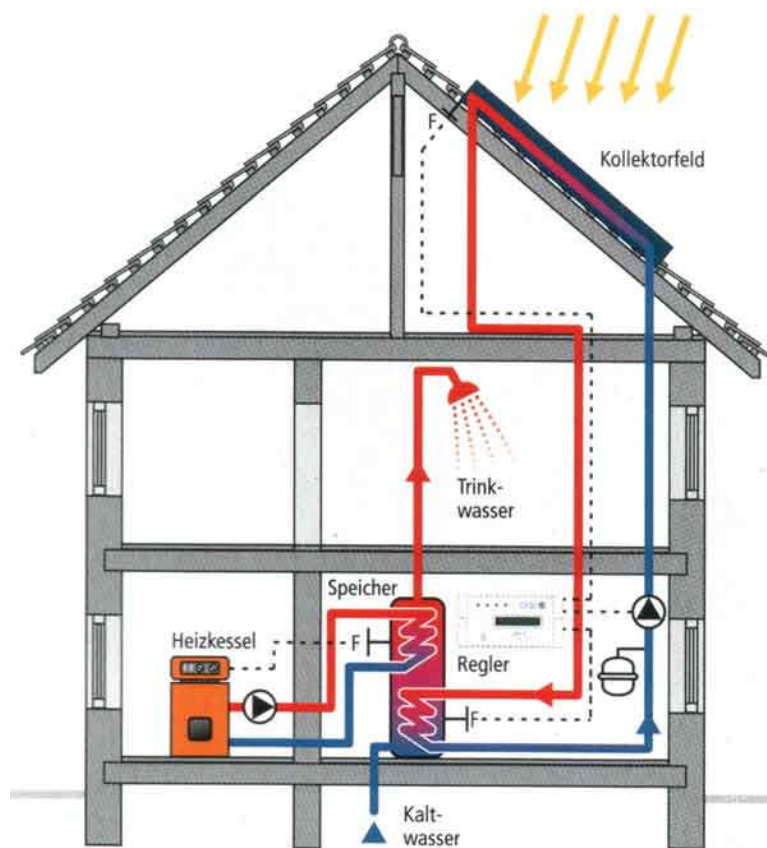


Abb. 2: Funktionsweise einer Solarthermieanlage

Quelle: [http://www.solidee.de/bilder/solarthermie\\_haus\\_gross.jpg](http://www.solidee.de/bilder/solarthermie_haus_gross.jpg)<sup>3</sup>

Eine Solaranlage reicht oftmals nicht aus um den ganzen Warmwasserbedarf eines Haushalts zu decken, vor allem im Winter. Daher muss immer noch ein konventioneller Heizkessel vorhanden sein, um die Versorgung zu garantieren.<sup>4</sup>

<sup>3</sup> [http://www.solidee.de/bilder/solarthermie\\_haus\\_gross.jpg](http://www.solidee.de/bilder/solarthermie_haus_gross.jpg)

<sup>4</sup> <http://www.solarserver.de/wissen/solarthermie.html>

## Welche Faktoren bestimmen die Produktivität von Solarzellen?

In diesem Kapitel werde ich kurz die einzelnen Faktoren beschreiben, die Einfluss auf die Produktivität von Solarzellen haben. Dies gilt sowohl für thermische wie auch photovoltaische Anlagen.

### Sonneneinstrahlung:

Es ist kein Wunder, dass die auf die Fläche der Solarzellen eingestrahlte Sonnenenergie sehr massgebend ist für den Energie-Ertrag. Schliesslich beruht das Prinzip von Solarzellen ja auf der Umwandlung von Sonnenenergie in Elektrizität oder Wärme. Wichtig ist vor allem die Exposition (Ausrichtung eines Hanges in Bezug auf die Einfallrichtung der Sonnenstrahlen). Verschattungseffekte sowie Verschmutzung können sich negativ auf die Einstrahlungsmenge auswirken. Nicht zu vergessen ist ausserdem der Einstrahlungswinkel, der die Menge an eintreffender Strahlung direkt beeinflusst. Das Ideal in unseren Breitengraden liegt bei einer Neigung von  $28^\circ$  zur Horizontalen <sup>5</sup>.

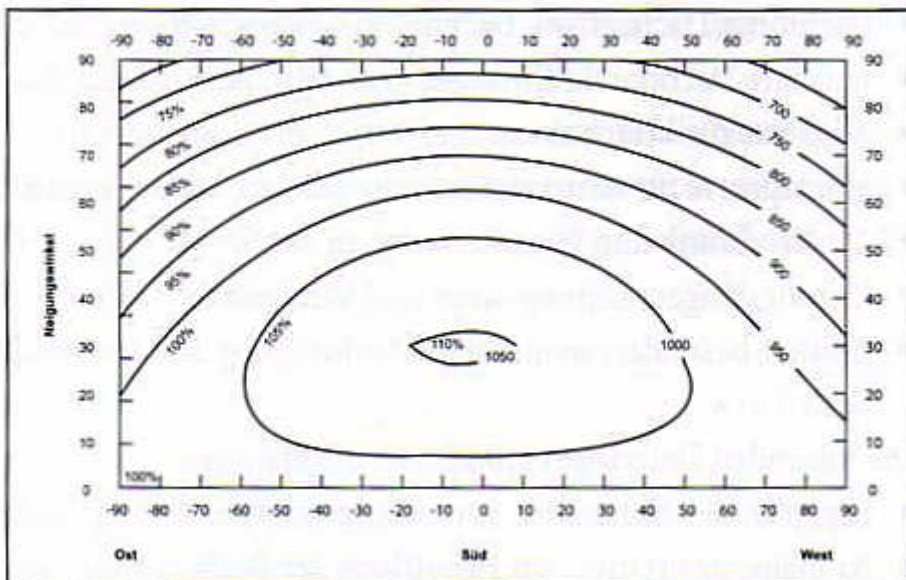


Abb. 3: Einstrahlungsdiagramm mit Jahressumme der Globalstrahlung auf unterschiedlich geneigte und ausgerichtete Flächen am Standort Berlin in Prozent und Kilowattstunden. <sup>6</sup>

Quelle: Ralf Haselhuhn, Photovoltaik, Köln 2005, S.34

### Temperatur:

Die Temperatur spielt bei den beiden Typen von Solarzellen eine unterschiedliche Rolle. Bei solarthermischen Anlagen ist eine hohe Kollektortemperatur von Vorteil, da das Ziel die Erwärmung einer Wärmeträgerflüssigkeit ist, und dies geschieht schneller und besser, wenn die Sonnenkollektoren wärmer sind. Dabei darf jedoch die Umgebungstemperatur nicht zu tief sein, da sonst der Wärmeverlust an die Umgebung zu gross wird und der Wirkungsgrad dadurch massiv sinkt.

Bei photovoltaischen Anlagen ist genau das Gegenteil der Fall. Eine höhere Zelltemperatur hat eine geringere Leistung zur Folge. Dies ist auf steigenden elektrischen Widerstand bei höherer Temperatur und dadurch sinkende Spannung zurückzuführen. Grundsätzlich geht man davon aus, dass eine Temperaturerhöhung um  $25^\circ\text{C}$  eine Leistungsabnahme von 10% zur Folge hat. <sup>7</sup>

<sup>5</sup> [http://www.sonne-heizt.de/Erneuerbare\\_Energie/Solarenergie/solarenergie.html](http://www.sonne-heizt.de/Erneuerbare_Energie/Solarenergie/solarenergie.html)

<sup>6</sup> Ralf Haselhuhn, Photovoltaik, Köln 2005, S.34

<sup>7</sup> <http://www.iee.tu-berlin.de/lehre/Download/PE1.pdf>

### Zelleneffizienz:

Ein weiterer Faktor ist der Wirkungsgrad der Solarzelle. Diese Bezeichnung wird nur für photovoltaische Zellen verwendet und gibt an, wieviel Prozent der eintreffenden Sonnenstrahlung in nutzbare elektrische Energie umgewandelt wird. Im Labor wurden bisher Wirkungsgrade bis 24% erreicht, in der Praxis liegt der Wert der Anlagen aus monokristallinem Silizium (höchste Qualität, dafür teuer) jedoch zwischen 14% und 17%. Die weit verbreiteten polykristallinen Zellen (mindere Qualität, dafür billiger) erreichen heutzutage in der Praxis eine Effizienz von ungefähr 13%.<sup>8</sup>

---

<sup>8</sup> <http://www.solarserver.de/wissen/photovoltaik.html#wie>

## Wie geeignet ist die Region Schaffhausen für den Einsatz von Solarzellen?

Der Sonneneinstrahlungswert (auch bekannt als Globalstrahlung), gemessen in der Meteo Messstation in Schaffhausen zwischen 1981 und 2000, beträgt durchschnittlich 126 Watt pro Quadratmeter ( $\text{W}/\text{m}^2$ ). Dies entspricht ungefähr 1100 Kilowattstunden pro Quadratmeter ( $\text{kWh}/\text{m}^2$ ) pro Jahr.<sup>9</sup>

Folgende Beispiele sollen der Veranschaulichung dienen:

- Eine Glühbirne hat eine Leistung von 40 bis 60 Watt.
- Ein Computer mit Bildschirm hat eine Leistung von 700 Watt.
- Ein Schweizer Haushalt von 4 Personen verbraucht normalerweise zwischen 2500 und 7000 kWh pro Jahr.<sup>10</sup>

Ein anderer Vergleich: die Sahara empfängt eine durchschnittliche Jahreseinstrahlung von bis zu  $2500 \text{ kWh}/\text{m}^2$ , was einer Globalstrahlung von etwa  $285 \text{ W}/\text{m}^2$  entspricht. Das ist nur 2.26 mal mehr als bei uns. Allerdings hätten die photovoltaischen Solarzellen in der Wüste einen tieferen Wirkungsgrad aufgrund der höheren Temperatur.<sup>11</sup>

Die Messstation am Jungfrauoch hat in der Schweiz die höchste Globalstrahlung gemessen mit  $167 \text{ W}/\text{m}^2$ . Hier muss man bedenken, dass dies auf einer Höhe von 3400m über Meer gemessen wurde, wo weniger Sonnenlicht von den Luftschichten reflektiert wird als in tieferen Lagen.<sup>9</sup>

Schaffhausen ist also nicht der ideale Solarstandort, aber wir haben immerhin 75% der in der Schweiz maximalen Globalstrahlung. Ausserdem ist die Temperatur in unserem gemässigten Klima meistens relativ tief, also sollten jedenfalls bei photovoltaischen Anlagen die Verluste durch hohe Temperaturen (siehe S.5) klein bleiben.

Die Sonneneinstrahlung in Schaffhausen hat seit 1990 im Durchschnitt noch zugenommen. Das Jahr 2004 zum Beispiel wies eine Globalstrahlung von  $135 \text{ W}/\text{m}^2$  auf. Ob dieser Anstieg in Zukunft weiter zu beobachten sein wird, ist jedoch unsicher. Daher bevorzuge ich es mit dem Wert von 1981-2000 zu arbeiten. So soll eine Überschätzung der Solarenergie vermieden werden.<sup>12</sup>

---

<sup>9</sup><http://www.meteoschweiz.ch/web/de/klima/klimanormwerte/tabellen.Par.0015.DownloadFile.tmp/globalstrahlung19812000.pdf>

<sup>10</sup> [http://www3.stzh.ch/internet/ewz/home/produkte/energieprodukte/oekostrom/preise\\_premiumstrom.html](http://www3.stzh.ch/internet/ewz/home/produkte/energieprodukte/oekostrom/preise_premiumstrom.html)

<sup>11</sup> Ralf Haselhuhn, Photovoltaik, Köln 2005, S.30

<sup>12</sup> Meteo Schweiz, Schaffhausen: Jahrestabelle 2004

## Wieviel Energie liefern Solarzellen wirklich?

Bei der Solarthermie ist es sehr schwierig, den genauen Leistungswert einer Anlage zu berechnen. Sie haben keinen konstanten Wirkungsgrad, so wie photovoltaische Zellen, da die Energieerzeugung nebst der Einstrahlung auch sehr stark von der Aussentemperatur abhängt. Ausserdem gelten solarthermische Anlagen allgemein als wirtschaftlich. Daher werde ich mich ab hier mehr der Photovoltaik widmen, da ihre Wirtschaftlichkeit noch umstritten ist. Bei meiner Arbeit will ich ja nicht den Wirkungsgrad von Solarzellen berechnen, sondern vielmehr die bei uns zu erwartenden Erträge. Dazu verwende ich den durchschnittlichen Wirkungsgrad der verbreitetsten Solarzellen. Diese sind polykristalline Zellen mit einem Wirkungsgrad von etwa 13%.

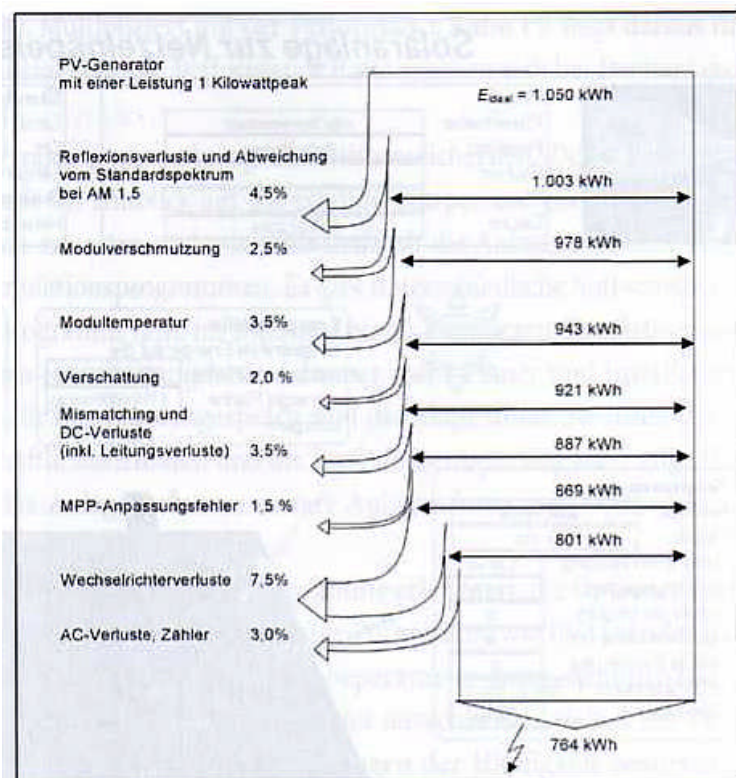
Theoretisch ist der maximale Ertragswert einer photovoltaischen Solarzelle die Menge an eintreffender Strahlung multipliziert mit dem Wirkungsgrad, also:

$$\text{Idealer Ertrag} = \text{Eintreffende Strahlung (kWh/m}^2) * \text{Wirkungsgrad (\%)}$$

Dies ist auch der tatsächliche Ertrag, wenn keine Verluste durch

- Verschattung
- Verschmutzung
- Reflexion
- Leitungen
- etc.

entstehen. Dies ist jedoch praktisch unmöglich, da gewisse Verluste unumgänglich sind. Folgendes Schema für die Verluste habe ich in einem Buch über Photovoltaik entdeckt. Es zeigt die durchschnittlichen Grössen der zu erwartenden Verluste.



Gewisse dieser Verlustgrössen sind natürlich unabhängig vom Standort. Diese werden bei meinen Szenarien selbstverständlich nicht verändert. Ausserdem ist in Schaffhausen  $E_{\text{ideal}}$  sogar = 1100 kWh, das heisst der Endertrag wäre nach diesem Schema 792 kWh.

Abb. 4: Energieverluste an einer netzgekoppelten Photovoltaikanlage

Quelle: Ralf Haselhuhn, 2005, Photovoltaik, Köln, S.53

## Staatliche Unterstützung für Investitionen in Solarenergie<sup>13</sup>

In Schaffhausen wird der Bau von Solaranlagen gefördert. Investitionen in Solarzellen sind nicht nur von den Steuern abziehbar, sondern man bekommt auch einen Förderbeitrag. Dieser ist unterschiedlich je nach Typ der Anlage. Der Kanton unterstützt jedoch nur geprüfte Solarzellen, was beim Bau einer Solaranlage zu berücksichtigen ist.

### a) - Thermische Anlagen:

- Grundbeitrag: Fr. 1000.-
- Flächenbeitrag: Fr. 100.- pro m<sup>2</sup>

Das Gebäude muss aber schon seit mindestens 5 Jahren bestehen. Ausserdem werden Schwimmbadkollektoren und Heutrocknungsanlagen nicht unterstützt.

### b) - Photovoltaische Anlagen:

Die Grösse einer photovoltaischen Solaranlage wird oftmals in Kilowattpeak (kWp) angegeben. Dies beschreibt die Leistung einer Anlage unter Idealbedingungen (1000W/m<sup>2</sup>, 25 °C). Eine 1 kWp-Anlage hat also eine Maximalleistung von 1 kW. Die Fläche dieser Anlage ergibt sich aus der Leistung (1kW) geteilt durch die nutzbare Strahlung (Einstrahlung \* Wirkungsgrad), also  $1000 / (1000 * 13 / 100) = 7.7 \text{ m}^2$ .<sup>14</sup>

Die Förderbeiträge in Schaffhausen betragen:

- Versorgungsgebiet EKS AG: Fr. 2700 pro kWp (max. Fr 20'000.-)
- Stadt Schaffhausen: Fr. 2000 pro kWp (max. Fr. 40'000.-)

---

<sup>13</sup> <http://www.energie-schweiz.ch/imperia/md/content/energieinkanton/foerderung/5.pdf>

<sup>14</sup> <http://www.solarserver.de/lexikon/peakleistung.html>

## Lohnen sich Solarzellen in der Region Schaffhausen ökonomisch?

Jetzt komme ich zur zentralen Frage meiner Arbeit. Wie ist das Preis-Leistungsverhältnis bei Solaranlagen?

Zur Beantwortung dieser Frage, will ich drei unterschiedliche Szenarien für die Region Schaffhausen durchrechnen und mir die Amortisationszeiten anschauen:

- 1) Optimale Bedingungen – südliche Ausrichtung des Daches, 30° Neigung vom Boden, viel Einstrahlung, keine Verschattung
- 2) Normale Bedingungen – südwestliche/südöstliche Ausrichtung des Daches, 45° Neigung vom Boden, Verschattung
- 3) Schlechte Bedingungen – östliche/westliche Ausrichtung des Daches, senkrecht zum Boden (z.B an Hauswand), viel Verschattung

Szenario 1:

Einstrahlung: 1100 kWh/m<sup>2</sup> \* 105% (Ausrichtung)

Verschmutzung: 1%

Verschattung 0%

Sonstige Verluste gleich wie auf Abb. 4

Resultat: 116.8 kWh/m<sup>2</sup> pro Jahr

Szenario 2:

Einstrahlung: 1100 \* 95%

Verschmutzung: 1.5%

Verschattung: 5%

Sonstige Verluste gleich wie auf Abb. 4

Resultat: 99.9 kWh/m<sup>2</sup> pro Jahr

Szenario 3:

Einstrahlung: 1100 \* 70%

Verschmutzung: 2%

Verschattung: 10%

Sonstige Verluste gleich wie auf Abb. 4

Resultat: 69.4 kWh/m<sup>2</sup> pro Jahr

Ein Quadratmeter Solarzellen produziert also jährlich zwischen 69 und 117 kWh. Eine Kilowattstunde kostet in Schaffhausen zwischen 10 Rp und 25 Rp, je nach Zeit und Verbraucher. Ich habe nachgefragt beim Elektrizitätswerk des Kantons Schaffhausen (EKS AG), wieviel man denn bekommt für eingespeisten Solarstrom. Die ernüchternde Antwort lautete: 15,4 Rp. pro kWh von der EKS AG und 8 Rp. pro kWh als Bonus von der Axpo. Dies ergibt 23,4 Rp. pro kWh, eine kleine Summe wenn man bedenkt, dass bei uns der Kauf von Solarstrom Fr. 1,20 pro kWh kostet. Auf weiteres Nachfragen konnte ich aber feststellen, dass man auch direkt Verträge mit Abnehmern eingehen kann. Als Beispiel wurde mir eine Privatperson genannt, die der Stadt Schaffhausen Solarstrom verkauft. Der Preis: 80 Rp. pro kWh.<sup>15</sup>

So genannte Solarstrombörsen seien auch eine Möglichkeit, 80 Rp. bis Fr. 1,20 pro kWh für den Solarstrom zu bekommen. Dazu konnte ich leider keine genaueren Angaben für den Kanton Schaffhausen finden.<sup>16</sup>

---

<sup>15</sup> EKS AG

<sup>16</sup> <http://www.zagsolar.ch/photovoltaikanlagen.htm>

Wie teuer ist die Installation einer Solaranlage? Die Preise sind unterschiedlich je nach Anbieter, Qualität und natürlich der Grösse. Grössere Anlagen haben ein besseres Preis-Leistungs-Verhältnis aufgrund der höheren Zellenzahl: ein Wechselrichter, zum Beispiel, muss gekauft werden, egal ob man eine 1kWp- oder eine 6kWp-Anlage hat.

Als ich mir einige Anbieter unter die Lupe nahm, bin ich auf Preise zwischen 5000.- und 9000.- CHF pro kWp gestossen. Um eine Überschätzung zu vermeiden, rechne ich mit einem Preis von Fr. 8000.- pro kWp, umgerechnet also etwa Fr. 1000.- pro m<sup>2</sup>. Ich gehe von einer Anlagegrösse von 3 kWp aus.<sup>17/18/19</sup>

Dafür entstehen folgende Kosten:

Fr. 24000.-, wobei der Kanton noch Fr. 6000.- resp. Fr. 8100.- übernimmt, je nach Einzugsgebiet (siehe S. 9).

Daraus ergeben sich - je nach Szenario - folgende Amortisationszeiten:

Szenario 1:  $24 \text{ m}^2 * 116.8 \text{ kWh/m}^2 * 80 \text{ Rp.} = \text{Fr. } 2242,6$  pro Jahr  
reelle Amortisationszeit:  $24000 / 2242 = 10,7$  Jahre  
Amortisationszeit für Privatbesitzer:  $18000 / 2242 = 8,0$  Jahre.

Szenario 2:  $24 \text{ m}^2 * 99.9 \text{ kWh/m}^2 * 80 \text{ Rp.} = \text{Fr. } 1918,1$  pro Jahr  
reelle Amortisationszeit:  $24000 / 1918 = 12,5$  Jahre  
Amortisationszeit für Privatbesitzer:  $18000 / 1918 = 9,4$  Jahre

Szenario 3:  $24 \text{ m}^2 * 69.4 \text{ kWh/m}^2 * 80 \text{ Rp.} = \text{Fr. } 1332,5$  pro Jahr  
reelle Amortisationszeit:  $24000 / 1332 = 18,0$  Jahre  
Amortisationszeit für Privatbesitzer:  $18000 / 1332 = 13,5$  Jahre

Diese Amortisationszeiten gelten natürlich nur, wenn der ganze Solarstrom verkauft wird, und zwar an einen Direktabnehmer. Bei der Einspeisung ins Stromnetz (also Verkauf an die EKS AG) wären die Amortisationszeiten knapp dreieinhalb Mal so gross.

Die Stromkosten, die jedes Jahr anfallen sind nicht einbezogen. Ich betrachte die Solaranlage hier einfach als zusätzliche Einkommensquelle, die sich, sogar bei einem schlecht gelegenen Haus, schon ab einer Periode von 13,5 Jahren lohnt, vorausgesetzt man findet einen passenden Abnehmer.

Wenn man jetzt von einer Lebenszeit der Anlage von 30 Jahren ausgeht, ist es offensichtlich, dass Solarzellen, sogar bei pessimistischen Szenarien, mehr einbringen als sie kosten.

Angefügt werden muss allerdings, dass auch Solarzellen mit dem Alter eine gewisse Leistungseinbusse mit sich bringen. Heutzutage wird an 25-jährigen Solarzellen ein durchschnittlicher Leistungsabfall von 25% gegenüber ihrem ursprünglichen Wert gemessen. Die modernen Zellen sind qualitativ besser, also sollte dieser Wert deutlich kleiner sein. Die Zellen sind auch robust und vollkommen in der Lage 30 Jahre oder sogar noch länger Strom zu produzieren.<sup>20</sup>

Bei meinen Berechnungen bin ich immer relativ pessimistisch vorgegangen, um die Photovoltaik nicht zu überschätzen. Trotzdem sind die berechneten Amortisationszeiten deutlich kleiner als die Lebensdauer der Solarzellen.

---

<sup>17</sup> <http://www.havelland-wind.de/>

<sup>18</sup> [http://www.marasolar.at/setangebot\\_6\\_kwp.html](http://www.marasolar.at/setangebot_6_kwp.html)

<sup>19</sup> <http://www.solarserver.de/solarmagazin/artikelaugust2004.html>

<sup>20</sup> Ralf Haselhuhn, Photovoltaik, Köln 2005, S.106

Lohnen sich Solarzellen also ökonomisch gesehen? Die Antwort darauf ist ein klares Ja, jedoch muss man verhältnismässig lange warten, nachdem man die grosse Investition aufgebracht hat, bis sich die Anlage zurückgezahlt hat und Ertrag über die Investition hinaus abwirft.

## Was wäre in Schaffhausen alles möglich mit Solarzellen?

Könnte der Kanton Schaffhausen seinen Strombedarf allein mit photovoltaischen Solarzellen decken? Würde sogar nur das Ausrüsten von öffentlichen Gebäuden dies erreichen? Diese Fragen will ich untersuchen, und zwar mithilfe eines Computer-Programmes namens ArcGis.

Folgende Karte zeigt die Kantonsfläche von Schaffhausen. Grau zeigt die Dachfläche, wobei gewisse Gemeinden in den Daten nur teilweise oder gar nicht vorhanden sind. Die unvollständig erfassten Gemeinden sind weiss. Die Altstadt Schaffhausen ist auch noch nicht in den Daten erfasst, jedoch ist da die Installation von Solarzellen ohnehin problematisch aufgrund des Denkmalschutzes.

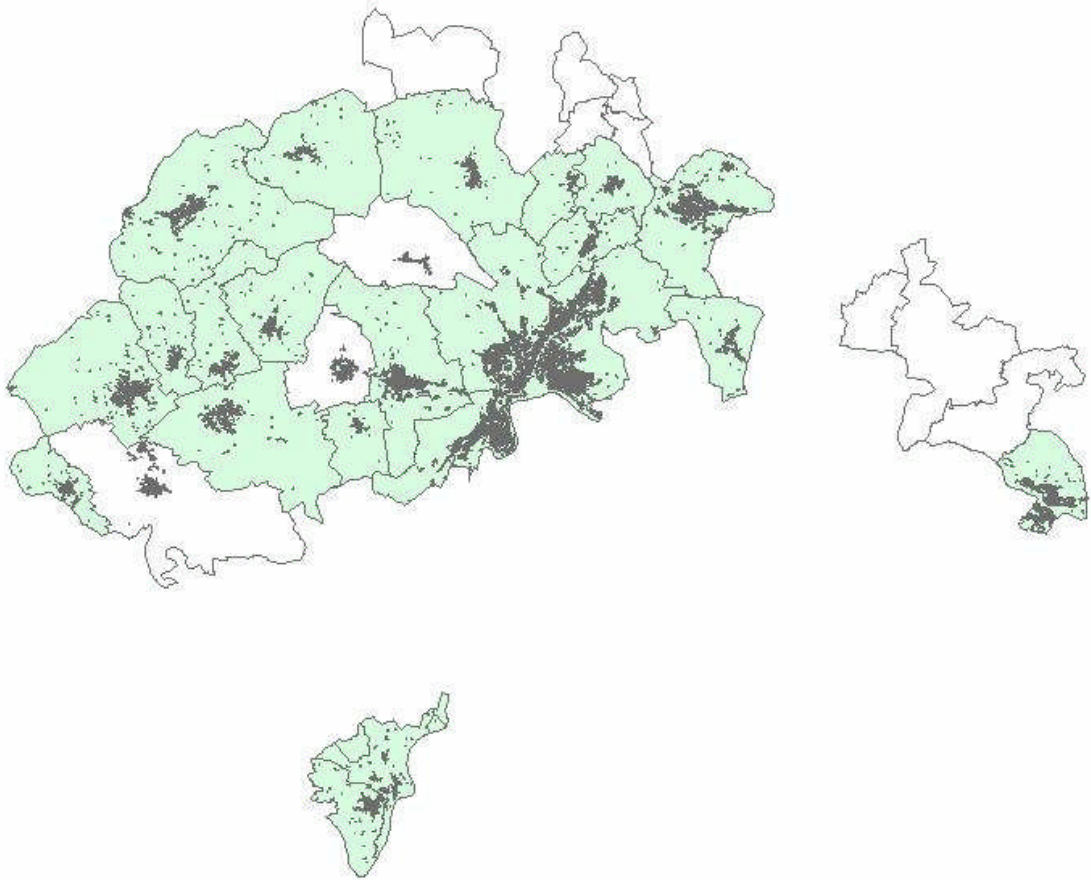


Abb. 5: Dachfläche des Kantons Schaffhausen.

Mittels des Programmes ArcGis, kann ich die Dachfläche von öffentlichen Gebäuden hervorheben (siehe unten). In einer separaten Tabelle wird auch die Summe der Dachflächen angegeben, was natürlich jegliche Berechnungen um einiges erleichtert. Die Dachfläche von öffentlichen Gebäuden ist in diesem Fall  $244'377.6 \text{ m}^2$ , inklusive der nur teilweise erfassten Gemeinden. Die reelle Fläche ist also noch ein wenig grösser. Wenn ich davon ausgehe, dass zum Beispiel 20% dieser Dachfläche für die Produktion von Solarstrom nutzbar ist, ergibt das immer noch  $48'875.4 \text{ m}^2$ .

Gerechnet mit den Zahlen aus Szenario 3 (also dem schlechtesten) ergibt dies eine Jahresproduktion von 3421278 kWh, also mehr als 3.4 Gigawattstunden. Als Vergleich: in Schaffhausen wurde im Jahr 2004 insgesamt 182.46 Gigawattstunden verbraucht.<sup>21</sup>

<sup>21</sup> <http://www.shpower.ch/index.cfm?fuseaction=strom.fakten>

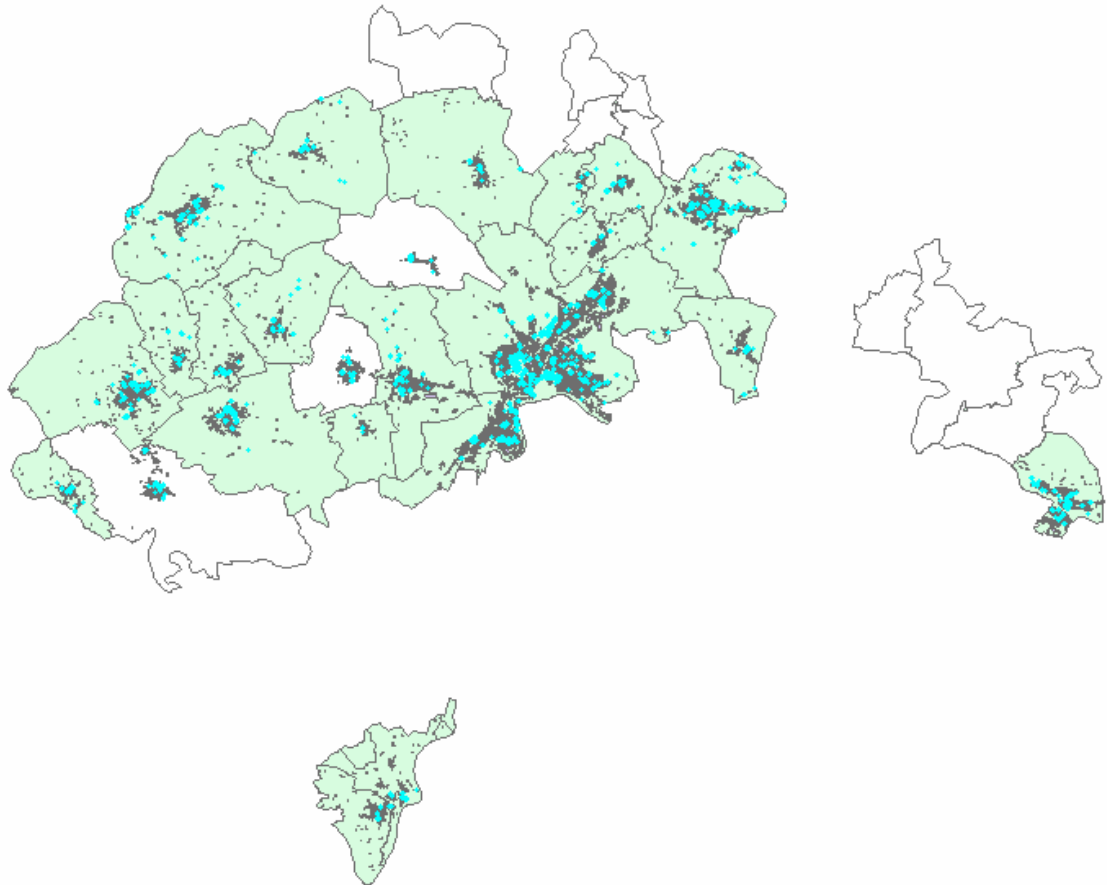


Abb. 6: Dachfläche des Kantons Schaffhausen getrennt in öffentliche (blau) und sonstige Gebäude.

Wenn man jetzt 20% der gesamten Dachfläche (unabhängig von der Neigung) des Kantons mit Solarzellen ausrüsten würde, gäbe dies eine jährliche Stromproduktion von 57.8 Gigawattstunden. 100% der Fläche entsprächen einer Energie von 289 GWh pro Jahr. Diese Rechnung wurde wieder mit den Werten von Szenario 3 (d.h. schlechteste Bedingungen) durchgeführt. Ausserdem muss berücksichtigt werden, dass gewisse Gemeinden hier fehlen, daher wäre der Wert noch höher (vgl. Karte oben).

Allerdings reicht es nicht, wenn Schaffhausen nur Solarstrom produziert. Schliesslich brauchen wir in der Nacht und im Winter auch ausreichend Strom, und dann muss die Energie aus einer anderen Quelle kommen. Die heute vorhandenen Methoden, um Strom zu speichern, sind leider noch sehr ineffizient. Daher ist die fluktuierende Leistung eines der grössten Probleme der Solarenergie, und ein wichtiges Ziel muss sein, sinnvolle Energiespeichermethoden zu finden. Sonst werden wir nie auf andere Energiequellen verzichten können.

## **Ist ein zusätzlicher Aufwand mit dem Besitz von Solarzellen verbunden?**<sup>22</sup>

Nebst den reinen Kosten, ist diese Frage natürlich auch sehr interessant für Privatbesitzer. Schliesslich will jeder wissen, was getan werden muss, um die optimale Leistung aus seiner Solaranlage zu bekommen. Der zusätzliche Aufwand ist allerdings relativ gering.

Grundsätzlich sind folgende Punkte wichtig:

- Sind die Solarzellen frei von Objekten oder Schmutz?
- Ist die Elektronik geschützt und unbeschädigt?
- Sind die Zellen noch korrekt befestigt?

Diese Fragen sollte sich ein Solarzellenbesitzer stellen. Wenn er alle 3 mit einem Ja beantworten kann, muss nichts unternommen werden. Sonst muss ein Aufwand betrieben werden, um dies zu ändern. Vieles kann ein Besitzer selbst visuell überprüfen. Der Wechselrichter hat auch eine Störungsanzeige. Solche einfachen Kontrollen sollten so oft wie möglich durchgeführt werden.

Gewisse Dinge, wie z.B. die elektrische Installation, erfordern jedoch das Fachwissen einer Installationsfirma. Deren Kontrollen müssen aber nur selten durchgeführt werden. Gewisse Solarplaner raten zu jährlichen Kontrollen, ich bezweifle jedoch, dass solche öfters als alle zwei oder drei Jahre durchgeführt werden müssen.

Eine Solaranlage muss auch nicht oft gereinigt werden, vor allem bei uns wo die Verschmutzung sehr gering ist. Jedoch müssen im Herbst Blätter von den Zellen entfernt werden, falls vorhanden. Sonst muss mit einer Leistungseinbusse gerechnet werden.

Ein Überspannungsableiter ist auch zu empfehlen, da es bei Gewittern zu Schäden an der Anlage kommen kann, sollte ein Blitz in der Nähe einschlagen.

Vor der Installation sollte auch abgeklärt werden, ob die Versicherung Schäden an Solaranlagen einschliesst, oder ob die Wertsteigerung des Gebäudes die Versicherungsprämie erhöhen würde.

---

<sup>22</sup> Ralf Haselhuhn, Photovoltaik, Köln 2005, S. 111

## Wie umweltfreundlich sind Solarzellen wirklich?

In diesem Kapitel will ich untersuchen, ob Solarzellen die für ihre Herstellung benötigte Energie (auch bekannt als graue Energie) je wieder selbst produzieren oder sogar übertreffen.

Die Herstellung von photovoltaischen Zellen aus Silizium ist äusserst energieaufwändig. Das Element Silizium ist zwar reichlich vorhanden, jedoch nicht in reiner Form vorzufinden. Früher bekam man ausreichende Mengen in Form von Abfällen aus der Elektronikbranche, heute ist der Bedarf aber so gross, dass es unter hohen Temperaturen aus Quarzsand gewonnen werden muss.

Die Herstellung selbst erfordert auch wieder enorme Energiemengen. Das Silizium muss zuerst „gereinigt“ werden, dann wird es geschmolzen, und man lässt es auf eine bestimmte Art und Weise abkühlen, je nach Zellentyp. Es sind Temperaturen bis 1500 °C erforderlich. Die Installation der Solaranlage braucht dann selbstverständlich auch noch Energie.<sup>23</sup>

Für die tatsächlich aufgewandete Energie, die notwendig ist um eine photovoltaische Zelle herzustellen, greife ich auf eine Studie des Schweizerischen Spenglermeister- und Installateur-Verband (SSIV)<sup>24</sup> zurück, die sich mit der grauen Energie von Solarzellen befasst. Laut deren Berechnungen braucht die Herstellung und Installation einer 3-kW-Solarzellenanlage einen totalen Energieaufwand von 12550 kWh. Sie geht auch davon aus, dass diese Anlage einen jährlichen Energieertrag von 2600 kWh hat.

Wenn also die

$$\text{Energetische Amortisationszeit} = \text{graue Energie} / \text{produzierte Energie pro Jahr}$$

ist, so ergibt das eine Amortisationszeit von etwa 4.8 Jahren. Dies bedeutet, dass sich die Herstellung der Solaranlage nach 5 Jahren (energetisch) ausbezahlt hat. Diese Zeitangabe wurde mir auf der Webseite der Energiebüro AG bestätigt, wobei eine andere Quelle sogar von 3 Jahren sprach.<sup>25 / 26</sup>

Wenn ich von den oben genannten 12550 kWh für die Herstellung und Installation ausgehe, liegen die energetischen Amortisationszeiten nach meinen Berechnungen zwischen 7.4 Jahren bei Szenario 3 und 4.5 Jahren bei Szenario 1.

Bei Solarthermischen Anlagen liegt dieser Wert sogar noch deutlich tiefer. Die Studie errechnet eine graue Energie von 52'820 kWh für eine 50-m<sup>2</sup>-Anlage, mit einem jährlichen Ertrag von 30'000 kWh. Dies ergibt eine energetische Amortisationszeit von weniger als 1.8 Jahren.

---

<sup>23</sup> Ralf Haselhuhn, Photovoltaik, Köln 2005, S. 14

<sup>24</sup> SSIZ, Nr. 13 / 2000

<sup>25</sup> [http://www.energiesparhaus.at/energie/pv\\_details.htm](http://www.energiesparhaus.at/energie/pv_details.htm)

<sup>26</sup> <http://www.energieburo.ch/faq>

Bei der Herstellung von Solarzellen werden grundsätzlich keine giftigen Stoffe freigesetzt. Die Lötverbindungen der meisten Zellen enthalten zwar Blei, doch in minimalen Mengen. Cadmium wird bei gewissen Herstellern auch verwendet, doch nur in ungiftigen Verbindungen. Somit ist die umweltgerechte Entsorgung von Solarmodulen relativ einfach.

Mittlerweile sei es sogar möglich, alte Solarmodule in die Einzelteile zu zerlegen, aufzubereiten und wiederzuverwenden, jedoch mit einem etwas tieferen Wirkungsgrad. Der dafür benötigte Energieaufwand sei um bis zu 80% kleiner als derjenige, der für die Herstellung gebraucht wird. Eine Pilotanlage für dieses Verfahren ist seit 2003 in Freiberg (Deutschland) in Betrieb.<sup>27</sup>

---

<sup>27</sup> Ralf Haselhuhn, Photovoltaik, Köln 2005, S. 14

## **Solarenergie in der Zukunft**

Die Solarenergie hat in den letzten Jahren und Jahrzehnten sehr an Bedeutung zugenommen. Trotzdem deckt sie bis heute nur einen kaum nennenswerten Bruchteil des weltweiten Energiebedarfs. Es stellt sich die Frage, ob dies sich jemals ändern wird. Ich bin der festen Überzeugung, dass die Solarenergie, früher oder später, eine sehr wichtige Energiequelle sein wird. Schliesslich sind die Reserven an fossilen Energieträgern begrenzt und voraussichtlich schon bald erschöpft, oder die Gewinnung von Öl wird exponentiell teurer. Die OPEC (Organisation of Petroleum Exporting Countries) warnt schon jetzt, dass sie den Bedarf bald nicht mehr decken kann.<sup>28</sup>

Ausserdem werden grosse Summen in die Forschung und Entwicklung von besseren und billigeren Solaranlagen investiert, teilweise sogar von grossen Ölkonzernen wie Shell. Dies sollte uns ein klares Zeichen geben, dass ein Umdenken dringendst nötig ist. Die Erfolge dieser Forschung sehen wir jetzt schon am Aufkommen vieler neuer Solarprojekte. Der steigende Ölpreis wird auch viele dazu veranlassen, sich neue Möglichkeiten zur Energiebeschaffung zu überlegen. Hier wird sicher auch die Solarenergie mit ihren sinkenden Kosten in Erwägung gezogen werden.

### Höhere Wirkungsgrade – tiefere Kosten

Im Moment sind die Wirkungsgrade von photovoltaischen Solarzellen begrenzt, da sie nur einen kleinen Teil der elektromagnetischen Wellen in Elektrizität umwandeln können. Hier wird viel geforscht und ein Durchbruch könnte zu deutlich höheren Wirkungsgraden führen. In die Kostensenkung der Herstellung wird auch viel investiert. Die Preise sind konstant am Sinken und betragen heute im Durchschnitt weniger als die Hälfte des Wertes von 1990. Ausserdem hat sich die Produktionsmenge seit 1990 mehr als verzehnfacht.<sup>29</sup>

### Neue Technologien

Es gibt verschiedene Typen von Solarzellen, und eine Art, welche meiner Meinung nach sehr viel Potenzial hat, sind die sogenannten Dünnschichtzellen. Diese sind im Moment sehr am Kommen und haben mittlerweile knapp 10% Marktanteil erreicht. Es handelt sich um Solarzellen, die nur eine Dicke von 3mm bis 6mm haben. Laut einem englischen Wissenschaftsmagazin gibt es sogar welche, die fast wie ein Gewebe behandelt und auf verschiedenen Oberflächen befestigt werden können. Hier wäre es sogar denkbar, Jacken oder sonstige Kleidung mit Solarzellen zu versehen, die dann das Mobiltelefon oder sonstige Geräte mit Strom versorgen. Die Herstellungskosten sollen dank der einfachen Massenproduktion recht tief sein.<sup>30</sup>

---

<sup>28</sup> Financier Times Europe, 7.7.2005, S. 1

<sup>29</sup> Ralf Haselhuhn, 2005, Photovoltaik, Köln, S. 128

<sup>30</sup> New Scientist, Dezember 2004, Ausgabe 2478

## **Fazit**

Ich habe mich jetzt über ein halbes Jahr lang mit dieser Maturaarbeit und dem Thema Solarzellen befasst. Was ist dabei herausgekommen?

Meine Untersuchungen haben gezeigt, dass man zuerst einige Dinge abklären muss, bevor man in eine Solaranlage investieren soll. Dazu gehören sowohl standortbedingte Umstände (Exposition, Einstrahlung, etc) wie auch finanztechnische Bedingungen (Abnehmer, Versicherung, etc). Grundsätzlich kann ich jetzt sagen, dass man durch die Photovoltaik tatsächlich Geld verdienen kann. Dabei ist die wichtigste Voraussetzung, dass man einen Abnehmer für seinen Solarstrom findet, der bereit ist einen fairen Preis zu bezahlen.

Meine Berechnungen haben auch gezeigt, dass Schaffhausen einen grossen Teil seines Strombedarfs durch die Photovoltaik decken könnte, auch ohne den Bau von zusätzlichen Gebäuden oder Panelflächen. Für eine vollkommene Eigenversorgung wären Durchbrüche in der Energiespeicherung nötig, doch wer weiss was die Zukunft mit sich bringt.

Meiner Meinung nach sind Solarzellen eine Investition in die Zukunft. Auf andere Energiequellen umsteigen müssen wir so oder so, und die Solarenergie bietet sich da als Alternative an. Die Herstellung ist umweltfreundlich, und zudem unterstützen Investitionen in Solaranlagen deren Hersteller, um dadurch Forschung und Entwicklung von besseren und billigeren Produkten vorantreiben können.

## Zusammenfassung der Arbeit

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit der Wirtschaftlichkeit von Solarzellen im Kanton Schaffhausen. Die Funktionsweisen von thermischen und photovoltaischen Solarzellen werden beschrieben, und die Faktoren, welche eine Rolle für deren Produktivität spielen, erklärt. Dies sind Sonneneinstrahlung, Temperatur und Zelleneffizienz.

Ich habe untersucht, wie geeignet die Region für Solaranlagen ist. Die Resultate sind nicht umwerfend, doch Schaffhausen ist ein akzeptabler Solarstandort.

Ich habe berechnet, wieviel Energie photovoltaische Solarzellen wirklich liefern. Es ergaben sich Werte zwischen  $69 \text{ kWh/m}^2$  und  $117 \text{ kWh/m}^2$  pro Jahr im Kanton Schaffhausen, je nach Eignung des Standorts.

Kern der Arbeit aber sind die Berechnungen zu den Amortisationszeiten. Bei einer Vergütung von 80 Rp. pro kWh eingespeiseter Strom liegen diese zwischen 8 und 14 Jahren, sofern der Besitzer Gebrauch von den Fördermassnahmen des Kantons macht. Ein Preis von 80 Rp/kWh ist schwer zu finden, da die EKS AG und die Axpo gemeinsam nur 23,4 Rp/kWh bezahlen. Ein weiterer Schwerpunkt untersucht die Frage, ob Schaffhausen theoretisch seinen Strombedarf nur durch Solarenergie decken könnte. Das Resultat ist erstaunlich: könnte man die Energie ohne Verluste speichern, so wäre die heutige Dachfläche des Kantons mehr als ausreichend für eine Selbstversorgung. Leider sind die Verluste bei der Energiespeicherung heutzutage noch zu hoch.

Des Weiteren wurde die Benutzerfreundlichkeit von Solarzellen hinterfragt: Ein gewisser Mehraufwand ist durchaus mit dem Besitz einer Solaranlage verbunden, doch ist dieser kleiner als viele denken.

Die Umweltfreundlichkeit von Solarzellen ist umstritten. Daher habe ich den Herstellungsprozess und die „graue Energie“ genauer angeschaut. Bei der Produktion entstehen kaum Schadstoffe und die Zellen liefern in ihrer langen Lebenszeit deutlich mehr Strom als für ihre Herstellung benötigt wurde.

Ein letzter Abschnitt befasst sich mit der Zukunft der Solarenergie.

## **Danksagungen**

Meine Arbeit wurde mir durch eine Vielzahl von hilfsbereiten Menschen um einiges erleichtert. Für ihre Hilfe will ich hiermit herzlich danken.

Als Erstes vielen Dank an Frau A. Jablonkay, die Betreuerin dieser Arbeit. Ohne sie wäre das Projekt in dieser Form sicher nicht möglich gewesen. Ganz besonders willkommen war ihre Unterstützung am Anfang.

Auch den freundlichen und hilfsbereiten Mitarbeitern der ESRI Geoinformatik AG, der Energiefachstelle Schaffhausen und der EKS AG bin ich sehr dankbar. Erwähnen will ich vor allem Tom Zbinden der ESRI AG für seine Hilfe mit der ArcGis Software und Herrn Müller der EKS AG, der mir Auskunft über Solarstrom gegeben hat.

Ferner vielen Dank an Spengler H.P. Hauser. Er hat mir spontan nützliche Informationen, die er gesammelt hatte, photokopiert und zugestellt. Auch die Studie über die graue Energie stammt von ihm.

Meiner Familie und meinen Freunden bin ich dankbar für moralische Unterstützung und Anregungen.

## Quellenverzeichnis

Bild Titelblatt: [http://www.cleanenergyinternational.com/solar\\_pv.htm](http://www.cleanenergyinternational.com/solar_pv.htm)

- 1) <http://www.solarserver.de/wissen/photovoltaik.html#wie>
- 2) Ralf Haselhuhn, Photovoltaik, TÜV-Verlag GmbH, Köln 2005
- 3) [http://www.solidee.de/bilder/solarthermie\\_haus\\_gross.jpg](http://www.solidee.de/bilder/solarthermie_haus_gross.jpg)
- 4) <http://www.solarserver.de/wissen/solarthermie.html>
- 5) Ralf Haselhuhn, Photovoltaik, TÜV-Verlag GmbH, Köln 2005
- 6) [http://www.sonne-heizt.de/Erneuerbare\\_Energie/Solarenergie/solarenergie.html](http://www.sonne-heizt.de/Erneuerbare_Energie/Solarenergie/solarenergie.html)
- 7) <http://www.iee.tu-berlin.de/lehre/Download/PE1.pdf>
- 8) <http://www.solarserver.de/wissen/photovoltaik.html#wie>
- 9) <http://www.meteoschweiz.ch/de/Daten/VergMesswerte/IndexVergMesswerte.shtml>
- 10) [http://www3.stzh.ch/internet/ewz/home/produkte/energieprodukte/oekostrom/preise\\_premium\\_strom.html](http://www3.stzh.ch/internet/ewz/home/produkte/energieprodukte/oekostrom/preise_premium_strom.html)
- 11) Ralf Haselhuhn, Photovoltaik, TÜV-Verlag GmbH, Köln 2005
- 12) Meteo Schweiz, Schaffhausen: Jahrestabelle 2004
- 13) <http://www.energie-schweiz.ch/imperia/md/content/energieinkanton/foerderung/5.pdf>
- 14) <http://www.solarserver.de/lexikon/peakleistung.html>
- 15) Herr Müller, EKS AG
- 16) <http://www.zagsolar.ch/photovoltaikanlagen.htm>
- 17) <http://www.havelland-wind.de/>
- 18) [http://www.marasolar.at/setangebot\\_6\\_kwp.html](http://www.marasolar.at/setangebot_6_kwp.html)
- 19) <http://www.solarserver.de/solarmagazin/artikelaugust2004.html>
- 20) Ralf Haselhuhn, Photovoltaik, TÜV-Verlag GmbH, Köln 2005
- 21) <http://www.shpower.ch/index.cfm?fuseaction=strom.fakten>
- 22) Ralf Haselhuhn, Photovoltaik, TÜV-Verlag GmbH, Köln 2005
- 23) Ralf Haselhuhn, Photovoltaik, TÜV-Verlag GmbH, Köln 2005

- 24) SSIZ, Nr. 13 / 2000
- 25) [http://www.energiesparhaus.at/energie/pv\\_details.htm](http://www.energiesparhaus.at/energie/pv_details.htm)
- 26) <http://www.energieburo.ch/faq>
- 27) Ralf Haselhuhn, Photovoltaik, TÜV-Verlag GmbH, Köln 2005
- 28) Financier Times Europe, 7.7.2005
- 29) Ralf Haselhuhn, Photovoltaik, TÜV-Verlag GmbH, Köln 2005
- 30) New Scientist, Dezember 2004, Ausgabe 2478