

# Maturaarbeit

## Machbarkeitsstudie einer autonomen Stromversorgung Monsteins



Benjamin Hoffmann

Betreuer: Ruedi Bless

2009

Schweizerische Alpine Mittelschule Davos

## **Zusammenfassung**

In dieser Arbeit klärte ich ab, ob es für Monstein machbar wäre, eine autonome Stromversorgung aufzubauen. Ich habe die maximalen Sonnenstunden ausgerechnet und habe mit diesen die ungefähre Leistung der Anlage in kWh/m<sup>2</sup> berechnet. Nach meinen Resultaten wäre eine Photovoltaikanlage in Monstein mit bis zu 5'359'253.9 kWh Leistung pro Jahr so ertragreich, dass eine autonome Stromversorgung möglich wäre. Ich habe in meiner Arbeit dazu noch eine Umfrage bei einem Teil der Dorfbevölkerung und bei einigen Touristen durchgeführt. Sie soll zeigen, wie die Bevölkerung und die Besucher Monsteins die Wichtigkeit einer umweltfreundlichen Energieproduktion gegenüber zum Dorfbild abwägen. Ich bemerkte bei den Auswertungen der Umfragen, dass ein Grossteil der befragten Personen für eine Photovoltaikanlage wäre, aber nicht an meinem vorgeschlagenen Ort.

# Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung.....	1
2.1. Geschichte .....	2
2.2. Aufbau.....	3
2.2.1. Solarzellen.....	3
2.3. Funktionsweise .....	6
3. Speicher .....	8
3.1. Einführung Drückluftspeicher .....	8
3.2. Vergleich zu der Beleibatterie .....	10
3.3. Fazit des Druckluftspeichers für Monstein .....	12
4. Leistung der Anlage.....	13
4.1. Horizont.....	13
4.2. Maximale Sonnenstunden.....	15
4.3. Ausrichtung der Solarpanels .....	16
4.4. Maximale Leistung der Anlage.....	18
4.6. Ergebnisse .....	19
4.7. Interpretation .....	20
5. Autonome Stromversorgung.....	21
6. Umfrage.....	22
6.1. Verteilte Fragebögen.....	23
6.2. Auswertung .....	25
6.2.1. „übrige Einheimische“ .....	26
6.2.2. Interpretation .....	27
6.2.3. Bauern.....	28
6.2.4. Interpretation .....	29
6.2.5. Touristen .....	30
6.2.6. Interpretation .....	31
6.2.7. Auswertung aller befragten Personen zusammen .....	32
6.2.8. Interpretation: .....	34
7. Quellenverzeichnis .....	35

# 1. Einleitung

Der Klimawandel schreitet immer mehr voran und es zeigt sich allmählich, dass wir nicht genug dagegen unternehmen. Da der Klimawandel und die Massnahmen gegen ihn in unserer heutigen Zeit ein populäres Thema sind, habe ich mich entschlossen, meine Maturaarbeit auch zu diesem Thema zu machen. Mich hat es vor allem interessiert, was in meinem Heimatdorf Monstein für ein Potential vorhanden ist, um umweltfreundlich Strom zu produzieren, im speziellen mit Photovoltaik. Dazu habe ich einen der sonnigsten Plätze in Monstein ausgewählt und abgeklärt, wie viel „Ertrag“ man dort gewinnen könnte. Mit dem Schlussergebnis, also der Anzahl kWh/y, überprüfte ich noch, ob eine autonome Stromversorgung nur mit Sonnenenergie möglich wäre.

In einem anderen Teil meiner Arbeit befasste ich mich mit einer Umfrage. Man kann oft hören, dass Monstein ein schönes Dorfbild habe. Darum wollte ich überprüfen, was nun den Leuten wichtiger ist, das Dorfbild erhalten oder doch einen Beitrag zum Umweltschutz leisten.

## 2. Einführung Photovoltaik

Photovoltaik ist die direkte Umwandlung von Licht in elektrische Energie in einer Solarzelle. Wegen dem Photoeffekt geschieht dies ganz Bewegungs-, Geräusch- und Emissionsfrei. <sup>1</sup>

### 2.1. Geschichte

Der Name Photovoltaik setzt sich aus den Teilen Photos (Genitiv vom altgriechischen phos = Licht) und Volta (nach Alessandro Volta, einen italienischen Pionier der Erforschung der Elektrizität<sup>2</sup>) zusammen.

Bereits im Jahre 1839 entdeckte der französische Physiker Alexandre Edmond Becquerel den photovoltaischen Effekt. Albert Einstein gelang es dann 1905 den photovoltaischen Effekt zu erklären, wofür er 1921 den Nobelpreis für Physik erhielt. Nach weiteren Entwicklungen gelang es dann 1954 Daryl Chapin Calvin Fuller und Gerald Pearson die erste Siliziumzelle mit einem Wirkungsgrad von über 4 Prozent zu entwickeln. In der Satellitentechnik kamen die ersten Solarzellen Ende der 1950er Jahre zum Einsatz. Der vierte Satellit und der erste mit Solarzellen hiess Vanguard 1 und startete am 17. März 1958 in die Erdumlaufbahn. In den nächsten 20 Jahren erreichte man in der Photovoltaik entscheidende Fortschritte, die vor allem auf die Nachfrage der Raumfahrt zurückzuführen sind. Wegen der Energiekrise in den 1970er Jahren und des ohnehin gestiegenen Umweltbewusstseins wurde politisch verstärkt versucht, Photovoltaik durch technische Entwicklungen auch wirtschaftlich interessanter zu machen. Führend dabei sind die USA, Japan und Deutschland, welche finanziellen Anreiz bieten mit Hilfe gesetzlicher Massnahmen (wie in Deutschland zum Beispiel das Erneuerbare-Energien-Gesetz EEG).

---

<sup>1</sup> [www.solarch.ch/main/Show\\$Id=309\\$LoName=solar\\_frames\\_right.tml](http://www.solarch.ch/main/Show$Id=309$LoName=solar_frames_right.tml) letzte Konsultation: 5.8.09

<sup>2</sup> [www.moose2.de/photovoltaik.htm](http://www.moose2.de/photovoltaik.htm); Autor: Stefan Lidel; letzte Konsultation 5.8.09  
<http://de.wikipedia.org/wiki/Photovoltaik>; letzte Aktualisierung: 24.7.09

## 2.2. Aufbau

### 2.2.1. Solarzellen

Solarzellen bestehen aus mehreren dünnen Schichten aus Halbleitermaterialien. Silizium ist dabei, weltweit gesehen, das am meisten (98%<sup>3</sup>) verwendete Basismaterial. Die entscheidenden Vorteile von Silizium sind, dass es das zweithäufigste Element in der Erdkruste ist und somit in einem ausreichendem Mass vorhanden ist, und dass es umweltverträglich ist.

Der Rohstoff für Silizium ist Sand. Um es allerdings in hochreines Silizium umzuwandeln muss es mühsam chemisch von allen Fremdstoffen gereinigt werden. Das Silizium wird bei über 100°C zu einer Siliziumschmelze geschmolzen. Danach setzt man bei der flüssigen Siliziumschmelze einen Silizium Keimkristall aus. Beim Abkühlen bildet sich um den Keimkristall ein Grosskristall, welcher anschliessend in nicht mehr als einen halben Millimeter dünne Scheiben geschnitten wird. Solarzellen aus diesem Silizium nennt man monokristalline Zellen, da sie aus einem Kristall geschnitten werden. Neben dem monokristallinen Silizium gibt es noch polykristallines Silizium, bei dem kein Keimkristall eingesetzt wurde und somit beim Abkühlen mehrere Kristalle gebildet wurden. Daneben gibt es auch noch amorphes Silizium, bei dem die Atome nicht in einem Gitter geordnet sind. Das amorphe Silizium kann so mehr Sonnenlicht absorbieren und darum genügen für eine Solarzelle schon wenige tausendstel Millimeter. Amorphes Silizium findet man vor allem in Solarzellen von Taschenrechnern und Armbanduhren.

Die Siliziumschicht ist in der Solarzelle ein Halbleiter. Auf der Oberseite der Siliziumschicht befindet sich die Leiterbahn und auf der Unterseite die Leiterschicht, eine durchgehende Metall-Kontaktfläche. Die genutzte Siliziumschicht ist allerdings nicht hochrein. Auf der Oberseite liegt eine sehr feine Phosphor-Schicht und auf der Unterseite eine sehr feine Bor-Schicht. Die Verunreinigung der Oberflächen ist etwa so gering wie ein Tintentropfen, der gleichmässig auf der Oberfläche eines Schwimmbades verteilt wurde, also sehr gering. Und doch ist diese Verunreinigung sehr wichtig, wie man später noch sehen wird.

---

<sup>3</sup> [www.solararch.ch/main/Show?id=453&LoName=solar-frames-right.html](http://www.solararch.ch/main/Show?id=453&LoName=solar-frames-right.html) ; letzte Konsultation: 5.8.09  
Wandrey Uwe; Originalausgabe August 2003, Kraftwerk Sonne. Rowohlt Taschenbuch GmbH:  
Reinbek bei Hamburg. S. 84 und 85

Im folgenden Bild ist der Aufbau und die Funktionsweise einer Solarzelle unter Sonneneinstrahlung dargestellt. Typisch für alle Solarzellentypen ist, dass immer Gleichstrom produziert wird.<sup>4</sup>

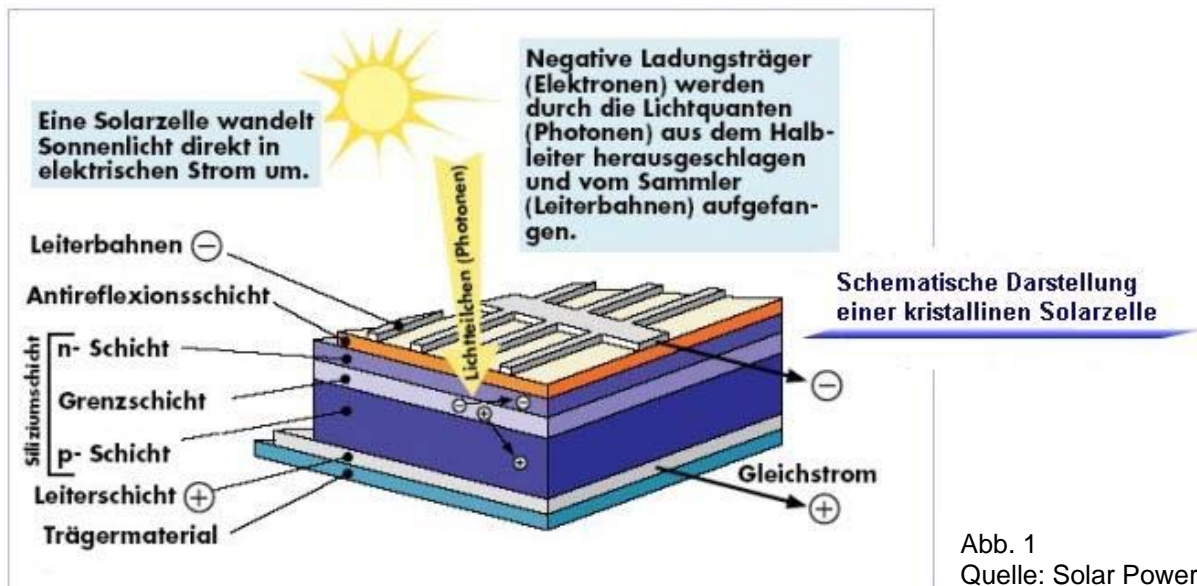


Abb. 1  
Quelle: Solar Power Box

Die Stromstärke (Ampère), die die Solarzelle produziert, ist proportional zur Einstrahlung der Sonne.

Die Spannung (Volt) einer einzelnen Solarzelle lässt sich nicht mit der Einstrahlung erhöhen. Um eine höhere Spannung zu erreichen, werden mehrere Solarzellen in eine Reihe geschaltet. Dabei werden die Zellen miteinander verbunden, Pluspol mit Minuspol. (siehe Abb. 2)

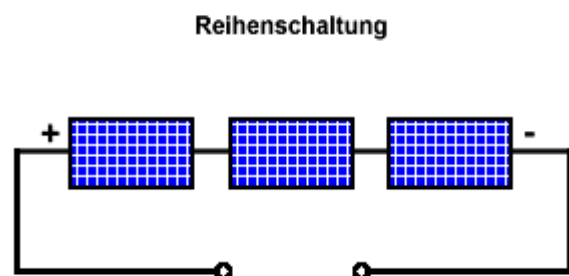


Abb. 2  
Quelle: <http://www.ofenloew.de/bilder/reihenschaltung.gif> ; letzte Konsultation: 6.8.09

<sup>4</sup> [www.solarch.ch/main/Show?id=453&LoName=solar-frames-right.html](http://www.solarch.ch/main/Show?id=453&LoName=solar-frames-right.html) ; letzte Konsultation: 5.8.09  
Wandrey Uwe; Originalausgabe August 2003, Kraftwerk Sonne. Rowohlt Taschenbuch GmbH: Reinbek bei Hamburg. S. 94

### 2.2.2. Solarmodule

Da die vom Sonnenlicht induzierte Spannung in eine Solarzelle von ca. 0.5 V in Siliziumzellen für die meisten Anwendungen nicht ausreichend ist, werden mehrere Solarzellen in Reihe geschaltet.<sup>5</sup> Als Schutz vor äusseren Einflüssen werden die in Reihe geschalteten Solarzellen witterungsbeständig verpackt. Dies geschieht von der Vorderseite mit Glas oder Kunststoff (Antireflex) und von der Rückseite her meistens mit Kunststofffolien.<sup>6</sup>

Auf dem folgenden Bild kann man ein Solarmodul mit in Reihe geschalteten Solarzellen erkennen.

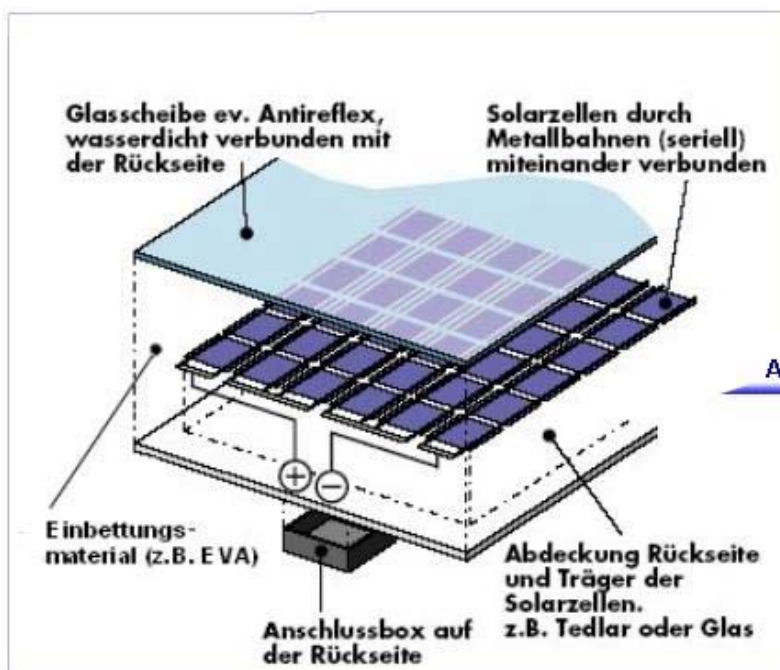


Abb. 3  
Quelle: Solar Power Box

<sup>5</sup> Hennie Peter und Fishedick Manfred; Originalausgabe 2007, Erneuerbare Energien. Verlag C.H. Beck oHG: München. S. 32 und 33

<sup>6</sup> [www.solarch.ch/main/Show?id=453&LoName=solar-frames-right.html](http://www.solarch.ch/main/Show?id=453&LoName=solar-frames-right.html) ; letzte Konsultation: 5.8.09

### 2.3. Funktionsweise

Wie schon erwähnt ist die Siliziumschicht auf der Oberseite mit Phosphor-Atomen und auf der Unterseite mit Bor Atomen verunreinigt. Die Idee dahinter ist, dass die Phosphor Atome ein Elektron mehr besitzen als die Silizium Atome. Dadurch steht sozusagen ein zusätzliches Elektron auf Abruf bereit. Die Oberfläche der Solarzelle wird damit negativ geladen und bildet den sogenannten „n-Bereich“. Die Bor-Atome besitzen dagegen ein Elektron weniger als Silizium Atome, weshalb die Unterseite positiv geladen ist und den sogenannten „p-Bereich“ bildet ( siehe Abb. 1). Zwischen dem „n-Bereich“ und dem „p-Bereich“ besteht jetzt ein elektrisches Gefälle. Diese elektrische Spannung beträgt bei einer Siliziumsolarzelle ca. 0,5 V. Die minimalen Verunreinigungen durch Phosphor und Bor sind also nur da, um die Leitfähigkeit des Siliziums zu steigern. Die Elektronen vom Silizium bewegen sich nun nach unten, da sie vom Phosphor abgestossen und vom Bor angezogen werden. Nur einige wenige Ladungsträger schaffen es nicht nach unten zum Bor und bilden die Grenzschicht, sie machen die Solarzelle sozusagen zu.

Wenn nun ein Energiebeschuss, hier in Form eines Photonenregens stattfindet, kann diese Grenze wieder geöffnet werden. Photonen sind negativ geladen und schlagen auf die Silizium Atome ein. Die Photonen bringen die Elektronen in der Zelle in Bewegung, verlieren dabei ihre Energie und lösen sich auf. Dabei müssen sie allerdings eine gewisse Energie mit sich bringen, damit sie die Elektronen oberhalb der Grenzschicht durch diese hindurch bewegen können. Das heisst, umso dicker die Grenzschicht ist, desto grösser muss die Angriffsfläche für die Photonen sein. Daraus ergibt sich, dass die Grenzschicht so bemessen wird, dass die Photonen aus dem energiereichsten Teil des Sonnenlichts genug Kraft haben, um die Spannung von 0.5 V zu überwinden. Dabei wird ein kleiner Teil des Lichtspektrums reflektiert, vorwiegend die blauen Strahlen. Diese nehmen wir dann allerdings als sehr dunkles, fast schwarzes blau wahr, da die Siliziumschicht schwarz erscheint. (siehe Abb. 4).

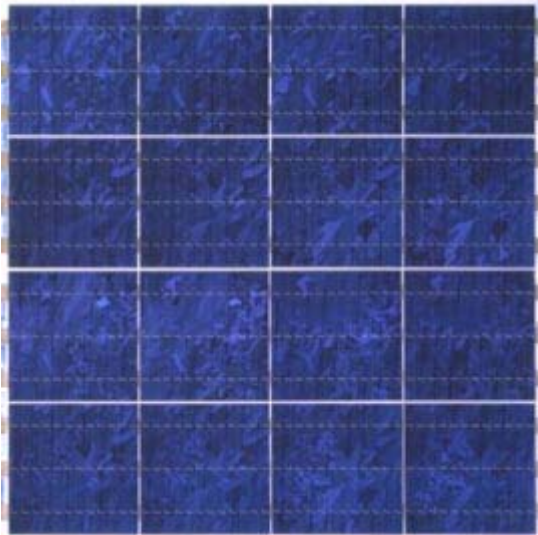


Abb. 4  
Quelle: <http://www.tv-schmitt.de/Bilder/solarzelle.jpg> ; letzte Konsultation: 5.8.09

Die verschobenen Elektronen versuchen nun zurück zu ihrem Platz zu kommen. Allerdings ist dieser Weg durch die Atome mit sehr viel Widerstand verbunden. Darum wählen die Elektronen lieber den einfacheren Weg vom Pluspol über einen Verbraucher zum Minuspol. Solange nun der Photonenregen anhält, werden die Elektronen dauernd verschoben und fließen, sofern vorhanden, über einen Verbraucher zurück (siehe ABB. 1) Wie schon gesagt ist die Stromstärke proportional zur Stärke des Photonenregens.

Der Wirkungsgrad einer Solarzelle variiert von den verschiedenen Modellen. Der Wirkungsgrad von zum Beispiel monokristallinen Siliziumzellen liegt etwa bei 13 %, wogegen der von amorphen Siliziumzellen nur etwa 4% beträgt. Dafür braucht es viel weniger Energie um die amorphen Siliziumzellen herzustellen, was sich im Endumsatz wieder auszahlt.

### **3. Speicher**

Meiner Meinung nach ist ein Speicher für den produzierten Strom in diesen Mengen nicht wirklich sinnvoll, da ein Teil des gespeicherten Stroms immer verloren geht. Doch um eine autonome Stromversorgung Monsteins abzuklären, möchte ich nun auch auf den Speicher eingehen. Ich habe mich nicht für die übliche Bleibatterie als Speicher entschieden, sondern für die vielleicht etwas exotische Luftdruckspeicherung. Diese hat nach Meinungen von Experten ein grosses Potenzial und relativ wichtige Vorteile gegenüber der Bleibatterie, auf die ich später noch eingehen werde. Es ist allerdings noch zu sagen, dass dieses Speichersystem heute noch nicht kommerziell auf dem Markt erhältlich ist, es gibt erst ein paar Pilotprojekte.

#### **3.1. Einführung Drückluftspeicher**

Ein Luftdruckspeicher basiert grundsätzlich auf den Grundsätzen der Gasdynamik. Überschüssige Energie wird genutzt, um Luft aus der Umgebung in einen Druckbehälter zu Pumpen. Diese kann danach dazu verwendet werden, um bei Bedarf Strom zu erzeugen.

Genauer betrachtet läuft die Speicherung mittels Druckluft in etwa so ab:

1. Die Umgebungsluft wird angesaugt und anschliessend mit der überschüssigen Energie komprimiert. Dies geschieht in einem sogenannten Interface. Die Luft wird dabei annähernd isotherm verdichtet. Jedoch braucht das eine gewisse Zeit, da der Wärmeaustausch nicht direkt erfolgt. Es ist sehr wichtig, dass die Luft isotherm komprimiert wird, denn physikalisch lässt sich zeigen, dass die ganze Energie in Form von Wärme an die Umwelt verloren geht, sofern sie nicht isotherm komprimiert wird. In der Druckluft steckt also grundsätzlich gar keine Energie. Durch den Temperaturzustand der Luft beim Komprimieren und beim Expandieren wird auch der Lade-Entlade-Wirkungsgrad des Speichers beeinflusst. Dieser ist am besten, wenn die Temperatur der Luft beim Komprimieren gleich ist wie beim Expandieren.

Das grösste Hindernis der Druckluftspeicherung ist, dass das Interface erst als Idee existiert, und noch nicht entwickelt wurde.

2. Die komprimierte Luft kann nun in handelsüblichen Gasflaschen gelagert werden. Dieser eigentliche Speicher kann beliebig erweitert werden, indem man noch mehr Gasflaschen hinzufügt (10 kW-Speicher ~ 400 l Speichervolumen). Ein Manometer lässt eine exakte Anzeige des Speicherstandes zu.
3. Wenn man nun wieder die Energie aus dem Speicher beziehen will, wird die Luft im Interface isotherm expandiert. Ein Hydromotor/-pumpe wandelt die hydraulische Leistung in mechanische Leistung um, welche dann einen Generator betreibt. Zwischen Hydromotor und Generator kann noch ein Schwungrad einbaut werden. Ein Schwungrad ist dazu da, Schwankungen der Leistung auszugleichen. Dies hat den Vorteil, dass der Generator nicht für Spitzenleistungen ausgelegt sein muss, da das Schwungrad diese ja sozusagen „abfedert“.

Auf diesem Bild ist ein mögliches Schema für ein Druckluftspeicher aufgezeigt.

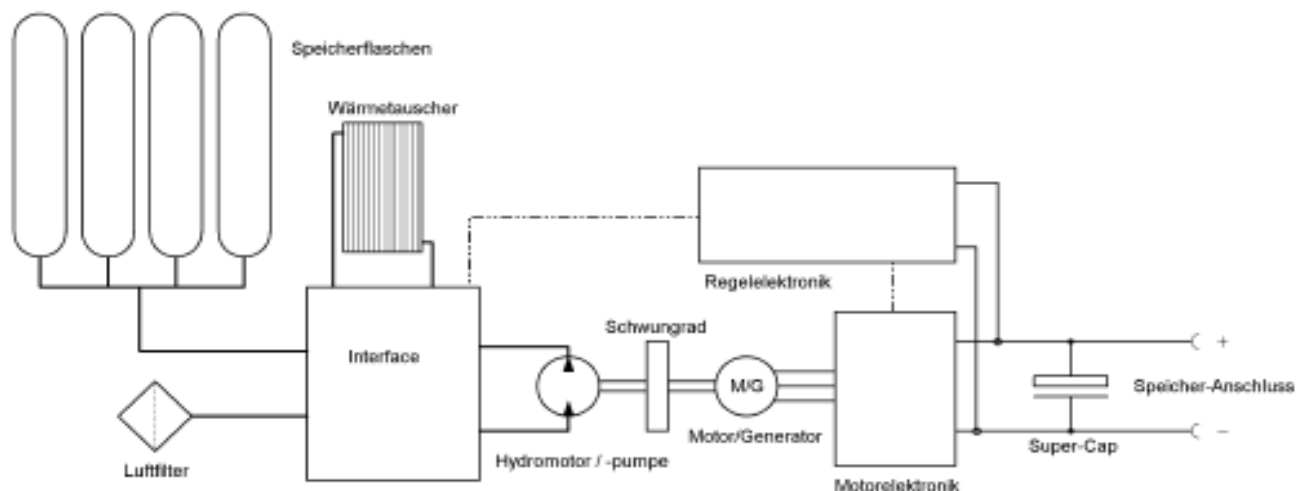


Abb. 5  
Quelle: Cyphelly, Ph.  
Brückmann, W. Menhardt  
Cyphelly & Co.; September  
2007, Technische Grundlagen  
der Druckluftspeicherung.  
Schlussbericht

## 3.2. Vergleich zu der Bleibatterie

Der Druckluftspeicher hat einige Vorteile gegenüber der Bleibatterie, allerdings auch einige Nachteile. Ich möchte nun einige Eigenschaften beider Speichersysteme auflisten und jeweils abwägen, bei welchem System das Problem besser gelöst wurde:

### 1. Wirkungsgrad

Der Wirkungsgrad einer Bleibatterie liegt bei etwa 60 – 80 %, die der Druckluftspeicherung dagegen nur bei etwa 55 %. Allerdings ist in Zukunft ein besserer Wirkungsgrad zu erwarten.

### 2. Preis

Die Bleibatterie ist relativ Preiswert, man kann bei diesem Punkt jedoch nicht entscheiden, welches System besser abschneidet, da der Druckluftspeicher noch nicht fertig entwickelt wurde und im grösseren Stil erhältlich ist.

### 3. Form

Die Bleibatterie ist relativ kompakt und braucht im Verhältnis zum Druckluftspeicher nicht soviel Platz. Dieser ist um einiges Grösser, allerdings ist dies nicht überall ein Problem. Bei der Photovoltaikanlage in Monstein wäre diese Grösse des Speichers weniger ein Problem, hingegen z.B. in einem Fahrzeug muss der Speicher eher klein sein.

### 4. Lebensdauer

Die Lebensdauer einer Bleibatterie ist ökologisch gesehen viel zu kurz. Der Energiebedarf um eine Bleibatterie herzustellen ist meist grösser, als der Energieumschlag, den eine Batterie in ihrem Leben macht. Hingegen ist die Lebensdauer eines Druckluftspeichers wahrscheinlich eher lang, da alles aus relativ robusten Materialien besteht und einzelne Teile, im Gegensatz zur Bleibatterie, ausgewechselt werden können.

## 5. Ladezustandsanzeige

Bei der Bleibatterie gibt es keine zuverlässige Ladezustandsanzeige. Das heisst, dass man nie genau weiss, wann die Batterien leer sein werden. Beim Druckluftspeicher kann man allerdings ein einfaches Manometer an den Tanks anbringe, welches dann den Restdruck anzeigt, was eine Abschätzung der restlichen Energiereserven ermöglicht.

## 6. Handhabung

Beide Systeme sind einfach in der Handhabung und brauchen sozusagen keine Wartung.

## 7. Erweiterbar

Eine Bleibatterie selbst kann man nicht erweitern, da sie ein geschlossenes System ist, allerdings kann man weitere Batterien anschliessen. Ähnlich würde das auch beim Druckluftspeicher funktionieren, bei welchem man Gasflaschen hinzufügen könnte.

## 8. Lagerung

Die Lagerung einer Bleibatterie ist mühsam, da sie bei der Lagerung immer vollgeladen sein sollte. Wenn dies nicht so ist, nimmt sie relativ schnell Schaden durch Sulfatierung. Die Lagerung von Druckluft weist allerdings keine Probleme auf.

Auf den ersten Blick sieht es so aus, als ob die Bleibatterie das bessere Speichersystem wäre. Doch glaube ich, dass mit einigen Entwicklungen der Wirkungsgrad der Druckluftspeicherung erhöht wird und somit der einzig relevante negative Punkt auf der Liste entfällt.

Die robuste Form des Druckluftspeichers und die relativ lange Lebensdauer ist sehr wichtig, da dies zum Beispiel auch eine Anwendung in Drittweltländern ermöglicht. Die Bleibatterie ist für solche Regionen überhaupt nicht geeignet, da ihre Lebensdauer in der Hitze sehr rasch abnimmt.

### **3.3. Fazit des Druckluftspeichers für Monstein**

Wenn das Projekt „Photovoltaik-Anlage in Monstein“ schon jetzt in der Ausführung wäre, wäre es sinnvoller, auf Bleibatterien zu setzen, da diese im Moment noch einen besseren Wirkungsgrad haben. Doch da dieses Projekt nicht in nächster Zeit ausgeführt wird, sondern sozusagen nur eine Idee, oder eine Abklärung ist, kann man ruhig einen etwas exotischen, neuen Speicher wählen. Dazu kommt noch, dass die Grösse kein Problem darstellt, da man den Speicher zum Beispiel unter Tage „verstecken“ könnte. Die lange Lebensdauer, das robuste Material und die Austauschmöglichkeit einzelner Komponenten des Druckluftspeichers sind natürlich auch ein grosser Vorteil, der sich in Zukunft sicherlich mehr durchsetzen wird, sobald der Wirkungsgrad auch auf einem besseren Niveau ist. Darum möchte ich meine Rechnung für Monstein mit dem Druckluftspeicher durchführen.

## 4. Leistung der Anlage

Nun zum Hauptteil meiner Arbeit, der Berechnung der Leistung einer solch grossen Photovoltaikanlage in Monstein. Um die Leistung zu berechnen, muss man verschiedene Dinge berücksichtigen. Man muss wissen, wie viele Sonnenstunde an einem Ort der Wahl, hier jetzt Monstein, maximal möglich sind, das heisst wenn es nie bewölkt wäre. Um das herauszufinden muss man zuerst den Horizont an dem gewählten Punkt vermessen. Sobald dies erledigt ist, kann man mit der Leistung der Sonne an dem gewählten Punkt und der Ausrichtung der Solarpaneele die Leistung der gesamten Anlage berechnen.

### 4.1. Horizont

Es ist einleuchtend, dass man, um die maximalen Sonnenstunden an einem Ort berechnen zu können, den Horizont von diesem Ort kennen muss. Vom Horizont muss man zwei Angaben kennen, nämlich den Azimuth („Ort des Horizonts“; wie viel Grad, von Norden her gezählt) und die Höhe des Horizontes, nämlich die Ergänzung auf  $90^\circ$ .

Ich habe diese Angaben mit einem relativ einfachen, selbstgebautes Gerät gemessen. Dazu nahm ich eine kleine Holzplatte und eine spitze Holzlatte. Daraus erstellte ich eine kleine Auflagefläche, um danach die restlichen Geräte darauf aufzubauen. Ich habe dann eine  $360^\circ$ -Scheibe auf einen Karton gezeichnet und die Himmelsrichtungen angeschrieben, um den Azimuth des gewählten Punktes auf dem Horizont zu bestimmen. Für die Höhe des Horizontes habe ich einen  $90^\circ$ -Kreissektor gemacht, den man auf die  $360^\circ$ -Scheibe stellen konnte.

Auf diesem Bild sieht man die  $360^\circ$ -Scheibe und den Kreissektor.

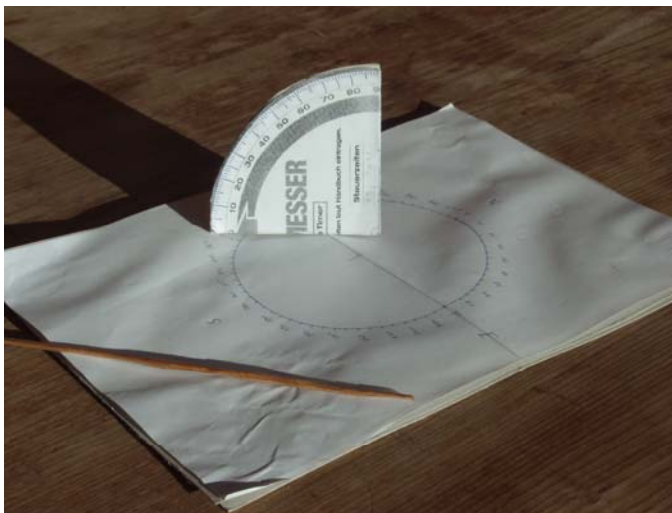


Abb. 10

Für die Horizontmessung habe ich zwei verschiedene Orte ausgewählt. Die Auswahl fiel mir sehr leicht, da im Winter über Mittag ein Schatten vom gegenüberliegenden Silberberg auf Monstein liegt. Dieser Schatten hält im „Hinterdorf“ länger an als im vorderen Teil des Dorfes. Also habe ich einen Ort im hinteren Teil des Dorfes gewählt und einen im vorderen Teil.

Auf diesem Bild kann man diese zwei Orte sehen, Punkt 1 ( $47.38675877\text{ N } / 10.20376321\text{ E}$ )<sup>7</sup> und Punkt 2 ( $47.38198656\text{ N } / 10.24042279\text{ E}$ )<sup>8</sup>.



Abb.11  
Quelle: Google Earth

---

<sup>7</sup> Google Earth  
<sup>8</sup> Google Earth

An den gewählten Orten habe ich jetzt die Holzunterlage in der Wiese befestigt und sie mit Hilfe einer Wasserwaage waagrecht gestellt. Danach habe ich mit einem Kompass Norden bestimmt und meine 360°-Scheibe danach ausgerichtet. Nun habe ich in 10° Abständen die Höhe des Horizontes gemessen. Dazu stellte ich das 90°-Kreissegment auf und peilte mit einem feinen Stab den Horizont an. Danach überprüfte, bei wie viel Grad dieser ist. Diese Höhe des Horizontes musste ich an einem späteren Zeitpunkt dann noch umrechnen, da ich jetzt die Höhe hatte und nicht die Ergänzung vom Horizont auf die Senkrechte.

Wie schon gesagt, habe ich diese Messung an beiden Orten in 10°-Schritten gemacht. Dies hat dann den relativ exakten Horizont für die gewählten Standorte ergeben. Da diese Horizonte nun aber etwas eckig sind, wurden sie künstlich etwas geglättet. Dies geschah im Programm, auf das ich später noch eingehen werde, um die maximalen Sonnenstunden zu berechnen. Das Programm wählte eine Kurve, die durch jeden gemessenen Punkt hindurchgeht. Aber nicht in eckiger Form, sondern etwas geglättet.

## **4.2. Maximale Sonnenstunden**

Die maximal möglichen Sonnenstunden habe ich mit Hilfe von Gregor Hülsen, Physiker am pmod, ausgerechnet. Dazu benutzten wir das Programm brewersza. Man gibt dem Programm einige Daten, wie die Höhe des gewählten Ortes über Meer, den Breitengrad, den Längengrad und den vorher gemessenen Horizont.

1. Das Programm rechnet nun, auf den gemachten Angaben basierend, die theoretische Sonnenbahn um diesen Punkt auf der Erde für jeden Tag im Jahr aus. Diese Rechnung bekommt man aus dem Zusammenspiel der verschiedenen Faktoren wie die schiefe Erdachse, die Umlaufszeit der Erde um die Sonne, die Zeit, die die Erde benötigt für eine Drehung um sich selbst und den gewählten Ort auf der Erde mit seinen Koordinaten, seiner Höhe über Meer und der Schiefstellung der Erdachse.

2. Das Programm besitzt jetzt die Information über den Azimuth und die Höhe der Sonne für jede Minute eines Tages für das ganze Jahr. Man kann nun die Sonnenbahn mit dem Horizont vergleichen. Das Programm rechnet dabei aus, wie viele Minuten die Sonnenbahn über dem Horizont ist und dies ergibt dann die maximal möglichen Sonnenstunden pro Jahr, für den gewählten Ort.

Als Resultat kam dabei heraus,

- für den ersten Punkt im vorderen Teil des Dorfes mit den Koordinaten (47.38675877 N /10.20376321 E) : **3285,11 h/y**
- für den zweiten Punkt im hinteren Teil des Dorfes mit den Koordinaten (47.38198656 N /10.24042279 E) : **3018,43 h/y**

Man erkennt leicht, dass es im vorderen Teil des Dorfes einige Stunden mehr Sonne pro Jahr hat als im hinteren Teil. Man kann also schon sagen, dass eine Photovoltaikanlage im vorderen Teil mehr Leistung bringen würde als eine im hinteren Teil des Dorfes. In meiner Arbeit möchte ich allerdings nicht allzu stark darauf eingehen, wo der bessere Standort wäre, was bei diesem Ergebnis ja ohnehin schon klar ist. Ich möchte prüfen, wie hoch die Leistung der gesamten Anlage wäre. Dazu werde ich bei meinen weiteren Berechnungen die vordere Hälfte der Fläche mit der grösseren Anzahl Sonnenstunden rechnen, und die hintere Hälfte mit der kleineren Anzahl Sonnenstunden.

### **4.3. Ausrichtung der Solarpanels**

Die direkte Strahlung der Sonne, die auf das Solarpanel auftrifft, nimmt mit dem Cosinus der Abweichung zur Senkrechten ab. Das heisst also, wenn die Strahlung senkrecht auf das Panel trifft, wird soviel Leistung aufgenommen wie nur möglich. Trifft die Strahlung allerdings schräg auf das Panel, so nimmt die Leistung ab, bis sie, bei einer 90° Abweichung, null beträgt.

Es ist also ganz klar ersichtlich, dass man versuchen sollte, das Solarpanel so auszurichten, dass die Strahlung möglichst senkrecht auf das Solarpanel trifft. Deswegen ist die Ausrichtung ein wichtiger Punkt bei einer Solaranlage. Für meine Berechnungen habe ich mich für 4 verschiedene Ausrichtungen entschieden, damit man sehen kann, welche die beste ist, wo die grössten Unterschiede sind und welche Ausrichtung gut zu Monstein passen würde.

- fixer Aufbau

Die Neigung des Solarpanels hängt mit dem Breitengrad zusammen, was bei uns etwa  $45^\circ$  wäre. Allerdings ist eine etwas weniger steile Neigung bei Solarzellen durchaus nützlich, da so das diffuse Licht besser aufgenommen werden kann. Trotzdem sollte bei uns im Winter der Schnee noch abrutschen können, was dann zu einer Neigung von ca.  $40^\circ$  zur Horizontalen führt. Der Azimuth der Anlage beträgt meistens  $180^\circ$  Süd. Ich habe allerdings einen zweiten Azimuth gewählt da ich vom Horizont her dachte,  $160^\circ$  Süd würde vielleicht einen höheren Ertrag liefern. Dies war allerdings nicht so, wie man später sehen wird.

- Nachführung der Inklination mit Azimuth =  $180^\circ / 160^\circ$

Nachführung der Inklination heisst, der Neigungswinkel der Solarpanels wird dauernd der Sonnenhöhe angepasst. Dies hat den Vorteil, dass sich dadurch die Abweichung des Einstrahlungswinkels etwas geringer und der Ertrag somit etwas grösser hält.

- Nachführung der Inklination und des Azimuths

Bei dieser vollständigen Nachführung treffen die Sonnenstrahlen immer senkrecht auf die Solarpanels, was zu einer maximalen Aufnahme der Sonnenleistung führt. Diese Ausrichtung, oder Art der Anlage, ergibt immer die grösste Leistung. Allerdings muss man dabei beachten, dass diese Nachführung selber auch Strom verbraucht und es sich deswegen nicht immer lohnt, die Solarpanels nachzuführen. Man kann sagen, dass es sich bei einer kleinen Anlage nicht lohnt, da der Mehrertrag nur gering ist. Bei einer grossen Anlage würde sich dieses System aber lohnen, da der Mehrertrag beträchtlich steigen würde.

#### 4.4. Maximale Leistung der Anlage

Für die Leistung einer Photovoltaikanlage braucht man 4 Dinge; der Standort mit gegebenem Horizont, die maximalen Sonnenstunden, die Ausrichtung der Anlage und zum Schluss noch die Leistung der Sonne.

Die Leistung der Anlage ist eigentlich eine Erweiterung zum Kapitel maximale Sonnenstunden. Als erstes muss man die gemessene Einstrahlung der Sonne von Davos für Monstein umrechnen. Das heisst also, die Neigung ändert sich, da in Davos auf einer Horizontalen gemessen wurde. Dazu ändert sich auch noch der Horizont, den man anpassen muss. Diese Leistung der Sonneneinstrahlung ist Wetterabhängig. Ist es schlechtes Wetter, bleibt die Leistung tief, ist es schönes Wetter, ist die Leistung hoch. Darum stimmen die Messungen von Davos nicht ganz für Monstein, da es auch schon bei dieser Entfernung, gewisse Unterschiede beim Wetter geben kann.

Die Leistung, die auf der Anlage ankommt, wird nun so berechnet: Die diffuse Strahlung ist bei beiden gewählten Positionen immer gleich und wird über das ganze Jahr hinweg durchgespielt. Die direkte Strahlung beginnt genau in diesem Moment, wenn die Sonne über dem Horizont aufgeht. Das Programm ermittelt nun, wie stark die Einstrahlung in diesem Moment war, wie die Strahlen auf den Solarpanels auftreffen und berechnet so die Leistung der direkten Strahlung für diesen Moment.

Um die Leistung der globalen Strahlung zu ermitteln, das heisst, von diffuser und direkter Strahlung zusammen, rechnet man beide Ergebnisse zusammen. Damit hat man die gesamte Leistung, die in diesem Moment auf einen Quadratmeter der Anlage auftrifft. Man spielt dieses Programm dann für ein Jahr durch und bekommt so die Leistung, die auf der Anlage ankommt für einen Quadratmeter und ein Jahr.

Um nun den Strom zu haben, den die Anlage pro Quadratmeter und Jahr produziert, muss man die Zahl, die man oben ausgerechnet hat, noch mit dem Wirkungsgrad einer Solarzelle bearbeiten. Der Wirkungsgrad der Solarzellen, die ich in meiner Arbeit berücksichtigen möchte, beträgt etwa 13 %<sup>9</sup>.

---

<sup>9</sup> Brückmann Philipp; 1. Auflage 2007, autonome Stromversorgung. ökobuch Verlag: Staufen. S.33  
Gregor Hülsen

## 4.6. Ergebnisse

Die erste Ziffer zeigt an, wie viel Leistung von der Sonne auf der Solaranlage ankommt. Die zweite Ziffer zeigt an, wie viel Strom die Anlage produziert. Für die Leistung der gesamten Anlage steht eine Fläche von ca. 22000 m<sup>2</sup> zur Verfügung. Ich habe diese in zwei Teile aufgeteilt, für Position 1 (11000 m<sup>2</sup>) und für Position 2 (11000 m<sup>2</sup>).

Nachführung der Inklination mit Azimuth 180° (süd)

Position 1: **1635.84 kWh/m<sup>2</sup> → 212.6592 kWh/m<sup>2</sup>**

Position 2: **1541.37 kWh/m<sup>2</sup> → 200.37875 kWh/m<sup>2</sup>**

**Leistung gesamter Anlage: 4'543'417.45 kWh/y**

Nachführung der Inklination mit Azimuth 160° (süd-ost)

Position 1: **1607.58 kWh/m<sup>2</sup> → 208.9854 kWh/m<sup>2</sup>**

Position 2: **1521.57 kWh/m<sup>2</sup> → 197.8041 kWh/m<sup>2</sup>**

**Leistung gesamter Anlage: 4'474'684.5 kWh/y**

Nachführung von Inklination und Azimuth

Position 1: **1932.24 kWh/m<sup>2</sup> → 251.1912 kWh/m<sup>2</sup>**

Position 2: **1815.49 kWh/m<sup>2</sup> → 236.0137 kWh/m<sup>2</sup>**

**Leistung gesamter Anlage: 5'359'253.9 kWh/y**

Fixer Aufbau mit Inklination 40° und Azimuth 180° (süd)

Position 1: **1621.85 kWh/m<sup>2</sup> → 210.8405 kWh/m<sup>2</sup>**

Position 2: **1541.49 kWh/m<sup>2</sup> → 200.3937 kWh/m<sup>2</sup>**

**Leistung gesamter Anlage: 4'523'576.2 kWh/y**

## 4.7. Interpretation

Man kann erkennen, dass eine vollständige Nachführung der gesamten Photovoltaikanlage eine sehr grosse Leistung ergeben würde. Eine Nachführung wäre ein Gewinn von fast 1'000'000 kWh/y, was sich meiner Meinung nach doch lohnen würde. Man kann auch noch erkennen, dass der Unterschied zwischen den zwei Positionen eher geringer ist als erwartet. Allerdings macht auch so ein kleiner Unterschied auf einer grossen Fläche etwas aus.

Diese Ergebnisse stellen meiner Meinung nach eine ungefähre aber nicht hundertprozentig sichere Abschätzung der Leistung dieser Photovoltaikanlage dar. Bei meinen Berechnungen gibt es verschiedene Fehlerquellen, hier die zwei Wichtigsten: Fehler bei der Horizontmessung und der Leistungsunterschied der Strahlung zwischen Davos und Monstein. Die ausgerechnete Leistung der Anlage würde sich in der Realität wahrscheinlich noch ein wenig verkleinern, da bei meiner Annahme die ganze Fläche der Wiese mit Solarzellen gefüllt wäre. Es wurde keine Rücksicht auf den Rahmen und das Gestell genommen, wodurch sich die tatsächliche Fläche noch verkleinern würde und die gesamte Leistung somit auch.

## 5. Autonome Stromversorgung

Im letzten Kapitel möchte ich noch erläutern, ob eine autonome Stromversorgung mit dieser Photovoltaikanlage und dem Druckluftspeicher möglich wäre. Die Ausrechnung dafür ist relativ einfach: Man nimmt die gesamte Leistung der Anlage pro Jahr und vergleicht sie mit dem Jahresverbrauch von Monstein. Ist der Verbrauch von Monstein grösser als die Leistung der Photovoltaikanlage, so ist eine autonome Stromversorgung nicht möglich. Ist die Leistung der Anlage allerdings grösser als der Verbrauch Monsteins, wäre die Stromversorgung vielleicht möglich. Allerdings müsste man in diesem Fall dann berücksichtigen, wie viel Strom direkt gebraucht wird und wie viel Strom erst gespeichert werden müsste, bevor er später dann gebraucht wird. Da es zu mühsam, und meiner Meinung nach unnötig gewesen wäre, dies herauszufinden, habe ich es nicht getan.

Für die Leistung der Photovoltaikanlage habe ich die nachgeführte Anlage genommen, mit 5'713'274.45 kWh/y. Für den Verbrauch von Monstein habe ich den Verbrauch vom Jahr 2007 ausgewählt, der 1'519'607 kWh<sup>10</sup> betrug.

Man sieht schon auf den ersten Blick, dass die Anlage mehr Strom produziert als der gesamte Verbrauch ist. Würde man also den Strom am Tag nutzen, den überschüssigen ins Netz speisen und in der Nacht, wenn die Anlage keinen Strom produziert, Strom vom Netz beziehen, würde man nicht mehr verbrauchen als man produziert. Will man allerdings den überschüssigen Strom vom Tag speichern, um ihn in der Nacht zu brauchen, so hat man immer den Verlust des Druckluftspeichers, dessen Wirkungsgrad etwa 55 %<sup>11</sup> beträgt. Da der produzierte Strom aber so deutlich höher ist als der Verbrauch, wäre auch dies möglich.

Man kann sehen, dass eine autonome Stromversorgung mit einer Photovoltaikanlage in dieser Grössenordnung möglich wäre. Meiner Meinung nach würde sich das aber nicht lohnen. Ich persönlich bin der Meinung, dass man den überschüssigen Strom am Tag ins Netz verkaufen sollte und in der Nacht wieder Strom vom Netz kaufen. Damit bräuchte man keinen Speicher, womit man grosse Investitionskosten einsparen könnte.

---

<sup>10</sup> Dirk Schneider, EW Davos

<sup>11</sup> Cyphelly, Ph. Brückmann, W. Menhardt Cyphelly & Co.; September 2007, Technische Grundlagen der Druckluftspeicherung. Schlussbericht

## 6. Umfrage

Die Idee einer Photovoltaikanlage in Monstein in dieser Grösse trifft sicherlich nicht bei allen auf Zustimmung. Aus diesem Grund habe ich mich entschieden, eine kleine Umfrage im Dorf durchzuführen. Ich wollte damit zeigen, worin der wesentliche Unterschied von Einheimischen und Touristen liegt. Es könnte ja sein, dass die Einwohner Monsteins für die Anlage sind, um dem Dorf einen gewissen Fortschritt zu gewährleisten, die Touristen sind jedoch dagegen, da sie das jetzige Dorfbild so schätzen wie es ist. Die Einheimischen habe ich dazu noch in Bauern und sonstige Einheimische unterteilt. Da die Wiesen durch eine Photovoltaikanlage „unbrauchbar“ gemacht werden, könnte man bei den Bauern ja eventuell auf weniger Begeisterung stossen als bei den übrigen Bewohnern Monsteins.

Die verschiedenen Meinungen zu einer möglichen Photovoltaikanlage dieser Grössenordnung möchte ich hier mit Hilfe der Ergebnissen meiner Umfrage näher erläutern.

## 6.1. Verteilte Fragebögen

### Fragebogen für Einheimische:

1. *Wie wichtig ist für Sie Umweltschutz?*

*sehr            weniger            egal*

2. *Wie wichtig ist es für Sie, das Dorfbild von Monstein zu erhalten?*

*sehr            weniger            egal*

3. *Was ist für Sie wichtiger? Das Dorfbild zu erhalten oder Umweltschutz?*

*Dorfbild            Umweltschutz*

4. *Würden Sie eine Photovoltaikanlage in Monstein grundsätzlich unterstützen?*

*Ja            Nein*

5. *Sehen Sie es als erstrebenswert, dass Monstein eine autonome Stromversorgung besitzt?*

*Ja            Nein*

6. *Würden sie den Solarstrom in Monstein unterstützen, auch wenn evtl. höhere Kosten (Stromkosten usw.) anfallen würden?*

*Ja            Nein*

7. *Denken sie eine Photovoltaikanlage in Monstein wäre eine Auf- oder Abwertung des Dorfes?*

*Aufwertung            Abwertung*

8. *Wäre dieser Eingriff in das Dorfbild akzeptabel?*

*Ja            Nein*

9. *Wie sollte man die Bauern für den Verbrauch der Wiesen entschädigen?*

10. *Gäbe es einen anderen Ersatz anstelle der Verunstaltung des Dorfbildes?*

## Fragebogen für Touristen:

1. *Wie wichtig ist für Sie Umweltschutz?*  
*sehr            weniger            egal*
2. *Wie wichtig ist es für Sie, das Dorfbild von Monstein zu erhalten?*  
*sehr            weniger            egal*
3. *Was ist für Sie wichtiger? Das Dorfbild erhalten oder Umweltschutz?*  
*Dorfbild                            Umweltschutz*
4. *Wie wichtig ist für Sie in Ihren Ferien in Monstein das Dorfbild?*  
*sehr wichtig            wichtig            nicht so wichtig            unwichtig*
5. *Würden sie es eine gute Idee finden, wenn man der Umwelt zuliebe in Monstein Solarstrom produzieren würde?*  
*Ja                            Nein*
6. *Sehen Sie es als erstrebenswert, dass Monstein eine autonome Stromversorgung besitzt?*  
*Ja                            Nein*
7. *Wäre eine Photovoltaik-Anlage für Sie ein zusätzlicher Ansporn, Monstein zu besuchen, oder würden Sie Monstein dann meiden, weil die Idylle des Dorfes beeinträchtigt würde?*  
*Ansporn                            egal                            meiden*
8. *Denken sie eine Photovoltaikanlage in Monstein wäre eine Auf- oder Abwertung des Dorfes?*  
*Aufwertung                            Abwertung*
9. *Wäre dieser Eingriff in das Dorfbild Ihrer Meinung nach akzeptabel?*  
*Ja                            Nein*
10. *Wie sollte man die Bauern für den Verbrauch der Wiesen entschädigen?*

Man sieht, dass die beiden Umfragen ziemlich ähnlich sind, ich habe nur einige spezielle Fragen für die Touristen hinzugefügt, wie Frage 4 und 8, wobei Frage 4 sehr Frage 2 ähnelt. Die letzte Frage der beiden Umfragen mussten selber ausgefüllt werden. Ich wollte keine Antworten vorgeben, um zu schauen was für neue Ideen entstehen könnten. Obwohl diese dann ziemlich ähnlich ausfielen, wie man später sehen wird.

Zu jeder Umfrage habe ich eine Photomontage eines Bildes von Monstein dazugegeben, auf dem man sehen kann, wie diese Photovoltaikanlage im Dorf dann ungefähr aussehen könnte.



Abb. 6

Quelle der eingefügten Solarzellen:

[http://ziehen.frankfurt.schule.hessen.de/lehrer\\_schule/fachkonferenzen/physik/Solar/Solaranlage.jpg](http://ziehen.frankfurt.schule.hessen.de/lehrer_schule/fachkonferenzen/physik/Solar/Solaranlage.jpg) letzte Konsultation: 10.09.2009

### 6.2.1. „übrige Einheimische“

Ich habe mit den 18 Umfragen in dieser Gruppe versucht, ein möglichst breites Zielpublikum zu erreichen. Das heisst, ich habe die Umfragen an verschiedene Familien verteilt, an Alleinstehende, an Arbeiter und auch an einige Jugendliche. Hier nun die Angaben, wie viel Prozent welche Antwort gewählt haben:

1. Wie wichtig ist für Sie Umweltschutz?

sehr **(72%)**                      weniger **(17%)**                      egal **(11%)**

2. Wie wichtig ist es für Sie, das Dorfbild von Monstein zu erhalten?

sehr **(89%)**                      weniger **(11%)**                      egal

3. Was ist für Sie wichtiger? Das Dorfbild zu erhalten oder Umweltschutz?

Dorfbild **(65%)**                      Umweltschutz **(35%)**

4. Würden Sie eine Photovoltaikanlage in Monstein grundsätzlich unterstützen?

Ja **(94%)**                      Nein **(6%)**

5. Sehen Sie es als erstrebenswert, dass Monstein eine autonome Stromversorgung besitzt?

Ja **(50%)**                      Nein **(50%)**

6. Würden sie den Solarstrom in Monstein unterstützen, auch wenn evtl. höhere Kosten (Stromkosten usw.) anfallen würden?

Ja **(78%)**                      Nein **(22%)**

7. Denken sie eine Photovoltaikanlage in Monstein wäre eine Auf- oder Abwertung des Dorfes?

Aufwertung **(78%)**                      Abwertung **(22%)**

8. Wäre dieser Eingriff in das Dorfbild akzeptabel?

Ja **(39%)**                      Nein **(61%)**

9. Wie sollte man die Bauern für den Verbrauch der Wiesen entschädigen?

- finanzielle Entschädigung **(83.33%)**
- vergünstigter Strompreis **(8.33%)**
- Realersätze (kein Geld) **(8.33%)**

10. Gäbe es einen anderen Ersatz anstelle der Verunstaltung des Dorfbildes?
- Anderer Standort (z.B. Dächer/Wände, Zaun oberhalb des Dorfes, Pfaffenloch) **(62.5%)**
  - Biogasanlage **(25%)**
  - Vergütung an Gemeinde **(12.5%)**

### **6.2.2. Interpretation**

Die ersten zwei Fragen waren leicht zu beantworten und man sieht, dass den meisten Leuten der Umweltschutz und das Dorfbild sehr wichtig ist. Darum habe ich die Entscheidungsfrage Nr. 3 eingebaut. Hier sieht man, dass einer kleinen Mehrheit das Dorfbild wichtiger ist als der Umweltschutz. Man kann auch erkennen, dass fast 100% der befragten Personen grundsätzlich für eine Photovoltaikanlage in Monstein wären. Dies nimmt allerdings bei Frage 6 und 8 ab, da diese Fragen auf die Idee einer Photovoltaikanlage gestellt sind, die die gesamte Wiese Oberhalb Monsteins abdecken würde (siehe Abb. 6). Etwa 50% der hier befragten Personen erachten es als erstrebenswert, dass Monstein eine autonome Stromversorgung besitzt. Obwohl die Mehrheit der befragten Personen gegen eine Photovoltaikanlage in dieser Grössenordnung ist, würde sie es als eine Aufwertung des Dorfes empfinden, falls man eine Photovoltaikanlage bauen würde.

Die Mehrheit denkt, dass man die Bauern in so einem Fall finanziell entschädigen sollte. Diese Wiese ist zwar nicht allzu gross und doch wäre es ein grosser Verlust für die Landwirte, da sie sich ohne diese Wiesen wahrscheinlich Heu kaufen müssten.

Als Alternative für diese Anlage (Nr. 10) haben viele einen anderen Ort gewählt. Die meisten sind, als sie das Bild anschauten, schnell auf das „Pfaffenloch“ gekommen (Wiesen unterhalb Monsteins). Das Pfaffenloch wäre eine gute Lösung, wenn man nur die optische Seite betrachtet. Die Anlage würde dort nicht stören und würde von fast niemandem gesehen werden, allerdings ist die Sonneneinstrahlung dort unten wahrscheinlich um einiges geringer, vor allem im Winter.

### 6.2.3. Bauern

Diese Gruppe besteht aus 8 Personen. Darunter auch solche, die direkt von der Anlage betroffen wären und Verluste zu erwarten hätten.

1. Wie wichtig ist für Sie Umweltschutz?  
sehr **(62.5%)**                      weniger **(37.5%)**                      egal
2. Wie wichtig ist es für Sie, das Dorfbild von Monstein zu erhalten?  
sehr **(87.5%)**                      weniger **(12.5%)**                      egal
3. Was ist für Sie wichtiger? Das Dorfbild zu erhalten oder Umweltschutz?  
Dorfbild **(42.8%)**                      Umweltschutz **(57.2%)**
4. Würden Sie eine Photovoltaikanlage in Monstein grundsätzlich unterstützen?  
Ja **(62.5%)**                      Nein **(37.5%)**
5. Sehen Sie es als erstrebenswert, dass Monstein eine autonome Stromversorgung besitzt?  
Ja **(25%)**                      Nein **(75%)**
6. Würden sie den Solarstrom in Monstein unterstützen, auch wenn evtl. höhere Kosten (Stromkosten usw.) anfallen würden?  
Ja **(50%)**                      Nein **(50%)**
7. Denken sie eine Photovoltaikanlage in Monstein wäre eine Auf- oder Abwertung des Dorfes?  
Aufwertung **(62.5%)**                      Abwertung **(37.5%)**
8. Wäre dieser Eingriff in das Dorfbild akzeptabel?  
Ja **(62.5%)**                      Nein **(37.5%)**
9. Wie sollte man die Bauern für den Verbrauch der Wiesen entschädigen?
  - Ersatzland **(37.5%)**
  - Beteiligung am Gewinn des Stromverkaufs **(25%)**
  - reduzierte Stromkosten **(25%)**
  - finanzielle Entschädigung **(12.5%)**
10. Gäbe es einen anderen Ersatz anstelle der Verunstaltung des Dorfbildes?
  - anderer Standort **(100%)**

#### **6.2.4. Interpretation**

Hier sind es schon weniger Personen, denen der Umweltschutz sehr wichtig ist, allerdings immer noch die Mehrheit. Das Dorfbild wird auch hier von fast allen befragten Personen als sehr wichtig angesehen. Alles in allem ist einer kleinen Mehrheit der Umweltschutz dann doch wichtiger als das Dorfbild. Bei Frage Nr. 4 sieht man, dass hier im Gegensatz zu den „übrigen Einheimischen“, nicht mehr fast 100% grundsätzlich für eine Photovoltaikanlage in Monstein sind und es auch nur rund ein Viertel als erstrebenswert erachtet, dass Monstein eine autonome Stromversorgung besitzt. Bei Frage Nr. 6 nimmt der prozentuale Anteil der Unterstützer der Anlage nochmals ab und sinkt auf 50%. Und das, obwohl eine kleine Mehrheit dieses Projekt als eine Aufwertung für das Dorf betrachtet. Bei Frage Nr. 8 sieht man einen klaren Unterschied zu den „übrigen Einheimischen“. Hier sagt, im Gegensatz zum Personenkreis der „übrigen Einheimischen“, eine Mehrheit, dass der Eingriff ins Dorfbild akzeptabel wäre

Bei Frage Nr. 9 taucht eine neue Idee auf: Ersatzland. Diese Idee finde ich sehr gut und wurde auch von der Mehrheit gewählt. Nur würde sich das Problem stellen, woher man ein solches Ersatzland beziehen sollte, da eine so nahe und sonnig gelegene Wiese schwer bis unmöglich zu besorgen wäre. Die restlichen Ideen bei Frage Nr. 9 sind in etwa die gleichen wie bei den „übrigen Einheimischen“. Bei Frage Nr. 10 gab es als einzige Alternative einen anderen Standort, mit den gleichen Vor- und Nachteilen wie oben erwähnt, was auch von 100% der Befragten gewählt wurde.

### 6.2.5. Touristen

In dieser Gruppe habe ich insgesamt 13 Touristen befragt. Auch hier habe ich versucht, möglichst verschiedene Touristen zu befragen. Einige waren das erste Mal in Monstein im Urlaub, oder für einen Tagesausflug. Andere kommen schon seit Jahren nach Monstein und wohnen im Hotel oder in Ferienwohnungen.

1. Wie wichtig ist für Sie Umweltschutz?  
sehr **(100%)**            weniger            egal
2. Wie wichtig ist es für Sie, das Dorfbild von Monstein zu erhalten?  
sehr **(76.9%)**            weniger **(23.1%)**            egal
3. Was ist für Sie wichtiger? Das Dorfbild erhalten oder Umweltschutz?  
Dorfbild **(58%)**                      Umweltschutz **(42%)**
4. Wie wichtig ist für Sie in Ihren Ferien in Monstein das Dorfbild?  
sehr wichtig **(54%)**      wichtig **(31%)**            nicht so wichtig **(15%)**            unwichtig
5. Würden sie es eine gute Idee finden, wenn man der Umwelt zuliebe in Monstein Solarstrom produzieren würde?  
Ja **(100%)**                      Nein
6. Sehen Sie es als erstrebenswert, dass Monstein eine autonome Stromversorgung besitzt?  
Ja **(38%)**                      Nein **(62%)**
7. Wäre eine Photovoltaik-Anlage für Sie ein zusätzlicher Ansporn, Monstein zu besuchen, oder würden Sie Monstein dann meiden, weil die Idylle des Dorfes beeinträchtigt würde?  
Ansporn **(23%)**            egal **(38.5%)**            meiden **(38.5%)**
8. Denken sie eine Photovoltaikanlage in Monstein wäre eine Auf- oder Abwertung des Dorfes?  
Aufwertung **(53.8%)**                      Abwertung **(46.2%)**
9. Wäre dieser Eingriff in das Dorfbild Ihrer Meinung nach akzeptabel?  
Ja **(46%)**                      Nein **(53.8%)**
10. Wie sollte man die Bauern für den Verbrauch der Wiesen entschädigen?
  - reduzierter Strompreis **(33.3%)**
  - finanzielle Unterstützung **(77.7%)**
  - Ausgleichsfläche **(11%)**

### **6.2.6. Interpretation**

Bei den Touristen sieht man, dass der Umweltschutz allen wichtig ist. Das Dorfbild ist diesem Personenkreis allerdings weniger wichtig als den Einheimischen. Man erkennt aber bei Frage 3, dass der Mehrheit dann doch das Dorfbild wichtiger ist als der Umweltschutz. Dies, obwohl die Frage Nr. 1 mit 100% sehr wichtig beantwortet wurde. Bei der Frage Nr. 4 hätte ich einen höheren prozentualen Anteil bei sehr wichtig erwartet, da ich dachte, Monstein werde fast nur wegen des Dorfbilds besucht. Dort kann man erkennen, dass das Dorfbild mit 46% nicht sehr wichtig bis nicht so wichtig beurteilt wurde. Bei der Frage Nr. 5 beantworteten alle befragten Personen, dass es grundsätzlich eine gute Idee wäre, in Monstein Solarstrom zu produzieren. Weniger als die Hälfte sieht es als erstrebenswert an, dass Monstein eine autonome Stromversorgung besitzt. Frage Nr. 7 ist meiner Meinung nach eine sehr spannende Frage, da man hier erkennen sollte, ob eine Photovoltaikanlage in dieser Grössenordnung den Tourismus stark beeinflussen würde. Nur 23% der Befragten würden diese Anlage als einen Ansporn empfinden, Monstein zu besuchen. Dagegen würden 38.5% Monstein meiden und weitere 38.5% wäre es egal, ob eine Solarstromanlage in Monstein existiert oder nicht. Etwas mehr als die Hälfte hat sich bei Frage Nr. 8 dazu entschieden, dass diese Anlage eine Aufwertung für Monstein wäre und keine Abwertung. Allerdings sagen auch etwas mehr als die Hälfte der Touristen, dass dieser Eingriff ins Dorfbild in dieser Grösse und diesem Standort nicht akzeptabel wäre.

Bei der Frage Nr.10 sind keine neuen Ideen aufgetaucht, wie man die Bauern für den Verbrauch ihrer Wiesen entschädigen könnte. Auch hier sagt eine Mehrheit, dass eine finanzielle Entschädigung die beste Lösung wäre und nur 11% sind für eine Ausgleichsfläche.

### 6.2.7. Auswertung aller befragten Personen zusammen

Für die Auswertung aller befragten Personen habe ich ein paar, meiner Meinung nach wichtigere Fragen, ausgewählt, auf die ich näher eingehen werde. Hier meine drei ausgewählten Fragen:

- Was ist für Sie wichtiger? Das Dorfbild erhalten oder Umweltschutz?

Dorfbild

Umweltschutz

- Würden Sie eine Photovoltaikanlage in Monstein grundsätzlich unterstützen?

Ja

Nein

- Wäre dieser Eingriff in das Dorfbild akzeptabel?

Ja

Nein

Ich habe hier die Frage Nr. 5 der Touristen mit der Frage Nr. 4 der Einheimischen gleichgesetzt, da sozusagen das Gleiche gemeint ist und es eine interessante Frage für die gesamte Auswertung ist.

### Was ist für Sie wichtiger? Das Dorfbild erhalten oder Umweltschutz?

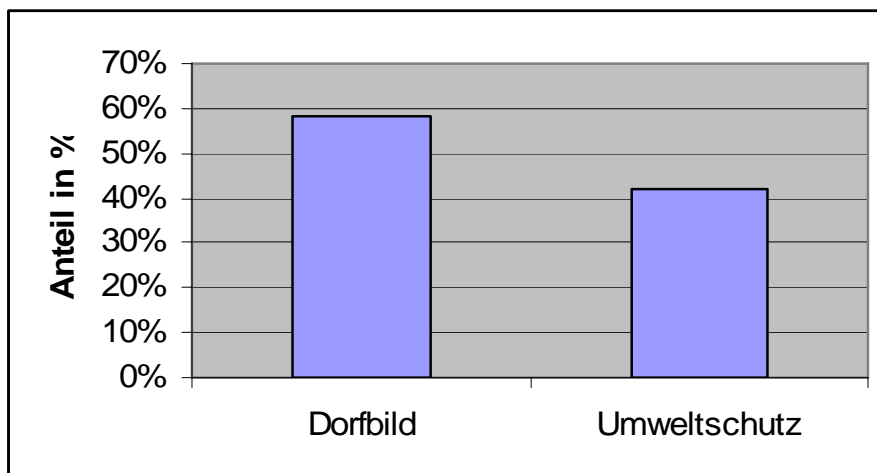


Abb. 7

Man kann hier ganz klar erkennen, dass einer kleinen Mehrheit aller befragten Personen das Dorfbild wichtiger ist, als der Umweltschutz in diesem Dorf. Das heisst, man sollte nach diesem Ergebnis das Dorfbild möglichst so erhalten wie es jetzt ist und sicherlich nicht durch eine grosse und auffällige Photovoltaikanlage „schänden“.

## Würden Sie eine Photovoltaikanlage in Monstein grundsätzlich unterstützen?

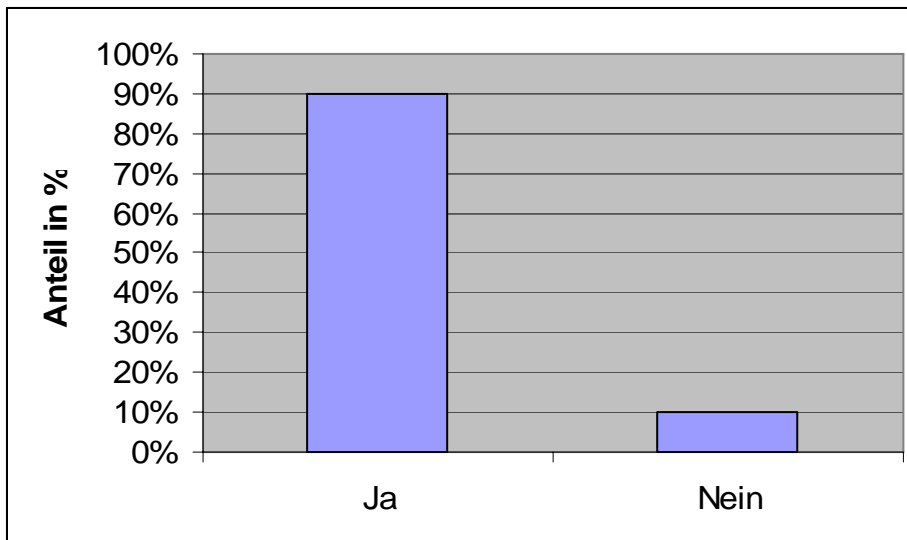


Abb. 8

Fast 90% der befragten Personen würden eine Photovoltaikanlage in Monstein grundsätzlich unterstützen. Man sieht, dass das Dorf bereit wäre, etwas für die Umwelt zu tun und dass dies auch die Touristen nicht sehr stören würde.

## Wäre dieser Eingriff in das Dorfbild akzeptabel?

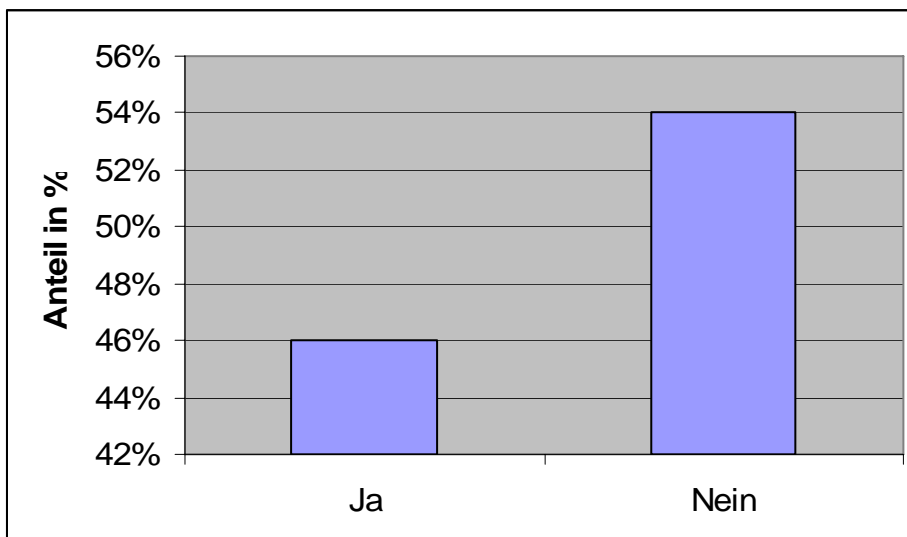


Abb. 9

Ein solcher grosser Eingriff ins Dorfbild würde, wie man sieht, mit einem kleinen prozentualen Anteil eher abgelehnt werden. Das, obwohl man grundsätzlich für eine Photovoltaikanlage in Monstein wäre.

### **6.2.8. Interpretation:**

Aus diesen drei Fragen und deren Antworten kann man schliessen, dass den Einwohnern und den Touristen das Dorfbild wichtig ist und sie trotzdem bereit wären, eine Photovoltaikanlage zu unterstützen. Allerdings nicht an diesem Ort und nicht in diesem Ausmasse (siehe Abb: 6). Man könnte wahrscheinlich ohne grössere Schwierigkeiten Solarstromanlagen auf die Dächer, die Wände oder auf die nicht sichtbaren Wiesen bauen. Nur stellt sich dabei aber wie oben schon erwähnt das Problem, dass es an einigen Orten zu wenig Sonneneinstrahlung hat. Dazu kommt noch, dass man sich die Frage stellen müsste, was das Dorfbild mehr zerstören würde, eine grossangelegte Photovoltaikanlage oberhalb des Dorfes oder auf jedem Dach eine kleinere Anlage? Alle Fragen um die Erhaltung des Dorfbildes und in wie weit es verändert werden darf, betreffen immer den Geschmack und die Einstellung der befragten Personen. Gegenstimmen können nie beseitigt werden. Heute wäre eine solch grosse Photovoltaikanlage wahrscheinlich eine zu grosse Zumutung für das Dorf und doch werden sich die Meinungen der Touristen und der Dorfbewohner in einigen Jahren vielleicht ändern und das Dorfbild tritt dann mehr und mehr in den Hintergrund.

## 7. Quellenverzeichnis

### Internet

- <http://de.wikipedia.org/wiki/Photovoltaik> 1.12.08
- [www.solaranlagen-portal.de](http://www.solaranlagen-portal.de) 1.12.08
- [www.gruenenwald-ag.ch](http://www.gruenenwald-ag.ch) 1.12.08
- [www.swissolar.ch](http://www.swissolar.ch) 1.12.08
- [www.sses.ch](http://www.sses.ch) 5.01.09
- [www.societe-mont-soleil.ch](http://www.societe-mont-soleil.ch) 5.01.09
- [www.jenni.ch](http://www.jenni.ch) 5.01.09
- [www.bkw-fmb.ch/bkwfmb/de/home/inhalte.html](http://www.bkw-fmb.ch/bkwfmb/de/home/inhalte.html) 5.01.09
- [www.siemenssolar.com](http://www.siemenssolar.com) 14.02.09
- <http://strompreise.preisueberwacher.ch> 15.02.09
- [www.solesuisse.ch/de/Start.asp](http://www.solesuisse.ch/de/Start.asp) 16.02.09
- [www.solarbranche.de](http://www.solarbranche.de) 24.02.09
- [http://partner.1to1energy.ch/partnersites/bkw\\_fmb/de/home/produkte.html](http://partner.1to1energy.ch/partnersites/bkw_fmb/de/home/produkte.html)  
24.02.09
- [www.solarch.ch](http://www.solarch.ch) 24.02.09
- <http://labs.hti.bfh.ch/index.php?id=366&L=0> 24.02.09
- [www.waldwissen.net/themen/waldbau/wsl-horizontoskop\\_DE](http://www.waldwissen.net/themen/waldbau/wsl-horizontoskop_DE) 24.02.09
- [www.brueckmann\\_el.ch](http://www.brueckmann_el.ch) 7.03.09
- [www.elektrikjournal.com](http://www.elektrikjournal.com) 7.03.09
- <http://answers.google.com/answers/threadview/id/782886.html> 10.03.09
- <http://www.astro.uio.no/~bgranslo/aares/calculate.html> 10.03.09
- [www.dc9zp.homepage.t-online.de/page6\\_7.htm](http://www.dc9zp.homepage.t-online.de/page6_7.htm) 10.03.09
- [www.solarsupport.ch](http://www.solarsupport.ch) 15.03.09
- <http://solar-club.web.cern.ch/Solar-club/Textes/SEV/sev1839.html> 15.03.09
- [www.hawkins.ch/HC2006/images/01-07\\_/EA%20PVPS.pdf](http://www.hawkins.ch/HC2006/images/01-07_/EA%20PVPS.pdf) 15.03.09
- [www.solarenergy-shop.ch/index.php?page=MW\\_Foerderung\\_Erneuerbare\\_Energie\\_Solar](http://www.solarenergy-shop.ch/index.php?page=MW_Foerderung_Erneuerbare_Energie_Solar)  
15.03.09
- [www.bfe.admin.ch/themen/00490/00497/index.html?lang=de](http://www.bfe.admin.ch/themen/00490/00497/index.html?lang=de) 15.03.09
- [www.wer-weiss-was.de/theme196/article3554380.html](http://www.wer-weiss-was.de/theme196/article3554380.html) 21.03.09

- [www.act-energy.org/services/programme/sonnen\\_diagr/datum1.htm](http://www.act-energy.org/services/programme/sonnen_diagr/datum1.htm) 21.03.09
- <http://forum.astronomie.de/phpapps/ubbthreads/ubbthreads.php?ubb=showflat&Number=512534> 21.03.09
- <http://lexikon.astronomie.info/java/sunmoon> 21.03.09
- [www.solarportal24.de](http://www.solarportal24.de) 21.03.09
- <http://de.wikipedia.org/wiki/Sonnenstand> 29.03.09
- <http://cgi.stadtklima-stuttgart.de/mirror/sonne.exe> 29.03.09
- <http://www.electricity-research.ch/> 13.05.09
- [www.dr.de/themen/wisse/1/energie\\_der\\_zukunft/beitrag.php?l=3&b=4](http://www.dr.de/themen/wisse/1/energie_der_zukunft/beitrag.php?l=3&b=4)  
16.05.09
- [www.news.admin.ch/message/index.html?lang=de&msg+id=17836](http://www.news.admin.ch/message/index.html?lang=de&msg+id=17836) 16.05.09
- [www.news-service.admin.ch/NSSubscriber/message/attachemonts/11836.pdt](http://www.news-service.admin.ch/NSSubscriber/message/attachemonts/11836.pdt)  
17.05.09
- <http://www.energieburo.ch/web/images/stories/horizon/information.pdf>  
20.05.09
- [http://hss.ulb.uni-bonn.de/diss-online/math\\_nat\\_fak/2002/schmidt\\_uwe/teil2.pdf](http://hss.ulb.uni-bonn.de/diss-online/math_nat_fak/2002/schmidt_uwe/teil2.pdf) 24.05.09
- [www.sonnenscheindauer.de](http://www.sonnenscheindauer.de) 27.05.09
- [www.oeko-energie.de/plaintex/solarefakten/intex.php](http://www.oeko-energie.de/plaintex/solarefakten/intex.php) 6.06.09
- [www.kzu.ch/personen/schueler/projekte/AM\\_6h\\_FSO5\\_Sonnengang/index.htm](http://www.kzu.ch/personen/schueler/projekte/AM_6h_FSO5_Sonnengang/index.htm) 6.06.09
- [www.neuenergie.net/index.php?id=663](http://www.neuenergie.net/index.php?id=663) 10.06.09
- [www.taz.de/index.php?id=archivseite&dig=2003/02/22/a0162](http://www.taz.de/index.php?id=archivseite&dig=2003/02/22/a0162) 1.06.09
- [www.ea-nrw.de/\\_infopool/page.asp?InfID=1290](http://www.ea-nrw.de/_infopool/page.asp?InfID=1290) 10.06.09
- <http://idw-online.de/pages/de/news42150> 10.06.09
- [www.tu-clausthal.de/presse/tucontact/2002T oktober/tuc1/09a.pdf](http://www.tu-clausthal.de/presse/tucontact/2002T oktober/tuc1/09a.pdf) 12.06.09
- [www.pp.bme.hu/me/1999\\_1/pdf/me1999\\_1\\_02.pdf](http://www.pp.bme.hu/me/1999_1/pdf/me1999_1_02.pdf) 12.06.09
- [www.kolleg-bund.de/deutsch/projekte/solar/grase/grundlagen/messung/1.htm](http://www.kolleg-bund.de/deutsch/projekte/solar/grase/grundlagen/messung/1.htm)  
12.06.09
- [www.solarkonstante.de/sonne/sonnenstand.htm](http://www.solarkonstante.de/sonne/sonnenstand.htm) 14.06.09
- <http://mb71.mb.fh-osnabruecke.de/PV-Anlage/sunset/sunset.html> 14.06.09
- [www.geoastro.de/elevaz/basics/index.htm](http://www.geoastro.de/elevaz/basics/index.htm) 21.06.09
- [www.geoastro.de/SME/index.htm](http://www.geoastro.de/SME/index.htm) 21.06.09

- [www.alexanderroth.eu/meine\\_programme.htm#SolariXX](http://www.alexanderroth.eu/meine_programme.htm#SolariXX) 1.07.09
- [http://ziehen.frankfurt.schule.hessen.de/lehrer\\_schule/fachkonferenzen/physik/Solar/Solaranlage.jpg](http://ziehen.frankfurt.schule.hessen.de/lehrer_schule/fachkonferenzen/physik/Solar/Solaranlage.jpg) 16.07.09

## Literaturverzeichnis

- Brückmann Philipp; 1. Auflage 2007, autonome Stromversorgung. ökobuch Verlag: Staufen
- Cyphelly, Ph. Brückmann, W. Menhardt Cyphelly & Co.; September 2007, Technische Grundlagen der Druckluftspeicherung. Schlussbericht
- Deutschschweizerische Mathematikkommission/ Deutschschweizerische Physikkommission; 11. Auflage 2006, Formeln und Tafeln, Mathematik-Physik. orell füssli Verlag AG: Zürich 1977
- Hennicke Peter und Fishedick Manfred; Originalausgabe 2007, Erneuerbare Energien. Verlag C.H. Beck oHG: München.
- Wandrey Uwe; Originalausgabe August 2003, Kraftwerk Sonne. Rowohlt Taschenbuch GmbH: Reinbek bei Hamburg

## **Kontaktpersonen**

- Brückmann Philipp
- Canova Pascal
- Casutt Michael
- Hülsen Gregor
- Schneider Dirk
- Vollenweider J.

## **Film**

- Mensch;Technik;Wissenschaft: Solarhaus