



**ERASMUS PLUS EUBILD UNAKLIM  
2016-1-DE02-KA204-003254  
Europäisches Bildungskonzept im Umwelt-,  
Natur- und Klimaschutz zur Sicherung der  
grenzüberschreitenden nachhaltigen Entwicklung**



**Dr. Stelian NISTOR, Dr. Susanne RAHNER, Ilona WINTER,  
Prof. Dr. Michael HARTMANN, Jürgen WEINREICH, Marta MRAZ,  
Alexandra KASTELEWICZ, Mihnea DUMITREAN**

A photograph of a large array of blue solar panels under a clear blue sky with some light clouds. The panels are arranged in a grid pattern and are viewed from a low angle, looking up.

# **SOLARENERGIE HANDBUCH**

**ORADEA  
2018**

# 1. Energie der Sonne. Verstehen, wie die Sonne funktioniert

## 1.1 Wärme und Licht

Die Sonne (Abb. 1) ist ein riesiger Fusionsreaktor. „Fusion“ bedeutet einfach, dass die Wasserstoffatome zu Helium verbunden werden. Dies geschieht auf der Sonne, weil sie sehr heiß ist. Die Sonne ist sehr heiß, weil die Fusion eine große Mengen an Wärme freisetzt. Aus diesem Grund wird die Fusion als Kettenreaktion bezeichnet. Die Energiequelle wird durch Fusionsreaktionen von Wasserstoff zu Helium versorgt, vor allem durch die Proton-Proton-Reaktion (p-p) (Severino G., 2017).

Der Kernfusionsprozess der Sonne wandelt 508 Millionen Tonnen Wasserstoff in 504 Millionen Tonnen Helium pro Sekunde um. Die restlichen 4 Millionen Tonnen Materie werden in Energie umgewandelt, was die Kerntemperatur der Sonne extrem heiß macht. Wie Albert Einstein feststellte, wird eine sehr kleine Menge an Materie in sehr große Energiemengen umgewandelt. Tatsächlich könnte ein Gramm Materie, das durch Fusion in Energie umgewandelt wird, die gesamte Energiemenge liefern, die Ihr Haus und Ihr Auto für ein Jahr benötigen würden – plus fünftausend Häuser und Autos anderer Menschen.

Die Energie, die die Sonne ausstrahlt, ist anderen Energiequellen vorzuziehen, da die Sonneneinstrahlung reichlich vorhanden ist und für mehrere Millionen von Jahren anhalten wird (West M., 1993).

Was ist die Quelle der Sonnenenergie? Es ist die entscheidende Frage, denn Licht und Wärme der Sonne sind die Grundlage für (nahezu) alle Lebensformen auf der Erde. Sonnenlicht treibt das Pflanzenleben durch Photosynthese an und die Tiere können überleben, indem sie Pflanzen essen. Fast alle mikroskopischen Lebensformen (Bakterien, Protozoen, etc.) überleben, indem sie die Energie des Sonnenlichts nutzen.

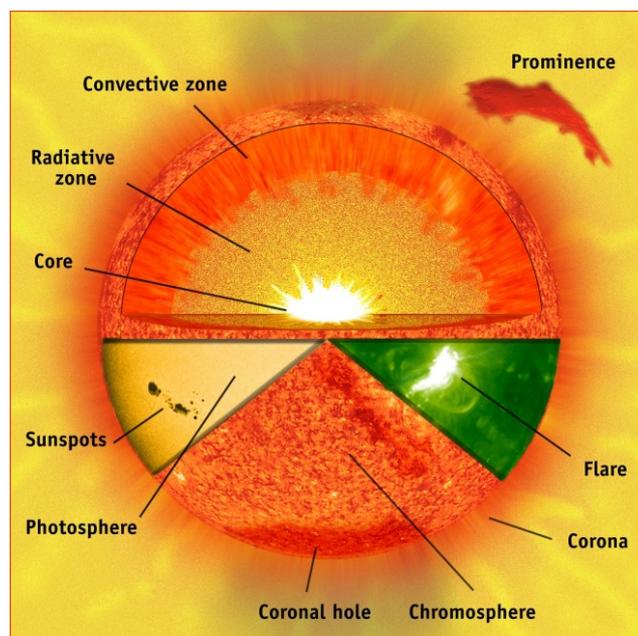


Abb. 1 Struktur der Sonne  
(Quelle, <http://www.thesuntoday.org/the-sun/solar-structure>)

Convective zone	Konvektive Zone
Radiative zone	Strahlungszone
Core	Kern
Sunspots	Sonnenflecken
Photosphere	Photosphäre
Coronal hole	Koronales Loch
Chromosphere	Chromosphäre
Corona	Korona
Flare	Flare
Prominence	Protuberanz

## 1.2 Oberflächentemperatur

Wir wissen, dass die Sonne eine Kugel mit einem Durchmesser von 1.400.000 km ist, dass ihre äußeren Bereiche aus heißen Gasen bestehen, meist Wasserstoff und Helium, und dass ihre Oberflächentemperatur etwa 6.000 Grad Celsius (etwa 11.000 Grad Fahrenheit) beträgt. Bei dieser Temperatur erzeugt jede Oberfläche Wärme und Licht. Die Brenner eines Elektroherdes oder eines Tischbackofens zum Beispiel liegen nicht bei 6.000 C., aber wenn sie eingeschaltet werden, sind sie „rot heiß“; sie geben Wärme und Licht ab und das Licht ist rot. Wenn wir die Temperatur auf 6.000 C. anheben könnten, würden sie „weiß heiß“ werden und Licht wie die Sonne ausstrahlen. Ebenso ist ein Feuer eine Region von Gasen mit einer Temperatur, die hoch genug ist, um Wärme und Licht zu erzeugen (Goga N., 2010)

Es stellt sich also nicht so sehr die Frage, warum es Wärme und Licht gibt, sondern woher die Energie kommt, um die Oberflächentemperatur der Sonne auf 6.000 Grad zu halten?

Für einen Wissenschaftler, der im 18. oder 19. Jahrhundert vor Elektrogeräten lebte, wäre der wahrscheinlichste Ansatz zum Verständnis der Sonnenenergie, die Analogie zum Feuer herzustellen. Wenn etwas brennt, kommt es zu einer chemischen Reaktion zwischen dem Material und dem Sauerstoff in der Luft. Ohne zu wissen, was für Chemikalien es in der Sonne gibt, könnte man immer noch davon ausgehen, dass es eine chemische Reaktion gibt, die Wärme produziert und die Sonne heiß hält. Das Problem ist, wie lange es dauern würde, bis die brennenden Chemikalien alle verbraucht sind und das Feuer erlischt, so wie sich die in einem Kamin brennenden Stämme innerhalb von wenigen Stunden zu Asche verwandeln?

### 1.3 Die Lebensdauer der Sonne

Es ist nicht schwer, eine ungefähre Antwort auf diese Frage zu finden, da wir die Masse der Sonne kennen. Die Masse wird nach dem Gesetz der universellen Gravitation und nach den bekannten Umlaufbahnen der Planeten berechnet. Angenommen, die Masse ist dem Kohlenstoff ähnlich, kann man die Lebensdauer der Sonne auf etwa 50.000 Jahre berechnen. Jede chemische Verbrennung führt zu einer Lebensdauer in diesem allgemeinen Bereich (Bland P., 2004).

Die Geologen des 19. Jahrhunderts glaubten jedoch, dass das Alter der Erde 100 Millionen Jahre oder mehr betrug. Das waren lediglich ungefähre Berechnungen, sie basierten aber auf vernünftigen Annahmen darüber, wie Salz im Meer abgelagert wird und wie das Meeressediment auf den heutigen Kontinenten abgelagert wird. (Wenn wir zum Beispiel davon ausgehen, dass das gesamte Salz in den Ozeanen dort durch die Flüsse abgelagert wurde, und wir die aktuelle Depositionsrate in den Flüssen messen könnten, könnten wir dann die Anzahl der Jahre berechnen, bis die heute in den Ozeanen vorkommenden Salzgehalte erreicht werden.) Da die Erde die Sonne umkreist, ist es schwer vorstellbar, dass die Erde älter sein könnte als die Sonne. Daher war das Modell der Sonne als ein chemisches Feuer nicht tragbar (<http://academic.brooklyn.cuny.edu/physics/sobel/Nucphys/sun.html>)

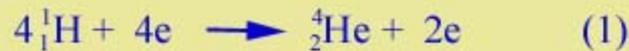
### 1.4 Gravitationsenergie

Um 1850 schlug der Physiker Hermann von Helmholtz vor, dass die Quelle der Sonnenenergie die Gravitation sein könnte – d.h. die universelle Gravitationskraft, die durch jedes Stück der Sonne auf jedes andere Stück ausgeübt wird (Cahan D., 2004). Wir können sehen, dass die Schwerkraft Energie produzieren kann, indem sie nur daran denkt, ein Objekt freizugeben, z.B. einen Baseball, und es auf den Boden fallen lässt. Die Bewegungsenergie (kinetische Energie) wird erzeugt, wenn der Ball nach unten beschleunigt. Wenn wir die Sonne als eine riesige Gaskugel betrachten, verspürt jedes Atom im Gas eine Nettoanziehung zum Zentrum der Kugel, und so neigen alle Atome dazu, in Richtung Zentrum zu „fallen“. Dabei stoßen sie mit anderen Atomen zusammen und so ist ihre Bewegung energiegeladen, jedoch zufällig. Schnelle Zufallsbewegungen von Atomen in einem Gas bedeuten höhere Temperaturen. Angesichts der bekannten Geschwindigkeit, mit der die Sonne Energie produziert, konnte Helmholtz einschätzen, wie lange die Sonne aufgrund ihrer Masse weiterhin Energie auf diese Weise produzieren kann. Seine Schlussfolgerung lag bei etwa 20 Millionen Jahren, viel länger als Schätzungen, die auf der chemischen Verbrennung basieren, und näher den Schätzungen zu diesem Zeitpunkt des Erdalters.

Dennoch sind Millionen von Jahren nicht lang genug. Der beste Wert für das Alter des Sonnensystems, der Sonne und der Planeten, liegt heute bei 4,6 Milliarden Jahren. Wir wissen aus der radioaktiven Datierung, dass es Gesteine gibt, die vor etwa 4 Milliarden Jahren erstarrt sind, und dass es bereits vor fast 3,5 Milliarden Jahren frühe Mikroorganismen gab. Gravitation kann also nicht die Erklärung dafür sein, woher die Sonne ihre Energie bezieht.

## 1.5 Kernreaktionen

Mit der Entdeckung des Atomkerns (1911), der Erforschung von *Kernreaktionen* (1920) und Einsteins *Relativitätstheorie* (1905) kamen die Dinge schließlich Anfang des 20. Jahrhunderts zusammen. In einer typischen Kernreaktion kommen mehrere subatomare Partikel zusammen, sie interagieren und es entstehen mehrere (möglicherweise unterschiedliche) Partikel. Es gibt eine Reihe von Reaktionen in der Sonne, aber das Endergebnis ist die folgende Kombination von Teilchen.



### Wasserstoffverbrennung

Die linke Seite dieser Reaktion zeigt vier Protonen und vier Elektronen, grundsätzlich vier Wasserstoffatome. Wasserstoff ist der natürliche Ausgangspunkt, da der größte Teil der Materie der Sonne (und auch die Sterne) aus dem Wasserstoffgas besteht. Wasserstoff ist das einfachste Element, daher ist es vernünftig zu erwarten, dass ein Großteil des Universums im primitiven Zustand aus Wasserstoff bestehen würde. Der Endpunkt ist Helium, bekanntlich das zweithäufigste Bestandteil der Sonne. Es wird oft als "Wasserstoffverbrennung" zu Helium bezeichnet und Wasserstoff wird oft als "Brennstoff" bezeichnet, aber man muss verstehen, dass die Reaktion nicht im Sinne einer chemischen Reaktion zwischen einem Brennstoff, wie Kohle oder Holz, und dem Sauerstoff verläuft. Es ist eine Kernreaktion (Green S. F., Jones M. H., 2004).

## 1.6 In Energie umgewandelte Masse

Bei dieser Reaktion wird Energie erzeugt, da die Gesamtmasse der Partikel auf der rechten Seite geringer ist als auf der linken Seite. Es geht nicht nur darum, dass auf der rechten Seite weniger Elektronen vorhanden sind. Der wichtigste Unterschied besteht darin, dass die Masse des Heliumkerns ( ${}^4_2\text{He}$ ) wesentlich geringer ist, als die Gesamtmasse der vier Protonen auf der linken Seite. Dies ist ein Beispiel für die *Bindungsenergie*: Der  ${}^4_2\text{He}$  besteht aus zwei Protonen und zwei Neutronen, aber seine Masse ist kleiner als die Gesamtmasse von zwei Protonen und zwei Neutronen.

Da die Masse auf der linken Seite größer ist als auf der rechten Seite, haben wir am Ende eine Energie, die erzeugt wird, wenn die Reaktion stattfindet, eine Energie, die dem Massenunterschied mal  $c^2$  entspricht. Diese Energie gibt es in zwei Formen: Bewegungsenergie der Partikel in der Sonne und *Gammastrahlung*.

## 1.7 Der Protonen-Protonen-Zyklus

Gleichung (1) ist eigentlich das Nettoprodukt einer Reihe von mehr fundamentalen Reaktionen. Der Prozess der Gleichung (1) wird als der Proton-Proton-Zyklus bezeichnet, da er mit der Interaktion zweier Protonen beginnt.

Der Aufbau von kleinen zu größeren Kernen wird als Fusion bezeichnet, und die Sequenz, die in der Sonne stattfindet, ist ähnlich (aber nicht identisch) zu den *Fusionsreaktionen*, die als mögliche Quelle für elektrische Energie auf der Erde untersucht werden (Severino G., 2017).

## 1.8 Die Bindungsenergie des Alpha-Teilchens

Warum macht sich die Natur (die Sonne und die Sterne) so viel Mühe, die  ${}^4\text{He}$ 's herzustellen? Die Antwort ist die, dass unter den verschiedenen kleinen Kernen, die am Proton-Proton-Zyklus beteiligt sind, der  ${}^4\text{He}$  am stärksten gebunden ist. Seine Bindungsenergie ist relativ sehr groß, was bedeutet, dass eine große Menge an Energie freigesetzt wird, wenn die Natur einen  ${}^4\text{He}$  erzeugt. Etwas Energie wird in jedem Teil des Zyklus freigesetzt, aber die meisten Energiemengen werden im letzten Schritt freigesetzt, wo der  ${}^4\text{He}$  erzeugt wird.

## 1.9 Gravitationskollaps

Das Modell, das wir für den Ursprung der Sonne halten, ist eine Wolke aus Wasserstoffgas, die unter ihrer eigenen Selbstgravitation (wie in den Überlegungen von Helmholtz) anfängt, zusammenzubrechen und sich zu erhitzen. Obwohl dies nicht der Mechanismus für die Energieerzeugung durch die Sonne für Milliarden von Jahren sein kann, kann es sich um einen Auslösungs- oder Zündmechanismus handeln (O'Keefe M., Pike K., 2004).

## 1.10 Heißes Plasma

Dadurch bricht die Wolke zusammen und bei hoher Temperatur wird das Gas zu einem Plasma. Die Wasserstoffatome trennen sich in Protonen und Elektronen, und diese Teilchen bewegen sich zufällig. Die Temperatur ist im Mittelpunkt der Wolke am heißesten und dort bewegen sich die Protonen so dynamisch, dass die Reaktion in der Gleichung beginnt zu laufen und der Proton-Proton-Zyklus beginnt.

## 1.11 Equilibrium

Diese Prozesse laufen im Zentrum der Wolke weiter und bringen die Temperatur auf rund 10 000 000 Grad. Bei dieser Temperatur erreicht die Sonne ein Equilibrium, wo der Außendruck dieser „brennenden“ Gase die Gravitationskraft ausgleicht, die die Materie nach innen zieht. Die im Zentrum erzeugte Energie arbeitet sich kontinuierlich nach außen und hält die ganze Sonne heiß. Die äußeren Regionen sind viel kühler als das Zentrum, aber sie sind heiß genug, so dass Energie in den Weltraum abgegeben wird, und zwar in Form von Wärme und Licht, die die Erde umhüllen (Green S. F., Jones M. H., 2004).

## 1.12 Die Lebensdauer der Sonne

Die Sonne kann in diesem ausgeglichenen Zustand insgesamt etwa 10 Milliarden Jahre lang bleiben. Angesichts des Alters der Sonne von etwa 4,6 Milliarden Jahren kann man davon ausgehen, dass wir noch etwa 5 Milliarden Jahre vor uns haben. Schließlich wird der größte Teil des Wasserstoffs im Zentrum verbraucht, und die Sonne tritt in eine sterbende Phase ein.

Der Protonen-Protonen-Zyklus versorgt nicht nur die Sonne, sondern auch die meisten Sterne im mittleren bis kleinen Massenbereich. Sterne, die größer als die Sonne sind, produzieren Energie über eine kompliziertere Reihe von Reaktionen, aber der Nettoeffekt ist auch der in der Gleichung (1), Wasserstoffverbrennung zu Helium (Tyson N., 2017).

## 1.13 Sonneneinstrahlung

Oft als Sonnenressource bezeichnet, ist die Sonneneinstrahlung ein allgemeiner Begriff für die elektromagnetische Strahlung der Sonne. Mit verschiedenen Technologien kann die Sonneneinstrahlung erfasst und in nützliche Energieformen wie Wärme und Strom umgewandelt werden. Die technische Machbarkeit und der wirtschaftliche Betrieb dieser Technologien an einem bestimmten Standort hängen jedoch von der verfügbaren Solarressource ab (<https://www.energy.gov/eere/solar/articles/solar-radiation-basics>).

Jeder Ort auf der Erde erhält mindestens in einem Teil des Jahres Sonnenlicht. Die Menge der Sonneneinstrahlung, die einen Punkt auf der Erdoberfläche erreicht, variiert je nach den folgenden Kriterien:

- i. Geographische Lage
- ii. Tageszeit
- iii. Jahreszeit
- iv. Lokale Landschaft
- v. Lokales Wetter

Da die Erde rund ist, trifft die Sonne unter verschiedenen Winkeln auf die Oberfläche, die von  $0^\circ$  (knapp über dem Horizont) bis  $90^\circ$  (direkt über dem Kopf) reichen. Wenn die Sonnenstrahlen senkrecht fallen, erhält die Erdoberfläche die gesamte mögliche Energie. Je schräger die Sonnenstrahlen fallen, desto länger wandern sie durch die Atmosphäre und desto zerstreuter und diffuser werden sie. Da die Erde rund ist, steht in den kalten Polarregionen die Sonne nie hoch, und aufgrund der geneigten Drehachse gibt es in diesen Gebiete während eines Teils des Jahres überhaupt keine Sonne.

Die Erde dreht sich um die Sonne in einer elliptischen Umlaufbahn und ist während eines Teils des Jahres näher an der Sonne. Wenn die Sonne näher an der Erde steht, erhält die Erdoberfläche etwas mehr Sonnenenergie. Die Erde ist der Sonne näher, wenn auf der Südhalbkugel Sommer und auf der Nordhalbkugel Winter ist. Die riesigen Ozeane mildern jedoch den heißeren Sommer und kälteren Winter, die man aufgrund dieses Unterschieds auf der Südhalbkugel erwarten würde.

Die Neigung der Drehachse der Erde von  $23,5^\circ$  ist ein bedeutenderer Faktor bei Bestimmung der Menge des Sonnenlichts, das an einem bestimmten Ort auf die Erde trifft. Die Neigung resultiert in längeren Tagen auf der Nordhalbkugel von der Frühlings-Tagundnachtgleiche bis zum Herbst-Tagundnachtgleiche und in längeren Tagen auf der Südhalbkugel in den anderen 6 Monaten. Tage und Nächte sind genau 12 Stunden lang zu den Tagundnachtgleichen, die jedes Jahr am bzw. um den 23. März und 22. September herum vorkommen.

Die Sonne ist für die gesamte Erdenergie verantwortlich. Pflanzen nutzen das Sonnenlicht, um die Nahrung zu produzieren. Vor hunderten von Millionen Jahren erzeugten die verfaulenden Pflanzen die Kohle, das Öl und das Erdgas, die wir heute nutzen. Die Solarenergie wird am häufigsten mit Hilfe von Solarzellen gewonnen. Natürlich kann Solarenergie zur Beheizung oder Beleuchtung eines Raumes genutzt werden, wenn man einfach gut platzierte Fenster und Oberlichter hat. Wir können auch die Sonnenenergie nutzen, um unsere Kleidung in der Sonne zu trocknen. Zur Nutzung der Sonnenenergie für die Stromversorgung von Elektrogeräten werden Solarzellen verwendet (<https://www.energy.gov/eere/solar/articles/solar-radiation-basics>).

## 1.14 Solarenergie – Grundprinzipien

Sonnenenergie entsteht durch Licht und Wärme, die von der Sonne in Form von elektromagnetischer Strahlung abgegeben wird.

Mit der heutigen Technologie sind wir in der Lage, diese Strahlung zu erfassen und in nutzbare Formen der Solarenergie – wie Wärme oder Strom – zu verwandeln.

Solarenergie ist die Kernfusionsreaktion der Sonne innerhalb der kontinuierlich erzeugten Energie. Auf der Erdumlaufbahn beträgt die durchschnittliche Sonneneinstrahlung  $1367 \text{ kW/m}^2$ . Der Umfang des Erdäquators beträgt  $40000 \text{ km}$ , so dass wir die Energie, die die Erde erhält, bis zu  $173.000 \text{ TW}$  berechnen können. Auf der Meereshöhe beträgt die übliche Spitzenintensität  $1 \text{ kW/m}^2$ , ein Punkt auf der Erdoberfläche 24h der jährlichen durchschnittlichen Strahlungsintensität beträgt  $0,20 \text{ kW/m}^2$ , oder etwa  $102.000 \text{ TW}$  Energie. Um zu überleben ist der Mensch auf Solarenergie angewiesen, einschließlich aller anderen Formen erneuerbarer Energiequellen (außer geothermischer Energie). Obwohl die Gesamtmenge der Solarenergie-Ressourcen das Zehntausendfache der vom Menschen verbrauchten Energie bildet, ist die Dichte der Solarenergie gering und sie wird durch den Standort oder die Jahreszeit beeinflusst, was ein großes Problem bei der Entwicklung und Nutzung der Solarenergie darstellt (Tiwari G, 2005).

Der auf den Sektor erneuerbarer Energiequellen ausgeübte Druck nimmt aufgrund der Entwicklung der Weltwirtschaft und des Bevölkerungswachstums immer mehr zu. Abb. 2 zeigt die Prognose für die aus erneuerbaren Quellen gewonnene elektrische Energie bis 2030 (Maican E., 2015).

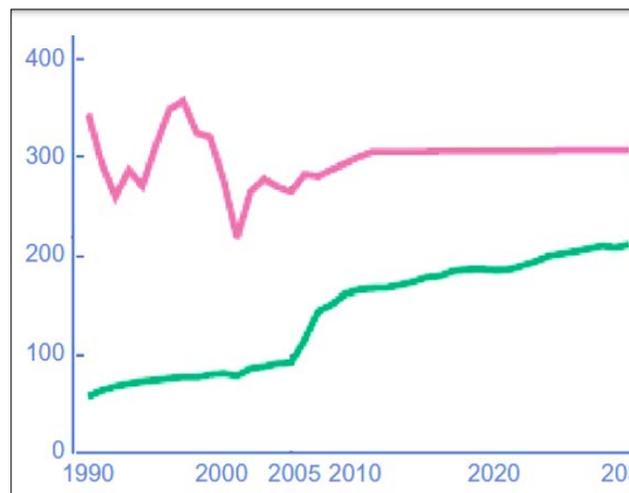


Abb. 2 Die Entwicklungstendenz der Energie aus erneuerbaren Quellen bis 2030, in Milliarden KWHS, rote Linie – Wasserkraftenergie, grüne Linie – erneuerbare Energie, (Quelle, Maican E., 2015)

### 1.14.1 Verfügbare Solarressourcen

Es ist schwierig, dass es überhaupt jemals Zeiten gab, wo die Menschen nicht verstanden und nicht zu schätzen wussten, was für einen Beitrag die Sonne zum Überleben der Menschheit leistet. (Newton D.E., 2015).

Die technische Machbarkeit und Wirtschaftlichkeit der Nutzung von Solarenergie hängen von der Menge des verfügbaren Sonnenlichts (der Sonneneinstrahlung) auf dem Gebiet ab, wo Sie die Solarheizungen oder Solarmodule platzieren möchten.

Jeder Teil der Erde wird während mindestens eines Teils des Jahres mit Sonnenlicht versorgt. Ein „Teil des Jahres“ bezieht sich auf die Tatsache, dass die Nord- und Südpolkappen für einige Monate des Jahres jeweils in völliger Dunkelheit liegen. Die Menge des verfügbaren Sonnenlichts ist ein Faktor, der bei Erwägung der Nutzung von Sonnenenergie berücksichtigt werden sollte.

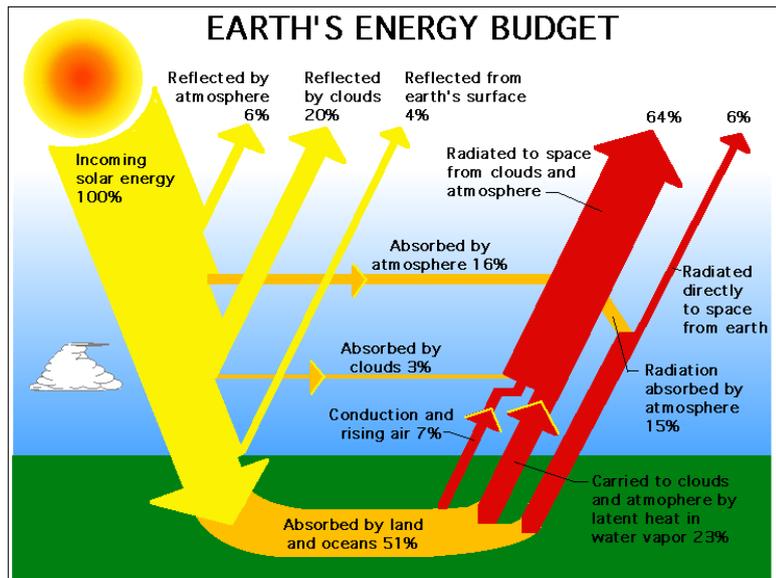


Abb. 3 Energiehaushalt der Erde  
(Quelle, <https://marine.rutgers.edu/cool/education/class/yuri/erb.html>)

EARTH'S ENERGY BUDGET	ENERGIEHAUSHALT DER ERDE
Reflected by atmosphere 6%	Durch die Atmosphäre reflektiert 6%
Reflected by clouds 20%	Durch die Wolken reflektiert 20%
Reflected from earth's surface 4%	Durch die Erdoberfläche reflektiert 4%
Incoming solar energy 100%	Von der Sonne abgegebene Energie 100%
Radiated to space from clouds and atmosphere	Durch die Wolken und die Atmosphäre in den Weltraum emittiert
Absorbed by atmosphere 16%	Durch die Atmosphäre absorbiert 16%
Absorbed by clouds 3%	Durch die Wolken absorbiert 3%
Conduction and rising air 7%	Übertragung und aufsteigende Luft 7%
Absorbed by land and oceans 51%	Durch das Land und die Ozeane absorbiert 51%
Radiated directly to space from earth	Direkt aus der Erde in den Weltraum emittiert
Radiation absorbed by atmosphere 15%	Durch die Atmosphäre absorbierte Strahlung 15%
Carried to clouds and atmosphere by latent heat in water vapor 23%	Durch latente Wärme in Wasserdampf zu den Wolken und zu der Atmosphäre übertragen 23%

Es gibt jedoch auch noch andere Faktoren, die bei Bestimmung der Funktionsfähigkeit der Sonnenenergie an dem jeweiligen Ort berücksichtigt werden müssen. Diese sind wie folgt:

Die Tage und Nächte sind auf die Erdrotation zurückzuführen, die Jahreszeiten jedoch auf die Erdrevolution, wobei die Äquatorneigung gegen die Bahnebene  $23^{\circ} 27'$  beträgt. Die Erde dreht sich um die „Achse“, die durch ihre eigenen Nord- und Südpole jeden Tag einen Stromkreis von West nach Ost bildet. Durch die Erdrotation entstehen Tage und Nächte, so dass sich die Erde um  $15^{\circ}$  pro Stunde dreht. Darüber hinaus bewegt sich die Erde auf einer leicht exzentrischen, elliptischen Umlaufbahn um die Sonne herum, und zwar mit einem Umlauf pro Jahr. Die Achsen der Erdrotation und der Erdrevolution sind um  $23,5^{\circ}$  gegen die Erdumlaufbahn geneigt. Die Erdrevolution bleibt unverändert, da die Erdachse ihre Richtung im Raum beibehält und immer nach dem Nordpol der Erde zeigt. Während die Erde im Laufe eines Jahres einmal um die Sonne läuft, ist auf einer Hälfte der Bahn die Nordhalbkugel und auf der anderen Hälfte die Südhalbkugel der Sonne zugeneigt, so dass sich die Jahreszeiten auf der Erde ändern. Mittags ist die Sonnenhöhe jeden Tag immer am höchsten. In den tropischen Regionen mit niedrigen Breiten (im äquatorialen Bereich, zwischen dem nördlichen und südlichen Wendekreis von  $23^{\circ} 27'$ ), steht die Sonne mittags zweimal pro Jahr im Zenit, die Sonne ist immer in der Nähe des Äquators. In der Arktis und Antarktis (in der nördlichen und südlichen Hemisphäre von mehr als  $90^{\circ} \sim 23^{\circ} 27'$ ) bleibt die Sonne im Winter für eine lange Zeit unter dem Horizont.

### **1.15 Diffuses und direktes Sonnenlicht**

Wenn Sonnenlicht durch die Erdatmosphäre strömt, wird ein Teil davon absorbiert, gestreut und reflektiert.

Das Sonnenlicht besteht aus zwei Elementen – dem direkten Sonnenlicht und dem diffusen Sonnenlicht. Die Sonneneinstrahlung geht durch die Atmosphäre und erreicht den Boden, dabei wird sie durch die Luftmoleküle in der Atmosphäre, den Wasserdampfe und Staub absorbiert, reflektiert und zerstreut, wodurch nicht nur die Strahlungsintensität reduziert wird, sondern auch die Strahlungsrichtung und die spektrale Strahlungsverteilung verändert werden. Daher handelt es sich bei der tatsächlichen Sonneneinstrahlung, die auf die Erde trifft, in der Regel um direktes und diffuses Sonnenlicht. Direktes Sonnenlicht ist die Strahlung, die direkt von der Sonne kommt und deren Richtung nicht geändert wurde; Diffusion ist eine Reflexion und Streuung durch die Atmosphäre, wobei die Richtung der Sonneneinstrahlung geändert wird, bestehend aus drei Teilen: die Sonne um die Streuung (Oberfläche der Sonne um das Himmelslicht herum), Horizontkreis-Streuung (Horizontkreis um das Himmelslicht oder dunkles Licht) und andere diffuse Himmelstrahlung. Darüber hinaus empfängt die nicht-horizontale Ebene auch die vom Boden reflektierte Einstrahlung. Direktes, diffuses und reflektiertes Sonnenlicht sollen die Summe der gesamten Strahlung bzw. der globalen Sonneneinstrahlung bilden. Man kann sich darauf verlassen, dass die Linse oder der Reflektor auf der direkten Sonneneinstrahlung fokussiert werden. Bei einer hohen Kondensatorgeschwindigkeit kann eine hohe Energiedichte erreicht werden, aber das diffuse Sonnenlicht wird verloren. Bei einer niedrigen Kondensatorgeschwindigkeit können auch Teile des diffusen Sonnenlichts kondensiert werden. Diffuses Sonnenlicht hat eine große Variationsbreite, und an wolkenlosen Tagen beträgt das diffuse Sonnenlicht 10% des gesamten Sonnenlichts. Aber wenn der Himmel mit dunklen Wolken bedeckt und die Sonne nicht zu sehen ist, entspricht das gesamte Sonnenlicht dem diffusen Sonnenlicht. Daher sammelt ein Poly-Kollektor die Energie, die normalerweise viel höher ist, als beim Nicht-Poly-Kollektor. Das reflektierte Sonnenlicht ist in der Regel schwach, aber bei schneebedecktem Boden kann das vertikal reflektierte Sonnenlicht bis zu 40% des gesamten Sonnenlichts betragen (<https://www.energy.gov/eere/solar/articles/solar-radiation-basics>).

## **1.16 Messung des Sonnenlichts und der Sonnenenergie**

Die Wissenschaftler messen die Menge an Sonnenlicht, die an bestimmten Orten zu den verschiedenen Jahreszeiten zur Verfügung steht. Sie sind dann in der Lage, die Menge des Sonnenlichts zu schätzen, das auf ähnliche Regionen auf dem gleichen Breitengrad mit ähnlichem Klima und ähnlichen Bedingungen fällt.

Messungen der Sonnenenergie werden normalerweise als „Gesamtstrahlung auf einer horizontalen Fläche“ oder als „Gesamtstrahlung auf einer der Sonne nachgeführten Fläche“ ausgedrückt. Im letzteren Fall wird davon ausgegangen, dass man ein Solarmodul verwendet, das die Sonne automatisch verfolgt. Mit anderen Worten, das Solarmodul würde auf einem Aufspürgerät montiert, so dass das Modul den ganzen Tag über den rechten Winkel zur Sonne behält. Dieses System wird in erster Linie für die Industrieanlagen eingesetzt, wenn es überhaupt eingesetzt wird.

### **1.16.1 Messungen der Solarenergie**

Die Strahlungsdaten (die an einem bestimmten Ort verfügbare Menge an Sonnenenergie) für elektrische (photovoltaische) Solaranlagen werden oft als Kilowattstunden pro Quadratmeter ( $\text{kWh/m}^2$ ) dargestellt. Direkte Schätzungen bezüglich der Sonnenenergie können als „Watt pro Quadratmeter“ ( $\text{W/m}^2$ ) ausgedrückt werden (<https://www.energy.gov/eere/solar/articles/solar-radiation-basics>).

Die Strahlungsdaten für solare Warmwasserbereitungs- und Raumheizsysteme werden in der Regel in britischen Wärmeeinheiten pro Quadratfuß ( $\text{Btu/ft}^2$ ) dargestellt.

## 2. SOLARKOLLEKTOREN

Ein Solarmodul ist ein Gerät, das Sonnenenergie sammelt und in Strom oder Wärme umwandelt. Die photovoltaischen Solarkollektoren können so hergestellt werden, dass die Sonnenenergie die Atome in einer Siliziumschicht zwischen den zwei Schutzkollektoren anregt. Die Elektronen aus diesen angeregten Atomen bilden den elektrischen Strom, der von externen Geräten genutzt werden kann. Solarmodule wurden vor über hundert Jahren zur Warmwasserbereitung in den Häusern eingesetzt. Die Solarmodule können auch mit einem speziell geformten Spiegel ausgestattet werden, der das Licht auf ein Ölrohr bündelt. Das Öl erwärmt sich dann, wandert durch ein Wasserfass und bringt das Wasser sofort zum Kochen. Der Dampf entsteht und dreht dann eine Turbine für die Stromerzeugung.

### 2.1 So funktionieren die Solarmodule

Das Grundelement von Solarmodulen ist reines Silizium. Von Verunreinigungen befreit, bildet Silizium eine ideale neutrale Plattform für die Übertragung von Elektronen. Im natürlichen Zustand verfügt Silizium über vier Elektronen, hat aber Platz für acht. Daher hat Silizium Platz für vier weitere Elektronen. Kommt ein Siliziumatom mit einem anderen Siliziumatom in Berührung, erhält jedes Atom die vier Elektronen des anderen Atoms. Acht Elektronen decken die Bedürfnisse der Atome und dies schafft eine starke Bindung, aber es gibt keine positive oder negative Ladung. Dieses Material wird auf den Platten von Solarmodulen verwendet. Eine Verbindung aus Silizium und anderen Elementen, die eine positive oder negative Ladung aufweisen, kann ebenfalls bei Solarmodulen verwendet werden.

So hat beispielsweise Phosphor den anderen Atomen fünf Elektronen zu bieten. Werden Silizium und Phosphor chemisch miteinander verbunden, ergeben sich daraus acht stabile Elektronen mit einem zusätzlichen freien Elektron. Das Silizium benötigt das freie Elektron nicht, kann es aber nicht loswerden, da es an das andere Phosphoratom gebunden ist. Daher gilt diese Silizium- und Phosphorplatte als negativ geladen.

Damit der Strom fließen kann, muss auch eine positive Ladung erzeugt werden. Die Verbindung von Silizium mit einem Element wie Bor, das nur drei Elektronen zu bieten hat, erzeugt eine positive Ladung. Eine Silizium- und Borplatte hat noch einen freien Platz für ein anderes Elektron zur Verfügung. Daher hat diese Platte eine positive Ladung. Die beiden Platten werden zu Solarmodulen zusammengefügt und zwischen ihnen verlaufen die Leiterdrähte (<http://www.articlesbase.com/technology-articles/solar-energy-basic-principles-649460.html>).

Die Photonen bombardieren die Silizium-/Phosphoratom, wenn die negativen Platten der Solarzellen in Richtung Sonne zeigen. Schließlich wird das 9. Elektron vom Außenring verdrängt. Da die positive Silizium-/Bor-Platte es an den freien Platz an ihrem eigenen Außenband anzieht, bleibt dieses Elektron nicht lange frei. Wenn die Photonen der Sonne mehrere Elektronen abbrechen, wird Strom erzeugt. Wenn alle Leiterdrähte die freien Elektronen von den Platten wegziehen, gibt es genug Strom, um Motoren mit niedriger Stromstärke oder andere elektronische Geräte zu betreiben, obwohl die von einer Solarzelle erzeugte Elektrizität an sich nicht sehr beeindruckend ist. Werden die Elektronen nicht verwendet oder an die Luft abgegeben, werden sie an die Negativplatte zurückgeführt und der gesamte Prozess beginnt von vorne.

## **2.2 Solarthermie**

Solarthermie (oder Solar Thermal Energy, STE) ist eine Technologie, um die Solarenergie zur Wärmeengewinnung einzuspannen. Die Solarthermiekollektoren werden von der US Energy Information Agency als Nieder-, Mittel- oder Hochtemperaturkollektoren bezeichnet. Niedertemperaturkollektoren sind flache Platten, die grundsätzlich zur Beheizung von Schwimmbädern verwendet werden. Mitteltemperaturkollektoren sind in der Regel auch Flachplatten, werden aber zur Erzeugung von Warmwasser für den privaten und gewerblichen Gebrauch eingesetzt. Hochtemperaturkollektoren bündeln das Sonnenlicht mittels Spiegeln oder Linsen und werden in der Regel zur Stromerzeugung eingesetzt. Das ist der Unterschied im Vergleich mit der solaren Photovoltaik, die die Sonnenenergie direkt in Strom umwandelt.

### **2.2.1 Niedertemperaturkollektor**

Das Sonnenlicht durchdringt die Verglasung und trifft auf die Absorberplatte, die sich erwärmt und die Sonnenenergie in Wärmeenergie umwandelt. Die Wärme wird an die Flüssigkeit abgegeben, die durch die an der Absorberplatte befestigten Rohre geleitet wird. Die Absorberplatten werden üblicherweise mit „selektiven Beschichtungen“ lackiert, die Wärme besser als herkömmliche schwarze Farben absorbieren und speichern. Absorberplatten werden in der Regel aus Metall hergestellt, typischerweise aus Kupfer oder Aluminium, da das Metall ein guter Wärmeleiter ist. Kupfer ist teurer, aber es ist ein besserer weniger korrosionsanfälliger Leiter als Aluminium. An Standorten mit der durchschnittlich verfügbaren Sonnenenergie haben die Flachkollektoren eine Größe von etwa einem halben Quadratfuß bis zu einem Quadratfuß pro Gallone für die Warmwassernutzung an einem Tag.

Der Hauptanwendungsbereich dieser Technologie bilden die Wohngebäude, wo der Warmwasserbedarf einen großen Einfluss auf die Energiekosten hat. Dies ist in der Regel bei großen Familien oder auch beim überhöhten Warmwasserbedarf aufgrund des häufigen Wäschewaschens der Fall.

Zu den kommerziellen Anwendungen gehören Autowaschanlagen, militärische Wäschereien und Gastronomiebetriebe. Die Technologie kann auch zur Raumheizung eingesetzt werden, wenn das Gebäude vom Versorgungsnetz abgekoppelt ist oder wenn die Stromversorgung häufig ausfällt. Solare Wasserheizsysteme sind höchstwahrscheinlich eine kostengünstige Lösung für Anlagen mit teuren Wasserheizsystemen oder für Anlagen, die z.B. als Wäschereien oder Küchen betrieben werden und große Mengen an Warmwasser benötigen.

Unverglaste Flüssigkeitskollektoren werden häufig zur Erwärmung von Wasser in Schwimmbädern verwendet. Da diese Kollektoren keinen hohen Temperaturen widerstehen müssen, können dafür kostengünstigere Materialien wie Kunststoff oder Gummi verwendet werden. Sie verlangen auch keine Frostschutzmaßnahmen, da Schwimmbäder in der Regel nur beim warmen Wetter genutzt werden bzw. beim kalten Wetter leicht geleert werden können.

Während die Solarkollektoren in sonnigen Gebieten mit gemäßigttem Klima am kostengünstigsten sind, können sie sich praktisch in jedem Land als eine kostengünstige Lösung erweisen und sollten daher in Betracht gezogen werden.

## 2.2.2 Hochtemperaturkollektor

Um den Wärmeverlust des Flachkollektors zu reduzieren und die Kollektortemperatur zu verbessern, hat die internationale Gemeinschaft in den 70er Jahren eine erfolgreiche Vakuumröhre entwickelt, deren wärmeabsorbierendes Gehäuse in einem Hochvakuum innerhalb einer Glasvakuumröhre eingeschlossen ist, wodurch die thermische Leistung deutlich verbessert wird. Mehrere miteinander verbundene, abzweigende Vakuumröhren sollen zusammen einen Vakuumröhrenkollektor bilden, um die Sonneneinstrahlung zu erhöhen, einige Vakuumröhre auf der Rückseite werden auch mit Reflektoren ausgestattet. Die Vakuumröhrenkollektoren lassen sich grob in zwei Typen einteilen: Vakuumröhrenkollektoren mit Glasröhren und evakuiertem Zwischenraum (Vakuumröhrenkollektor mit U-Rohr aus Glas) und Vakuumröhrenkollektor mit Heat-Pipe aus Metall (direktdurchflossener Vakuumröhrenkollektor und Vakuumröhrenkollektor mit Wärmespeicher).

Ein Solarkollektor mit Kondensator besteht aus drei Hauptkomponenten, dem Kondensator, Absorber und Nachführsystem. Nach dem Prinzip der Unterscheidung zwischen den Kondensatoren, kann ein Solarkollektor mit Kondensator in zwei Kategorien eingeteilt werden: Reflexion und Refraktion, wobei in jeder Kategorie zwischen einer Reihe von verschiedenen Arten unterschieden werden kann. Um die Anforderungen der Solarenergienutzung zu erfüllen, die Nachführsysteme zu vereinfachen, die Zuverlässigkeit zu verbessern, die Kosten zu reduzieren, wurden in diesem Jahrhundert die Solarkollektoren mit Kondensatoren entwickelt und es gibt viele Arten von Solarkollektoren mit Kondensatoren, aber die Solarkollektoren mit Kondensatoren werden weniger als die Flachkollektoren gefördert und sie weisen einen geringeren Kommerzialisierungsgrad auf. In den Konzentratorsolarzellen mit fokussierenden Reflektoren werden rotierende Parabolspiegel (Punktkonzentratoren) und Parabolrinnen (Linienkonzentratoren) eingesetzt. Ersteres kann heiß werden, aber mit zweidimensionaler Verfolgung; letzteres kann die Temperatur erhalten, mit eindimensionaler Verfolgung. Die beiden Kondensatorkollektoren wurden zu Beginn dieses Jahrhunderts und auch nach Jahrzehnten eingesetzt, wobei zugleich eine Reihe von Optimierungen eingeführt wurde, wie z.B. reflektierende Oberflächen zur Verbesserung der Bearbeitungsgenauigkeit, Entwicklung hochreflektierender Materialien, Entwicklung von hochzuverlässigen Nachführsysteme, so dass derzeit diese beiden Arten von Parabolrinnen in der Lage sind, eine Vielzahl von Anforderungen an die Nutzung der Hochtemperatur-Sonnenenergie zu erfüllen, aber die hohen Kosten dieser beiden Arten von Parabolrinnen schränken ihre breitere Anwendung ein.

In den 1970er Jahren erschien der „Compound Parabolic Concentrator Mirror Collector“ (CPC Spiegelrinnenkollektor) auf dem internationalen Markt. Dieser Solarkollektor besteht aus zwei Parabolspiegeln, CPC muss die Sonne nicht verfolgen, sondern lediglich an den Jahreszeitenwechsel angepasst werden, dann kann er das Sonnenlicht aufnehmen und eine höhere Temperatur erreichen. Die Kondensationsrate liegt normalerweise unter 10, wenn die Kondensationsrate unter 3 liegt, kann sie fest installiert werden, ohne dass eine Anpassung erforderlich ist. Damals gaben viele Menschen dem CPC eine hohe Bewertung und dachten sogar, es wäre ein großer Durchbruch für die solarthermischen Nutzungstechnologien, die jetzt breit angewendet werden. Jahrzehnte später wurde CPC jedoch nur bei einer kleinen Anzahl von Demonstrationsprojekten eingesetzt und war anders als der Flachkollektor und der Vakuumröhrenkollektor nicht weit verbreitet.

Andere Konzentratorsolarzellen mit fokussierenden Reflektoren sind konische, sphärische Spiegel, Stabspiegel, schaufelförmige Rinnenspiegel, fokussierende Flach- und Parabolspiegel, usw.... Dazu noch der Einsatz in einem Solarturmkraftwerk namens

Heliostat. Die Heliostate bestehen aus einer Reihe von flachen Spiegeln oder gewölbten Spiegeln, unter der Computersteuerung reflektieren diese Spiegel die Sonnenstrahlen zu dem gleichen Absorber, der Absorber kann sehr hohe Temperaturen erreichen und eine starke Energie erhalten.

Nach dem Prinzip der Verwendung der Lichtbrechung kann der lichtbrechende Kondensator hergestellt werden. Einige Leute verwenden eine Reihe von Linsen und flachen Spiegeln, um einen Hochtemperatur-Solarboiler zu bauen. Offensichtlich ist die Glaslinse zu schwer, der Herstellungsprozess komplex und teuer, so dass es schwierig ist, damit groß herauszukommen. Daher ist der lichtbrechende Kondensator keine langfristige Lösung. In den 1970er Jahren war die internationale Entwicklung der großen Fresnel-Linse ein Versuch zur Herstellung von Konzentratorsolarzellen. Die Fresnel-Linse ist eine Ebene der Kondensatorlinse, leichtes Gewicht, niedrige Preise, Punktkonzentratoren oder Linienkonzentratoren, besteht in der Regel aus Plexiglas oder aus anderen transparenten Kunststoffen, aber auch aus Glas, vor allem für Konzentratorsolarzellen in Energieerzeugungsanlagen. Der Lichtwellenleiter-Kondensator aus Glasfaser-Linsen und Glasfasern wird durch die optische Linse mit der Sonne verbunden und erfüllt seine Funktion nach der Faserverteilung. Der andere ist der Fluoreszenzkondensator, der eigentlich ein fluoreszierendes Pigment mit einer transparenten Platte (meist PMMA), er kann Sonnenlicht und fluoreszierende Wellenlänge des gleichen Teils des Absorptionsbandes absorbieren, dann emittiert eine längere Wellenlänge als das Absorptionsband das Fluoreszenzlicht. Das emittierte Fluoreszenzlicht hat eine interne Gesamtreflexion innerhalb der plattengetriebenen Flachbildschirm-Kantenfläche, verursacht durch die Platte und die umgebenden mittleren Differenzen. Die Kondensationsrate hängt vom Verhältnis zwischen der ebenen Fläche und dem Randbereich ab, 10 100 ist leicht zu erreichen, dieser Flachbildschirm kann das Sonnenlicht aus verschiedenen Richtungen absorbieren, aber er kann auch gestreutes Licht absorbieren und muss nicht der Sonne folgen.

## **2.3 System Designs**

Während des Tages erreicht die Sonne verschiedene Positionen am Himmel. Wenn sich die Spiegel oder Linsen nicht bewegen, dann verändert sich der Fokus der Spiegel bzw. Linsen. Daher ist ein Nachführsystem zur Verfolgung des Sonnenstandes unvermeidlich (bei der Photovoltaik ist ein Solartracker optional). Das Nachführsystem erhöht die Kosten. Vor diesem Hintergrund lassen sich verschiedene Designs unterscheiden, je nachdem, wie sie das Licht bündeln und den Sonnenstand verfolgen.

Skizze einer Parabolrinne. Eine Änderung des Sonnenstandes parallel zum Empfänger erfordert keine Anpassung der Spiegel.

### **2.3.1 Speicherung thermischer Energie**

#### **2.3.1.1 Gezielte Wärmespeicherung**

Die Verwendung von sinnvollen Wärmespeichermaterialien ist die einfachste Art der Speicherung. In der Praxis können Wasser, Sand, Kies, Erde usw. als Materialien zur Energiespeicherung betrachtet werden, wobei Wasser die größte Wärmekapazität aufweist und am häufigsten genutzt wird. In den 70er und 80er Jahren wurde über die Nutzung von Wasser und Boden zur saisonübergreifenden Speicherung von Sonnenenergie berichtet. Die gezielte Wärme des Materials ist jedoch gering und begrenzt die Energiespeicherung.

### **2.3.1.2 Latentwärmespeicher**

Latentwärmespeicher speichern Wärmeenergie im latenten (= versteckten, ruhenden) Modus, indem sie den Aggregatzustand des Speichermediums ändern. Geeignete Speichermedien werden als "Phase Change Materials" (PCM) bezeichnet.... Häufig werden Salzkristallen zur Speicherung bei niedrigen Temperaturen verwendet, wie z.B. Natriumsulfat-Decahydrat / Calciumchlorid, Natriumhydrogenphosphat 12-Wasser. Allerdings müssen wir die Kühl- und Schichtfragen lösen, um die Betriebstemperatur und die Lebensdauer zu gewährleisten. Die mittlere Temperatur zur Solarspeicherung im Allgemeinen höher als 100 °C aber niedriger als 500 °C, normalerweise sind es etwa 300 °C. Geeignet für die Speicherung von mittleren Temperaturen sind: Heißwasser unter hohem Druck, organische Flüssigkeiten, eutektisches Salz. Die Temperatur der Solarwärmespeicherung liegt im Allgemeinen über 500 °C, derzeit getestete Materialien sind: Metallnatrium und Salzschmelze. Zur Speicherung von extrem hohen Temperaturen von über 1000 °C können feuerfestes Kugelforund und Germaniumoxid verwendet werden.

### **2.3.2 Chemischer, thermischer Energiespeicher**

Der thermische Energiespeicher nutzt die chemische Reaktion zur Wärmespeicherung. Es hat den Vorteil, dass es eine große Menge an Wärme, ein kleines Volumen und ein geringes Gewicht hat. Das Produkt der chemischen Reaktion kann separat über einen längeren Zeitraum gelagert werden. Bei Bedarf findet eine exotherme Reaktion statt. Sie muss den folgenden Anforderungen entsprechen, um die chemische Reaktion in der Wärmereserve zu nutzen: gute Reversibilität der Reaktion, keine sekundäre Reaktion, schnelle Reaktion, einfache Trennung des Ergebnisses und stabile Speicherung. Die Reaktionsmittel und resultierende Stoffe sind unschädlich, unbrennbar, es gibt reichlich Reaktionswärme und der Preis des Reaktionsmittels ist niedrig. Nun könnte ein Teil der chemischen endothermen Reaktion die Anforderungen der oben genannten Bedingungen erfüllen. Wie bei der Pyrolyse von  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , Verwendung der oben genannten endothermen Reaktion, um Wärme zu speichern und die Wärme bei Bedarf freizusetzen. Aber die Temperatur der Entwässerungsreaktion bei hohem Atmosphärendruck liegt über 500 Grad. Es ist schwierig, Solarenergie zu nutzen, um die Entwässerungsreaktion abzuschließen. Wir können einen Katalysator verwenden, um die Reaktionstemperatur zu senken, die aber immer noch sehr hoch ist. Da ist also noch eine Testphase für die Wärmespeicherung in der Chemie.

### **2.3.3. Thermischer Energiespeicher aus Kunststoffkristallen**

1984 wurden in den USA Kristallmaterialien aus Kunststoff für die Hausheizung auf den Markt. Der wissenschaftliche Name des Kunststoffkristalls ist Neopentyl Glycol (NPG), er und der Flüssigkristall ähneln den dreidimensionalen periodischen Kristallen, aber die mechanischen Eigenschaften sind wie beim Kunststoff. Es kann Wärmeenergie in der konstanten Temperatur speichern und freisetzen, ohne dabei auf den Phasenwechsel von Feststoff zur Flüssigkeit angewiesen zu sein, um Wärmeenergie zu speichern, es speichert die Energie durch die plastische kristalline Molekularstruktur, die einen Phasenwechsel von Feststoff zu Feststoff erfährt. Wenn Kunststoffkristalle eine konstante Temperatur von 44°C haben, absorbieren sie Sonnenenergie, speichern tagsüber Wärme und geben sie in der Nacht ab.

### 2.3.4 Solarthermischer Energiespeichertank

Der Solarteich ist eine Art Salzkonzentrationsgradient von Salzteichen und kann zur Gewinnung und Speicherung von Sonnenenergie genutzt werden. Wegen der einfachen, niedrigen Kosten und der Eignung für großflächigen Einsatz hat es die Aufmerksamkeit der Menschen auf sich gezogen. Nach den 60er Jahren haben viele Länder mit der Untersuchung des Solarteichs begonnen, Israel hat auch drei Solarteichkraftwerke gebaut.

### 2.4 Nivellierte Kosten

Da ein Solarkraftwerk keinen Brennstoff verbraucht, bestehen die Kosten hauptsächlich aus Investitionskosten mit geringen Betriebs- und Wartungskosten. Wenn die Lebensdauer der Anlage und der Zinssatz bekannt sind, können die Kosten pro kWh berechnet werden. Dies wird als nivellierte Kosten bezeichnet.

Der erste Schritt der Berechnung ist die Ermittlung der Investition für die Produktion von 1 kWh pro Jahr. So zeigt das Factsheet des Projekts Andasol 1 eine Gesamtinvestition von 310 Millionen Euro für die Produktion von 179 GWh pro Jahr. 179 GWh sind 179 Mio. kWh, die Investition in die jährliche Produktion per kWh beträgt also  $310 / 179 = 1,73$  Euro. Ein weiteres Beispiel ist das Solarkraftwerk Cloncurry in Australien. Dieses Solarkraftwerk produziert 30 Millionen kWh pro Jahr für eine Investition von 31 Millionen australischen Dollar. Dieser Preis beträgt also 1,03 australische Dollar für die Produktion von 1 kWh pro Jahr. Dies ist deutlich günstiger als Andasol 1, was teilweise auf die höhere Sonneneinstrahlung in Cloncurry im Vergleich zu Spanien zurückzuführen ist. Die Investition pro kWh-Kosten für ein Jahr sollte nicht mit den Kosten pro kWh über die gesamte Lebensdauer einer solchen Anlage verwechselt werden.

In den meisten Fällen wird die Leistung für ein Kraftwerk angegeben (z.B. hat Andasol 1 eine Leistung von 50 MW). Diese Zahl ist zum Vergleich nicht geeignet, da der Kapazitätsfaktor unterschiedlich sein kann. Wenn ein Solarkraftwerk über einen Wärmespeicher verfügt, dann kann es auch nach Sonnenuntergang Leistung erzeugen, aber das ändert den Leistungsfaktor nicht, es verschiebt einfach die Leistung. Der durchschnittliche Leistungsfaktor für ein Solarkraftwerk, das von Nachführung, Verschattung und Standort abhängt, liegt bei etwa 20%, so dass ein 50 MW-Kraftwerk typischerweise eine Jahresleistung von  $50 \text{ MW} \times 24 \text{ Stunden} \times 365 \text{ Tage} \times 20\% = 87.600 \text{ MWh/Jahr}$  oder 87,6 GWh/Jahr liefert.

Obwohl die Investition für eine kWh Jahresproduktion geeignet ist, um den Preis verschiedener Solarkraftwerke zu vergleichen, gibt sie den Preis pro kWh noch nicht an. Die Art der Finanzierung hat einen großen Einfluss auf den Endpreis. Wenn sich die Technologie bewährt, sollte ein Zinssatz von 7% möglich sein. Für eine neue Technologie verlangen die Investoren jedoch einen viel höheren Zinssatz, um das höhere Risiko auszugleichen. Dies hat einen erheblichen negativen Einfluss auf den Preis pro kWh. Unabhängig von der Finanzierungsart besteht immer ein linearer Zusammenhang zwischen der Investition pro kWh Produktion in einem Jahr und dem Preis für 1 kWh (ohne Betriebs- und Wartungskosten). Mit anderen Worten, wenn durch die Weiterentwicklung der Technologie die Investitionen um 20% sinken, dann sinkt auch der Preis pro kWh um 20%.

Wird eine Finanzierungsweise angenommen, bei der das Geld jedes Jahr so geliehen und zurückgezahlt wird, dass die Verschuldung und die Zinsen sinken, so kann die folgende Formel zur Berechnung des Teilungsfaktors verwendet werden:  $(1 - (1 + \text{Zinsen} / 100)^{-\text{Lebensdauer}}) / (\text{Zinsen} / 100)$ . Für eine Laufzeit von 25 Jahren und einen Zinssatz von 7% beträgt die Teilungszahl 11,65. Die Investition von Andasol 1 betrug 1,73 Euro, geteilt durch 11,65 ergibt sich ein Preis von 0,15 Euro pro kWh. Rechnet man die

Betriebs- und Wartungskosten von einem Cent hinzu, so betragen die nivellierten Kosten 0,16 Euro. Andere Finanzierungsformen, andere Art der Schuldentilgung, unterschiedliche Lebenserwartung, unterschiedlicher Zinssatz können in deutlich unterschiedlichen Zahlen resultieren.

Wenn die Kosten pro kWh der Inflation folgen können, dann kann die Inflationsrate zum Zinssatz addiert werden. Wenn ein Anleger sein Geld für 7% auf die Bank legt, dann wird er für die Inflation nicht entschädigt. Wenn jedoch die Kosten pro kWh mit der Inflation erhöht werden, dann wird er entschädigt und kann 2% (eine normale Inflationsrate) zu seiner Rendite hinzufügen. Die Anlage Andasol 1 hat einen garantierten Einspeisetarif von 0,21 Euro für 25 Jahre. Wenn diese Zahl festgelegt wird, ist zu berücksichtigen, dass nach 25 Jahren mit 2% Inflation der Betrag von 0,21 Euro einen Wert haben wird, der jetzt mit 0,13 Euro vergleichbar ist.

Schließlich gibt es eine gewisse Lücke zwischen der ersten Investition und der ersten Stromerzeugung. Dadurch erhöht sich die Investition mit den Zinsen über den Zeitraum, in dem das Werk noch nicht aktiv ist. Die modulare Solarschüssel (aber auch solare Photovoltaik und Windkraft) hat den Vorteil, dass die Stromerzeugung nach dem ersten Aufbau beginnt.

Angesichts der Tatsache, dass Solarthermie zuverlässig ist, Spitzenlast liefern kann und keine Umweltverschmutzung verursacht, beginnt ein Preis von 0,10 US-Dollar pro kWh wettbewerbsfähig zu werden. Obwohl ein Preis von 0,06 US-Dollar mit einigen Betriebskosten eingefordert wurde, ist das einfache Ziel 1Dollar (oder weniger) Investition für 1 kWh Produktion pro Jahr.

## **2.5 Arten von Solarmodulen**

Mehrere Jahrzehnte von Forschung, Arbeit und Entwicklung haben zu einer breiten Palette von verschiedenen Arten von Solarmodulen geführt, die heute auf dem Markt für Solarmodule erhältlich sind.

Um einen breiteren Überblick zu verschaffen, hat GreenMatch einige hilfreiche Informationen über die gängigsten und speziellen Arten von Solarmodulen zusammengestellt.

Solarzellentyp	Wirkungsgrad	Vorteile	Nachteile
Monokristalline Solarmodule (Mono-Si)	~20%	Hoher Wirkungsgrad; optimiert für den gewerblichen Einsatz; hohe Lebensdauer	Teuer
Polykristalline Solarmodule (p-Si)	~15%	Niedrigerer Preis	Empfindlich gegen hohe Temperaturen; geringere Lebensdauer & etwas geringere Flächeneffizienz
Dünnschichtszell n: Solarzellen aus amorphem Silizium (A-Si)	~7-10%	Relativ niedrige Kosten; einfach zu produzieren & flexibel	Kürzere Garantiefristen & Lebensdauer
Konzentratorsolarzelle (CVP)	~41%	Sehr hohe Leistung & Wirkungsgrad	Nachführsystem & Kühlsystem erforderlich (um einen hohen Wirkungsgrad zu erreichen)

Tabelle 1 Typen der Solarkollektoren  
(Quelle, <https://www.greenmatch.co.uk/blog/2015/09/types-of-solar-panels>)

### 2.5.1 Wie sich verschiedene Typen von Solarmodulen kategorisieren lassen

Wenn man bedenkt, dass das Sonnenlicht sowohl auf der Erde als auch im Weltraum unterschiedlich genutzt werden kann, weist dies darauf hin, dass der Standort selbst ein wichtiger Faktor ist, wenn es darum geht, eine Art von Solarmodulen auszuwählen.

Die Unterscheidung zwischen verschiedenen Arten von Solarmodulen bedeutet oft eine Unterscheidung zwischen den Einfach- und Mehrfachszellen – bzw. der ersten, zweiten oder dritten Generation. Die Einfach- und Mehrfachszellen unterscheiden sich in der Anzahl der Schichten auf dem Solarmodul, die das Sonnenlicht beobachten, während sich die Klassifizierung nach Generationen auf die Materialien und Effizienz verschiedener Arten von Solarmodulen konzentriert.

Bei Solarmodulen der ersten Generation handelt es sich um traditionelle Arten von Solarmodulen aus monokristallinem Silizium oder aus Polysilizium und sie werden am häufigsten in konventionellen Umgebungen eingesetzt.

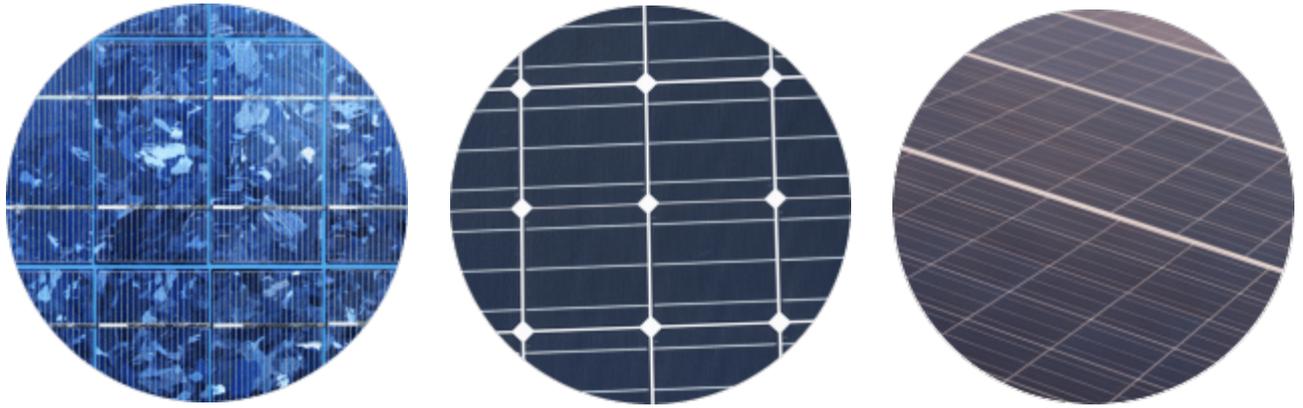


Abb. 4 Typen der Solarkollektoren  
 Monokristalline Solarzellen (links), polykristalline Solarzellen (Mitte),  
 Dünnschichtsolarzellen (rechts)  
 (Quelle, <https://www.greenmatch.co.uk/blog/2015/09/types-of-solar-panels>)

#### Monokristalline Solarmodule (Mono-SI)

Das ist die reinste Art von Solarmodulen (aus monokristallinem Silizium). Man erkennt sie leicht an der einheitlichen dunklen Optik und den abgerundeten Ecken. Die hohe Reinheit des Siliziums führt dazu, dass diese Art von Solarmodulen einen der höchsten Wirkungsgrade aufweist, wobei die neuesten über 20% erreichen.

Monokristalline Solarmodule haben eine hohe Ausgangsleistung, benötigen weniger Platz und haben die längste Lebensdauer. Natürlich bedeutet das auch, dass sie die teuersten sind. Ein weiterer Vorteil ist, dass sie im Vergleich zu polykristallinen Solarmodulen etwas weniger durch hohe Temperaturen beeinträchtigt werden.

#### Polykristalline Solarmodule (Poly-SI)

Sie können diese Solarmodulen schnell unterscheiden, weil sie aus Vierecken mit nicht abgerundeten Ecken bestehen und sie haben eine blaue, gefleckte Optik. Sie werden durch Schmelzen von Rohsilizium hergestellt, was ein schnellerer und kostengünstiger Prozess ist als bei der Herstellung von monokristallinen Solarmodulen.

Dies führt zu einem niedrigeren Endpreis, aber auch zu einem niedrigeren Wirkungsgrad (ca. 15%), einer geringeren Flächenauslastung und einer kürzeren Lebensdauer, da sie stärker von heißen Temperaturen beeinträchtigt werden. Die Unterschiede zwischen den mono- und polykristallinen Solarmodulen sind jedoch nicht so signifikant und die Wahl hängt stark von Ihrer spezifischen Situation ab. Die erste Option bietet eine etwas höhere Flächeneffizienz bei einem etwas höheren Preis, aber die Leistungsabgabe ist im Wesentlichen gleich.

#### Solarmodule der zweiten Generation

Bei diesen Zellen handelt es sich um verschiedene Arten von Dünnschichtsolarzellen und sie werden hauptsächlich bei den Photovoltaik-Kraftwerken verwendet, die in Gebäude integriert sind oder bei kleineren Solaranlagen.

#### Dünnschichtsolarzellen (TFSC)

Wenn Sie nach einer kostengünstigeren Option suchen, sollten Sie sich vielleicht mit den Dünnschichtsolarzellen näher befassen. Dünnschichtsolarzellen werden hergestellt, indem eine oder mehrere Schichten eines photovoltaischen Materials (wie Silizium, Cadmium oder Kupfer) auf eine Grundlage aufgetragen werden. Diese Art von Solarmodulen ist am einfachsten zu produzieren und die Größenvorteile machen sie billiger als die Alternativen, da für ihre Herstellung weniger Material benötigt wird.

Sie sind zudem flexibel – was viele Möglichkeiten für alternative Anwendungen eröffnet – und sie werden weniger durch hohe Temperaturen beeinträchtigt. Das Hauptproblem ist, dass sie viel Platz beanspruchen und in der Regel für die Wohnanlagen

ungeeignet sind. Darüber hinaus bieten sie die kürzesten Garantiefrieten, da ihre Lebensdauer kürzer ist als die der mono- und polykristallinen Solarmodulen. Jedoch können sie eine gute Option sein, um zwischen den verschiedenen Arten von Solarmodulen zu wählen, wo viel Platz zur Verfügung steht.

#### Solarzellen aus amorphem Silizium (A-Si)

Haben Sie schon mal einen solarbetriebenen Taschenrechner benutzt? Ja? Dann sind Sie diesen Arten von Solarmodulen definitiv schon mal begegnet. Die Solarzellen aus amorphem Silizium gehören zu der anderen Art von Solarmodulen, die hauptsächlich in solchen Taschenrechnern verwendet werden. In dieser Art von Solarmodulen wird eine dreischichtige Technologie verwendet, die beste unter den verfügbaren Dünnschichttechnologien.

Um nur einen kurzen Eindruck davon zu verschaffen, was „dünn“ bedeutet, sprechen wir in diesem Fall von einer Dicke von 1 Mikrometer (ein Millionstel Meter). Mit nur 7% Wirkungsgrad sind diese Zellen weniger effektiv als kristalline Siliziumzellen mit einem Wirkungsgrad von ca. 18% – aber der Vorteil ist der, dass die A-Si-Zellen relativ kostengünstig sind.

#### Solarmodule der dritten Generation

Solarmodule der dritten Generation umfassen eine Vielzahl von Dünnschichttechnologien, von denen sich die meisten jedoch noch in der Forschungs- oder Entwicklungsphase befinden. Einige von ihnen erzeugen Strom aus organischen Materialien, andere verwenden anorganische Substanzen (z.B. CdTe).

#### Biohybride Solarzellen

Die biohybriden Solarzellen sind eine Art von Solarmodulen, die sich noch in der Forschungsphase befindet. Es wurde von einem Expertenteam an der Vanderbilt University entdeckt. Die Idee hinter der neuen Technologie ist die, das Photosystem 1 zu nutzen und so den natürlichen Prozess der Photosynthese nachzuahmen. Das erklärt ausführlicher, wie diese Zellen funktionieren. Viele der in diesen Zellen verwendeten Materialien ähneln den traditionellen Methoden, aber erst durch eine Kombination von mehreren Schichten des Photosystems 1 wird die Umwandlung von chemischer Energie in die elektrische Energie viel effektiver (bis zu 1000 mal effizienter als bei Solarmodulen der ersten Generation).

#### Cadmiumtellurid-Solarzelle (CdTe)

Neben einer Sammlung verschiedener Arten von Solarmodulen verwendet diese photovoltaische Technologie das Cadmiumtellurid, das die Herstellung von Solarzellen zu relativ niedrigen Kosten und damit eine kürzere Amortisationszeit (weniger als ein Jahr) ermöglicht. Von allen Solartechnologien ist dies diejenige, die für die Produktion die geringste Menge an Wasser bedarf. Unter Berücksichtigung der kurzen Energierückgewinnungszeit halten die CdTe-Solarzellen Ihren CO<sub>2</sub>-Fußabdruck so gering wie möglich.

Der einzige Nachteil der Verwendung von Cadmiumtellurid ist seine Toxizität, wenn es eingenommen oder eingeatmet wird. Gerade in Europa ist dies eine der größten Barrieren, die es zu überwinden gilt, da sich viele Menschen um die Anwendung dieser Technologie in Solarmodulen große Sorgen machen (<https://www.greenmatch.co.uk/blog/2015/09/types-of-solar-panels>).

#### Konzentratorsolarzelle (CVP und HCVP)

Konzentratorsolarzellen erzeugen elektrische Energie wie herkömmliche Photovoltaikanlagen. Diese Mehrfachsolarzellen haben einen Wirkungsgrad von bis zu 41%, was unter allen Photovoltaikanlagen der bisher höchste Wert ist.

Der Name dieser CVP-Zellen hängt damit zusammen, was sie im Vergleich zu anderen Arten von Solarmodulen so effizient macht: gewölbte Spiegeloberflächen, Linsen und manchmal sogar Kühlsysteme werden verwendet, um die Sonnenstrahlen zu bündeln und so ihren Wirkungsgrad zu erhöhen.

Auf diese Weise sind CVP-Zellen zu einer der effizientesten Arten von Solarmodulen geworden, mit einer hohen Leistung und einem Wirkungsgrad von bis zu 41%. Die Tatsache ist jedoch, dass solche CVP-Solarzellen nur dann so effizient sein können, wenn sie der Sonne in einem perfekten Winkel gegenüberstehen. Um einen so hohen Wirkungsgrad zu erreichen, wird die Sonne durch ein Nachführsystem innerhalb des Solarmoduls verfolgt (Misak S., Prokop L., 2016).

### 3. Solarenergienutzung

Die Solarenergie, die durch den Einsatz von Solarmodulen aus der Sonne gewonnen wird, ist nur eine der neuesten Initiativen, die uns durch die „Going Green“-Bewegung präsentiert werden, um erneuerbare und nachhaltige Energiequellen aufzubauen und zu aufrechtzuerhalten. Wie bei jeder Neuanschaffung zu Hause gibt es immer die Anschaffungskosten der Komponenten und die Installationskosten, um sie in Betrieb zu nehmen (<https://www.thespruce.com/top-solar-energy-uses-1152263>).

#### 3.1 Solarbetriebene Lüftungsanlagen



Foto 1 Solarbetriebene Lüftungsanlagen  
(Quelle, Peter Starman/Photographer's Choice RF/Getty Images)

Möchten Sie, dass die Badlüfter, Bodenlüfter und [Deckenventilatoren](#) in Ihrem Haus durch die Kraft der Sonne betrieben werden? Ventilatoren werden im ganzen Haus eingesetzt, um durch die Luftbewegungen den Komfort, die Feuchtigkeit und Gerüche zu kontrollieren. Denken Sie an die vielen Heiz- und Kühlanlagen in Ihrem Haus und daran, wie Sie die Stromrechnungen reduzieren können. Denken darüber nach, wie viele [Deckenventilatoren](#) jeden Tag in Ihrem Haus laufen. Nun, denken Sie daran, wie viele Badlüfter den ganzen Tag über laufen. Wie sieht es aus mit den Bodenlüftern und Ventilatoren über dem Herd? Ich glaube, Sie werden zustimmen, dass wir alle Ventilatoren benutzen... VOR ALLEM, um uns abzukühlen, um die Luftzirkulation zu sichern oder um die unerwünschte Luft abzuführen. Mit solarbetriebenen Ventilatoren können Sie für Optimierung sorgen.

### 3.2 Heizen Sie Ihr Schwimmbad mit der Solarenergie



Foto 2 Schwimmbadheizung  
(Quelle, BraunS/Getty Images)

Schwimmbäder sind eine der größten Sommerfreuden für Kinder und Eltern gleichermaßen. Am ersten Tag, an dem der Pool geöffnet wird, sind alle begeistert, außer wenn der Pool einfach zu kalt ist, um hineinzuspringen. Um dieses Problem zu beheben, können Sie eine Solardecke verwenden, die das Wasser zur Begeisterung aller erwärmt. Diese Heizung funktioniert direkt durch die Decke und es sind keine weiteren Installationen erforderlich. Wenn Sie jedoch auf High-Tech-Lösungen stehen, installieren Sie einfach eine solare Warmwasserbereitungsanlage. Dafür werden solare Warmwasserbereitungsanlagen verwendet, die auf Ihrem Dach montiert werden, um die Wärme der Sonne zu sammeln und dann in den Pool zu leiten. Das Wasser wird langsam aus dem Pool gepumpt, erwärmt und dann von den Kollektoren zurückgeführt, wodurch die Wassertemperatur erhöht wird.

### 3.3 Solarenergie kann Ihr Wasser erwärmen



Foto 3 Warmwasserbereiter  
(Quelle, Getty Images)

Haben Sie die Möglichkeit erwogen, Ihr Wasser durch Solarenergie zu erwärmen, anstatt Gas oder herkömmliche elektrische Warmwasserbereiter zu verwenden? Ich weiß, dass Sie sagen werden, Sie müssen alle diese Teile zuerst kaufen, damit diese Option überhaupt funktionieren kann. Möglicherweise sind Sie dann nicht imstande, diese Installation durchzuführen. Und dabei noch die Kosten, vielleicht ist es doch besser, bei der bisherigen Lösung zu bleiben, stimmt's?

Nicht so schnell! Wenn Sie darüber nachdenken, ist das nichts anderes, als einen alten Ofen, Wassererhitzer oder eine Klimaanlage auszutauschen. Durch den Austausch des Gerätes können Sie die Effizienz um 15-30% erhöhen, zuerst werden durch den Austausch jedoch Kosten entstehen. Trotzdem lohnt es sich, darüber nachzudenken, denn durch diese Änderung werden Sie im Laufe der Jahre viel Geld sparen können.

### 3.4 Solarenergie-Heizsysteme



Foto 4 Dachsolaranlage  
(Quelle, Antonis Liokouras/Getty Images)

Die Solarthermie wird als passive Raumheizung bezeichnet und in diesem Beispiel versuche ich zu erklären, wie das funktioniert. Eine Möglichkeit ist die Nutzung von Warmwasserwärme in Ihrem Haus, die durch die Verwendung von sonnenbeheizten Wasserleitungen auf dem Dach und durch Pumpen von Wasser in den Warmwasserbereiter erzeugt werden kann (<https://www.thespruce.com/top-solar-energy-uses-1152263>).

Zum Beispiel mit einem Wintergarten, den wir hier als Solarraum bezeichnen, kann die Sonneneinstrahlung in den vollverglasten Raum durchdringen und den Raum durch einen Kollektor, die sog. transparente Abdeckung im Glas, erwärmen. Nun, wenn wir Pflanzen und Steine für eine schöne Optik hinzufügen, werden die Steine tatsächlich die Wärme der Sonne speichern und diese Energie kann genutzt werden, wenn die Sonne untergeht, um den Raum zu erwärmen. Gespeicherte Energie ist enorm und hat viele Einsatzmöglichkeiten, wie z.B. bei Batterien.

### 3.5 Motorpumpen mit Solarenergie

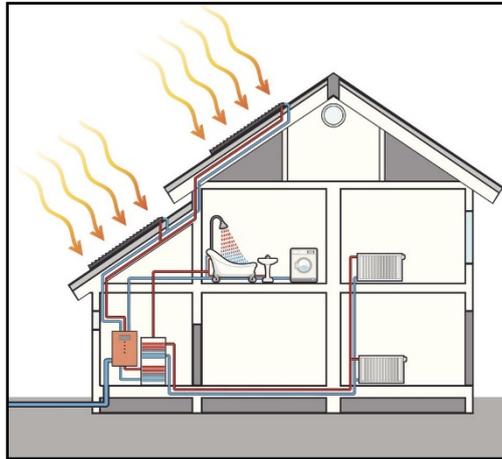


Abb. 5 Solarpumpe  
(Quelle, Chuvipro/Getty Images)

Auf den beiden vorherigen Abbildungen wurde das Wasser zur Erwärmung von Wasser und Ihrem Zuhause verwendet. Um diese Aufgabe zu erfüllen, benötigen Sie eine Pumpe, damit das Wasser zirkulieren kann. Diese Pumpe würde normalerweise an das Stromnetz Ihres Hauses angeschlossen, aber lassen Sie mich Ihnen diesen tollen Tipp geben. Sie können die Sonnenenergie verwenden, um einen Gleichstrommotor zu betreiben, der das Wasser langsam durch Ihr Haus oder in und aus Ihrem Warmwasserbereiter zirkulieren lässt. Auf diese Weise werden die Kosten des Systems weiter minimiert. Nun, die Skeptiker werden sich sicher fragen, was tun, wenn es keine Sonne gibt? Eine Möglichkeit besteht darin, die Pumpe mit der üblichen Stromversorgung laufen zu lassen, wenn es keine Sonne gibt. Sie können auch ein Batterie-Backup-System organisieren, das die Pumpe betreiben kann, und die Batterie kann an ein Solarladegerät angeschlossen werden.

### 3.6 Solarenergie zum Aufladen der Batterien

Haben Sie an Solarenergie zum Aufladen von Batterien gedacht? Diese könnten verwendet werden, um Sumpfpumpen, Warmwasserpumpen, Deckenventilatoren in Ihrem Haus, oder die Beleuchtung, die normalerweise mit Gleichstrom betrieben wird. Die Batterieladegeräte werden in Häusern verwendet, um alle diese Batterien für Videospiele usw. aufzuladen. Aber wenn Sie eine Reserve-Batteriebank haben, die tagsüber aufgeladen wird, während das Sonnenlicht vorhanden ist, und dann nachts verwendet wird, können Sie höchstwahrscheinlich die Vorteile davon sehen, richtig?

### 3.7 Anwendung der Sonnenenergie, um Ihr Haus mit Strom zu versorgen

Ja, Sie haben mich richtig verstanden, Solarenergie kann Ihr Haus mit Strom versorgen. Das benötigte System ist nicht so komplex, wenn man die erforderlichen Geräte analysiert. Fügen Sie einfach die Solarmodule hinzu, um Sonnenlicht zu sammeln und in Strom umzuwandeln. Gleichstrom (DC) wird dann an einen Wechselrichter gesendet, der Gleichstrom in Wechselstrom umwandelt, mit dem nun Ihr Zuhause betrieben wird. Durch den Einsatz von Transferschaltern und anderen Sicherheitsvorrichtungen, ist Ihre saubere, erneuerbare Energiequelle in der Lage, Ihr Zuhause, Ihren Wohnwagen, Ihre Kabine, Ihren Geräteschuppen und andere Gebäude zu versorgen.

### 3.8 Solarenergie zum Kochen



Foto 5 Solarkocher  
(Quelle, Getty Images)

Oh ja, das können wir alle nachvollziehen. Schließlich müssen wir alle essen. Wenn Sie die Energie und die Ressourcen betrachten, die Sie zum Kochen für sich alleine verwenden, können Sie von Rechnungen für die Stromversorgung überrascht werden. Kochen mit Solarenergie ist viel einfacher, als man denkt. Wir nennen das unkonventionelles Denken, oder in diesem Fall eher unkonventionelles Kochen. Stellen Sie sich vor, Sie kochen in einem Solarofen anstelle Ihres herkömmlichen Ofens zu Hause. Der Solarofen ist ein Rezept für erfolgreiches Kochen an sonnigen Tagen! Mit einer Box, Pfanne, Aluminiumfolie, einem Kochbeutel, Klebeband (dem besten Freund eines Mannes), Styroporisolierung und einem Thermometer können Sie im Handumdrehen kochen.

### 3.9 Solarenergie für die Innenbeleuchtung



Foto 6 Innenbeleuchtung  
(Quelle, BanksPhotos/Getty Images)

Das Licht Zuhause ist etwas, das wir alle benutzen. Mit der Erfindung der LED-Beleuchtung (Light Emitting Diodes) kann Ihr Zuhause jetzt eine optimale Beleuchtung bei minimalem Stromverbrauch erhalten. Diese kleinen, elektronischen Leuchten oder Lampensätze können über ein batteriebetriebenes System angeschlossen werden, das tagsüber durch das Sonnenlicht und nachts mit Batterien betrieben wird. Wenn die Sonne scheint, wird die Backup-Batterie durch das Ladegerät aufgeladen und betreibt die Beleuchtung. Dann kommen nachts die Batterien zum Einsatz und versorgen....WEITER das Licht, während die Sonne nicht sichtbar ist.

### 3.10 Solarenergie für die Außenbeleuchtung



Foto 7. Außenbeleuchtung  
(Quelle, Getty Images)

Wenn Sie so sind wie ich, dann sehen Sie gerne eine Art Sicherheitsbeleuchtung und einen Leuchtpfad, wenn Sie nachts nach Hause kommen. Das hilft nicht nur dadurch, dass man einen Überblick über den Gehweg hat, dass man die Schlüssel und die Eingangstür gut sehen kann, sondern die Beleuchtung dient auch als Abschreckung für unerwünschte Gäste. Wie bei einer Mastleuchte kann Ihr ganzer Garten beleuchtet werden und zwar kostenlos! Ja, durch die Anwendung von Solarbeleuchtung werden die Batterien durch das Solarmodul tagsüber aufgeladen und nachts betreiben sie die Beleuchtung.

#### **4. Nachteile der Solarenergie**

Mit den Kosten für Strom, die jedes Jahr um 3%-5% steigen, können Sie alternative Energiequellen wie die Solarenergie in Betracht ziehen. Aber bevor Sie eine Solaranlage auf Ihrem Haus installieren, müssen einige wesentliche Nachteile berücksichtigt werden.

Bei den höchsten Anschaffungskosten im Vergleich zu jeder anderen erneuerbaren Energiequelle könnte man denken, dass der Solarstrom ziemlich gut wäre. Aber in Wirklichkeit haben Solarmodule einen geringen Wirkungsgrad.

Wenn Sie sich an einem erstklassigen Standort befinden, haben Sie Glück, die Konversionsrate von mehr als 22% zu erhalten, dank der besten und teuersten verfügbaren Technologie.

Dann gibt es noch die Möglichkeit, dass die Solarmodule durch Stürme beschädigt werden können. Zusätzlich zu den Kosten für den Austausch der Solarmodule müssen die beschädigten Module aufgrund der im Inneren verwendeten toxischen Verbindungen sachgemäß behandelt und entsorgt werden.

In diesem Artikel werden die wichtigsten Nachteile der Solarenergie diskutiert, die berücksichtigt werden sollten, bevor man sich entscheidet, ob man die Sonnenenergie nutzen will oder nicht (<https://www.nachi.org/disadvantages-solar-energy.htm?loadbetadesign=0>).

#### **4.1 Standort und Verfügbarkeit von Sonnenlicht**

Ihr Breitengrad ist einer der Hauptfaktoren bei der Bestimmung der Wirksamkeit von Sonnenenergie. Nicht alle Standorte erhalten jährlich die gleiche Menge an Sonnenlicht, wobei die Wirksamkeit der Sonnenenergie dramatisch abnimmt, je weiter vom Äquator man entfernt ist.

Das bedeutet, dass die Bewohner z.B. von Kanada und Russland unter solaren Nachteilen leiden. An Orten wie Hawaii, wo es durchschnittlich 277 Tage im Jahr Regen und Wolken gibt, ist die Lage am Äquator jedoch irrelevant, da es einfach nicht genügend ungetrübtes Sonnenlicht auf dem Boden gibt (<http://waldenlabs.com/disadvantages-solar-energy>).

Der Wirkungsgrad der Sonne wird auch von der Jahreszeit bestimmt. Im Sommer können Sie mehr Strom erzeugen, als Sie benötigen, da die Sonne näher an Ihrem Standort steht. Im Winter ist die Sonne weiter von Ihrem Standort entfernt, so dass Sie nicht genügend Strom erzeugen können, um Ihren Bedarf zu decken.

Wie alles andere, was in der Sonne verbleibt, werden Solarmodule durch ultraviolette Strahlung beschädigt. Witterungsbedingungen wie Wind, Hagel, Schnee, Schmutz und Temperaturschwankungen stellen ebenfalls eine ernsthafte Bedrohung für Solarmodule dar.

## 4.2 Installationsbereich

Für Hausbesitzer, die Solarmodule installieren wollen, wird der Installationsbereich nicht so groß sein, besonders wenn sie die meiste Zeit auf dem Dach installiert sind. Große Unternehmen, die viel Strom produzieren wollen, benötigen jedoch eine sehr große Aufstellfläche, um die Stromversorgung auf konsistenter Basis zu gewährleisten.

Das größte Solarfeld befindet sich in Spanien und erstreckt sich auf rund 173 Acker und versorgt fast 12.000 Haushalte mit Strom. Das sind 173 Hektar Land, das für nichts anderes genutzt werden kann, wie z.B. für Weidetiere (<https://www.nachi.org/disadvantages-solar-energy.htm?loadbetadesign=0>).

## 4.3 Zuverlässigkeit

Da die Solarenergie auf die Sonne angewiesen ist, kann kein Strom während der Nacht erzeugt werden, so dass Sie entweder überschüssige Energie, die am Tag erzeugt wurde, speichern oder sich an eine alternative Energiequelle wie das lokale Versorgungsnetz anschließen müssen. Das bedeutet, dass Sie zusätzlich zu den hohen Kosten für die Solarmodule mehr bezahlen müssen.

Wolken und Stürme schränken auch die Energiemenge ein, die Sie erzeugen können, indem sie Lichtstrahlen blockieren, die sonst vom Solarmodul absorbiert worden wären.

## 4.4 Ineffizienz

Nach Angaben der Qualitative Reasoning Group an der Northwestern University wandeln die meisten Solarmodule auf den Häusern der Menschen nur 14% ihrer verfügbaren Energie in Strom um. Selbst die heute effizientesten Solarmodule wandeln nur 22% ihrer verfügbaren Energie in Strom um.

Nach dem zweiten Gesetz der Thermodynamik werden die Solarzellen nie einen 100%igen Wirkungsgrad erreichen. Der höchste theoretische Wirkungsgrad liegt bei 85%, und zwar bei Spiegeln und Motoren, die der Sonne folgen.

Für ein System, das der Sonne nicht folgt, beträgt der höchste theoretische Wirkungsgrad nur 55%. Gleiches gilt für Systeme, die an bewölkten Tagen der Sonne folgen.

Obwohl die Sonnenenergie an bewölkten und regnerischen Tagen noch gewonnen werden kann, sinkt dann der Wirkungsgrad des Sonnensystems. Solarmodule sind vom Sonnenlicht abhängig, damit sie die Sonnenenergie effektiv sammeln können. Daher können einige wenige bewölkte, regenreiche Tage einen spürbaren Einfluss auf das Energiesystem haben. Beachten Sie auch, dass Solarenergie in der Nacht nicht gesammelt werden kann. Andererseits, wenn Ihre Warmwasserbereiterlösung auch in der Nacht oder im Winter betrieben werden soll, dann wären die thermodynamischen Module eine Alternative.

## 4.5 Umweltverschmutzung und Umweltauswirkungen

Solarenergieeffektoren und potenzielle Auswirkungen auf die Umwelteffektoren können vorübergehend aufgrund der Lebensdauer einer Photovoltaikanlage (PV) oder einer Konzentratorsolaranlagen (CSP), vom Aufbau bis zur Außerbetriebnahme, kategorisiert werden und sie können eine oder mehrere potenzielle Auswirkungen auf die Umwelt mit mehreren potenziellen ökologischen Reaktionen verursachen. Darüber hinaus können die Technologie, Größe und Standort der Solarenergieinfrastruktur die Biota und die Umwelt auf unterschiedliche Weise beeinflussen. Zum Beispiel weist die integrierte

Solarenergie keine Auswirkungen wegen der Flächennutzung und Flächendeckung auf, die über die mit der Rohstoffbeschaffung und Herstellung verbundenen Auswirkungen hinausgehen. So hat es nur minimale bis gar keine negativen Auswirkungen auf die Biosphäre (außer den Emissionen im Lebenszyklus), Ressourcen (z.B. im Bereich der Kultivierung) und Rechtsansprüche – z.B. religiöse Rechte indigener Gemeinschaften. Die integrierte Solaranlagen werden kohärent in die Elemente der bebauten Umwelt in städtischen und vorstädtischen Gebieten (z.B. gewerbliche und private Gebäudedächer, Parkhäuser und Carports) relativ nah Verbraucher eingebaut. Obwohl in geografischer Hinsicht diffus, bietet integrierte Solarenergie ein hohes Maß an Solarenergiepotenzial; es wurde geschätzt, dass 20%-27% aller Wohndachflächen und 60%-65% der kommerziellen Dächer in den Vereinigten Staaten für Photovoltaik- und Solarthermieanlagen geeignet sind. Im Gegensatz dazu sind es die verdrängenden Solarenergieanlagen, die zusätzliche Landflächennutzung oder Landflächendeckung bewirken und somit die biophysikalische Kapazität reduzieren oder den Verlust anderer wertvoller Ressourcen (z.B. im Bereich der Kultivierung) auf der gesamten Erdoberfläche verursachen. Diese Anlagen werden typischerweise am Boden montiert und haben eine große Kapazität. Sie sind oft geografisch weit von Bedarfsstellen und bereits bestehenden Übertragungsnetzen entfernt und haben einen großen Flächenbedarf (d.h. die installierte Kapazität steigt gleichzeitig mit der Landfläche) (Murphy-Mariscal Michelle L. et. al., 2018).

#### **4.6 Flächenbedarf**

Um den prognostizierten Energieverbrauch im Jahre 2040 zu decken, wird geschätzt, dass etwa 800 000 km<sup>2</sup> zusätzlicher Landfläche (mit Abständen), eine Fläche, die doppelt so groß ist wie die von Kalifornien, von der kohlenstoffintensiven und erneuerbaren Energieentwicklung betroffen sein werden. Die bodenmontierte Solarenergieanlagen benötigen relativ große Landflächen zur Unterstützung der Kraftwerksinfrastruktur, Spiegel und Türme (z.B. CSP) und Module (z.B. PV), weshalb solche Anlagen oft von städtischen Ballungszentren weit entfernt liegen, in denen der meiste Strom verbraucht wird. Dies kann zusätzliche Übertragungsinfrastrukturen (d.h. Stromleitungskorridore, Straßen und Umspannwerke) für den Stromtransport erfordern, wodurch die Auswirkungen über den unmittelbaren Fußabdruck der Anlagen selbst hinausgehen (Murphy-Mariscal Michelle L. et. al., 2018).

Die mit der Solarenergie verbundenen Umweltauswirkungen sind Land- und Wassernutzung und Umweltverschmutzung, Lebensraumverlust und die Verwendung hochgefährlicher Materialien im Herstellungsprozess.

Im Rückblick auf das Installationsfeld kann es sich dabei um massive Landnutzung durch Solarfelder handeln, und im Gegensatz zur Windkraft ist zeitgleiche Nutzung des Landes für landwirtschaftliche Zwecke keine Option. Solarenergie wirkt sich auch auf die Landnutzung aus, wenn es um Bergbau und Herstellung von Materialien für die Produktion von Photovoltaikanlagen geht.

Zu den Verbindungen, die in Solarmodulen vorkommen, gehören Cadmium und Blei, extrem giftige Metalle. Es gibt eine Reihe anderer toxischer und gefährlicher Stoffe, die bei der Herstellung von Solarmodulen verwendet werden, darunter Galliumarsenid, Kupfer-Indium-Gallium-Diselenid, Salzsäure, Schwefelsäure, Salpetersäure, Fluorwasserstoff, 1,1,1-Trichlorethan und Aceton.

In den Vereinigten Staaten sind die Hersteller verpflichtet, sicherzustellen, dass diese hochwertigen Stoffe recycelt und nicht entsorgt werden. In anderen Ländern wie China, Malaysia, den Philippinen und Taiwan, wo mehr als die Hälfte der Photovoltaikanlagen hergestellt wird, werden diese gefährlichen Stoffe jedoch unverantwortlich auf den Feldern entsorgt und sie verschmutzen Luft, Wasser und Boden.

#### 4.7 Teure Energiespeicherung

Die meisten betrachten die Speicherung großer Mengen elektrischer Energie als das größte Hindernis bei der Erzeugung von Solarstrom im industriellen Maßstab. Derzeit sind die Möglichkeiten des Batteriespeichersystems zur Speicherung von Sonnenenergie als elektrische Energie sehr teuer.

Tesla hat die Powerwall-Batterie entwickelt, um Sonnenenergie für den späteren Gebrauch zu speichern. Mit einem 14kWh Akku, der bei der Installation etwa 7.100 Dollar kostet, sind diese Batterien jedoch sehr teuer. Wenn Sie Backup-Energie für ein Haus mit vier Schlafzimmern für einen Tag haben möchten, bräuchten Sie drei Tesla-Batterien, die insgesamt 18.300 Dollar kosten würden.

#### 4.8 Hohe Anschaffungskosten

Es kostet zwischen 15.000 und 29.000 Dollar für mittelgroße Systeme, die zwischen 4kW und 8Kw Strom produzieren. Diese Kosten umfassen die Solarmodule, den Wechselrichter, die Montage von Hardware und Verkabelung, Installation, Genehmigungen, Reparaturen, Überwachungs- und Wartungskosten sowie zusätzliche Betriebs- und Gemeinkosten.

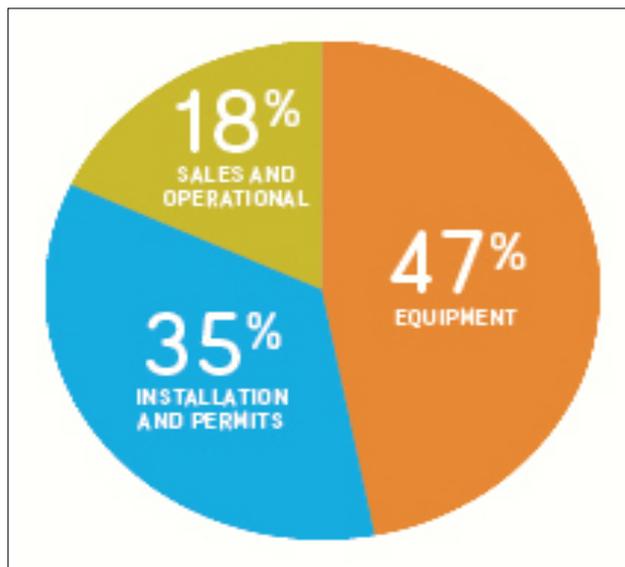


Abb. 6 Prozentsätze der gemessenen Kosten für die Beschaffung von Solarmodulen (Quelle, <https://www.sunrun.com/solar-lease/cost-of-solar>)

SALES AND OPERATIONAL	ERWERB UND BETRIEB
INSTALATION AND PERMITS	INSTALLATION UND GENEHMIGUNGEN
EQUIPEMENT	AUSRÜSTUNG

Solarmodule werden in Watt gemessen und die Preisangaben gelten oft in Dollar pro Watt. Nicht alle Solarmodule werden genauso hergestellt, und sie werden auch entsprechend bewertet. Die Anlagenkosten beinhalten die Solarmodule, Wechselrichter, Montagehardware und Verkabelung; die Installation und Genehmigung beinhaltet die Installation der Solaranlage, die Lieferkette, Genehmigung und Vernetzung; die Verkaufs- und Betriebskosten beinhalten die Überwachungs- und Wartungskosten, Reparaturen, zusätzliche Betriebs- und Gemeinkosten.

Sie werden feststellen, dass dies kein Batteriespeichersystem umfasst, was zusätzliche Kosten verursacht. Batteriespeichersysteme sind nicht erforderlich, wenn Sie planen, Ihren Energiebedarf durch den Anschluss an das lokale Energienetz zu decken.

Wenn Sie die Kosten für ein Batteriespeichersystem wie vorstehend beschrieben berücksichtigen, betragen die potenziellen Gesamtkosten zwischen 33.300 \$ und 47.300 \$, um Tag und Nacht zuverlässig genug Energie für den durchschnittlichen Vierzimmerhaushalt bereitzustellen. Selbst dann, je nach dem Klima und Standort, müssen Sie möglicherweise den Verbrauch reduzieren und sparsamer mit Ihrer Energie umgehen.

Ein weiterer Faktor, der bei Analyse von Anschaffungskosten zu berücksichtigen ist, ist die Amortisationszeit. Für ein 18.000 \$ System müssen Sie mit 20 Jahren rechnen, bevor Sie das Geld mit den Einsparungen durch den Solarstrom zurückgewinnen. Das ist für die meisten Menschen und ihre Finanzlage nicht sehr vernünftig.

#### **4.9 Wirtschaftliche Nachteile**

Der Hauptnachteil der Solarenergie ist die Wirtschaftlichkeit. Halbleitermaterial, aus dem die Solarzellen hergestellt werden, ist bei der Herstellung unerschwinglich. Auch wenn Fortschritte in der Materialwissenschaft und den Herstellungsverfahren gemacht werden, sind die grundlegenden Technologien sehr kostenintensiv. Es gibt billigeres Material für Solarmodule, das in der Unterhaltungselektronik verwendet wird, aber solche Solarmodule erzeugen nicht so viel Strom wie die klassische Photovoltaikzelle.

Einige neuere Entdeckungen erlauben es, mehr vom Sonnenspektrum zur Stromerzeugung zu nutzen, aber diese experimentellen Materialien verwenden die gleichen teuren Methoden des Kristallwachstums und der Dotierung. Optimierungen in der Fertigung sind noch Jahrzehnte entfernt.

Seit einigen Jahrzehnten werden Solarkraftwerke unter staatlicher Trägerschaft betrieben und haben bewiesen, dass die Stromerzeugung aus Sonnenenergie technisch machbar, aber wirtschaftlich noch nicht realisierbar ist. Diese Anlagen befinden sich in dünn besiedelten, trockenen Wüsten, die fast das ganze Jahr über Sonnenschein erhalten. Große Mengen an preisgünstigem Land sind erforderlich, um die Solarmodule und Spiegel unterzubringen, wodurch diese Kraftwerke weit weg von den Orten aufgestellt werden, wo die Energie tatsächlich verbraucht wird. Teure Freileitungsmaste müssen diese entfernten Energiequellen in energieverbrauchende, städtische Zentren übertragen.

Trotz der aktuellen Nachteile der Solarenergie erscheint die Nutzung der kostenlosen Energie der Sonne immer noch vielversprechend. Da wissenschaftliche Fortschritte und Herstellungsverfahren zur Herstellung von effizienteren und kostengünstigeren Solarzellen beitragen, wird Solarstrom in Zukunft eine wichtige Energiequelle für die Wohnhäuser sein.

## 4.10 Schlussfolgerungen

Während Solarenergie als unerschöpfliche erneuerbare Ressource betrachtet wird, hat die Art und Weise, wie wir diese Energie derzeit nutzen, viele Nachteile, von der Unerschwinglichkeit bis hin zur Ineffizienz. Die Solartechnologie steckt jedoch noch in den Kinderschuhen und es gibt viele gute Ideen.

So hat die Forschung zu den Energiespeicherfragen zwei verschiedene Methoden gefunden, mit denen in Zukunft elektrische Energie gespeichert werden könnte.

Wissenschaftler, die sich von der bestehenden Technologie inspirieren lassen, entwickeln Flow-Batterien, die kleine organische Moleküle verwenden, die den Rhabarberpflanzen dabei helfen, Energie zu speichern, die sog. Chinone, statt der giftigen und sehr teuren Vanadiumionen. Die Forscher prognostizieren, dass diese Technologie die derzeitigen Kosten von 0,02 \$ pro Kilowattstunde auf 0,0025 \$ pro Kilowattstunde senken könnte.

Die andere Methode, die wirklich genial ist, nutzt die erzeugte Sonnenenergie, um Methanol aus Kohlendioxid anstelle von Strom zu erzeugen. Es wird geplant, dass eine Anlage das Methanol als Brennstoff verbrennen würde, wodurch es wieder in Kohlendioxid umgewandelt würde, das erneut abgefangen und gespeichert wird. Das Ziel ist, die Emissionen durch Recycling von Kohlenstoff zu reduzieren, anstatt ihn in die Atmosphäre entweichen zu lassen.

Eine Sache ist jedoch sicher. Solarenergie hat noch einen langen Weg vor sich, bis sie finanziell tragbar, effizient und umweltfreundlich ist.

## 5. Fallstudie – Photovoltaikkraftwerk Oșorhei (CEF Oșorhei)

Aufbau des Photovoltaikkraftwerks Oșorhei (CEF Oșorhei), das die erneuerbare Sonnenenergie zur Erzeugung von Ökostrom nutzen soll, durch eine Stromerzeugungskapazität von 0,6 MW auf Solarmodulen in Oșorhei.



Abb. 7 Lage der Gemeinde Oșorhei  
(Quelle, dgtat-dgtatamd.opendata.arcgis.com/)

Rumänien bietet den notwendigen Rahmen für die Stromerzeugung aus Sonnenlicht. Gebiete von besonderem Interesse für die Anwendung von Solarenergie zur Stromerzeugung in Rumänien sind: - die Rumänische Tiefebene, die Pannonische Tiefebene, das Banat und ein Teil der Hochebene von Siebenbürgen und Moldawien.

Diese Gebiete werden mit Sonnenenergie überströmt, mit einem Jahresdurchschnitt zwischen 1700 und 2050 Sonnenstunden pro Jahr, und Gebiete wie Dobrudscha, die rumänische Küste des Schwarzen Meeres und das Donaudelta, weisen Besonderheiten auf, wobei der durchschnittliche jährliche Sonnenstrom äußerst günstig ist und eine Anzahl von über 2.200 Sonnenstunden pro Jahr erreicht (Clima Romaniei, 2008).

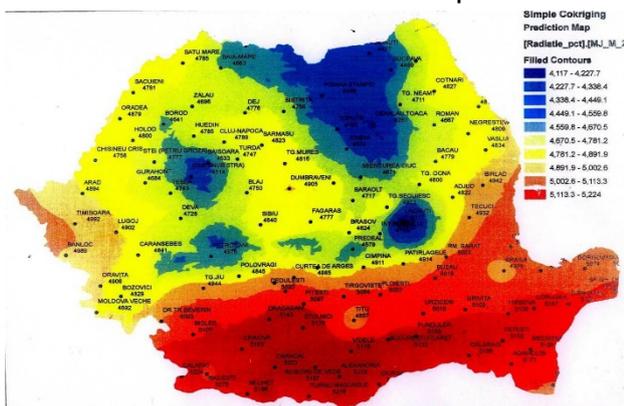


Abb. 8 Solarenergiepotenzial in Rumänien  
(Clima Romaniei, 2008)

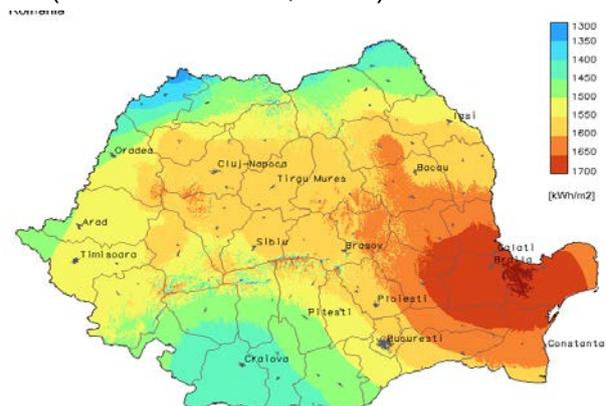


Abb. 9 Jährliche Summe der Globalstrahlung, die von optimal geneigten PV-Modulen empfangen wird  
(Quelle, Clima Romaniei, 2008)

Die Region, in der sich das Photovoltaikkraftwerk befindet (Kreis Bihor) hat die Stromerzeugungskapazität auf der Grundlage von photovoltaischen Solarzellen günstige Eigenschaften, um die Ziele des Kraftwerkes zu erreichen. Laut der 2007 von Aurelia Florina Dumiter entwickelten Studie „Klima und Topoklima von Oradea“ wurden die Klimadaten des Kreises Bihor mit einer durchschnittlichen jährlichen Sonneneinstrahlung von 2990,0 Wh / m<sup>2</sup> zusammengefasst. Wenn wir uns auf das maximale und das minimale Potenzial der Sonneneinstrahlung im Kreis Bihor beziehen, dann sind die jährlichen Werte wie folgt: 5659,2 Wh / m<sup>2</sup> im Juni und 626,4 Wh / m<sup>2</sup> im Januar.

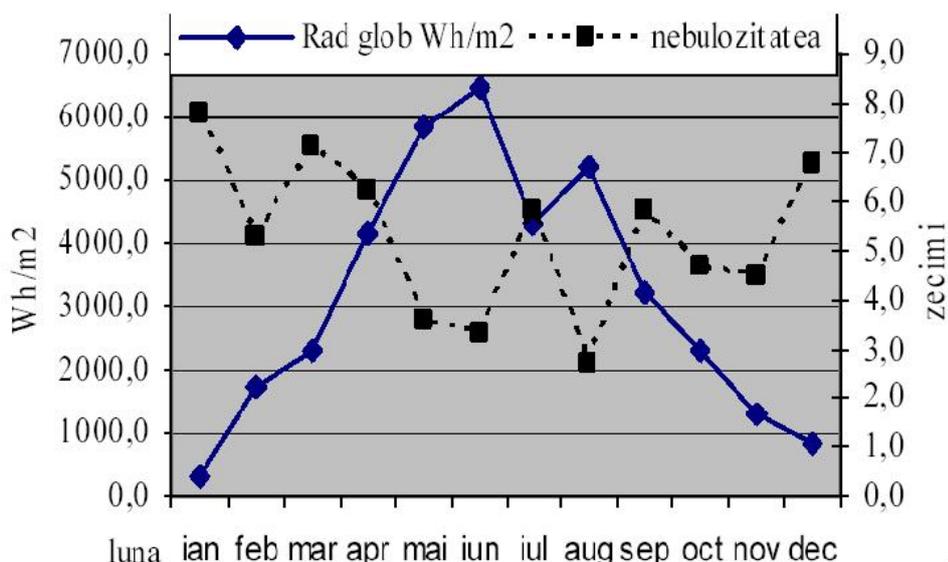


Abb. 10. Zusammenhang zwischen der Bewölkung und globaler Gesamtstrahlung in der gemäßigten Zone, das Gebiet umfasst den Kreis Bihor (Quelle, Dumiter A., 2007)



Abb. 11 Wanderung der jährlichen globalen Sonneneinstrahlung in Oradea (Quelle, Dumiter A., 2007)

In der Stadt Fughiu im Kreis Bihor wurde die Anlage auf Basis von Photovoltaikmodulen mit einer Produktionskapazität von 0,6 MW Strom ausgeführt. Im Kreis Bihor wird das durch dieses Photovoltaikkraftwerk angebotene Solarenergiepotenzial zur Stromerzeugung verwendet, der Strom wird an das nationale Stromnetz mittels nachgeschalteter Trennungspunkte angeschlossen (wo die Anlagen der Benutzer als ein Netzwerk von Anlagenbetreiber getrennt werden). Das Grundstück für diese Anlage wurde in der Stadt Fughiu gewählt, weil es über eine ausreichend große Fläche für dieses Projekt verfügt und in einem Abstand zu Gebäuden, Wäldern oder anderen Objekten liegt, die

Schatten für die Anlage erzeugen können. Die Erfassung der Sonneneinstrahlung am Boden erfolgt unter optimalen Bedingungen.

Die günstige Situation hinsichtlich der Sonneneinstrahlung auf Gebieten, wo sich die Solaranlage befindet, ermöglicht die jährliche Erfassung des vollen Potenzials der Sonneneinstrahlung im Kreis Bihor von 5659,2 Wh / m<sup>2</sup>.

Auf diese Weise erreichen die Solarenergieströme einen Jahresdurchschnitt zwischen 1700 und 2050 Sonnenstunden pro Jahr, die bei einer Installation von 0,6 MW eine reale elektrische Stromerzeugung von 650.000 kWh / Jahr erreichen können.

*Die photovoltaischen Dünnschichtmodule für die Solaranlagen wurden als die geeignetsten für diesen Produktionsbereich gewählt, da sie einen höheren Strom als das System auf Basis polykristalliner Module aufweisen und auch an den Tagen mit geringer Sonneneinstrahlung ordnungsgemäß funktionieren können. Grundsätzlich kann eine Dünnschicht-Photovoltaikanlage in jeder Größe gebaut werden, unter Berücksichtigung der Energie, die Sie produzieren muss. Zusätzlich kann es je nach dem Kontext vergrößert oder verschoben werden.*

Die Dünnschichttechnologie hat in der Photovoltaik einen großen Vorteil für die weitere Entwicklung dieses Bereichs gebracht, indem sie das teure Silizium aus der Kostengleichung entfernt hat. Die Dünnschichttechnologie verwendet ein Halbleitermaterial wie Kupfer, Indium, Gallium und Selen, um Photovoltaikmodule herzustellen, die Sonnenlicht in Strom umwandeln können. Darüber hinaus sind die silikonfreien Module viel leichter und flexibler, und sie benötigen keinen rigiden und soliden Rahmen mehr. So können die Solarmodule auf immer weiteren Gebieten eingesetzt werden.

Die Photovoltaikanlage mit Anschluss an ein Stromnetz zeichnet sich durch die Stromerzeugung durch ihre 3 Hauptelemente aus:

vi. Photovoltaikmodule

Wechselrichter

vii. Stromverteilnetz

Diese werden durch eine Reihe von Zusatzgeräten ergänzt, wie z.B. verschiedene Schutzvorrichtungen gegen Überspannungen oder Energiezähler.

Die Photovoltaikmodule, die einen Photovoltaikgenerator bilden, sind dazu bestimmt, das Sonnenlicht zu empfangen und in Strom umzuwandeln. Die von den Modulen erzeugte Energie, die als Gleichstrom (DC) bezeichnet wird, wird in das elektrische Verteilungsnetz eingeführt, nachdem sie von einem Wechselrichter in Wechselstrom (AC) umgewandelt worden ist. Der Wechselrichter wandelt den erzeugten Gleichstrom (DC) in Wechselstrom (AC) um und macht sie damit für die Einspeisung in das Stromnetz geeignet.

Die Installation beinhaltet auch eine Reihe von Zählern, um eine Messung der erzeugten Energie zu erhalten.

Die erzeugte Energie wird durch das Stromnetz empfangen und darüber an die Verbrauchsstellen verteilt, d.h. an die Stadt Oșorhei.

Auf diese Weise wird am Ende des Prozesses die photovoltaische Solaranlagen an das Nieder- oder Mittelspannungsnetz angeschlossen.

Das für diese Anlage verwendete Photovoltaikmodul ist ein Modul mit Dünnschichttechnologie (Silizium als Cadmiumtellurid) mit einer Nennleistung von 75 W.

Dünnschicht-Photovoltaikmodule sind langlebig und flexibel, sie werden in Isolationssysteme gegen Versickerung verpackt und verfügen über selbstreinigende Polymere. Diese Module können sogar als Dachschindeln oder andere kreative Lösungen verwendet werden, um die Flexibilität zu nutzen.

Dünnschicht-Photovoltaikmodule bieten hohe Energieerträge (hohe Leistung) unabhängig von der Jahreszeit und den Wetterbedingungen, mit hervorragender Leistung bei

schlechtem Licht oder niedrigen Temperaturen. Sie sind sehr stark, robust und vandalismussicher.

Sie enthalten weniger robuste Laminatrahmen und das Allerbeste ist, dass die Dünnschicht-Photovoltaikmodule am Ende der Nutzung leicht recycelt werden können, ohne dass die Struktur der Module beschädigt wird. Die verwendeten Module entsprechen den Normen des Qualitäts- und Umweltmanagements ISO 9001/2000 und ISO 24001/2004.

Die meisten Photovoltaikprodukte haben eine Lebensdauer von 30 Jahren. Module jeglicher Art, einschließlich der integrierten Dünnschichtprodukte, haben eine Lebensdauer von 20 Jahren, d.h. doppelt so lang wie laminierte Kristall- oder Glasplatten, die eine Lebensdauer von 10 Jahren haben. Eine weitere Systemkomponente ist der Wechselrichter. Die für die Installation verwendeten Wechselrichter weisen zwei Arten von Werten auf: 18 KW und 3,3 KW.

DC Photovoltaikmodule erzeugen eine Einstrahlung, die proportional zur Einfallintensität ist. Damit die Photovoltaikanlagen parallel zum bestehenden Netz betrieben werden können, ist es notwendig, Gleichstrom (DC) in Wechselstrom (AC) umzuwandeln, der die gleichen Eigenschaften aufweist, die im Stromnetz verfügbar sind. Das für diesen Prozess verantwortliche Gerät wird als Wechselrichter DC/AC bezeichnet.

### **Stromverteilernetz**

Aus jeder Reihe von Modulen wird ein Kabel zum Wechselrichter geführt, der so nah wie möglich an den Modulen verlegt wird, um Stromverluste (DC) zu vermeiden.

Der maximale Abfall der Gleichspannung beträgt 1,5% und 2% in CA. Die Betriebsspannung setzt am Maximum Power Point ein.

Positive und negative Elemente jeder Modulgruppe werden separat durchgeführt und nach den aktuellen Normen geschützt. Alle DC-Kabel sind doppelt isoliert und eignen sich für den Einsatz bei schlechten Wetterbedingungen, an der Oberfläche oder im Boden. Nach dieser Methode, mit einer Leistung von 0,6 Mw, wird eine Jahresproduktion von 0,650 MWh erreicht, was etwa 12% höher ist als die Werte, die mit der polykristallinen Technologie erreicht werden können, und daher ist der Umsatz größer.

Es ist auch der wirtschaftliche Aspekt, der bei den Gesamtkosten der Investition (Bau und Betrieb) im Verhältnis zu den gesamten Betriebseinnahmen berücksichtigt wird.

Die Dünnschichttechnologie in der Photovoltaik funktioniert am besten bei geringer Sonneneinstrahlung, im Gegensatz zu polykristallinen Modulen, die direktes Sonnenlicht benötigen. Die Rendite bei der Dünnschichttechnologie in der Photovoltaik ist offensichtlich höher, als bei den polykristallinen Modulen, die Gesamtenergiemenge, die bei gleicher installierter Leistung erzeugt wird, ist bei den Dünnschicht-Photovoltaikmodulen um mindestens 12% höher.

Ein weiterer Vorteil ist die garantierte Laufzeit der Bedienfelder, d.h. die Anzahl der Jahre, für die eine Leistung von 98% der installierten Nennleistung gewährleistet ist; Dünnschicht-Photovoltaikmodule haben 5-10 Jahre längere Garantiefrieten als die polykristalline Technologie.

Die Tragkonstruktion der Module ist am Boden befestigt, mit einer Neigung der Module um 33° und der Südorientierung von 0°, wobei ein Abstand zwischen den Modulreihen von 7,25 m eingehalten wird. Die Konstruktion besteht aus Stahl, Zement und Aluminium.

Es wurde eine geneigte Tischkonfiguration aus verzinktem Stahl gewählt, um eine hohe strukturelle Festigkeit und Haltbarkeit bei allen Wetterbedingungen zu erreichen. Die handelsüblichen Stahlprofile der Stützkonstruktion werden in einem Zylinderfundament aus Zement mit einem Durchmesser von 500 mm und einer Tiefe von 900 mm am Boden befestigt.

Über diesen Stahlprofilen befinden sich Zementquerträger, Querschnitt 100x170 mm, tragende Profile aus Aluminium, die über den Modulen montiert werden. Die

Aluminiumprofile sind 60x60 mm groß und haben eine Dicke von 2 mm. Jede Reihe von 8 Dünnschichtmodulen wird von zwei Aluminiumprofilen getragen.

Zur Verankerung der Module werden verzinkte Befestigungsmittel verwendet, um einen guten elektrischen Kontakt zwischen Modulen und Tragprofilen zu gewährleisten und Schutz vor möglichen Isolationsverlusten des Generators und vor den durch atmosphärische Entladungen verursachten Einflüssen zu bieten.

Die Konstruktion besteht aus 9480 Modulen mit einer Leistung von 75 W, die 30 Wechselrichter mit 18 KW und 18 Wechselrichter mit 3,3 KW benötigen, um den von den Modulen erzeugten Gleichstrom in Wechselstrom umzuwandeln, der zum nationalen Stromnetz transportiert wird.

Die 9480 Module sind in 6 identischen Gruppen von 99,9 kW erzeugter Leistung und 118,5 kWp installierter Leistung angeordnet. Jede Gruppe enthält 1580 Module, von denen 1400 Module mit 5 Wechselrichtern mit 18 KW und 140 Module mit 3 Wechselrichtern mit 3,3 KW verdrahtet sind.

Die Konstruktion unterstützt neben dem Eigengewicht auch die Überlastung von Wind und Schnee nach der Bautechnikverordnung. Die Rahmenkonstruktion wurde nach den Regeln berechnet, um eine gute Verankerung der Module zu gewährleisten, um das Eigengewicht der Module zu tragen und Überlastungen durch Erdbeben, Wind oder Schnee zu vermeiden.

Alle Rahmenkonstruktionen sind mit der Erde verbunden, um die mit der Ansammlung statischer Aufladung verbundenen Risiken zu reduzieren.

### **Elektroinstallation und Verkabelung**

Das elektrische System und der Wirkungsgrad der Verkabelung wurden aus dem Maximum berechnet, wobei besonderes Augenmerk auf die Installation und Ausführung der Sicherheit und ihren geringen Spannungsabfall zwischen dem Wechselrichter und dem photovoltaischen Feld gelegt wurde, der weniger als 1,5% der Eingangsspannung in den Transformator betragen sollte.

Die Verkabelung von DC (von Modulen zu Wechselrichtern) und AC (von Wechselrichtern zu CGP in den Kastenzählern) ist ebenfalls geerdet.

Das Transformationszentrum besteht aus einem kleinen vorgefertigten Zementvorbau, der in seinem Inneren eine kompakte Mittelspannungsanlage, einen Transformator, eine Niederspannungseinstellung sowie entsprechende Verbindungen und Hilfselemente beinhaltet.

Die Leiter sind aus Kupfer und haben einen entsprechenden Querschnitt, um Stromstöße und Überhitzung zu vermeiden. Alle DC- und AC-Kabel sind doppelt isoliert und für den Einsatz bei schlechtem Wetter geeignet, sie werden in Rohren an der Oberfläche verlegt oder im Boden vergraben.

Unabhängig von der Photovoltaikanlage wird eine CA-Linie mit entsprechenden Schutzmaßnahmen für den Wechselrichterbetrieb installiert.

Der Wechselrichter verfügt über eine Kommunikationslinie aus multimodaler Glasfaser, die den Wechselrichter mit der Steuerung jedes Moduls des photovoltaischen Kraftwerksblocks verbindet. Diese Linie endet in der Leitstelle der Anlage, die die wichtigsten Variablen jeder Moduleinheit überwacht.

## **Anschluss an das nationale Stromnetz**

Damit sie an das Netz angeschlossen werden kann, arbeitet die Anlage nicht isoliert, sondern der Wechselrichter führt einen Prozess der kontinuierlichen Überwachung von Netzspannung und -frequenz durch und wird abgeschaltet, wenn die Parametern außerhalb der gesetzlichen Grenzwerte für Elektroinstallationen in Rumänien liegen.

Das Anschlussmodul ist ein Dreiphasen-Anschlussmodul und garantiert eine hohe Qualität des erzeugten Signals. Der Wechselrichter hat eine harmonische Verzerrung von weniger als 3% und einen minimalen Leistungsfaktor von 0,99 der Nennleistung.

Der Anschluss an das nationale Stromnetz erfolgt bei 20 kV, d.h. 100 Meter vom der Solaranlage entfernt.

## **Funktionsbeschreibung**

Der Betrieb der Solaranlage erfolgt durch den folgenden Prozess: Die Solarenergie wird von Photovoltaikmodulen aufgenommen, in den Modulen erfolgt die Umwandlung der Solarenergie in Gleichstrom. Der daraus resultierende Gleichstrom wird an den Wechselrichter gesendet, der die Umwandlung von Gleichstrom in Wechselstrom durchführt. Der erzeugte Wechselstrom wird über das Stromnetz verteilt und von den Empfängern genutzt. Die folgende Tabelle zeigt beispielhaft den Betrieb einer Solaranlage.

## **Technologische Beschreibung**

### **Dünnschicht-Photovoltaikmodule**

Das Photovoltaikmodul für dieses Gerät ist ein Modul in der Dünnschichttechnologie (Silizium-Cadmium-Tellurid) mit einer Nennleistung von 75 W.

Ein Dünnschicht-Photovoltaikmodul ist ein Modul, das auf Basis einer dünnen Scheibe aus 116 Zellen hergestellt wird.

Die Module sind 1,2 m lang x 0,6 m breit. Das Modulgewicht beträgt 12 kg. Das Modul verfügt über einen unteren Laminatrahmen, ist robust und recycelbar.

Alle Photovoltaikmodule bestehen aus zwei Halbleiterschichten, einer positiv und einer negativ geladenen Schicht. Wenn die Sonne auf den Halbleiter scheint, wird durch das elektrische Feld am Übergang dieser Schichten Energie erzeugt → Je größer die Intensität der Sonne, desto mehr Energie wird erzeugt.

### **Wechselrichter**

Diese Wechselrichter sind technologisch sehr fortgeschritten und erfüllen die für die Zusammenschaltung der Niederspannungsnetze erforderliche technische Sicherheitsanforderungen sowie die Gemeinschaftsrichtlinien über die elektrische Sicherheit und die elektromagnetische Verträglichkeit.

Die wichtigsten technischen Merkmale von Wechselrichtern:

- Ein Wechselrichter ermöglicht perfekte Anpassung von Vektoren, um eine maximale Energieproduktion zu erreichen
- Er enthält einen Maximum Power Point des Detektionssystems
- Er bietet eine schnelle und genaue Kontrolle des durchgeführten Prozesses
- Er verbessert den elektrischen Wirkungsgrad um bis zu 20%, auch bei ungünstigen klimatischen Bedingungen
- Erhöht die Kilowattleistung der Photovoltaikmodule
- Bietet ein breites Spektrum an Einsatzmöglichkeiten im Rahmen der Photovoltaiktechnologie
- Hohe dynamische Leistung bei bewölktem Himmel
- Er arbeitet in einem weiten Temperaturbereich von -20 Grad bis 85 Grad Celsius

- Beständig gegen hohe Luftverschmutzung und hohe Luftfeuchtigkeit
- Modulare Komponenten für den effektiven Betrieb
- Er ist mit zwei Lüftern ausgestattet
- Entwickelt in Übereinstimmung mit dem seismischen April
- Eingebaute Schalter für die Abschaltung von DC und AC
- Die Wechselrichter enthalten einen Trenntransformator
- Verknüpfung und Anpassung der resultierenden Spannung des photovoltaischen Stromsystems des Wechselrichters
- Selbstisolierung zur Überwachung des Betriebs der Netzspannung und -frequenz synchronisiert mit der Ausgangsspannung der Generatorspannung zum eigenen Netz.
- Vollautomatische Funktion, praktisch keine Verluste während der Stillstandszeiten
- Er fungiert als Energiequelle und ist jederzeit in der Lage, die maximale Leistung, die ein Photovoltaikgenerator liefern kann, durch einen weiteren automatischen Maximum Power Point zu extrahieren, der eine variable Eingangsleistung darstellt.
- Schutz gegen Spannungs- und Frequenzschwankungen mit Netzwerkanschluss
- Schutz gegen AC-Kurzschluss
- Überspannungsschutz
- Schutz vor Störungen im Netzwerk wie z.B. Mikroschalter, Ausfall von Impulszyklen, Unterbrechung und Wiederherstellung des Netzwerks
- Verpolungsschutz
- Galvanischer Trenntransformator
- Containment CC
- Schutzverpackung der ausgesetzten Anschlüsse vor Überstrom
- Da alle Komponenten in einem Gehäuse untergebracht sind, sind Wechselrichter einfach zu installieren, zu bedienen und zu warten
- Einfacher Zugriff auf alle Komponenten
- Speziell für die Außenumgebung entwickelt
- Verzinkte Isolierung

Der Wechselrichter verfügt über ein Überwachungssystem, das die folgenden Variablen erfassen und verwalten kann:

- viii. Spannungs- und Stromeingang
- ix. Wirkleistung
- x. Temperatur und Einstrahlung innerhalb der Module sowie die Umgebungstemperatur
- xi. Gerätestatus
- xii. Status des Ausgangsschützes
- xiii. Alarmer (Ausfall der Versorgungsspannung, Netzfrequenz, Ableitungen, unzureichende Spannungsfelder, Kommunikationsfehler)

Die vom Überwachungssystem gespeicherten Daten werden von einer kundenspezifischen Software verwaltet, die die Kommunikation innerhalb der Solaranlage erleichtert, wodurch die Parameter jedes Elements überwacht und eingestellt werden. Ein zusätzliches Überwachungssystem beinhaltet eine geführte Kommunikation und ein Alarmmanagement mit GSM-Kommunikation.

## **Transformator**

Der 630 kVA Transformator mit den erforderlichen Schutzvorrichtungen weist die folgenden Eigenschaften auf:

- xiv. Dreiphasen-Transformator, Monospannung 420 V (ohne Last) / 20 kV
- xv. Wasserdicht und regelkonform
- xvi. Nennleistung 630 kVA
- xvii. Isolationsniveau 24 kV
- xviii. Gruppe Dyn 11 Anschluss
- xix. Kurzschlussimpedanz bei 75 °C 4%
- xx. Aktuelles Ziel 2,3%
- xxi. Schalldruck 59 dB

## **Equipment Center Transformation**

Im Innenraum und über dem Anschluss wird die elektrische Ausrüstung, Typ MB, montiert, die aus den folgenden Elementen besteht:

- xxii. Halterung
- xxiii. Hebesystem
- xxiv. Kompaktes MT-Getriebe, vollisoliert in SF 6, GCM Typ Cosmos 2 – LP
- xxv. BT-Getriebe Rahmen mit Unterspannungsschutz und Steuerung
- xxvi. Verteiltransformator MT / BT 160 kVA gefüllt vollständig mit Öl / 24 kV, gemäß den SEE-Normen
- xxvii. Direkte Vernetzung mit MT- und BT-Kabeln
- xxviii. Stromkreisfixierung auf dem Boden
- xxix. Beleuchtung und Hilfsmittel

## **Überwachungssystem**

Die Photovoltaikanlage verfügt über einen bidirektionalen elektronischen Drehstrommesser mit Niederspannung und einen indirekten Energiezähler, der die von der Photovoltaikanlage erzeugte Energie und den Verbrauch der Photovoltaikanlage misst.

Wesentliche Merkmale der Messgeräte sind:

- xxx. Fähigkeit, die Wirkleistung (bidirektional) und die Blindleistung (4 Quadranten) zu messen
- xxxi. Verfügbarkeit für 3 Zähler
- xxxii. Rechenleistung, maximaler Bedarf und Überschussstrom
- xxxiii. Kommunikationsanschlüsse, lokale Fernablesung und Fernablesung
- xxxiv. Verfügbarkeit von 4 freien Leistungskontakten zur Übertragung von Signalen an ein externes Gerät
- xxxv. LCD-Anzeige

Die theoretische Jahresproduktion erfolgt in Übereinstimmung mit den Anforderungen der technischen Regeln für den Netzanschluss von Photovoltaikanlagen auf europäischer Ebene, wie folgt:

- xxxvi.  $E_p$  (kWh / Tag) =  $G_{dm}$  (a,  $\beta$ ). PM PMP. PR / GCEM
- xxxvii.  $E_p$  = vom Generator erzeugte Energie
- xxxviii. PMP = Spitzenstromerzeuger
- xxxix. GCEM = 1KW / m<sup>2</sup>

xl. PR = Leistungsverhältnis ist die Energieeffizienz der Anlage unter den Bedingungen des tatsächlichen Betriebs.

xli. Berücksichtigen Sie: Zusammenhang zwischen dem Wirkungsgrad und der Temperatur; Effektivität der Verkabelung; Verluste durch Verunreinigungen,

Streuparameter, Fehler bei der Verfolgung von Maximum Power Point; Wechselrichter zur Energieeffizienz.

xlii. Gdm ( $\alpha$ ,  $\beta$ ) = monatliche und jährliche durchschnittliche tägliche Bestrahlung des Anlagengenerators in kWh / m<sup>2</sup> / Tag unter Berücksichtigung der Neigung und des Azimuts der Anlage.

xliii. Die Datenberechnungen wurden aus verschiedenen offiziellen Quellen bezogen:

xliv. Teilnahme an den europäischen Forschungszentren (Europäische Kommission/Europäische Kommission)

xlv. PV – GIS Geographische Bewertung von Solarenergie-Ressourcen

Monat	Gdm (0) [KW · h (m <sup>2</sup> · Tag)]	Gdm (a = 0, SS = 37) [KW · h (m <sup>2</sup> · Tag)]	Ep [KW · h / Tag]	Ep [KW · h / Monat]
Januar	1105	1874	203	6294
Februar	1989	3108	332	9307
März	3228	4238	441	13678
April	4474	4992	503	15101
Mai	5719	5722	563	17452
Juni	5965	5663	550	16510
Juli	6135	5988	579	17 964
August	5360	5778	562	17416
September	3945	4966	497	14855
Oktober	2592	3907	400	12413
November	1298	2136	225	5759
Dezember	827	1366	148	4574
Durchschnitt	3553	4145	417	12610
Gesamt	42 637	49738	5003	151 323

Tabelle 2 Strahlungswerte auf der geneigten Fläche (kWh / m<sup>2</sup>) unter Berücksichtigung der Orientierung und Neigung (Datenquelle, Dumitreanu M., 2017)

Monat	theoretische Produktion kW / h	PR	Produtos Real kW / h
Januar	6294	0.77	4846
Februar	9307	0.77	7166
März	13678	0.77	10532
April	15101	0.77	11628
Mai	17452	0.77	13438
Juni	16510	0.77	12 713
Juli	17 964	0.77	13832
August	17416	0.77	13410
September	14855	0.77	11438
Oktober	12413	0.77	9558
November	5759	0.77	4434
Dezember	4574	0.77	3522
Durchschnitt	12610	0.77	9710
Gesamt	151 323	0.77	116 519

Tabelle 3 Theoretische Stromerzeugung geschätzt durch die 151 323 kWh/Jahr der Anlage für einen Wechselrichter (Datenquelle, Dumitreanu M., 2017)

Gemäß der Tabelle können wir feststellen, dass die Stromerzeugung, geschätzte reale Installation, 116 519 kWh / Jahr für einen Wechselrichter beträgt.

<b>STC1 Werte und Bewertungen für Dünnschicht-Photovoltaikmodule</b>		<b>Zahlenwerte des Moduls</b>
<b>Namensbezeichnungen</b>	<b>Verwendete Abkürzungen</b>	
Nennleistung (+/- 5%)	PMPP (W)	75
Spannung bei P <sub>MAX</sub>	VMPP (V)	68.2
Elektrischer Strom bei P <sub>MAX</sub>	IMPP (A)	1.10
Leerlaufspannung	VOC (V)	89.6
Kurzschlussstrom	ISC (A)	1.23
Maximale Systemspannung	VSYS (V)	1000
Temperaturkoeffizient von PMPP	TK (PMPP)	-0,25% / °C
Temperaturkoeffizient von VOC, für hohe Temperaturen (> 25 °C)	TK (VOC, high temp)	-0,25% / °C
Temperaturkoeffizient VOC, niedrige Temperatur (-40 °C bis 25 °C)	TK (VOC, low temp)	-0,25% / °C
Temperaturkoeffizient von ISC	TK (ISC)	+ 0,04% / °C
Rückstrombelastbarkeit	IR (A)	2
Strangsicherung max.	ICF (A)	10 (2 IEC617303)

Tabelle 4 Technische Parameter eines Dünnschicht-Photovoltaikmoduls (Datenquelle, Dumitreanu M., 2017)

Das Datenblatt Dünnschicht-Photovoltaikmodul 75 W.

<b>Werte und Einschätzungen eines Dünnschicht-Photovoltaikmoduls 800W / m<sup>2</sup>, 45 °C, AM 1,5</b>		<b>Zahlenwerte des Moduls</b>
<b>Namensbezeichnungen</b>	<b>Verwendete Abkürzungen</b>	
Nennleistung (+/- 5%)	PMPP (W)	56.3
Spannung bei P <sub>MAX</sub>	VMPP (V)	63.9
Elektrischer Strom bei P <sub>MAX</sub>	IMPP (A)	0.88
Leerlaufspannung	VOC (V)	83.3
Kurzschlussstrom	ISC (A)	1.01

<b>Beschreibung der Mechanik</b>			
Länge	1200 mm	Dicke	6,8 mm
Breite	600 mm	Gebiet	0,72 m <sup>2</sup>
Gewicht	12 kg	Reihenfolge der Kabel	3,2 mm 2, 610 mm

Tabelle 5 Technische Parameter eines Dünnschicht-Photovoltaikmoduls 75 W (Datenquelle, Dumitreanu M., 2017)

Das Datenblatt für 18 KW Wechselrichter mit AC-Schutz.

<b>Inputs</b>	
Höchstleistung CC	22500 W
Strandspannung DC	335 V – 800 V
Nennspannung (UFV, nom)	335 V
Maximale MPP-Spannung (UMPP, max)	560 V
Höchstspannung DC (UCC max)	800 V
Max. Eingang (IFV, max.)	23
Verzerrungsfaktor CC (UPP)	<10%
Maximale Anzahl der Schichten (parallel)	4
Anschluss CC	Haken (MC oder Tyco)
Thermisch überwachte Varistoren	Ja
Überwachung der Verlegung auf dem Boden	Ja
Verpolungsschutz	Kurzschlussdiode
<b>Ausgangswerte</b>	
Höchstleistung CA (PCA max)	19800 W
Nennwert AC (PCA nom)	18000 W
Max. Ausgang (ICA max.)	31
Verzerrungskoeffizient nichtlinear aus dem Stromnetz	<4%
Nennspannung AC (UCA, nom)	380 V – 400 V
Bemessungsfrequenz AC (FCA, nom)	50 Hz / 60 Hz
Leistungsfaktor (cos)	1
Kurzschlussfestigkeit	Ja, Stromregelung
Netzwerkverbindung	Terminals CA
<b>Leistungsfaktor</b>	
Maximaler Ertragskoeffizient	96%
Europäischer Wirkungsgrad	95,3%
<b>Leistungselektronik</b>	
Konzept-Schaltung	Leistungstransformator
Netzwerküberwachung	Überwachungsnetz
Anzahl der Phasen	3 (dreiphasiger Sternschaltung)
<b>Gehäuse</b>	
DIN EN 60529	IP 65
Kühlkonzept	Opti Cool
Zulässige Umgebungstemperatur	zwischen -25 °C und +60 °C
<b>Gewicht &amp; Abmessungen</b>	
Gewicht	210 kg
Breite / Höhe / Fund (mm)	2000/1000/300
<b>Merkmale</b>	
Kommunikation	Radio
Display	Anzeigeoptionen 2 Zeilen oder mehr
Garantie	5 Jahre – 10 Jahre

Tabelle 6 Technische Parameter des 18 KW Wechselrichters  
(Datenquelle, Dumitreanu M., 2017)

Das Datenblatt für den 3,3 KW Wechselrichter im Anlagenschutz AC integriert

<b>Inputs</b>		
Maximale DC-Leistung, DC-Spannungsbereich		3820 W
Nennspannung (UFV, nom)		500 V
Photovoltaischer Spannungsbereich (UMPP)	MPPT-	200-500 V
Max. Eingang (IFV, max.)		20
Verzerrungsfaktor CC (UPP)		<10%
Max. Schichten (parallel)		3
DC-Trennvorrichtung		ESS Stecker
Thermisch überwachte Varistoren		Ja
Überwachung der Verlegung auf dem Boden		Ja
Verpolungsschutz		Kurzschlussdiode
<b>Ausgangswerte</b>		
Höchstleistung CA (PCA max)		3600 W
Nennwert AC (PCA nom)		3300 W
Verzerrungskoeffizient nichtlinear aus dem Stromnetz		<4%
Nennspannung AC (UCA, nom)		220-240 V
Bemessungsfrequenz AC (FCA, nom)		50 Hz / 60 Hz
Leistungsfaktor (cos)		1
Kurzschlussfestigkeit		Ja, Einstellung
Netzwerkverbindung		CA Stecker
<b>Leistungsfaktor</b>		
Maximaler Ertragskoeffizient		95,2%
Europäischer Wirkungsgrad		94,4%
<b>Schutzgrad</b> DIN EN 60529		IP 65
<b>mechanische Parameter</b>		
Breite / Höhe / Fund (mm)		450/352/236
Gewicht		41 kg

Tabelle 7 Technische Parameter des 3,3 KW Wechselrichters  
(Datenquelle, Dumitreanu M., 2017)

Die Betriebskosten stellen sich wie folgt dar:

- Personalaufwand für die laufende Instandhaltung bestehend in der Reinigung von Modulen und Beseitigung von Pflanzen – ca. 5200 Euro / Jahr
- Personalaufwand für die Produktionsleitung mit zwei Komponenten  
technische Komponente – Service und Konfiguration der Ausrüstung – ca. 24.000 Euro / Jahr  
wirtschaftliche Komponente – Produktionsrekord, Wertschöpfung, – ca. 6500 Euro / Jahr

## Wie man einen solaren Warmwasserbereiter Schritt für Schritt bauen kann

Der vorgeschlagene solarbetriebene Warmwasserbereiter ist eine der einfachsten Methoden, um ein solches Gerät zu bauen, und er hat keine besonderen technischen Fähigkeiten, so dass er von jeder Person mit einem minimalen Finanzaufwand gebaut werden kann. Die Größe ist die „handelsübliche“ Größe (2x1) für Geräte, die auf dem Markt erhältlich sind.

Erforderliche Materialien:

- Kupferrohre 15x07 – 30 Meter (10 Rohre x 3 Meter)
- „T“-förmige Kupferverbindungen 30 Stück
- „MM“ Kupferbuchsen 5 Stück
- Holzbretter für die Box: 8 Stück in einer Länge von 2 Metern (5 Stück für den Boden, 2 Stück der Länge nach verlegt, ein Stück halbiert), 20 cm breit, 2 cm dick (Standardgröße) = 8 Stück \* 2 Längen 0,2 breit \* 0,02 dick = 0,064 Kubikmeter Holzbretter
- 15 Stück Holzschrauben
- 0,6 cm dicke Glasscheibe für den Kastendeckel
- Winkelprofil (Metall, Aluminium oder Kunststoff) für die Befestigung von Glasscheiben, 6 Meter
- Glaswolle mit Aluminiumfolie zur Isolierung
- ein Schlauch aus Polyurethanschaumstoff
- 2 hygienische Universal-Silikonschläuche
- 1,25 cm dickes Blech
- 42 Stück Metallklammern
- 1 Stück Winkel-Metallprofil x 6m Länge für den Metallrahmen der Box + 2x vierkantige Metallstäbe von 6 m Länge zur Unterstützung der Holzkiste (wenn die Holzkiste auf dem Dach befestigt wird, ist dieses Metallteil nicht notwendig)
- 2-3 Säcke Zement
- grüne Farbe, ca. 2 Liter, für die Holzkiste + schwarze Farbe für das Blech
- Kupferrohrschneidvorrichtung
- Gastank und Brenner zum Schweißen der Kupferrohre mit den Verbindungen und Buchsen

### Schritt 1 Aufbau der Holzkiste

Die Holzbretter müssen trocken sein, um Risse während des Trocknungsprozesses zu vermeiden. Die Ecken der Holzkiste werden mit Holzschrauben verstärkt und der gesamte Innenraum muss gestrichen werden, um Feuchtigkeitsaufnahme und Beschädigung zu vermeiden.



Foto 8 Bemalte Holzkiste (Quelle, <http://www.douamaini.ro/>)

Eventuelle Rissen und Verbindungen der Holzbretter werden mit Polyurethanschaum versiegelt, um Wasser im Inneren der Holzkiste zu vermeiden.



Foto 9 Die Isolierung der Holzkiste mit Polyurethan-Schaumstoff  
(Quelle, <http://www.douamaini.ro/>)

### **Schritt 2 Der Aufbau des Kupferrohrsystems**

Der erste Schritt besteht darin, die „T“-förmigen Kupferverbindungen mit den Kupferbuchsen zu verbinden. In dieser Phase ist das Schneidwerkzeug für Kupferrohre ein sehr nützliches Gerät, da es präzise Schnitte ermöglicht. Es ist zu beachten, dass in dieser Bauphase jegliche Messfehler in jedem Schritt des Schweißprozesses multipliziert werden. So endet beispielsweise ein Schneidfehler von einem Millimeter beim ersten Schnitt mit einem Fehler von 10 cm am Ende des Rohrsystems.



Foto 10 Schweißen von Kupferverbindungen und Kupferbuchsen  
(Quelle, <http://www.douamaini.ro/>)

Nachdem die Kupferverbindungen und Kupferbuchsen verschweißt worden sind, werden als nächstes die Kupferrohre hinzugefügt und alle Kupferteile werden miteinander verschweißt. Man muss beachten, dass der schwierigste Teil dieses Schrittes darin besteht, die Rohre in den Buchsen nicht zu verdrehen, um Risse zu vermeiden, da dies zu Flüssigkeitsverlust und damit zum Systemausfall führen kann.



Foto 11 Kupferrohre (Quelle, <http://www.douamaini.ro/>)

Nachdem alle Kupferrohre miteinander verschweißt worden sind, wird im nächsten Schritt das Kupferrohrsystem auf der Metallplatte befestigt. Vor der Befestigung des Kupferrohrsystems muss die Metallplatte schwarz lackiert werden. Um eine optimale Wärmeübertragung von der Platte auf die Rohre zu erreichen, muss das gesamte Kupferrohrsystem an beiden Enden und in der Mitte mit Metallklammern versehen werden.



Foto 12 Das Kupferrohrsystem (Quelle, <http://www.douamaini.ro/>)

### **Schritt 3 Montage der Glaswolle-Isolierung**

Vor der Installation des Kupferrohrsystems in der Holzkiste, muss die Holzkiste isoliert werden. Eine der besten Lösungen ist die Verwendung von Glaswolle mit Aluminiumfolie. Die Verwendung von Glaswolle wird empfohlen, da sie einen ausgezeichnete Isolationskoeffizienten aufweist und einfach zu handhaben ist. Man muss beachten, dass die besten Isolationsergebnisse erzielt werden, wenn die Glaswolle nicht gepresst wird, weil die Isolation durch die Luft erfolgt, die in den Glaswollfasern eingeschlossen ist, wodurch die Eliminierung der Luft zu einem Ausfall des Isolationskoeffizienten führen kann. Die Seite der Glaswolle mit der Aluminiumfolie muss zur Metallplatte hin befestigt werden.

Die Aufgabe des Aluminiums besteht darin, die Wärme an die Metallplatte und das Kupferrohrsystem zurückzuleiten und so den Wärmekoeffizienten zu erhöhen. Die Glaswolle kann mit Klebstoff oder mit speziellen Clips befestigt werden.



Foto 13 Isolierung mit der Glaswolle (Quelle, <http://www.douamaini.ro/>)

Nach der Befestigung der Isolierung kann das Kupferrohrsystem mit Schrauben in die Holzkiste eingebaut werden.

#### **Schritt 4 Montage der Glasscheibe auf die Holzkiste**

Nachdem alle inneren Komponenten zusammengebaut worden sind, erfolgt im nächsten Schritt die Montage der Glasscheibe. Wird der obere Teil der Seitenwand schräg durchgeschnitten, kann die Glasscheibe direkt in das Profil der Holzkiste eingesetzt werden. Wenn nicht, ist es am einfachsten, ein Winkelprofil (Eisen, Aluminium oder Kunststoff) zu verwenden, das an der Seite der Holzkiste mit Schrauben befestigt wird. In beiden Fällen wird die Glasscheibe mit Universal-Silizium versiegelt. Dieser Schritt ist sehr wichtig, da diese Seite der obere Teil des Systems ist, die richtige Dichtung verhindert weiteres Eindringen von Wasser.



Foto 14 Silikondichtung (Quelle, <http://www.douamaini.ro/>)

Die Austritte der Kupferrohre müssen ebenfalls mit Silikon abgedichtet werden, um zu verhindern, dass Wasser von der Seite eindringt und Wärme aus dem Kasten entweicht.

#### **Schritt 5 Befestigung der Heizungsanlage in ihrer Endposition und Anschluss an die Wasserversorgung**

Nachdem alle Elemente in der Holzkiste befestigt worden sind, kann das System in seine Endposition gebracht werden. Wenn das System dauerhaft montiert werden soll, wird es empfohlen, es in Beton zu befestigen, und zwar mit einer Mischung aus Beton, Sand und Kalk.

Das gesamte System ist mit Metallwinkelprofilen zu befestigen und mit einem Neigungswinkel zwischen 25° – 45° nach Süden orientiert zu platzieren (<http://www.panourisolare-online.ro/pdf>).

Nach der Befestigung in der Endposition kann das System an das Wasserversorgungssystem angeschlossen werden.



Foto 15 Die Anlage in ihrer Endposition (Quelle, <http://www.douamaini.ro/>)

Dieser Vorschlag ist einer der einfachsten, jeder kann es tun, und zwar mit einem Minimum an finanziellem Aufwand. Die Berechnungen unter Berücksichtigung aller notwendigen Materialien ergeben einen Preis zwischen 150-180 Euro, wobei die Abschreibung der Investition innerhalb von 4-6 Monaten erfolgt.

## Referenzen

1. **Bland Philip A., Moore Elaine A., Wright Ian**, (2004), *An Introduction to the Solar System*, Cambridge University Press, ISBN 0-521-83735-9
2. **Cahan David** (editor), (2004), *Hermann von Helmholtz and the Foundations of Nineteenth-Century Science*, California Studies in the History of Science Series, ISBN 978-052-0083-349
3. **Dumiter, Aurelia Florina** (2007), *Clima si topoclimatele orasului Oradea*, Editura Universitatii din Oradea, ISBN 978-606-10-0005-0
4. **Dumitreanu Mihnea**, (2017), *Valorificarea resurselor regenerabile de energie solară pentru producerea energiei verzi, prin realizarea unei capacități de producere a energiei electrice de 0,6 MW, pe panouri fotovoltaice, în comuna Oșorhei*, Projekt raport, Osorhei
5. **Goga Nicu**, (2010), *Sistemul solar, Astronomie prin exercitii si probleme*, Editura Revers, Craiova, ISBN 978-606-611-053-2
6. **Green Simon F., Jones Mark H.** (editors), (2004), *An Introduction to the Sun and Stars*, Cambridge University Press, ISBN 0-521-54622-2
7. **Maican Edmond** (2015), *Sisteme de energii regenerabile*, PrintechPublishing House, Bucharest, ISBN 978-606-23-0359-4
8. **Misak Stanislav, Prokop Lukas** (2016), *Operation Characteristics of Renewable Energy Sources*, Springer, ISSN 1865-3529
9. **Murphy-Mariscal Michelle L., Grodsky Steven M., Hernandez Rebecca R.**, (2018), *Solar Energy Development and the Biosphere*, January 2018 DOI: 10.1016/B978-0-12-811479-7.00020-8
10. **Newton David E.** (2015), *Solar Energy: A Reference Handbook: A Reference Handbook*, in Contemporary World Issues, Science, Technology and Medicine, ISBN 978-1-61069-696-1
11. **O'Keefe Maureen, Pike Katy**, (2004), *The Sun's Energy*, Blake Publishing, ISBN 1-86509-314-9
12. **Severino Giuseppe**, (2017), *The Structure and Evolution of the Sun*, Springer Publishing, XIV, ISBN 978-3-319-64961-0
13. **Spohn Tilman, Breuer Doris, Johnson Torrence**, (2014), *Encyclopedia of the Solar System*, third edition, Elsevier, ISBN 978-0-12-415845-0
14. **Tiwari Gopal, Ghosal Madral K.**, (2005), *Renewable Energy Resources: Basic Principles and Applications*, Alpha Science International, ISBN 1842651250, 9781842651254
15. **Tyson Neil deGrasse**, (2017), *Moartea într-o gaură neagră și alte dileme cosmice*, Editura Trei, Bucuresti, ISBN 978-606-40-0221-1
16. **West Michael**, (1993) *Solar Energy Basics ... and More*, University of Florida, Energy Extension Service, Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences, Fact Sheet EES-98
17. **Xxx** (2008), *Clima Romaniei*, Editura Academiei Romane, Bucuresti, ISBN 978-973-27-1674-8

## Online-Referenzen

<https://www.nachi.org/disadvantages-solar-energy.htm?loadbetadesign=0>

<http://waldenlabs.com/disadvantages-solar-energy/>

<https://www.sunrun.com/solar-lease/cost-of-solar>

<https://www.energy.gov/eere/solar/articles/solar-radiation-basics>

(<http://www.articlesbase.com/technology-articles/solar-energy-basic-principles-649460.html>)

<https://www.greenmatch.co.uk/blog/2015/09/types-of-solar-panels>

<https://www.thespruce.com/top-solar-energy-uses1152263>

<https://marine.rutgers.edu/cool/education/class/yuri/erb.html>

<dgtat-dgtatamd.opendata.arcgis.com>

<https://www.gettyimages.com/>

<http://www.panourisolare-online.ro/pdf>

<http://www.douamaini.ro/>