

WDR

Fernsehen

RUNDFUNK-  
GEBÜHREN  
FÜR GUTES  
PROGRAMM.



## Solarenergie – *saubere Sache?*

Westdeutscher Rundfunk Köln  
Appellhofplatz 1  
50667 Köln

Tel.: 0221 220-3682  
Fax: 0221 220-8676

E-Mail: [quarks@wdr.de](mailto:quarks@wdr.de)  
[www.quarks.de](http://www.quarks.de)

Dienstags um 21.00 Uhr im  
WDR Fernsehen



Skript zur WDR-Sendereihe *Quarks & Co*





## Inhalt

# Solarenergie – saubere Sache?

- 4 Was ist Solarenergie?

---
- 8 Vom Dach direkt in die Badewanne

---
- 12 Solarstrom unter der Lupe

---
- 15 Was soll ein Solarturmkraftwerk in Deutschland?

---
- 17 Bauanleitung für einen Solarofen

---
- 22 Die Lösung aus der Wüste

---
- 25 Solarenergie – Fragen und Antworten

---
- 28 Aufs Dach geschaut

---
- 30 Licht und Schatten der Solarförderung

---

Jeden Morgen geht die Sonne auf und schickt uns Licht und Wärme. Dieses *Naturgesetz* können Besitzer von Solaranlagen nutzen – und dabei ein gutes Gewissen haben. Schließlich leistet die Anlage auf dem Hausdach einen Beitrag zum Klimaschutz und sichert Arbeitsplätze in einer boomenden Öko-Branche. Die eigenen Sonnenkollektoren schaffen außerdem mehr Unabhängigkeit von großen Energiekonzernen. Aber hat diese alternative Technik tatsächlich nur positive Seiten? Welche wirtschaftspolitischen Aspekte stecken dahinter?

*Quarks & Co* lüftet das Geheimnis der solaren Verlockung: Was ist Solarenergie eigentlich? Wie funktioniert sie? Welche verschiedenen Techniken gibt es? Was bringt eine Solaranlage dem privaten Nutzer? Welche Möglichkeiten hat die Großindustrie? Welche Solarenergie-Projekte gibt es in Deutschland und in anderen Ländern? Und kann uns die Kraft der Sonne helfen, die Energieprobleme der Zukunft zu lösen?

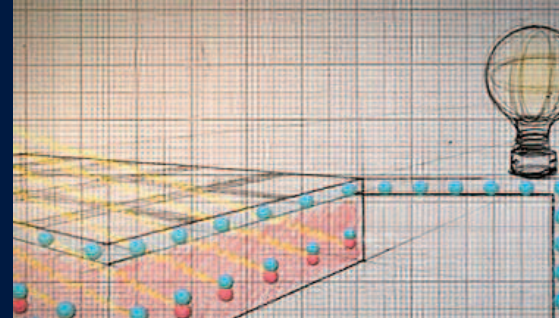
**Herausgeber:** Westdeutscher Rundfunk Köln; **Verantwortlich:** Öffentlichkeitsarbeit;  
**Text:** Sonja Kolonko, Scarlet Löhrke, Michael Ringelsiep, Silvio Wenzel; **Redaktion:**  
Stephan Witschas; **Copyright:** wdr, Oktober 2009; **Gestaltung:** Designbureau Kremer  
& Mahler, Köln

**Bildnachweis:** alle Bilder Freeze wdr 2008 **außer:** Titel – großes Bild – Rechte: dpa;  
S. 4 – Rechte: dpa - Report; S. 6 – Solarmillennium AG; S. 7 – Rechte: 3sat; S. 23 r. –  
Rechte: EVN; s. 25 – Rechte: dpa-Report; S. 27 l. – Solarmillennium AG

■ Weitere Informationen, Lesetipps und interessante Links finden Sie auf unseren Internetseiten.  
Klicken Sie uns an: [www.quarks.de](http://www.quarks.de)



Solkraftwerk im brandenburgischen Lieberose



Das Funktionsprinzip der Solarzelle

## Was ist Solarenergie?

Wie wir die Kraft der Sonne nutzen

Lange hatte die Solarenergie den Ruf, nur als Stromlieferant für ökologische Träumer zu taugen – jetzt erlebt sie einen neuen Boom. Denn während unsere Vorräte an Kohle, Öl und Gas schwinden, wird uns bewusst, welches Potenzial in der Kraft der Sonne steckt. Schon die alten Ägypter haben ihre Bauwerke nach dem Sonnenstand ausgerichtet und so die Energie der Sonne genutzt. Auch Hohlspiegel und Brenngläser verwandten sie – der Legende nach sogar für kriegerische Zwecke. So soll beispielsweise Archimedes mit Hilfe von Spiegeln die römische Flotte in Brand gesteckt haben.

Der Mechanismus, Sonnenenergie zu bündeln, um etwas zu erhitzen, ist also schon sehr lange bekannt. Trotzdem hat es dann noch über 2.000 Jahre gedauert, bis Solarforscher brauchbare Techniken zur Nutzung der Solarenergie entwickelt haben. Heute konkurrieren zwei technische Ansätze darum, die Sonnenenergie möglichst gut zu nutzen: Photovoltaik und die Solarthermie.

### ■ Photovoltaik – Strom aus der Solarzelle

Rein äußerlich ähneln sich **Photovoltaik**- und **Solarthermie**-Module. Aber sie funktionieren ganz unterschiedlich. Auf den Photovoltaik-Modulen mit den Solarzellen greifen elektrische Kontakte den Strom ab. Dass man mit solchen Solarzellen tatsächlich Strom herstellen kann, liegt daran, dass sie aus dem Halbleiter **Silizium** gebaut sind. Das Silizium in den Solarzellen wird elektrisch leitfähig, sobald Sonnenlicht darauf fällt.

In der Solarzelle liegen hauchdünne Siliziumscheiben schichtweise übereinander. Und diese Schichten enthalten noch etwas mehr als nur Silizium: Im oberen Teil bringen Phosphoratomer zusätzliche bewegliche Elektronen in die Struktur. In der unteren Schicht der Zelle sorgen Spuren des chemischen Elements Bor für Elektronenmangel. Trifft Licht auf die untere Schicht, werden dort positive und negative Ladungen erzeugt. Die negativen Elektronen wandern in die obere Schicht. Verbindet man beide Schichten mit einem elektrischen Leiter, bewegen sich überschüssige Elektronen zurück zur Unterseite. Dort wird der Elektronenmangel ausgeglichen: Es fließt Gleichstrom, der mit einem

**Wechselrichter** zu Wechselstrom gewandelt werden kann. So kann er ins Stromnetz eingespeist und für den Hausgebrauch verwendet werden.

Vorteil dieser Technologie: Photovoltaik kann auch diffuse Sonneneinstrahlung nutzen. Anlagen gibt es für das Hausdach oder in der Großversion – als Solarpark.

### ■ Strom aus Solarthermie

Auch Solarthermie gibt es nicht nur im kleinen Maßstab für den Privatgebrauch. Große Kraftwerke stehen im spanischen Andalusien. Die Anlagen dort versorgen rund 170.000 Haushalte mit Strom. Ein Beispiel für ein solarthermisches Kraftwerk ist das Parabolrinnenkraftwerk. Bei diesem Kraftwerk fällt das Sonnenlicht auf bewegliche und gebogene Spiegelrinnen – oder Parabolrinnen. Sie bündeln das Sonnenlicht und erzeugen dadurch Hitze. Die Parabolrinne fokussiert das Sonnenlicht nicht auf einen einzelnen Brennpunkt, sondern auf eine Brennlinie in der Mitte der Rinne. In dieser Brennlinie ist ein Rohr mit einem hitzebeständigen Öl angebracht. Das Öl erhitzt sich durch die gebün-

# Was ist Solarenergie?

### Photovoltaik

Die Photovoltaik verwendet Solarzellen, um das Sonnenlicht direkt in elektrischen Strom umzuwandeln. In Solarzellen aus Silizium werden unter Zufuhr von Licht oder Wärme positive und negative Ladungsträger freigesetzt und so Gleichstrom erzeugt, der direkt Motoren antreiben oder Akkus aufladen kann. Zum Betrieb von Haushaltsgeräten muss der Gleichstrom mit einem Wechselrichter in Wechselstrom umgewandelt werden.

### Solarthermie

Bei der Solarthermie erwärmt das Sonnenlicht zum Beispiel Wasser oder Luft. Wird Solarthermie auf dem Hausdach angewandt, fließt unter einer dunklen Fläche, dem sogenannten Absorber, eine Mischung aus Wasser und dem Frostschutzmittel Glykol. Die Mischung erhitzt sich durch die Sonneneinstrahlung. Die Trägerflüssigkeit wird vom Dach in einen Wärmespeicher im Keller geleitet. Dort heizt die Wärme dann zum Beispiel das Brauchwasser auf. In solarthermischen Kraftwerken wird dagegen im großen Maßstab Thermoöl oder Luft erhitzt und die entstandene Wärme im zweiten Schritt in Strom umgewandelt.



Parabolrinnen bündeln das Sonnenlicht



Solarturmkraftwerk des DLR im spanischen Almeria

# Was ist Solarenergie?

derte Sonnenstrahlung auf circa 400 Grad Celsius. Im Kraftwerk heizen hunderte solcher Spiegelrinnen das Öl auf. Über ein Rohrsystem läuft das heiße Öl in einen Wärmetauscher, der Dampf erzeugt. Dieser Dampf treibt dann eine Turbine an, die Strom produziert. Den ganzen Tag folgen die Parabolrinnen dem Lauf der Sonne, so dass die Großanlage eine nahezu konstante Strommenge liefern kann.

Die Wärme kann außerdem gespeichert und erst später in Strom umgewandelt werden. Den liefert das Kraftwerk so auch bei schlechtem Wetter oder nachts. Im Vergleich zur Photovoltaik ist das der große Vorteil der Solarthermie.

### ■ Noch mehr Effizienz – das Solarturmkraftwerk

Typ zwei des solarthermischen Kraftwerks arbeitet noch effizienter als die Parabolrinnen: das Turmkraftwerk. Es konzentriert das Sonnenlicht mit rund zweitausend Spiegeln auf einen einzigen Punkt. Die Betriebstemperaturen liegen bei circa 700 Grad

Celsius und damit über denen des Parabolrinnenkraftwerks. Das gebündelte Sonnenlicht der zahlreichen Spiegel verschafft dem Turmkraftwerk also einen Vorsprung an Effizienz.

Der Brennpunkt im Turm – Receiver genannt – besteht aus poröser Keramik mit winzigen Luftlöchern. Er saugt die Umgebungsluft an und heizt sie auf. Im Kraftwerks-Kreislauf wird durch diese erhitzte Luft Wasserdampf erzeugt. Der treibt eine Turbine an, die Strom produziert.

### ■ Jede Technik hat ihre Berechtigung

In Zukunft werden sich voraussichtlich alle Technologien ergänzen: In Deutschland rentiert sich eher die Photovoltaik, die auch diffuse Sonnenstrahlung nutzen kann. Im Mittelmeerraum – wo häufiger die Sonne scheint – sind solarthermische Kraftwerke besonders rentabel. Je nach geographischem Standort schneiden dabei die Parabolrinnen- oder die Turmkraftwerke besser ab. Während Turmkraftwerke auch in hügeligen Ge-

genden stehen können, ist die Rinnen-Technologie für eher flache Ebenen geeignet. Ob Solarthermie oder Photovoltaik – je nach Standort hat also jeder der Ansätze Vor- und Nachteile.

### Silizium

*Silizium ist der Rohstoff der Solarzellenproduktion und gleichzeitig der Grund dafür, dass wir mit Solarzellen Strom herstellen können – ohne dass sich dabei irgendetwas bewegt (wie bei Windrädern) oder dass sich ein Material verbraucht (wie bei der Kohle). Das Silizium in den Solarzellen wird elektrisch leitfähig, sobald Sonnenlicht darauf fällt. Es gehört zu den sogenannten Halbleitern, also zu einer Gruppe von Materialien, die freie Elektronen erzeugen, wenn von außen Energie zugeführt wird. Daher sind Solarzellen in der Lage, Strom zu liefern, sobald die Sonne auf sie scheint. Um Solarzellen herzustellen, wird das Silizium meist zu Blöcken gegossen, aus denen dann hauchdünne Scheiben geschnitten werden. Aus chemisch veränderten Scheiben werden Solarzellen.*

### Wechselrichter

*Solarmodule erzeugen Gleichstrom. Möchte man den Strom ins öffentliche Stromnetz einspeisen oder Haushaltsgeräte daran anschließen, muss der Gleichstrom von einem Wechselrichter in Wechselstrom umgewandelt werden.*



Ein Solarkollektor sammelt Sonnenenergie für warmes Wasser



Der neue Solarspeicher muss in den Keller

## Vom Dach direkt in die Badewanne Lohnt sich eine solarthermische Anlage?

Als Hausbesitzer hat man die Qual der Wahl: Möchte man die Sonne nutzen, um damit Strom zu produzieren, braucht man eine Photovoltaikanlage und möglichst viel Dachfläche für die Solarmodule. Möchte der Hausbesitzer die Sonne lieber für warmes Wasser zum Duschen und Heizen nutzen, kann eine solarthermische Anlage mit **Solar-kollektoren** weiterhelfen. Dafür reicht auch ein kleineres Dach. Oder man entscheidet sich für beides, wie Familie Klos aus Wipperfürth. Mit insgesamt rund 120 Quadratmetern Solarmodulen auf dem Dach sind sie schon seit einem Jahr Mini-Stromerzeuger. Pro Kilowattstunde eingespeistem Strom bekommen sie vom Staat knapp 47 Cent – durchschnittlich 3.700 Euro im Jahr. Das macht Lust auf mehr, darum soll jetzt noch eine solarthermische Anlage aufs Dach.

heizt. Solche Anlagen starten preislich bei rund 4.000 Euro – abzüglich 60 Euro Förderung pro Quadratmeter Kollektorfläche. Aufwändigere Anlagen unterstützen auch die Heizung, sparen also auch noch Heizkosten und werden mit 105 Euro pro Quadratmeter **gefördert**.

Familie Klos hat sich für eine solarthermische Anlage mit Heizungsunterstützung entschieden. Sie kostet um die 20.000 Euro, inklusive der auf fünf Tage angesetzten Montage. Die Handwerker arbeiten dabei parallel auf dem Dach und im Keller. Auf dem Dach müssen sie zwischen sieben und 14 Quadratmeter Solarkollektoren montieren – je nach Kollektortyp. Zur Auswahl stehen Flach- und Vakuumröhrenkollektoren. In beiden befindet sich eine Wärmeträgerflüssigkeit, die die Wärme aus der Sonne speichert und später an das Brauchwasser abgibt.

Familie Klos entscheidet sich für Vakuumröhrenkollektoren. Sie sehen aus wie langgezogene, aneinandergereihte Thermoskannen. Jede dieser Röhren besteht eigentlich aus zwei Röhren. Im inneren Rohr

ist die Wärmeträgerflüssigkeit enthalten, drum herum befindet sich eine zweite Röhre aus Glas. Im Zwischenraum herrscht ein luftleerer Raum. Das Vakuum dämmt und dadurch arbeiten die Vakuumröhrenkollektoren besonders effizient. Sie sind teuer in der Anschaffung als Flachkollektoren, brauchen aber oft auch weniger Kollektorfläche.

### 1.000 Liter Wasser in einem Kessel

Im Keller bauen die Handwerker als erstes den alten Heizkessel ab und den neuen Solarspeicher auf. Das ist ein riesiger Kessel für Warmwasser. In diesem Fall fasst er 1.000 Liter und sorgt für einen ständigen Vorrat an warmem Wasser zum Duschen, Waschen und zur Heizungsunterstützung. Solarspeicher unterscheiden sich von klassischen Speichern aber nicht nur durch ihre Größe, sondern auch durch die Art der Wassererwärmung. Im Gegensatz zu normalen Speichern muss der Heizkessel bei Solarspeichern nur im Notfall einspringen, die meiste Zeit liefert die Sonne die nötige Heizenergie – sofern der Solarkreislauf funktioniert.

## Vom Dach direkt ...

### Solarkollektor

Ein Solarkollektor sammelt die im Sonnenlicht enthaltene Energie. Ein sogenannter Solarabsorber wandelt dabei die Lichtenergie der Sonne in Wärme um und gibt diese an einen Wärmeträger weiter, der sich im Inneren des Solarkollektors befindet.

### Solarmodul

Ein Solarmodul wandelt das Licht der Sonne direkt in elektrische Energie um. Als wichtigste Bestandteile enthält es mehrere Solarzellen, die heutzutage meist aus Silizium bestehen. Der Vorteil von Silizium: Sein Grundstoff, der Quarzsand, ist in ausreichender Menge auf der Erde vorhanden. Und Silizium ist umweltverträglich. Die Solarzellen können aus mono- und polykristallinem Silizium bestehen. Monokristallin bedeutet, dass es sich um einen einzigen Kristall handelt. Polykristallin bedeutet: Mehrere Siliziumschichten wurden zu einem Block gepresst und dann in dünne Scheiben zersägt.



## ...in die Badewanne

### ■ Der Solarkreislauf

Auch wenn mit den fertig montierten Solarkollektoren auf dem Dach und dem neuen Solarspeicher im Keller der Großteil der solarthermischen Anlage steht – sie funktioniert nur durch ein ausgeklügeltes System: Fühler kontrollieren auf dem Dach und im Keller ständig die Temperatur der Kollektoren und des Speicher mit dem Warmwasservorrat. Sobald die Sonne den Wärmeträger im Solarkollektor erwärmt und sich eine ausreichende Temperaturdifferenz zwischen beiden Fühlern ergibt, befördert eine Pumpe die Wärmeträgerflüssigkeit in den Solarspeicher im Keller. Dort gibt der Wärmeträger seine Energie an das Brauchwasser ab. Das registriert wiederum der Temperaturfühler im Solarspeicher und pumpt die abgekühlte Wärmeleitfähigkeit wieder nach oben aufs Dach – der Solarkreislauf ist geschlossen. An besonders trüben Tagen sorgen die Fühler übrigens auch dafür, dass die Pumpe wegen der fehlenden Sonneneinstrahlung ab- und der Heizkessel angeschaltet wird. So gibt es keine kühle Überraschung.

### ■ So viel Geld kann man sparen

Etwa 30 Prozent der Heiz- und Warmwasserkosten lassen sich durch eine einfache solarthermische Anlage sparen. Wird beim Aufbau gleichzeitig noch ein alter Heizkessel gegen einen neuen getauscht, sind sogar Einsparungen bis zu 50 Prozent drin. Je höher der Warmwasserverbrauch einer Familie, desto eher lohnt sich die Anschaffung. Bei einer vierköpfigen Familie können die eingesparten Energiekosten bis zu 1.000 Euro im Jahr ausmachen, nach 20 Jahren hätte Familie Klos so die Kosten für Anlage und Montage in jedem Fall wieder drin. Doch die Familie hofft, dass sich ihre neue Anlage schon viel früher auszahlt, denn sie rechnen mit weiter steigenden Energiepreisen. Angenommen, Öl und Gas würden jährlich um fünf bis sieben Prozent teurer: Die Anlage könnte sich schon nach zwölf bis 14 Jahren rentieren.

### Förderung

*Für solarthermische Anlagen gibt es zwar keine Einspeisevergütung, dafür aber andere Fördermöglichkeiten. Zusätzlich zu den im Text beschriebenen Förderungen seien hier folgende genannt: Für den Austausch eines Heizkessels ohne Brennwertechnik gegen einen Kessel mit Brennwertechnik gibt es momentan 750 Euro. Besonders effiziente Solarpumpen werden zurzeit mit 50 Euro gefördert. Weitere Informationen erteilt die Energieagentur NRW oder das Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle.*



Links:  
Die Herstellung von Solarmodulen ist aufwändig

Mitte:  
Die Herstellung von Solarzellen beginnt mit dem Abbau von Quarzsand

Rechts:  
Hochreines Silizium nach mehreren Tagen im Schmelzofen



## Solarstrom unter der Lupe

### Die Energiebilanz von Solarzellen

Inzwischen kann man auf immer mehr deutschen Dächern Solarmodule sehen. Die blauen rechteckigen Platten schmücken nicht nur die Dächer von Besserverdienenden. Mehr oder weniger großflächig sind Solarmodule auf Dächern von Schulen, Baumärkten, Firmendächern und Sporthallen installiert. Dass sich die Installation finanziell lohnt, hat sich inzwischen herumgesprochen. Denn 20 Jahre lang wird jede einzelne Kilowattstunde Solarstrom vergütet. Das hat zeitweise eine derartige Nachfrage ausgelöst, dass der Rohstoff Silizium für die Solarzellen knapp wurde. Was sich finanziell für den Betreiber lohnen mag, muss aber nicht umweltfreundlich sein. Wie lange dauert es, bis eine Solarzelle genau den Strom erzeugt hat, der bei ihrer Herstellung benötigt wurde?

#### ■ Aus Sand wird Silizium

Der Rohstoff für die Herstellung von Solarzellen ist Silizium. Und den gibt es wie Sand am Meer. Im wahrsten Sinne des Wortes. Denn Sand ist für einen Chemiker nichts anderes als Siliziumdioxid. Und so

beginnt die Herstellung einer jeden Solarzelle mit dem Einsammeln von Sand – nicht am Meer, sondern im Tagebau. Im Bayerischen Wald und in Kasachstan wird eine besonders reine Form des Sandes gewonnen. Einmal abgebaut, wird er in riesigen Öfen und chemischen Reaktoren gereinigt, bis aus ihm hochreines Silizium wird.

Zwischenbilanz: Die Energie, die Bagger, Öfen und die chemischen Prozesse bei der Gewinnung von Silizium benötigen, hat die Solarzelle ziemlich schnell wieder rein geholt – nach nur sieben Monaten Betriebszeit auf einem Dach in Deutschland. In den sonnenverwöhnten Regionen Südeuropas geht es sogar um einiges schneller.

#### ■ Erst am Stück, dann in Scheiben

Doch noch ist das Silizium nicht rein genug, um daraus Solarzellen herzustellen. Um auch die allerletzten Verunreinigungen zu entfernen, wird das Silizium noch einmal aufgeschmolzen. Nach drei Tagen bei 1.400 Grad Celsius ist es dann zum

*Solarsilizium* geworden. Das liegt jetzt in großen Blöcken von fast einem mal einem Meter vor und muss vor der Weiterverarbeitung noch zersägt werden. Die dünnen Drähte, die das Silizium in dünne Scheibchen schneiden, haben damit mehr als einen halben Tag zu tun.

Zwischenbilanz: Diese Arbeitsschritte kompensiert jede Solarzelle nach ziemlich genau einem Jahr. Macht zusammen bis hierher 20 Monate – dann hat die Solarzelle den Strom, der bei ihrer Herstellung verbraucht wurde, wieder rein geholt.

#### ■ Bereit zur Jagd nach Sonnenlicht

Im nächsten Arbeitsschritt werden die dünnen Scheibchen fit gemacht fürs Sonnenlicht. Aus *Wafers* werden jetzt Solarzellen. In einem extrem sauberen Raum werden sie nun gereinigt, geätzt und leitfähig gemacht. Als nächstes wird die typisch blaue Antireflexionsschicht aufgetragen. Sie sorgt dafür, dass das Sonnenlicht leicht in die Solarzellen hinein kommt, aber schlecht wieder heraus. Experimente

haben gezeigt, dass dies mit einer blauen Schicht aus Siliziumnitrid am besten funktioniert. Zu guter Letzt werden dann noch die elektrischen Leitungen auf die Solarzellen gepresst.

Zwischenbilanz: Obwohl der komplette Produktionsabschnitt automatisiert ist und Strom fressende Roboter all die Arbeit erledigen, ist die Energie für diese Phase der Herstellung schnell wieder zurück gewonnen: nach vier Monaten. Addiert man den Stromverbrauch bei der Herstellung bis zu diesem Produktionsschritt, braucht die Solarzelle zwei Jahre, um diesen Stromverbrauch wieder rein zu holen.

#### ■ Es wächst zusammen, was zusammen gehört

Bis die Zellen nun auf die Dächer können, werden sie noch zu Modulen montiert. Aus zehn einzelnen Zellen wird zunächst ein *String*, aus sechs Strings dann ein fertiges *Modul*. Zum Schutz kommt noch eine Glasscheibe davor. Zusätzlich gibt ein Rahmen Halt.



Links:  
Nach vielen Produktionsschritten sind die einzelnen Solarzellen fertig

Mitte:  
Aus 60 einzelnen Solarzellen wird ein Solarmodul

Rechts:  
Ein Solarturmkraftwerk in Deutschland – zahlt sich die Investition aus?



## Solarstrom unter der Lupe

Zwischenbilanz: Auch bei diesen Produktionsschritten greifen Menschen nur ein, wenn es irgendwo hakt. Sonst erledigen wieder alles die Roboter. Und diese verbrauchen genau so viel Energie, wie die Solarzelle in fünf Monaten produziert. In der Addition kommen wir nun auf 29 Monate. Wenn das fertige Solarmodul die Werkshallen verlässt, muss es also erst einmal zwei Jahre und fünf Monate Strom erzeugen, um den bis hier verbrauchten Strom wieder wettzumachen.

Gesamtbilanz: Unterm Strich stehen also 37 Monate. Drei Jahre und einen Monat muss eine Solaranlage auf einem Dach in Deutschland Sonnenstrahlung in elektrische Energie umwandeln – dann hat sie genau soviel Strom erzeugt, wie bei ihrer Herstellung benötigt wurde. Etwas mehr als drei Jahre: bei einer möglichen Lebensdauer von 30 Jahren.

### ■ Eine gute Bilanz für den Sonnenstrom

Noch fehlen zwei Lebensabschnitte einer Solarzelle, die wichtig sind, damit die Rechnung rund ist. Zunächst ist da die Montage auf dem Dach inklusive der Herstellung aller Zusatzgeräte. Zusammen schlägt das mit fünf Monaten zu Buche. Am Ende steht noch das Recycling. Einsammeln, Demontieren und Entsorgen fließen mit insgesamt drei Monaten in die Bilanz ein.

## Was soll ein Solarturmkraftwerk in Deutschland?

Seit Anfang 2009 ist im nordrhein-westfälischen Jülich Deutschlands erstes **Solarturmkraftwerk** am Netz. Etwa 23,5 Millionen Euro hat es gekostet. Allein elfeinhalb Millionen Euro öffentliche Fördergelder des Bundesumweltministeriums und der Länder NRW und Bayern stecken in dem Großprojekt. Die Ausmaße sind gigantisch: Über 2.000 baumhohe Spiegel erstrecken sich auf einer Fläche von 14 Fußballfeldern, dazu ein 60-Meter-Turm. Ein gigantisches Projekt in einer Region, in der nicht gerade häufig die Sonne scheint – das klingt erst einmal alles andere als sinnvoll.

### ■ Technik aus Deutschland gegen Strom aus der Sahara

Doch die beteiligten deutschen Forscher und Solarunternehmen stehen trotzdem zu ihrem Projekt: Nur in Deutschland hätten sie optimale Bedingungen, um die Kraftwerkstechnik weiterzuentwickeln. Statt mit leeren Händen dazustehen, falls der Strom aus der Sahara nach Deutschland fließt, wollen sie den Wüstenländern im Gegenzug ihr Know-how verkaufen. Damit dieser Plan auch funktioniert, müssen die deutschen Forscher aber gegen die internationale Konkurrenz bestehen. Dann könnten sogar Arbeitsplätze geschaffen werden. Das könne

### Solarturmkraftwerk

*Im Solarturmkraftwerk trifft das von circa 2.000 Spiegeln (Heliostaten) gebündelte Sonnenlicht auf einen einzigen Brennpunkt oben im Turm. Dieser Brennpunkt nennt sich Receiver und besteht aus poröser Keramik mit winzigen Luftlöchern. Er saugt die Umgebungsluft an und heizt sie auf etwa 700 Grad Celsius auf. Im Kraftwerks-Kreislauf wird durch diese erhitzte Luft Wasserdampf erzeugt. Der Dampf treibt eine Turbine an und produziert so Strom.*





Zwei Turmkraftwerke bei Sevilla beliefern rund 15.000 Haushalte mit Solarstrom

# Solarturmkraftwerk

nur dann gelingen, wenn das Forschungsprojekt Jülicher Turmkraftwerk öffentlich gefördert und von der Industrie unterstützt werden, sagen die Solarforscher. Geht ihre Rechnung auf, könnte in Zukunft nicht nur Strom, sondern auch Geld für den Export von Technik nach Deutschland fließen.

## Schlechte Wetterbedingungen

Seit das neue Solarturmkraftwerk steht, können die Jülicher Solarforscher ihre Forschungsergebnisse gleich in der Nachbarschaft ihres Solarinstituts in die Praxis umsetzen. Bisher mussten sie dazu in die spanische Sierra Nevada reisen, zum Versuchskraftwerk des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt. Hier haben Solarforscher allerdings bessere Arbeitsbedingungen, weil die Sonne viel öfter scheint als in Deutschland.

Deshalb steht Europas erstes kommerzielles Turmkraftwerk in Spanien und versorgt dort bereits etwa 15.000 Haushalte mit Solarstrom. Unter den wechselhaften deutschen Wetterbedingungen wäre das schlichtweg unmöglich. Zwar wollen die Jülicher Stadtwerke mit der deutschen Anlage auch etwas Strom für die Nachbarschaft produzieren, aber allen

Beteiligten ist klar, dass sie hier bei weitem nicht so rentabel arbeiten können wie Kraftwerke im spanischen Andalusien. Dafür sehen sie andere Vorteile.

## Der Vorteil des Standortes Deutschland

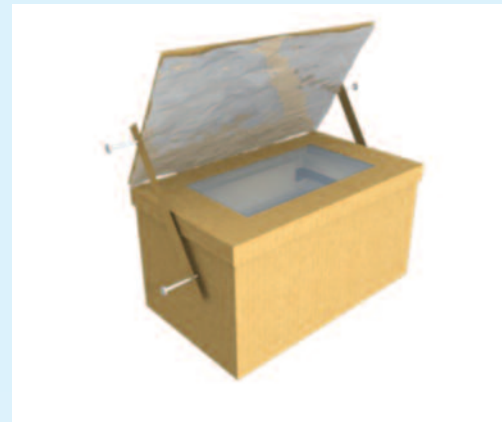
In den Augen der Betreiber sprechen langfristige, wirtschaftliche Überlegungen für ein Solarturmkraftwerk in Deutschland. Für Solarforscher Bernhard Hoffschmidt ist Jülich trotz schlechter Wetterverhältnisse der optimale Standort: „Also die Stromproduktion steht hier nicht in erster Linie im Vordergrund, sondern die Lösung der technischen Herausforderungen. Hier sind wir wissenschaftlich in der Pole Position. Wir haben eine ganze Reihe von Forschungseinrichtungen in der direkten Umgebung, insbesondere das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt, das das Ganze mitentwickelt hat. Und wenn Sie zum Beispiel in der Sahara ein Spezialkabel bräuchten, dann brauchen Sie dafür vielleicht drei Tage. In Spanien kenne ich das, da dauert das etwa so lange. Hier hätten wir das in einer halben Stunde.“

Die Bedingungen für technische Entwicklungen sind in Deutschland laut Hoffschmidt also deut-

*weiter auf S. 21*

# Bauanleitung für einen Solarofen

# Solarofen



Backen und kochen ohne Strom oder Gas? Mit einem Solarofen ist das kein Problem! Quarks & Co hat dafür in Zusammenarbeit mit dem Diplom-Ingenieur Armin Furkert die folgende Bauanleitung ausgetüftelt. Ein Solarofen kann allein durch die Kraft der Sonne über 120 Grad Celsius heiß werden – ideal für unseren Rezeptvorschlag am Ende der Bauanleitung: Toast Hawaii!

## Materialliste

- großer Pappkarton
- kleiner Pappkarton
- flache Kartonplatten
- altes Zeitungspapier
- glasklare stärkere Fensterfolie (ca. 0,8 mm)
- breites Klebeband
- Klebstoff
- schwarze Wandfarbe
- ca. 10 Klorollen
- eine spiegelnde Folie, z. B. Alufolie
- 4 Stecknadeln
- Teppichmesser
- Schere
- Meterstab
- Stift
- Pinsel

Der fertige Solarofen besteht aus einem Unterbau, einem Deckel und dem Reflektor. Bauen Sie zuerst das Unterteil.



### Der Unterbau

Nehmen Sie den kleinen und den großen Pappkarton. Der kleine Pappkarton sollte in die große passen und zugleich breit genug sein, um ein Backblech hineinzulegen. Der Raum zwischen den Pappkartons muss auf jeder Seite mindestens fünf Zentimeter betragen. Zeichnen Sie mit einem Stift die Umriss der kleinen Kiste auf den Boden der großen Kiste.

Verteilen Sie gleich hohe Klorollen als Abstandhalter in das eingezeichnete Kästchen auf den Boden der großen Kiste. Kleben Sie die Klorollen fest.

Legen Sie den Boden der großen Kiste mit zerknülltem Zeitungspapier gleichmäßig aus. Füllen Sie dabei auch die Klorollen mit Papier. Die Dämmschicht aus Klorollen und Zeitungspapier sorgt dafür, dass die im Solarofen erzeugte Wärme nicht zu schnell wieder nach außen entweicht.

Die kleine Kiste wird in die große Kiste auf die Klorollen gestellt und auf die benötigte Höhe abgeschnitten. Stopfen sie alle Zwischenräume mit zerknülltem Zeitungspapier gleichmäßig aus.

Falten Sie die überstehenden Seitenwände der großen Kiste auf allen vier Seiten in das Innere der kleinen Kiste. Um den Solarofen möglichst luftdicht zu machen, werden sämtliche Überlappungsstellen großzügig mit einem breitem Klebeband überklebt.

*Tipp:* Sie können die Kanten leichter und genauer um falten, wenn Sie die gegenüberliegende Seite mit dem Teppichmesser etwas einritzen. Für die Ecke auf der Oberseite können Sie die Seiten im 45-Grad-Winkel einschneiden. Sie passen dann genau aneinander.

Streichen Sie den Innenboden mit schwarzer Wandfarbe. Der Grund: Dunkle Flächen absorbieren Sonnenlicht besser als helle Flächen. Die Sonnenstrahlen werden dann in Form von Wärme in das Innere des Ofens abgegeben.



Nun ist das Unterteil des Solarofens fertig! Bauen Sie als nächstes den Deckel.

### Der Deckel

Legen Sie die Kartonplatte auf das Unterteil des Solarofens und schneiden Sie es so zu, dass auf allen Seiten etwa zehn Zentimeter überstehen. Danach schneiden Sie auf den langen Seiten jeweils ein Stück bis zu den Ecken des Unterteils ein.

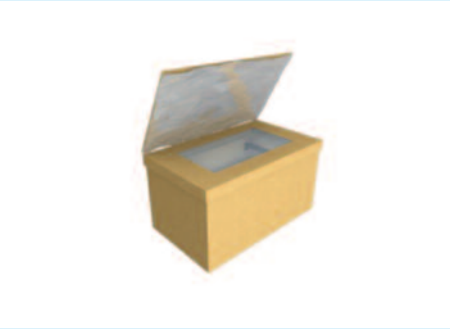
Klappen Sie die überstehenden Streifen nach unten und falten Sie die Laschen an den beiden Enden der kurzen Seiten um die Kartonecke. Verkleben Sie sie mit dem Streifen der langen Seite. Dies wird an allen vier Ecken durchgeführt. Der Deckel muss sich nun abnehmen und wieder auf das Unterteil setzen lassen. Er sollte genau passen.

Schneiden Sie nun das Loch in den Deckel, durch das die Sonne in den Solarofen scheint. Es sollte etwa so groß sein, dass das obere Viertel der Unterteilseiten nicht zu sehen ist.

Schneiden Sie die Fensterfolie so aus, dass sie auf allen Seiten des Deckellochs etwa fünf Zentimeter übersteht. Die Folie wird in die Unterseite des Deckels gelegt, zentriert und mit breitem Klebeband festgeklebt.

Der Deckel ist fertig. Bauen Sie als letztes den Reflektor.





### Der Reflektor

Schneiden Sie eine Kartonplatte auf die Größe des Deckels und kleben Sie ein reflektierendes Material wie zum Beispiel Aluminiumfolie darauf. Die Aluminiumfolie soll die Sonnenstrahlen in den Solarofen reflektieren. Kleben Sie die Kartonplatte mit einem breiten Klebeband an die Kartonkante, sodass Sie damit das Loch öffnen und schließen können.

Schneiden Sie einen Streifen der Kartonplatte ab und befestigen Sie diesen mit Stecknadeln auf der einen Seite am Deckel und auf der anderen Seite am Unterteil. Damit können Sie den Reflektor so justieren, dass er möglichst viele Sonnenstrahlen in den Ofen reflektiert.

*Herzlichen Glückwunsch, Sie haben den Solarofen fertiggestellt. Versuchen Sie doch mal, damit einen Toast Hawaii zu backen! Dafür benötigen Sie Brot, Schinken, Ananasscheiben, Gouda und Ketchup. Und so geht's: Bestreichen Sie das Brot mit Butter. Auf jedes Brot legen sie eine Scheibe Schinken, eine Ananasscheibe und in das Loch der Ananasscheibe geben Sie etwas Ketchup. Zum Schluss legen Sie eine Scheibe Gouda auf das Brot. Überbacken Sie das Ganze im Solarofen, bis der Käse zerlaufen ist. Viel Spaß und guten Appetit.*

#### *Haftungsausschluss:*

*Die Redaktion Quarks & Co oder der Westdeutsche Rundfunk übernehmen trotz sorgfältiger Kontrolle und Prüfung der vorliegenden Bauanleitung keinerlei Haftung und/oder Verantwortung für jegliche Unfälle oder gesundheitliche Beeinträchtigungen, die in Zusammenhang mit dem Solarofen entstehen. Der Zusammenbau und die Nutzung des Solarofens erfolgen auf eigene Gefahr.*



Messungen an den Kraftwerksspiegeln, den sogenannten Heliostaten

## Solarturmkraftwerk

lich besser und preisgünstiger. Neue technische Lösungen könnten Entwickler und Hersteller ohne lange Wege direkt vor Ort umsetzen, bauen und im Betrieb testen, um sie dann im zweiten Schritt zu exportieren und auf Kraftwerke in aller Welt zu übertragen. Bernhard Hoffschmidt: „Wir haben jetzt das erste größere Projekt in Nordafrika, in Algerien. Dort planen wir eine Anlage, die etwa fünf Mal so groß sein wird wie diese und das wäre nie zustande gekommen, wenn wir nicht hier eine Pilotanlage hätten, mit der wir zeigen können, dass es bereits funktioniert.“

### Die technischen Herausforderungen

Das Jülicher Solarturmkraftwerk ist also ein Forschungskraftwerk – eine Art mitwachsender Prototyp, in dem ständig Komponenten ausgetauscht und neue Komponenten getestet werden.

Im Forschungsbetrieb geht es hier zum Beispiel darum, die Spiegel des Kraftwerks möglichst treffsicher zu machen, um das Sonnenlicht ohne Streuverluste auf den Brennpunkt im Turm zu lenken –

und das möglichst energiesparend. Dafür sollen die großen Spiegel in Zukunft aus vielen einzelnen kleinen beweglichen Spiegeln bestehen. Kleine Spiegel zu steuern, kostet deutlich weniger Energie. Im neuen Forschungskraftwerk wollen die Kraftwerkentwickler herausfinden, wie viel wirtschaftlicher ihre Anlage mit den optimierten technischen Ansätzen arbeitet. Lösungen suchen sie dabei auch für die Speicherung der Wärmeenergie oder für Komponenten im Brennpunkt des Turms, wo das Licht der Spiegel gesammelt auftrifft. Dort entstehen Temperaturen zwischen 700 und 1.000 Grad Celsius – das Material muss also sehr widerstandsfähig sein. Bisher haben die Forscher im Labor unter einer künstlichen Sonne am Material geforscht. Falls das Wetter mitspielt, wird bald unter richtigem Sonnenlicht getestet. Das deutsche Solarturmkraftwerk muss sich also erst endgültig bewähren.



Links:  
15 Prozent des europäischen Stroms  
sollen aus der Wüste kommen

Mitte:  
Sieben Milliarden Menschen verbrauchen  
immer mehr Energie. Tendenz steigend

Rechts:  
In Spanien sind zwei solarthermische  
Kraftwerke in Betrieb



## Die Lösung aus der Wüste

### Sahara-Strom könnte bald Europa versorgen

Es klingt wie eine fabelhafte Idee: Wir lösen alle unsere Energieprobleme mit Solarstrom aus der Wüste. Denn in den Wüsten dieser Erde gibt es mehr als genug Platz für unzählige Kraftwerke und kaum jemanden, den sie dort stören würden. Sonne gibt es natürlich auch im Überfluss. Tag für Tag kommen in den Wüsten Unmengen Sonnenenergie an. In nur sechs Stunden so viel, wie die gesamte Menschheit in einem ganzen Jahr verbraucht.

#### ■ Vor 25 Jahren nicht interessant genug

Die Idee ist nicht ganz neu. Schon in den 1980er-Jahren haben Wissenschaftler über Sonnenkraftwerke in der Wüste nachgedacht. Doch damals war Öl noch so billig, dass andere Energiequellen kaum attraktiv waren. Damals konnte sich auch noch niemand einen von der Menschheit ausgelösten Klimawandel vorstellen. Und so gerieten die Pläne wieder in Vergessenheit: zu teuer, zu utopisch.

Heute ist Vieles anders. Öl ist inzwischen teuer und wird knapper. Einen Temperaturanstieg durch wahnsinnige CO<sub>2</sub>-Emissionen leugnet niemand mehr. Dazu kommt noch, dass immer mehr Men-

schen auf unserem Planeten leben: Inzwischen sind es fast sieben Milliarden. Der Energiehunger wächst stetig. Es ist an der Zeit, die Pläne wieder aus der Schublade zu ziehen.

#### ■ Eine Vision wird wiederbelebt

Zwölf deutsche Unternehmen haben sich zusammengefunden, um die Idee wieder zu beleben. Darunter die Energiegiganten e.on und RWE, aber auch die Münchener Rück – eine Versicherung – oder die Firma Schott-Solar. Sie haben sich das Ziel gesetzt, bis 2012 ins kleinste Detail zu klären, ob das Wüstenprojekt auch umsetzbar ist. Einen Namen haben sie auch schon gefunden: Desertec. Dahinter verbergen sich große Pläne. Bis zum Jahr 2050 soll in Nordafrika und im Nahen Osten ein Netz aus solarthermischen Kraftwerken entstehen, das bis zu 15 Prozent des europäischen Strombedarfs abdeckt.

#### ■ Technik schon erprobt

Das Projekt scheint unter keinem schlechten Stern zu stehen. Denn die Technik für derartige Kraftwerke gibt es schon. Seit den 1980er-Jahren ist in der Mo-

jave-Wüste in den USA ein **solarthermisches Kraftwerk** am Netz. Und es läuft seitdem zuverlässig und ohne Probleme. Dabei entsteht weder radioaktiver Müll noch Kohlendioxid. Mittlerweile gibt es auch in Spanien zwei große Anlagen. Eine dritte soll bald dazu kommen. Der Bau der Kraftwerke wäre also kein besonderes Wagnis.

Für den Stromtransport nach Europa müssten 20 spezielle **HGÜ-Leitungen** gelegt werden – viele Kilometer durchs Mittelmeer und etliche quer durch Europa. Denn nur mit solchen Leitungen kann der Strom ohne große Verluste über tausende von Kilometern transportiert werden.

#### ■ Woher kommt das Geld?

Dutzende Kraftwerke und mehrere zehntausend Kilometer Stromleitungen – das kostet natürlich. Die Unternehmen kalkulieren mit 400 Milliarden Euro. Woher das Geld kommen soll, ist noch völlig unklar. Denn auch wenn das Projekt bis aufs Jahr 2050 angelegt ist – es wird nicht einfach, diese riesige Summe aufzubringen.

## Die Lösung aus der Wüste

### Solarthermische Kraftwerke

Solarthermische Kraftwerke gibt es in Form von Parabolrinnenkraftwerken und als Turmkraftwerk.

Beim Parabolrinnenkraftwerk wird das Sonnenlicht von gebogenen Spiegelrinnen auf eine Brennlinie konzentriert. Dort fließt ein Thermoöl, das dann in einen Kraftwerkskreislauf eingespeist wird. Dort wird Dampferzeugt, der wiederum eine Turbine antreibt (siehe auch Seite 5).

Beim Turmkraftwerk konzentrieren um die 2.000 flache Spiegel das Licht auf den Brennpunkt oben im Turm. Dort wird Luft erhitzt, um im Kraftwerkskreislauf wiederum mit der entstandenen Hitze Wasserdampf zu erzeugen und damit eine Turbine anzutreiben (siehe auch Seite 15).

Im Gegensatz zur Anwendung der Solarthermie auf dem Hausdach wird in solarthermischen Kraftwerken also im großen Maßstab Thermoöl oder Luft erhitzt und die entstandene Wärme im zweiten Schritt in Strom umgewandelt.



Die Afrikaner müssen zuerst profitieren



Photovoltaik: Strom auch bei Bewölkung

# Die Lösung aus der Wüste

## Solarenergie – Fragen und Antworten Die ungelösten Probleme der Solarenergie

Vor allem, wenn man bedenkt, dass Solarstrom heute noch vier Mal teurer ist als Strom aus Gas und Kohle. Deshalb wäre Desertec aus heutiger Sicht auch völlig unwirtschaftlich. Einige Energieexperten glauben daher, dass es kein Zufall ist, dass das Projekt gerade in Zeiten der Finanzkrise aus den Startlöchern kommt. Denn es sei mittlerweile scheinbar salonfähig geworden, sagen die Experten, mit immensen Summen zu jonglieren und dabei immer auch gleich auf staatliche Subventionen zu schießen. „Ohne staatliche Subventionen wird das Projekt nicht in Gang kommen“, sagt Dr. Axel Michaelowa, der sich seit 1994 mit Fragen der internationalen Klimapolitik beschäftigt.

Klar ist: Desertec kann kein High-Tech-Projekt sein, das nur Vorteile für die Europäer bringt. Vielmehr muss es zunächst die Energieprobleme der Länder vor Ort lösen. Denn dort wächst die Bevölkerung unaufhörlich. Und so müssten die neuen Solarkraftwerke erst einmal den steigenden Energiebedarf in Nordafrika und im Nahen Osten decken. Vielleicht könnten die Kraftwerke dann erst nach zehn bis 15 Jahren den ersten Strom tatsächlich nach Europa liefern.

### HGÜ-Leitung

*HGÜ steht für Hochspannungs-Gleichstromübertragung. Dahinter steckt eine gute Idee. Denn normalerweise entsteht bei der Stromerzeugung Wechselstrom. Überträgt man diesen über große Distanzen, steigen die Übertragungsverluste enorm. Wandelt man den Strom nun vor dem Transport in Gleichstrom und leitet ihn dann durch HGÜ-Leitungen, lassen sich die Übertragungsverluste auf vier bis fünf Prozent pro 1.000 Kilometer senken. Bei einem Stromtransport aus Afrika nach Europa würden dann zwar immer noch bis zu 15 Prozent des Stroms verloren gehen. Das ist aber aus wirtschaftlichen Gesichtspunkten vertretbar.*

### Nicht über die Köpfe hinweg entscheiden

Technisch und logistisch scheint Desertec durchaus realistisch. Die Finanzierung bleibt zu klären. Aber ein weiterer, vielleicht der wichtigste Punkt, ist auch noch offen: Was sagen die Afrikaner dazu, wenn wir Europäer plötzlich an ihre Tür klopfen und in großem Stil Solarkraftwerke in ihren Sand bauen wollen?

Energie-Experten trauen der Solarenergie viel zu. Sie schreiben der noch recht jungen Technologie ein riesiges Wachstumspotenzial zu: Schon bis 2050 – so prognostizieren ihre Anhänger – lasse sich mit Strom aus solarthermischen Kraftwerken in Marokko, Algerien und Ägypten ein Viertel des deutschen Energiebedarfs decken. Einige Vertreter der Photovoltaik sagen: Genauso viel Strom könne man in derselben Zeitspanne per Photovoltaik gewinnen, auf ungenutzten Dächern und Fassaden in Deutschland.

Zu hoch gegriffen? Bisher sind wir von solchen Zahlen auf jeden Fall noch weit entfernt. Im Jahr 2008 hatte die Solarenergie nur einen Anteil von 0,7 Prozent an der gesamten Stromproduktion in Deutschland und liegt damit deutlich hinter der Windkraft. Eine tragfähige Alternative zu den fossilen Brennstoffen wird die Solarenergie in absehbarer Zeit nur, wenn Industrie und Forschung bald Antworten auf die noch offenen Fragen der Solarkraft finden.

### Frage 1: Wie kann man Sonnenenergie speichern?

Eins der Hauptprobleme der Photovoltaik ist die Speicherung. Denn im Gegensatz zur Wärmeenergie der Solarthermie lässt sich Strom aus Photovoltaikanlagen bisher nicht rentabel speichern. Die Verluste sind zu groß. Bei der Photovoltaik gehen also genau dann die Lichter aus, wenn man sie am dringendsten braucht – nachts oder im Winter. Die Sonneneinstrahlung in einem durchschnittlichen deutschen Sommer liegt bei bis zu 1.000 Watt pro Quadratmeter. In der dunkleren kühlen Jahreshälfte sind es weniger als die Hälfte. Um diese Schwankungen beim Rohstoff Sonne auszugleichen, wird Strom vom privaten Dach meist erst ins öffentliche Netz eingespeist, bevor er wieder zum Verbraucher zurück kommt. Solarhausbesitzer stehen also abends nur deshalb nicht im Dunkeln, weil sie ihren Strom aus einem Großnetz beziehen. Und das wird zu über 85 Prozent durch konventionelle Kraftwerke gespeist.



*Links:  
Auch Solarhausbesitzer beziehen ihren Strom aus dem öffentlichen Netz*

*Mitte:  
Solarkraftwerke – noch arbeiten sie weniger rentabel als die konventionelle Konkurrenz*

*Rechts:  
Strom aus der Wüste müsste einen weiten Weg zurücklegen*



## Solarenergie – Fragen und Antworten

Die Solarthermie hat es da leichter. Ein Typ des solarthermischen Kraftwerks, das Turmkraftwerk, kann mit gespeicherter Wärmeenergie derzeit zumindest eine Nacht oder einen bewölkten Tag lang weiter Strom produzieren. Und das ohne zu große Verluste. Im Turm gibt es Tanks voll luftdurchlässiger Keramikklötze, die die Wärme speichern. In Parabolrinnenkraftwerken – der zweiten Form des solarthermischen Kraftwerks – sind große runde Stahlbehälter mit flüssigem Salz für die Wärmespeicherung zuständig. Damit die Energie in Zukunft noch wirtschaftlicher gespeichert werden kann, arbeiten Forscher allerdings auch an kostengünstigeren Lösungen, zum Beispiel an der Wärmespeicherung mit heißem Quarzsand.

### ■ Frage 2: Wann wird Solarstrom wirtschaftlich?

Etwa 40 Cent pro Kilowattstunde kostet Solarstrom aus der Photovoltaikanlage derzeit. Der Strom solarthermischer Kraftwerke in Spanien ist bereits heute fast nur noch halb so teuer. Der Grund: ein besserer Wirkungsgrad. Der liegt trotzdem bei ge-

rade mal 15 bis 25 Prozent. Kern- oder Kohlekraftwerke arbeiten noch effizienter als solarthermische Kraftwerke. Sie haben Wirkungsgrade um 40 Prozent und einen noch fast unschlagbaren Strompreis: um die 5 Cent. Damit der Solarstrom trotzdem fließt, wird er subventioniert. Doch dieser Zuschuss sinkt jährlich. Allerdings arbeitet die Zeit für die Solarenergie: Der Preis für konventionellen Strom wird ansteigen, die Investitionskosten für Solaranlagen dagegen sinken. Je nach Standort soll der Preis für Solarstrom schon in den nächsten Jahren unter 10 Cent liegen.

### ■ Frage 3: Wie käme Energie aus der Wüste zu uns?

Mit Solarkraftwerken auf nur einem Prozent der Wüstenfläche ließe sich der weltweite Energiebedarf decken. Das haben Solarforscher des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) ausgerechnet. Doch wie soll er aus der Wüste zu uns transportiert werden? Der Weg von Afrika nach Mitteleuropa ist weit. Mehr als 3.000 Kilometer lang müsste eine Leitung sein. Um die Stromverluste

dabei gering zu halten, muss in den Kabeln Gleichstrom statt des ursprünglichen Wechselstroms fließen. Technisch ist es kein Problem, den Strom umzuwandeln. Aber auch mit Gleichstrom gingen auf der Gesamtstrecke etwa elf Prozent der Energie verloren. Und der Bau einer solchen Trasse – zum Beispiel von Algerien nach Deutschland – kostet nach Schätzungen des DLR um die 45 Milliarden Euro. Kosten, die kaum ein einzelnes Land auf sich nehmen kann.

Zusätzlich in dezentrale Lösungen zu investieren, ist also zwingend. Strom und Wärme vom eigenen Hausdach zu holen, liegt nahe. Denn auch auf deutschen Dächern und Fassaden liegen noch viele potenzielle Solarflächen brach.



Links:  
Ein Verbundnetz mit vielen kleinen Solaranlagen  
kann Atomkraftwerke ersetzen

Mitte:  
Der Computer errechnet  
den Schattenwurf

Rechts:  
Alle farbigen Dächer sind  
solaranlagentauglich



## Aufs Dach geschaut

Jedes fünfte Haus in Deutschland eignet sich für Solaranlagen

Das Solarpotenzial auf deutschen Dächern ist gewaltig. Das hat Geoinformatikerin Martina Klärle errechnet. „Wenn die Hausbesitzer auf jede geeignete Dachfläche eine Solaranlage setzen würden, könnte ein Verbundnetz den kompletten Strombedarf aller Privathaushalte in Deutschland decken.“ Doch bisher wird nur knapp ein Prozent dieses Potenzials ausgeschöpft. Viele wissen einfach nicht, dass die Kraft der Sonne in Deutschland ausreicht, um zwölf Atomkraftwerke zu ersetzen. Die Stadt Gelsenkirchen hat sich deshalb entschieden, ein Solardach-Verzeichnis ins Internet zu stellen. Und das funktioniert so: In eine Suchmaske gibt man Straße und Hausnummer ein. Das Programm zoomt auf das Dach des gesuchten Hauses und ein nächster Klick liefert weitere Daten: ob die Dachfläche für Solarmodule geeignet ist, wie viel Stromertrag dort möglich wäre und wie viel Kohlendioxid der Hausbesitzer einsparen könnte.

### ■ Vermessung aus der Luft

Die Gelsenkirchener Internet-Plattform wurde von der Geoinformatikerin Martina Klärle entwickelt. Als Grundlage für ihre Berechnungen verwendet sie Daten von Vermessungsflügen. Dabei tastet ein **Laserscanner** an einem Flugzeug die Umge-

bung dreidimensional ab. Die daraus gewonnenen Daten werden mit Satelliten-Koordinaten kombiniert.

Martina Klärle ermittelt die Lage und Neigung der Dächer – und alles, was Schatten wirft. Das ist sehr wichtig. Eine von Klärle entwickelte mathematische Formel macht es möglich, sämtliche Schattenwürfe im Laufe eines Jahres exakt zu simulieren. So kann sie später errechnen, auf welchem Dach sich eine Solaranlage lohnt.

### ■ Das Wetter wird kalkulierbar

An der FH Frankfurt erstellt Martina Klärle aus den Messungen dreidimensionale Computermodelle. Ein zweiter Rechner kombiniert die Ortsangaben mit Wetterdaten und simuliert verschiedene Sonnenstände. Dabei berücksichtigt die Geoinformatikerin die Wanderung der Sonne genauso wie den Schattenwurf eines Schornsteins im Wechsel der Tageszeiten. Sie achtet auch auf den Wechsel der Jahreszeiten. Vom Deutschen Wetterdienst bekommt sie regelmäßig die lokalen Wetterdaten. Das Wetter in Deutschland ist sehr wechselhaft. Für Martina Klärles Rechnungen ist deshalb nur der Mittelwert aller Sonnentage der vergangenen 20 Jahre entscheidend.

### ■ Der Service für den Verbraucher

Wer sein Haus mit Solarstrom versorgen will, dem hilft das Solardach-Verzeichnis im Internet bei der Entscheidung für oder gegen eine Solaranlage.

Damit sich eine Solaranlage rentiert, braucht man eine freie Dachfläche von mindestens 20 Quadratmetern. Außerdem ist eine Schräge von 30 bis 45 Prozent optimal. Je nach Solarertrag sind die Dächer im Internet farblich markiert. Vor allem die Dächer in Rot und Orange sind interessant. Orange bedeutet: eine gute Solarertragsausbeute mit gut 80 Prozent. Rot heißt: spitze – über 95 Prozent solarstromtauglich.

Für Gelsenkirchen, Osnabrück, Braunschweig und Wiesbaden ist das Solarpotenzial bereits ermittelt. In weiteren Gemeinden und Städten, wie zum Beispiel dem Rhein-Sieg-Kreis und im Köln-Bonner-Raum, sind solche Verzeichnisse in Planung. Die Berechnung kostet die Gemeinde je nach Größe zwischen 10.000 und 250.000 Euro.

## Aufs Dach geschaut

### Laserscan

Bei einem Laserscan werden von einem Flugzeug einige tausend Laserimpulse pro Sekunde ausgesendet. Es entsteht ein dichtes Netz von Messpunkten. Der Boden reflektiert die Impulse und wirft sie zurück. Aus der Laufzeit des Laserstrahls ergibt sich die Entfernung. Aus diesen Daten lässt sich mit Hilfe des Computers ein Geländemodell erstellen.



Links:  
Noch nie waren Solaranlagen  
so günstig

Mitte:  
Die Subventionen zahlt  
jeder Stromkunde

Rechts:  
Trotz Solaranlagen sinkt der CO<sub>2</sub>-Ausstoß der  
konventionellen Kraftwerke insgesamt nicht



## Licht und Schatten der Solarförderung

### Warum die richtige Diagnose so wichtig ist

## Licht und Schatten...

In keinem anderen Land – nicht einmal im sonnigen Kalifornien – wächst der Solarmarkt so rasant wie in Deutschland. Allein die 2008 neu montierten Solaranlagen produzieren inzwischen Strom in der Größenordnung von fast 1,5 Gigawatt pro Jahr. Das ist so viel wie zwei Braunkohle- oder eineinhalb Atomkraftwerke leisten.

Ein weiterer Wachstumsschub zeichnet sich für 2009 ab, denn die Preise für die Solarmodule sind im Keller. Sie kosten teilweise bis zu einem Drittel weniger als im Vorjahr. Den Preis drücken vor allem Importwaren aus China, Taiwan und Japan. Wer sich derzeit für eine Solaranlage entscheidet, zahlt inklusive Montage und Netzanschluss pro Kilowatt Stromleistung rund 3.000 Euro zuzüglich Mehrwertsteuer. Das entspricht dann etwa einer Jahresleistung von 1.000 Kilowattstunden.

#### Wie Solarstrom gefördert wird

Die Fördersumme für Solarstrom wird in Deutschland durch das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) geregelt. Sie hängt von der Größe der Anlage und dem Jahr der Installation ab.

Zwei Modelle gibt es für die Solaranlagenbetreiber: Im ersten Fall wird der Strom ins allgemeine Leitungsnetz gespeist. Das Haus wird aber weiter mit konventionellem Strom versorgt. Für den verkauften Solarstrom gibt es 43,01 Cent pro Kilowattstunde – zwanzig Jahre garantiert. Der Fördersatz ist doppelt so hoch wie der derzeitige durchschnittliche Strompreis. Ab 2010 gibt es dann nur noch 39,57 Cent je Kilowattstunde. Ab 2011 sinkt die Vergütung noch einmal jährlich um neun Prozent.

Im zweiten Modell verbraucht der Hausbesitzer seinen Solarstrom selbst. Als Aufwandsentschädigung erhält er zusätzlich für jede von ihm selbst produzierte Kilowattstunde 25,01 Cent.

#### Solaranlagen verteuern den Strompreis

Die Subventionen werden nicht aus dem Steuertopf bezahlt, sondern von jedem einzelnen Stromkunden. Und das passiert so: Das deutsche Übertragungsnetz teilen sich vier Konzerne – RWE, EnBW, EON und Vattenfall. Das **Erneuerbare-Energien-Gesetz** gestattet es ihnen, die Subventionen, die

sie den Solaranlagen-Betreibern auszahlen müssen, mit der Netzgebühr zu verrechnen. Das heißt: Die regionalen Energieversorger buchen beim Stromkunden den Zuschlag Monat für Monat ab. Legt man die aktuellen Daten den Berechnungen zugrunde, bezahlt ein vierköpfiger Durchschnittshaushalt für erneuerbare Energien etwa 24 Euro mehr im Jahr. Dr. Manuel Frondel vom Rheinisch-Westfälischen Institut für Wirtschaftsforschung in Essen geht davon aus, dass die bereits installierten Solaranlagen während ihrer kompletten Laufzeit den Stromkunden Kosten in Höhe von 35 Milliarden Euro verursachen werden. Hält der Solarboom weiter an, könnten laut Frondel sogar gut 77 Milliarden Euro fällig werden.

#### Solarstrom hilft dem Klima nicht

Solaranlagen produzieren kein Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>). Die Umwelt profitiert trotzdem nicht davon. Schuld daran ist die Umweltpolitik der Europäischen Union und das Emissionshandels-Gesetz. Beide legen die Gesamtmenge an CO<sub>2</sub> fest, die Stromkonzerne und Industrie ausstoßen dürfen. Die Obergrenze ist dabei unveränderlich. CO<sub>2</sub>-Verursacher, die mehr schädliches Klimagas verbrauchen, als festgelegt

wurde, müssen per Gesetz zusätzliche CO<sub>2</sub>-Rechte kaufen. Wer weniger in die Atmosphäre pustet, kann seine eingesparten Kohlendioxid-Zertifikate auf dem Strommarkt verkaufen. Wenn der Strom aus Solaranlagen ins Netz eingespeist wird, können die Braunkohlekraftwerke ihre Produktion drosseln und zunächst entsteht tatsächlich weniger CO<sub>2</sub>. Doch der Umwelt hilft das nicht. Denn die eingesparten Zertifikate werden von den Stromkonzernen zu einem späteren Zeitpunkt wieder verbraucht oder verkauft. Das bedeutet: Trotz Solaranlagen sinkt der CO<sub>2</sub>-Ausstoß insgesamt nicht.

#### Erneuerbare-Energien-Gesetz

*Das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) soll helfen, den Anteil regenerativer Energien bis 2020 auf 25 bis 30 Prozent zu erhöhen. Es regelt die Höhe der Vergütung und Abnahme von ausschließlich aus erneuerbaren Energiequellen produziertem Strom. Es bezuschusst nicht nur Solaranlagen, sondern auch Biogasanlagen, Wasserkraft, Geothermie und Windräder. Die ursprüngliche Fassung des Gesetzes ist vom 29. März 2000. Es wurde am 29. Juli 2009 letztmalig aktualisiert.*