

# Theoretische Alleskönner

Eine weitere Spielart des Sonnenstroms wird derzeit diskutiert: Thermophotovoltaik. Doch so clever die Technik prinzipiell ist, so sehr haben Forscher mit Materialproblemen und geringen Wirkungsgraden zu kämpfen.

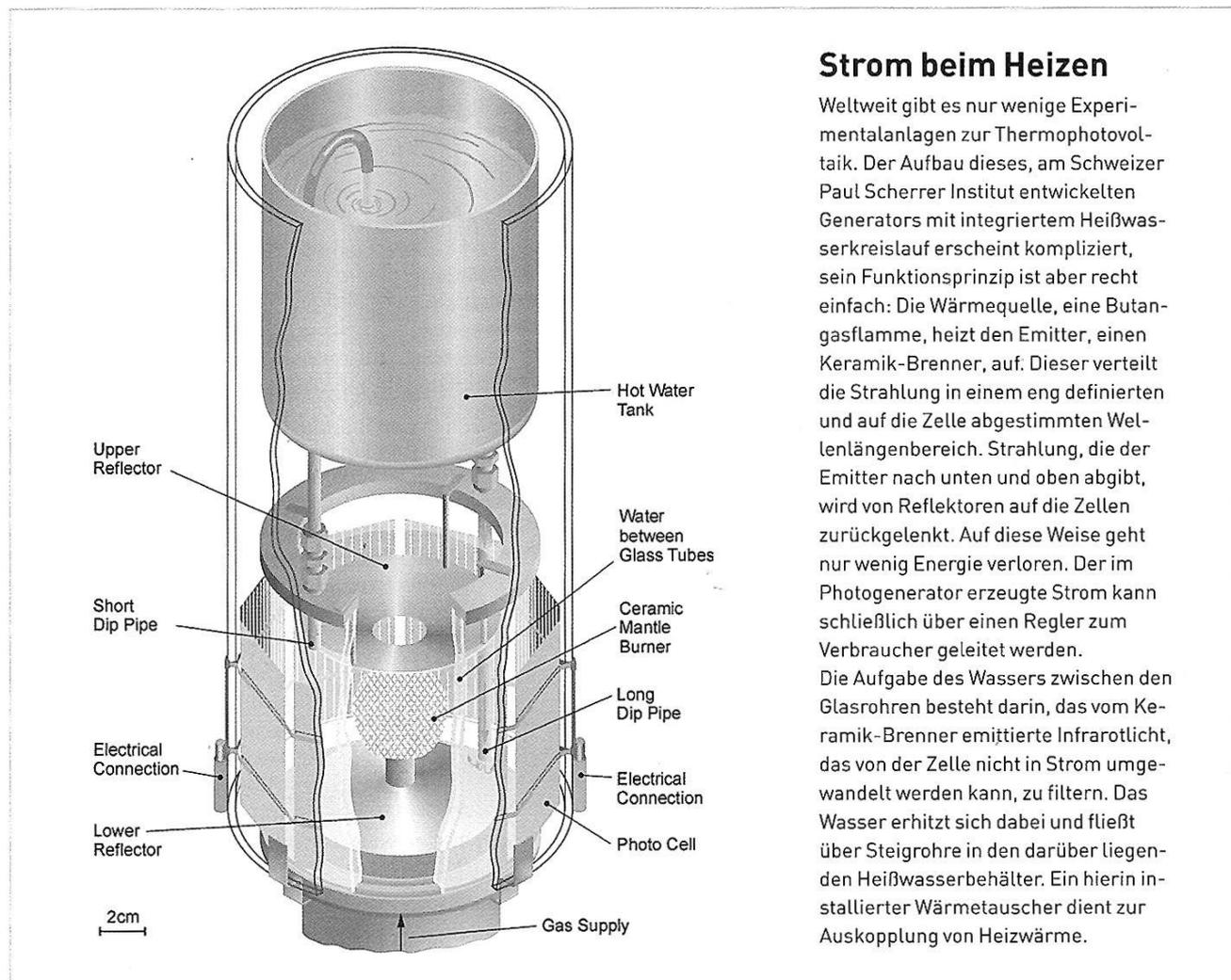
Text: Bernward Janzing

Als im Münsterland die Strommasten knickten (neue energie 1/2006), hätte die Thermophotovoltaik wertvolle Dienste leisten können. Denn bei dieser Technik wird die Abwärme von Heizungsanlagen zur solaren Stromproduktion genutzt. Das Verfahren ergibt zwar keine riesigen Mengen, aber genug, um die elektrischen Komponenten des Heizsystems – also Pumpen und Steuerung – autark zu versorgen. Ende November dürfte sich mancher Hausbesitzer, der im Kalten saß, solch eine Lösung herbeigesehnt haben.

Leider steckt die Technologie aber erst im Experimentierstadium, obgleich die Idee beileibe nicht neu ist und nicht automatisch 100-prozentig regenerativ. Schon in den Fünfzigerjahren gab es erste Überlegungen, mittels solarer Absorber Wärme zu erzeugen und deren Abstrahlung photovoltaisch zu nutzen. Mitte der Neunzigerjahre wurde die Forschung konkreter, jedoch setzte man inzwischen auf fossile Energiequellen und herkömmliche Verbrennungssysteme zur Wärmeerzeugung. Seither wurde in erster Linie mit Propan- und Butangas experimentiert.

## Kleine Leistung, aber große Möglichkeiten

Wie kommt die Sonne ins Spiel? Spezielle Solarzellen im Brennofen, die für hohe Temperaturen konzipiert sind, erzeugen Strom aus der vorhandenen Wärmestrahlung – dem infraroten Licht (siehe Info-Grafik). Dass das keine Fiktion ist, beweist die Firma JX Crystals in Issaquah im US-Staat Washington. Seit 1999 hat das Unternehmen 30 Anlagen im Feldtest laufen. Treffender Name für die kleinen Alleskönner: „Midnight sun“. Kernstück der Anlagen ist ein mit Pro-



pan gefeuerter Ofen mit 7,3 Kilowatt thermischer Leistung, der erzeugt mittels Gallium-Antimonid-Solarzellen im Inneren bei der Feuerung 100 Watt Strom.

Auch eine höhere elektrische Leistung als die bislang realisierte hält JX Crystals theoretisch für möglich – und spricht von einer Anlage mit 1,5 Kilowatt. Dazu heißt es aus Washington: „Eventuell beabsichtigt JX Crystals den Markt der heimischen Kraft-Wärme-Kopplung zu erschließen.“

Die vorsichtige Formulierung ist angemessen. Denn allen Visionen zum Trotz sehen Forscher die Thermophotovoltaik auf absehbare Zeit eher dort angesiedelt, wo es um kleine elektrische Leistungen geht: beispielsweise zur Versorgung der Heizung mit Betriebsstrom. An eine neue Form der Kraft-Wärme-Kopplung mit elektrischen Leistungen, die eine nennenswerte Einspeisung lohnen, glauben die wenigsten Wissenschaftler.

„Dort, wo es um geringe elektrische Leistungen geht, gibt es durchaus interessante Märkte“, weiß Jochen Bard, Leiter des Bereiches Energiewandlungsverfahren am Institut für Solare Energieversorgungstechnik (ISET) der Universität Kassel. Als ein mögliches Einsatzgebiet sieht Bard den Fahrzeugbau: „Kühlaggregate in Lastwagen könnten durch die Abwärme des Motors versorgt werden.“

Doch bis es so weit ist, gibt es noch viel zu forschen. Bis dato ist der energetische Ertrag schlicht zu gering. Der Systemwirkungsgrad, also die Stromausbeute in Relation zur eingesetzten Primärenergie, erreicht in den bisherigen Pilotanlagen kaum zwei Prozent. Das liegt auch daran, dass es nie größere Forschungsprojekte zu diesem Thema gab – und damit nie eine Forschergruppe in Europa, die sich voll und ganz mit Thermophotovoltaik beschäftigt hat. Alle weltweit etwa 100 Wissenschaftler, die an dem Thema arbeiten, tun dies nebenher: Ihr eigentlicher Fokus ist jeweils ein anderer, sie forschen meist an einzelnen Komponenten und kaum am Gesamtsystem.

## **Silizium kann Leistung voll ausspielen**

Aus drei zentralen Elementen besteht eine Thermophotovoltaik-Anlage. An erster Stelle steht der Brenner, der die notwendige Wärme erzeugen muss. Solarthermisch erzeugte Wärme spielt derzeit in der Wissenschaft praktisch keine Rolle, weil andere Verfahren der Stromerzeugung aus Sonnenwärme erheblich energieeffizienter sind. So erreichen zum Beispiel Solar-Dish-Systeme, also Parabolspiegel mit Stirlingmotor, bereits elektrische Wirkungsgrade von 30 Prozent.

Zweites wichtiges Bauteil ist der Emittor. Er sitzt in der Brennkammer, wird dort durch eine Wärmequelle erhitzt und gibt einen Großteil der Wärmeenergie in Form von Strahlung wieder ab, das heißt möglichst wenig durch schlichte Wärmeleitung oder Konvektion. Zudem sollte es ein selektiver Emittor sein, der seine Strahlung in einem eng definierten Wellenlängenbereich verteilt.

Und schließlich braucht man eine Solarzelle, deren Wirkungsgrad bei der betreffenden Wellenlänge am größten ist. Emittorsubstanz und Solarzelle müssen also optimal aufeinander abgestimmt sein. Drei Kombinationen von Emittorsubstanzen und Zellentypen gelten als Erfolg versprechend:

► Ein Emittor aus Ytterbiumoxid ( $\text{Yb}_2\text{O}_3$ ) kann mit einer klassischen monokristallinen Siliziumzelle kombiniert werden. Deren Wirkungsgrad ist am höchsten bei etwa 1.100 Nanometer Wellenlänge, und eben diese Strahlung sendet das Ytterbiumoxid aus. Interessant: Die meistverbreitete Solar-

zelle erzielt ihre höchste Ausbeute außerhalb des sichtbaren Lichtspektrums, das zwischen 380 und 780 Nanometern liegt.

► Nimmt man einen Erbiumoxid-Emittor ( $\text{Er}_2\text{O}_3$ ), passt dazu eine Gallium-Antimonid-Zelle (GaSb). Die schafft wiederum im passenden Spektralbereich um 1.700 Nanometer die höchste Ausbeute.

► Und bei 2.200 Nanometer treffen sich die Eigenschaften des Holmiumoxid-Emittors ( $\text{Ho}_2\text{O}_3$ ) und der Indium-Gallium-Arsenid-Zelle (InGaAs).

### Grundlagenforschung ist nötig

Mit Siliziumzellen arbeitet vor allem das Paul Scherrer Institut (PSI) in Villigen im Schweizer Kanton Aargau. „Die Zellen sind billig, in großen Mengen verfügbar und nicht toxisch“, sagt Forscher Wilhelm Durisch. Außerdem seien sie technologisch weit ausgereift. Entwicklungsbedarf attestiert er aber bei den Emittoren: „Da haben wir noch sehr schwierige Materialprobleme zu lösen“, berichtet Durisch. Denn einerseits müssen

die Emittor für eine Effizienzverbesserung möglichst stark erhitzt werden, andererseits reduzieren die hohen Temperaturen die Lebensdauer des Materials erheblich. Die Arbeit ist besonders schwierig, weil es selbst an Grundlagenwissen fehlt: „Wir haben physikalisch noch nicht alles verstanden“, gesteht der Forscher.

Mit dem Heizungsbauer Hoval in Vaduz, Liechtenstein, arbeitet das PSI in dieser Sache zusammen. Der selbst versorgende Heizkessel sei eine der wichtigsten Optionen, betont Durisch, dessen Institut bereits zehn Jahre an dem Thema forscht. Immer dort, wo kein Netzstrom zur Verfügung stehe, könne Thermophotovoltaik in Zukunft eine Option sein: „Dann sind die Menschen auch bereit, entsprechend für den Strom zu bezahlen.“ Denn Strom aus solchen Systemen werde teuer bleiben – was bei einem Wirkungsgrad von 2,4 bis 2,8 Prozent, wie ihn Durisch aus seinem Hause vermeldet, nicht überrascht. Und dieser Wert sei immerhin Weltrekord, sagt er.

Gleichwohl: Die theoretisch erzielbaren Wirkungsgrade sind genau so hoch wie bei anderen Verfahren der Stromerzeugung – es sind die Grenzen des Carnot-Prozesses. Das Naturgesetz besagt, dass der theoretische Wirkungsgrad einer Wärme-Kraft-Maschine abhängig von der verfügbaren Temperatur begrenzt ist. Der Physiker Peter Würfel von der Universität Karlsruhe hat daher für Thermophotovoltaik schon vor Jahren errechnet, dass theoretisch ein Wirkungsgrad von maximal 85 Prozent möglich ist, allerdings bei einer Absorbertemperatur von rund 2.200 Grad Celsius.

Für die Praxis sind diese Werte völlig illusorisch. Eines Tages könnten vielleicht 15 Prozent möglich werden, schätzt Andreas Bett, Wissenschaftler am Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme (ISE) in Freiburg. Diesem Wert ein wenig näher zu kommen, hofft das ISE mit der Entwicklung neuer Hochleistungssolarzellen auf Basis der so genannten III-V-Halbleiter. Die Ziffern beschreiben dabei die Hauptgruppen im Peri-

odensystem der Elemente; Gallium-Antimonid gehört dazu.

Aber auch am ISE ist Thermophotovoltaik nur ein Ableger anderer Forschungsaktivitäten. Die Entwicklung von Solarzellen aus neuen Halbleitern wird in Freiburg in erster Linie zur Nutzung in Konzentratorzellen vorangetrieben – einer Technik, der größere Chancen eingeräumt werden (neue energie 8/2005). „Ich kann mir nicht vorstellen, dass die Thermophotovoltaik auf absehbare Zeit marktfähig wird, allenfalls in Nischen“, glaubt ISE-Mitarbeiter Thomas Aicher. Bisher komme man mit entsprechenden Systemen kaum auf 20 Betriebsstunden; der Emittor hält nicht länger durch.

Mancher Forscher sieht daher eher skeptisch in die Zukunft. Und auch die Industrie hat schon einmal mehr Interesse als heute an den Tag gelegt. Bosch habe mal mit dieser Technik experimentiert und zwei Dissertationen dazu vergeben, erinnert sich Andreas Bett. Doch weitere Aktivitäten des Unternehmens blieben aus.

Von Stillstand zu sprechen, wäre gleichwohl nicht richtig. Denn die Entwicklung von Hochleistungssolarzellen geht mit Nachdruck voran. Selbst wenn die Forscher meist andere Anwendungen im Auge haben, kann die Thermophotovoltaik von diesen Erkenntnissen profitieren. Auch an den Emittoren wird gearbeitet, etwa am PSI mit Yttrium-dotierten Aluminiumgranaten, also Silikatkristallen. Aber es hakt in der Entwicklung der Systemtechnik, die alle Komponenten am Ende zusammenbringen soll.

Das liegt auch daran, dass Forschungsgelder rar sind. Zwar wird Thermophotovoltaik derzeit im 6. Forschungsrahmenprogramm der EU im so genannten „Full-Spectrum“-Projekt untersucht. Doch die bereitgestellten 8,3 Millionen Euro, verteilt auf die Jahre 2003 bis 2008, fließen in fünf verschiedene Forschungsfelder. Angesichts der vielen ungelösten Fragen sind da kaum große Durchbrüche zu erwarten. Keine gute Nachricht für die Bewohner im Münsterland. ◀