Artikel in mehreren schweizerischen Tages- und Gewerkschaftszeitungen, Anfang 1981

In zehn Jahren Strom vom eigenen Dach?

Ölkonzerne wollen mit Solarzellen den Elektrizitätsmarkt revolutionieren

Ruggero Schleicher

Ohne Abgase und Dampffahnen, ohne Turbinen und Kühlturme können Solarzellen direkt aus Sonnenlicht Strom machen. Noch wird diese Energiequelle in der Öffentlichkeit kaum zur Kenntnis genommen. An internationalen Fachkonferenzen jedoch ist man sich einig: In Zukunft wird die Photovoltaik eine ernstzunehmende Rolle spielen. Die amerikanische Regierung rechnet damit, dass sie in sieben bis zehn Jahren gegenüber anderen Arten der Stromerzeugung konkurrenzfähig ist. Nach Plänen der Industrie soll in den USA in 25 Jahren so viel Strom aus Sonnenlicht erzeugt werden, wie heute insgesamt verbraucht wird. In Entwicklungsländern, wo kein dichtes Stromnetz vorhanden ist, sind Solarzellen vielfach schon heute rentabel. Bezeichnenderweise hat besonders die Ölindustrie bereits riesige Summen in diese neue Technik investiert.

„Die Photovoltaik ist reif, um aus dem Kreis der Spezialisten herauszutreten und von den Leuten beachtet zu werden, die politische und wirtschaftliche Entscheidungen treffen“, erklärte der zurückhaltende französische Regierungsvertreter im Herbst an der dritten Konferenz für photovoltaische Sonnenenergie der Europäischen Gemeinschaft (EG) in Cannes, zu der über 850 Fachleute und Industrievertreter gekommen waren. “Seit wir uns das letzte Mal getroffen haben“, schwärmte sein Kollege Paul Maycock, Leiter der Abteilung für Solarzellen im amerikanischen Energieministerium, „ist ein solcher Sturzbach von Entwicklungen über uns hereingebrochen, dass es meiner Meinung nach keine Möglichkeit gibt, die Photovoltaik daran zu hindern, schon 1985 eine überall vorhandene, erneuerbare Energiequelle für Elektrizität für Wohnhäuser, Industriebauten, Dörfer und zentrale Kraftwerke zu werden.“ Was besonders in Europa noch weitherum als ferne Utopie abgetan wird, ist für die Sonnenstromspezialisten in greifbare Nähe gerückt.

Politiker und Journalisten haben sich noch kaum für diese aussichtsreiche Energiequelle interessiert, obwohl sie sich langsam mit diesem Thema befassen, müssten: Wenn neueste Berechnungen kalifornischer Elektrizitätswerke über die Gestehungskosten von Strom aus neuen Atom- und Kohlekraftwerken wirklich stimmten, dann seien auch zentrale Sonnenkraftwerke schon wirtschaftlich, bevor ein heute beschlossenes Atom- oder Kohlekraftwerk den Betrieb aufnehmen könne, sagt Paul Maycock.

In zehn Jahren Strom vom eigenen Dach

Angefangen hatte es mit den Sonnenzellen schon in den vierziger Jahren, Photoelemente aus Selen wurden als Belichtungsmesser verwendet. Bereits 1941 experimentierte man mit Siliziumzellen, Aber erst nach dem. Aufschwung der Halbleitertechnik mit der Erfindung des Transistors 1948 kam inan weiter voran: 1954 gelang es, den Wirkungsgrad der Silizium Zelle wesentlich zu erhöhen. Schon 1955 wurde probehalber eine ländliche Telefonleitung mit Solarstrom betrieben. Größere Anwendung jedoch fanden die Solarzellen wegen ihrer astronomischen Kosten nur in der Raumfahrt Der 1958 gestartete Satellit Vanguard I wurde bereits

damit ausgerüstet. Großflächige Solarzellen-Panels, die oft aussehen wie Windmühlenflügel, liefern seit Jahren den Strom für Telefon- und Fernsehverbindungen über Satelliten zwischen den Kontinenten.

Die Energiekrise 1973 gab den Anstoß, dass man sich vermehrt dafür interessierte, ob sich die Solarzellen nicht auch auf der Erde nutzbringend anwenden ließen. Im Oktober 1973 berief die National Science Foundation eine Konferenz ein, an der der Grundstein für das spätere National Photovoltaic Program gelegt wurde. 1978 verabschiedete das amerikanische Parlament den "Solar Photovoltaic Energy Research, Development and Demonstration Act". Dieser beauftragte das Energieministerium, ein „aggressives For schungs-, Entwicklungs- und Demonstrationsprogramm" für photovoltaische Systeme durchzuführen mit dem Ziel, dass Sonnenstrom 1988 „mit Elektrizität aus dem öffentlichen Netz konkurrieren kann".

Hundertsechzig Millionen Dollar standen letztes Jahr der photovoltaischen Abteilung im amerikanischen Energieministerium zur Verfügung. Das ist dreimal so viel wie in der Schweiz für die Energieforschung insgesamt ausgegeben wird. Ein straffes Entwicklungsprogramm, in dessen Rahmen verschiedene Firmen um die besten Lösungen konkurrieren, dient dazu, die Kosten drastisch zu senken. Nach den Amerikanern starteten auch andere Staaten nationale Solarzellen-Forschungsprogramme: Frankreich und Japan begannen 1974, 1975 entschloss sich die Europäische Gemeinschaft, die photovoltaische Technik entschieden zu fördern, und 1977 folgte die Bundesrepublik mit einem bedeutenden Programm.

Aber nicht nur öffentliche Gelder sind in die Entwicklung geflossen. Vor allem auch die großen Ölgesellschaften haben viel eigenes Geld investiert, wieviel vermag niemand genau zu sagen. Insider schätzen, dass die privaten Aufwendungen bis heute insgesamt etwa gleich groß waren wie die öffentlichen.

Während noch 1975 ein Solarzellen-Panel 42 Dollar pro Watt Spitzenleistung kostete, muss man heute nur noch zwischen fünf und sieben Dollar dafür zahlen. Aber auch bei den heutigen Preisen finden Solarzellen nur für Spezialzwecke Anwendung. Damit sie einen wesentlichen Beitrag zur Energieversorgung leisten können, müssen die Preise noch um das fünf- bis zehnfache gesenkt werden.

"Wir brauchen dafür keinen technologischen Durchbruch", sagt Paul Maycock vom amerikanischen Energieministerium. Allein durch die zielstrebige Verbesserung vorhandener Techniken werde es möglich sein, die Preisziele der amerikanischen Regierung zu erreichen. Schon 1986 soll demnach eine Kilowattstunde Sonnenstrom in den Vereinigten Staaten 5 bis 9 Cents kosten, wenn sie aus einer kleinen Anlage auf dem Dach eines Wohnhauses stammt, und wäre damit konkurrenzfähig.

Manche von Maycocks Kollegen aus der Industrie sind nicht ganz so optimistisch, aber sogar zurückhaltende Europäer mussten einräumen, dass es Anfang der neunziger Jahre wohl so weit sein werde.

Wettrennen um die rentabelste Technik

Bei all diesen Berechnungen geht man von einer Verbesserung der heutigen Silizium-Zellen aus. Bisher verwendete man hochreines Ausgangsmaterial, wie es in der Halbleiterelektronik verwendet wird. Aus der flüssigen Siliziumschmelze wer- den mit hochkomplizierten Apparaturen armdicke, makellose Kristalle gezogen die anschließend unter großem

Material-Verlust in feine, zerbrechliche Scheiben zersägt werden. Diese Siliziumscheiben müssen dann mit anderen Materialien so behandelt werden, dass die lichtempfindliche, stromproduzierende Schicht entsteht. Schließlich werden Kontakte ange-bracht und jeweils rund fünfzig Zellen schlag- und wetterfest in einem ausgeklügelten Gehäuse verkapselt.

Bei jedem dieser Schritte sind große Einsparungen möglich: Auch weniger reines Silizium ist geeignet, das man nun in größeren Mengen billig zu produzieren versucht. Um das kostspielige Kristallziehen zu umgehen, sind der führende amerikanische Anbieter Solarex und die mit AEG zusammenarbeitende deutsche Wacker dazu übergegangen, polykristallines (aus vielen kleinen und verschiedenartigen Kristallen bestehendes) Material in speziellen Formen zu gießen. Um auch das aufwendige Sägen zu umgehen, arbeiten Firmen wie Westinghouse und Mobil Tyco daran, direkt aus der Schmelze dünne Silizium-Kristallschichten zu ziehen.

Eine Vielfalt von Unternehmungen und Instituten arbeitet mit ganz anderen Materialien. Da gibt es zum Beispiel schon erstaunlich billige Cadmiumsulfid- Zellen, deren Wirkungsgrad zwar nicht so hoch ist, die sich aber besonders einfach herstellen lassen: An einem Fließband werden mehrere dünne Schichten einfach auf große Glasscheiben aufgesprayt. Galliumarsenid-Zellen haben einen besonders hohen Wirkungsgrad, scheinen jedoch teuer zu sein. Viele dieser teilweise exotischen Materialien jedoch haben den Nachteil, dass sie nur in relativ begrenztem Umfang vorhanden und teilweise (wie z.B. Cadmium) recht giftig sind. Silizium dagegen steht praktisch unbegrenzt zur Verfügung: Dieses Element macht (z.B. in Form von Sand) gut ein Viertel der Erdkruste aus und stellt keine nennenswerten Umweltprobleme. Unter anderem deswegen setzen einige Forschergruppen auch auf eine neue Art von Siliziumzellen: amorphe (d.h. nicht kristalline) Silizium-Verbindungen können ebenfalls in sehr dünnen Schichten besonders einfach verarbeitet werden.

Fieberhaft wird in den verschiedensten Labors an den neuen Techniken gearbeitet. Die von den Regierungen mitfinanzierten Projekte sind halbwegs bekannt, aber einige Großkonzerne lassen sich gar nicht in die Karten schauen.

Einsatzmöglichkeiten des Sonnenstroms

Für rund 50 Millionen Dollar wurden letztes Jahr Solarzellen verkauft. Rund ein Zehntel davon ging im öffentlich finanzierte Demonstrationsprojekte, der Rest in eine Unzahl kleinerer Anlagen. Entlegene Fernmeldeanlagen, Alphütten, einsame Ferienhäuser, Warnbojen für die Schifffahrt, Nottelefone an Überlandstraßen, Korrosionsschutzanlagen für Pipelines und Brückenkonstruktionen werden heute schon kostengünstig mit Sonnenstrom versorgt. Überall wo nur kleine Leistungen benötigt werden und das öffentliche Netz weit entfernt ist, können Solarzellen unter Umständen wirtschaftlich sein. Wachsende Anwendungsmöglichkeiten ergeben sich bei sinkenden Preisen, vor allem in der Dritten Welt. Sonnenstromgetriebene Wasserpumpen und Radioverbindungen stoßen auf immer größeres Interesse. Je entlegener das Gebiet, desto günstiger wird die Sonnenzelle auch bei mittleren Leistungen. Gegenüber dem Dieselgenerator, der regelmäßig Treibstoffnachfuhr und Wartung braucht. Zehn Millionen solche Generatoren gibt es heute auf der Welt, und jährlich werden eine Million neu gekauft. Da rechnen sich die Hersteller von Solarzellen und zugehörigen Systemen riesige Absatzchancen aus.

Auch in den Industrieländern gibt es eine beachtliche Anzahl solcher Anwendungsmöglichkeiten in entlegenen Gebieten. Energiepolitisch von Bedeutung aber wird die Photovoltaik in

den industrialisierten Ländern erst dann, wenn sie auch in dichter besiedelten Gegenden konkurrenzfähig ist, wo bereits ein öffentliches Stromnetz existiert. Die Amerikaner unterscheiden hier im wesentlichen drei Kategorien von Anlagen.

- Zuallererst werden Kleinanlagen auf Wohnbauten rentabel sein, die keine zusätzliche Tragkonstruktion brauchen und über einen Stromwandler und Regler mit dem öffentlichen Netz verbunden sind. Fehlender Strom wird vom Betreiber aus dem Netz bezogen, überschüssiger eingespeist. Das öffentliche Netz funktioniert so als ausgleichender Speicher.
- Die zweite Kategorie, die das amerikanische Energieministerium, anvisiert, sind Anlagen mittlerer Leistung für Industrieanlagen und öffentliche Gebäudekomplexe.
- Schließlich denkt man auch an zentrale Sonnenkraftwerke, die eine zusätzliche Infrastruktur benötigen, deshalb teurer sind und erst später wirtschaftlich interessant werden.

Handfeste Interessen gegen den Sonnenstrom

Während amerikanische Fachleute davon ausgehen, dass solche Anlagen im Netzverbund schon in weniger als zehn Jahren rentabel sind, verschieben Vertreter der europäischen Industrie solche Perspektiven am liebsten in unbestimmte Zukunft. Zwar ist die durchschnittliche Sonneneinstrahlung in den USA ein wenig höher als in Europa, und im Süden liegen die Verbrauchsspitzen wegen der vielen Klimaanlagen im sonnenreichen Sommer und nicht wie bei uns im Winter. Aber diese Unterschiede können höchstens zur Folge haben, dass Sonnenstrom bei den erwarteten Preissenkungen hier erst drei. vier Jahre später rentabel ist als in den USA. Auffällig ist zudem, dass die europäische Industrie sich in ihren Preisprognosen nach außen hin wesentlich pessimistischer gibt. Das ist nicht nur unterschiedliches Temperament, sondern dahinter stecken handfeste Interessen.

Henry Durand, Präsident des französischen Commissariat à l'Energie Solaire, brachte die Gründe für seine zurückhaltende Einschätzung unverblümt auf einen Nenner: Sonnenstrom für das öffentliche Netz hat bei uns keine Chance, denn die Grenzkosten für Atomenergie sind praktisch gleich Null. meinte er. Das Kernenergieprogramm für Frankreich sei beschlossen, die notwendigen Kraftwerke würden ohnehin gebaut. Ganz so deutlich mag es sonst niemand sagen, aber während die amerikanische photovoltaische Industrie vor allem mit Ölkonzernen und auch Halbleiterherstellern verbunden ist, sind ihre europäischen Konkurrenten hauptsächlich Elektro- und Kraftwerkskonzerne, die kaum an einer Veränderung der heutigen Versorgungsstruktur interessiert sind. Exxon, Atlantic Richfield oder Texas Instruments kann es nur recht sein, mit der Photovoltaik in den Strommarkt einzudringen. AEG, Siemens oder CGE (Photowatt) sind nicht darauf erpicht, dass ihren herkömmlichen Produkten allzu schnell eine starke Konkurrenz erwächst. Was sie interessiert, ist vorläufig vor allem der riesige Markt in der Dritten Weil Und um den zu erreichen, müssen ihre Preise gar nicht so tief sinken.

An den von der Europäischen Gemeinschaft geplanten Demonstrationskraftwerken beteiligen sich die europäischen Elektrofirmen jedoch eifrig. Ende Februar wurden die Verhandlungen für 19 photovoltaische Anlagen mit Leistungen von 30 bis 300 Kilowatt abgeschlossen, die verteilt auf alle Länder der Europäischen Gemeinschaft zwischen Griechenland und Dänemark bis Mitte 1983 gebaut werden sollen. Der Strom wird der Versorgung isolierter Dörfer, Fernsehstationen und größerer Betriebe dienen oder an einigen Orten auch ins Netz eingespeist werden.

Hundert-Milliarden-Markt

Den Anschluss verpassen dürfen die Europäer nicht. Denn es geht, falls die wirtschaftliche Entwicklung ungestört wie bisher weiterlaufen sollte, um Abermilliarden. Monegon Ltd., eine Tochterfirma des unabhängigen, aber teilweise mit Ölgeldern finanzierten Branchenführers Solarex. hat in einer ausführlichen Marktstudie ein eindrucksvolles Szenario für eine starke Verbreitung der photovoltaischen Stromerzeugung in den USA entworfen. Danach werde die amerikanische Solarindustrie schon 1988 Solargeneratoren herstellen, deren Leistung, zusammengerechnet, einem Atomkraftwerk von der Größe Gösgens entspricht. Um die Jahrhundertwende werde die jährliche neu installierte Sonnenstromkapazität gar zweiunddreißig Atomkraftwerke aufwiegen. Im Jahr 2005 würden dann alle Solargeneratoren der USA zusammengenommen so viel Strom produzieren, wie heute in den Vereinigten Staaten insgesamt verbraucht wird. Diese Perspektive zeigt, um welche Größenordnungen es schon nächstens in der Solarindustrie geben könnte. Monegon rechnet für die Jahrhundertwende mit einem Markt von hundert Milliarden Dollar allein für die USA. Das ist gleichviel, wie das größte Unternehmen der westlichen Wirtschaft, der Exxon-Konzern, heute weltweit umsetzt.

Eine dezentrale Technik

Auch wenn diese Wachstumsphantasien oft technokratischem Denken entspringen, auch wenn sich gerade die größten, sonst auf zentrale Großtechnologie ausgerichteten Konzerne heute in der Solarzellentechnik engagieren, darf nicht übersehen werden, dass die Photovoltaik ihrem Wesen nach eine dezentrale Technik ist. Große Anlagen sind nicht wirtschaftlicher als kleine, im Gegenteil. Grundbaustein der photovoltaischen Generatoren sind bei allen Anlagengrößen handliche Platten (Panels), die aus dem Sonnenlicht direkt Strom erzeugen. Sie können beliebig zusammengeschaltet werden. Einzig die notwendigen Stromwandler werden bei größeren Anlagen im Verhältnis wohl günstiger sein. Das wird jedoch mehr als aufgewogen durch zusätzlich notwendige Infrastruktur und Übertragungsleitungen. Außer in den Städten kann mit Solarzellen der Strom im wesentlichen dort erzeugt werden, wo er verbraucht wird.

Das heißt aber auch, dass die Elektrizitätsgesellschaften an Macht verlieren würden. Vom konkurrenzlosen Hersteller und Verteiler elektrischer Energie würden sie deklassiert zum Vermittler zwischen verschiedenen Produzenten und Konsumenten. Dieselbe Frage stellt sich schon heute mit aller Heftigkeit bei der dezentralen Wärme-Kraft-Koppelung. Bisher konnten besonders in Europa die Elektrizitätsgesellschaften ihre Position recht erfolgreich verteidigen, indem sie sich weigerten, kleinen Stromproduzenten ihre Elektrizität zu interessanten Preisen abzukaufen. In den USA hingegen wurde vor einiger Zeit, ein Durchbruch erzielt, auf den auch die Ölgesellschaften ihre Erwartungen in die Solarelektrizität bauen: Ein neues Bundesgesetz verpflichten die Elektrizitätsgesellschaften, privaten, Stromproduzenten so viel zu zahlen, wie sie der Strom aus neuesten Kraftwerken zur gleichen Tageszeit selber kosten würde. Wenn auch die Anwendung der Solarzellen, dezentral erfolgt und den Stromkonsumenten ein wenig unabhängiger macht, wird jedoch die Herstellung dieser neuen technischen Wunderdinger möglicherweise in den Händen einiger weniger Firmen bleiben. Die Entwicklung neuartiger Herstellungsverfahren erfordert einen großen Kapitalaufwand. 1st die hochentwickelte Technik jedoch einmal bekannt, so sind die eigentlichen Produktionsanlagen gar nicht einmal, so teuer. Mit weniger als 50 Millionen Franken ließe sich möglicherweise eine rentable Produktionsanlage aufbauen, die ausgehend von rohem Silizium fertige Solarzellen-Panels herstellt.

Sonnenstrom für die Schweiz

Die Schweiz ist ein kleines, dichtbesiedeltes Land. Sicher lässt sich bei uns kein exponentielles Wachstum des Stromverbrauchs mit Hilfe der Sonne endlos befriedigen. Aber ein bedeutender Teil des heutigen Verbrauchs ließe sich ohne Probleme mit Solarstrom decken, insbesondere da wir mit den Wasserkraftwerken besonders günstige Speicher zur Verfügung haben. Eine Fläche von sechs mal vier Metern Sonnenzellen, liefert bei uns, über das Jahr gerechnet, genügend Strom (3000 kWh), um damit einen heutigen durchschnittlichen 4-Personen-Haushalt zu versorgen. Die langfristige Energieplanung sollte die Möglichkeit der umweltfreundlichen Stromerzeugung aus Sonnenlicht langsam ernst nehmen. Kürzlich hat die erste Solarzellenfabrik der Schweiz ihren Betrieb aufgenommen. Zwei kleinere welsche Elektrizitätswerke, die keine eigenen großen Kraftwerke besitzen, haben sich daran beteiligt. Möglicherweise sind es solch kleine Gesellschaften, die die erstarrten Strukturen unserer Elektrizitätswirtschaft in Bewegung bringen und umweltfreundlicheren Techniken zum Durchbruch verhelfen.

Ruggero Schleicher, Bern

Bern, Samstag, 11. April 1981 **Der Bund** Seite 2 132. Jahrgang Nr. 85

In Bälde Strom vom eigenen Dach?

Ölkonzerne wollen mit Solarzellen den Elektrizitätsmarkt revolutionieren

Ohne Abgase und Dampffahnen, ohne Turbinen und Kühltürme können Solarzellen direkt aus Sonnenlicht Strom machen. Noch wird diese Energiequelle in der Öffentlichkeit kaum zur Kenntnis genommen. An internationalen Fachkonferenzen jedoch ist man sich einig: In Zukunft wird die Photovoltaik eine ernstzunehmende Rolle spielen. Die amerikanische Regierung rechnet damit, dass sie in sieben bis zehn Jahren gegenüber anderen Arten der Stromerzeugung konkurrenzfähig ist. Nach Plänen der Industrie soll in den USA in 25 Jahren so viel Strom aus Sonnenlicht erzeugt werden, wie heute insgesamt verbraucht wird. In Entwicklungsländern, wo kein dichtes Stromnetz vorhanden ist, sind Solarzellen vielfach schon heute rentabel. Bezeichnenderweise hat besonders die Ölindustrie bereits riesige Summen in diese neue Technik investiert.

«Die Photovoltaik ist reif, um aus dem Kreis der Spezialisten herauszutreten und von den Leuten beachtet zu werden, die politische und wirtschaftliche Entscheidungen treffen», erklärte der zurückhaltende französische Regierungsvertreter im Herbst an der dritten Konferenz für photovoltaische Sonnenenergie der Europäischen Gemeinschaft (EG) in Cannes, zu der über 850 Fachleute und Industrievertreter gekommen waren. «Seit wir uns das letzte Mal getroffen haben», schwärmte sein Kollege Paul Maycock, Leiter der Abteilung für Solarzellen im amerikanischen Energieministerium, «ist ein solcher Sturzbach von Entwicklungen über uns hereingebrochen, dass es meiner Meinung nach keine Möglichkeit gibt, die Photovoltaik daran zu hindern, schon 1985 eine überall vorhandene, erneuerbare Energiequelle für Elektrizität für Wohnhäuser, Industriebauten, Dörfer und zentrale Kraftwerke zu werden.» Was besonders in Europa noch weitherum als ferne Utopie abgetan wird, ist für die Sonnenstromspezialisten in greifbare Nähe gerückt.

Ziel: 1988 konkurrenzfähig

Angefangen hatte es mit den Sonnenzellen schon in den vierziger Jahren. Photoelemente aus Selen wurden als Belichtungsmesser verwendet. Bereits 1941 experimentierte man mit Siliziumzellen. Aber erst nach dem Aufschwung der Halbleitertechnik mit der Erfindung des Transistors 1948 kam man weiter voran: 1954 gelang es, den Wirkungsgrad der Silizium-Zelle wesentlich zu erhöhen. Schon 1955 wurde probehalber eine ländliche Telefonleitung mit Solarstrom betrieben. Grössere Anwendung jedoch fanden die Solarzellen wegen ihrer astronomischen Kosten nur in der Raumfahrt. Der 1958 gestartete Satellit Vanguard I

Energy Research, Development and Demonstration Act. Dieser beauftragte das Energieministerium, ein «aggressives Forschungs-, Entwicklungs- und Demonstrationsprogramm» für photovoltaische Systeme durchzuführen mit dem Ziel, dass Sonnenstrom 1988 «mit Elektrizität aus dem öffentlichen Netz konkurrieren kann».

Hundertsechzig Millionen Dollar standen letztes Jahr der photovoltaischen Abteilung im amerikanischen Energieministerium zur Verfügung. Das ist ungefähr dreimal so viel wie in der Schweiz für die Energieforschung insgesamt ausgegeben wird. Ein straffes Entwicklungsprogramm, in dessen Rahmen verschiedene Firmen um die besten Lösungen konkurrieren, dient dazu, die Kosten drastisch zu senken. Nach den Amerikanern starteten auch andere Staaten nationale Solarzellen-Forschungsprogramme: Frankreich und Japan begannen 1974, 1975 entschloss sich die Europäische Gemeinschaft, die photovoltaische Technik entschieden zu fördern, und 1977 folgte die Bundesrepublik mit einem bedeutenden Programm.

Aber nicht nur öffentliche Gelder sind in die Entwicklung geflossen. Vor allem auch die grossen Ölgesellschaften haben viel eigenes Geld investiert, wieviel vermag niemand genau zu sagen. Insider schätzen, dass die privaten Aufwendungen bis heute insgesamt etwa gleich gross waren wie die öffentlichen.

Während noch 1975 ein Solarzellen-Panel 42 Dollar pro Watt Spitzenleistung kostete, muss man heute nur noch zwischen fünf und sieben Dollar dafür zahlen. Aber auch bei den heutigen Preisen finden Solarzellen nur für Spezialzwecke Anwendung. Damit sie einen wesentlichen Beitrag zur Energieversorgung leisten können, müssen die Preise noch um das fünf- bis zehnfache gesenkt werden. «Wir brauchen dafür keinen technologischen Durchbruch», sagt Paul Maycock vom ameriknischen Energieministerium. Allein durch die zielstrebige Verbesserung vorhandener Techniken werde es möglich sein, die Preisziele der amerikanischen Regierung zu erreichen. Schon 1986 soll demnach eine Kilowattstunde Sonnenstrom in den Vereinigten Staaten 5 bis 9 Cents kosten, wenn sie aus einer kleinen Anlage auf dem Dach eines Wohnhauses stammt, und wäre damit konkurrenzfähig.

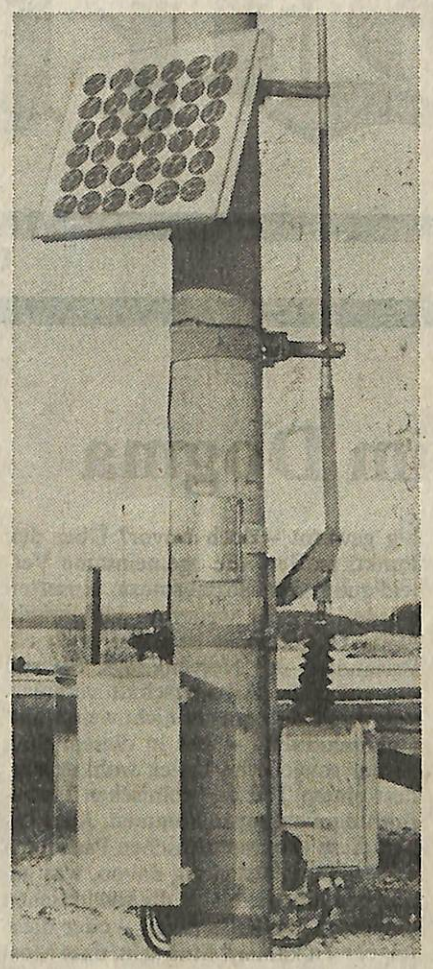
Manche von Maycocks Kollegen aus der Industrie sind nicht ganz so optimistisch, aber sogar zurückhaltende Europäer mussten einräumen, dass es Anfang der neunziger Jahre wohl so weit sein werde.

Bei all diesen Berechnungen geht man von einer Verbesserung der heutigen Silizium-Zellen aus. Bisher verwendete man hochreines Ausgangsmaterial, wie es in der Halbleiterelektronik verwendet wird. Aus der flüssigen Siliziumschmelze werden mit hochkomplizierten Apparaturen armdicke, makellose Kristalle gezogen, die anschliessend unter grossem Materialverlust in feine, zerbrechliche Scheiben zersägt werden. Diese Siliziumscheiben müssen dann mit anderen Materialien so behandelt werden, dass die lichtempfindliche, stromproduzierende Schicht entsteht. Schliesslich werden Kontakte angebracht und jeweils rund fünfzig Zellen schlag- und wetterfest in einem ausgeklügelten Gehäuse verkapselt.

Bei jedem dieser Schritte sind grosse Einsparungen möglich: Auch weniger reines Silizium ist geeignet, das man nun in grösseren Mengen billig zu produzieren versucht. Um das kostspielige Kristallziehen zu umgehen, sind der führende amerikanische Anbieter Solarex und die mit AEG zusammenarbeitende deutsche Wacker dazu übergegangen, polykristallines (aus vielen kleinen und verschiedenartigen Kristallen bestehendes) Material in speziellen Formen zu giessen. Um auch das aufwendige Sägen zu umgehen, arbeiten Firmen wie Westinghouse und Mobil Tyco daran, direkt aus der Schmelze dünne Silizium-Kristallschichten zu ziehen.

Eine Vielfalt von Unternehmungen und Instituten arbeitet mit ganz anderen Materialien. Da gibt es zum Beispiel schon erstaunlich billige Cadmiumsulfid-Zellen, deren Wirkungsgrad zwar nicht so hoch ist, die sich aber besonders einfach herstellen lassen: An einem Fliessband werden mehrere dünne Schichten einfach auf grosse Glasscheiben aufgesprayt. Galliumarsenid-Zellen haben einen besonders hohen Wirkungsgrad, scheinen jedoch teuer zu sein. Viele dieser teilweise exotischen Materialien jedoch haben den Nachteil, dass sie nur in relativ begrenztem Umfang vorhanden und teilweise (wie z. B. Cadmium) recht giftig sind. Silizium dagegen steht praktisch unbegrenzt zur Verfügung: Dieses Element macht (z. B. in Form von Sand) gut ein Viertel der Erdkruste aus und stellt keine nennenswerten Umweltprobleme. Unter anderem deswegen setzen einige Forschergruppen auch auf eine neue Art von Siliziumzellen: amorphe (d. h. nicht kristalline) Silizium-Verbindungen können ebenfalls in sehr dünnen Schichten besonders einfach verarbeitet werden.

Fieberhaft wird in den verschiedensten Labors an den neuen Techniken gearbeitet. Die von den Regierungen mitfinanzierten Projekte sind halbwegs bekannt, aber einige Grosskonzerne lassen sich gar nicht in die Karten schauen.



Versorgung eines funkgesteuerten Trennschalters des Elektrizitätswerks des Kantons Freiburg mit Sonnenstrom.

Während amerikanische Fachleute davon ausgehen, dass solche Anlagen im Netzverbund schon in weniger als zehn Jahren rentabel sind, verschieben Vertreter der europäischen Industrie solche Perspektiven am liebsten in unbstimmte Zukunft. Zwar ist die durchschnittliche Sonneneinstrahlung in den USA ein wenig höher als in Europa, und im Süden liegen die Verbrauchsspitzen wegen der vielen Klimaanlagen im sonnenreichen Sommer und nicht wie bei uns im Winter. Aber diese Unterschiede können höchstens zur Folge haben, dass Sonnenstrom bei den erwarteten Preissenkungen hier erst drei, vier Jahre später rentabel ist als in den USA. Auffällig ist zudem, dass die europäische Industrie sich in ihren Preisprognosen nach aussen hin wesentlich pessimistischer gibt. Das ist nicht nur unterschiedliches Temperament, sondern dahinter stecken handfeste Interessen.

Henry Durand, Präsident des französischen Commissariat à l'Energie Solaire, brachte die Gründe für seine zurückhaltende Einschätzung unverblümt auf einen Nenner: Sonnenstrom für das öffentliche Netz hat bei uns keine Chance, denn die Grenzkosten für Atomenergie sind praktisch gleich Null, meinte er. Das Kernenergieprogramm für Frankreich sei beschlossen, die notwendigen Kraftwerke würden ohnehin gebaut. Ganz so deutlich

gebaut werden sollen. Der Strom wird der Versorgung isolierter Dörfer, Fernsehstationen und grösserer Betriebe dienen oder an einigen Orten auch ins Netz eingespeist werden.

Hundert-Millionen-Markt

Den Anschluss verpassen dürfen die Europäer nicht. Denn es geht, falls die wirtschaftliche Entwicklung ungestört wie bisher weiterlaufen sollte, um Abermilliarden. Monegon Ltd., eine Tochterfirma des unabhängigen, aber teilweise mit Ölgeldern finanzierten Branchenführers Solarex, hat in einer ausführlichen Marktstudie ein eindrucksvolles Szenario für eine starke Verbreitung der photovoltaischen Stromerzeugung in den USA entworfen. Danach werde die amerikanische Solarindustrie schon 1988 Solargeneratoren herstellen, deren Leistung, zusammengerechnet, einem Atomkraftwerk von der Grösse Gösgens entspricht. Um die Jahrhundertwende werde die jährliche neu installierte Sonnenstromkapazität gar zweiunddreissig Atomkraftwerke aufwiegen. Im Jahr 2005 würden dann alle Solargeneratoren der USA zusammengenommen so viel Strom produzieren, wie heute in den Vereinigten Staaten insgesamt verbraucht wird.

Diese Perspektive zeigt, um welche Grössenordnungen es schon nächstens in der Solarindustrie geben könnte. Monegon rechnet für die Jahrhundertwende mit einem Markt von hundert Millionen Dollar allein für die USA.

Eine dezentrale Technik

Auch wenn diese Wachstumsphantasien oft technokratischem Denken entspringen, auch wenn sich gerade die grössten, sonst auf zentrale Grosstechnologie ausgerichteten Konzerne heute in der Solarzellentechnik engagieren, darf nicht übersehen werden, dass die Photovoltaik ihrem Wissen nach eine dezentrale Technik ist. Grosse Anlagen sind nicht wirtschaftlicher als kleine, im Gegenteil. Grundbaustein der photovoltaischen Generatoren sind bei allen Anlagengrössen handliche Platten (Panels), die aus dem Sonnenlicht direkt Strom erzeugen. Sie können beliebig zusammengeschaltet werden. Einzig die notwendigen Stromwandler werden bei grösseren Anlagen im Verhältnis wohl günstiger sein. Das wird jedoch mehr als aufgewogen durch zusätzlich notwendige Infrastruktur und Übertragungsleitungen. Ausser in den Städten kann mit Solarzellen der Strom im wesentlichen dort erzeugt werden, wo er verbraucht wird.

Das heisst aber auch, dass die Elektrizitätsgesellschaften an Macht verlieren würden. Vom konkurrenzlosen Hersteller und Verteiler elektrischer Energie würden sie deklassiert zum Vermittler zwischen verschiedenen Produzenten und Konsumenten. Dieselbe Frage stellt sich schon heute mit aller Heftigkeit bei der dezentralen Wärme-Kraft-Koppelung. Bisher

Einsatzmöglichkeiten des Sonnenstroms

ischen Gemeinschaft (EG) in Cannes, zu der über 850 Fachleute und Industrievertreter gekommen waren. «Seit wir uns das letzte Mal getroffen haben», schwärmte sein Kollege Paul Maycock, Leiter der Abteilung für Solarzellen im amerikanischen Energieministerium, «ist ein solcher Sturzbach von Entwicklungen über uns hereingebrochen, dass es meiner Meinung nach keine Möglichkeit gibt, die Photovoltaik daran zu hindern, schon 1985 eine überall vorhandene, erneuerbare Energiequelle für Elektrizität für Wohnhäuser, Industriebauten, Dörfer und zentrale Kraftwerke zu werden.» Was besonders in Europa noch weitherum als ferne Utopie abgetan wird, ist für die Sonnenstromspezialisten in greifbare Nähe gerückt.

Ziel: 1988 konkurrenzfähig

Angefangen hatte es mit den Sonnenzellen schon in den vierziger Jahren. Photoelemente aus Selen wurden als Belichtungsmesser verwendet. Bereits 1941 experimentierte man mit Siliziumzellen. Aber erst nach dem Aufschwung der Halbleitertechnik mit der Erfindung des Transistors 1948 kam man weiter voran: 1954 gelang es, den Wirkungsgrad der Silizium-Zelle wesentlich zu erhöhen. Schon 1955 wurde probehalber eine ländliche Telefonleitung mit Solarstrom betrieben. Grössere Anwendung jedoch fanden die Solarzellen wegen ihrer astronomischen Kosten nur in der Raumfahrt. Der 1958 gestartete Satellit Vanguard I wurde bereits damit ausgerüstet. Grossflächige Solarzellen-Panels, die oft aussehen wie Windmühlenflügel, liefern seit Jahren den Strom für Telefon- und Fernsehverbindungen über Satelliten zwischen den Kontinenten.

Die Energiekrise 1973 gab den Anstoss, dass man sich vermehrt dafür interessierte, ob sich die Solarzellen nicht auch auf der Erde nutzbringend anwenden liessen. Im Oktober 1973 berief die National Science Foundation eine Konferenz ein, an der der Grundstein für das spätere National Photovoltaic-Program gelegt wurde. 1978 verabschiedete das amerikanische Parlament den «Solar Photovoltaic

viel eigenes Geld investiert, wieviel vermag niemand genau zu sagen. Insider schätzen, dass die privaten Aufwendungen bis heute insgesamt etwa gleich gross waren wie die öffentlichen.

Während noch 1975 ein Solarzellen-Pa- [illegible] kostete, muss man heute nur noch zwischen fünf und sieben Dollar dafür zahlen. Aber auch bei den heutigen Preisen finden Solarzellen nur für Spezialzwecke Anwendung. Damit sie einen wesentlichen Beitrag zur Energieversorgung leisten können, müssen die Preise noch um das fünf- bis zehnfache gesenkt werden. «Wir brauchen dafür keinen technologischen Durchbruch», sagt Paul Maycock vom ameriknischen Energieministerium. Allein durch die zielstrebige Verbesserung vorhandener Techniken werde es möglich sein, die Preisziele der amerikanischen Regierung zu erreichen. Schon 1986 soll demnach eine Kilowattstunde Sonnenstrom in den Vereinigten Staaten 5 bis 9 Cents kosten, wenn sie aus einer kleinen Anlage auf dem Dach eines Wohnhauses stammt, und wäre damit konkurrenzfähig.

Manche von Maycocks Kollegen aus der Industrie sind nicht ganz so optimistisch, aber sogar zurückhaltende Europäer mussten einräumen, dass es Anfang der neunziger Jahre wohl so weit sein werde.

Bei all diesen Berechnungen geht man

Tyco daran, direkt aus der Schmelze dünne Silizium-Kristallschichten zu ziehen.

Eine Vielfalt von Unternehmungen und Instituten arbeitet mit ganz anderen Materialien. Da gibt es zum Beispiel schon erstaunlich billige Cadmiumsulfid-Zellen, deren Wirkungsgrad zwar nicht so hoch ist, die sich aber besonders einfach herstellen lassen: An einem Fliessband werden mehrere dünne Schichten einfach auf grosse Glasscheiben aufgesprayt. Galliumarsenid-Zellen haben einen besonders hohen Wirkungsgrad, scheinen jedoch teuer zu sein. Viele dieser teilweise exotischen Materialien jedoch haben den Nachteil, dass sie nur in relativ begrenztem Umfang vorhanden und teilweise (wie z. B. Cadmium) recht giftig sind. Silizium dagegen steht praktisch unbegrenzt zur Verfügung: Dieses Element macht (z. B. in Form von Sand) gut ein Viertel der Erdkruste aus und stellt keine nennenswerten Umweltprobleme. Unter anderem deswegen setzen einige Forschergruppen auch auf eine neue Art von Siliziumzellen: amorphe (d. h. nicht kristalline) Silizium-Verbindungen können ebenfalls in sehr dünnen Schichten besonders einfach verarbeitet werden.

Fieberhaft wird in den verschiedensten Labors an den neuen Techniken gearbeitet. Die von den Regierungen mitfinanzierten Projekte sind halbwegs bekannt, aber einige Grosskonzerne lassen sich gar nicht in die Karten schauen.

Einsatzmöglichkeiten des Sonnenstroms

Für rund 50 Millionen Dollar wurden letztes Jahr Solarzellen verkauft. Rund ein Zehntel davon ging in öffentlich finanzierte Demonstratonsprojekte, der Rest in eine Unzahl kleiner Anlagen. Entlegene Fernmeldeanlagen, Alphütten, einsame Ferienhäuser, Warnbojen für die Schiffahrt, Nottelefone an Überlandstrassen, Korrosionsschutzanlagen für Pipelines und Brückenkonstruktionen werden heute schon kostengünstig mit Sonnenstrom versorgt. Überall, wo nur kleine Leistungen benötigt werden und das öffentliche Netz weit entfernt ist, können Solarzellen unter Umständen wirtschaftlich sein. Wachsende Anwendungsmöglichkeiten ergeben sich bei sinkenden Preisen vor allem in der Dritten Welt. Sonnenstromgetriebene Wasserpumpen und Radioverbindungen stossen auf immer grösseres Interesse. Je entlegener das Gebiet, desto günstiger wird die Sonnenzelle auch bei mittleren Leistungen gegenüber dem Dieselgenerator, der regelmässig Treibstoffnachfuhr und Wartung braucht. Zehn Millionen solche Generatoren gibt es heute auf der Welt, und jährlich wird eine Million neu gekauft. Da rechnen sich die Hersteller von Solarzellen und zugehörigen Systemen riesige Absatzchancen aus.

Auch in den Industrieländern gibt es eine beachtliche Anzahl solcher Anwendungsmöglichkeiten in entlegenen Gebieten. Energiepolitisch von Bedeutung aber wird die Photovoltaik in den industrialisierten Ländern erst dann, wenn sie auch in dichter besiedelten Gegenden konkurrenzfähig ist, wo bereits ein öffentliches Stromnetz existiert. Die Amerikaner unterscheiden hier im wesentlichen drei Kategorien von Anlagen:

- Zuallerst werden Kleinanlagen in Wohnbauten rentabel sein, die keine zusätzliche Tragkonstruktion brauchen und über einen Stromwandler und Regler mit dem öffentlichen Netz verbunden sind. Fehlender Strom wird vom Betreiber aus dem Netz bezogen, überschüssiger eingespeist. Das öffenltiche Netz funktioniert so als ausgleichender Speicher.

- Die zweite Kategorie, die das amerikanische Energieministerium anvisiert, sind Anlagen mittlerer Leistung für Industrieanlagen und öffentliche Gebäudekomplexe.

- Schliesslich denkt man auch an zentrale Sonnenkraftwerke, die eine zusätzliche Infrastruktur benötigen, deshalb teurer sind und erst später wirtschaftliche interessant werden.

Versorgung eines funkgesteuerten Trennschalters des Elektrizitätswerks des Kantons Freiburg mit Sonnenstrom.

Während amerikanische Fachleute davon ausgehen, dass solche Anlagen im [illegible] Jahren rentabel sind, verschieben Vertreter der europäischen Industrie solche Perspektiven am liebsten in unbstimmte Zukunft. Zwar ist die durchschnittliche Sonneneinstrahlung in den USA ein wenig höher als in Europa, und im Süden liegen die Verbrauchsspitzen wegen der vielen Klimaanlagen im sonnenreichen Sommer und nicht wie bei uns im Winter. Aber diese Unterschiede können höchstens zur Folge haben, dass Sonnenstrom bei den erwarteten Preissenkungen hier erst drei, vier Jahre später rentabel ist als in den USA. Auffällig ist zudem, dass die europäische Industrie sich in ihren Preisprognosen nach aussen hin wesentlich pessimistischer gibt. Das ist nicht nur unterschiedliches Temperament, sondern dahinter stecken handfeste Interessen.

Henry Durand, Präsident des französischen Commissariat à l'Energie Solaire, brachte die Gründe für seine zurückhaltende Einschätzung unverblümt auf einen Nenner: Sonnenstrom für das öffentliche Netz hat bei uns keine Chance, denn die Grenzkosten für Atomenergie sind praktisch gleich Null, meinte er. Das Kernenergieprogramm für Frankreich sei beschlossen, die notwendigen Kraftwerke würden ohnehin gebaut. Ganz so deutlich mag es sonst niemand sagen, aber während die amerikanische photovoltaische Industrie vor allem mit Ölkonzernen und auch Halbleiterherstellern verbunden ist, sind ihre europäischen Konkurrenten hauptsächlich Elektro- und Kraftwerkskonzerne, die kaum an einer Veränderung der heutigen Versorgungsstruktur interessiert sind. Exxon, Atlantic Richfield oder Texas Instruments kann es nur recht sein, mit der Photovoltaik in den Strommarkt einzudringen. AEG, Siemens oder CGE (Photowatt) sind nicht darauf erpicht, dass ihren herkömmlichen Produkten allzuschnell eine starke Konkurrenz erwächst. Was sie interessiert, ist vorläufig vor allem der riesige Markt in der Dritten Welt. Und um den zu erreichen, müssen ihre Preise gar nicht so tief sinken.

An den von der Europäischen Gemeinschaft geplanten Demonstrationskraftwerke beteiligen sich die europäischen Elektrofirmen jedoch eifrig. Ende Februar wurden die Verhandlungen für 19 phtovoltaische Anlagen mit Leistungen von 30 bis 300 Kilowatt abgeschlossen, die verteilt auf alle Länder der Europäischen Gemeinschaft zwischen Griechenland und Dänemark bis Mitte 1983

Dollar allein für die USA.

Eine dezentrale Technik

Auch wenn diese Wachstumsphantasien oft technokratischem Denken ent- [illegible] grössten, sonst auf zentrale Grosstechnologie ausgerichteten Konzerne heute in der Solarzellentechnik engagieren, darf nicht übersehen werden, dass die Photovoltaik ihrem Wissen nach eine dezentrale Technik ist. Grosse Anlagen sind nicht wirtschaftlicher als kleine, im Gegenteil. Grundbaustein der photovoltaischen Generatoren sind bei allen Anlagengrössen handliche Platten (Panels), die aus dem Sonnenlicht direkt Strom erzeugen. Sie können beliebig zusammengeschaltet werden. Einzig die notwendigen Stromwandler werden bei grösseren Anlagen im Verhältnis wohl günstiger sein. Das wird jedoch mehr als aufgewogen durch zusätzlich notwendige Infrastruktur und Übertragungsleitungen. Ausser in den Städten kann mit Solarzellen der Strom im wesentlichen dort erzeugt werden, wo er verbraucht wird.

Das heisst aber auch, dass die Elektrizitätsgesellschaften an Macht verlieren würden. Vom konkurrenzlosen Hersteller und Verteiler elektrischer Energie würden sie deklassiert zum Vermittler zwischen verschiedenen Produzenten und Konsumenten. Dieselbe Frage stellt sich schon heute mit aller Heftigkeit bei der dezentralen Wärme-Kraft-Koppelung. Bisher konnten besonders in Europa die Elektrizitätsgesellschaften ihre Position recht erfolgreich verteidigen, indem sie sich weigerten, kleinen Stromproduzenten ihre Elektrizität zu interessanten Preisen abzukaufen. In den USA hingegen wurde vor einiger Zeit ein Durchbruch erzielt, auf den auch die Ölgesellschaften ihre Erwartungen in die Solarelektrizität bauen: Ein neues Bundesgesetz verpflichtet die Elektrizitätsgesellschaften, privaten Stromproduzenten soviel zu zahlen, wie sie der Strom aus neuesten Kraftwerken zur gleichen Tageszeit selber kosten würde.

Wenn auch die Anwendung der Solarzellen dezentral erfolgt und den Stromkonsumenten ein wenig unabhängiger macht, wird jedoch die Herstellung dieser neuen technischen Wunderdinger möglicherweise in den Händen einiger weniger Firmen bleiben. Die Entwicklung neuartiger Herstellungsverfahren erfordert einen grossen Kapitalaufwand. Ist die hochentwickelte Technik jedoch einmal bekannt, so sind die eigentlichen Produktionsanlagen gar nicht einmal so teuer. Mit weniger als 50 Mio Franken liesse sich möglicherweise eine rentable Produktionsanlage aufbauen, die, ausgehend von rohem Silizium, fertige Solarzellen-Panels herstellt.

Eine bescheidene Solarzellenanlage an einem abgelegenen Chalet in den Schweizer Alpen. (rus)

Sonnenstrom auch für die Schweiz

Die Schweiz ist ein kleines, dichtbesiedeltes Land. Sicher lässt sich bei uns kein exponentielles Wachstum des Stromverbrauchs mit Hilfe der Sonne endlos befriedigen. Aber ein bedeutender Teil des heutigen Verbrauchs liesse sich ohne Probleme mit Solarstrom decken, insbesondere da wir mit den Wasserkraftwerken besonders günstige Speicher zur Verfügung haben. Eine Fläche von sechs mal vier Metern Sonnenzellen, liefert bei uns, über das Jahr gerechnet, genügend Strom (3000 kWh), um damit einen heutigen durchschnittlichen 4-Personen-Haushalt zu versorgen. Die langfristige Energieplanung sollte die Möglichkeit der umweltfreundlichen Stromerzeugung aus Sonnenlicht langsam ernst nehmen. Kürzlich hat die erste Solarzellenfabrik der Schweiz ihren Betrieb aufgenommen. Zwei kleinere welsche Elektrizitätswerke, die keine eigenen grossen Kraftwerke besitzen, haben sich daran beteiligt. Möglicherweise sind es solch kleine Gesellschaften, die die erstarrten Strukturen unserer Elektrizitätswirtschaft in Bewegung bringen und umweltfreundlicheren Techniken zum Durchbruch verhelfen.

Ruggero Schleicher, Bern

Energie

In zehn Jahren Strom vom eigenen Dach

Der Elektrizitätswirtschaft steht eine grundlegende Umwälzung bevor. Immer deutlicher zeigt sich, dass die Stromproduktion in dezentralen kleinen Einheiten nicht nur umweltfreundlicher, sondern auch wirtschaftlicher wäre, als in immer gigantischeren Grosskraftwerken. Heute dreht sich die Diskussion um die dezentrale Wärme-Kraft-Koppelung. Noch wichtiger aber wird auf die Länge die direkte Elektrizitätserzeugung aus Sonnenlicht sein. Ohne Abgase und Dampffahnen, ohne Turbinen und Kühltürme können Solarzellen direkt aus Sonnenlicht Strom machen. Noch wird diese Energiequelle in der Oeffentlichkeit kaum zur Kenntnis genommen. Fachkreise jedoch sind sich einig: In Zukunft wird die Photovoltaik eine ernstzunehmende Rolle spielen. Die amerikanische Regierung rechnet damit, dass sie in sieben bis zehn Jahren gegenüber anderen Arten der Stromerzeugung konkurrenzfähig ist. In Entwicklungsländern, wo kein dichtes Stromnetz vorhanden ist, sind Solarzellen vielfach schon heute rentabel. Besonders die Oelindustrie hat bereits riesige Summen in diese neue Technik investiert.

Die Photovoltaik ist reif, um aus dem Kreis der Spezialisten herauszutreten und von den Leuten beachtet zu werden, die politische und wirtschaftliche Entscheidungen treffen», erklärte der zurückhaltende französische Regierungsvertreter im Herbst an der dritten Konferenz für photovoltaische Sonnenenergie der Europäischen Gemeinschaften in Cannes, zu der über 850 Fachleute und Industrievertreter gekommen waren. «Seit wir uns das letztemal getroffen haben», schwärmte sein Kollege Paul Maycock, Leiter der Abteilung für Solarzellen im amerikanischen Energieministerium, «ist ein solcher Sturzbach von Entwicklungen über uns hereingebrochen, dass es meiner Meinung nach keine Möglichkeit gibt, die Photovoltaik daran zu hindern, schon 1985 eine überall vorhandene, erneuerbare Energiequelle für Elektrizität für Wohnhäuser, Industriebauten, Dörfer und zentrale Kraftwerke zu werden.» Was besonders in Europa noch weitherum als ferne Utopie abgetan wird, ist für die Sonnenstromspezialisten in greifbare Nähe gerückt.

Politiker und Journalisten haben sich noch kaum für diese aussichtsreiche Energiequelle interessiert, obwohl sie sich langsam mit diesem Thema befassen müssten: Wenn neueste Berechnungen kalifornischer Elektrizitätswerke über die Gestehungskosten von Strom aus neuen Atom- und Kohlekraftwerken wirklich stimmten, dann seien auch zentrale Sonnenkraftwerke schon wirtschaftlich, bevor ein heute beschlossenes Atom- oder Kohlekraftwerk den Betrieb aufnehmen könne, sagt Paul Maycock.

In zehn Jahren Strom vom eigenen Dach

Angefangen hatte es mit den Sonnenzellen schon in den vierziger Jahren. Photoelemente aus Selen wurden als Belichtungsmesser verwendet. Bereits 1941 experimentierte man mit Siliziumzellen. Aber erst nach dem Aufschwung der Halbleitertechnik mit der Erfindung des Transistors 1948 kam man weiter voran: 1954 gelang es, den Wirkungsgrad der Silizium-Zelle wesentlich zu erhöhen. Schon 1955 wurde probehalber eine ländliche Telefonleitung mit Solarstrom betrieben. Grössere Anwendung jedoch fanden die Sonnenzellen wegen ihrer astronomischen Kosten nur in der Raumfahrt. Der 1958 gestartete Satellit Vanguard I wurde bereits damit ausgerüstet. Grossflächige Solarzellen-Panels, die oft aussehen wie Windmühlenflügel, liefern seit Jahren den Strom für Telefon- und Fernsehverbindungen über Satelliten zwischen den Kontinenten.

Die Elektrowatt will sich rechtzeitig auf den kommenden Boom vorbereiten. Auf dem Dach ihres Verwaltungsgebäudes in Zürich hat die Ingenieurunternehmung eine Versuchsanlage aufgestellt. Kurzfristig interessiert sie vor allem das Geschäft mit der Dritten Welt.

Während noch 1975 ein Solarzellen-Panel 42 Dollar pro Watt Spitzenleistung kostete, muss man heute nur noch zwischen fünf und sieben Dollar dafür zahlen. Aber auch bei den heutigen Preisen finden Solarzellen nur für Spezialzwecke Anwendung. Damit sie einen wesentlichen Beitrag zur Energieversorgung leisten können, müssen die Preise noch um das fünf- bis zehnfache gesenkt werden. «Wir brauchen dafür keinen technologischen Durchbruch», sagt Paul Maycock vom amerikanischen Energieministerium. Allein durch die zielstrebige Verbesserung vorhandener Techniken werde es möglich sein, die Preisziele der amerikanischen Regierung zu erreichen. Schon 1986 soll demnach eine Kilowattstunde Sonnenstrom in den Vereinigten Staaten 5 bis 9 Cents kosten, wenn sie aus einer kleinen Anlage auf dem Dach eines Wohnhauses stammt, und wäre damit konkurrenzfähig.

Manche von Maycocks Kollegen aus der Industrie sind nicht ganz so optimistisch, aber sogar zurückhaltende Europäer mussten einräumen, dass es Anfang der neunziger Jahre wohl so weit sein werde.

Wettrennen um die rentabelste Technik

Bei all diesen Berechnungen geht man von einer Verbesserung der heutigen Siliziumzellen aus. Bisher verwendete man hochreines Ausgangsmaterial, wie es in der Halbleiterelektronik verwendet wird. Aus der flüssigen Siliziumschmelze werden mit hochkomplizierten Apparaturen armdicke, makellose Kristalle gezogen, die anschliessend unter grossem Materialverlust in feine, zerbrechliche Scheiben zersägt werden. Diese Siliziumscheiben müssen dann mit anderen Materialien so behandelt werden, dass die lichtempfindliche, stromproduzierende Schicht entsteht. Schliesslich werden Kontakte angebracht und jeweils rund fünfzig Zellen schlag- und

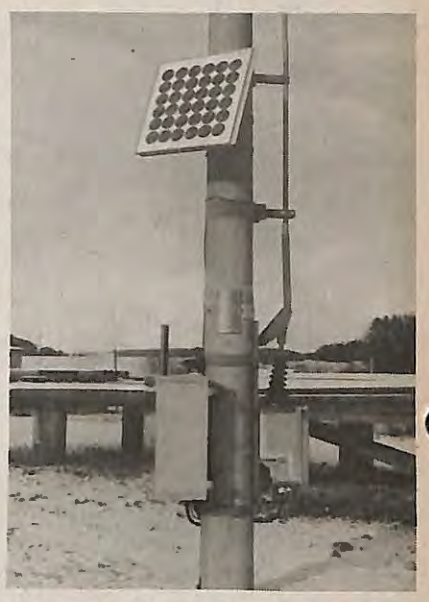
pelines und Brückenkonstruktionen werden heute schon kostengünstig mit Sonnenstrom versorgt. Ueberall wo nur kleine Leistungen benötigt werden und das öffentliche Netz weit entfernt ist, können Solarzellen unter Umständen wirtschaftlich sein. Wachsende Anwendungsmöglichkeiten ergeben sich bei sinkenden Preisen vor allem in der Dritten Welt. Sonnenstromgetriebene Wasserpumpen und Radioverbindungen stossen auf immer grösseres Interesse. Je entlegener das Gebiet, desto günstiger wird die Sonnenzelle auch bei mittleren Leistungen gegenüber dem Dieselgenerator, der regelmässig Treibstoffnachfuhr und Wartung braucht. Zehn Millionen solche Generatoren gibt es heute auf der Welt, und jährlich werden eine Million neu gekauft. Da rechnen sich die Hersteller von Solarzellen und zugehörigen Systemen riesige Absatzchancen aus.

Auch in den Industrieländern gibt es eine beachtliche Anzahl solcher Anwendungsmöglichkeiten in entlegenen Gebieten. Energiepolitisch von Bedeutung aber wird die Photovoltaik in den industrialisierten Ländern erst dann, wenn sie auch in dichter besiedelten Gegenden konkurrenzfähig ist, wo bereits ein öffentliches Stromnetz existiert. Die Amerikaner unterscheiden hier im wesentlichen drei Kategorien von Anlagen. Zuallererst werden Kleinanlagen auf Wohnbauten rentabel sein, die keine zusätzliche Tragkonstruktion brauchen und über einen Stromwandler und Regler mit dem öffentlichen Netz verbunden sind. Fehlender Strom wird vom Betreiber aus dem Netz bezogen, überschüssiger eingespeist. Das öffentliche Netz funktioniert so als ausgleichender Speicher.

Die zweite Kategorie, die das amerikanische Energieministerium anvisiert, sind Anlagen mittlerer Leistung für Industrieanlagen und öffentliche Gebäudekomplexe. Schliesslich denkt man auch an zentrale Sonnenkraftwerke, die eine zusätzliche Infrastruktur benötigen, deshalb teurer sind und erst später wirtschaftlich interessant werden.

Handfeste Interessen gegen den Sonnenstrom

Während amerikanische Fachleute davon ausgehen, dass solche Anlagen im Netzverbund schon in weniger als zehn Jahren rentabel sind, verschieben Vertreter der europäischen Industrie solche Perspektiven am liebsten in unbestimmte Zukunft. Zwar ist die durchschnittliche Sonneneinstrahlung in den USA ein wenig höher als in Europa, und im Süden liegen die



Sogar einzelne Stromversorgungsunternehmen beginnen sich für den künftigen Konkurrenten zu interessieren. Hier hat das Elektrizitätswerk des Kantons Freiburg Sonnenstrom zur unabhängigen Versorgung eines funkgesteuerten Trennschalters im Mittelspannungsnetz eingesetzt.

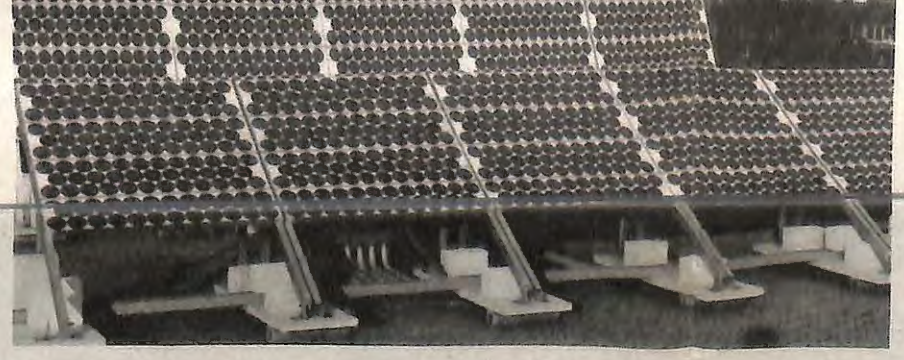
aber während die amerikanische photovoltaische Industrie vor allem mit Oelkonzernen und auch Halbleiterherstellern verbunden ist, sind ihre europäischen Konkurrenten hauptsächlich Elektro- und Kraftwerkskonzerne, die kaum an einer Veränderung der heutigen Versorgungsstruktur interessiert sind. Exxon, Atlantic Richfield oder Texas Instruments kann es nur recht sein, mit der Photovoltaik in den Strommarkt einzudringen. AEG, Siemens oder CGE (Photowatt) sind nicht darauf erpicht, dass ihren herkömmlichen Produkten allzuschnell eine starke Konkurrenz erwächst. Was sie interessiert, ist vorläufig vor allem der riesige Markt in der Dritten Welt. Und um den zu erreichen, müssen ihre Preise gar nicht so tief sinken.

An den von der Europäischen Gemeinschaft geplanten Demonstrationskraftwerken beteiligen sich die europäischen Elektrofirmen jedoch eifrig. Ende Februar wurden die Verhandlungen für 19 photovoltaische Anlagen mit Leistungen von 30 bis 300 Kilowatt abgeschlossen, die verteilt auf alle Länder der Europäischen Gemeinschaft zwischen Griechenland und Dänemark bis Mitte 1983 gebaut werden sollen. Der Strom wird der Versorgung isolierter Dörfer, Fernsehstationen und grösserer Betriebe dienen oder an einigen Orten auch ins Netz eingespeist werden.

Entwicklungen über uns hereingebrochen, dass es meiner Meinung nach keine Möglichkeit gibt, die Photovoltaik daran zu hindern, schon 1985 eine überall vorhandene, erneuerbare Energiequelle für Elektrizität für Wohnhäuser, Industriebauten, Dörfer und zentrale Kraftwerke zu werden.»

Was besonders in Europa noch weitherum als ferne Utopie abgetan wird, ist für die Sonnenstromspezialisten in greifbare Nähe gerückt.

Politiker und Journalisten haben sich noch kaum für diese aussichtsreiche Energiequelle interessiert, obwohl sie sich langsam mit diesem Thema befassen müssten: Wenn neueste Berechnungen kalifornischer Elektrizitätswerke über die Gestehungskosten von Strom aus neuen Atom- und Kohlekraftwerken wirklich stimmten, dann seien auch zentrale Sonnenkraftwerke schon wirtschaftlich, bevor ein heute beschlossenes Atom- oder Kohlekraftwerk den Betrieb aufnehmen könne, sagt Paul Maycock.



Die Elektrowatt will sich rechtzeitig auf den kommenden Boom vorbereiten. Auf dem Dach ihres Verwaltungsgebäudes in Zürich hat die Ingenieurunternehmung eine Versuchsanlage aufgestellt. Kurzfristig interessiert sie vor allem das Geschäft mit der Dritten Welt.

In zehn Jahren Strom vom eigenen Dach

Angefangen hatte es mit den Sonnenzellen schon in den vierziger Jahren. Photoelemente aus Selen wurden als Belichtungsmesser verwendet. Bereits 1941 experimentierte man mit Siliziumzellen. Aber erst nach dem Aufschwung der Halbleitertechnik mit der Erfindung des Transistors 1948 kam man weiter voran: 1954 gelang Raumfahrt. Der 1958 gestartete Satellit Vanguard I wurde bereits damit ausgerüstet. Grossflächige Solarzellen-Panels, die oft aussehen wie Windmühlenflügel, liefern seit Jahren den Strom für Telefon- und Fernsehverbindungen über Satelliten zwischen den Kontinenten.

Während noch 1975 ein Solarzellen-Panel 42 Dollar pro Watt Spitzenleistung kostete, muss man heute nur noch zwischen fünf und sieben Dollar dafür zahlen. Aber auch bei den heutigen Preisen finden Solarzellen nur für Spezialzwecke Anwendung. Damit sie einen wesentlichen Beitrag zur Energieversorgung leisten können, müssen die Preise noch um das fünf- bis zehnfache gesenkt werden. «Wir zu erreichen. Schon 1986 soll demnach eine Kilowattstunde Sonnenstrom in den Vereinigten Staaten 5 bis 9 Cents kosten, wenn sie aus einer kleinen Anlage auf dem Dach eines Wohnhauses stammt, und wäre damit konkurrenzfähig.

Manche von Maycocks Kollegen aus der Industrie sind nicht ganz so optimistisch, aber sogar zurückhaltende Europäer mussten einräumen, dass es Anfang der neunziger Jahre wohl so weit sein werde.

Wettrennen um die rentabelste Technik

Bei all diesen Berechnungen geht man von einer Verbesserung der heutigen Siliziumzellen aus. Bisher verwendete man hochreines Ausgangsmaterial, wie es in der Halbleiterelektronik verwendet wird. Aus der flüssigen Siliziumschmelze werden mit hochkomplizierten Apparaturen armdicke, makellose Kristalle gezogen, die anschliessend unter grossem Materialverlust in feine, zerbrechliche Scheiben zersägt werden. Diese Siliziumscheiben müssen dann mit anderen Materialien so behandelt werden, dass die lichtempfindliche, stromproduzierende Schicht entsteht. Schliesslich werden Kontakte angebracht und jeweils rund fünfzig Zellen schlag- und wetterfest in einem ausgeklügelten Gehäuse verkapselt.

Bei jedem dieser Schritte sind grosse Einsparungen möglich: Auch weniger reines Silizium ist geeignet, das man nun in grösseren Mengen billig zu produzieren versucht. Um das kostspielige Kristallziehen zu umgehen, sind der führende amerikanische Anbieter Solarex und die mit AEG zusammenarbeitende deutsche Wacker dazu übergegangen, polykristallines Material in speziellen Formen zu giessen. Um auch das aufwendige Sägen zu umgehen, arbeiten Firmen wie Westinghouse und Mobil Tyco daran, direkt aus der Schmelze dünne Silizium-Kristallschichten zu ziehen. Eine Vielfalt von Unternehmen und Instituten arbeitet mit ganz anderen Materialien.

Einsatzmöglichkeiten des Sonnenstroms

Für rund 50 Millionen Dollar wurden letztes Jahr Solarzellen verkauft. Rund ein Zehntel davon ging in öffentlich finanzierte Demonstrationsprojekte, der Rest in eine Unzahl kleiner Anlagen. Entlegene Fernmeldeanlagen, Alphütten, einsame Ferienhäuser, Warnbojen für die Schiffahrt, Nottelefone an Ueberlandstrassen, Korrosionsschutzanlagen für Pi-

Sonnenzellen werden heute vor allem in entlegenen Gebieten eingesetzt: Gipfelstürmer Reinhold Messner mit einem Sonnenzellen-Funkgerät.

(Foto: AEG-Telefunken)

dem öffentlichen Netz verbunden sind. Fehlender Strom wird vom Betreiber aus dem Netz bezogen, überschüssiger eingespeist. Das öffentliche Netz funktioniert so als ausgleichender Speicher.

Die zweite Kategorie, die das amerikanische Energieministerium anvisiert, sind Anlagen mittlerer Leistung für Industrieanlagen und öffentliche Gebäudekomplexe. Schliesslich denkt man auch an zentrale Sonnenkraftwerke, die eine zusätzliche Infrastruktur benötigen, deshalb teurer sind und erst später wirtschaftlich interessant werden.

Handfeste Interessen gegen den Sonnenstrom

Während amerikanische Fachleute davon ausgehen, dass solche Anlagen im Netzverbund schon in weniger als zehn Jahren rentabel sind, verschieben Vertreter der europäischen Industrie solche Perspektiven am liebsten in unbestimmte Zukunft. Zwar ist die durchschnittliche Sonneneinstrahlung in den USA ein wenig höher als in Europa, und im Süden liegen die

Wachsender Beliebtheit erfreuen sich Solarzellen (im Vordergrund am Dachrand) für eine bescheidene Stromversorgung von entlegenen Chalets in den Schweizer Alpen. Rund zehn Jahre wird es noch dauern, bis auch die Häuser im Unterland an der Reihe sind.

Verbrauchsspitzen wegen der vielen Klimaanlagen im sonnenreichen Sommer und nicht wie bei uns im Winter. Aber diese Unterschiede können höchstens zur Folge haben, dass Sonnenstrom bei den erwarteten Preissenkungen hier erst drei, vier Jahre später rentabel ist, als in den USA. Auffällig ist zudem, dass die europäische Industrie sich in ihren Preisprognosen nach aussen hin wesentlich pessimistischer gibt. Das ist nicht nur unterschiedliches Temperament, sondern dahinter stecken handfeste Interessen.

Henry Durand, Präsident des französischen Commissariat de l'Energie Solaire brachte die Gründe für seine zurückhaltende Einschätzung unverblümt auf einen Nenner: Sonnenstrom für das öffentliche Netz hat bei uns keine Chance, denn die Grenzkosten für Atomenergie sind praktisch gleich Null, meinte er. Das Kernenergieprogramm für Frankreich sei beschlossen, die notwendigen Kraftwerke würden ohnehin gebaut. Ganz so deutlich mag es sonst niemand sagen, der heutigen Versorgungsstruktur interessiert sind. Exxon, Atlantic Richfield oder Texas Instruments kann es nur recht sein, mit der Photovoltaik in den Strommarkt einzudringen. AEG, Siemens oder CGE (Photowatt) sind nicht darauf erpicht, dass ihren herkömmlichen Produkten anzuschnell eine starke Konkurrenz erwächst. Was sie interessiert, ist vorläufig vor allem der riesige Markt in der Dritten Welt. Und um den zu erreichen, müssen ihre Preise gar nicht so tief sinken.

An den von der Europäischen Gemeinschaft geplanten Demonstrationskraftwerken beteiligen sich die europäischen Elektrofirmen jedoch eifrig. Ende Februar wurden die Verhandlungen für 19 photovoltaische Anlagen mit Leistungen von 30 bis 300 Kilowatt abgeschlossen, die verteilt auf alle Länder der Europäischen Gemeinschaft zwischen Griechenland und Dänemark bis Mitte 1983 gebaut werden sollen. Der Strom wird der Versorgung isolierter Dörfer, Fernsehstationen und grösserer Betriebe dienen oder an einigen Orten auch ins Netz eingespeist werden.

Hundert-Milliarden-Markt erwartet

Den Anschluss verpassen dürfen die Europäer nicht. Denn es geht, falls die wirtschaftliche Entwicklung ungestört wie bisher weiterlaufen sollte, um Abermilliarden. Monegon Ltd., eine Tochterfirma des unabhängigen, aber teilweise mit Oelgeldern finanzierten Branchenführers Solarex, hat in einer ausführlichen Marktstudie ein eindrucksvolles Szenario für eine starke Verbreitung der photovoltaischen Stromerzeugung in den USA entworfen. Schon 1988 würde demnach die amerikanische Solarindustrie Solargeneratoren herstellen, deren Leistung zusammengerechnet einem Atomkraftwerk von der Grösse Gösgens entspricht. Um die Jahrhundertwende würde die jährlich neu installierte Sonnenstromkapazität gar zweiunddreissig Atomkraftwerke aufwiegen. Im Jahr 2005 würden dann alle Solargeneratoren der USA zusammengenommen soviel Strom produzieren, wie heute in den Vereinigten

Staaten insgesamt verbraucht wird.
Diese Perspektive zeigt, um welche Grössenordnungen es schon nächstens in der Solarindustrie gehen könnte. Monegon rechnet für die Jahrhundertwende mit einem Markt von hundert Milliarden Dollar allein für die USA. Das ist gleichviel, wie das grösste Unternehmen der westlichen Wirtschaft, der Exxon-Konzern, heute weltweit umsetzt.

Eine dezentrale Technik

Auch wenn diese Wachstumsphantasien oft technokratischem Denken entspringen und auch wenn gerade die grössten, sonst auf zentrale Grosstechnologie ausgerichteten Konzerne sich heute in der Solarzellentechnik engagieren, darf nicht übersehen werden, dass die Photovoltaik ihrem Wesen nach eine dezentrale Technik ist. Grosse Anlagen sind nicht wirtschaftlicher als kleine, im Gegenteil. Grundbaustein der photovoltaischen Generatoren sind bei allen Anlagegrössen handliche Platten (Panels), die aus dem Sonnenlicht direkt Strom erzeugen. Sie können beliebig zusammengeschaltet werden. Einzig die notwendigen Stromwandler werden bei grösseren Anlagen im Verhältnis wohl günstiger sein. Das wird jedoch mehr als aufgewogen durch zusätzlich notwendige Infrastruktur und Uebertragungsleitungen. Ausser in den Städten kann mit Solarzellen der Strom im wesentlichen dort erzeugt werden, wo er verbraucht wird.
Das heisst aber auch, dass die Elektrizitätsgesellschaften an Macht verlieren würden. Vom konkurrenzlosen Hersteller und Verteiler elektrischer Enerie würden sie deklassiert zum Vermittler zwischen verschiedenen Produzenten und Konsumenten. Dieselbe Frage stellt sich schon heute mit aller Heftigkeit bei der dezentralen Wärme-Kraft-Koppelung. Bisher konnten besonders in Europa die Elektrizitätsgesellschaften ihre Position recht erfolgreich verteidigen, indem sie sich weigerten, kleinen Stromproduzenten ihre Elektrizität zu interessanten Preisen abzukaufen. In den USA hingegen wurde vor einiger Zeit ein Durchbruch erzielt, auf den auch die Oelgesellschaften ihre Erwartungen in die Solarelektrizität bauen: Ein neues Bundesgesetz verpflichtet die Elektrizitätsgesellschaften, privaten Stromproduzenten soviel zu zahlen, wie sie der Strom aus neuesten Kraftwerken zur gleichen Tageszeit selber kosten würde.
Wenn auch die Anwendung der Solarzellen dezentral erfolgt und den Stromkonsumenten ein wenig unabhängiger macht, wird jedoch die Herstellung dieser neuen technischen Wunderdinger möglicherweise in den Händen einiger weniger Firmen bleiben. Die Entwicklung neuartiger Herstellungsverfahren erfordert einen grossen Kapitalaufwand. Ist die hochentwickelte Technik jedoch einmal bekannt, so sind die eigentlichen Produktionsanlagen gar nicht einmal so teuer. Mit weniger als 50 Millionen Franken liesse sich möglicherweise eine rentable Produktionsanlage aufbauen, die ausgehend von rohem Silizium fertige Solarzellen-Panels herstellt.

Sonnenstrom auch für die Schweiz

Die Schweiz ist ein kleines, dichtbesiedeltes Land. Sicher lässt sich bei uns kein exponentielles Wachstum des Stromverbrauchs mit Hilfe der Sonne endlos befriedigen. Aber ein bedeutender Teil des heutigen Verbrauchs liesse sich ohne Probleme mit Solarstrom decken, insbesondere da wir mit den Wasserkraftwerken besonders günstige Speicher zur Verfügung haben. Eine Fläche von sechs mal vier Metern Sonnenzellen liefert bei uns über das Jahr gerechnet genügend Strom (3000 kWh), um damit einen heutigen durchschnittlichen 4-Personen-Haushalt zu versorgen. Die langfristige Energieplanung sollte die Möglichkeit der umweltfreundlichen Stromerzeugung aus Sonnenlicht langsam ernst nehmen. Kürzlich hat die erste Solarzellenfabrik der Schweiz ihren Betrieb aufgenommen. Zwei kleinere welsche Elektrizitätswerke, die keine eigenen grossen Kraftwerke besitzen, haben sich daran beteiligt. Möglicherweise sind es solch kleine Gesellschaften, die die erstarrten Strukturen unserer Elektrizitätswirtschaft in Bewegung bringen und umweltfreundlicheren Techniken zum Durchbruch verhelfen.

Ruggero Schleicher, Schribstube Bern