

„Sonnenwärme, Sonnenlicht – Geschichte der Solarenergie-Forschung“

Gerhard Mener. Stadtwerke Leipzig GmbH. Eutritzscher Str. 17-19. 04105 Leipzig

Do not cite or quote without permission of the author

1. Einleitung

Seit der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts wurden große Hoffnungen in die regenerativen Energien gesetzt. Wissenschaftler, aber auch Publizisten und Politiker forderten ihre vermehrte Anwendung und dachten dabei auch über die Nutzung von Solarthermie und Photovoltaik nach. Es blieb nicht nur bei großen Plänen. Die Verfahren zur Sonnenenergienutzung, deren Entwicklung und Vermarktung heute besonders intensiv vorangetrieben werden, waren damals zum Teil sogar schon in der Phase der Markteinführung. Die erste solar beheizte Dampfmaschine wurde 1866 in Gegenwart des französischen Kaisers Napoleon des III. in Betrieb genommen. Bis 1900 waren in Südkalifornien bereits 1.600 Flachkollektoren zur Bereitstellung von Niedertemperaturwärme verkauft worden. Bei der Photovoltaik war man zwar noch nicht ganz so weit. An Siliziumzellen wurde erst seit 1953 ernsthaft gearbeitet. Aber seit der Wiederentdeckung des photovoltaischen Effekts durch den britischen Ingenieur Willoughby Smith in den 1860er Jahren setzte man häufig große Hoffnungen in die photovoltaische Nutzung der Sonnenenergie.

Angesichts dieser Zeugnisse stellt man sich die Frage, warum die frühen Ansätze so wenig genutzt wurden, dass der Anteil regenerativer Energien am Primärenergieverbrauch der Bundesrepublik Deutschland 1998 immer noch erst

etwas über 2 Prozent betrug und zum größten Teil von Wasserkraft, Windturbinen und Biomasseanlagen abgedeckt wurde.

Die bis heute vergleichsweise geringe Nutzung der Solarenergie kann kaum an mangelnder Grundlagenforschung von Wissenschaftlern und Ingenieuren gelegen haben. Die Verfahren, auf die man heute die größten Hoffnungen setzt, sind in ihren Grundzügen schon lange bekannt. In den letzten dreißig Jahren sind ihre Grundlagen besonders intensiv erforscht worden.

Das Problem kann auch nicht in der Vermarktung liegen. Bis zu den 1970er Jahren entstand nämlich nur in Ausnahmefällen ein Markt für Solartechnik. Seitdem gab es zwar Ansätze einer Markteinführung. Aber auch diese blieben bis zum Beginn der 1990er Jahre in ihren Anfängen stecken. Die entscheidenden Probleme der Solarforschung müssen also irgendwo zwischen dem Labor und der Vermarktung gelegen haben. Ihnen soll hier nachgespürt werden.

Einen Ansatz, um die Abläufe zwischen Labor und Markt zu verstehen, bietet das von Nathan Rosenberg entwickelte Konzept des „Learning by Using“, das der amerikanische Ökonom 1982 in seinem Buch „Inside the Black Box“ vorgestellt hat. Demnach bilden die Verbesserungen, die sich aus der praktischen Nutzung einer Technologie ergeben, einen wichtigen Markstein im Entwicklungsprozess der Technik. Dieses Lernen aus der Anwendung – oder vielmehr sein Fehlen – war einer der entscheidenden Gründe, warum die Option Solartechnik bisher kaum genutzt wurde.

Bei der Beschäftigung mit dem Erfahrungslernen liegt der Schwerpunkt auf der deutschen Entwicklung. Für die Zeit bis 1970 werden aber auch Beispiele aus den USA und den europäischen Kolonien herangezogen, da die deutschen Anstrengungen in diesem Zeitraum besonders spärlich waren. Nach einem einführenden Abschnitt, der die Aufwertung der Solartechnik an der Wende vom 19. zum 20. Jahrhundert schildert, werden zunächst die Rolle des Erfahrungslernens bei einer gescheiterten Markteinführung, in den etablierten wissenschaftlichen Institutionen sowie schließlich bei erfolgreichen Markteinführungen vor 1970 behandelt. Im Anschluss daran wird untersucht, welche Bedeutung das Erfahrungslernen seit den 1970er Jahren in der Solarforschung hatte. 1986 bildet eine Zäsur in der Entwicklung, da seitdem, entscheidend beeinflusst durch den Bewusstseinswandel, zu dem es im Zusammenhang mit Tschernobyl kam, ein Aufschwung der Solartechnik begonnen hat, dessen Ergebnis heute noch nicht abzusehen ist.

2. Aufwertung der Solartechnik im 19. Jahrhundert

Doch nun zurück zu den Anfängen. Die Schilderung des Erfahrungslernens zwischen Labor und Markt beginnt mit einem wissenschaftlichen Umbruch in der Mitte des 19. Jahrhunderts. Die Erkenntnisse, die in der physikalischen Diskussion der 1840er und 1850er Jahre gewonnen und später als die beiden Hauptsätze der Thermodynamik

zusammengefasst wurden, führten zu einer anderen Auffassung von Energie. Während die prinzipielle Begrenztheit der Energie in den vorhergehenden Jahrhunderten noch nicht deutlich geworden war, setzte insbesondere die im zweiten thermodynamischen Hauptsatz formulierte Erkenntnis neue Rahmenbedingungen für die energiepolitische Debatte. Denn nun musste bei der Bewertung eines Energieträgers eigentlich auch dessen Begrenztheit mitgedacht werden. Im Deutschen Reich fand dieser Gedanke allerdings erst seit den 1870er Jahren größere Aufmerksamkeit. Die Gründerkrise bildete einen Anstoß, sich mit der Endlichkeit der Energievorräte sowie der Nutzung regenerativer Energien und Energieeinsparungstechniken als möglicher Gegenmaßnahmen zu beschäftigen. Im Rahmen dieser thermodynamischen Diskussion gewann die direkte Sonnenenergienutzung an der Wende vom 19. zum 20. Jahrhundert an Bedeutung. Nicht nur der Physikochemiker Wilhelm Ostwald, sondern auch der Sozialist August Bebel und der Science-Fiction-Autor Kurt Lasswitz setzten sich mit dieser Option auseinander. Ostwald sagte 1909 „Die dauerhafte Wirtschaft muss ausschließlich auf die regelmäßige Benutzung der jährlichen Strahlungsenergie begründet werden...und wenn ich mir ein Bild von der künftigen künstlichen Verwertung der Sonnenstrahlen machen will, so nimmt es die Züge eines photoelektrischen Apparates an.“ Bebel wies in der fünfzigsten Auflage seines Buches „Die Frau und der Sozialismus“ im Jahr 1909 darauf hin, dass mit der Sonnenenergie ausreichende Energievorräte für die Verwirklichung des Sozialismus zur Verfügung stünden. Ähnlich zeichnete Kurt Lasswitz ein

Bild der Zukunft, in dem die Sonnenergienutzung eine wichtige Rolle spielte. In seinem Roman „Auf zwei Planeten“, den der Science-Fiction-Autor erstmals 1897 veröffentlichte, schilderte er den Kontakt der Marsbewohner mit der Erde. Die Außerirdischen können die Erde unterwerfen, da sie aufgrund ihrer thermischen Solarkraftwerke mit konzentrierenden Spiegeln ein Übermaß an Energie zur Verfügung haben.

3. Untergang im Wüstensand: Solarthermische Kraftwerke

Die Konstrukteure solarthermischer Kraftwerke gehörten zu den ersten, in deren Arbeit sich die geschilderte Aufwertung der Solarenergie niederschlug. Ähnlich wie die Teilnehmer des thermodynamischen Diskurses planten sie, ihre Technik in unerschlossenen Gebieten wie den europäischen Kolonien oder dem Südwesten der USA einzusetzen. 1860 begann Augustin Mouchot, ein französischer Gymnasiallehrer für Physik und Chemie, mit seinen Arbeiten. 1866 führte er in Anwesenheit des Kaisers Napoleon des III. die erste bisher bekannte solarbetriebene Dampfmaschine vor. In den 1870er Jahren entwickelte der Erfinder ein Verfahren, bei dem der Dampfkessel in der Brennlinie eines konischen Reflektors angebracht wurde. 1878 feierte Mouchot mit diesem Design seinen größten Erfolg. Er stellte auf der Pariser Weltausstellung einen nach diesem Prinzip gebauten Apparat aus, der Dampf mit einem Druck von sieben Atmosphären erzeugte.

Konkurrenz erhielt Mouchot, der mit seinen Anlagen auf die europäischen Kolonien abzielte, vor allem in den USA. John Ericsson, ein bekannter Erfinderunternehmer, der im Bürgerkrieg für die Konföderierten ein eisernes Schlachtschiff konstruiert hatte, ging mit seinen Arbeiten zur Solartechnik erstmals 1868 an die Öffentlichkeit und bemühte sich bis zu seinem Tod im Jahr 1889 darum, die Solarkraftwerke weiter zu verbessern. Wie ein Bild aus dem Jahr 1884 zeigt, benutzte der US-Amerikaner einen Reflektor, der die Sonnenstrahlung auf ein Wärmeträgerrohr konzentrierte. Ähnlich wie Ericsson stellten auch die späteren amerikanischen Solarkraftwerkskonstrukteure nicht die europäischen Kolonien, sondern den Südwesten der USA als künftigen Markt heraus, wo ihre solaren Dampfmaschinen Wasserpumpen antreiben sollten. Um die Jahrhundertwende bevorzugten die Entwickler dabei Flachkollektoren anstatt konzentrierender Kollektoren.

Frank Shuman, ein Erfinderunternehmer aus Philadelphia an der Ostküste der Vereinigten Staaten, folgte zunächst dem dominierenden Ansatz und stellte 1907 ein mit Flachkollektoren ausgerüstetes Demonstrationskraftwerk fertig. Zwischen 1909 und 1911 änderte der Amerikaner allerdings seine Strategie. Zusammen mit einer Gruppe britischer Investoren errichtete Shuman ein Demonstrationskraftwerk am Nil in Ägypten. Die 1912 in Betrieb genommene Anlage, die in ihrer ursprünglichen Auslegung eine Dampfturbine mit einer Maximalleistung von 120 PS betreiben sollte, wurde auf Anregung eines britischen Sachverständigen mit Parabolrinnenkollektoren ausgerüstet. Auf

Bildern erhalten sind unter anderem eine Kollektorreihe sowie eine Gesamtansicht des Kollektorfeldes und des Maschinenhauses.

Einige der Bilder stammen von Wilhelm Maier, einem deutschen Solarforscher, der Shumans Anlage 1914 besuchte. Maier arbeitete mit dem Stuttgarter Ingenieur Adolf Remshardt seit 1906 an der Planung eines Solarkraftwerks mit rinnenförmigen Parabolspiegeln. 1909 legten die beiden schwäbischen Erfinder ein Konzept für ein 300-PS-Solarkraftwerk in den Kolonien vor.

Konfrontiert mit diesen Projekten fragt man sich, warum es keinem der Erfinder gelang, seine Anlagen weiterzuentwickeln und in den Markt einzuführen? In den Wüsten Afrikas oder des amerikanischen Südwestens, wo Kohle zu Beginn des 20. Jahrhunderts aufgrund der hohen Transportkosten besonders teuer war, wäre doch durchaus Gelegenheit dazu gewesen? Die Antwort auf diese Fragen hängt damit zusammen, dass die Konstrukteure die Probleme der Systementwicklung nicht in den Griff bekamen. Einzelkomponenten waren nicht auf die Leistung der Gesamtanlage ausgelegt, die Wasserpumpen waren nicht auf die solarbetriebenen Dampfmaschinen abgestimmt, schadhafte Ventile oder Leckagen im Kraftwerkskreislauf verringerten die Leistung des Gesamtsystems.

Diese Probleme waren nun Wasser auf den Mühlen von Kritikern der neuen Technologie, die behaupteten, dass die Solarkraftwerke nicht wirtschaftlich seien. Die Anlagen würden, so argumentierten die Gegner unter

Verweis auf die technischen Mängel, die von ihren Konstrukteuren angegebene Leistung gar nicht erreichen. Die Reputation der neuen Technik sank dadurch so weit ab, dass einige Konstrukteure von Solarkraftwerken vereinbarten, möglichst wenig öffentliche Aufmerksamkeit für ihre Arbeit zu suchen. Die durch die technischen Probleme genährte Kritik war ausschlaggebend dafür, dass sich potenzielle staatliche Geldgeber zurückzogen. So entschied zum Beispiel der französische Staat 1882 nach einer Prüfung durch zwei Expertenkommissionen, die Solarkraftwerke von Mouchots Assistenten Pifre, die dieser inzwischen weiterentwickelt hatte, nicht beim geplanten Bau einer Eisenbahn durch die Sahara einzusetzen. Ähnlich verweigerten die englischen Beamten noch vor dem Ausbruch des Ersten Weltkriegs die Unterstützung für eine weitere von Shuman geplante Demonstrationsanlage. Ohne Fördergelder war der Bau weiterer Testanlagen nicht möglich, in denen die Konstrukteure Abhilfe für die Systemprobleme hätten finden können.

4. Desinteresse in der Wissenschaft

Bisher wurden Bemühungen einzelner Forscher vorgestellt, deren Projekte nicht in die Institutionen der etablierten Wissenschaft eingebunden waren. Vereinzelte Bemühungen, die Solarforschung dort zu verankern, gab es in Deutschland seit dem Ersten Weltkrieg. In München versuchten ein freiberuflicher Chemiker und ein Beamter der neuen revolutionären Administration seit 1919, ein

Solarforschungsinstitut zu gründen. Trotz positiver Reaktionen von Innenminister Erhard Auer, dem Gegenspieler des Ministerpräsidenten Kurt Eisner, und trotz mehrerer Konferenzen in verschiedenen Ministerien gelang es allerdings nicht, die Ministerialbürokratie zu überzeugen. Diese sah in der Wasser- und Windkraft sowie in der effizienten Energienutzung einen rascheren Ausweg aus der damaligen Kohlekrise. Außerdem enthielten die Stellungnahmen der meisten um Rat gefragten Wissenschaftler – die Bandbreite der angesprochenen Gutachter reichte von Fritz Haber bis zu Walter Nernst – negative Voten. Die Forscher lehnten eine Beschäftigung mit der Solartechnik unter anderem deswegen ab, weil Deutschland nach dem Verlust der Kolonien keine Anwendungsgebiete mehr für die Solartechnik habe.

Diese Auffassung war auch nach dem Zweiten Weltkrieg noch lebendig. Als im Deutschen Nationalen Komitee der Weltkraftkonferenz, in dem die Spitzen der bundesdeutschen Energieforschung und –wirtschaft versammelt waren, zu Beginn der 1950er Jahre über die Option Solarforschung diskutiert wurde, lehnten die Mitglieder dies aus denselben Gründen ab wie nach dem Ersten Weltkrieg: Solartechnik sei für Deutschland ungeeignet, da das Land keine Anwendungsgebiete für diese Technik habe. In der deutschen Energiewirtschaft und –forschung war die Solartechnik also in den 1950er Jahren schon seit längerem keine ernsthafte Zukunftsalternative mehr. Somit bot sich in den Einrichtungen der etablierten Wissenschaft kein Raum, in dem das notwendige Erfahrungslernen hätte stattfinden können.

5. Erfahrungslernen bei der erfolgreichen Vermarktung vor 1970

Wie wichtig das Erfahrungslernen war, kann man nicht nur an gescheiterten, sondern auch an zumindest zeitweise erfolgreichen Anstrengungen zur Vermarktung einzelner Verfahren vor den 1970er Jahren erkennen. Ein Beispiel hierfür sind die Solarkollektoren. Zu Beginn der 1890er Jahre von einem Heizungsbauer an der amerikanischen Ostküste entwickelt, wurden sie seit 1895 in Kalifornien vermarktet, da mit der Erschließung des Südwestens die Annehmlichkeiten der Zivilisation, darunter auch das warme Wasser, für die Siedler immer wichtiger wurden. Trotz der hohen Preise, die sie für ihre Technik verlangten, hatten die Kollektorhändler im Südwesten und seit den 1930er Jahren auch im Südosten der USA Erfolg, da die Kollektoren die Energiedienstleistung warmes Wasser für den Verbraucher sehr bequem bereitstellten: Es musste nun nicht mehr erst ein Ofen oder später ein Elektroheizgerät vorgewärmt werden. Hinzu kam, dass die Händler Gelegenheit hatten, ihre Kollektoren parallel zur Vermarktung weiterzuentwickeln, um die gewonnene Praxiserfahrung umzusetzen: Zur verbesserten Wärmedämmung ragte der Kollektorkasten bald nicht mehr aus dem Dach heraus, sondern er wurde bündig auf eine Ebene mit der Dachabdeckung gelegt. Die Trennung von Kollektorkreislauf und Warmwasserkreislauf des Hauses ermöglichte den Einsatz von Frostschutzmittel im Kollektor. Solche Innovationen trugen zu dem

Boom bei, auf dessen Höhepunkt im Südwesten der dortige Marktführer, die Day and Night Solar Heater Company, im Jahr 1920 2.000 Kollektoren absetzte. Im Südosten der Vereinigten Staaten, wo die Entwicklung etwas später begann, wurden zwischen 1935 und 1941 sogar mehr als 25.000 Kollektorsysteme verkauft.

Auch beim Transfer der Photovoltaik aus dem Labor in den Markt spielte das Erfahrungslernen schon vor den 1970er Jahren eine wichtige Rolle. Seit der Entdeckung des photoelektrischen Effekts im Selen durch den englischen Ingenieur Willoughby Smith in den 1860er Jahren wurden immer wieder große Hoffnungen darauf gesetzt, diesen Effekt für die Energiewirtschaft zu nutzen. 1931 kam es beispielsweise, ausgelöst durch einen amerikanischen Zeitungsbericht über die Entwicklung einer Kupferoxydulphotozelle durch Bruno Lange, einen Mitarbeiter am Berliner Kaiser Wilhelm Institut für Silikatforschung, zu einem Begeisterungsturm in deutschen Zeitungen. Mit Schlagzeilen wie „Wird Kohle, Oel und Wasserkraft überflüssig? Die Sonne als Riesenkraftwerk“, oder „Energie aus Licht. Steht Umwälzung der Energiewirtschaft bevor“ oder „Eine sensationelle deutsche Erfindung. Elektrizität aus natürlichem Licht ohne Kohle und andere Kräfte“, wurde Langes Erfindung als Revolution der Energiewirtschaft gefeiert. Diese Euphorie anlässlich einer technisch eher unbedeutenden Erfindung macht deutlich, wie große Hoffnungen in die Photovoltaik gesetzt wurden. Vor diesem Hintergrund ist es verständlich, dass die wesentlich effizientere Siliziumsolarzelle der Bell

Labs in den 1950er Jahren nicht nur in den USA, sondern auch in Deutschland auf große Resonanz stieß.

Zunächst kam es allerdings nicht zu einer Weiterentwicklung dieser Technik für die terrestrische Nutzung, da das amerikanische und wenig später auch das deutsche Raumfahrtprogramm einen anderen Weg wiesen. Die entstehende Photovoltaikindustrie konzentrierte sich darauf, Solarzellen für die Energieversorgung von Satelliten zu entwickeln, da hier staatliche Forschungsgelder zur Verfügung standen.

Im Weltraum konnten die Photovoltaikhersteller in den folgenden Jahren konkurrierende Energietechniken vom Markt verdrängen. Zunächst wurden die Solarzellen vorgezogen, da die Satellitenbetreiber und –nutzer ihre Zuverlässigkeit und die flexible Konstruktion der jeweils benötigten Leistungsgrößen höher bewerteten als die Vorzüge anderer Energietechniken. Entscheidend war aber, dass die Entwickler aus der Industrie hierdurch die Gelegenheit erhielten, ein Netzwerk mit akademischen und außerakademischen Forschungseinrichtungen aufzubauen. In dieser Phase begannen die Koryphäen der bundesdeutschen Solarforschung, unter anderem der Braunschweiger Professor für Technische Physik, Eduard Justi, und Adolf Goetzberger, der spätere Papst der deutschen Solarforschung in Freiburg, ihr Engagement auf diesem Gebiet. Im Rahmen dieses Netzwerks wurden die Solargeneratoren in einem kontinuierlichem Entwicklungsprozess an die Erfordernisse des Weltraumeinsatzes angepasst. Ohne die Entwicklung strahlungsresistenterer

Zellen, ohne die Konstruktion entfaltbarer Solarzellenträger und korrosionsresistenter Kontakte wären die Solarzellen schon bald von Atomreaktoren verdrängt worden.

6. Erfahrungslernen bei der Vermarktung von Solartechnik nach 1970

An der Wende von den 1960er zu den 1970er Jahren führten drei Umbrüche dazu, dass der Solartechnik mehr Aufmerksamkeit gewidmet wurde.

1) Erstens traten im Rahmen der etablierten Energiesysteme schon vor der ersten Ölpreiskrise vom Herbst 1973 Schwierigkeiten auf. Das Wachstum der Ölimporte führte dazu, dass auf politischer Ebene Überlegungen angestellt wurden, die Abhängigkeit von der OPEC zu reduzieren. Die sozialliberale Bundesregierung entschied deshalb in ihrem noch vor der Ölpreiskrise entwickelten ersten Energieprogramm, den Ausbau der Kernkraft voranzutreiben. Die Ölpreiskrise vom Herbst 1973 war also nur der Kulminationspunkt eines Umbruchs, der sich schon in den Jahren zuvor abzeichnete.

2) Zweitens kam es zu Beginn der 1970er Jahre auch zu einer Krise in der staatlichen Raumfahrtförderung. Als die Entwicklung einer eigenen Rakete im Rahmen der europäischen Raketenentwicklungsorganisation ELDO vor dem Scheitern stand, gelang es der Bundesregierung nicht, angemessene Ersatzprojekte für die eigene Industrie zu organisieren, so dass die

bundesdeutschen High-Tech-Unternehmen gezwungen waren, Ersatz für die entgangenen Entwicklungsprojekte zu finden.

3) Drittens erhielten Umweltprobleme in der BRD seit dem Ende der 1960er Jahre im Zusammenhang mit einem tiefgreifendem Wertewandel, der zu einer Abwendung von materiellen Werthaltungen führte, immer mehr Aufmerksamkeit.

Im Rahmen dieser komplexen Umbruchsituation gewann die Solartechnik an Bedeutung. Schon vor der Ölpreiskrise versuchten Mitglieder der Bundesregierung, die Förderung der Solarforschung voranzutreiben. Im Verlauf der 1970er Jahre verstärkte die Bundesregierung ihre finanzielle Unterstützung in mehreren Schritten. Hochtechnologiefirmen wie Messerschmitt-Bölkow-Blohm, Dornier oder AEG, die bereits im bundesdeutschen Raumfahrtprogramm mitgearbeitet hatten, nahmen die Chance wahr und begannen, Solarforschungsprojekte. Sie bauten dabei das Netzwerk mit wissenschaftlichen Einrichtungen aus. In dieser Phase war die Zusammenarbeit mit der 1973 von Professor Günther Lehner in Stuttgart initiierten Institutsgemeinschaft für die Technische Nutzung Solarer Energie besonders bedeutsam.

In der zweiten Hälfte der 1970er Jahre gingen schließlich auch Kleinunternehmen, die häufig im Zusammenhang mit der Umweltbewegung entstanden waren, an die Entwicklung und Vermarktung von Kollektoren. Eines von ihnen war die Firma Wagner & Co GmbH, ein späterer Marktführer.

Die Hoffnungen auf eine rasche Vermarktung der Solartechnik erfüllten sich jedoch nicht. Die Ursachen hierfür sollen zunächst am Beispiel der Kollektorsysteme geschildert werden. Die Ingenieure der Energieversorgung Schwaben, die in Wengen eine von einem Großunternehmen erbauten Kollektoranlage betrieben, stellten 1980 fest, Kollektoren „müssen ...noch erheblich nachgebessert werden“. In den Ergebnissen eines vom Bundesforschungsministerium finanzierten Praxistests kommen ebenfalls erhebliche Mängel zum Vorschein. 1983 wurden 74 Systeme untersucht, die vor allem von Großunternehmen stammten und zwischen 1977 und 1981 installiert worden waren. Die Berichte der Betreiber und Installateure enthalten eine Vielzahl von Fehlern, die von der Korrosion des Absorbers bis hin zu falsch dimensionierten Umwälzpumpen des Systems reichten. Solche Mängel und ihre öffentliche Rezeption riefen bei einem Großteil der Heizungs- und Sanitärbranche sowie potenziellen Kunden den Eindruck hervor, Solartechnik funktioniere nicht – was wiederum ein wichtiger Grund dafür war, dass die Verkaufszahlen für Kollektoren nach einem ersten Aufschwung wieder einbrachen und in der ersten Hälfte der 1980er Jahre stagnierten. Denn die Großunternehmen stellten ihr Engagement bei der Entwicklung und Vermarktung der Kollektoren ein, anstatt die Praxiserfahrungen zu berücksichtigen, ihre Anlagen dementsprechend weiterzuentwickeln und so das Vertrauen der Kunden in ihre Solarkollektoren wiederherzustellen. Gegen die Empfehlung führender Mitarbeiter ihrer Häuser wandten sie sich einer anderen

alternativen Heizungstechnologie zu, dem Energiedach, bei dem der Absorber ohne Kollektorkasten als Dachabdeckung verwendet und mit einer Wärmepumpe verbunden wurde.

Auch bei den Kollektorsystemen von Kleinunternehmen traten in der Praxis Mängel auf. So kam es bei den ersten Kollektoren, die die Firma Wagner auslieferte, häufiger zu Korrosion und damit zu undichten Absorbern. Die Kleinunternehmen lernten allerdings aus ihren Erfahrungen. Aufgrund ihrer kaum ausdifferenzierten Firmenstruktur wurden rasch alle Firmenteile mit den Kundenbeschwerden konfrontiert. Der mit der alleinigen Abhängigkeit vom Kollektorgeschäft verbundene große ökonomische Druck führte dazu, dass die Hersteller schnell und effizient auf Kundenbeschwerden reagieren mussten. Der Besitzer eines Kleinunternehmens, das seit den 1970er Jahren am Kollektormarkt vertreten ist, hat das so beschrieben „Unser Bestreben war, hochwertige Wirtschaftsgüter mit wenig Garantiefällen anzubieten. Denn ich wollte mir nicht dadurch zusätzlich Arbeit machen, dass ich zu Beginn der Woche meine Garantiefälle abarbeiten musste.“

Resultat dieser engen Verbindung zum Kunden war, dass die Kleinunternehmen ihre Praxiserfahrungen schnell und reibungslos in Weiterentwicklungen ihrer Produkte umsetzten und dabei zum Teil auch auf das Wissen des installierenden Handwerks zurückgriffen. So wurde der oben erwähnte Firmenchef, ein Maschinenbauingenieur, von einem Dachspengler darauf hingewiesen, dass der Einbau eines Kollektorkastens ins Dach zu

Undichtigkeiten führen konnte, die besonders bei Eisbildung im Winter Probleme bereiteten. Daraufhin entwickelte man gemeinsam eine Blechwanne, die als dachdichtendes Element eingebaut und in die der Kollektorkasten aus PU-Hartschaum eingelegt wurde. Dadurch konnte das Wasser unter dem Kollektorkasten ablaufen. Ein weiterer Vorteil dieses Systems bestand darin, dass es eine Gewerketrennung am Dach berücksichtigte. Der Heizungsbauer beschäftigte sich nicht mehr mit der Einbindung des Kollektors in die Dachhaut, so dass viele Fehler vermieden wurden, die bei Kollektoren ohne ein solches System dadurch auftraten, dass der Heizungsbauer die Dachintegration übernahm und bei diesem ungewohnten Arbeitsschritt zusätzliche Fehler produzierte. Das Erfahrungslernen der Kleinunternehmen führte dazu, dass sie nach einigen Jahren fehlerfrei funktionierende Produkte anbieten konnten und so den Grundstein für einen Aufschwung legten, der gegen Ende der 1980er Jahre begann und bis heute anhält.

Auf dem Gebiet der Photovoltaik wurde das notwendige Erfahrungslernen zum Teil in ähnlicher Weise unterschätzt. Die AEG hatte 1977 mit dem Siliziumhersteller Wacker Chemie GmbH ein gemeinsames Forschungsprojekt zur Entwicklung einer Fertigungslinie für Solarmodule und deren Vorprodukte begonnen. Das sogenannte Silso-Gießverfahren, mit dem multikristalline Siliziumblöcke hergestellt wurden, und neue Produktionsprozesse zur Massenfertigung von Solarzellen und -modulen sollten zu einer Senkung der Fertigungsstückkosten führen und damit eine Vermarktung der

Raumfahrttechnik auf der Erde ermöglichen. Im Verlauf dieses bis 1985 terminierten Forschungsvorhabens, an dem neben Lehnrs Institutsgemeinschaft auch das 1981 von Goetzberger gegründete Institut für Solare Energiesysteme der Fraunhofer-Gesellschaft entscheidend mitarbeitete, traten Probleme auf, die die Entwicklung verzögerten. Beim Transfer einiger Prozeß- und Produktinnovationen, die die AEG aus dem Labor in den Markt überführen wollte, kam es in der Praxis zu Schwierigkeiten, die das Hochtechnologieunternehmen bis zur zweiten Hälfte der 1980er Jahre nicht in den Griff bekam.

Aber auch bei Wacker gab es Hürden, die überwunden werden mussten. So konstatierten die Ingenieure des Siliziumherstellers schon kurze Zeit nach dem Beginn des gemeinsamen Projekts, dass die nach dem neuen Gießverfahren hergestellten Scheiben am Rand besonders feinkristalline Bereiche, eine sogenannte „Gießstruktur“ aufwiesen, die den Wirkungsgrad des Materials offensichtlich um mehrere Prozent herabsetzte. Überdies sah man bei Wacker, dass sich die geplanten Preisreduktionen nicht schrittweise, wie noch zu Projektbeginn abgeschätzt, sondern nur als Ganzes nach Abschluss des Vorhabens erreichen ließen. Wacker ging die Praxisprobleme in den folgenden Jahren bis zum Projektabschluss an und entwickelte seine Gießtechnik dementsprechend weiter. Parallel dazu lieferte der Siliziumhersteller der AEG die Mengen, die ihr aus der neuentwickelten Versuchsfertigung versprochen worden waren, kostenlos.

Für die AEG war dies aber kein Ersatz. Das Unternehmen hatte von Beginn des Projekts an gehofft, dass es schon während dieses Vorhabens von Wackers Seite aus auch für Materiallieferungen, die über die im Versuchsmaßstab hergestellten Mengen hinausgingen, den reduzierten Preis nach dem neuen Verfahren erhalten würde. Als die AEG 1980 lernte, dass diese Wahrnehmung von Wacker nicht geteilt wurde, war dies besonders schmerzlich, da sich der Markt für Solarzellen seit 1979 besser als erwartet entwickelt hatte. Zu Beginn der 1980er Jahre fragte ein Vertreter der UNO nach Photovoltaikgeneratoren mit einer Gesamtleistung von 25 MW zur Dorfelektrifizierung in der sogenannten 3. Welt. Trotz der entsprechenden Marktchancen blieb die AEG also bei der Markterschließung hinter ihren Erwartungen zurück, da sie bei ihren Prognosen die Praxisprobleme und das notwendige Erfahrungslernen nicht berücksichtigt hatte, das beim Aufbau einer neuen Produktionstechnologie notwendig war.

6. Fazit

Bis heute ist die Solartechnik auf den deutschen Energiemärkten nur eine Randerscheinung.¹ Die Hauptursache dafür war bis zur Mitte der 1980er Jahre, dass das notwendige Erfahrungslernen unterschätzt wurde. Zunächst war es vor allem ein Problem der Forschungsförderung. Die Konstrukteure erhielten zu

¹ Möglicherweise ändert sich dies durch das am 01.04.2000 in Kraft getretene Erneuerbare-Energien-Gesetz.

wenig Gelegenheit, die komplexen Systemprobleme in weiteren Demonstrationsanlagen zu untersuchen und Gegenmaßnahmen zu entwickeln. Die etablierte Wissenschaft Deutschlands lehnte eine Beschäftigung mit der Solarforschung ab, da sie nach dem Verlust der eigenen Kolonien wegen der fehlenden Märkte keinerlei energiewirtschaftliche Relevanz zu haben schien. Somit boten die etablierten wissenschaftlichen Einrichtungen keinen Raum, in dem das notwendige Erfahrungslernen hätte stattfinden können. Wie wichtig dieses Erfahrungslernen parallel zur Vermarktung ist, hat die Geschichte der Solarkollektoren in den USA und der Solarzellen im Weltraum gezeigt. Trotz dieser positiven Beispiele fand das Erfahrungslernen aber auch dann nicht in ausreichendem Maße statt, als die Solarforschung mit den Umbrüchen an der Wende von den 1960er zu den 1970er Jahren mehr Aufmerksamkeit gewonnen hatte: Es wurde gezeigt, dass in den 1970er und 1980er Jahren trotz der Begrenzung potenzieller Märkte durch die Preise fossiler Energien Marktchancen für Photovoltaik und Solarkollektoren vorhanden waren. Bis zur Mitte der 1980er Jahre gelang es in der Kollektorindustrie aber nur den Kleinunternehmen aufgrund ihrer Organisationsstruktur, erfolgreich aus ihren Erfahrungen zu lernen. Bei der Photovoltaikproduktion wurden die Hoffnungen auf eine rasche Markteinführung enttäuscht, da die Zellen- und Generatorhersteller das notwendige Erfahrungslernen bei der Entwicklung der Produktionslinien für eine Massenproduktion unterschätzten. Allgemeiner formuliert lässt sich also sagen, dass die Markteinführung einer neuen

Technologie nur dann erfolgreich sein kann, wenn parallel zum Verkauf der ersten Produkte ein Forschungsprozess durchgeführt wird, in dem die Gelegenheit besteht, die Technik weiterzuentwickeln und an die in der Praxis gewonnenen Erfahrungen anzupassen.