

zenfahrzeuge hatten Probleme mit der zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 80 bzw. 50 km/h. So wurde auch über uns leider eine Zeitstrafe von 10 Minuten verfügt, da wir, wie gesagt, im Eifer des Renngeschehens auf einer Gefällestrecke mit 110 km/h erlappt wurden.

Bei vielen Fahrzeugen war diese Geschwindigkeit allerdings nur durch das extrem gute Wetter möglich. Für uns war dieses Wetter eher ein Nachteil, da wir, bedingt, durch das Fahrzeugkonzept und die sehr guten Solarzellen, nur einen Teil der angebotenen Sonnenenergie aufbrauchen konnten. Schät-

zungsweise zwei Drittel bis zur Hälfte der Sonneneinstrahlung hätte für die von uns benötigte Leistung ausgereicht. Dieses ist nicht zuletzt ein Erfolg unserer konsequenten Leichtbauweise. Das Fahrzeug wiegt ohne Batterien fahrfertig etwa 100 kg. Davon wiegt die Kevlar-Karosserie rund 25 kg. Das Gesamtgewicht mit Fahrer beträgt 270 kg, da leider die Batterien allein 96 kg wiegen. Ein generelles Problem für Elektrofahrzeuge, dessen Beseitigung aber laut Laborberichten nur noch eine Frage der Zeit ist.

nen wir uns hier sehr gute Chancen aus. Bei dem bereits jetzt erreichten Wirkungsgrad des Fahrzeugs haben wir eine Zeit von sieben bis acht Tagen für eine pannenlose Durchquerung Australiens errechnet. Der Veranstalter kalkuliert eine Zeit von 10 bis 12 Tagen für den Gewinner.

Unsere Probleme sind, daß erstens das Fahrzeug neu aufgebaut werden muß (nach dem Reglement sind andere Abmessungen des Fahrzeugs und zusätzliches Zellenmaterial notwendig, da die Zellenfläche größer wird), und zweitens die Transportkosten für ein mindestens vierköpfiges Team (drei Fahrer sind Pflicht) und das Fahrzeug allein zwischen 40 und 50000 DM ausmachen. Zusammen mit den Baukosten, die wir mit 60000 DM veranschlagen, und Aufenthalts-/Betriebskosten in Höhe von rund 12000 DM ergibt sich ein Gesamtbedarf von etwa 120000 DM.

Ich glaube, daß dies wirklich die Herausforderung des Jahres 1987 sein wird, die bei einer Strecke von 3200 km endgültig nachweist, daß neue Fahrzeugkonzepte in Verbindung mit Photovoltaik ernstzunehmende Alternativen sind. Sich daran zu beteiligen, setzt meiner Meinung nach eindeutige Zeichen für den Umweltschutz. Es sind also wieder einmal Sponsoren gesucht.

## Zielvorstellungen

Die nächsten sportlichen Prüfungen für unser Konzept sind die Tour de Sol 87 im Juni 1987 in der Schweiz und das BP Solar Challenge im Oktober 1987 in Australien. Ob die Tour de Sol '87 stattfindet, steht noch nicht definitiv fest, ist aber nach den bisherigen Informationen sehr wahrscheinlich. Wir werden auf jeden Fall wieder dabei sein, und zwar sowohl mit dem alten Fahrzeug als auch mit einem neuen nach demselben Prinzip. Dieses neue Fahrzeug wird speziell für den Einsatz in Australien gebaut sein, soll aber hier bereits seine erste Bewährungsprobe ablegen.

Das BP Solar Challenge 1987 stellt für nächstes Jahr eindeutig das größte, interessanteste und auch härteste Rennen dar. Es geht darum, den ganzen Kontinent auf der neu gebauten Nord-Süd-Verbindung mit einer Länge von rund 3200 km von Darwin nach Adelaide zu durchqueren. Die besondere Herausforderung besteht darin, daß hier das hochwertigste Zellenmaterial in Verbindung mit dem besten Fahrzeugkonzept eindeutig die größten Chancen hat, da Störungen durch den normalen Verkehr und Ortschaften wesentlich weniger behindern werden. Deshalb rech-

# Silicium bleibt Grundmaterial für Solarzellen

## Leistungsfähigere Massenprodukte erst bei wesentlich größerer Nachfrage

**Silicium wird aller Voraussicht nach das Grundmaterial für Solarzellen bleiben, soweit diese auf der Erde zur Umwandlung des Sonnenlichtes in elektrischen Strom genutzt werden. Kommt es dabei auf Leistung an, dürfte kristallines Silicium noch lange Zeit vor amorphem Material rangieren, das, in Dünnschicht-Technologie verarbeitet, eines Trägermaterials bedarf. Zwar gibt es verheißungsvolle Ansätze, den Wirkungsgrad von Dünnschichtzellen beträchtlich zu steigern, aber naheliegender sind weitere Leistungsverbesserungen beim multikristallinen Silicium. Obwohl die mit diesem erzielbaren Wirkungsgrade generell unter denen von Zellen aus monokristallinem Silicium liegen, fällt ihm wegen seines relativ niedrigen Preises die entscheidende Rolle bei der weiteren Verbreitung der Photovoltaik zu. „Sonnenenergie“ sprach darüber mit den Firmen Wacker-Chemie und AEG.**

Die Wacker-Chemitronic GmbH in Burghausen an der Salzach ist eine hundertprozentige Tochtergesellschaft der Wacker-Chemie, München. Mit einem Marktanteil von über 80 Prozent ist sie der Welt größter Hersteller von dem Silicium, das in der terrestrischen Photovoltaik zum Einsatz kommt. Als Rohstoff wird metallurgisches Silicium eingekauft, das eine Reinheit von rund 98 Prozent aufweist. Aus ihm werden einerseits Einkristalle gewonnen, die vor allem in elektronische Schaltungen Eingang finden, andererseits das multikristalline Material für Solarzellen. Mit dem Ziel, die Herstellung großflächiger multikristalliner Scheiben weiter zu verbilligen, ist man bemüht, die einzelnen Verfahrensschritte zu optimieren und neue Verfahren zu entwickeln. Ein entsprechendes Förderprogramm ist vom Bundesministerium für Forschung und Technologie um weitere vier Jahre bis 1989 verlängert worden.

Bernhard Authier, für den Technologietransfer verantwortlicher Verwaltungsdirektor von Wacker-Heliotronic, der Forschungs- und Entwicklungsgesellschaft für Solarzellen-Grundstoffe, sieht bei allen Verfahrensschritten Möglichkeiten der Kostenreduzierung. Der Preis der Siliciumscheiben ist zu etwa 30 Prozent an den Kosten eines fertigen Moduls beteiligt. Das heute angewandte chemische Verfahren zur Gewinnung von elementarem Reinst-Silicium könne allerdings kein billigeres „polykristallines“ Silicium liefern. Bei diesem Zwischenprodukt sind die unerwünschten Verunreinigungen bereits in die Größenordnung von „parts per trillion“ verwiesen. Zum Vergleich: Ein Zuckerwürfel, aufgelöst in 2,7 Milliarden Liter Wasser, ergibt 1 ppt. Mit neuartigen metallurgischen Verfahren, die derzeit untersucht werden, sind laut Authier Kostensenkungen um den Faktor 3 bis 4 denkbar. Auch mit künftigem, billigerem

Solar-Silicium würden sich Solarzellen mit Wirkungsgraden über 10 Prozent herstellen lassen.

Das polykristalline Silicium wird bei Wacker-Chemitronic zu „multikristallinen“ Blöcken vergossen, die zu „Säulen“ zersägt werden. Gegen Ende dieses Jahrzehnts, so Authier, dürfte man in der Lage sein, eine Gießanlage mit einer Jahreskapazität entsprechend 10 bis 40 MW photovoltaischer Leistung in Betrieb zu nehmen. Allerdings nur unter der Voraussetzung, daß ein entsprechend großer Markt für die fertigen Solarzellen vorhanden ist. Das könnte schwerfallen, wenn man bedenkt, daß bis Ende 1985 in der westlichen Welt insgesamt nur 60 MW an photovoltaischer Leistung installiert waren. Wäre dagegen eine große und verbesserte Gießanlage wirtschaftlich einsetzbar, könnte sich nach Authiers Meinung die Herstellung multikristalliner Siliciumblöcke um einen Faktor zwischen 5 und 10 verbilligen.

Weitere Kostensenkungen sind beim Zersägen der Säulen zu erwarten, das zu den „rohen“ Solarzellenscheiben führt. Noch bedient man sich dabei bei Wacker des sogenannten Innenlochsägens. Es wird durch das Gattersägen abgelöst werden, von dem man sich eine Kostensenkung um den Faktor 3 bis 4 erhofft. Addiert man alle angestrebten Einsparungen, wird die zu Solarzellen zu verarbeitende Silicium-

scheibe von 10 x 10 cm Größe statt heute 3,50 nur noch etwa 2 Mark kosten. Die Fabrik, die sie produziert, wäre aber wiederum nur bei einer hohen Jahreskapazität vertretbar, die Authier mit 50 bis 100 MW angibt.

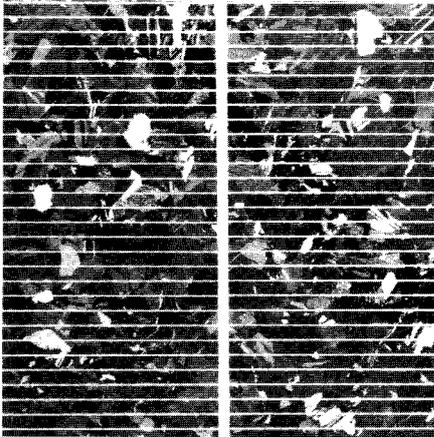
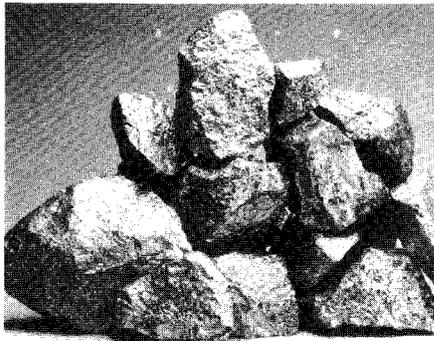
Beim Blockgießen und dem anschließenden Sägen muß es allerdings nicht bleiben. Bei Wacker studiert man auch das Gießen multikristalliner Folien direkt aus der Schmelze heraus. Dabei entstehen gleich fertige Scheiben; die Folien brauchen nicht mehr zerschnitten zu werden. Das Verfahren ist materialsparend und gestattet hohe Gießgeschwindigkeiten. Die Technik ist neu, die Entwicklungsarbeiten sind mit einem hohen Risiko behaftet. Dennoch hält man bei Wacker den hohen Forschungsaufwand, der vom BMFT mitgetragen wird, wegen des möglichen wertvollen Ergebnisses für gerechtfertigt.

Die Bemühungen um Kostenreduzierung finden ihre Fortsetzung bei der Weiterverarbeitung der Siliciumscheiben zu Solarzellen und Modulen. In enger Verbindung damit sind die Anstrengungen zu sehen, den Wirkungsgrad zu steigern. Für den Verbraucher ist schließlich interessant, welche Leistung ihm ein Modul zu welchem Preis bietet. Die vom größten europäischen Modulhersteller, der AEG in Wedel bei Hamburg, für den terrestrischen Einsatz angebotenen multikristallinen Siliciumzellen erreichen derzeit durchschnittlich Wirkungsgrade zwischen 10 und 11 Prozent. Dabei handele es sich um Serienprodukte, betonte Rolf Buhs, Leiter der Entwicklungsplanung, gegenüber „Sonnenenergie“.

In drei bis fünf Jahren, so schätzt er, könnten serienmäßig hergestellte Zellen 13 bis 14 Prozent Wirkungsgrad aufweisen. Die Wirkungsgraderhöhung müsse allerdings insgesamt ökonomisch sein. Was darunter zu verstehen ist, hat Prof. Goetzberger, Leiter des Freiburger Fraunhofer-Instituts für Solare Energiesysteme, mit einer Rechnung erläutert. Danach könnten bei einer Verdoppelung des Wirkungsgrades die Solarzellen zweieinhalb Mal teurer werden, ohne daß sich die Gesamtkosten einer photovoltaischen Energieversorgungsanlage erhöhen. Bei einer gegebenen Leistung bedeuten höhere Wirkungsgrade schlicht geringeren Materialeinsatz.

Eine grobe Abschätzung für ein Einfamilienhaus in Süddeutschland vermag zu veranschaulichen, wie sich die Verhältnisse ändern können, wenn sich der Solarzellen-Wirkungsgrad erhöht: Das Haus habe einen jährlichen Bedarf an elektrischer Energie von 6000 kWh. Die zu installierende Leistung von 5 bis 6 kW würde bei einem Zellenwirkungsgrad von 10 Prozent eine Solarzellenfläche von 50 bis 60 m<sup>2</sup> erfordern. Eine Verbesserung des Wirkungsgrades um lediglich 3 Prozent würde den Flächenbedarf um 30 Prozent verringern, und damit alle flächenabhängigen Kosten entsprechend ermäßigen.

Die im AEG-Werk Wedel betriebene Modulfertigung betrachtet Buhs immer noch als eine Art Versuchsproduktion.



Vom Rohsilicium zur Solarzelle. Oben: Brocken von Rohsilicium mit einer Reinheit von etwa 98 Prozent; sie sind das Ausgangsmaterial für Reinst-Silicium. Mitte: „rohe“ Siliciumscheibe, wie sie von der Wacker-Chemitronic GmbH unter dem Namen „Silso“ zur Herstellung von terrestrischen Solarzellen geliefert werden. Unten: 10 x 10 cm messende fertige Solarzelle zum Einbau in ein Modul.

Photos: Wacker-Chemitronic

Der Ausstoß könnte sofort gesteigert werden, würde der Markt danach verlangen. Bei in großen Stückzahlen hergestellten Modulen liegt der Preis je Watt heute bei 15 Mark. Ließe sich eine Jahresproduktion von umgerechnet 5 bis 10 MW absetzen, könnten diese Kosten im Rahmen der geplanten Weiterentwicklung um den Faktor 2 bis 3 gesenkt werden.

Wie häufig bei neuen Märkten, leidet auch der für Photovoltaikanlagen unter einer Kreislaufschwäche, die vorerst niemand zu beseitigen vermag: Ein wenig befriedigendes Preis-Leistungs-Verhältnis bei Modulen und Anlagen weckt kaum eine größere Nachfrage, ohne ausreichende Nachfrage gibt es aber keine wesentlich besseren Serienprodukte. Eine vom Staat begünstigte Anlagenfinanzierung böte möglicherweise den entscheidenden Impuls zur Belebung des Photovoltaikmarktes. **hi**

## Deutsche Luftreinhaltepolitik zeigt Wirkung

Die rapide Zunahme der Waldschäden in der Bundesrepublik Deutschland und die hierdurch ausgelöste zeitweise heftige öffentliche Diskussion über eine zu laxen Umweltpolitik haben einen kräftigen Anstoß zu luftreinhaltepolitischen Aktivitäten auf Bundes-, Länder- und kommunaler Ebene gegeben, die weit über frühere Maßnahmen hinausgehen.

Die seit 1983 von der Bundesregierung verabschiedeten Gesetze und Verordnungen zum Immissionsschutz haben insbesondere im Bereich der stationären Anlagen (Kraftwerke, Industrie, Hausbrand) zu einer Wende in der Luftreinhaltung beigetragen. In wichtigen Bereichen des Immissionsschutzes kann die Bundesregierung nun eine Vorreiterrolle unter den Mitgliedsländern der Europäischen Gemeinschaft für sich in Anspruch nehmen. Gleichwohl sind bisherige Basisdefizite des luftreinhaltepolitischen Gesamtsystems in der Bundesrepublik nicht beseitigt worden, so daß immer noch von einer suboptimalen Lösung gesprochen werden muß, durch die bestehende Handlungsspielräume nicht ausgeschöpft wurden und die langfristig zur Entstehung neuer Problemlagen führen wird.

Zu diesem Ergebnis kommt eine Veröffentlichung des Wissenschaftszentrums Berlin (WZB). Der Politikwissenschaftler Helmut Weidner (WZB) wurde von der mit den Vereinten Nationen assoziierten „World Commission on Environment and Development“ (Genf) gebeten, eine aktuelle Studie über die Luftreinhaltepolitik in europäischen Ländern anzufertigen. Sie wird verwendet für den Endbericht der „World Commission“ zur weltweiten Situation in den Bereichen Umwelt und Entwicklung, der 1987 der Öffentlichkeit vorgestellt werden soll. Der erste Teil dieser in der Endstufe 21 Länder umfassenden Studie liegt nun als Buchpublikation in englischer Sprache vor: „Air Pollution Control Strategies and Policies in the Federal Republic of Germany: Laws, Regulations, Implementation and Principal Shortcomings“; Verlag edition sigma, Mittenwalder Straße 48, 1000 Berlin 61.

Dieser Band gibt einen umfassenden Überblick über die Entwicklung der Luftreinhaltepolitik in der Bundesrepublik seit Beginn der 70er Jahre bis zum Mai 1986. Die maßgeblichen Gesetze, Verordnungen, Grenzwerte und Organisationsregelungen werden systematisch dargestellt und hinsichtlich ihrer Vor- und Nachteile analysiert. In einem umfassenden Abschnitt über Emissionsverläufe, Umweltqualitätstrends und Schäden durch die maßgeblichen Luftschadstoffe werden anhand konkreter Daten die tatsächlichen Effekte der luftreinhaltepolitischen Maßnahmen sowie ihre gesellschaftlichen, politischen und instrumentellen Ursachen aufgezeigt.