

# Forschung für neue Technologien und ihre Wechselwirkung mit der Industrie – vom Mittelständler zum Global Player

Dr. Hartmut Nussbaumer  
centrotherm  
hartmut.nussbaumer@centrotherm.de

Dr. Daniel Biro  
Fraunhofer ISE  
Daniel.Biro@ise.fraunhofer.de

Helge Haverkamp  
Universität Konstanz  
helge.haverkamp@uni-konstanz.de

Dr. Karsten Bothe  
ISFH  
k.bothe@isfh.de

Der Beitrag beschreibt die erfolgreiche Umsetzung von Forschungsergebnissen in die industrielle Anwendung auf dem Gebiet der kristallinen Silizium-Photovoltaik. Am Beispiel der Kooperationen mit den centrotherm Gesellschaften werden die wesentlichen Entwicklungsleistungen erläutert sowie deren Wechselwirkung mit der Industrie und die Art der Zusammenarbeit zwischen den Forschungseinrichtungen.

## Einleitung

Die Geschichte der Photovoltaik reicht zurück bis in das Jahr 1839, als A. E. Becquerel den Photoeffekt entdeckte, für dessen Erklärung Albert Einstein (1905) 1921 den Nobelpreis für Physik erhielt. Erst 1954 wurde dann die erste Solarzelle auf Basis eines Silizium-Halbleiters in den Bell Laboratorien in den USA entwickelt. Durch den beginnenden Einsatz von Solarzellen in der Weltraumfahrt wurden die Entwicklungsaktivitäten im Photovoltaiksektor stimuliert.

Bereits in den 60er Jahren begannen Forschungseinrichtungen auch in Deutschland mit der Photovoltaikforschung und -entwicklung: So begann Professor Dr. Werner H. Bloss an der Universität Stuttgart schon in den 50er- und 60er Jahren mit Grundlagenentwicklungen zur Konversion von Licht in elektrische Energie. Im Jahre 1974 starteten die Entwicklungsaktivitäten an der Universität Konstanz unter der Leitung von Prof. Dr. Ernst Bucher. Das Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme (ISE) in Freiburg wurde 1981 von Prof. Dr. Adolf Goetzberger gegründet. Es war das erste außeruniversitäre Solarforschungsinstitut in Europa. 1987 wurde ein weiteres Institut in Deutschland gegründet – das Institut für Solarenergieforschung des

Landes Niedersachsen (ISFH) auf Initiative von Herrn Prof. Dr. Hellmut Glubrecht. 1988 folgte die gemeinnützige Stiftung „Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg“ (ZSW) mit Sitz in Stuttgart und Ulm; weitere Institutsgründungen folgten.

Zunächst waren die Entwicklungen auf die Steigerung der Effizienzen der Solarzellen konzentriert. Sie wurden auf kleinen Flächen und im Labormaßstab durchgeführt. Ein weiterer Schwerpunkt der Forschung waren grundlegende Materialuntersuchungen, welche zum Ziel hatten, neue Ausgangsmaterialien für Solarzellen zu finden.

Erst in den neunziger Jahren begann man auch verstärkt anwendungsorientiert zu forschen und es begann das *industrielle* Zeitalter der Photovoltaik, welches sehr stark durch die Entwicklungen an den Instituten und Hochschulen geprägt wurde. Im Folgenden wird die Zusammenarbeit zwischen Forschungseinrichtungen und der Industrie am Beispiel der centrotherm Firmengruppe dargestellt. Der erfolgreiche Technologietransfer führte zu einer rasanten Entwicklung der Firmengruppe centrotherm vom Mittelständler zum „Global Player“.

## Baseline Prozess kristalline Silizium Solarzelle

In den 90er Jahren entwickelten die Universität Konstanz und das Fraunhofer ISE Prozesse zur Herstellung von kristallinen Silizium Solarzellen auf einer Fläche von 10 x 10 cm<sup>2</sup>. Die Solarzellen hatten zunächst Wirkungsgrade von 12–13 % bei Verwendung eines multikristallinen Ausgangsmaterials. Die Kontakte wurden mittels Siebdruckverfahren hergestellt. Der Rückseiten-

### Die Entwicklung der Photovoltaik in der centrotherm Firmengruppe

Die centrotherm photovoltaics AG hat sich in kurzer Zeit zu einem weltweit agierenden Technologie-Anbieter und Dienstleister für Hersteller von Solarzellen und Solarsilizium entwickelt. Die Geschichte reicht zurück auf die 1976 gegründete centrotherm Elektrische Anlagen GmbH + Co. KG. In den neunziger Jahren dehnte diese ihre Aktivitäten auf das Feld der Photovoltaik aus und avancierte seit dem Jahr 2000 zu einem international führenden Anbieter und Dienstleister für Hersteller von Solarzellen. Im Zuge der Neustrukturierung der centrotherm-Gruppe wurde der Bereich Photovoltaik ab 2004 von der centrotherm Photovoltaics Solutions GmbH & Co. KG fortgeführt. Im Jahr 2006 wurde der Geschäftsbetrieb dieser Gesellschaft auf die neu gegründete centrotherm photovoltaics AG übertragen.

- 2007** Gründung der centrotherm photovoltaics Asia Pte. Ltd. in Singapur
- 2006** Bündelung der Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten in der centrotherm photovoltaics technology GmbH  
Einstieg in den Geschäftsbereich Solarsilizium durch die Beteiligung an der GP Solar GmbH und an der SolMic GmbH sowie der Gründung der centrotherm SiQ GmbH als Joint Venture mit der SolMic GmbH

- 2005** Auslieferung der ersten schlüsselfertigen Produktionslinien für die Fertigung von Solarzellen  
Übernahme des Geschäftsbetriebs der centrotherm photovoltaics solutions GmbH & Co. KG durch die centrotherm photovoltaics AG
- 2004–2003** Gründung der centrotherm photovoltaics AG  
Fortführung des Geschäftsbereichs Solarzellen durch die centrotherm photovoltaics solutions GmbH & Co. KG  
Engineering-Dienstleistungen im Bereich der Dünnschichttechnologie
- 2002–2001** Kooperationsvertrag mit der Universität Konstanz für Forschungsprojekte  
Erstausstatter namhafter Solarzellenproduzenten mit Schlüsselequipment
- seit 2000** Gemeinsame Forschungsprojekte mit dem Fraunhofer ISE  
Einstieg in den asiatischen Markt
- seit 1979** Lieferung erster Photovoltaikprodukte durch die Centrotherm Elektrische Anlagen GmbH & Co. KG an namhafte Kunden, wie z. B. die Fraunhofer Gesellschaft (Deutschland) oder die Telefunken Systemtechnik GmbH

kontakt wurde durch das Einsintern einer Siebdruckpaste bestehend aus Silber/Aluminium hergestellt. In einem ersten Entwicklungsschritt wurde die Rückseitenmetallisierung auf eine ganzflächige Aluminiumrückseite mit lokalen Silber-/Aluminium-Kontakten umgestellt, und die Einführung von Siliziumnitrid als Antireflexbeschichtung Ende der 90er Jahre brachte eine

Steigerung des Wirkungsgrades insbesondere auf multikristallinem Silizium.

Abbildung 1 zeigt die Wirkungsgradentwicklung des Baseline Prozesses an der Universität Konstanz, welche durch die verschiedenen technologischen Verbesserungen erzielt wurden.

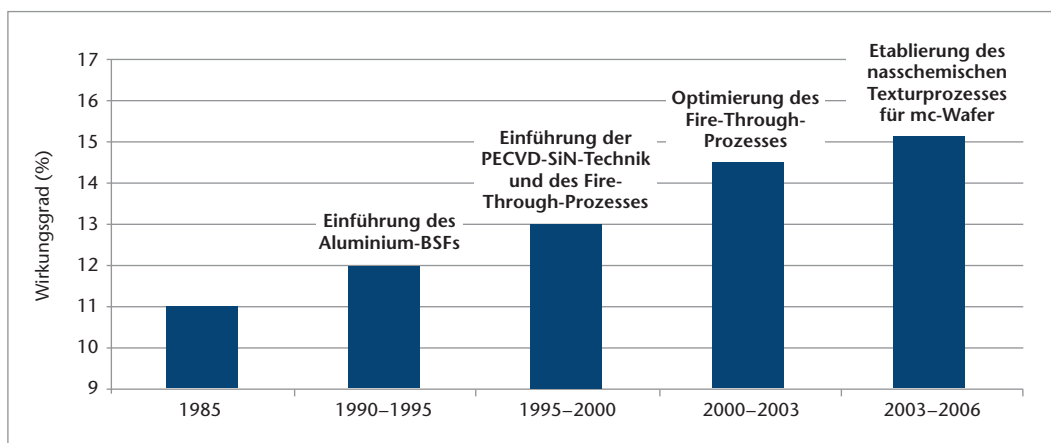


Abbildung 1  
Entwicklung des erzielten Wirkungsgrades auf multikristallinem Silizium für den „Baseline Prozess“ der Universität Konstanz

Abbildung 2 zeigt eine solche Solarzelle im Querschnitt. Nicht abgebildet sind die lokalen Rückseitenkontakte auf Basis von Silber/Aluminium zur Kontaktierung der Rückseite bei der Verschaltung im Solarmodul. Mit dieser Struktur wurden Wirkungsgrade von über 14 % erreicht. Der größte Anteil aller Industriesolarzellen ist bis heute auf Basis dieser Solarzellenstruktur aufgebaut.

Im Jahr 2001 wurde der „Baseline“-Prozess im Rahmen einer Kooperation an die centrotherm Firmengruppe transferiert. Bereits im Jahr 2001 baute die centrotherm Firmengruppe für die Firma Q-Cells die erste schlüsselfertige Solarzellenproduktion auf, bei der ein Prozess eingesetzt wurde, welcher auf dem „Baseline“-Prozess der Universität Konstanz beruhte. Dieser erfolgreiche Technologietransfer bedeutete einen wesentlichen Meilenstein in der Geschichte des Unternehmens. Im Rahmen der fortlaufenden Kooperation wurde der Prozess kontinuierlich verbessert. Bis heute hat centrotherm photovoltaics eine Vielzahl von schlüsselfertigen Produktionsstätten erfolgreich aufgebaut und verfügt mittlerweile über eine eigene Technologiegesellschaft, die centrotherm photovoltaics technology GmbH, welche selbst die Weiterentwicklung der Bauelemente in Abstimmung mit verschiedenen wissenschaftlichen Einrichtungen voran treibt, um die Kosten bei der Herstellung von Solarzellen zu reduzieren.

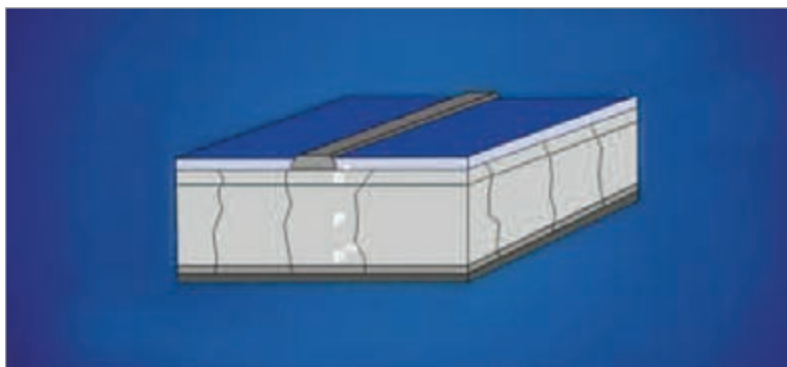
## Technologieplattform SOLPRO

Im Jahre 1995 startete das Fraunhofer ISE zusammen mit dem Fraunhofer IPT ein Projekt mit Namen SOLPRO. Dieses Projekt hatte zum Ziel, offene Fragestellungen im Bereich der

Photovoltaikindustrie zu beantworten durch die Zusammenarbeit von Forschungseinrichtungen, Produzenten und Anlagenbauern. Dieses zunächst von Fraunhofer ISE und IPT gemeinsam durchgeführte Evaluationsprojekt entwickelte sich sehr schnell zu einer breit aufgestellten Industrieplattform. Beim Folgeprojekt SOLPRO II (Start 1997) arbeiteten bereits 12 Anlagen- und Materialhersteller und fünf fördernde Energieversorgungsunternehmen zusammen an Fertigungskonzepten für die Solarzellenherstellung bei einer Förderquote von ca. 50 %. Im folgenden Projektzyklus SOLPRO III gesellten sich PV-Produzenten (Shell und Solarworld) an den runden Tisch und im Zyklus SOLPRO IV und SOLPRO V waren auch Ersol, Q-Cells und Schott als Projektpartner integriert. Diese in der Forschungslandschaft für die PV besondere Konstellation von Anlagenherstellern und Solarzellen- bzw. Materialherstellern brachte eine Vielzahl von wichtigen Ergebnissen hervor:

- Ein bezüglich der Handhabungstechnik optimierter Solarzellenfertigungsprozess (1998) dessen Hauptkomponenten sich bis heute in den meisten Solarzellenherstellungsfirmen wiederfinden.
- Notwendigkeit der Automatisierung der Rohrofenprozesse
- Notwendigkeit der Analyse der Prozesskette hinsichtlich Grenzen bei der Verwendung dünnerer Wafer
- grundlegende Entwicklungen von Inline-Depositionstechnologien für Siliziumnitrid (PECVD/Sputtern)
- Entwicklung von Alternativen zum handhabungsintensiven Plasmakantenätzen durch schnelle Laserkantenisolation und Einseitenätzen durch Plasmatechniken oder Nasschemie.

Abbildung 2  
Querschnitt einer Solarzelle, wie sie standardmäßig Ende der 90er Jahre an den Instituten entwickelt wurde und bis heute in der Industrie meist verwendet wird.



In der gesamten PV-Branche wurden durch SOLPRO wesentliche Standardisierungen vereinbart. Die Möglichkeit der Firmen (die teilweise sogar auf ähnlichen Arbeitsfeldern tätig waren) sich auf den SOLPRO Workshops auszutauschen, unterstützte und bildete die heute sehr intensive Vernetzung in allen Bereichen der Wertschöpfungskette.

## Forschungsallianzen: FAKT und Laser-FAKT

Das vom Land Baden-Württemberg geförderte Projekt FAKT (Forschungsallianz kristalline Silizium-Solarzellentechnologie) wurde 2002 ins Leben gerufen. Hierin arbeiteten das Fraunhofer ISE gemeinsam mit den Universitäten Freiburg, Konstanz und Stuttgart. Es wurden spezifische Fragestellungen zur Weiterentwicklung der Standardzellentechnologie mit dem Ziel der Wirkungsgradsteigerung und der Verwendung dünnerer Wafer in Zusammenarbeit mit einem Industriebeirat erörtert. Ein wegweisendes Ergebnis dieses erfolgreichen Projekts war die Steigerung der Solarzellenwirkungsgrade bis zu 18,1 % auf monokristallinem Silizium mit LFC Rückseitenkontakten (LFC: Laser Fired Contacts) auf 160 µm dünnen Silizium-Substraten.

Auf 150 µm dünnen multikristallinen Wafern konnten Wirkungsgrade von bis zu 16,0 % sogar mit einer Standard Aluminiumrückseite erreicht werden.

Diese fruchtbare Kooperation wird im gegenwärtig laufenden Projekt LASER-FAKT fortgeführt, wobei der Fokus des mit ca. 30 % Industrie -mitteln ausgestatten, erneut vom Land Baden-Württemberg geförderten, Projektes auf Lasertechnologien liegt. Auch das vom ISFH initiierte Projekt Laser-PV, welches seit 2006 vom Land Niedersachsen gefördert wird, verknüpft die Expertisen von Forschungseinrichtungen mit dem Erfahrungshintergrund von Anlagenbauern und Solarzellenherstellern, um gemeinsam das wichtige Thema Laser in der PV-Produktionstechnik voranzutreiben.

## Entwicklung von thermischem Prozess-Equipment

In dem Verbundprojekt KoTrans mit den Fraunhofer Instituten ISE und IPT sowie der Firma ACR, in Niedereschach wurde in den centrotherm Gesellschaften, in den Jahren 2000–2003 ein neuer Inline Diffusionsofen mit neuartigem kontaminationsarmen Wafertransport entwickelt. Im Gegensatz zu den bislang verfügbaren Inline-Öfen werden hier die Siliziumwafer völlig ohne metallische Komponenten sehr schonend durch eine Hochtemperaturzone transportiert in der die Wafer bei Temperaturen von ca 900 °C thermisch behandelt werden. Es konnte nachgewiesen werden, dass mit diesem patentierten Verfahren eine Kontamination der Wafer – wie sie bei Metallkettenbandöfen beobachtet wird – vollständig vermieden werden kann. Es konnten Solarzellen mit Wirkungsgraden von 15 % auf multikristallinem Silizium hergestellt werden. Gegenwärtig wird der Ofen von centrotherm photovoltaics kommerzialisiert und noch 2007 an einen Industriekunden ausgeliefert.

In weiteren Entwicklungen hat das Fraunhofer ISE eine Dotierstoffquelle entwickelt und gemeinsam mit der centrotherm Firmengruppe patentiert, die nun eine kostengünstige vollständig in den Solarzellenherstellungsprozess integrierte Inline-Diffusion erlaubt. Das Fraunhofer ISE und die Universität Konstanz erreichten mit der Diffusions- und Oxidationstechnologie der centrotherm Firmengruppe Rekordwirkungsgrade auf Basis von kristallinen Silizium.

## PV-TEC (Photovoltaik Technologie Evaluationscenter)

Das Fraunhofer ISE hat im Oktober 2004 zu einem Workshop eingeladen, in dem die zum damaligen Zeitpunkt wichtigsten Unternehmen der deutschen PV-Branche Ideen gesammelt haben, die den Grundstein für ein produktionsorientiertes Großlabor für die PV-Forschung in Freiburg gelegt haben. Das Bundesumweltministerium hat hierzu ca. 12 Mio. Euro zur Verfügung gestellt, und die Fraunhofer

Gesellschaft ca. 2 Mio Euro. für den Aufbau eines neuen Forschungszentrums am Fraunhofer ISE. Die Anlagen der centrotherm Fimengruppe kommen in diesem Zentrum im Bereich der Diffusion, Oxidation, Wafertrocknung und Fast Firing zum Einsatz und das Unternehmen hat einen ständigen Sitz im Industriebeirat von PV-TEC.

## Zusammenarbeit mit der Forschung

In der Entwicklung der Firma hat die Zusammenarbeit mit den Forschungseinrichtungen eine sehr wichtige Rolle gespielt. Diese Zusammenarbeit ist derzeit wichtiger denn je, denn die Innovationszyklen werden kürzer und der Wettbewerb nimmt zu. Nur durch abgestimmte Kooperationen und ein verstärktes Engagement im Bereich der Entwicklung wird es in Zukunft gelingen, die Spitzenposition in der Produktionstechnologie von Solarzellen zu erhalten. Centrotherm photovoltaics wird die vorhandene gute Kooperation mit seinen F&E-Partnern ausbauen und intensivieren.