

# Photovoltaik-Technologiezentren für den beschleunigten Technologietransfer von Instituten zur PV-Industrie



**ISFH**  
SolarTeC  
Dr. Thorsten Dullweber  
dullweber@isfh.de

**Fraunhofer ISE**  
PV-TEC  
Dr. Ralf Preu  
ralf.preu@ise.fraunhofer.de

**HZB**  
PVcomB  
Dr. Björn Rau  
bjorn.rau@helmholtz-berlin.de

**Fraunhofer IWES**  
SysTec  
Dr. Thomas Degner  
thomas.degner@iwes.fraunhofer.de

## Einleitung

Auch wenn die Photovoltaik in der Öffentlichkeit oft noch als teure Variante der Stromerzeugung dargestellt wird, so haben sich doch die Einspeisevergütung und die Systempreise in den vergangenen sechs Jahren mehr als halbiert, wie *Abbildung 1* zeigt. Betrug die Einspeisevergütung für Solarstrom 2006 noch 51,8 €ct/kWh, werden heute nur noch 18,3 €ct/kWh vergütet. Damit ist Solarstrom in Deutschland heute schon günstiger als der konventionelle Strom aus der Steckdose. Zukünftige technologische Verbesserungen lassen eine weitere deutliche Kostensenkung des Solarstroms in den kommenden Jahren erwarten.

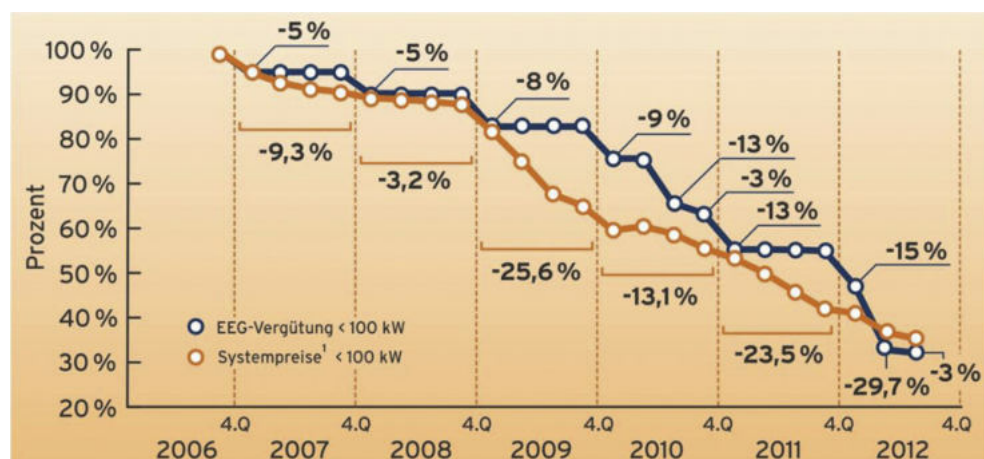
Die rasante weltweite wirtschaftliche Entwicklung der Photovoltaik sowie der zunehmende Kostendruck durch die internationale Konkurrenz erhöhen die Notwendigkeit für deutsche Firmen der Photovoltaik-Branche, sich durch technologische Innovationen von Wettbewerbern zu differenzieren. Ein wichtiger Aspekt dabei ist eine kurze „Time to Market“. Das heißt, dass technologische Innovationen vom Labor möglichst schnell in die Produktion überführt werden. Einen wichtigen Beitrag hierzu leisten die Photovoltaik-Technologiezentren des ISFH (SolarTeC), des Fraunhofer ISE (PV-TEC), des HZB (PVcomB) sowie des Fraunhofer IWES (SysTec), in denen mit industrietypischen Produktionsanlagen neue, kosteneffizientere Prozesse, Solarzellen und Solarsysteme

entwickelt und in die PV-Industrie transferiert werden. Dieser Beitrag stellt nachfolgend die PV-Technologiezentren vor und zeigt Beispiele für den erfolgreichen Technologietransfer in die Industrie.

## ISFH: SolarTeC

Das Solartechnikum „SolarTeC“ des Instituts für Solarenergieforschung Hameln (ISFH) wurde im Jahr 2008 gebaut und nachfolgend mit industrietypischen Prozessanlagen für die Herstellung von Solarzellen aus Silicium-Wafern ausgestattet. *Abbildung 2* zeigt beispielhaft Prozessanlagen des SolarTeC für die Herstellungsprozesse Waferreinigung und Textur, Diffusion, Antireflex-Beschichtung, Siebdruck, Sintern sowie nasschemische Politur. Auf diesen Prozessanlagen betreibt das SolarTeC mehrere Basis-Zellprozesse, welche von Industriefirmen für Entwicklungszwecke genutzt werden.

Forschern des ISFH gelang es 2012, den heute üblichen Solarzellen-Wirkungsgrad von 18,5% auf einen Rekordwert von 20,1% zu steigern durch die Verwendung des sogenannten PERC-Zellkonzeptes (Passivated Emitter and Rear Cell). Dieses vielversprechende Zellkonzept gilt als die nächste Generation industrietypischer Silicium-Solarzellen, wobei der deutlich höhere Wirkungsgrad geringere Stromerzeugungskosten ermöglichen wird. Aktuell werden am SolarTeC in mehreren Forschungsprojekten mit



*Abbildung 1*  
Die Einspeisevergütung (EEG) für Solarstrom konnte in den vergangenen 6 Jahren dank massiv gesunkener Systemkosten für Photovoltaikanlagen um über 60% reduziert werden.  
Quelle: Bundesverband der Solarwirtschaft



Abbildung 2  
SolarTeC am ISFH:  
Industrietytische Prozessanlagen  
für die Herstellung von Solarzellen  
aus kristallinen Silicium-Wafern

Industriepartnern wie SolarWorld, RENA, Singulus, Heraeus und weiteren Firmen die Herstellungsprozesse für PERC-Zellen optimiert und an die Industriepartner transferiert.

Darüber hinaus werden am SolarTeC in enger Kooperation mit Anlagenbauern neue, kostengünstigere Herstellungsprozesse entwickelt und die Anlagenkonzepte weiter optimiert. Ein Beispiel hierfür ist die Kooperation mit dem Anlagenbauer Singulus Technologies. In einem gemeinsamen Forschungsprojekt wurde eine Passivierschicht aus Aluminiumoxid und Siliciumnitrid für die Rückseite von PERC-Solarzellen entwickelt. Das Besondere daran ist die Verwendung einer neuartigen Abscheidemethode, dem sogenannten „Inductively Coupled Plasma (ICP)“ PECVD-Prozess. Dieser ICP-Prozess ermöglicht sehr hohe Abscheideraten für einen hohen Durchsatz der Anlage bei gleichzeitig sehr guten elektrischen Schichteigenschaften für hohe Solarzellen-Wirkungsgrade. Auf Basis dieser Kooperation hat Singulus nun eine Produktionsanlage entwickelt, welche von Solarzellenherstellern gekauft werden kann.

Am ISFH werden zurzeit Forschungsprojekte in Kooperation mit insgesamt 15 überwiegend deutschen Industriepartnern durchgeführt. Die Industriepartner decken dabei einen Großteil der Wertschöpfungskette ab – von Materialherstellern wie z. B. Heraeus über Anlagenbauer wie RENA, Singulus und Roth & Rau bis hin zu Solarzellen- und Modulherstellern wie SolarWorld und Bosch Solar Energy. Die hohe Nachfrage der Industrie belegt, dass Technologiezentren wie das SolarTeC des ISFH eine wichtige Schnittstelle zwischen der universitären Forschung im Labor und der industriellen produktionsnahen Forschung bedienen.

## Fraunhofer ISE: PV-TEC

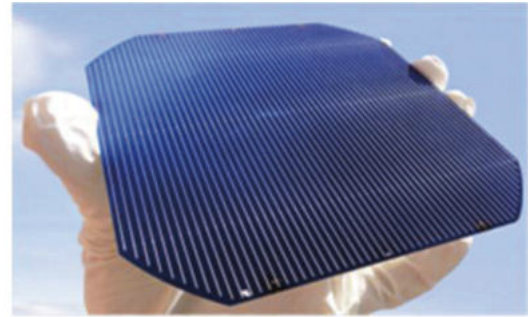
2005 wurde am Fraunhofer ISE das Photovoltaik Technologie Evaluationscenter PV-TEC aufgebaut, das damit das erste und immer noch größte nicht-kommerzielle Pilotfertigungslabor für kristalline Silicium-solarzellen darstellt. Mit einem Team von über 150 überwiegend studentischen Mitarbeitenden werden auf über 1.200 m<sup>2</sup> Technologiefläche im Pilotmaßstab, d. h. mit einem Durchsatz von mehr als 100 Wafern pro Stunde, sowohl Solarzellen mit industriell üblichen siebgedruckten Kontakten als auch mit hochwertiger Oberflächenpassivierung und neuartiger Verschaltungsarchitektur (beispielsweise Metal-Wrap-Through, MWT-Solarzellen) hergestellt.

Für die verschiedenen Technologiebereiche stehen sowohl flexible halbautomatische als auch hochproduktive vollautomatische Anlagen für die Prozessentwicklung zur Verfügung. Schwerpunkte der produktionsnahen Technologieentwicklung für die kristalline Silicium-Photovoltaik liegen in den Bereichen Hochtemperatur- und Drucktechnologie, nass- und plasmachemische Verfahren sowie Laser und physikalische Gasphasenabscheidung. Ergänzt wird dieser Technologiepark durch Inline- und Offlinemesstechnik. Alle Material- und Prozessdaten werden in einem zentralen Datenbanksystem erfasst und sichern so die hohen Qualitätsanforderungen ab, die sich auch insbesondere zur Analyse neuer Materialien eignen.

Die Leistungen reichen von der Entwicklung neuer Konzepte auf Pilotniveau über die Bewertung neuer Technologien bis zum Transfer in die Produktionslinien der Kooperationspartner. Ein Beispiel bildet hierbei das Laserlegieren zur lokalen Kontaktierung (Laser-Fired Contacts, LFC) der Rückseite von passivierten Solarzellen, das an fünf deutsche Solarzellen-

Abbildung 3

Links:  
Pilotproduktions-  
technologieumgebung  
des Fraunhofer ISE  
Rechts:  
Passivierte Metal-Wrap-  
Through-Solarzelle  
des Fraunhofer ISE  
mit lokaler Durchkontaktierung  
und lokal laserlegierten Kontakten  
auf der Rückseite mit einem  
Wirkungsgrad von 20,6%.



hersteller lizenziert wurde. Basierend auf der gemeinsamen Entwicklung erfolgte vor zwei Jahren der Transfer in die Industrie. Die Technologie wird nun in Thalheim bei der Firma Q-Cells in der Produktion eingesetzt.

Für alle genannten Technologieschwerpunkte bildet der exzellente Charakterisierungs- und Simulationspool die Grundlage für effektive und wissenschaftlich fundierte Entwicklungen. So werden auch neue Charakterisierungsverfahren entwickelt, wie z. B. die bildgebende Photolumineszenzmethode zur Analyse von Siliciummaterial und Zellen.

Darüber hinaus gibt es die unmittelbare Anbindung zum Silicium Material Technologiecenter (SiMTec) und zum Photovoltaik Modul-Technologiecenter (MTC) des Fraunhofer ISE. Hierdurch kann sichergestellt werden, dass die vorhergehenden und nachfolgenden Technologieschritte ebenfalls auf Pilotniveau abgedeckt werden können.

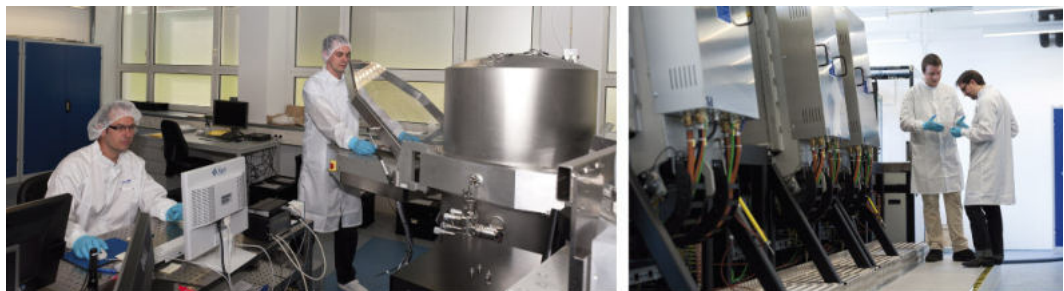
### HZB: PVcomB

Das Kompetenzzentrum Dünnschicht- und Nanotechnologie für Photovoltaik Berlin (PVcomB) ist eine gemeinsame Initiative des Helmholtz-Zentrums Berlin für Materialien und Energie GmbH (HZB) und der Technischen Universität (TU) Berlin. Als ein eigenes Institut im HZB konzentriert sich das PVcomB auf den Betrieb zweier industrienaher Forschungslinien für Solarmodule mit einer Größe von 30 cm x 30 cm basierend auf Dünnschicht-Silicium und CIGS (Kupfer-Indium-Gallium Selenid/Sulfid).

2009 wurde das PVcomB als führendes PV-Cluster in Deutschland ausgezeichnet und erhält bis 2015 im Rahmen des BMBF-Förderprogrammes „Spitzenforschung und Innovation in den Neuen Ländern“ 15 Millionen Euro zum Ausbau seiner international einzigartigen Forschungs- und Ausbildungsinfrastruktur. Auf über 1.600 m<sup>2</sup> wurden in den letzten drei Jahren Labore und Infrastruktur für zwei vollständige Herstellungslinien für Dünnschichtsolarmodule aufgebaut. Vom Reinigen der Glassubstrate bis zum Verkapseln der Solarmodule werden dabei alle Fertigungsschritte in industrienahen Anlagen realisiert.

Abbildung 4

PVcomB des HZB:  
Hier werden  
Silicium-Dünnschicht-  
und CIGS-Solarmodule  
auf industrienahen  
Referenzlinien entwickelt  
und wissenschaftlich/  
technischer Nachwuchs  
ausgebildet.



Mit diesen Linien schlägt das PVcomB die Brücke zwischen der Grundlagenforschung auf der einen und der industriellen Anwendung auf der anderen Seite. Partnern aus der Industrie dienen die Forschungslinien als Referenzen für die Weiterentwicklung ihrer Prozesse. Wissenschaftlern aus der Grundlagenforschung stehen alle notwendigen Technologien zur Verfügung, um neuartige Solarzellenkonzepte auf ihre Anwendungsgauglichkeit zu prüfen. Dabei profitieren alle Beteiligten u.a. von der hochentwickelten, prozessbegleitenden Analytik für Einzelschritte und von den umfangreichen Möglichkeiten der Schicht- und Bauelementanalyse. Dienstleistungen wie Analytik und Weiterbildung bietet das PVcomB genauso an, wie es eng in die Ausbildung des technischen und wissenschaftlichen Nachwuchses an der Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin (HTW) und an der TU Berlin eingebunden ist.

Aktuell arbeitet das PVcomB in mehreren Forschungsprojekten mit Industriepartnern (Modulproduzenten, Anlagenbauern, Materiallieferanten, Analytikfirmen) wie beispielsweise Masdar PV, Inventux und Hüttlinger im Bereich der amorph-mikrokristallinen Silicium-Dünnschichtphotovoltaik zusammen und ist Projektpartner (z. B. auch von Bosch) bei der Entwicklung neuartiger, industrietauglicher Pufferschichten für sequentielle CIGS Absorber. Parallel zu den Projekten werden die bestehenden Referenzlinien stetig optimiert und weiterentwickelt. Mit momentan 11,1% stabilem Solarzellenwirkungsgrad für a-Si/c-Si Tandem-Solarzellen sind bereits exzellente Ergebnisse erzielt.

### Fraunhofer IWES: SysTec

Im Testzentrum für intelligente Netze und Elektromobilität (SysTec) entwickelt und testet das Fraunhofer IWES neue Betriebsmittel und Betriebsverfahren für intelligente Nieder- und Mittelspannungsnetze. Darüber hinaus werden hier die Netzintegration und Netzkopplung von Elektrofahrzeugen und deren Versorgung mit Strom aus erneuerbaren Energien sowie Photovoltaiksysteme, Windenergieanlagen, Speicher- und Hybridsysteme unter realen Bedingungen untersucht.

Für den Aufbau von Anlagen bietet ein ca. 80.000 m<sup>2</sup> großes Freigelände genügend Platz mit sehr guten Bedingungen für Solar- und Windenergie. Weiterhin gibt es auf dem Freigelände konfigurierbare Verteilnetzabschnitte (Niederspannung und Mittelspannung), sowie eine Fahrstrecke, welche die Möglichkeit bietet, induktive Ladesysteme für Elektrofahrzeuge zu testen.

Im östlichen Bereich des Geländes befindet sich eine Halle mit derzeit zwei Laborbereichen:



Abbildung 5  
Prüflabor für  
Netzintegration  
im SysTec des  
Fraunhofer IWES:  
Oben: Leitwarte  
Unten: Innenansicht des  
Prüflabors

Das eine Labor enthält einen Prüfplatz für Nieder- und Mittelspannungs-Stromrichter, elektrische Maschinen oder Netzbetriebsmittel. Dort können elektrische Eigenschaften und insbesondere Systemdienstleistungen von dezentralen Erzeugern im Leistungsbereich bis zu 6 MVA entwickelt und getestet werden. Ein mobiler Prüf-Container, mit dem das Netzfehlerverhalten (Fault-Ride-Through) von Erzeugungsanlagen vermessen werden kann, ist in das Labor integriert.

Das zweite Labor ist mit Experimentieranlagen zur Netzintegration von Elektrofahrzeugen und Stromspeichern ausgestattet. Neben Hardwaresimulatoren für Batterien, Lade- und Rückspeiseeinheiten, Ladesäulen und Netzsimulatoren gibt es zur Nachbildung von Fahrprofilen einen Rollenprüfstand für Elektrofahrzeuge sowie einen Teststand zur induktiven Energieübertragung.

Ein Anwendungsbeispiel für eine Industriekooperation ist die Entwicklung eines regelbaren Ortsnetztransformators mit intelligenter Steuerung: Oftmals ist die Spannungserhöhung durch PV-Anlagen im Niederspannungsnetz eine begrenzende Größe für den Anschluss weiterer Photovoltaik-Anlagen. Die Entwicklung von intelligent regelbaren Ortsnetztransformatoren ist hier eine vielversprechende Lösung. Diese ermöglicht den Anschluss von weiteren PV-Anlagen ohne Netzausbau. Die Überprüfung dieser Entwicklung findet durch gezielte Laboruntersuchungen im SysTec statt.