



**Fraunhofer** Institut  
Solare Energiesysteme

# Jahresbericht 2008

Leistungen und Ergebnisse





Vom 14. bis 16. Oktober 2009 finden zum zweiten Mal die »Solar Summits Freiburg« statt. Die wissenschaftliche Konferenz widmet sich diesmal dem Thema »Solares Bauen«. Führende Vertreter aus Wissenschaft und Industrie werden neueste technologische Entwicklungen aus der Solarenergie-Forschung sowie innovative Baukonzepte und Projektideen aus den Bereichen solares und energieeffizientes Bauen vorstellen. Mit zahlreichen hochkarätigen Vorträgen und Diskussionsrunden bietet der Kongress, der vom Fraunhofer ISE wissenschaftlich betreut wird, einen umfassenden Überblick über die vielfältigen Einsatzmöglichkeiten von Solartechnik in Gebäuden.

Weitere Informationen und die Möglichkeit zur Anmeldung finden Sie unter:

[www.solar-summits.com](http://www.solar-summits.com)

Das Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE setzt sich für ein nachhaltiges, wirtschaftliches, sicheres und sozial gerechtes Energieversorgungssystem ein. Es schafft technische Voraussetzungen für eine effiziente und umweltfreundliche Energieversorgung, sowohl in Industrie- als auch in Schwellen- und Entwicklungsländern. Hierzu entwickelt das Institut Materialien, Komponenten, Systeme und Verfahren in den Geschäftsfeldern: Energieeffiziente Gebäude und Gebäudetechnik, Angewandte Optik und funktionale Oberflächen, Silicium-Photovoltaik, Alternative Photovoltaik-Technologien, Regenerative Stromversorgung und Wasserstofftechnologie. Zu weiteren nicht solar-technischen Kompetenzen zählen Displaytechnologie, Lichttechnik, Wasseraufbereitung und Elektromobilität.

Über die Grundlagenforschung hinaus beschäftigt sich das Institut mit der Entwicklung von Produktionstechniken und Prototypen sowie der Ausführung von Demonstrationsanlagen und dem Betrieb von Testzentren. Das Institut plant, berät, prüft und stellt Know-how und technische Ausrüstung für Dienstleistungen zur Verfügung. Seit März 2001 ist das Fraunhofer ISE nach DIN EN ISO 9001:2000 zertifiziert.



Vorwort	6
Organisationsstruktur	8
Das Institut im Profil	10
FuE-Höhepunkte des Jahres 2008	12
Professuren, Ehrungen und Preise	13
Kuratorium	14



<b>Energieeffiziente Gebäude und Gebäudetechnik</b>	<b>16</b>
- Energieversorgungsanlagen für Wohngebäude (Wärmepumpen, Mikro-KWK)	20
- Komponentenentwicklung für neue und etablierte Wärmepumpenkonzepte	21
- LowEx-Flächenkühlsysteme mit Latentwärmespeichermaterialien (PCM)	22
- Begleitforschung zur solaren Kühlung im Förderprogramm »Solarthermie2000plus«	23
- Bewertungsmethoden für Fassaden	24
- Optische Simulationen für Solarkollektoren mit Reflektoren	25
- Neue Konzepte von Solarluftkollektoren	26
- »inHaus2« Forschungszentrum für Nutzzimmobilien in Duisburg	27
- LowEx-Konzepte zur effizienten Energieversorgung von Gebäuden	28
- Quantifizierung des visuellen Komforts unter Tageslichtbedingungen	29
- Polymermaterialien für die Solarthermie	30
- Vermessung und Bewertung eines Gebäudes mit VIP-Wärmedämmverbundsystem	31



<b>Angewandte Optik und funktionale Oberflächen</b>	<b>32</b>
- Hochtemperaturstabile Absorberschicht für Fresnelkollektoren	36
- Gaschrome Fassadensysteme	37
- Optische Nanostrukturen für die Photovoltaik	38
- Optimierung von Optiken für die konzentrierende Photovoltaik	40



## Silicium-Photovoltaik

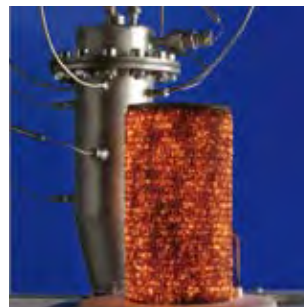
- SIMTEC – Silicium Material Technologie- und Evaluationscenter 46
- Auf dem Weg zu kostengünstigen epitaktischen Dünnschichtsolarzellen 48
- Siebdrucksolarzellen mit feuerstabiler Rückseitenpassivierung 49
- Laserablationsprozesse für die industrielle Solarzellenfertigung 50
- Inkjet-Technologie zur Strukturierung hocheffizienter Industriesolarzellen 51
- Nasschemische Prozesstechnik 52
- Einzelwaferverfolgung in der Solarzellenfertigung 53
- Mikroskopische Analytik von Siliciummaterialien 54
- Hot-Spots an Rückwärtsdurchbrüchen in defektreichen Siliciumsolarzellen 55
- Hocheffizienz solarzellen aus n-Typ Silicium 56
- Höchsteffiziente Solarzellen mit gedruckten Kontakten 57
- p-Typ-Laserdotierung mittels Laser Chemical Processing (LCP) 58
- Präzise Fügetechnologien zur Verbindung von Solarzellen 59
- Das BMBF-Spitzencluster »Solarvalley Mitteldeutschland« 60
- Das Fraunhofer Center für Silizium-Photovoltaik CSP 61

42

## Alternative Photovoltaik-Technologien

- III-V-Mehrfachsolarzellen mit Wirkungsgraden >41 % 66
- ConTEC – Concentrator Technology and Evaluation Center 67
- Untersuchung der Langzeitstabilität organischer Solarzellen 68
- Farbstoffsolarzellen auf dem Weg zur Marktreife 69

62



## Regenerative Stromversorgung

70

- Neue Generation photovoltaisch betriebener Umkehrosmoseanlagen zur Entsalzung 74
- Lithiumbatterien für Plug-in-Hybrid-Fahrzeuge und stationäre Anwendungen 75
- Modellbildung und Entwicklung von Regelstrategien für Redoxflow-Batterien 76
- Charakterisierung von photovoltaischen LED-Leuchten 77
- Smart Metering-System mit Feedback zu Verbrauch, Kosten und CO<sub>2</sub>-Emissionen 78
- VIRTPLANT – Optimierung dezentraler Kraftwerke in Freiburg 79
- Neue Simulationsmodelle für optimierte Ertragsprognosen 80
- Gegenseitige Verschattung bei nachgeführten Photovoltaikanlagen 81
- Netzqualitätsfunktionen mit PV-Wechselrichtern 82
- Zuverlässigkeit und Beständigkeit von Photovoltaikmodulen 83
- Solarthermische Kraftwerkskonzepte im Vergleich 84

## Wasserstofftechnologie

86

- Vollautomatisches portables 300 W<sub>el</sub>-Reformer-Brennstoffzellensystem 90
- Vollautomatisches Pyrolysesystem für Hochtemperatur-PEM-Brennstoffzelle 92
- Direkte Stromgewinnung aus Ethanol 93
- Systemsimulation von Mikrobrennstoffzellen-Batterie-Hybridsystemen 94
- Kinetikuntersuchungen an Direkt-Ethanol-Brennstoffzellen 95
- Low-Cost – High-Tech: Mikrobrennstoffzellen auf dem Weg zur Serienreife 96
- Redoxflow-Batterien – Elektrisches Speichersystem für regenerative Energien 97



## Fakten im Überblick

<b>Servicebereiche</b>	<b>98</b>	<b>Gastwissenschaftler</b>	<b>108</b>
- VDE-Fraunhofer ISE-Testzentrum Photovoltaik (TZPV)	102	<b>Mitarbeit in Gremien</b>	<b>108</b>
- Qualitätssicherung von PV-Anlagen	103	<b>Kongresse, Tagungen und Seminare</b>	<b>110</b>
- Kalibrieren von Solarzellen und Modulen (Callab)	103	<b>Vorlesungen und Seminare</b>	<b>111</b>
- Charakterisierung und Qualifizierung von elektrischen Komponenten	104	<b>Messebeteiligungen</b>	<b>112</b>
- Messen und Prüfen von Lüftungs- geräten und Wärmepumpen	104	<b>Promotionen</b>	<b>112</b>
- Prüfzentrum für Thermische Solaranlagen (PZTS)	105	<b>Eingereichte Patente</b>	<b>113</b>
- Vermessung von Fassaden und transparenten Bauteilen (TOPLAB)	106	<b>Erteilte Patente</b>	<b>114</b>
		<b>Pressearbeit</b>	<b>115</b>
		<b>Veröffentlichungen in rezensierten Zeitschriften</b>	<b>116</b>
		<b>Bücher und Beiträge zu Büchern</b>	<b>119</b>
		<b>Vorträge</b>	<b>120</b>
		<b>Impressum</b>	<b>132</b>





Das Jahr 2008 war mit Abstand das bisher erfolgreichste Jahr des Fraunhofer ISE und ich möchte hierfür allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern meine Anerkennung und meinen herzlichen Dank aussprechen.

Unser Institut konnte 2008 bei nur noch 12 Prozent Grundfinanzierung zum ersten Mal ein Gesamtbudget (inkl. Investitionen) von über 50 Mio. € erreichen, eine Steigerung von mehr als 20 Prozent gegenüber 2007. Die Zahl aller Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter ist noch schneller gewachsen – von über 600 auf jetzt mehr als 800. Dieser rasche Zuwachs erforderte eine personelle Verstärkung und Neustrukturierung unserer Verwaltung. Unser neuer kaufmännischer Leiter und Verwaltungschef Dr. Holger Schroeter sowie unser neuer Gruppenleiter Personalwesen Thomas Arnsberg haben die nicht unerheblichen Aufgaben dieses Wachstums mit frischem Elan in Angriff genommen.

Auch im wissenschaftlichen Führungsteam haben wir einen Wechsel vollzogen. Dr. Andreas Gombert hat das Institut verlassen und ist heute CTO unseres Spin-off Concentrix Solar. Neuer Abteilungsleiter »Materialforschung und Angewandte Optik« am Fraunhofer ISE wurde Dr. Werner Platzer.

Besonders erwähnenswert unter den herausragenden Forschungsergebnissen (siehe Seite 12/13) ist der neue Weltrekord von 41,1 Prozent für die Effizienz von III-V-Mehrfachsolarzellen auf Germanium-Substrat, der kurz nach Jahresende präsentiert werden konnte. Dieses Ergebnis ist ausgesprochen erfreulich, da die Concentrix Solar GmbH, eine Ausgründung des Fraunhofer

ISE, diese Solarzellen in ihren Konzentratormodulen auf den Markt bringt und in Freiburg eine erste Produktionsanlage mit einer Kapazität von 25 MW/a in Betrieb genommen hat.

Das Jahr 2008 brachte dem Fraunhofer ISE eine ganze Reihe von Einweihungen. Besonders erwähnenswert ist das neue Silicium Material Technologie und Evaluationscenter SIMTEC. Hier haben wir eine komplette Wafer-Prozesslinie – von der Kristallzucht über das Sägen bis hin zur Reinigung der Wafer – aufgebaut. Im SIMTEC werden vor allem unsere Entwicklungsarbeiten auf dem Gebiet des alternativen (»dirty«) Siliciums für Solarzellen gebündelt. Diesem Thema kommt durch das in diesem Jahr erstmals auf dem Markt verfügbare sogenannte »Purified Metallurgical Grade (PMG)« Silicium eine besondere Bedeutung zu.

Auch das neue VDE-Fraunhofer ISE-Testzentrum Photovoltaik (TZPV), das wir zusammen mit dem VDE betreiben, konnte im Herbst in neue Laborräume umziehen und damit seine Prüfkapazität verdoppeln. Die enge Zusammenarbeit mit der Industrie in allen unseren Testzentren (siehe Seite 99 ff) ist sowohl für das Fraunhofer ISE als auch unsere Industriepartner von großem Vorteil. Denn neben dem reinen Testen können wir fundierte Technologieberatung anbieten, die auf unseren Forschungsarbeiten in den entsprechenden Gebieten basiert.

Die Arbeit des Fraunhofer ISE wird in Zukunft noch stärker über den Standort Freiburg hinauswachsen, denn unsere Kunden wünschen ortsnahe Labore – in Deutschland wie im internationalen Raum. Unser Labor- und Servicecenter (LSC) in Gelsenkirchen zeigt weiter ein erfreuliches Wachstum. Das mit dem Fraunhofer IISB gegründete Technologiezentrum für Halbleitermaterialien THM in Freiberg konnte entscheidende Fortschritte machen, 2009 rechnen wir mit der vollständigen Aufnahme der Arbeit. Ein großer Erfolg des Fraunhofer Center für Silizium-Photovoltaik CSP in Halle/Saale war die entscheidende Zuarbeit beim Exzellenzcluster »Solarvalley Mitteldeutschland« (siehe Seite 60/61). Hieran ist das Fraunhofer ISE, als Teil des Fraunhofer CSP in Halle und als externer Partner in Freiburg beteiligt. Prof. Gerhard Willeke (Fraunhofer ISE) und Dr. Jörg Bagdahn (Fraunhofer IWM Halle) möchte ich für diese erfolgreiche Aufbauarbeit meine ausdrückliche Anerkennung aussprechen.



In den USA konnten wir entscheidende Hilfe bei der Gründung des Fraunhofer Center for Sustainable Energy Systems CSE am MIT in Boston leisten. Mit Prof. Roland Schindler hat das Fraunhofer ISE einen hervorragenden Experten entsandt, um den Aufbau zu unterstützen. Im April wohnte Bundesaußenminister Frank-Walter Steinmeier zusammen mit der MIT-Präsidentin Dr. Susan Hockfield der Unterzeichnung eines Memorandum of Understanding (MOU) zur Gründung des Fraunhofer CSE bei.

In Singapur wurde mein Vorgänger als Institutsleiter, Prof. Joachim Luther, Gründungsdirektor des Solar Energy Research Institute of Singapore SERIS, mit dem wir eine enge Zusammenarbeit planen. Ein erster Schritt soll – zusammen mit dem VDE – der Aufbau eines zertifizierten Testzentrums für Solarmodule in Singapur sein. Sowohl in Singapur als auch in Korea ist der ISE-Schwerpunkt energieeffiziente Gebäudetechnik von großem Interesse. Im Mai konnte ich ein MOU zur Zusammenarbeit auf diesem Gebiet mit dem Oberbürgermeister von Seoul unterzeichnen.

Ein ganz besonderer Erfolg war für uns die erste Intersolar North America in San Francisco, die zusammen mit der Semicon WEST stattfand. In meiner Funktion als neues Mitglied im Board des Industrieverbands SEMI International werde ich die Interessen der schnell wachsenden PV-Branche in dieser wichtigen globalen Vereinigung mit mehr als 2000 Mitgliedsfirmen vertreten.

Mit den Solar Summits Freiburg starteten wir eine neue Konferenzreihe. Diese wird unter wesentlicher Einbeziehung des ISE zu wechselnden Themen jährlich stattfinden. Die Auftaktveranstaltung zum Thema »Silicon Materials for Photovoltaics« im Oktober zog Teilnehmer aus 23 Staaten an. Im Oktober 2009 wird das Thema »Solar Buildings« im Fokus stehen. Im Rahmen einer Klimakonferenz im November 2008 besuchte Bundesaußenminister Frank-Walter Steinmeier das Fraunhofer ISE.

Schließlich möchte ich noch eine Veranstaltung besonderer Art erwähnen: Silicon FOREST (FORTschritte in der Entwicklung von Solarzellen-Strukturen und Technologien), die Dr. Stefan Glunz zusammen mit Dr. Giso Hahn (Fraunhofer ISE und Universität Konstanz) sowie Dr. Jan Schmidt (ISFH Hameln) bereits zum vierten Mal

veranstaltete. Silicon FOREST bringt Diplomanden, Doktoranden und post-docs aus ganz Deutschland zusammen, um aktuelle Ergebnisse der Forschung an Silicium-Solarzellen vorzustellen und zu diskutieren. Die Veranstaltungsreihe vernetzt Teilnehmerinnen und Teilnehmer, die später in verschiedensten Firmen und Forschungseinrichtungen tätig sein werden.

Wir freuen uns sehr über die Ernennung von Dr. Bruno Burger zum Honorarprofessor an der Universität Karlsruhe (TH) und über die Berufung von Matthias Rommel zum Professor und Leiter des Instituts für Solartechnik SPF an der Hochschule für Technik Rapperswil (HSR). Sein Weggang hinterlässt bei uns eine große Lücke, aber wir freuen uns mit ihm über die große Anerkennung eines Mitarbeiters unseres Instituts. Seit Oktober 2008 lehren Wissenschaftler des Fraunhofer ISE auch im Rahmen des neuen Masterstudiengangs »Renewable Energy Management« am Zentrum für Erneuerbare Energien (ZEE) der Universität Freiburg.

Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des Fraunhofer ISE wurden auch in diesem Jahr durch ehrenvolle Auszeichnungen gewürdigt. Dr. Bruno Burger, Dr. Frank Dimroth, Dipl.-Phys. Michael Köhl und Dr. Harry Wirth erhielten eine Fraunhofer-Exzellenzzulage. Dr. Michael Hermann erhielt den internationalen Bionic Award der Schauenburg-Stiftung, der durch den VDI und die Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU) erstmals verliehen wurde. Er wurde für seine Arbeit am FraTherm<sup>®</sup>-Verfahren zur Optimierung solarthermischer Kollektoren und anderer Wärmetauscher nach biomimetischen Vorbildern ausgezeichnet. Dr. Stefan Glunz erhielt mit seinen Mitarbeitern Dr. Oliver Schultz, Dr. Daniel Kray sowie Dr. Ansgar Mette in Anwesenheit des italienischen Staatspräsidenten den Eni Award für ihre Arbeiten an dünnen, hocheffizienten Solarzellen.

Abschließend möchte ich unseren Kuratoren, den für die kontinuierliche Förderung des Instituts so wichtigen Mitarbeitern des Umwelt-, des Wissenschafts- und des Wirtschaftsministeriums des Bundes, den Mitarbeitern der Projektträger sowie auch den für unsere weitere Entwicklung unerlässlichen Landesministerien in Stuttgart für die erfolgreiche, vertrauensvolle Zusammenarbeit herzlich danken.





Andreas Bett



Gerhard Willeke



Karin Schneider



Thomas Faasch



Ralf Preu



Stefan Glunz



Volker Wittwer

Die Organisationsstruktur des Fraunhofer-Instituts für Solare Energiesysteme ISE basiert auf zwei parallel verlaufenden, sich wechselseitig ergänzenden Komponenten: den wissenschaftlichen Abteilungen und den Geschäftsfeldern.

Die wissenschaftlichen Abteilungen des Instituts sind für die Forschung und Entwicklung (FuE) in den Laboren, die Projektarbeit und die konkrete Arbeitsorganisation entscheidend. Der Großteil der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter aus den Bereichen Wissenschaft und Technik ist in den wissenschaftlichen Abteilungen tätig.

Die Außendarstellung unseres Instituts, unsere Marketingaktivitäten im Bereich FuE und vor allem unsere Strategieplanung orientieren sich an den sechs Geschäftsfeldern, die die inhaltlichen Schwerpunkte unserer Forschungstätigkeiten widerspiegeln.



Eicke R. Weber

Hans-Martin Henning

Christopher Hebling

Günther Ebert

Werner Platzer

Holger Schroeter

Institutsleitung	Prof. Dr. Eicke R. Weber	+49 (0) 7 61/45 88-51 21
Stellvertretende Institutsleitung	Prof. Dr. Volker Wittwer	+49 (0) 7 61/45 88-51 40
Abteilungen	Elektrische Energiesysteme Dr. Günther Ebert	+49 (0) 7 61/45 88-52 29
	Energietechnik Dr. Christopher Hebling	+49 (0) 7 61/45 88-51 95
	Materialforschung und Angewandte Optik Dr. Werner Platzer	+49 (0) 7 61/45 88-59 83
	Materialien – Solarzellen und Technologie Dr. Andreas Bett	+49 (0) 7 61/45 88-52 57
	PV-Produktionstechnologie und Qualitätssicherung Dr. Ralf Preu	+49 (0) 7 61/45 88-52 60
	Siliciumsolarzellen – Entwicklung und Charakterisierung Dr. Stefan Glunz	+49 (0) 7 61/45 88-51 91
	Thermische Anlagen und Gebäudetechnik Dr. Hans-Martin Henning	+49 (0) 7 61/45 88-51 34
Kaufmännische und Technische Dienste	Dr. Holger Schroeter	+49 (0) 7 61/45 88-56 68
Presse und Public Relations	Karin Schneider M.A.	+49 (0) 7 61/45 88-51 47
Strategieplanung	Dr. Thomas Schlegl	+49 (0) 7 61/45 88-54 73
Technische Leitung	Dipl.-Ing. Thomas Faasch	+49 (0) 7 61/45 88-52 03

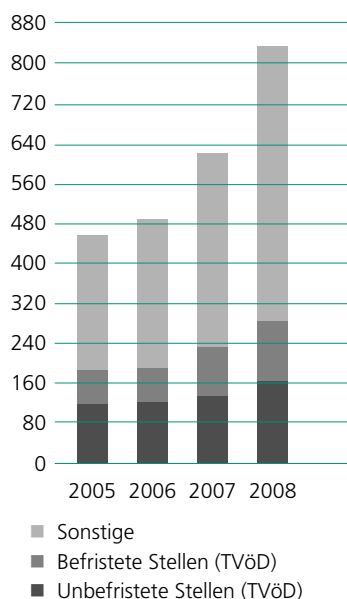
## Kurzportrait

Das Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE setzt sich für ein nachhaltiges, wirtschaftliches, sicheres und sozial gerechtes Energieversorgungssystem ein. Es schafft technische Voraussetzungen für eine effiziente und umweltfreundliche Energieversorgung, sowohl in Industrie- als auch in Schwellen- und Entwicklungsländern. Hierzu entwickelt das Institut Materialien, Komponenten, Systeme und Verfahren in den Geschäftsfeldern: Energieeffiziente Gebäude und Gebäudetechnik, Angewandte Optik und funktionale Oberflächen, Silicium-Photovoltaik, Alternative Photovoltaik-Technologien, Regenerative Stromversorgung und Wasserstofftechnologie. Zu weiteren nicht solartechnischen Kompetenzen zählen Displaytechnologie, Lichttechnik, Wasseraufbereitung und Elektromobilität.

Über die Grundlagenforschung hinaus beschäftigt sich das Institut mit der Entwicklung von Produktionstechniken und Prototypen sowie der Ausführung von Demonstrationsanlagen und dem Betrieb von Testzentren. Das Institut plant, berät, prüft und stellt Know-how und technische Ausrüstung für Dienstleistungen zur Verfügung. Seit März 2001 ist das Fraunhofer ISE nach DIN EN ISO 9001:2000 zertifiziert.

## Personal

Eine wichtige Stütze des Instituts bilden die »sonstigen Mitarbeiter«, welche die Arbeit in den Forschungsprojekten unterstützen und so wesentlich zu den wissenschaftlichen Ergebnissen beitragen. Im Dezember 2008 waren dies 94 Doktoranden, 102 Diplomanden, 45 Praktikanten, 5 Auszubildende sowie 234 wissenschaftliche Hilfskräfte. Das Fraunhofer ISE leistet auf diese Weise einen wichtigen Beitrag zur Ausbildung von Forschern in diesem wichtigen Arbeitsgebiet.



## Forschungs- und Dienstleistungsangebot

Das Fraunhofer ISE ist Mitglied der Fraunhofer-Gesellschaft, die sich als Mittler zwischen universitärer Grundlagenforschung und industrieller Praxis versteht und anwendungsorientierte Forschung zum Nutzen der Wirtschaft und zum Vorteil der Gesellschaft betreibt. Das Fraunhofer ISE finanziert sich zu über 80 Prozent durch Aufträge in den Bereichen angewandte Forschung, Entwicklung und Hochtechnologie-Dienstleistungen. Kennzeichnend für seine Arbeitsweise sind der Praxisbezug und die Orientierung am Kunden. Das Institut ist in nationale und internationale Kooperationen eingebunden, es ist u. a. Mitglied des Forschungsverbunds Erneuerbare Energien (FVEE) und der European Renewable Energy Centers (EUREC) Agency. Das Institut kann auf die Kompetenz anderer Fraunhofer-Institute zurückgreifen und so interdisziplinäre Komplettlösungen erarbeiten. Besonders eng ist auch die Zusammenarbeit mit der Albert-Ludwigs-Universität vor Ort in Freiburg.

## Vernetzung Fraunhofer-Gesellschaft

- Mitglied der Fraunhofer-Allianzen Bau, Energie, Nanotechnologie, Optisch funktionale Oberflächen und SysWasser
- Mitglied im Institutsverbund »Werkstoffe, Bauteile« (Materialforschung)
- Gastmitglied im Institutsverbund »Oberflächentechnik und Photonik«
- Koordination des Fraunhofer-Innovations-themas »Mikroenergie-technik« im Rahmen der »Perspektiven für Zukunftsmärkte«

## Internationale Kunden, Auftraggeber und Kooperationspartner

Das Fraunhofer ISE arbeitet seit Jahren mit internationalen Kooperationspartnern und Auftraggebern erfolgreich zusammen. Eine Auflistung unserer Partner im In- und Ausland finden Sie unter [www.ise.fraunhofer.de/ueber-uns/partner](http://www.ise.fraunhofer.de/ueber-uns/partner).

## Fraunhofer ISE Außenstandorte

Das seit 2000 bestehende Fraunhofer ISE Labor- und Servicecenter (LSC) Gelsenkirchen ist über die Landesgrenzen von NRW hinaus Partner für die Photovoltaik-Industrie. Solarzellenhersteller nutzen die Dienstleistung des LSC für die Qualitätskontrolle ihrer Produktion ebenso wie für kurzfristige Problemlösungen in der Prozesslinie. Das Angebot des Labors umfasst die Simulation und Optimierung von Durchlaufprozessen, die Entwicklung neuer Prozesse und Strukturen für Solarzellen sowie die Erforschung großflächiger Heterosolarzellen aus amorphem und kristallinem Silicium. Das LSC Gelsenkirchen führt auch Trainings im Bereich Charakterisierungsverfahren und Solarzellentechnologie durch.

Die jüngste Außenstelle, das Fraunhofer Center für Silizium-Photovoltaik CSP in Halle/Saale, wird gemeinsam von den Fraunhofer-Instituten für Werkstoffmechanik IWM, Freiburg und Halle, und Fraunhofer ISE betrieben. Am Standort Halle entsteht ein Kristallisations- und Materialanalysezentrum, in dem gemeinsam mit Industriepartnern gezielte Forschung und Entwicklung zu Siliciummaterial durchgeführt wird. Darüber hinaus werden Konzepte für Silicium-Dünnschichtzellen und Modulintegration entwickelt. Nach dem Startschuss in 2007 gewann das Fraunhofer CSP 2008 gemeinsam mit anderen Forschungseinrichtungen und Unternehmen den Spitzenclusterwettbewerb »Solarvalley Mitteldeutschland« der Bundesregierung.

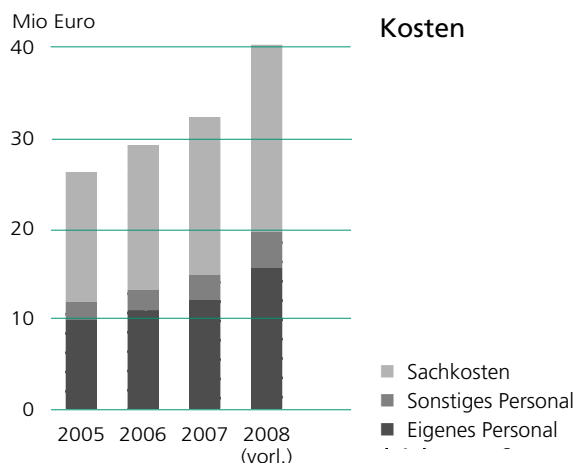
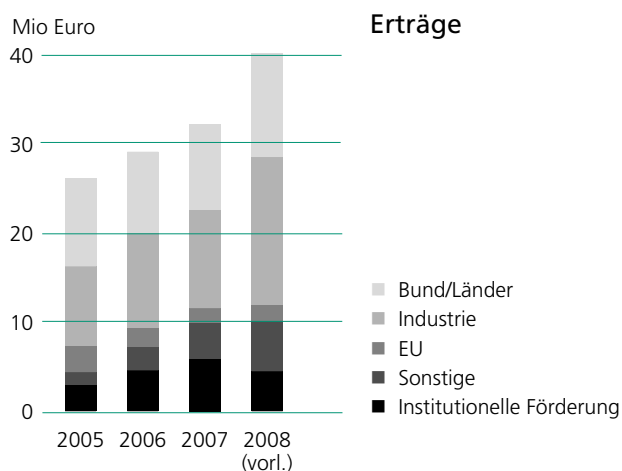
Das 2008 neu gegründete Fraunhofer Center for Sustainable Energy Systems CSE in Boston soll dazu beitragen, in Europa etabliertes Know-how und Technologien im Bereich erneuerbarer Energien für den amerikanischen Markt weiterzuentwickeln und dort einzuführen. Schwerpunkte der Aktivitäten werden die Solartechnik und das energieeffiziente Bauen sein. Geplant ist eine enge Kooperation der Forscher des Fraunhofer ISE mit Wissenschaftlern des Fraunhofer CSE sowie des amerikanischen Massachusetts Institute of Technology MIT.

Das Technologiezentrum Halbleitermaterialien THM in Freiberg, Sachsen, besteht seit 2005 und ist eine Kooperation des Fraunhofer ISE mit dem Fraunhofer-Institut für Integrierte Systeme und Bauelementetechnologie IISB, Erlangen. Das THM

unterstützt Firmen bei der Forschung und Entwicklung zur Materialpräparation und -bearbeitung für 300-mm-Silicium, Solarsilicium und III-V-Halbleiter. Darüber hinaus bietet es Dienstleistungen für die laufende Produktion der Industriepartner im Bereich Analytik, Charakterisierung und Test an.

In Kooperation mit dem Fachbereich Physik der Universität Konstanz wird seit 2006 eine gemeinsame Photovoltaik Projektgruppe betrieben.

Die Finanzstruktur der Fraunhofer-Gesellschaft unterscheidet zwischen dem Betriebs- und dem Investitionshaushalt. Der Betriebshaushalt umfasst alle Personal- und Sachaufwendungen sowie deren Finanzierung durch externe Erträge und institutionelle Förderung. Zusätzlich zu den in der Grafik angegebenen Ausgaben tätigte das Institut im Jahr 2008 Investitionen in Höhe von 14,4 Mio € (ohne Um- und Ausbauminvestitionen).



## Forschung und Entwicklung

- Erster Betrieb einer Kühldecke mit integriertem Phasenwechselmaterial (PCM) an einem Kraft-Wärme-Kälte Verbund zur besseren Auslastung des Blockheizkraftwerks
- Vakuum-Isolations-Paneele (VIPs) als baugleiche Wärmedämmung durch Industriepartner in den Markt gebracht
- Erstmals vollständige Jahresarbeitszahlen in umfangreichem Wärmepumpen-Monitoring ermittelt
- Start eines großen europäischen Projekts zur Entwicklung von solartechnischen Lösungen für Hochhäuser (Projekt »Cost-Effective«) unter Leitung des Fraunhofer ISE
- Neuer Solaranlagen-Systemteststand entwickelt und in Betrieb genommen, mit dem bis zu vier Systeme gleichzeitig nach EN12976 vermessen werden können
- Forschungsanlage »inHaus2« in Duisburg in Betrieb genommen
- Vermessung des Fresnel-Demonstrationskollektors für Direktverdampfung auf der Plataforma Solar de Almería, Spanien
- Demo-Fassade mit gaschromer Schaltung des Sonnenschutzes
- Entwicklung einer hochtemperaturstabilen Absorberschicht für den Einsatz in Fresnelkollektoren
- Spektrale Simulation und Optimierung von ein- und zweistufigen Konzentratoroptiken
- 23,2 % n-typ Siliciumsolarzelle mit Bor-Vorderseitenemitter
- Großflächige 15,1 % Waferäquivalent-Solarzelle auf mc-Si-Substrat mit porösem Reflektor (IMEC), 20 µm Schichtdicke
- 20,3 % p-typ Siliciumsolarzelle mit gedruckten Kontakten (Aerosol + Ag-Galvanik)
- 20,1 % n-typ Siliciumsolarzelle mit Aluminium-Rückseitenemitter
- 20,3 % p-typ Siliciumsolarzelle mit Kontakten aus abgeschiedenem Nickel (Ni-Platen + Ag-Galvanik)
- Solarzelle mit LCP (Laser-Chemical-Processing) mit 20,4 %
- 21,1 % rückseitig kontaktierte Solarzelle auf n-typ Silicium mit industriell relevanter Maskierungstechnologie (Laserablation und Siebdruck)
- Analytisches REM zur Materialuntersuchung mit EBSD, EDX, T-EBIC, CL einsatzfähig
- Erste Demonstration eines quantitativen Messverfahrens zur orts aufgelösten Serienwiderstands-Bestimmung für die Inline Produktionskontrolle (Messzeiten unter 1 s)
- Demonstration eines quantitativen orts aufgelösten Messverfahrens zur Inline-Klassifizierung von Hot-Spots mit Messzeiten unter 10 ms
- 18,1 % Wirkungsgrad für 130 µm dünne, siebgedruckte Cz-Si Solarzelle (125x125 mm<sup>2</sup>) mit LFC-Kontakten, auf Produktionsanlagen – überwiegend im PV-TEC – demonstriert
- 16,6 % Wirkungsgrad für eine mc-Si Solarzelle (125x125 mm<sup>2</sup>,  $R_{sh\ emitter}=80\ \Omega/sq$ ) mit inline-galvanisierten Feinlinien-Siebdruck-Kontakten, vollständig im PV-TEC prozessiert
- MWT-Solarzellenprozess an namhaften deutschen Zellhersteller transferiert, Wirkungsgradvorteil von 0,3–0,4 % im Vergleich zur Al-BSF-Referenzzelle demonstriert
- 20 µm bzw. feine Saatschicht auf Inkjet-geöffneter Siliciumnitridschicht und 50 µm feine Siebdruck-Saatschicht auf texturierten Siliciumscheiben hergestellt
- Inline-Messung der Chemikalien einer sauren Texturlösung auf der Basis einer Stichprobe von 10 000 Wafern demonstriert
- Laser-Fired-Contact-Prozess (ca. 15 000 Kontakte pro s) von 2 µm dünnen aufgedampften Schichten auf 30 µm dicke siebgedruckte Schichten übertragen
- Inline-Hochratenaufdampfanlage mit Applied Materials GmbH & Co. KG entwickelt und aufgebaut, dynamische Abscheiderate von 5 µm m/min demonstriert.
- 41,1 % Weltrekordwirkungsgrad für eine III-V-Konzentratorsolarzelle bei 454facher Sonneneinstrahlung
- 37,6 % für eine III-V-Konzentratorsolarzelle bei 1700facher Sonneneinstrahlung
- 28,5 % Wirkungsgrad bei Konzentratormodulen
- Herstellung eines 60 cm x 100 cm Farbstoff-solarzellenmoduls für Industrieworkshop
- Flexible organische Solarzellenmodule mit aufskalierbaren Technologien hergestellt
- Weltrekord für Fluoreszenzkollektoren mit 6,7 % elektrischem Wirkungsgrad
- 98,8 % Wirkungsgrad für Photovoltaik-Wechselrichter mit Siliciumkarbid Bauelementen



- Inbetriebnahme eines innovativen Kommunikations-Gateways zur Erfassung der Messdaten von Strom- und Gaszählern (EWE-Box) durch den Projektpartner
- Entwicklung technischer und wirtschaftlicher Konzepte für den Marktzugang dezentraler Energieerzeuger (MASSIG)
- Fraunhofer ISE koordiniert Projekt »intellekon« zur Untersuchung intelligenter Mess- und Feedbacksysteme für den Energieverbrauch von Haushalten
- Untersuchungen zur Integration von Photovoltaik im städtischen Raum im Rahmen des europäischen Forschungsprojekts »PV-UPSCALE«
- Einsatz intelligenter Kommunikations- und Energiemanagementsysteme für das Stromnetz demonstriert (DEMAX)
- Konzept für zuverlässige und effiziente Entsalzung auf Basis von PV-betriebenen batterielosen Umkehrosmoseanlagen entwickelt
- Systemmodelle für unterschiedliche Batterietechnologien entwickelt
- Prüfverfahren zur Qualitätsbeurteilung von PV-LED-Systemen entwickelt
- Fraunhofer ISE und VDE kooperieren bei der Zertifizierung von Brennstoffzellensystemen
- Passive Mikrobrennstoffzelle mit dampfförmiger Methanolzuführung in Kunststoffspritzguss vorgestellt
- Direkt-Ethanol-Brennstoffzelle demonstriert
- Fraunhofer Attract-Programm mit der Thematik Passive Mikrobrennstoffzellen/Wassermanagement gestartet
- VDE-Fraunhofer ISE-Testzentrum Photovoltaik (TZPV) für standardisierte Qualitätssicherung eröffnet, zur Prüfung und Zertifizierung von Solarstrommodulen nach den international anerkannten IEC-Normen
- SIMTEC – Silicium Material Technologie Evaluationscenter eröffnet. Schwerpunkte: Silicium-Kristallisation, Wafertechnologie sowie kristalline Silicium-Dünnschichttechnologie
- ConTEC – Concentrator Technology and Evaluation Center vollständig in Betrieb. Schwerpunkte: Test von Konzentratorsolarzellen und -modulen, Entwicklung von Verbindungstechnologien, Durchführung von Alterungstests

## Professuren, Ehrungen und Preise

- Dr. Stefan Glunz, Abteilungsleiter »Siliciumsolarzellen – Entwicklung und Charakterisierung«, und seine Kollegen Dr. Oliver Schultz, Dr. Daniel Kray und Dr. Ansgar Mette erhielten den internationalen Eni Award 2008. Im Mai 2008 wurde ihnen in Rom vom italienischen Energiekonzern Eni in Anwesenheit des italienischen Staatspräsidenten der Preis in der Kategorie »Science and Technology« für ihre Arbeiten zu dünnen hocheffizienten Siliciumsolarzellen überreicht.
- Dr. Michael Hermann wurde für seine bionischen Forschungsarbeiten zur Entwicklung marktgängiger Technologien mit dem internationalen Bionic Award ausgezeichnet. Der Bionic Award wurde 2008 zum ersten Mal im Auftrag der Schauenburg-Stiftung im Stifterverband für die Deutsche Wissenschaft durch VDI und DBU vergeben.
- Prof. Dr. Eicke R. Weber wurde in das »Board of Directors« des Industrieverbands SEMI International berufen.
- Prof. Joachim Luther wurde vom Magazin »Time« zum »Hero of the Environment 2008« gewählt.
- Matthias Rommel wurde zum Professor und Leiter des Instituts für Solartechnik SPF an der Hochschule für Technik Rapperswil (HSR) berufen.
- Dr. Bruno Burger wurde von der Universität Karlsruhe (TH) im Dezember 2008 zum Honorarprofessor bestellt.
- Dr. Tom Smolinka erhielt für sein Poster zum Thema »High Efficient Solar Hydrogen Production by Combining PV Concentrator Solar Cells with PEM Electrolysis Cells« den 2. Preis beim Poster Award der f-cell 2008 in Stuttgart.
- Xiaohui Tian wurde auf dem Grove Fuel Cell Symposium in Kopenhagen mit dem Best Poster Award 2008 in der Kategorie »Fuel Cells, Science & Technology« ausgezeichnet. Sein Poster behandelte das Thema »Computational Geometry Design and Modeling of a Vapor-fed Direct Methanol Fuel Cell«.
- Gerhard Peharz<sup>1</sup>, Gerald Siefer<sup>1</sup>, Kenji Araki<sup>2</sup> und Dr. Andreas Bett<sup>1</sup> erhielten für ihre Präsentation zum Thema »Spectrometric Outdoor Characterization of CPV Modules« den Best Student Presentation Award der IEEE 2008 in der Kategorie »Concentrator Cells and Systems«.

<sup>1</sup> Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE

<sup>2</sup> Daido Steel Co. (Japan)

Das Kuratorium begutachtet die Forschungsprojekte und berät die Institutsleitung und den Vorstand der Fraunhofer-Gesellschaft bezüglich des Arbeitsprogramms des Fraunhofer ISE.  
Stand: 24.11.2008

## **Vorsitzender**

**Dr. Hubert Aulich**

PV Silicon Forschungs- und Produktions AG,  
Erfurt

## **Stellvertretender Vorsitzender**

**Dipl.-Ing. Helmut Jäger**

Solvis GmbH & Co. KG, Braunschweig

## **Mitglieder**

**Ministerialrätin Susanne Ahmed**

Ministerium für Wissenschaft, Forschung und  
Kunst Baden-Württemberg, Stuttgart

**Dipl.-Phys. Jürgen Berger**

VDI/VDE Innovation + Technik GmbH, Berlin

**Dr. Robert Brunner**

Carl Zeiss AG, Jena

**Hans-Josef Fell**

Mitglied des Deutschen Bundestags, Berlin

**Ministerialrat Dr. Frank Güntert**

Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg,  
Stuttgart

**Peter Hertel**

W.L. Gore & Associates GmbH,  
Putzbrunn/München

**Prof. Thomas Herzog**

Herzog + Partner GbR, München

**Dr. Winfried Hoffmann**

Applied Materials GmbH & Co. KG, Alzenau

**Dr. Florian Holzapfel**

Q-Cells AG, Bitterfeld-Wolfen

**Dr. Holger Jürgensen**

Aixtron AG, Aachen

**Dr. Franz Karg**

Avancis GmbH & Co. KG, München

**Ministerialrat Dr. Knut Kübler**

Bundesministerium für Wirtschaft und  
Technologie (BMWi), Berlin

**Dr. Ralf Lüdemann**

Deutsche Cell GmbH, Freiberg

**Dipl.-Volkswirt Joachim Nick-Leptin**

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz  
und Reaktorsicherheit (BMU), Berlin

**Klaus-Peter Pischke**

Kreditanstalt für Wiederaufbau, Frankfurt

**Dr. Klaus-Dieter Rasch**

AZUR SPACE Solar Power GmbH, Heilbronn

**Dr. Dietmar Roth**

Roth & Rau AG, Hohenstein-Ernstthal

**Prof. Günter Schatz**

Universität Konstanz, Konstanz

**Dipl.-Ing. Rainer Schild**

Vaillant GmbH, Remscheid

**Prof. Frithjof Staiß**

Zentrum für Sonnenenergie- und  
Wasserstoff-Forschung (ZSW), Stuttgart

**Karl Wollin**

Bundesministerium für Bildung und  
Forschung (BMBF), Bonn

# Geschäftsfelder

Energieeffiziente Gebäude  
und Gebäudetechnik

Angewandte Optik und  
funktionale Oberflächen

Silicium-Photovoltaik

Alternative Photovoltaik-  
Technologien

Regenerative Stromversorgung

Wasserstofftechnologie

Servicebereiche





## Energieeffiziente Gebäude und Gebäudetechnik

Energetisch nachhaltige Gebäude schützen nicht nur das Klima, sondern lassen sich auch besser vermarkten. Insbesondere der Aspekt der Vermarktung wird durch die inzwischen vollzogene Einführung des Gebäude-Energiepasses in Deutschland an Bedeutung zunehmen, da der Nutzer künftig ein Gebäude hinsichtlich seiner Energieeffizienz bewerten kann. Für Gebäude, die erneuerbare Energien nutzen und die eine hohe Energieeffizienz aufweisen, werden leichter Käufer und Mieter zu finden sein. Dies gilt für Neubauten ebenso wie für Gebäude im Bestand, für gewerbliche Bauwerke sowie wie für Einfamilienhäuser. Gleichzeitig bieten nachhaltige Gebäude einen hohen Nutzungskomfort: viel natürliches Licht ohne Blendung, angenehme Temperaturen während des gesamten Jahres und frische Luft ohne Zugerscheinungen.

Nach wie vor verbrauchen wir in Deutschland rund 40 Prozent der Endenergie für das Wohlbefinden in Gebäuden. Der flächenbezogene Energiebedarf ist in den vergangenen Jahren zwar gesunken, diese Reduktion wurde jedoch durch eine größere Wohnfläche pro Kopf und andere Effekte überkompensiert. Rationelle Energienutzung reduziert den Energieeinsatz für Heizen, Kühlen, Lüften und Beleuchtung und verbessert dabei oft den Nutzungskomfort. Grundsätzlich gilt: Je geringer der verbleibende Energiebedarf, desto größer ist der Anteil, den erneuerbare Energien sinnvoll decken können.

Am Fraunhofer ISE sind Gebäude und ihre technische Ausrüstung ein zentrales Geschäftsfeld. Wir sind immer dann der richtige Ansprechpartner, wenn neue Lösungen gesucht werden oder besonders hohe Anforderungen zu erfüllen sind. So entwickeln wir neue Geräte und Konzepte, machen sie in Produkten oder Verfahren praxisreif und testen sie in Demonstrationbauten. Oder wir unterstützen bei der Konzipierung anspruchsvoller Bauwerke mit Simulationswerkzeugen, die wir bei Bedarf selbst weiterentwickeln. Die Bearbeitungstiefe der Themen reicht von der Grundlagenentwicklung bis zur Markteinführung von Materialien, Komponenten und Systemen.

Hierbei arbeiten viele Disziplinen zusammen – von der Materialforschung und Schichtentwicklung bis zur Komponenten- und Systementwicklung einschließlich der erforderlichen Tests. Bei der Umsetzung in Bauprojekten bieten wir Planung, Beratung und Konzeptentwicklung zu allen Fragen im Bereich Energie und Nutzerkomfort an, ebenso wie die Implementierung neuer Verfahren zur energieeffizienten Betriebsführung und Regelung. Darüber hinaus begleiten wir ausgeführte Projekte mit einem wissenschaftlichen Monitoring hoher Qualität. Nationale Demonstrationsprogramme begleiten wir mit umfangreichen Analysen.

Wichtige Themen unserer Arbeiten im Bereich der Gebäudehülle sind die Tageslichtnutzung und der Sonnenschutz. In Leichtbauten spielt die Wärmespeicherfähigkeit der Bausysteme eine zunehmend wichtige Rolle, insbesondere um energiesparende Kühlkonzepte zu verwirklichen. Hier entwickeln wir neue Verfahren und Systeme auf der Basis von Phasenwechselmaterialien.

Bei den Energie-Versorgungstechniken spielen Wärmepumpen für Gebäude mit niedrigem Energieverbrauch eine wachsende Rolle. Systeme der Kraft-Wärme-Kopplung – und im Weiteren auch der Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung – gewinnen ebenfalls an Bedeutung. Im Bereich des Einsatzes von Solarenergie stellen neben der solaren Brauchwassererwärmung und der Heizungsunterstützung mit Solarenergie die Integration von Photovoltaik in die Gebäudehülle sowie die sommerliche Klimatisierung mit Solarenergie aussichtsreiche Anwendungen für die Zukunft dar.

Entscheidend für das Funktionieren der Gesamtsysteme – Gebäudehülle, Versorgungstechnik und Nutzer – ist die Betriebsführung. Mit Hilfe neuer modellbasierter Konzepte zur Betriebsführung wird die Leistungsfähigkeit einzelner Komponenten des Gebäudes permanent überwacht, evaluiert und gegebenenfalls korrigiert.

Im Team mit Architekten, Fachplanern und der Industrie entwickeln wir Gebäude für morgen. Dabei verfolgen wir einen integralen Planungsansatz, um hinsichtlich Wirtschaftlichkeit, Energieeffizienz und Nutzerkomfort optimierte Konzepte zu verwirklichen. Die internationalen Rahmenbedingungen hierfür gestalten wir unter anderem durch unsere Mitarbeit in Projekten der Internationalen Energieagentur IEA.

Eine wachsende Bedeutung kommt der Langzeitbeständigkeit neuer Materialien und Komponenten zu. Deshalb haben wir diese Thematik kontinuierlich ausgebaut und bieten Dienstleistungen an, die neben der messtechnischen Charakterisierung auch die modellbasierte Prognose von Alterungsprozessen umfassen.





Am 5. November 2008 feierte in Duisburg ein außergewöhnliches Gebäude Eröffnung: das »inHaus2«. Etwa anderthalb Jahre lang konzentrierten sich hier Forschung und Entwicklung auf die intelligente Baustelle, neue Materialien oder energiesparende Systeme. Über 50 Partner aus Wirtschaft und Forschung waren an der Realisierung beteiligt. Das Fraunhofer ISE koordinierte die Forschungsbereiche Gebäudebetrieb und Facility Management (siehe Beitrag Seite 27).

## Ansprechpartner

Energieeffiziente Gebäude und Gebäudetechnik	Dr. Hans-Martin Henning	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-51 34 E-Mail: Hans-Martin.Henning@ise.fraunhofer.de
Gebäudekonzepte, Analyse und Betrieb	Dipl.-Ing. Sebastian Herkel	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-51 17 E-Mail: Sebastian.Herkel@ise.fraunhofer.de
Solare Fassaden	Dipl.-Phys. Tilmann Kuhn	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-52 97 E-Mail: Tilmann.Kuhn@ise.fraunhofer.de
Gebrauchsdaueranalysen	Dipl.-Phys. Michael Köhl	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-51 24 E-Mail: Michael.Koehl@ise.fraunhofer.de
Lichttechnik/Anwendung im Gebäudebereich	Dipl.-Ing. Jan Wienold Dr. Werner Platzer	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-51 33 E-Mail: Jan.Wienold@ise.fraunhofer.de Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-59 83 E-Mail: Werner.Platzer@ise.fraunhofer.de
Energie-Versorgungsanlagen für Wohngebäude	Dr. Benoît Sicre	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-52 91 E-Mail: Benoit.Sicre@ise.fraunhofer.de
Wärme- und Kältespeicher	Dipl.-Phys. Peter Schossig	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-51 30 E-Mail: Peter.Schossig@ise.fraunhofer.de
Thermische Kollektoren und Anwendungen	Dipl.-Phys. Matthias Rommel	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-51 41 E-Mail: Matthias.Rommel@ise.fraunhofer.de
Monitoring und Demonstrationsprojekte	Dipl.-Ing. Sebastian Herkel Dipl.-Ing. Klaus Kiefer	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-51 17 E-Mail: Sebastian.Herkel@ise.fraunhofer.de Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-52 18 E-Mail: Klaus.Kiefer@ise.fraunhofer.de

## Energieversorgungsanlagen für Wohngebäude (Wärmepumpen, Mikro-KWK)

Die energieeffiziente Bereitstellung von Wärme und Strom in Wohngebäuden gewinnt stetig an Bedeutung. Auf diesem Gebiet realisieren wir Effizienzbewertungen und unterstützen Hersteller von Wärme- und Lüftungssystemen bei der Entwicklung von neuen Geräten oder Anlagenkomponenten. Unser Angebot umfasst System- und Komponentensimulation, Prototypentwicklung und Teststandcharakterisierung sowie Nullserienevaluierung.

Lukasz Kaczmarek, Thomas Kramer, **Marek Miara**, Nidal Mustapha, Thore Oltersdorf, Michael Platt, **Christel Russ**, Kurt Schüle\*, **Benoît Sicre**, Jeannette Wapler\*\*, Jakub Wewior, Xiaolong Zhang, Hans-Martin Henning

\* Kollektorfabrik GbR, Freiburg

\*\* PSE AG, Freiburg

Eine effiziente Energieumwandlung – zunehmend unter Einbeziehung erneuerbarer Energien – spielt eine zentrale Rolle, um die anvisierten CO<sub>2</sub>-Reduktionsziele verwirklichen zu können.

Im Bereich der Wärmepumpentechnik führen wir am Fraunhofer ISE derzeit im Auftrag von Herstellern und Energieversorgungsunternehmen breit angelegte Feldmesskampagnen mit ca. 200 Anlagen durch. Die Wärme- und Stromflüsse werden minütlich erfasst und ermöglichen die Bewertung der Energieeffizienz der Anlagen sowie deren Betriebsverhalten. Dank der Vielzahl an Anlagen und deren geographischer Verteilung über die gesamte Fläche der Bundesrepublik erlangen wir bei diesen Messungen ein umfassendes Know-how über den Stand der Technik bei unterschiedlichsten Witterungsbedingungen, Nutzerprofilen und Wärmequellen. Daraus leiten wir Empfehlungen für die Geräteweiterentwicklung und die Systemoptimierung ab.

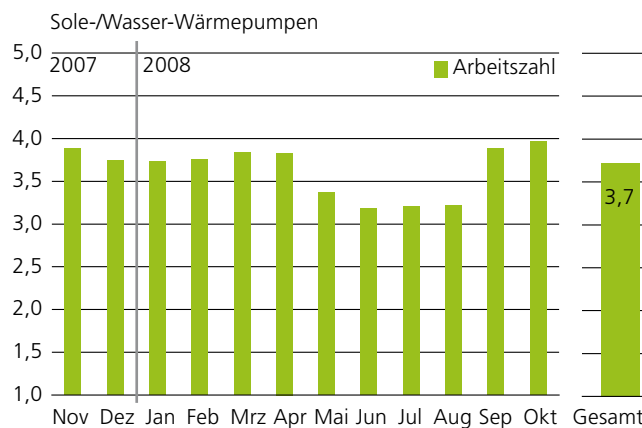


Abb. 1: In einem Monitoringprogramm vermessen, analysieren und bewerten wir eine große Anzahl Wärmepumpensysteme im Neubau und im Gebäudebestand hinsichtlich Effizienz und Optimierungspotenzial. In Neubauten werden für Heizung und Warmwasserbereitstellung mittlere Arbeitszahlen von 3,7 für Erdreich, 3,0 für Luft und 3,5 für Grundwasser als Wärmequelle erreicht (November 2007 bis Oktober 2008, 43 Erdreich-, 6 Luft- und 4 Wasserwärmepumpenanlagen).

Auf dem Gebiet der Mikro-Kraftwärmekopplung untersuchen wir Holzpellets als Brennstoff und analysieren neue konstruktive Konzepte und Betriebsstrategien zur Erhöhung des Brennstoffausnutzungsgrads und der Stromausbeute. Im Rahmen des Projekts »PeStiS« wurde das Zusammenspiel eines 1 kW Stirlingmotors mit einer 15 kW Pelletsfeuerung simuliert, am Teststand charakterisiert und die Betriebsführung unter energetischen und finanziellen Gesichtspunkten optimiert.

Die Arbeiten werden vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) gefördert und durch Industriepartner unterstützt.



Abb. 2: Konzeption und Überprüfung eines Mikro-KWK-Systems mit Holzpellets als Brennstoff. Zielsetzung war die Maximierung der Stromausbeute mittels eines ausgefeilten Energiemanagementkonzepts und einer flexiblen Abwärmeverwertung durch hocheffiziente Wärmespeicherung und -bereitstellung. Das Bild zeigt den Stirlingmotor und die Pelletsfeuerung in ihrem Entwicklungsfeld (Foto: Stirling Power Module GmbH).

## Komponentenentwicklung für neue und etablierte Wärmepumpenkonzepte

Sowohl elektrisch als auch thermisch angetriebene Wärmepumpen nutzen primärenergetische Einsparpotenziale im Gebäudebereich, da zusätzlich zur Antriebsenergie Umweltwärme in den Prozess integriert wird. Wir arbeiten an der gezielten Entwicklung und Optimierung von Komponenten. Durch die Verbesserung der internen Wärme- und Stofftransportprozesse können neben dem systembedingten Einsparpotenzial beider Technologien weitere Effizienzsteigerungen erreicht werden.

Jörg Dengler, Gerrit Földner, Thore Oltersdorf, Ferdinand Schmidt\*, Lena Schnabel, Benoît Sicre, Kai Witte, Ursula Wittstadt, Hans-Martin Henning

\* Universität Karlsruhe

Bei thermisch angetriebenen Wärmepumpen liegt der Schwerpunkt der Komponentenentwicklung auf Zeolith/Wasser-Systemen und hier insbesondere in der Entwicklung neuer Sorptionsmittel-Metall-Verbundstrukturen. In Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer IFAM (Dresden/Bremen), Fraunhofer ITWM und Fraunhofer IVV entwickeln wir derzeit Wärmeübertrager, in denen das Adsorbens durch Aufkristallisation direkt auf eine Faser- oder Schwammstruktur aufgebracht wird. Die Bewertung der Materialien und Strukturen erfolgt durch experimentell bestimmte Gleichgewichtsdaten, Vermessung der Wärme- und Stoffübertragungsdynamik im Miniatur- und Apparatemaßstab, sowie durch Untersuchung der Zyklenstabilität. Die beschriebenen Adsorberkonzepte versprechen eine deutliche Steigerung der Leistungsdichte. Diese Arbeiten erfolgen im Rahmen des Fraunhofer-Eigenforschungsprojekts »Thermisch angetriebene Hochleistungskälteverfahren (THOKA)«. Gleichzeitig arbeiten wir im Rahmen des BMWi-Verbundprojekts »SORCOOL« an neuen Verdampferkonzepten. Zur Identifizierung geeigneter Siederoberflächen werden Siedekennlinien an horizontalen Heizflächen vermessen. Der Übertrag auf den Verdampferapparat wird an einem weiteren Messaufbau untersucht.

Bei elektrisch angetriebenen Wärmepumpen liegt der Fokus unserer Arbeiten in der Ver-

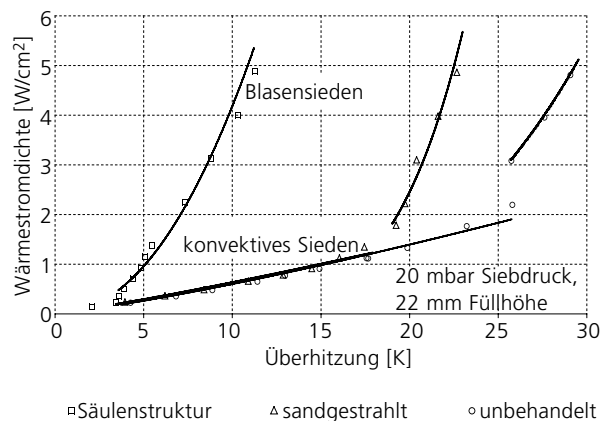


Abb. 1: Wärmeübertragungscharakteristik für drei unterschiedliche Heizflächen (Kupfer mit quaderförmiger Säulenstruktur, sowie sandgestrahlter und unbehaltener Oberfläche). Die Siederegime machen sich durch unterschiedliche Steigungen bemerkbar. Ziel ist es, eine möglichst hohe Wärmestromdichte bei geringen Überhitzungen (<5 K) zu erreichen. Dies gelingt mit der Säulenstruktur am Besten.



Abb. 2: Das Foto zeigt die Säulenstruktur in der Vermessung. Die Schrauben in der Mitte dienen zur Fixierung der Probe. Gut zu erkennen ist rechts eine über der Heizfläche aufsteigende Blase.



Abb. 3: Darstellung einer Wärmeübertragerstruktur für Kompressionswärmepumpen mit Luft als Wärmequelle. Das angewandte Fertigungsverfahren kombiniert Vorteile aus dem Bereich quer angeströmter Flachrohr-Wärmeübertrager und längs durchströmter Lamellen-Rohr-Wärmeübertragern.

dampferentwicklung für die Nutzung luftbasierter Wärmequellen. Hier untersuchen wir alternative Werkstoffe und neue Konzepte für die Strömungsführung sowohl luft- als auch kältemittelseitig. Die so verbesserten Komponenten werden charakterisiert und in Kundensysteme wie Luft-Luft- und Luft-Wasser-Wärmepumpen integriert.



## LowEx-Flächenkühlsysteme mit Latentwärmespeichermaterialien (PCM)

*Innovative LowEx-Flächenkühlsysteme arbeiten mit kleinen Temperaturdifferenzen zwischen dem Kühlmedium und der zu erzielenden Raumtemperatur. Durch die zusätzliche Integration eines sehr effizienten thermischen Speichers in Form von Phase Change Materials PCM, kann das Potenzial zur Nutzung regenerativer Energiequellen für die Klimatisierung deutlich erhöht werden. Ziel unserer Arbeit ist die Entwicklung solcher Flächenkühlsysteme bis hin zur Realisierung von Demonstrationsobjekten.*

Stefan Gschwander, Thomas Haussmann,  
**Peter Schossig**, Hans-Martin Henning

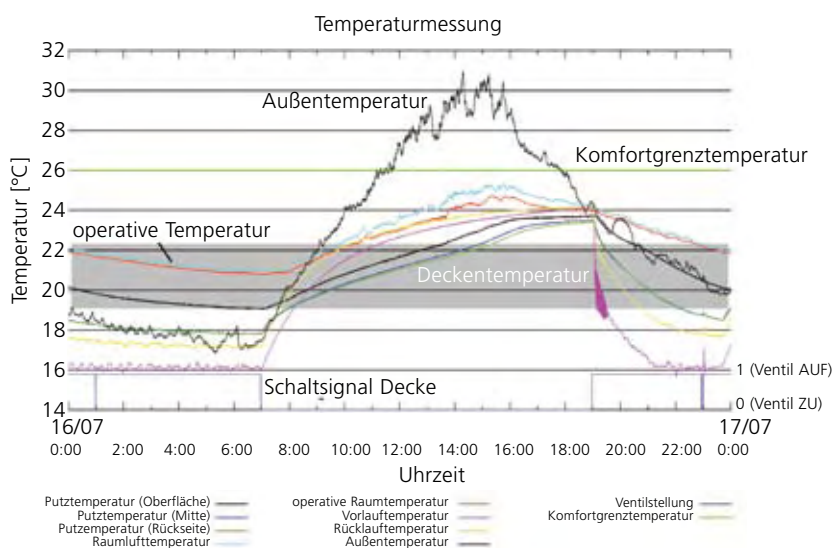


Abb. 1 zeigt beispielhaft Temperaturverläufe in einem Büro mit einer PCM-Demonstrationskühldecke (gemessen am Fraunhofer ISE) an einem Sommertag. Raumtemperaturen über 26 °C konnten bei hohen Außentemperaturen von bis zu rund 30 °C sicher vermieden werden, ohne am Tag die Kühldecke aktiv zu betreiben. In der Nacht wird das PCM über eine angeschlossene KWKK-Anlage (Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung) regeneriert.



Aufbauend auf bereits früher am Fraunhofer ISE gemeinsam mit der Industrie entwickelten Baustoffen mit integriertem Latentwärmespeichermaterial (PCM) haben wir jetzt aktiv wasserdurchströmte Kühlflächensysteme mit integriertem PCM entwickelt. Ein wesentlicher Vorteil dieser neuen Technologie liegt in der zeitlichen Entkopplung der Kälteerzeugung vom Kältebedarf durch den integrierten Speicher. Die Kälteanlage kann hierdurch nicht nur effizienter betrieben, sondern auch deutlich kleiner dimensioniert werden, da sie nicht mehr die Spitzenlast im Tagesverlauf abdecken muss. Besonders energieeffiziente LowEx-Kühlungskonzepte werden dadurch begünstigt.

Zentrale Aufgabenstellungen im Rahmen unserer Arbeit waren:

- Bestimmung eines geeigneten PCM, insbesondere des Schmelzbereichs
- Entwicklung eines technisch realisierbaren Systemaufbaus
- Durchführung geeigneter Demonstrationsprojekte
- Untersuchungen zur Regelstrategie und Ermittlung der Effizienzgewinne der PCM-Flächenkühlsysteme

Nach dem Aufbau zweier Kühldecken erfolgt jetzt deren Monitoring mit Auswertung und Optimierung.

Die Entwicklung eines Simulationstools zur Unterstützung der Markteinführung von PCM-Baustoffen und -systemen war ein weiterer wesentlicher Aufgabenschwerpunkt. Seit März 2008 ist dieses simulationsbasierte Rechentool unter dem Namen »PCM-Express« kostenlos über den Projektpartner Valentin Energiesoftware erhältlich.

Die Arbeiten wurden vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) im Rahmen des Projekts »PCM-Aktiv« gefördert.

Abb. 2: Im Rahmen des Projekts »PCM-Aktiv« wurde ein simulationsbasiertes Rechentool für interessierte Bauherren, Planer und Anwender entwickelt. Damit können auf einfache Weise die möglichen thermischen und wirtschaftlichen Vorteile einer Gebäudekühlung mit PCM im Vergleich zu einer konventionellen Lösung ermittelt werden. Das Tool kann kostenfrei von der Homepage des Projektpartners Valentin Energiesoftware ([www.valentin.de](http://www.valentin.de)) bezogen werden.

## Begleitforschung zur solaren Kühlung im Förderprogramm »Solarthermie2000plus«

Im Förderprogramm »Solarthermie2000plus« des BMU führt das Fraunhofer ISE die Begleitforschung für Anlagen der solarthermischen Kühlung durch. Schwerpunkte der Begleitforschung bilden die Unterstützung des Projektträgers bei der Auswahl der Vorhaben, in der Planungsphase sowie bei der Bewertung des Betriebsverhaltens der realisierten Anlagen. Die Bandbreite der beantragten Vorhaben hinsichtlich Konzeption und Kälteleistung ist groß. Die erste Anlage nahm Ende 2007 den Betrieb auf.

York Tiedtke\*, Jakub Wojciech Wewiór,  
Edo Wiemken, Hans-Martin Henning

\* PSE AG, Freiburg

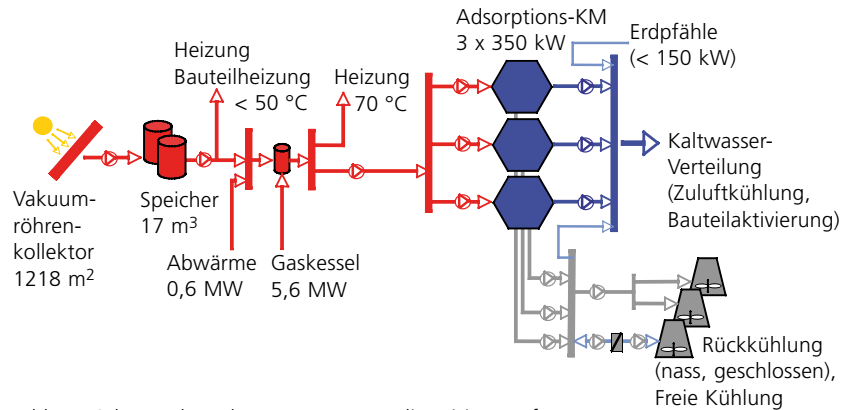


Abb. 1: Schema der solar unterstützten Klimatisierung für das Technologiezentrum der FESTO AG & Co. KG. Ca. 26 000 m<sup>2</sup> Bürofläche werden über eine Kälteversorgung mit Kaltwasser aus drei Adsorptionskältemaschinen mit jeweils 353 kW Nennkälteleistung klimatisiert. Die Anlage wurde 2001 errichtet. Seit Ende 2007 reduziert eine solarthermische Anlage mit 1218 m<sup>2</sup> Kollektorfläche den Wärmebezug aus den Gaskesseln.

Bis Ende 2008 haben insgesamt drei Anlagen zur solarthermischen Kühlung den Betrieb aufgenommen. Diese ersten drei Systeme weisen bereits auf die vielfältigen Anwendungsmöglichkeiten der solaren Kühlung hin:

- Solar unterstützte Klimatisierung bei der FESTO AG & Co. KG in Berkheim/Esslingen mit 1218 m<sup>2</sup> Vakuurröhrenkollektoren: Das Kollektorfeld erhöht den regenerativen Anteil in der Wärmeversorgung der Adsorptionskältemaschinen mit zusammen 1,05 MW Nennkälteleistung. Weitere Wärmequellen sind Abwärme aus der Produktionsstätte sowie Gaskessel (Betrieb seit Ende 2007).
- Solare Prozesskühlung in der radiologischen Praxis Dr. Reichel & Dr. Gehrman im Ärztehaus Berlin: Eine Absorptionskältemaschine mit 10 kW Nennkälteleistung wird von 40 m<sup>2</sup> Vakuurröhren-Kollektoren thermisch angetrieben. Die Anlage verringert tagsüber den Kältebezug aus dem Hauskältenetz zur Kühlung der tomographischen Einrichtungen (Betrieb seit Sommer 2008).
- Solar autonome Klimatisierung in der Technikerschule Butzbach: Zwei Absorptionskältemaschinen mit je 10 kW Nennleistung versorgen Kühldecken und Lüftungsgeräte. Hier sind Vakuurröhrenkollektoren mit 60 m<sup>2</sup> Kollektorfläche installiert. Die Inbetriebnahme erfolgte Ende 2008.



Abb. 2: Ansicht des Niedrigenergiegebäudes der Technikerschule Butzbach, in dem eine solar autonome Klimatisierung (d. h. sommerliche solare Klimatisierung ohne zusätzliche Wärme- oder Kälte-Hilfsquelle) errichtet wurde. Zwei Absorptionskältemaschinen aus Berliner Fertigung (Firma Sonnenklima) mit jeweils 10 kW Kälteleistung werden Kaltwasser für die Klimageräte und für die Kühldecken für 335 m<sup>2</sup> Seminarfläche bereitstellen.

Die Datenerfassung wird jeweils von den Monitoring-Partnern im Förderprogramm errichtet. Nach Vorlage ausreichender Betriebsergebnisse wird eine umfassende Energiebilanzierung erstellt.

Das Projekt wird gefördert vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU).

## Bewertungsmethoden für Fassaden

*Die Modellierung von komplexen Fassaden in Gebäudesimulationsprogrammen und die Farbwirkung von Fassaden sind für die Baupraxis relevante, aktuelle Fragestellungen. Am Fraunhofer ISE befassen wir uns mit diesen Themen mit dem Ziel, die Planungssicherheit im Bauprozess zu erhöhen.*

Francesco Frontini, Sebastian Herkel,  
**Tilmann Kuhn, Helen Rose Wilson,**  
Hans-Martin Henning



Abb. 1: Isolierverglasungen aus unterschiedlichen Produktfamilien sind vor einer schwarz gestrichenen Wand des drehbaren Containers auf dem Dach des Fraunhofer ISE installiert. Bei 20° Einfallswinkel ist der Farbunterschied zwischen den unterschiedlichen Fenstern gerade noch wahrnehmbar.



Abb. 2: Die selben Isolierverglasungen wie in Abb. 1 werden hier unter einem Einfallswinkel von 75° betrachtet. Die Farbunterschiede der verschiedenen Produktfamilien sind deutlich zu erkennen. Mit einer Farbmesskamera und der am Fraunhofer ISE entwickelten Mess- und Auswertungsmethode können solche Farbunterschiede quantitativ erfasst werden.

## Modellierung von komplexen Fassaden in Gebäudesimulationsprogrammen

Aktuelle Fassadenmodelle beschreiben komplexe Fassaden als Stapel von ebenen, homogenen Schichten, in denen optische Absorption stattfindet. Zwischen den Schichten findet Wärmetransport statt. Lichtlenkende, luftdurchlässige, winkelselektiv IR-transparente und insbesondere nicht ebene Strukturen können nur stark vereinfacht berücksichtigt werden. Wir haben daher in das Gebäudesimulationsprogramm ESP-r eine neue Methodik implementiert, mit der es möglich ist, Messwerte von g-Wert, Transmissions- und Reflexionsgrad direkt als Eingabedaten für die Simulation zu verwenden. Die Implementierung ist abgeschlossen und validiert. Das Modell ist in der offiziellen ESP-r Release verfügbar. Die Arbeiten wurden teilweise von der Velux Stiftung finanziert.

## Farbwirkung von Fassaden

Die visuelle Wahrnehmung der Farbe von beschichteten Isolierverglasungen hängt von mehreren Faktoren ab. Nicht nur die Reflexionseigenschaften der Verglasungen selbst spielen eine Rolle, sondern auch die Beleuchtungsverhältnisse, die Farbe der Umgebung und der Betrachtungswinkel. In Kooperation mit der Firma TechnoTeam Bildverarbeitung GmbH haben wir eine Messmethode und theoretische Ansätze entwickelt, die quantitative Auswertungen von Farbdifferenzen im Labor und am Bau für dicke Mehrfachverglasungen erlauben. Damit ist ein wichtiger Schritt getan, um künftig die Farbwirkung von Fassaden in ihrer Komplexität zu beschreiben und besser planbar zu machen.

Die Arbeiten wurden im Rahmen des PRO INNO-Programms durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) gefördert.



## Optische Simulationen für Solarkollektoren mit Reflektoren

Derzeit befindet sich eine Vielzahl neuer Kollektortypen mit Reflektoren in der Entwicklung. Hauptgrund dafür ist, dass zur Bereitstellung von Wärme für industrielle Prozesse oder solare Kühlung oftmals hohe Temperaturen benötigt werden, die durch eine Konzentration der Solarstrahlung und damit den Einsatz von Reflektoren erreicht werden können. Durch unsere Strahlverfolgungssimulationen (Raytracing) unterstützen wir die Industrie bei der Charakterisierung und Optimierung von bestehenden und neu zu entwickelnden Kollektoren.

Stefan Heß\*, Paolo Di Lauro,  
Matthias Rommel, Hans-Martin Henning

\* PSE AG, Freiburg

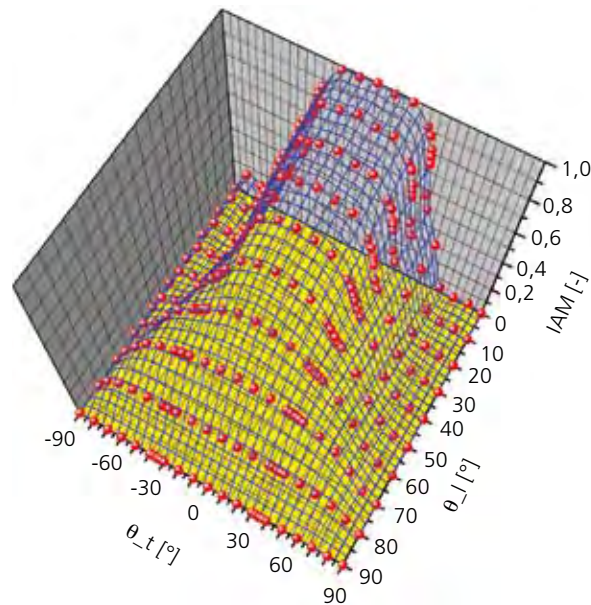


Abb. 1: Dreidimensional simulierter Einstrahlwinkelkorrekturfaktor IAM des in Abb. 2 dargestellten Kollektors für Direktstrahlung (Simulation mit realen Materialparametern, Halbakzeptanzwinkel 35°). Die Einstrahlrichtung wurde jeweils auf die longitudinale und transversale optische Achse des Kollektors projiziert ( $\theta_t$  und  $\theta_l$ ) und das Simulationsergebnis als roter Punkt eingetragen. Aus den Simulationsergebnissen wurde ein IAM von 0,64 für isotrop von der Hemisphäre ausgehende Diffusstrahlung ermittelt.

Ergebnisse unserer Strahlverfolgungsrechnungen im Programm OptiCAD sind der optische Wirkungsgrad eines Kollektors sowie der Incidence Angle Modifier (IAM) für Direktstrahlung (Abb. 1), aus dem wir den IAM für isotrope Diffusstrahlung ermitteln. Diese Ergebnisse werden direkt für Simulationen des Jahresenergieertrags für gegebene Standorte und Lastprofile verwendet. So können wir das Potenzial noch nicht real existierender Kollektortypen einschätzen und bestehende oder neue Kollektorkonzepte optimieren.

Bei der Abbildung fokussierender oder nicht fokussierender (Abb. 2) Reflektoren in der Simulationsumgebung sind wir in der Lage, neben der Streuung reflektierter Strahlen durch Diffusreflexion auch die Streuung durch makroskopische Oberflächenfehler (»Welligkeit«) oder Positionsfehler zu berücksichtigen. Diese Fehler und die charakteristischen optischen Parameter von Reflektor(en), Kollektorabdeckung(en), Absorber und sonstigen Bauteilen können am Fraunhofer ISE im Vorfeld der Simulation messtechnisch ermittelt werden. So wird die möglichst realitätsnahe Abbildung des Kollektors in der Simulationsumgebung sichergestellt. Mit Hilfe des Raytracing kann dann über eine Sensitivitätsanalyse auch ermittelt werden, welcher Fehler oder Materialparameter eines Kollektors den höchsten Einfluss auf dessen Ertrag hat.

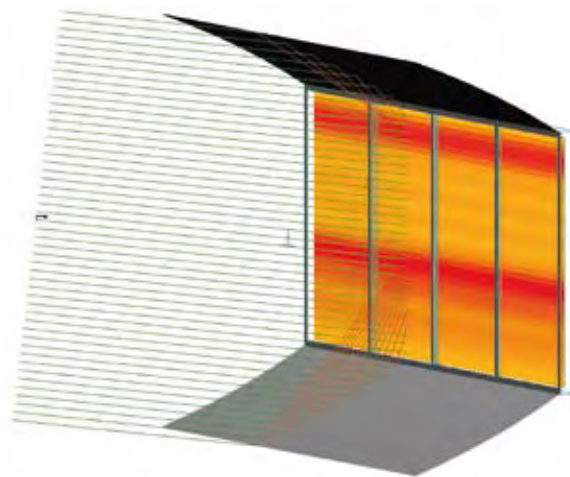


Abb. 2: Raytracing-Simulation eines neu entwickelten, nicht fokussierenden Kollektors (vereinfachte Darstellung). Ein Flachkollektor ist an Ober- und Unterseite mit CPC-Reflektoren (Compound Parabolic Concentrator) versehen (schwarz und grau). Im Bild wird ein ideal paralleler Strahlenkamm (grün) unter einem transversalen Einfallswinkel von 15° auf die Apertur des Kollektors eingestrahlt. Die nach Interaktion mit den Kollektorkomponenten auf dem Absorber auftretende Intensitätsverteilung ist rötlich dargestellt.

Die hohe Qualität unserer Raytracing-Simulationen haben wir für Flach-, Vakuumröhren- und CPC-Kollektoren anhand von Messungen validiert.

Unsere Arbeit zu Strahlverfolgung wird im Rahmen eines Industrieprojekts vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) unterstützt.

## Neue Konzepte von Solarluftkollektoren

*Solarluftkollektoren sind Kollektoren, bei denen im Absorber des Kollektors die Solarwärme nicht wie üblich auf eine Flüssigkeit übertragen wird, sondern Luft als Transportmedium verwendet wird. Solarluftkollektoren haben gegenwärtig nur einen sehr geringen Marktanteil, bieten aber eine Reihe von Vorteilen gegenüber »Wasserkollektoren«. Deshalb haben wir als einziges Forschungsinstitut in Deutschland unsere Testanlagen so erweitert, dass Entwicklungsarbeiten an Solarluftkollektoren durchgeführt werden können.*

Christian Frisch, Jens Richter,  
**Matthias Rommel**, Christoph Thoma,  
Hans-Martin Henning



Abb. 1: Luftkollektorteststand, installiert zur Leistungsmessung auf dem Dach des Fraunhofer ISE. Man erkennt den auf dem Sonnentracker aufgebauten Kollektor und davor die einzelnen Komponenten des Testkreises: zwei Ventilatoren (saug- und druckseitig), zwei Volumenstrommessgeräte und der Wärmetauscher, der über einen geregelten Thermostaten die Betriebstemperatur des Luftkollektors während der Wirkungsgradmessung vorgibt.



Flüssigkeitsdurchströmte Kollektoren und Luftkollektoren wurden bislang eher als Konkurrenztechnologien wahrgenommen. Die Solartechnik hat sich aber weiterentwickelt: Das Spektrum an Anwendungen und Materialien ist größer geworden, die Kosten für Vakuumröhren sind gesunken. Gleichzeitig wurden neue wissenschaftliche Erkenntnisse gewonnen und die Fördergelder aufgestockt. Daher ist es sinnvoll und notwendig, die Luftkollektortechnik neu zu bewerten, voranzubringen und ihre Vorteile zu nutzen. Luft friert nicht ein und kocht nicht, ist ungiftig und überall vorhanden. Aufgrund ihrer thermodynamischen Eigenschaften werden allerdings größere Wärmeübertragungsflächen und Rohrdurchmesser benötigt. Andererseits sind mit Luft kostengünstige, einfache, innovative Systemlösungen möglich.

Wir verstehen Luftkollektoren als Erweiterung der bestehenden Solartechnik. Um aussagekräftige Entwicklungsarbeiten durchführen zu können, haben wir begonnen, unsere Ausstattung entsprechend zu erweitern. Der Teststand am Fraunhofer ISE ist so konzipiert, dass er sowohl im Innenlabor mit Solarsimulator als auch in unserem Freiluftteststand mit Sonnennachführ-einrichtung eingesetzt werden kann (Abb. 1). Es ist auch möglich im Feldtest Leistungsmessungen von Luftkollektoranlagen durchzuführen.

Der Teststand hat sich bereits bei der Untersuchung einer Reihe von Solarluftkollektoren bewährt:

- Solarluftkollektor eines deutschen Herstellers mit unterströmtem selektivem Absorber
- Flachkollektor mit nicht-selektivem überströmtem Absorber aus Frankreich
- neuer Vakuumröhren-Luftkollektor

Abb. 2 zeigt eine der ersten Anlagen mit diesem Kollektor, die im Rahmen eines von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) geförderten Projekts realisiert wurde.

Abb. 2: Neuer Vakuumröhren-Luftkollektor, installiert auf einem Einfamilienhaus zur Warmwasserbereitung und Heizungsunterstützung. Die Anlage wurde als eine der ersten von insgesamt sieben Anlagen realisiert, die im Rahmen eines von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) geförderten Projekts aufgebaut und im Betrieb untersucht und ausgewertet werden.

## »inHaus2« Forschungszentrum für Nutzzimmobilien in Duisburg

Das »inHaus2« in Duisburg ist eine Innovationswerkstatt für Technologie, Produkte und Anwendungen im Bereich der Nutzzimmobilien. Ziel der Einrichtung ist eine höhere Effizienz im Planen, Umsetzen und Betreiben von Nichtwohnungsbauten. Ein herausragendes Merkmal im Energiekonzept des neuen Zentrums ist der Einsatz effizienter und innovativer Technologien zur Kühlung, Heizung und Lüftung des Gebäudes. Deren Umsetzung und Betrieb werden vom Fraunhofer ISE analysiert und bewertet.

Martin Fischer, Sebastian Herkel,  
Doreen Kalz, Tilmann Kuhn, Jens Pfafferoth,  
Hans-Martin Henning

Zusammen mit über 50 Partnern aus der Wirtschaft ist die Fraunhofer-Forschungsplattform »inHaus2« in Duisburg in Betrieb genommen worden. Das Fraunhofer ISE koordiniert dabei den Forschungsbereich Gebäudebetrieb und Facility Management.

Ein Schwerpunkt ist die Energieversorgung des Gebäudes. Unterschiedliche Nutzungsbereiche wie Büro- und Seminarräume, Konferenzbereiche sowie Labor- und Forschungsflächen werden bei der Integration innovativer und effizienter Heizungs-, Kühlungs- und Lüftungstechnologien berücksichtigt. Eine optimierte Betriebsweise und Regelstrategien stimmen die einzelnen Technologien aufeinander ab. Zentraler Bestandteil des Heiz- und Kühlkonzepts ist die Nutzung des Erdreichs als natürliche Umweltenergiequelle und -senke. Zehn 120 m tiefe Erdwärmesonden erschließen diese Energie aus dem Erdreich in Kombination mit einer elektrischen Wärmepumpe. Im Sommer kann das Erdreich dann zur direkten Kühlung des Gebäudes genutzt werden. Ergänzt wird die Gebäudekühlung durch eine sorptionsgestützte Klimatisierung zur Kühlung und Entfeuchtung der Frischluft.



Abb. 1: In der Forschungsplattform »inHaus2« werden innovative Konzepte zur Betriebsführung und -optimierung entwickelt. Das »inHaus2«-Gebäude besteht aus drei Gebäude-segmenten, in denen innovative Wärme- und Kälteübergabesysteme zum Einsatz kommen. Dazu zählen thermoaktive Bauteilsysteme in Form von Betonkern- und Fußboden-temperierung (Foto: Das Fraunhofer-inHaus-Zentrum, ©Fotograf Guido Erbrin).

Forschung und Entwicklung im Bereich Gebäudebetrieb und Facility Management des »inHaus2« zielen darauf ab, innovative Technologien der technischen Gebäudeausrüstung und der Gebäudehülle hinsichtlich des Betriebs, der Energieeffizienz und des thermischen Komforts zu untersuchen. Darüber hinaus soll die Energieperformance des Gesamtsystems von der Energieerzeugung bis hin zur Wärme- und Kälteübergabe im Raum analysiert und bewertet werden.

Das Projekt »inHaus2« wird vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF), der EU, der Landesregierung Nordrhein-Westfalen und der Stadt Duisburg gefördert.



## LowEx-Konzepte zur effizienten Energieversorgung von Gebäuden

*Gestiegene Erwartungen der Gebäudenutzer an das Raumklima und die wärmeren Sommer der letzten Jahre führten zu einem rasanten Anstieg der gekühlten Bürofläche in Deutschland. Einen großen Anteil an der Kühlung haben thermoaktive Bauteile, die vorteilhaft mit Umweltenergie betrieben werden können. Obwohl diese Technologie eine sehr große Energieeffizienz verspricht, zeigt die Praxis enormen Optimierungsbedarf. Dazu messen und analysieren wir realisierte Gebäudekonzepte im Betrieb.*

Martin Fischer, Sebastian Herkel, **Doreen Kalz**, **Jens Pfafferott**, Tobias Zitzmann, Hans-Martin Henning

Der Wunsch nach einem komfortablen Raumklima, verbunden mit der Forderung nach einem möglichst geringen Energieverbrauch und einer verbreiteten Skepsis gegenüber Klimaanlage unterstützen den Trend zu wassergeführten Systemen zum Heizen und Kühlen mit Umweltenergie. Im Jahr 2007 wurden allein in Deutschland rund 845 000 m<sup>2</sup> thermisch aktivierbare Flächen neu installiert. Knapp 60 % der Büroneubauten werden im Sommer über Flächensysteme gekühlt – und teilweise im Winter geheizt. Dabei teilen sich Betonkernaktivierung und Kühldecken zu etwa gleichen Teilen den Markt. Auch in der Sanierung finden Flächenkühlsysteme immer mehr Anwendung.

Flächenheiz- und -kühlsysteme können mit geringen Temperaturunterschieden zwischen der wärmeübertragenden Fläche und der Raumluft betrieben werden. Weil dabei Wärme mit geringer Exergie nutzbar gemacht wird, sprechen wir von LowEx-Systemen. Vorteilhaft dient das Erdreich im Sommer als Wärmesenke und in Verbindung mit einer Wärmepumpe im Winter als Wärmequelle. Die geringen Temperaturdifferenzen bringen aber auch den Nachteil mit sich, dass ein verhältnismäßig hoher Volumenstrom gefördert werden muss, um eine entsprechende Wärmemenge zu transportieren.

Unsere Messprojekte zeigen, wie wichtig die richtige Auslegung des Gesamtsystems, eine korrekte Umsetzung auf der Baustelle und schließlich eine vernünftige Betriebsführung sind, um das Potenzial dieser Technik nutzen zu können. Wir unterstützen unsere Kunden mit Konzepten und Simulationen im Planungsprozess sowie Messungen im Betrieb. Wir bringen unsere Erfahrungen aus der Praxis und Forschungsprojekten ein, um LowEx-Komponenten weiterzuentwickeln und im Gesamtsystem zu optimieren.

Diese Arbeiten werden vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) im Rahmen der Projekte »EnOB« und »LowEx:Monitor« sowie von der Forschungsinitiative ZukunftBau, Forschungsprogramm des Bundesamtes für Bauwesen und Raumordnung (BBR) gefördert.

### Gebäudesignatur

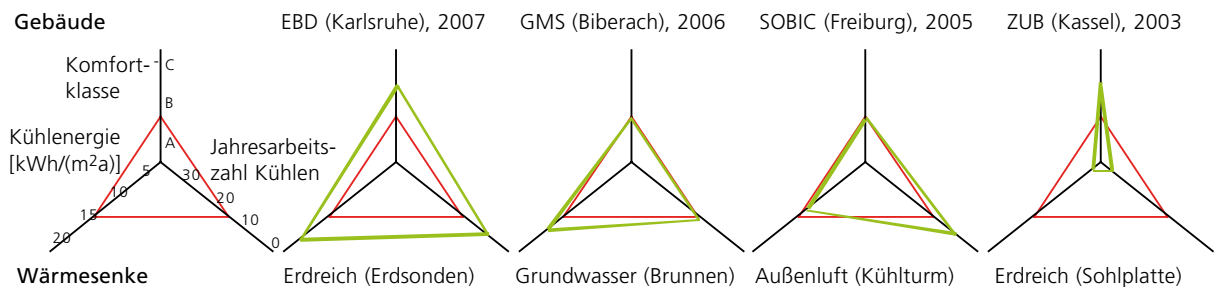


Abb. 1: Gute LowEx-Gebäude (rot) stellen ein gutes Raumklima (Komfortklasse A) mit möglichst wenig Energie (Kühlenergieverbrauch kleiner als 15 kWh/m<sup>2</sup> pro Jahr) und hoher Effizienz (Jahresarbeitszahl für das Kühlen > 10) bereit. Die Auswertung von vier LowEx-Gebäuden (grün) zeigt Stärken und Schwächen einzelner Projekte auf.

- Zwar kann im Gebäude EBD viel Kühlenergie bereitgestellt werden, die falsch dimensionierte Rohrhydraulik hat hier aber eine geringe Energieeffizienz und – verbunden mit der mangelnden Regelbarkeit – auch höhere Raumtemperaturen zur Folge.
- Im Gebäude GMS führte eine sorgfältige Betriebsoptimierung zu einem sehr guten Betriebsverhalten.
- Im Projekt SOBIC nutzt ein Kühlturm die Nachtluft als Wärmesenke, dies ist weniger effizient als die Nutzung des Erdreichs.
- Das Gebäude ZUB nutzt lediglich das Fundament als Wärmesenke. Dies wird zwar mit hoher Effizienz realisiert, die bereitgestellte Kühlenergie reicht aber nicht aus, um einen hohen thermischen Komfort zu gewährleisten.

## Quantifizierung des visuellen Komforts unter Tageslichtbedingungen

Mit dem Ziel, messtechnisch zugängliche Kennwerte für das visuelle Komfortempfinden am Arbeitsplatz zu identifizieren, untersuchen wir am Fraunhofer ISE die Wechselwirkungen verschiedener Parameter des visuellen Komforts. In Testräumen ermitteln wir dabei unter kontrollierbaren Versuchsbedingungen das subjektive Empfinden unterschiedlicher Lichtsituationen.

Niloofar Moghbel, Jan Wienold,  
Hans-Martin Henning

Bei unseren Untersuchungen in den Tageslichttesträumen des Fraunhofer ISE variieren wir Quantität und Qualität des Ausblicks, die Lichtfarbe im Raum und das Alter der Probanden systematisch. Die Versuchspersonen absolvieren bei unterschiedlichen Randbedingungen verschiedene Tests und beurteilen die Lichtsituation mittels eines Fragebogens. Parallel dazu werden die Beleuchtungsstärken am Arbeitsplatz und in Monitorebene sowie die ortsaufgelöste Leuchtdichte des Sichtfelds der Probanden messtechnisch erfasst.

In der ersten, bereits durchgeführten Versuchsreihe haben wir vier verschiedene Verschattungssysteme untersucht. Ziel der Untersuchungen ist es, messtechnisch zugängliche Kennwerte zu identifizieren, die eine verlässliche Aussage über das visuelle Komfortempfinden erlauben. Der Schwerpunkt der ersten Versuchsreihe liegt dabei auf der Validierung der Daylight Glare Probability (DGP). Die Daylight Glare Probability ist ein Index, den wir im Rahmen eines früheren Projekts am Fraunhofer ISE in Kooperation mit dem Danish Building Research Institute SBI entwickelt haben.

Die Ergebnisse der Untersuchung zeigen, dass es einen signifikanten Zusammenhang zwischen Blendungsbewertung durch die Probanden und der Daylight Glare Probability gibt.

Die Arbeiten werden von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) im Rahmen des Grundlagenprojekts »Quanta« gefördert.

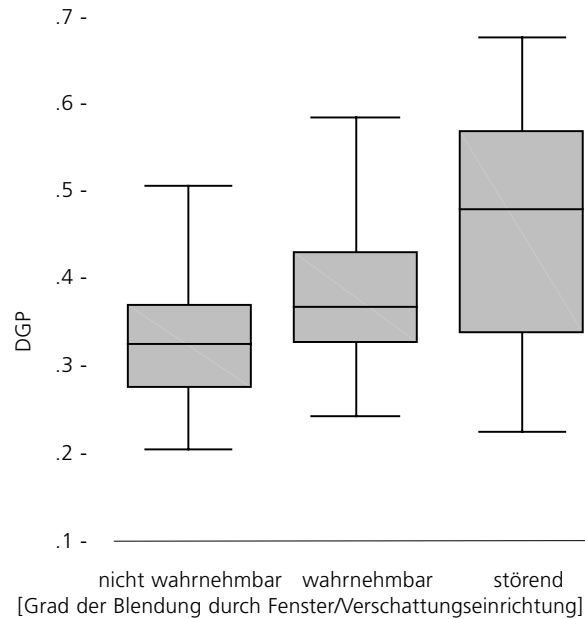


Abb. 1: Blendungsbewertung in Abhängigkeit der Daylight Glare Probability. Die Boxen repräsentieren 50 % der Voten, die horizontalen Linien über und unter den Boxen begrenzen den gesamten Wertebereich der jeweiligen Bewertung. Die Varianzanalyse zeigt einen signifikanten Zusammenhang zwischen den Bewertungen und dem DGP-Wert.



Abb. 2: Messaufbau der Testraumversuche am Fraunhofer ISE: Die Leuchtdichtekamera zur Erfassung der Leuchtdichteverhältnisse im Sichtbereich befindet sich in ca. 15 cm Abstand zur Kopfposition des Probanden (siehe linkes Bild). Die Probanden müssen mehrere Tests am Bildschirm (z. B. Abschreibetest, siehe rechtes Bild) durchführen und einen Fragebogen beantworten.

## Polymermaterialien für die Solarthermie

*Solkollektoren, die ganz oder anteilig aus Kunststoffen bestehen, haben das Potenzial deutlicher Kostenvorteile im Vergleich zu herkömmlichen Kollektoren aus Metall und Glas. Allerdings gilt es Werkstoffe zu finden, die den optischen und mechanischen Erfordernissen an einen leistungsstarken Sonnenkollektor gerecht werden. Zudem muss die Geometrie so optimiert werden, dass die niedrige Wärmeleitfähigkeit der Polymere möglichst kompensiert wird. Hierfür haben wir geeignete Simulationswerkzeuge entwickelt.*

Steffen Jack, Thomas Kaltenbach,  
**Michael Köhl**, Karl-Anders Weiß,  
Hans-Martin Henning

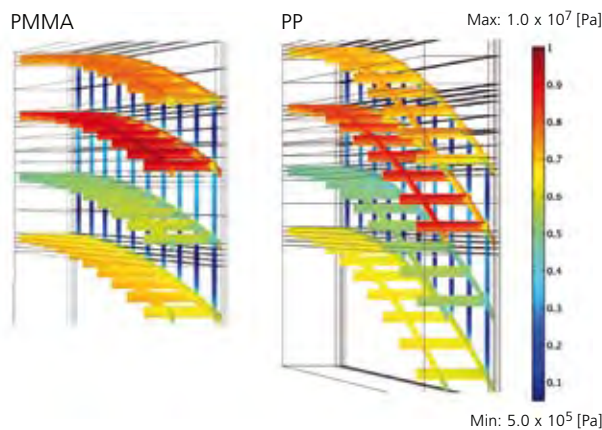
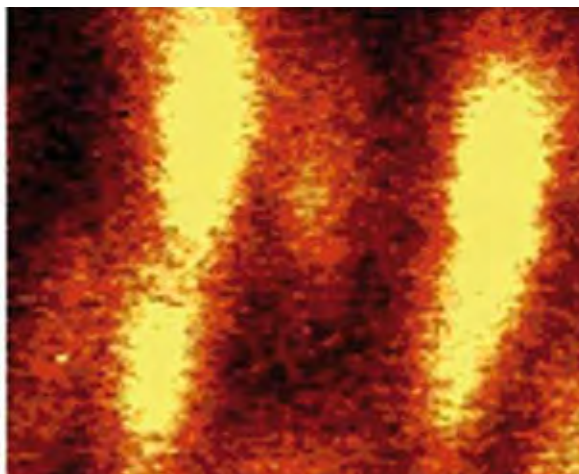


Abb. 1: Die Abbildung zeigt das Ergebnis einer mechanischen Simulation von Absorberkanälen aus Polymermaterialien. Als Basisgeometrie wurde eine Dreifachstegplatte verwendet. Das Wärmeträgermedium fließt hierbei im mittleren Kanal, der oben die Absorberschicht trägt. Die Verformung ist überhöht dargestellt, zeigt jedoch die Auswirkungen des größeren Temperaturexpansionskoeffizienten von PP (rechts) gegenüber PMMA (links). Die Spannungen sind farblich dargestellt.



Im Rahmen der Task 39 »Polymeric Materials for Solar Thermal Applications« des Solar Heating and Cooling Programme der International Energy Agency (IEA) arbeiten wir mit Firmen aus der Polymertechnik, der Solartechnik sowie anderen Forschungsinstituten an einem komplett neuen Kollektordesign für angepasste Systemkonzepte. Ziel ist eine optimale System-Performance zu erreichen. Im Mittelpunkt stehen die Absorption der Sonnenstrahlung, die Wärmeleitfähigkeit und die Wärmekapazität der neuen Materialien. Für die Optimierung des Absorber-Designs wurde ein Simulationswerkzeug auf der Basis des Finite-Elemente Programmsystems »COMSOL Multiphysics« entwickelt. Dieses ermöglicht Parameter-Empfindlichkeits- und -Optimierungsstudien durch die Berechnung der Strömungsprofile und der Temperaturverteilung für unterschiedliche Geometrien der Kanäle für das Wärmeträgermedium. Darüber hinaus untersuchen wir auch thermo-mechanische Spannungen, welche durch Temperaturgradienten in den Materialien auftreten können sowie mechanische Spannungen durch Schneelasten (Abb. 1).

Im Rahmen einer Projektzusammenarbeit mit französischen Kollegen des Institut National de l'Énergie Solaire (INES) gelang es uns, Polymermaterialien durch die Zugabe von Nanofüllern wie beispielsweise Kohlenstoff-Nanoröhrchen für UV-Strahlung zu stabilisieren und ihre Wärmeleitfähigkeit beträchtlich zu steigern. Am Fraunhofer ISE werden diese Proben charakterisiert und umfassenden Alterungsprüfungen ausgesetzt. Abb. 2 zeigt eine Raman-mikroskopische Aufnahme einer ungealterten PP-Probe, bei der deutlich die räumliche Verteilung der Nanoröhrchen zu sehen ist.

Die Arbeiten werden durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) unterstützt.

Abb. 2: Auswertung eines Tiefenscans einer mit Kohlenstoff-Nanoröhrchen gefüllten PP-Probe mit dem Raman-Mikroskop. Der Scanbereich umfasst 5 µm in der Breite und 5 µm in der Tiefe mit einer Auflösung von 100 x 100 Spektren. Die hellen Bereiche zeigen eine hohe Intensität der Kohlenstoff-Bande und repräsentieren somit die Verteilung der Nanoröhrchen.



## Vermessung und Bewertung eines Gebäudes mit VIP-Wärmedämmverbundsystem

*In einem Demonstrationsgebäude testeten wir ein am Fraunhofer ISE entwickeltes praxisgerechtes Wärmedämmverbundsystem mit Vakuumdämmung. Das System zeichnet sich durch einen schlanken Aufbau, minimale Wärmebrücken, Schutz vor Beschädigung sowie gute Anpassbarkeit an Bautoleranzen aus. Die schadensfreie Anbringung der Wärmedämmung, mit lokalen Anpassungen an der Baustelle, war für die regionalen Handwerker unproblematisch. Die Messergebnisse zeigen die Funktionstauglichkeit des Dämmsystems.*

Christel Russ, Thomas Schmidt,  
Werner Platzer



Abb. 1: Mit dem VIP-Wärmedämmverbundsystem (Dicke 90 mm) ausgestattetes Demonstrationsgebäude (Einfamilienhaus bei Giengen/Brenz). U-Wert der Wand  $U_w=0,13 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ .

Um die für heutige Ansprüche notwendigen Wärmedämmwerte zu erreichen ( $U_w < 0,3 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ ), werden oft zweischalige Wände mit Außendämmung eingesetzt. Preiswerte Lösungen sind hierbei Wärmedämmverbundsysteme (WDVS). 200–300 mm Dämmstärke benötigt viel Platz und kann unter architektonischen Gesichtspunkten unerwünscht sein.

Mit unseren Industriepartnern Porextherm Dämmstoffe GmbH und maxit Deutschland GmbH haben wir ein komplettes Wärmedämmverbundsystem auf der Basis von Vakuum-Isolations-Paneelen (VIP) mit entsprechender Dämmwirkung entwickelt, das eine Reihe von Vorteilen aufweist:

- wenige Standardgrößen notwendig
- Schutz vor Beschädigung
- flexible Größenanpassung
- Durchstoßpunkte leicht planbar
- minimierte Wärmebrücken

Ein Einfamilienhaus wurde zur Demonstration mit dem 90 mm dicken Dämmsystem (Passivhaus-Variante 110 mm) sowie Messtechnik für das Monitoring versehen. Die Ergebnisse zeigen die einfache Planung, schadensfreie und schnelle Verarbeitung durch Handwerksfirmen sowie die Funktionalität des Systems. Für die Fassade wurde ein U-Wert von  $U_w=0,13 \text{ W/(m}^2\text{K)}$  erreicht. Dabei wurden nur drei verschiedene Plattengrößen verwendet. Somit sind die

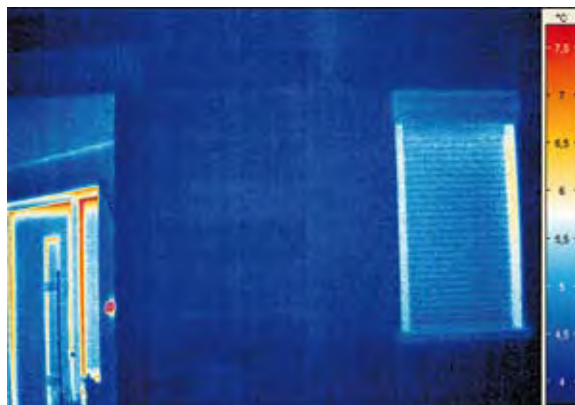


Abb. 2: Thermographieaufnahme Detail Südostfassade; erkennbar sind die etwas kälteren (dunkleren) horizontalen Streifen der Deckelplatten (Temperaturdifferenz der Bereiche ca. 0,1 K). Es ist keine Schädigung des Systems erkennbar.

Voraussetzungen für eine preiswerte Serienfertigung gegeben. Die Voraussetzungen für die Zulassung als Bauprodukt werden derzeit vom Deutschen Institut für Bautechnik in Berlin geprüft.

Die Arbeiten wurden vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) im Rahmen der Projektförderung »VIBau« ([www.enob.info](http://www.enob.info)) unterstützt.





## Angewandte Optik und funktionale Oberflächen

Solare Energiesysteme wandeln Solarenergie, die in Form von elektromagnetischer Strahlung auf die Erde trifft, in thermische, elektrische oder chemische Energie um. Wir entwickeln optische Komponenten und Systeme, um die Solarstrahlung je nach Anforderung besser zu transmittieren, zu reflektieren, zu absorbieren, zu filtern, zu lenken oder zu konzentrieren.

Dabei stellen die große Bandbreite des solaren Spektrums mit Wellenlängen von 0,3–2,5  $\mu\text{m}$  sowie die Notwendigkeit der großflächigen und kostengünstigen Herstellbarkeit von optischen Komponenten und Systemen vielfältige Herausforderungen dar. Um diesen zu begegnen, verfolgen wir neuartige Lösungsansätze, die ein Zusammenführen von Materialforschung, optischem Design und Fertigungstechnik erfordern. Für die erfolgreiche Umsetzung in neue Produkte der Solartechnik ist neben optischem Know-how und enger Zusammenarbeit mit unseren Kunden auch die umfassende Kenntnis solarer Energiesysteme erforderlich – eine Voraussetzung, für die am Fraunhofer ISE besonders gute Synergien vorhanden sind.

Das Geschäftsfeld »Angewandte Optik und funktionale Oberflächen« bedient als Querschnittsthema mehrere Marktsegmente der Solartechnik: Fenster und Fassaden, solarthermische Kollektoren, Konzentratorsysteme für die Photovoltaik und solarthermische Kraftwerke sowie photovoltaische Modultechnik. Unsere Expertise wird aber ebenso bei Kunden geschätzt, die nicht aus der Solarbranche kommen. So unterstützen wir auch die Licht- und die Displaytechnik.

Schaltbare Beschichtungen auf Fensterscheiben erlauben es, die Transmission der Fenster zu verringern, wenn Überhitzung des Gebäudes droht. Gaschrome Verglasungen, bei denen die Absorption über weite Bereiche regelbar ist, sind bereits in Demonstrationsfassaden erfolgreich getestet worden. Verglasungen mit sehr guter Wärmedämmung zeigen an bestimmten Wintertagen Beschlag und sogar Befrostung an der Außenseite. Um diese unerwünschten Nebeneffekte zu reduzieren, werden niedrig emittierende, stabile Schichten für die Außenseite der Verglasung entwickelt.

Mikrostrukturierte Oberflächen ermöglichen Sonnenschutzsysteme, die unerwünschte direkte Solarstrahlung reflektieren und dennoch diffuses Tageslicht durchlassen. Photonische Gitter und Lighttrapping-Strukturen erhöhen die Effizienz von organischen und Silicium-Solarzellen. In photovoltaischen Konzentrator-Modulen wird die Solarstrahlung auf kleinflächige Hochleistungssolarzellen konzentriert. Wir optimieren Konzentratoroptiken hinsichtlich Wirkungsgrad und Kosten.

Das mikro-optische Know-how und die großflächige Interferenzlithographie haben für das Fraunhofer ISE ein Anwendungsgebiet außerhalb der Solartechnik groß werden lassen: die Displaytechnik. Hier arbeiten wir an mikrostrukturierten Kunststoff-Filmen, die eine höhere Helligkeit und einen besseren Kontrast von Displays erlauben. Lichtlenkung und Lichtstreuung ist zentrales Thema in der Lichttechnik. Aufbauend auf unseren Arbeiten im Bereich der Tageslichttechnik bieten wir unsere Expertise zu optischen Material- und Oberflächeneigenschaften auch für optisches Design in der Kunstlichttechnik an.

Selektive Absorberschichten solarthermischer Kollektoren (Temperaturen bis 230 °C) werden von uns seit Jahren entwickelt und in die Industrie transferiert. Als Beschichtungen in

Absorberrohren von solarthermischen Kraftwerken müssen solche Schichtsysteme aber wesentlich höhere Temperaturen (bis zu 450 °C) dauerhaft aushalten. Dafür werden abhängig von der Absorberrohr-Variante zusätzliche Schichten als Diffusionsbarrieren in das Schichtsystem integriert.

In den vergangenen Jahren haben wir unsere Modellierungsverfahren kontinuierlich erweitert. Sie umfassen grundlegende physikalische Modelle wie Effektiv-Medium-Theorien, rigorose und skalare Beugungstheorie, Streutheorien, Dünnschichtmethoden, geometrische und nicht-abbildende Optik sowie Planungswerkzeuge z. B. für die Leuchtenplanung. So können wir bei Anfragen unserer Kunden die Machbarkeit einer gewünschten optischen Komponente schnell und effizient klären. Als Fertigungsverfahren stehen uns Vakuum-Beschichtungsverfahren und Mikrostrukturierungsverfahren zur Verfügung. Die verfügbaren Charakterisierungsmethoden bieten neben den Standardverfahren auch spezialisierte Sonderaufbauten z. B. zur Bestimmung der Formtreue von Spiegeln mit Rasterstreifenreflektometrie. In guter Zusammenarbeit mit anerkannten Forschungseinrichtungen innerhalb und außerhalb der Fraunhofer-Gesellschaft komplettieren wir unser Angebot, wann immer dies notwendig wird.

Besondere Einrichtungen:

- Vakuumbeschichtungsanlage zur industriellen Herstellung großflächiger (140 x 180 cm<sup>2</sup>) komplexer Schichtsysteme
- Interferenzlithographieanlagen zur homogenen Herstellung von Mikro- und Nanostrukturen auf Flächen von bis zu 20 x 120 cm<sup>2</sup>
- Optische Messtechnik: Spektrometrie, Goniometrie, Streulichtmessung, Leuchtdichtemessungen mit bildgebenden Verfahren, Streifenreflektometrie, Sonderaufbauten für Konzentratoroptiken





FRESDemo-Versuchskollektor auf der Plataforma Solar de Almería, Spanien. Mit diesem Kollektor wurde erstmals in relevanter Größe die technische Machbarkeit und der praktische Betrieb der Fresneltechnologie mit Direktverdampfung nachgewiesen. Das Fraunhofer ISE optimierte konzeptionell den Kollektor im Hinblick auf die Zielgröße minimaler spezifischer Energieerzeugungskosten. Eine Reihe von frei wählbaren Parametern wie z. B. die Anzahl der Spiegelreihen und die Form des Sekundärspiegels waren zu berücksichtigen. Die Industriepartner Solar Power Group/MAN Ferrostaal Power Industry übernahmen die konstruktive Ausführung. Das Fraunhofer ISE führte die Beschichtung der Schlüsselkomponenten Receiverrohr und Sekundärspiegel durch.

## Ansprechpartner

Angewandte Optik und funktionale Oberflächen	Dr. Werner Platzer	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-59 83 E-Mail: Werner.Platzer@ise.fraunhofer.de
Beschichtungen – Technologie und Systeme	Dipl.-Ing. Wolfgang Graf	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-59 46 E-Mail: Wolfgang.Graf@ise.fraunhofer.de
Mikrostrukturierte Oberflächen	Dr. Benedikt Bläsi	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-59 95 E-Mail: Benedikt.Blaesi@ise.fraunhofer.de
Lichttechnik und Konzentratorsysteme	Dr. Peter Nitz	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-54 10 E-Mail: Peter.Nitz@ise.fraunhofer.de
Solarthermische Kraftwerke	Dipl.-Wi.-Ing. Gabriel Morin	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-59 94 E-Mail: Gabriel.Morin@ise.fraunhofer.de
Lichttechnik/Anwendung im Gebäudebereich	Dipl.-Ing. Jan Wienold	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-51 33 E-Mail: Jan.Wienold@ise.fraunhofer.de
Farbstoffsolarzellen	Dr. Andreas Hinsch	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-54 17 E-Mail: Andreas.Hinsch@ise.fraunhofer.de
Organische Solarzellen	Dr. Michael Niggemann	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-54 58 E-Mail: Michael.Niggemann@ise.fraunhofer.de
Photovoltaische Module/PV-Modultechnikum	Dr. Harry Wirth	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-51 93 E-Mail: Harry.Wirth@ise.fraunhofer.de
Displaytechnik	Dr. Benedikt Bläsi	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-59 95 E-Mail: Benedikt.Blaesi@ise.fraunhofer.de

## Hochtemperaturstabile Absorberschicht für Fresnelkollektoren

*Fresnelkollektoren benötigen im Gegensatz zu Parabolrinnenkollektoren mit Vakuumreceiver ein selektives Absorberrohr, dessen Schicht bei hohen Kollektortemperaturen von bis zu 450 °C an Luft beständig ist. Bisher entspricht keine kommerzielle Absorberschicht diesen Anforderungen. Am Fraunhofer ISE haben wir eine entsprechende Schicht entwickelt, die auf einem 100 m langen Absorberrohr im Fresnel-Demonstrationskollektor auf der Plataforma Solar de Almería seit 2007 den Praxistest durchläuft (siehe Abb. Seite 35).*

Andreas Georg, Wolfgang Graf,  
**Christina Hildebrandt, Gabriel Morin,**  
Werner Platzer

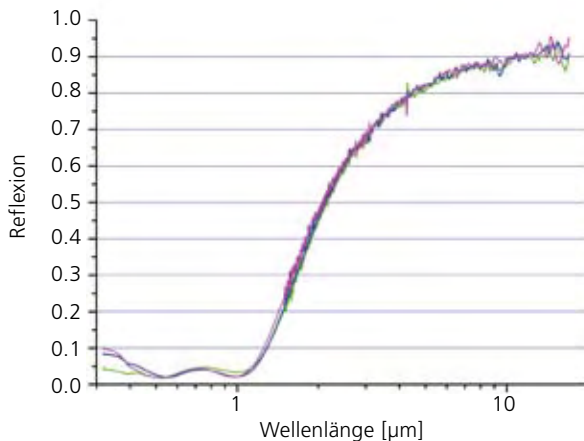


Abb. 1: Unveränderte Reflexionsspektren der Absorberschicht auf Edelstahl nach einem ersten Ausheizen der Schicht (grün), nach 300 h (blau) und nach knapp 925 h (magenta) bei 500 °C an Luft. Es tritt praktisch keine Veränderung auf.



Bei gesputterten selektiven Cermet-Absorberschichten bewirkt ein Metallspiegel eine geringe Emission im Bereich der IR-Strahlung und damit geringe Wärmeverluste des Receivers, während das Cermet zusammen mit einer Anti-Reflex-Schicht für eine hohe Absorption der Solarstrahlung sorgt.

In optischen Simulationen dieser Dünnschichtsysteme untersuchen wir das Potenzial verschiedener Materialien bezüglich Absorption und Emission. Genauso wichtig ist jedoch die Beständigkeit der einzelnen Schichten bei den hohen Arbeitstemperaturen bis 450 °C an Luft. Neben Diffusionsprozessen zwischen Substratmaterial und Absorberschichten kann auch die Oxidation einzelner Schichten oder Schichtkomponenten zu einer Degradation des selektiven Absorbers führen.

Mittels Beständigkeitstests und begleitender optischer Messungen können wir Degradationsprozesse sehr gut verfolgen. Näheren Aufschluss über die Art der Degradation geben Oberflächen- und Materialanalysen im REM (Raster-Elektronen-Mikroskop) oder AES (Auger-Elektronen-Spektroskop). Diese Information ist wichtig, um die jeweils nächsten Schritte im Entwicklungsprozess ableiten zu können und gegebenenfalls mit Haft- und Barrierschichten den Degradationsprozessen entgegenwirken zu können. Die entwickelte Schicht ist über 1000 h bei 500 °C an Luft stabil und weist eine Absorption von 94 % bei einer Emission von 15 % (bezogen auf einen Planckstrahler bei 380 °C) bzw. 18 % bei 450 °C auf.

Die Arbeiten wurden vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) unterstützt.

Abb. 2: Für den Fresnel-Demonstrationskollektor auf der Plataforma Solar de Almería beschichteten wir 100 m Absorberrohr mit der von uns entwickelten selektiven Absorberschicht. Das Bild zeigt die für eine Pilotproduktion taugliche Sputteranlage mit den beschichteten Absorberrohren.

## Gaschrome Fassadensysteme

*In den vergangenen Jahren haben wir die Grundlagen des temporären Sonnenschutzes auf der Basis des gaschromen Effekts entwickelt. Aktuell arbeitet das Fraunhofer ISE gemeinsam mit Industriepartnern an der technischen Umsetzung. An mehreren neuen Test- und Demonstrationsfassaden können wichtige Erfahrungen mit Installation, Inbetriebnahme, Betrieb und Wartung der Anlagen gesammelt werden. Die Markteinführung ist in Vorbereitung.*

Andreas Georg, **Wolfgang Graf**,  
Josef Steinhart, Armin Zastrow, Werner Platzer



Abb. 1: Gaschrom schaltende Fassade, Gebäude der Firma Werner Herr GmbH, Ebringen (September 2008). Gesamtansicht im geschalteten Zustand aus Richtung Südwest.

Gut wärmegeämmte Gebäude mit großflächigen Verglasungen erfordern immer einen Sonnenschutz, um hohen Benutzerkomfort bei geringem Klimatisierungs-Energieaufwand zu erzielen. Am Fraunhofer ISE entwickeln wir sommerlichen Wärmeschutz (Sonnenschutz) auf der Basis des gaschromen Effekts. Dieser beruht auf der Einfärbung von auf der Scheibeninnenseite applizierten Wolframoxid-Schichten durch Reduktion der  $W^{6+}$  Ionen zu  $W^{5+}$ . Im Gegensatz zum elektrochromen Effekt wird bei der gaschromen Technologie die reversible Reduktion nicht durch in die Schicht injizierte Elektronen bewirkt, sondern durch in den Scheibenzwischenraum eingeleiteten Wasserstoff minimaler Konzentration. Gaschrome Systeme haben den Vorteil, dass sich auch sehr große Verglasungsflächen mit komplizierter Geometrie schnell und zuverlässig schalten lassen. Sie bestehen aus einer Mehrscheibenisolierverglasung, die innen die aktive  $WO_3$ -Schicht trägt, einem Gasversorgungsgerät (Elektrolyseur) zur Wasserstoff- und Sauerstoffbereitstellung für jede bis zu etwa  $12 \text{ m}^2$  große Fassadeneinheit sowie einer elektronischen Regel- und Kontrolleinheit für das Gesamtsystem.



Abb. 2: Gaschrom schaltende Testfassade, Solarhaus Freiburg (Januar 2008).

Im Rahmen eines vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) geförderten Projekts arbeiten wir an Detailverbesserungen für alle Komponenten und sammeln weitere systemtechnische Erfahrungen, mit dem Ziel, ein möglichst benutzerfreundliches System anbieten zu können.



## Optische Nanostrukturen für die Photovoltaik

*Durch neue Ansätze bei der Optik von Solarzellen lassen sich deren Wirkungsgrade weiter erhöhen. Mit optischen Nanostrukturen kann Licht spektral und nach Winkeln selektiert werden oder im System gezielt in eine bestimmte Richtung geleitet und so optimal verwendet werden. Dieser Vorgang wird mit dem Ausdruck Photon Management beschrieben. Wir beschäftigen uns mit der Simulation, der Herstellung und der Integration optischer Nanostrukturen in solare Systeme und charakterisieren deren Effekte.*

Benedikt Bläsi, Jan Christoph Goldschmidt, Hubert Hauser, **Marius Peters\***, Marcel Pfeifer, Werner Platzer

\* Freiburger Materialforschungszentrum FMF, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg

Mit optischen Strukturen lässt sich die Effizienz von Solarzellen steigern. An der Vorderseite der Zelle ermöglichen diese Strukturen eine bessere Einkopplung des Lichts und sorgen für eine erhöhte Winkelakzeptanz. Mithilfe von Nanostrukturen (z. B. photonischen Kristallen) kann Licht spektral und nach Winkeln selektiert oder im System in bestimmte Richtungen geleitet werden. Dies verlängert den Lichtweg und erhöht damit die Absorption in der Solarzelle. Man spricht von Lighttrapping, das für materialsparende dünne Silicium-Solarzellen besonders wichtig ist. Auf Grund der schwachen Absorption im langwelligen Spektralbereich würden sonst Photonen nur unvollständig absorbiert werden.

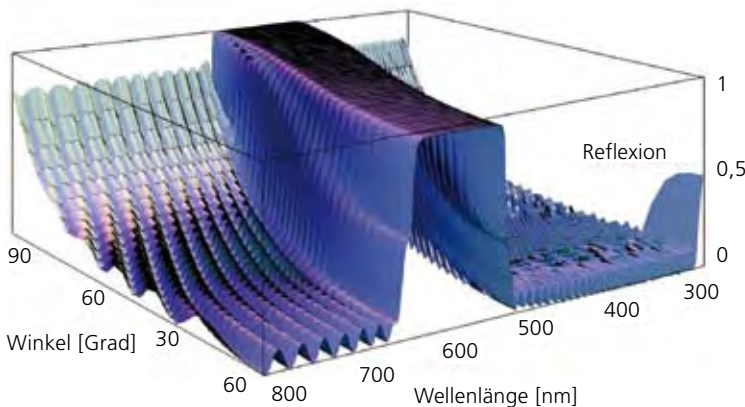
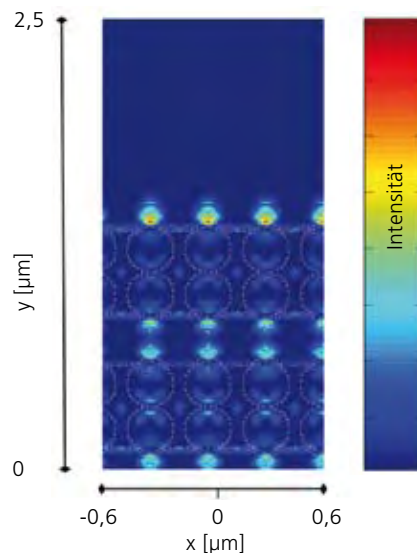
Zur korrekten Berechnung der optischen Effekte benötigen wir die Wellenoptik. Hierzu verwenden wir die Rigorous Coupled Wave Analysis (RCWA). Sie erlaubt eine exakte Bestimmung des elektromagnetischen Felds in beinahe beliebigen Strukturen. Wir simulieren und optimieren damit sowohl die optischen Eigenschaften als auch deren Wirkung auf die Stromerzeugung der Solarzelle.

Zurzeit arbeiten wir an folgenden Anwendungen bei Strukturgrößen in der Größenordnung der Wellenlänge von sichtbarem Licht:

- Rückseitengitter in Silicium-Solarzellen zur Effizienzsteigerung im Bereich niedriger Absorption (>900 nm)
- Wellenlängenselektive Filter zur Erhöhung der Lichtleiteffizienz in Fluoreszenzkonzentratoren, durch die Eliminierung des wichtigsten Verlustmechanismus, des Verlustkegels der Totalreflexion
- Wellenlängenselektive Filter zur spektralen Trennung in Lichtfallen. Ein entsprechendes System wurde patentiert und befindet sich zurzeit im Aufbau.

Abb. 2: Winkelselektivität eines Rugatefilters. Der Bereich hoher Reflexion verschiebt sich mit zunehmendem Winkel hin zu kleineren Wellenlängen. Diese Eigenschaft kann verwendet werden, um eine sehr effiziente Lichtfalle für den Spektralbereich zu konstruieren, der im Bereich der Verschiebung liegt.

Abb.1: RCWA Simulation des elektromagnetischen Feldes innerhalb einer photonischen Struktur. Das Bild zeigt die berechnete Intensität der z-Komponente des elektrischen Feldes. Die photonische Struktur ist durch die hell gestrichelte Linie angedeutet. Die Struktur ist dreidimensional, das Bild zeigt einen Schnitt entlang der z-Achse.





- Winkelselektive Filter zur Unterdrückung von Photonverlusten in III-V-Solarzellen
- Winkelselektive Filter für den Einsatz in Lichtfallen mit extrem hoher Lichtwegverlängerung. Hierbei konnten wir zeigen, dass extrem hohe Lighttrapping-Effekte zu erwarten sind.

Für das Konzept der winkelselektiven Lichtfalle wird ein Filter benötigt, der Licht aus dem schmalen Winkelbereich der Sonne passieren lässt und Licht aus allen anderen Richtungen reflektiert. Im System wird das Licht gestreut und an der Rückseite reflektiert. Ein Großteil des reflektierten Lichts kann den Filter nicht mehr passieren, da es aus Winkelbereichen einfällt, die der Filter reflektiert. Das Licht bleibt also im System gefangen. Auf diese Weise kann der Lichtweg innerhalb eines Systems um einen maximalen Faktor von 46 200 verlängert werden. Erste Messungen mit entsprechenden Strukturen zeigten eine erhöhte Absorption in Silicium nahe dessen Bandkante.

Ein weiteres Beispiel ist die Effizienzsteigerung von Fluoreszenzkonzentratoren. In einem solchen Konzentrador absorbieren Farbstoffe Licht und emittieren es anschließend mit einer größeren Wellenlänge. Dieses wird durch Totalreflexion zu Solarzellen an den Kanten des Konzentrators geführt. Der Vorteil dieses Konzepts liegt in der Einsparung von Solarzellenfläche und der Möglichkeit, diffuses Licht zu konzentrieren. Ein Interferenzfilter, ein Schichtsystem mit optischer Bandkante, der selektiv nur das emittierte Licht reflektiert, steigert die Effizienz eines Fluoreszenzkonzentratorenrelativ um 20 %. Derzeit ist die Gesamteffizienz mit 3,1 % bei einer Fläche von 50 cm<sup>2</sup> noch gering, aber aufgrund der 20fachen Konzentration des Systems lieferte es 3,7mal mehr Energie als die Solarzellen ohne zusätzlichen Konzentrador.

Diese Arbeiten wurden durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) im Projekt »Nanosun« (PAK88) und durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) im Projekt »Nanovolt« unterstützt.

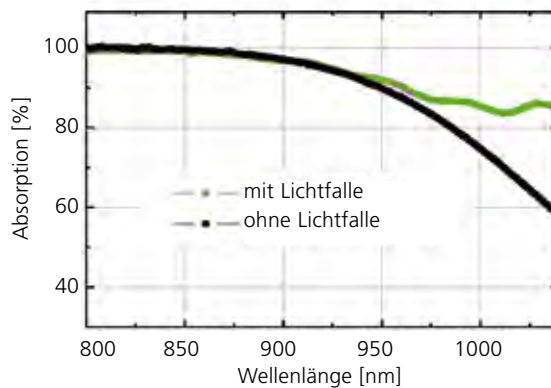


Abb. 3: Gemessene Absorptionssteigerung eines dünnen Silicium-Wafers (40 µm) mit und ohne Lichtfalle. Der hierzu verwendete Filter hat eine Reflexionskante bei 1050 nm. Im Bereich unterhalb des Reflexionspeaks, zwischen 900 nm und 1050 nm, hat sich die Absorption im Silicium durch den Einsatz des Filters verbessert.

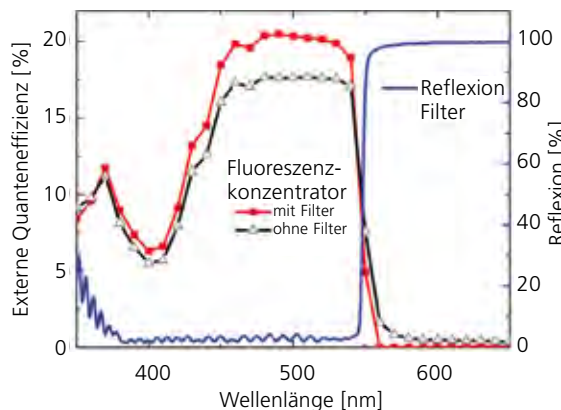


Abb. 4: Eine Messung der externen Quanteneffizienz eines Fluoreszenzkonzentratorenrelativ um 20 %. Der energiewirksame Filter lässt das Licht, das vom Farbstoff ausgenutzt werden kann, nahezu ungehindert passieren. Im Emissionsbereich des Farbstoffs um 600 nm reflektiert er aber stark und sorgt so dafür, dass fast alles Licht im Konzentrador zu den Kanten geführt wird. Dadurch erhöht sich die Effizienz deutlich.



Abb. 5: An dieser Probe aus den frühen Jahren des Fraunhofer ISE sieht man, wie das Licht im Fluoreszenzkonzentrador zu den Kanten geführt wird.

## Optimierung von Optiken für die konzentrierende Photovoltaik

*In großen Kraftwerken aus konzentrierenden Photovoltaikmodulen sind nicht nur momentane Spitzenwerte der Moduleffizienz entscheidend, sondern der im Betrieb erbrachte Jahresertrag. Es ist also notwendig, das System an veränderliche Umweltbedingungen anzupassen. Wir haben Messplätze zur wellenlängen- und temperaturabhängigen Vermessung von Konzentratorsystemen und Materialeigenschaften aufgebaut. Die Messergebnisse fließen in Computersimulationen ein, mit denen die Konzentratoroptik optimiert wird.*

Martin Neubauer, **Peter Nitz**,  
Thomas Schmidt, Thorsten Schult,  
Werner Platzer

Optische Systeme, wie sie zur Lichtkonzentration in solaren Kraftwerken mit konzentrierender Photovoltaik (CPV) eingesetzt werden, unterliegen einer Vielzahl von Umwelteinflüssen. Um im Jahresmittel den maximal möglichen Stromertrag zu erhalten, genügt es nicht, das System unter Standardbedingungen zu untersuchen. Vielmehr müssen die Einflüsse der Umwelt auf die optischen Komponenten analysiert und das System auf veränderliche Bedingungen angepasst und optimiert werden. Zu diesen Einflüssen zählen insbesondere die Spektralverteilung des einfallenden Lichts und die Temperatur der optischen Komponenten.

Bei Systemen, die Sonnenlicht durch Brechung konzentrieren (refraktive Optiken, z. B. Fresnellinsen des FLATCON®-Systems), ist der Brechungsindex des Linsenmaterials entscheidend für die Fokussierung. Schon Brechungsindexänderungen im Promille-Bereich können merkliche Auswirkungen auf das Brennvolumen der Optik haben. Für die Optimierung des Gesamtsystems ist daher ein sehr genauer und umfassender Brechungsindex-Datensatz erforderlich, der für die verwendeten Materialien in den seltensten Fällen vorliegt.

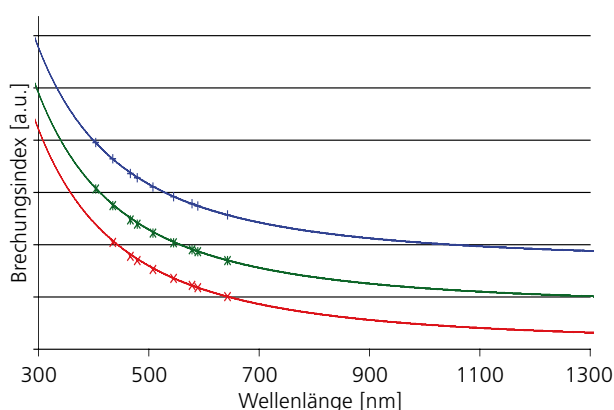


Abb. 1: Spektraler Verlauf des Brechungsindex eines Materials, das zur Herstellung von Konzentratorlinsen verwendet wird. Aufgetragen ist der spektrale Verlauf für drei unterschiedliche, im Betrieb relevante Temperaturen. Die eingetragenen Punkte sind die Messergebnisse unserer Refraktometermessungen.

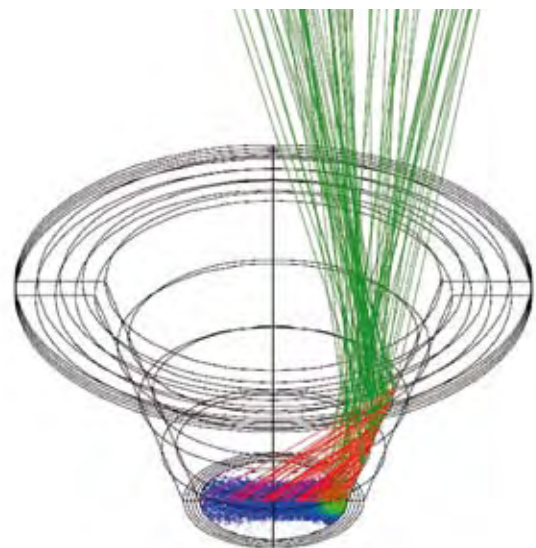


Abb. 2: Veranschaulichung einer Strahlverfolgungs-Simulation für einen reflektiven Sekundärkonzentrator unter einer Fresnellinse bei leichter Dejustage durch Verkippung der Optik gegen den Sonnenstand. Es ist lediglich ein Schnitt durch das auf den Sekundärkonzentrator treffende Strahlenbündel gezeigt. Die Lichtintensität auf der Solarzelle ist von blau (niedrig) nach grün (hoch) farbcodiert dargestellt.

Am Fraunhofer ISE haben wir einen Messstand aufgebaut, mit dem die Wellenlängen- und Temperaturabhängigkeit des Brechungsindex mit einer Absolutgenauigkeit von bis zu  $5 \cdot 10^{-5}$  bestimmt werden kann (Abb. 1).

Die Ergebnisse einer solchen Brechungsindexmessung fließen in Strahlverfolgungs-Simulationen ein, mit denen wir die Auswirkungen der Temperatur und des Sonnenspektrums auf die Funktion einzelner optischer Komponenten und auf den Ertrag des Gesamtsystems hin untersuchen. Auch die Auswirkungen von Produktionstoleranzen und Ungenauigkeiten in der Steuerung der Sonnennachführung bilden wir am Computer nach. Abb. 2 zeigt exemplarisch einen Auszug des von der Fresnellinse fokussierten Strahlenbündels, das bei Dejustage seitlich versetzt wird und dadurch teilweise auf einen Sekundärkonzentrator trifft.

Eine optische Vermessung des Konzentratorkonzentratorsystems an unserem Linsenmessplatz ermöglicht eine direkte experimentelle Überprüfung der Simulationen sowie eine Kontrolle der Herstellungsqualität unter definierten Bedingungen. Wir können dabei Licht verschiedener Wellenlängen

verwenden und die Messungen bei unterschiedlichen Temperaturen der Komponenten durchführen. Detektiert wird die Strahlungsverteilung im Brennvolumen der Optik, wie in den Abb. 3 und 4 gezeigt. Mit diesem Messaufbau können wir daher optische Verlustquellen aufdecken und analysieren, um deren Ursache zu eliminieren. Dies trägt zur Prozesskontrolle, Qualitätssicherung und Optimierung industrieller Produktionsprozesse für konzentrierende Optiken bei.

Mit den beschriebenen Werkzeugen ist eine umfassende Charakterisierung und Optimierung von Konzentratoren für CPV-Systeme möglich, bei der nicht willkürlich gewählte oder momentane Umweltbedingungen betrachtet werden, sondern diese gezielt verändert werden können. Die Ergebnisse bilden einen wichtigen Baustein für eine zukünftige Prognose des gesamten Jahresertrags des Systems bei gegebenen Klimadaten im realen Betrieb, der dann zur Optimierung des Systems herangezogen werden kann.

Die Arbeiten wurden im Projekt »Prokon-PV« des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) durchgeführt und von einem Industriepartner unterstützt.

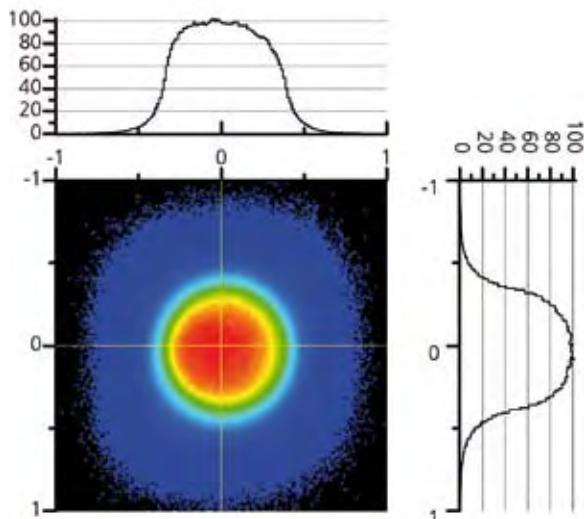


Abb. 3: Strahlungsverteilung im Fokus einer punktkonzentrierenden Optik bei einer definierten Referenztemperatur und Bestrahlung mit monochromatischem Licht. Die Lichtintensität in % des Maximalwertes ist von blau (niedrig) nach rot (hoch) farbcodiert dargestellt, oben und rechts sind die Schnittprofile entlang der gekennzeichneten Linien aufgetragen.

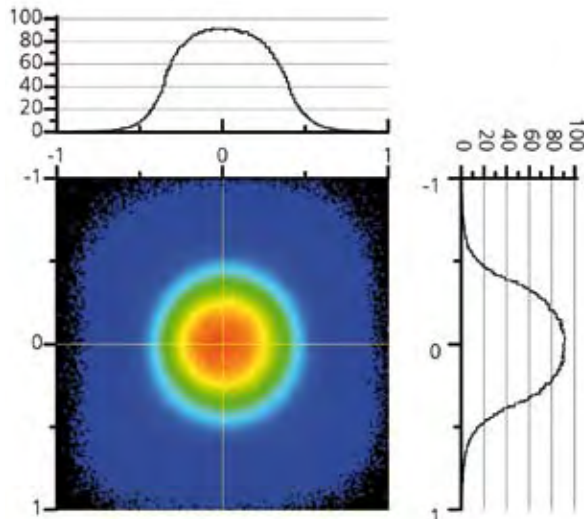
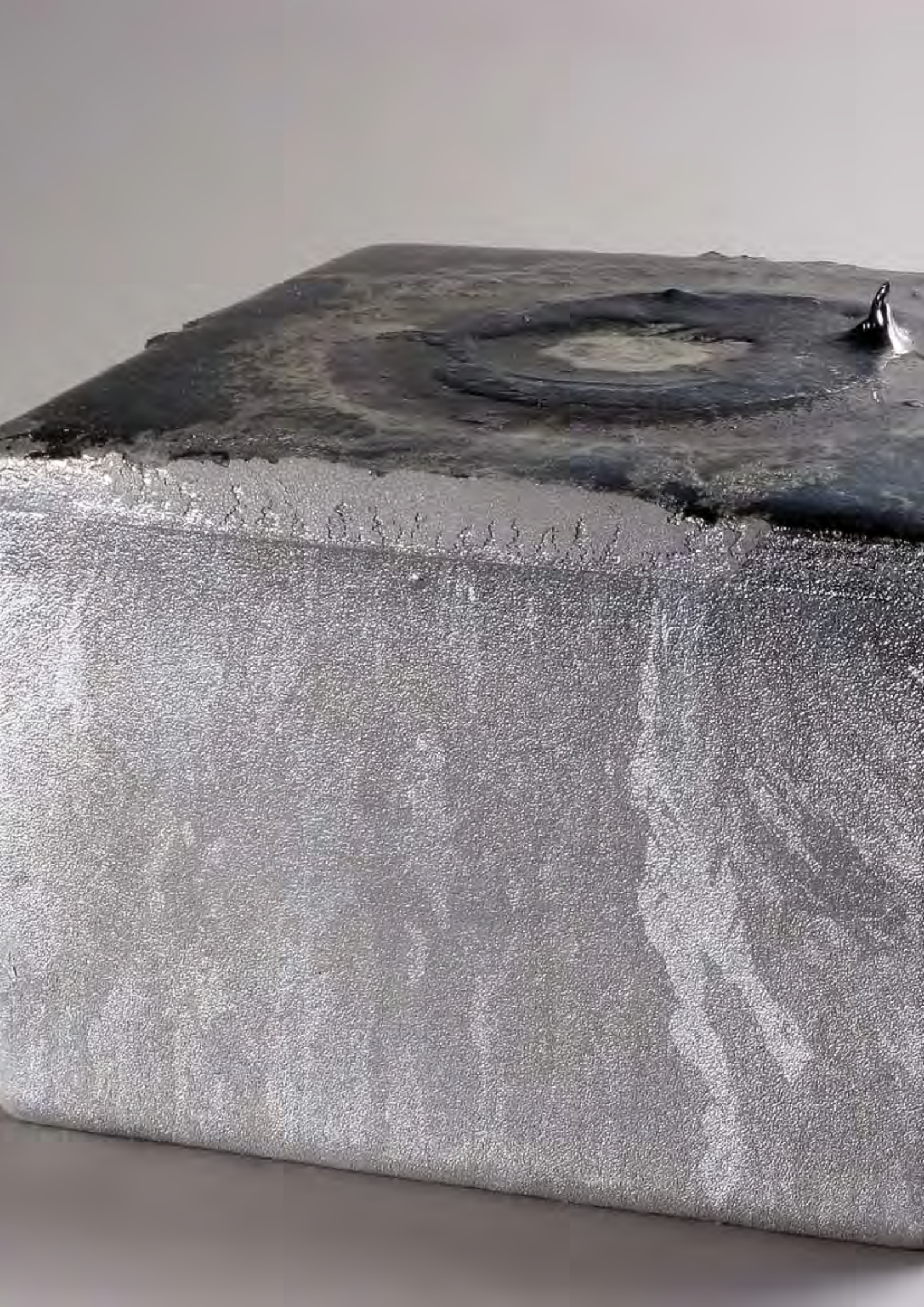


Abb. 4: Strahlungsverteilung im Fokus derselben punktkonzentrierenden Optik wie in Abb. 3, jedoch bei erhöhter Temperatur gemessen. Eine Verschlechterung der Konzentration ist deutlich zu erkennen.







## Silicium-Photovoltaik

Die Photovoltaik erlebt seit mehr als zehn Jahren einen Boom, gefördert durch gezielte Markteinführungsprogramme in Deutschland, Spanien und anderen europäischen Ländern. Die weltweit installierte Spitzenleistung ist in diesem Zeitraum von wenigen 100 MW auf über 10 GW angewachsen.

Über 90 Prozent der hergestellten Solarzellen sind aus kristallinem Silicium. Preis/Leistungsverhältnis, Langzeitstabilität und belastbare Kostenreduktionspotenziale sprechen dafür, dass dieser Leistungsträger der terrestrischen Photovoltaik noch deutlich länger als die nächsten zehn Jahre marktbeherrschend bleiben wird.

Um unser FuE-Angebot für die gesamte Wertschöpfungskette der kristallinen Silicium-Photovoltaik auszuweiten, haben wir unsere Aktivitäten im Bereich der Silicium-Materialentwicklung – insbesondere Kristallisation und Wafering – deutlich erweitert. Im Herbst 2008 weihten wir das Silicium Material Technologie- und Evaluationscenter SIMTEC ein. Unsere Arbeiten in diesem neuen Forschungszentrum umfassen die Epitaxie von Siliciumschichten, die Analyse verschiedenartiger, teils neuer Silicium-Feedstock-Materialien sowie die Material- und Prozessfragen der dafür eingesetzten Technologien. In den neuen Räumlichkeiten in Freiburg verfügen wir über eine Kristallisationsanlage, die es uns erlaubt, bis zu 250 kg schwere multikristalline Blöcke herzustellen. Hierbei liegt der wissenschaftliche Schwerpunkt unserer Arbeiten in der Anpassung der Kristallisationsprozesse an das jeweils spezifische Solarsilicium. Ein neuer Schwerpunkt ist die Entwicklung von Solarzellenprozessen basierend auf der Verwendung von gereinigtem metallurgischem Silicium (»Purified Metallurgical Grade Silicon/PMG«).

In unserem Photovoltaik Technologie Evaluationscenter PV-TEC können wir im Pilotmaßstab, d. h. mit einem Durchsatz von mehr als 100 Wafern pro Stunde, sowohl Solarzellen mit den industriell üblichen siebgedruckten Kontakten als auch Solarzellenprozesse mit hochwertiger Oberflächenpassivierung herstellen. Darüber hinaus haben wir unsere Prozesse und Pilotanlagen auch auf die speziellen Anforderungen sehr dünner Solarzellen angepasst.

In unserem Reinraumlabor treiben wir maßgeblich die Entwicklung von hocheffizienten Solarzellenkonzepten und -prozessen voran. Zusammen mit unserem Charakterisierungs- und Simulationspool sind wir so in der Lage, alle Stufen von der Entwicklung bis zur industriellen Umsetzung anzubieten.

Bei der kristallinen Silicium-Dünnschichtsolarzelle forschen wir verstärkt am Konzept des Waferäquivalents. Dabei wird aus siliciumhaltigem Gas eine hochwertige Dünnschicht auf kostengünstigen Substraten abgeschieden. Das Resultat sieht aus wie ein Wafer und lässt sich in einer konventionellen Fertigungsstraße entsprechend zur Solarzelle verarbeiten. Durch den geringen Einsatz an hochreinem Silicium kann sich das Waferäquivalent-Konzept von der Versorgungslage für Solarsilicium abkoppeln und erlaubt daher ein sehr dynamisches Marktwachstum. Die experimentellen Ergebnisse sind vielversprechend.

Das Fraunhofer ISE Modultechnikum ermöglicht schließlich die Verarbeitung neuer Zellen und Materialien in aussagekräftigen Stückzahlen und Formaten. Prozessschritte und Anlagentechnik für die Modulproduktion werden bis zur Vorstufe einer Serienfertigung entwickelt. Kernstücke des Technikums sind ein flexibel einsetzbarer Tabber-Stringier und ein Laminator, ergänzt durch eine Reihe von Mess- und Prüfsystemen.

Solarzellen müssen zum Schutz vor Umwelteinflüssen langfristig stabil gekapselt werden, ein Bereich, in dem deutliche Qualitätserhöhungs- und Kostensenkungspotenziale vorhanden sind. Wir arbeiten an neuen Modulkonzepten und Materialkombinationen, auch für dünnere, größere sowie nur rückseitig kontaktierte Solarzellen. Schlüsselrollen in unserem Beitrag zur Qualitätserhöhung nehmen das vertiefte Verständnis von Alterungsmechanismen und die Verfahren zu deren Nachweis ein.

Unsere Aktivitäten im Bereich Silicium-Solarzellen am Standort Freiburg werden ergänzt durch das Fraunhofer ISE Labor- und Servicecenter (LSC) in Gelsenkirchen, Nordrhein-Westfalen, sowie das gemeinsam mit dem Fraunhofer IISB betriebene Technologiezentrum Halbleitermaterialien THM in Freiberg, Sachsen und das Fraunhofer Center für Silizium-Photovoltaik CSP in Halle, das gemeinsam mit dem Fraunhofer IWM betrieben und seit diesem Jahr im Rahmen des Spitzenclusters »Solarvalley Mitteldeutschland« (siehe Beitrag Seite 61) gefördert wird.

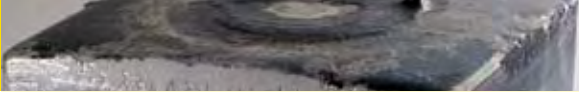




Multikristalliner Block (85 kg Si) mit  $42 \times 42 \text{ cm}^2$  Grundfläche und 21 cm Höhe entsprechend  $2 \times 2$  Säulen zu je 156 mm Kantenlänge. Schön sind die von unten nach oben gewachsenen, kolumnaren Kristalle zu sehen, die Grundvoraussetzung für einen hohen Solarzellenwirkungsgrad sind.

## Ansprechpartner

Silicium-Photovoltaik	Dr. Ralf Preu	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-52 60 E-Mail: Ralf.Preu@ise.fraunhofer.de
Silicium-Photovoltaik	Dr. Stefan Glunz	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-51 91 E-Mail: Stefan.Glunz@ise.fraunhofer.de
Silicium-Photovoltaik/ Alternative Photovoltaik-Technologien	Dr. Andreas Bett	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-52 57 E-Mail: Andreas.Bett@ise.fraunhofer.de
Silicium-Material, Kristallisation und Bearbeitung	Dr. Stephan Riepe	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-56 36 E-Mail: Stephan.Riepe@ise.fraunhofer.de
Kristalline Silicium-Hocheffizienzsolarzellen	Dr. Martin Hermle	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-52 65 E-Mail: Martin.Hermle@ise.fraunhofer.de
Kristalline Silicium-Dünnschichtsolarzellen	Dr. Stefan Reber	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-56 34 E-Mail: Stefan.Reber@ise.fraunhofer.de
Solarzellen-Fertigungstechnologie/PV-TEC	Dr. Ralf Preu	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-52 60 E-Mail: Ralf.Preu@ise.fraunhofer.de
Konzentrator-Technologie	Dr. Andreas Bett	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-52 57 E-Mail: Andreas.Bett@ise.fraunhofer.de
Charakterisierung von Solarzellen und Solorsilicium	Dr. Wilhelm Warta	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-51 92 E-Mail: Wilhelm.Warta@ise.fraunhofer.de
Photovoltaische Module/ PV-Modultechnikum	Dr. Harry Wirth	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-51 93 E-Mail: Harry.Wirth@ise.fraunhofer.de
Labor- und Servicecenter Gelsenkirchen (LSC)	Dr. Dietmar Borchert	Tel.: +49 (0) 2 09/1 55 39-13 E-Mail: Dietmar.Borchert@ise.fraunhofer.de
Fraunhofer Center for Sustainable Energy Systems CSE, Boston	Prof. Dr. Roland Schindler	Tel.: +49 (0) 1 617 253 0142 E-Mail: rschindler@fraunhofer.org
Fraunhofer Center für Silizium- Photovoltaik CSP, Halle	Prof. Dr. Gerhard Willeke	Tel.: +49 (0) 3 45/55 89-168 E-Mail: Gerhard.Willeke@csp.fraunhofer.de



## SIMTEC – Silicium Material Technologie- und Evaluationscenter

*Um unsere Arbeiten in den frühen Prozessschritten der Wertschöpfungskette der Silicium-Wafertechnologie zu intensivieren, haben wir das Silicium Material Technologie- und Evaluationscenter SIMTEC eingerichtet. Diese neue Forschungs- und Entwicklungsplattform des Fraunhofer ISE verfügt über mehr als 1000 m<sup>2</sup> Laborfläche. Wir führen dort Arbeiten an Silicium-Feedstock-Material sowie Blockkristallisation und Tiegelbeschichtung durch. Auch die Blockbearbeitung, das Wafering und die Hochdurchsatz-Silicium-Epitaxie zählen zu unseren Forschungsdienstleistungen.*

Martin Arnold, Yaniss Bdioui, Fridolin Haas, Teresa Orellana, David Pocza, Stefan Reber, **Stephan Riepe**, Norbert Schillinger, Mark Schumann, Matthias Singh, Andreas Bett

Derzeit werden weltweit mehrere neue Verfahren entwickelt und etabliert, um metallurgisches Silicium kostengünstig für Solarzellen aufzureinigen. Die unabhängige Evaluierung der damit produzierten Materialien, von der Kristallisation bis zur Solarzelle, ist essenziell, um ein schnelles Wachstum der Photovoltaik weit über die aktuelle Produktionsmenge hinaus zu ermöglichen. Mit der Einrichtung des SIMTEC haben wir eine Lücke geschlossen und können heute am Fraunhofer ISE alle Prozessschritte abbilden, um eine qualifizierte und umfassende Analyse der verschiedenen Zwischenstufen bis hin zur fertigen Solarzelle aus einer Hand anzubieten.

Ergänzend zu bestehenden Labors an unserem Institut ist das SIMTEC unser Forschungszentrum im Bereich Materialevaluation und Technologieentwicklung für Silicium. Unsere Arbeiten umfassen nicht nur die Analyse verschiedenartiger und neuer Feedstock-Materialien, sondern auch Material- und Prozessfragen der dafür verwendeten Technologieschritte:



Abb. 1: Die Kristallisation unterschiedlichster Feedstock-Qualitäten stellt unseren ersten Forschungsschwerpunkt entlang der Si-Wertschöpfungskette dar. Zu sehen ist Feedstock in einem Quarztiegel für einen Block mit 85 kg. Der kristallisierte Block ist in der Einleitung zum Geschäftsfeld Silicium-Photovoltaik abgebildet (siehe Seite 42).



Abb. 2: Mit unserer Kristallisationsanlage zur Erstarrung von Blöcken mit variablen Größen von 20 kg bis zu 250 kg können wir durch individuelle Prozesssteuerung verschiedene Ansätze zur gerichteten Erstarrung erforschen. Im Bild ist der geöffnete Ofen mit einem Graphit-Stütztiegel für eine Blockgröße von 85 kg Si zu sehen.



- gerichtete Erstarrung multikristalliner Blöcke
- Blockbearbeitung mittels Sägen und Polieren von Säulen
- Schneiden von Wafern mittels Drahtsägen
- Silicium-Abscheidung/-Epitaxie im Hochdurchsatzverfahren

Alle genannten Technologieschritte begleiten wir durch eine Vielzahl von Analytikmöglichkeiten und Simulation, die entweder direkt am SIMTEC oder in den anderen Labors des Fraunhofer ISE zur Verfügung stehen.

Für die chemische Analyse des Feedstock entwickeln wir ein standardisiertes Verfahren mit verschiedenen Nachweismethoden, die eine erste Einschätzung des Potenzials des Materials für die Solarzellenprozessierung erlauben. Um den Eintrag zusätzlicher Verunreinigungen ins Material zu minimieren, forschen wir an Tiegelsystemen und Beschichtungen mit erhöhter Reinheit bei gleichzeitig niedrigeren Kosten. Die Kristallisation selbst erfolgt als gerichtete Erstarrung nach dem Vertical Gradient Freeze (VGF) Verfahren mit aktiver Kühlung in einem industriellen, aber trotzdem sehr flexiblen Kristallisationsgerät. Durch die kontrollierte Beeinflussung des Kristallisationsvorgangs wollen wir eine schnellere Erstarrung bei verbesserter Kristallqualität erzielen und damit die Qualität des Prozesses erhöhen. Als ersten Schritt entwickelten wir ein Kristallisationsprogramm für eine mittlere Tiegelgröße von 85 kg. Damit können wir günstiger und fokussierter arbeiten als mit dem ebenfalls etablierten Prozess für 250 kg. Für Grundlagenuntersuchungen im Bereich Material und Kristallisation können wir auch eine Blockgröße von 20 kg anbieten. Die Blockbearbeitung erfolgt mit einer Bandsäge, mit der wir sehr flexibel beliebige Säulenformen sowie kleinere Proben zu Charakterisierungszwecken sägen können. Die Säulen können zudem vor dem Wafern im SIMTEC geschliffen und gefast werden. Die Schnittstelle zum Solarzellenprozess – das Wafern – optimieren wir durch die Untersuchung verschiedener Schneidmittel-Mischungen sowie

der sich anschließenden Waferreinigung. Ein besonders erfolgreiches Ergebnis aus den Arbeiten im SIMTEC ist das Schneiden von nur 70  $\mu\text{m}$  dünnen Wafern.

Als weiteren Technologieschwerpunkt bearbeiten wir die Abscheidung und Epitaxie von hochreinen Siliciumschichten durch das Chemical Vapor Deposition (CVD) Verfahren. Wir entwickeln Abscheideanlagen, die einen kontinuierlichen Betrieb und hohen Durchsatz erlauben. Mit diesen Anlagen können wir z. B. das EpiCell-Konzept realisieren (siehe Beitrag Seite 48).

Die Etablierung des SIMTEC wurde vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) sowie der Fraunhofer-Gesellschaft gefördert.

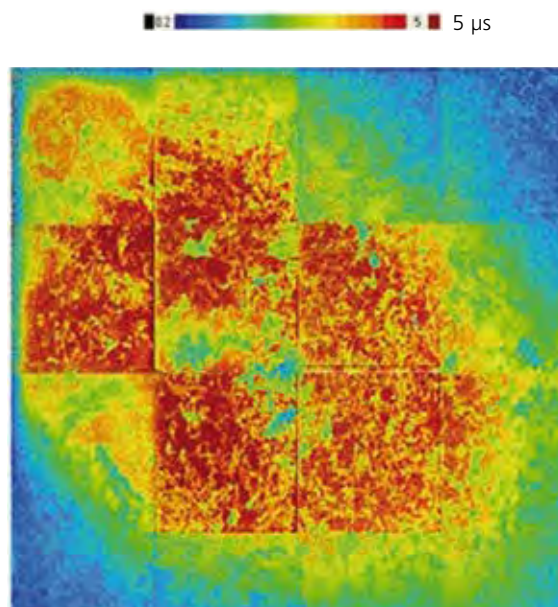
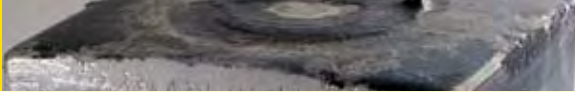


Abb. 3: In unserem Charakterisierungslabor können wir bereits an den geschnittenen Säulen des Blocks eine erste Qualitätseinschätzung vornehmen. Im Bild sieht man die Topographie der Ladungsträgerlebensdauer im horizontalen Querschnitt des Kappenbereichs eines ca. 62x62  $\text{cm}^2$  großen Si-Blocks. Die starken Inhomogenitäten sind u. a. auf eine ungleichmäßige Erstarrung zurückzuführen.



## Auf dem Weg zu kostengünstigen epitaktischen Dünnschichtsolarzellen

Unsere Strategie zur Entwicklung kostengünstiger Dünnschichtsolarzellen verfolgt den Ansatz einer hochqualitativen Siliciumschicht auf kostengünstigen Siliciumsubstraten. Damit wollen wir gleichzeitig Kosten einsparen und einen hohen Wirkungsgrad erzielen. Nach sehr erfolgreichen »proof-of-concept«-Schritten steht jetzt die Weiterentwicklung zur Produktionsreife an. Dieser aufwändigen Aufgabe widmen wir uns unter anderem im neuen SIMTEC-Labor (siehe Beitrag Seite 46/47), wo wir sowohl die notwendige Anlagen- als auch die Prozessentwicklung betreiben.

Martin Arnold, Marion Drießen, Elke Gust, Fridolin Haas, Fabian Kiefer, Mirosława Kwiatkowska, Harald Lautenschlager, Stefan Lindekugel, David Pocza, **Stefan Reber**, Stephan Riepe, Norbert Schillinger, Evelyn Schmich, Mark Schumann, Matthias Singh, Andreas Bett

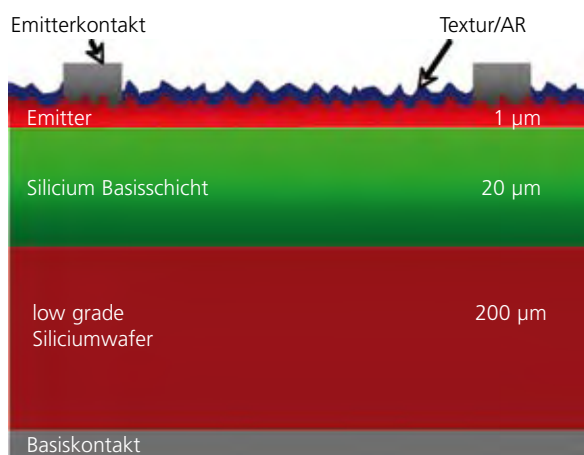
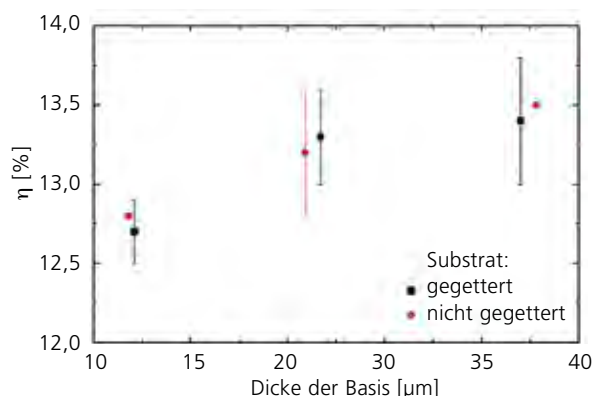


Abb. 1: Schematischer Aufbau der EpiCell. Auf dem multi- oder monokristallinen Substrat wird epitaktisch, also mit gleicher Kristallstruktur, eine dünne Siliciumschicht aufgewachsen. Diese hat eine sehr hohe Qualität und damit ein sehr gutes Wirkungsgradpotenzial. Die Kombination aus Substrat und Schicht kann mit herkömmlichen Verfahren zur Solarzelle und zum Modul fertigprozessiert werden.



Ein epitaktisches Waferäquivalent basiert auf der Idee, mittels einer dünnen Schicht aus hochreinem Silicium auf einem Wafer aus unreinem Silicium-Material Solarzellen mit hohen Wirkungsgraden herzustellen. Die hochreine epitaktische Schicht erzeugen wir durch Gasphasenabscheidung, die erzielte Struktur – das epitaktische Waferäquivalent – kann durch herkömmliche Solarzellentechnologie zu einer EpiCell prozessiert werden (Abb. 1). Um dieses Konzept zur Produktionsreife zu bringen, gilt es zwei Aufgaben zu lösen: Zum einen muss eine Hochdurchsatz-Epitaxieanlage, zum anderen ein geeignetes, kostengünstiges Substrat entwickelt werden. Beide Aufgaben bearbeiten wir im neuen Forschungslabor SIMTEC. Dort konzipieren und bauen wir zwei kontinuierlich arbeitende Gasphasenabscheideanlagen, die ConCVD als Modellanlage mit 1 m<sup>2</sup>/h Durchsatz, und die ProConCVD-Produktionsanlage mit geplanten 15 m<sup>2</sup>/h Durchsatz.

Die Substratherstellung für die EpiCell konnten wir bisher nur wenig beeinflussen, da sie bei externen Partnern durchgeführt wurde. Mit dem SIMTEC ist es uns nun erstmals gelungen, alle Prozessschritte vom Silicium bis zur EpiCell komplett eigenständig durchzuführen. Die Kristallisation von bisher vier Siliciumblöcken von 250 kg bzw. 85 kg für EpiCell-Substrate erreichte schon eine recht gute Qualität: Die mit diesen Substraten hergestellten Schichten erzielten EpiCell-Wirkungsgrade von 13,9 %. Diese sind nur knapp unter unserem bisherigen Rekordwirkungsgrad von 14,3 % mit extern angefertigtem Substrat bei sonst gleichen Bedingungen.

Das Projekt wird durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) und durch die Fraunhofer-Gesellschaft unterstützt.

Abb. 2: Wirkungsgrade von vollständig am Fraunhofer ISE hergestellten EpiCells: Man erkennt, dass mit Dicke der Basis der Wirkungsgrad steigt. Es wird allerdings auch eine Sättigung erreicht, was darauf hindeutet, dass die Schichtqualität noch verbessert werden kann. Ein Ansatz dazu ist das Gettern, ein Verfahren, bei dem Metalle wie z. B. Eisen aus dem Substrat entfernt werden. Der nur geringe Wirkungsgradunterschied zwischen gegetterten und ungegetterten Substraten im Bild zeigt uns, dass die Kristallisation schon ein sehr sauberes Substrat geliefert hat.

## Siebdrucksolarzellen mit feuerstabiler Rückseitenpassivierung

Solarzellen mit passivierter und lokal kontaktierter Rückseite gewinnen auch in der industriellen Fertigung immer mehr an Bedeutung. Bei weiterer Verwendung der Siebdruckmetallisierungstechnologie wird für die rückseitige Passivierung neben der Passivierungsqualität insbesondere auch eine hohe thermische Stabilität gefordert. Mit den am Fraunhofer ISE entwickelten PECVD abgeschiedenen Stapelschichten aus  $\text{SiO}_x\text{N}_y$  und  $\text{SiN}_x$  konnten wir auf dünnen Cz-Si Wafern bereits signifikante Wirkungsgradsteigerungen erzielen.

Dietmar Borchert, Luca Gautero,  
 Marc Hofmann, Sinje Keipert,  
**Jochen Rentsch**, Markus Rinio,  
 Pierre Saint-Cast, Johannes Seiffe, Ralf Preu

Zellkonzepte mit passivierter und lokal kontaktierter Rückseite werden heute bereits in die industrielle Fertigung von kristallinen Silicium-Solarzellen eingeführt. In Verbindung mit der am Fraunhofer ISE patentierten Laser-Fired Contact (LFC) Technologie zur rückseitigen, lokalen Kontaktierung konnten wir industrielle Siebdruck-solarzellen mit Plasma Enhanced Chemical Vapour Deposition (PECVD) abgeschiedenen Passivierungsschichten sowie siebgedruckten Aluminiumschichten an der Rückseite herstellen. Diese sind vergleichbaren Solarzellen mit ganzflächigem Aluminiumkontakt in Bezug auf den erreichten Wirkungsgrad überlegen. Das PECVD Schichtsystem besteht aus einer wasserstoffreichen  $\text{SiO}_x\text{N}_y\text{:H}$  Schicht an der Grenzfläche zum Silicium sowie einer  $\text{SiN}_x\text{:H}$  Schicht als Barrierschicht gegenüber dem Aluminium-Metallkontakt. Ein solcher Passivierungstapel erlaubt Oberflächenrekombinationsgeschwindigkeiten von  $S_{\text{eff}} < 20 \text{ cm/s}$  bei gleichzeitiger Temperaturstabilität gegenüber einem herkömmlichen Kontaktfeuerschritt. Angewandt auf dünne Cz-Si Wafer ( $< 200 \mu\text{m}$ ) konnten mittels diesem Zellkonzept Wirkungsgrade bis 18,3 % erreicht werden, mit einer signifikanten Steigerung der offenen Klemmspannung  $V_{\text{OC}}$  sowie des Kurzschlussstroms  $I_{\text{SC}}$  gegenüber Referenzsolarzellen mit ganzflächigem rückseitigen Metallkontakt. Messungen der internen Quanteneffizienz belegen die Verbesserung insbesondere im für die Rückseite der Solarzelle relevanten langwelligeren Spektralbereich.

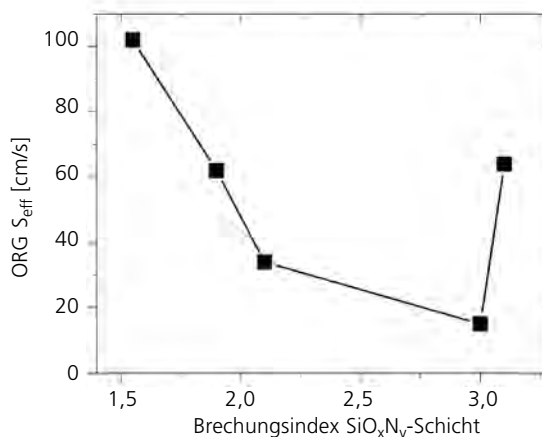


Abb. 1: Oberflächenrekombinationsgeschwindigkeiten  $S_{\text{eff}}$  von gefeuerten PECVD  $\text{SiO}_x\text{N}_y$ /PECVD  $\text{SiN}_x$  Stapelschichten auf symmetrischen FZ-Si Testwafern bei unterschiedlichem Brechungsindex der  $\text{SiO}_x\text{N}_y$ -Schicht. Die erzielten ORGs im Bereich unterhalb von  $20 \text{ cm/s}$  demonstrieren die hervorragende Passivierungsqualität dieser Schichtsysteme.

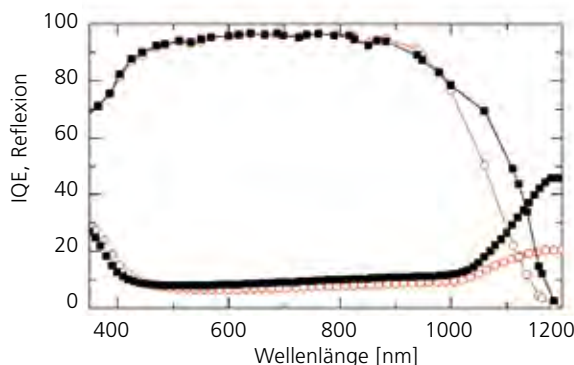


Abb. 2: Interne Quanteneffizienz (IQE) und Reflexion der siebgedruckten, passivierten und lokal LFC kontaktierten Cz-Si Solarzelle (schwarz) im Vergleich zu einer Standardsolarzelle mit ganzflächigem Aluminiumkontakt (rot). Die Überlegenheit der passivierten Solarzelle zeigt sich insbesondere in der besseren Ausnutzung des langwelligeren Spektralbereichs.

Die Arbeiten wurden im Rahmen des integrierten EU-Projekts »Crystal Clear« sowie im Rahmen des durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) geförderten Projektes »SLIM« unterstützt.



## Laserablationsprozesse für die industrielle Solarzellenfertigung

Mit den am Fraunhofer ISE vorhandenen Lasersystemen entwickeln wir eine Vielzahl unterschiedlicher Bearbeitungsprozesse für die Solarzellenfertigung. Eine Schlüsselposition nehmen dabei selektive Laserablationsprozesse ein. Sie können sowohl zur schnellen und lokalen Strukturierung von Ätz- und Diffusionsbarrieren, zur Bearbeitung des Siliciums selbst, zur Öffnung von dünnen Schichten zur nachfolgenden Metallisierung als auch zur elektrischen Isolation von Metallschichten eingesetzt werden.

Andreas Grohe, Christian Harmel,  
Ulrich Jäger, Annerose Knorz, Jan Nekarda,  
Ralf Preu

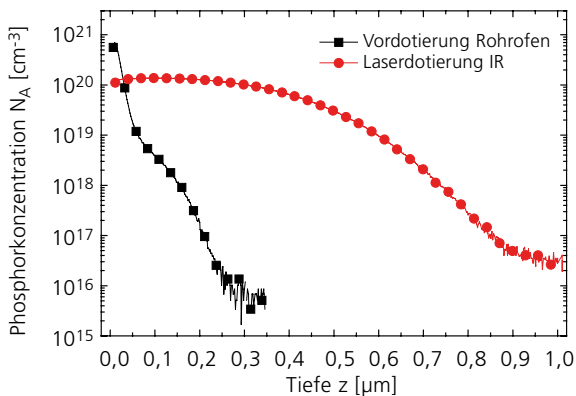
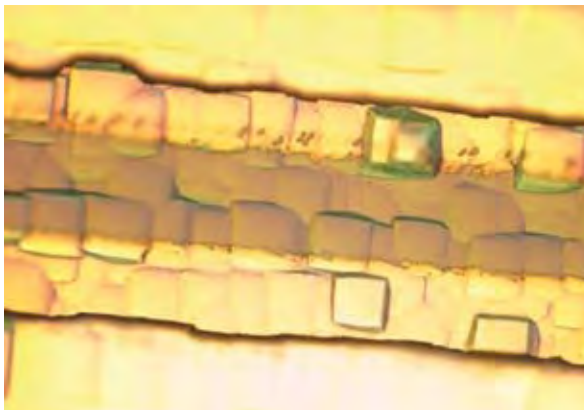


Abb. 1: Beispiel eines Dotierprofils vor (schwarze Quadrate) und nach (rote Kreise) dem Laserdotieren einer planen Siliciumoberfläche. Durch Einlegieren von zusätzlichem Phosphor aus dem auf der Oberfläche verbleibenden Phosphorsilicatglas sinkt der Schichtwiderstand vom Ausgangswert 126  $\Omega/\text{sq}$  bis auf 17  $\Omega/\text{sq}$ .



Für die Steigerung des Solarzellenwirkungsgrads sind selektive Strukturierungsmethoden ein wichtiger Schlüssel. Diese Strukturierungsschritte dienen dabei verschiedenen Zwecken. Bei vielen neuartigen Metallisierungsverfahren stellt die lokale Öffnung von Passivierungsschichten den elektrischen Kontakt zwischen Metall und Halbleiter sicher. Zur Herstellung von selektiven Emittern oder für Emitter- und Basisdefinition bei Rückseitenkontaktsolarzellen muss für die lokale Diffusion entweder eine Strukturierung von Diffusionsbarrieren erfolgen oder aber lokal ein Dotierstoff ins Silicium einlegiert werden. Zur elektrischen Isolation der beiden Pole dieser Rückseitenkontaktsolarzellen können wir anschließend die ganzflächig aufgebraute Metallschicht selektiv mit dem Laser entfernen. Sowohl bei der industriell eingesetzten Laserkantenisolation als auch bei der Erzeugung von Via-Löchern für den Transport von Ladungsträgern von der Vorderseite zu den rückseitigen Kontakten ist die direkte Ablation von Silicium notwendig.

Unsere Untersuchungen haben ergeben, dass aufgrund der divergierenden Anforderungen für jeden Prozess individuelle Laserparameter gefunden werden müssen. Hierzu können wir sowohl auf unsere langjährige Erfahrung als auch auf Laser der unterschiedlichsten Wellen- und Pulslängen zurückgreifen. Diese werden über verschiedene Arten der Strahlzuführung sowohl in mehrere industriennahe Anlagen als auch in Experimentierstationen geleitet.

Diese Arbeiten werden durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), das Land Baden-Württemberg sowie im Rahmen verschiedener Industrieprojekte gefördert.

Abb. 2: Oberfläche eines Siliciumwafers. Die Mikroskopaufnahme zeigt einen breiten Streifen, welcher durch Ablation einer oberflächennahen Siliciumschicht erzeugt wurde. Die anschließend aufgebraute Schichtkombination aus 200 nm Siliciumdioxid bedeckt die gesamte Oberfläche, während die darüber abgeschiedene Schicht aus 50 nm amorphem Silicium linienförmig innerhalb des ersten Streifens ablatiert worden ist.

## Inkjet-Technologie zur Strukturierung hocheffizienter Industriesolarzellen

Die am Fraunhofer ISE eingesetzte Inkjet-Strukturierungstechnologie erfuhr eine signifikante Weiterentwicklung. So können wir neben den bereits bestehenden Verfahren zur maskierten Öffnung von dielektrischen Schichten nun auch Emitter für Rückseitenkontaktsolarzellen und großflächig aufgebraachte Metallschichten für interdigitale Kontakte strukturieren. Damit lassen sich sämtliche für Hocheffizienzsolarzellen benötigten Strukturierungsschritte mit Inkjet durchführen.

Daniel Biro, Dietmar Borchert, Marcus Bui, Raphael Efinger, Denis Erath, Arne Fallisch, Roman Keding, Nicola Mingirulli, Rainer Neubauer, Jochen Rentsch, Jan Specht, David Stüwe, Ralf Preu

Mitte 2007 bauten wir am Fraunhofer ISE die Inkjet-Technologie für die Solarzellenstrukturierung auf. Bei den ersten Entwicklungen lag der Fokus auf der feinen Vorderseitenstrukturierung. Hier konnten wir bislang in Siliciumnitrid sogar auf texturierten Oberflächen Saatschichtbreiten von ca. 20  $\mu\text{m}$  Breite erreichen.

In der Folge untersuchten wir die Technologie sukzessive hinsichtlich ihrer Eignung zur Strukturierung von Oxiden, von Emitterdiffusionsbereichen und von Metallisierungen. Sämtliche Schichten lassen sich mit Inkjetmasken derart belegen, dass eine nachfolgende Strukturierung möglich ist. Da die verwendete Technologie ein sehr präzises Justieren erlaubt, sind diese Prozesse kombinierbar, sodass Inkjet zur Strukturierung von kompletten Rückseitenkontaktsolarzellen eingesetzt werden kann. So kann man z. B. zunächst den Emitter strukturieren und nachfolgend eine passivierende Oxidschicht herstellen, die sich an vorgesehenen Bereichen öffnen lässt. Abschließend kann eine Metallschicht abgeschieden und strukturiert werden.

Da die Schichten aus kleinen Tropfen zusammengesetzt werden, existieren für die erzeugbaren Strukturen abgesehen von der Tropfengröße keine Einschränkungen. Produktionsgeräte mit hohem Durchsatz sind heute erhältlich. Eine industrielle Verbreitung der Technologie ist also zu erwarten.

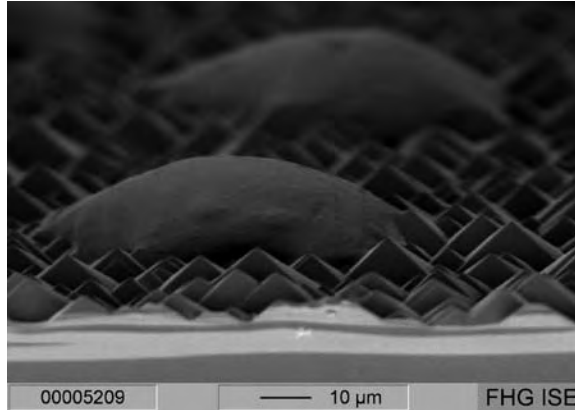


Abb. 1: REM-Aufnahme eines mittels Inkjet gedruckten Hotmelt-Wachstropfens. Das sehr hohe Aspektverhältnis erlaubt das Drucken von Schichten, die für Lift-off-Verfahren, aber auch als Barrierschichten eingesetzt werden können. Durch Verwendung von unterschiedlichen Druckköpfen erwarten wir, dass sich noch deutlich kleinere Tropfen erzeugen lassen, wenn eine höhere Auflösung gewünscht ist.

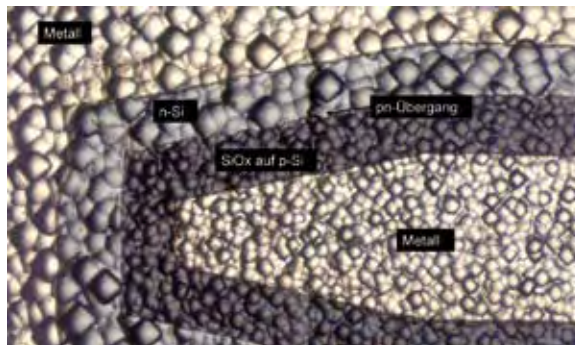


Abb. 2: Rückseite (Mikroskopaufnahme) einer EWT-Rückseitenkontaktsolarzelle, die in einem Fraunhofer WISA-Projekt hergestellt wurde. Dabei wurden ausschließlich Strukturierungsverfahren basierend auf Inkjet verwendet. Sowohl der pn-Übergang als auch die Metallstruktur wurden mittels eines Inkjet-Maskierungsprozesses mit anschließendem Ätzschritt strukturiert. Das hochpräzise und schnelle Verfahren erlaubt die Herstellung komplexer zueinander ausgerichteter Strukturen.

Die Arbeiten wurden unterstützt im Rahmen des Fraunhofer WISA-Projekts »Solar Chain« und des vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) geförderten Projekts »MASSE«.

## Nasschemische Prozesstechnik

Die Qualitätskontrolle gewinnt neben der Prozessoptimierung beim nasschemischen Ätzen innerhalb der Solarzellenproduktion immer mehr an Bedeutung. Insbesondere Online-Analysetechniken sind hier von Interesse. Am Fraunhofer ISE haben wir mit der Nahinfrarotspektroskopie (NIR) eine entsprechende Methode entwickelt, die nun auf breiter Basis zur Prozessevaluation eingesetzt wird. Weiterentwicklungen im Bereich der alkalischen Texturierung erlauben zudem eine Halbierung der bislang industriell üblichen Prozesszeiten.

Katrin Birmann, Stefanie Eigner, Heike Furtwängler, David Kakhiani, Gero Kästner, Rainer Neubauer, Antje Oltersdorf, **Jochen Rentsch**, Anika Schütte, Martin Seitz, Martin Zimmer, Ralf Preu

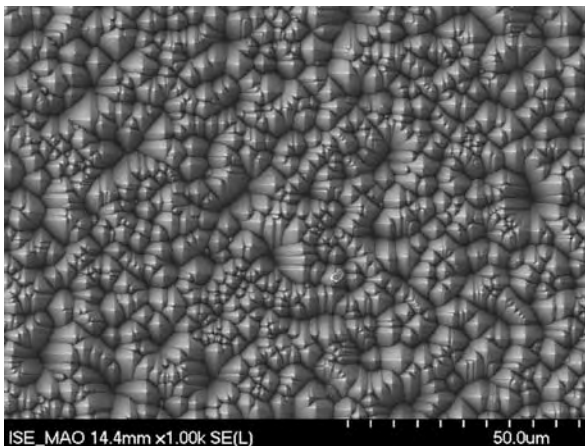
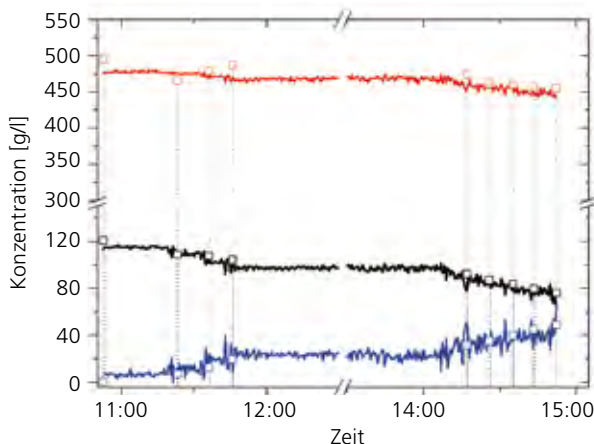


Abb. 1: REM-Aufnahme einer mit KOH und Cyclohexandiol alkalisch texturierten Cz-Si Waferoberfläche. Aufgrund des höheren Siedepunkts des Additivs können bei höherer Prozess Temperatur deutlich reduzierte Prozesszeiten unterhalb von 10 min realisiert und somit der Durchsatz herkömmlicher industrieller Texturierungsanlagen nahezu verdoppelt werden.



Die Prozessführung und -kontrolle wird bei der nasschemischen Texturierung und Reinigung in der industriellen Herstellungskette zur Fertigung von Siliciumsolarzellen immer wichtiger. Neben dem Kostenreduktionspotenzial aufgrund optimierter Badstandzeiten bzw. verkürzter Prozesszeiten wird auch die durchgehende Qualitätskontrolle zunehmend wichtiger. Für das erst genannte Ziel haben wir am Fraunhofer ISE eine schnelle, alkalische Texturierung von monokristallinen Siliciumwafern entwickelt, bei der innerhalb von 10 min eine vollständige Bedeckung mit zufällig verteilten Pyramiden (sog. Random Pyramids) und gewichtete Reflexionswerte im Bereich von 11 % erreicht werden. Im Bereich der Qualitätskontrolle entwickelten wir sowohl Methoden zur Referenzanalytik im Offlinemodus (Ionenchromatographie, Titration) als auch schnelle, onlinefähige Analysemethoden zur Verfolgung aller wesentlichen Badbestandteile in Ätz- und Reinigungsbädern. Speziell mittels Nahinfrarotspektroskopie (NIR) konnte unter anderem eine vollständige Analytik von sauren Ätzmischungen auf Basis von HF/HNO<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>O entwickelt werden, mit deren Hilfe sich neben den Hauptbadkomponenten auch die Anreicherung von Silicium in Form von Hexafluorokieselsäure verfolgen lässt. Insbesondere die Badstandzeiten sowie die Badstabilität können somit aufgrund effizienterer Nachdosierung von unverbrauchten Chemikalien verlängert bzw. verbessert werden.

Diese Arbeiten werden durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) sowie die Fraunhofer-Gesellschaft gefördert.

Abb. 2: Nahinfrarot (NIR) Spektroskopie-Analyse eines sauren Texturbads mit Online-Kontrolle der Konzentration von HF (schwarz), HNO<sub>3</sub> (rot) und Hexafluorokieselsäure (blau). Zur Validierung der neuen Methode wurden Referenzanalysen mittels Ionenchromatographie (farbige Quadrate) durchgeführt.



## Einzelwaferverfolgung in der Solarzellenfertigung

*Aufgrund der schnell wachsenden Produktionskapazitäten und der steigenden Wirkungsgrade gewinnt die Prozesskontrolle in der Solarzellenfertigung zunehmend an Bedeutung. Um Qualitätskenngrößen waferfein erfassen zu können, haben wir ein Verfahren zur Wafermarkierung und automatischen Waferidentifikation entwickelt und dessen Zuverlässigkeit im gesamten Solarzellenprozess untersucht.*

Gernot Emanuel, Markus Glatthaar\*,  
Andreas Grohe, Alexander Krieg,  
**Stefan Rein**, Albrecht Weil\*, Ralf Preu

\* PSE AG, Freiburg

Für die Prozesskontrolle wird in der Industrie zunehmend eine Einzelwaferverfolgung gefordert, um durch eine waferfeine Korrelation von Messdaten tiefere Einblicke in die technologischen Prozesse zu erlangen. Da eine rein logistische Materialverfolgung für die industrielle Anwendung nicht robust genug ist, haben wir am Fraunhofer ISE ein Verfahren zur Waferidentifikation entwickelt. Dieses Verfahren basiert auf einem Standard-Barcode, der mittels Laser in die Solarzellenvorderseite eingraviert wird (Abb. 1a) und mit einem speziellen Lesegerät, das gemeinsam mit der Firma Manz entwickelt wurde, ausgelesen wird. Wir haben einen Laserprozess entwickelt, dessen Strukturen über den gesamten Fertigungsprozess erhalten bleiben, ohne die Leistungsfähigkeit der Solarzelle zu beeinträchtigen. Obwohl die Barcodes kaum zu sehen sind, treten sie unter spezieller Beleuchtung deutlich hervor und können mit einem Bildverarbeitungsalgorithmus decodiert werden (Abb. 1b). Die Zuverlässigkeit der automatischen Code-Identifikation haben wir auf allen für die PV relevanten Oberflächen untersucht. Bei geeigneter Wahl der Codierung werden für die industrierelevanten Solarzellenprozesse mit Oberflächentexturierung über die gesamte Prozesskette bereits mittlere Detektionsraten von über 94 % erreicht, in einigen Einzelprozessschritten auch bis zu 100 %. Aufgrund des bestehenden Verbesserungspotenzials erscheint es möglich, das Verfahren in naher Zukunft zu einem robusten Trackingsystem auszubauen.

Die Arbeit wurde von der Fraunhofer-Gesellschaft und im Rahmen des Projekts »LASER-FAKT« des Landes Baden-Württemberg gefördert.

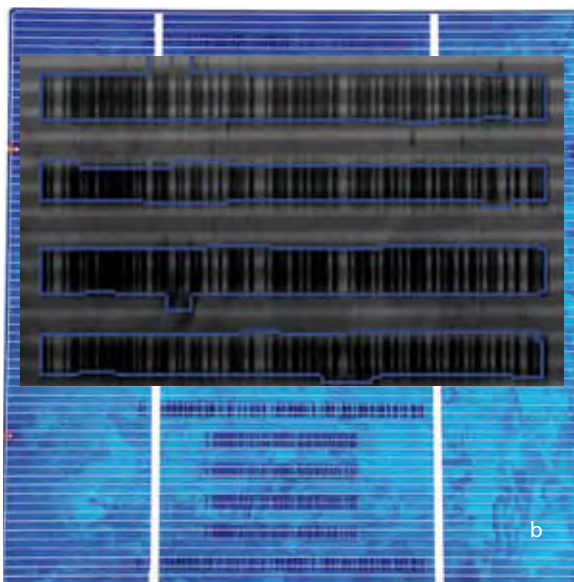


Abb. 1a+b: Optisches Erscheinungsbild verschiedener Barcode-Teststrukturen unter diffuser Beleuchtung auf einem mc-Siliciumwafer (a) unmittelbar nach der Lasermarkierung und (b) nach dem vollständigen Solarzellenprozess (mit saurer Textur, Antireflexbeschichtung und Metallisierung). Im Vordergrund sind die Aufnahmen des Codesesystems dargestellt, die unter direkter Beleuchtung mit optimierter Kameraeinstellung und Bildverarbeitung automatisiert aufgenommen und ausgewertet wurden.

## Mikroskopische Analytik von Siliciummaterialien

*Wir haben unsere Charakterisierungsmethoden für Solarzellen wesentlich erweitert, indem wir die Messmethoden an ein hochmodernes analytisches Rasterelektronenmikroskop angeschlossen haben. Die mikroskopische Analyse zur Materialcharakterisierung von z. B. multikristallinem Silicium beinhaltet die Bestimmung der Elementverteilung zur Identifizierung von Präzipitaten, die Messung der Kristallorientierung sowie Messungen der Rekombinationsaktivität auf mikroskopischer Skala. Kathodolumineszenz-Messungen ergänzen die Defektcharakterisierung.*

Wolfram Kwapil, **Martin Schubert**,  
Wilhelm Warta, Stefan Glunz

Silicium mit hohen Verunreinigungskonzentrationen weist häufig Anlagerungen von Fremdatomen an Korngrenzen und Versetzungen auf. Während kleine Metallpräzipitate nur durch geeignete Synchrotronmessungen detektiert werden können, sind wir jetzt in der Lage, große Präzipitate mit EDX (Electron Dispersive X-ray Spectroscopy) zu identifizieren. Fremdatome lagern sich dabei bevorzugt an Korngrenzen bestimmter Fehlorientierungen an.

Wir bestimmen mit der Electron Back Scatter Diffraction (EBSD) Technik die Orientierung von Kristallkörnern ortsaufgelöst, um Korngrößen und -orientierungen festzustellen. Innerhalb von Körnern können mit Fremdatomen dekorierte Versetzungen für eine reduzierte Materialqualität verantwortlich sein. Die Messung der Defektlumineszenz mit hoher Ortsauflösung ermöglicht uns die Analyse der hochversetzten Bereiche, die wir nun mit im Mikroskop integrierter Kathodolumineszenz-Messtechnik detektieren können.



Abb. 1: Kristallorientierungsmessung mit Electron Back Scatter Diffraction (EBSD) im Rasterelektronenmikroskop. Durch die automatische Auswertung von Interferenzen der am Kristallgitter gebeugten Elektronen können wir die Kristallorientierungen in multikristallinem Silicium mit hoher Ortsauflösung bestimmen.

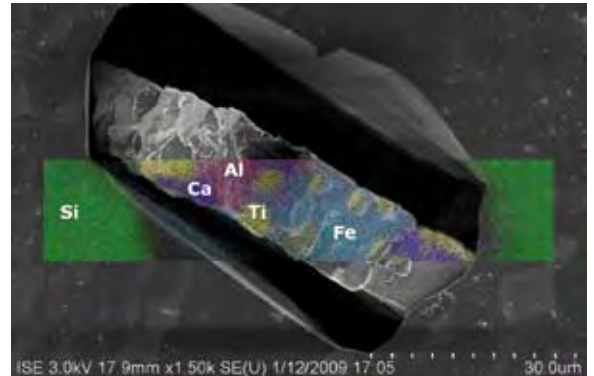


Abb. 2: Elementverteilungsanalyse mittels Electron Dispersive X-ray Spectroscopy (EDX). Die Analyse des nach Elektronenbeschuss emittierten Röntgenspektrums lässt Rückschlüsse auf die Elementverteilung der Probe mit hoher Ortsauflösung zu. Größere oberflächennahe Metallpräzipitate können auf diese Weise analysiert werden.

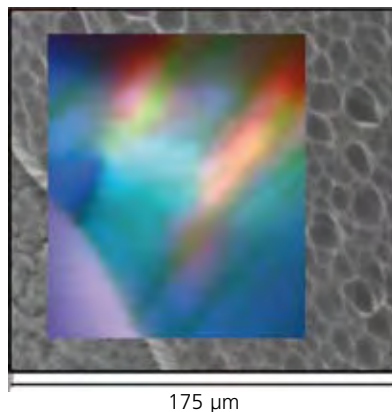


Abb. 3: REM-Aufnahme (grau) mit eingblendeter Kathodolumineszenzspektroskopie-Messung (farbig). Die Farbskala gibt eine komprimierte Darstellung der Defektlumineszenzspektren wieder. Blau bedeutet hierbei eine Verschiebung der mittleren Photonenenergie zu höheren, rot zu niedrigeren Werten. Hochversetzte Bereiche geringer Materialqualität (im REM-Bild rechts von der Korngrenze) zeichnen sich durch auf kleiner Skala stark variierende Lumineszenzspektren aus. Die dargestellte Messung ist in Zusammenarbeit mit dem NREL, USA, entstanden.

## Hot-Spots an Rückwärtsdurchbrüchen in defektreichen Siliciumsolarzellen

*In teilabgeschatteten Modulen können einzelne Zellen bei Rückwärtsspannungen zwischen 12–14 V betrieben werden. Mit unseren bildgebenden Messverfahren am Fraunhofer ISE konnten wir zeigen, dass lokale Durchbrüche des p-n-Übergangs schon bei diesen vergleichsweise niedrigen Rückwärtsspannungen auftreten können. Eine Klasse besonders früher Durchbrüche ließ sich mit bestimmten Defektbereichen korrelieren, die einen charakteristischen Fingerabdruck in der Defektlumineszenz zeigen.*

Martin Kasemann\*, Wolfram Kwapil,  
Wilhelm Warta, Stefan Glunz

\* Freiburger Materialforschungszentrum FMF,  
Albert-Ludwigs-Universität Freiburg

Ist der p-n-Übergang in Solarzellen unter Rückwärtsspannung wider Erwarten lokal leitend, kann es zu hohen lokalen Stromdichten und damit zu hohen Leistungsdissipationen kommen (Abb. 1). Unter bestimmten Betriebsbedingungen kann dies zur Zerstörung der Solarzelle und des Moduls führen. Bisher wurden vorwiegend Shunts als »heiße Kandidaten« für Hot-Spots gesehen. Wir konnten jetzt zeigen, dass Hot-Spots auch durch lokale Durchbrüche des p-n-Übergangs schon bei niedrigen Rückwärtsspannungen um 12 V entstehen können. Wegen ihrer steilen Strom-Spannungs-Kennlinie sind diese dann besonders gefährlich.

Durch den Einsatz moderner bildgebender Messverfahren ist es uns gelungen, verschiedene Durchbruchklassen in defektreichem multikristallinem Material zu identifizieren und zu zeigen, dass eine wichtige Klasse früher Durchbrüche mit bestimmten Materialdefekten korreliert (Abb. 2). Wir fanden außerdem heraus, dass sich die Defektbereiche in Durchbruchgebieten von anderen Defektbereichen durch eine charakteristische Ausprägung der Defektlumineszenz unterscheiden. Mithilfe der nun laufenden Detailcharakterisierung wollen wir die zugrundeliegenden Durchbruchmechanismen verstehen, um die Entstehung von Hot-Spots in Solarzellen aus defektreichem Material durch Prozessanpassungen gezielt zu umgehen. Da die Hot-Spot-Problematik durch den vermehrten Einsatz defektreicher Siliciumwafer in der Solarzellenproduktion eine immer prominentere Rolle spielen wird, haben wir in diesem Zusammenhang auch eine inlinefähige Methode zur ultraschnel-

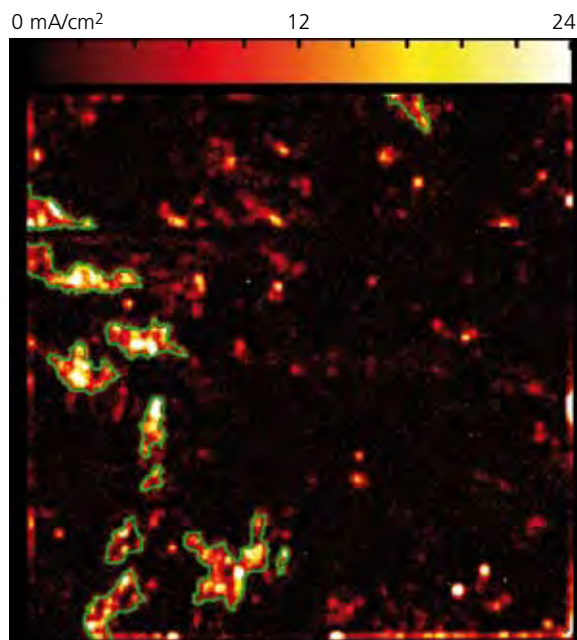


Abb. 1: Lokaler Durchbruchstrom in einer multikristallinen Solarzelle (156 x 156 mm<sup>2</sup>), gemessen bei 12,8 V Rückwärtsspannung. Die wichtigsten Durchbruchbereiche, die mit rekombinationsaktiven Defekten korrelieren, sind in den Abbildungen grün umrandet.

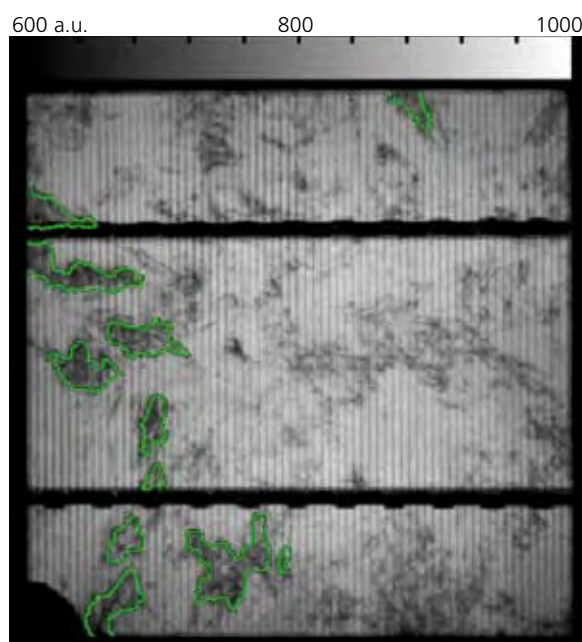
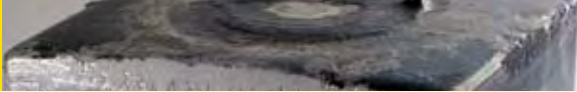


Abb. 2: Elektrolumineszenz-Bild der Zelle bei 540 mV Vorwärtsspannung. Die dunklen Bereiche zeigen Regionen hoher Rekombination/Defektdichte an. Durchbruchbereiche korrelieren mit bestimmten Defektbereichen, während andere Defektbereiche keinen Durchbruch zeigen. Weitere ortsaufgelöste Messungen der Sub-band-gap-Lumineszenz deuten auf einen charakteristischen Unterschied der Defektbereiche hin, der nun weiter untersucht wird.

len ortsaufgelösten Detektion und Klassifizierung von Hot-Spots entwickelt.

Diese Arbeiten wurden im Rahmen des Verbundprojekts »SolarFocus« vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) gefördert.





## Hocheffizienzsolarzellen aus n-Typ Silicium

*n-Typ Silicium bietet verschiedene physikalische Vorteile gegenüber dem bisher verwendeten p-Typ Silicium. Die größte Herausforderung bei der Umsetzung hocheffizienter Solarzellenstrukturen auf diesem Material, die Passivierung des Bor-Emitters auf der Vorderseite, haben wir durch die Verwendung von  $Al_2O_3$  als Vorderseitenpassivierung gelöst. Dies ermöglicht erstmals die Herstellung von Solarzellen auf n-Typ Silicium mit einem Wirkungsgrad  $>23\%$ .*

Jan Benick\*, Antonio Leimenstoll, Oliver Schultz-Wittmann, Sonja Seitz, Stefan Glunz

\* Freiburger Materialforschungszentrum FMF, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg

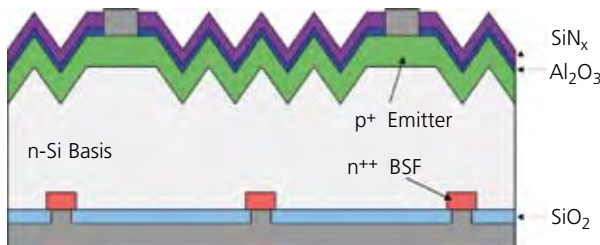


Abb. 1: Hocheffiziente (PERC) Solarzellenstruktur (PERC= Passivated Emitter Rear Locally Diffused). Der Bor-Emitter auf der Solarzellenvorderseite wurde mit  $Al_2O_3$  passiviert. Für eine bessere Lichteinkopplung haben wir die 30 nm dünne, passivierende  $Al_2O_3$  Schicht mit einer Antireflexschicht (40 nm  $SiN_x$ ) verstärkt.

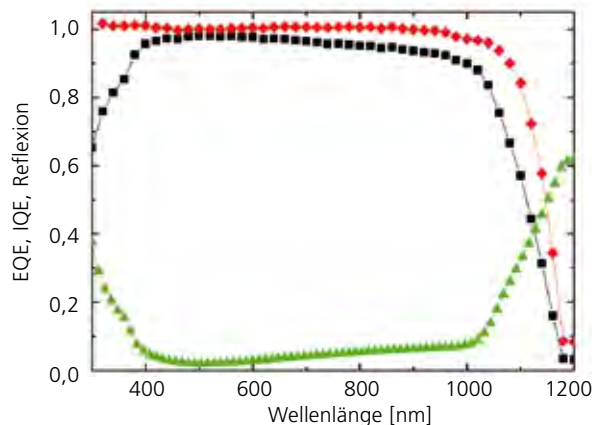


Abb. 2: Externe Quantenausbeute (EQE) (schwarz), interne Quantenausbeute (IQE) (rot) und Reflexion (grün) der Hocheffizienzsolarzellen auf n-Typ Silicium. Die Effizienz der  $Al_2O_3$  Vorderseitenpassivierung zeigt sich vor allem in der optimalen Ausnutzung des kurzwelligen Spektralbereichs.

Für das Erreichen hoher Solarzellenwirkungsgrade benötigt man neben großen Diffusionslängen im Ausgangsmaterial vor allem eine effektive Oberflächenpassivierung. Im Hinblick auf die Diffusionslängen bietet die Verwendung von n-Typ Silicium Vorteile: Einerseits zeigt dieses eine höhere Toleranz gegenüber bekannten Verunreinigungen (z. B. Eisen), andererseits tritt die lichtinduzierte Degradation, für die besonders p-Typ Cz Silicium bekannt ist, nicht auf.

Das Hauptproblem für die Umsetzung hocheffizienter Solarzellenstrukturen auf n-Silicium war bisher der Bor-Emitter auf der Vorderseite der Solarzelle. Am Fraunhofer ISE haben wir jetzt das Bor-Emitterprofil in umfangreichen Testreihen in Hinblick auf minimale Rekombinationsverluste optimiert. Allerdings zeigte sich, dass die Oberflächenpassivierung mit den konventionellen Schichten wie  $SiO_2$  oder  $SiN_x$  nicht optimal zu erreichen ist. Durch die Verwendung von  $Al_2O_3$  als Vorderseitenpassivierung haben wir dieses Problem nun in Zusammenarbeit mit der Technischen Universität Eindhoven gelöst. Eine hohe Dichte an negativen Ladungen bewirkt eine effektive Passivierung stark Bor-dotierter Oberflächen. Als eine von wenigen dielektrischen Schichten stellt  $Al_2O_3$  mit ca.  $-10^{13} \text{ cm}^{-2}$  eine sehr hohe Dichte solcher negativer Ladungen zur Verfügung. Neben der exzellenten Passivierung der stark Bor-dotierten Solarzellenvorderseite verfügt  $Al_2O_3$  auch über nahezu ideale optische Eigenschaften für die Verwendung als Vorderseitenpassivierung ( $n=1,65$ , keine Absorption). Mit  $Al_2O_3$  als Passivierung des Bor-Emitters wurde am Fraunhofer ISE erstmals ein Wirkungsgrad von  $>23\%$  ( $V_{oc}=703 \text{ mV}$ ,  $J_{sc}=41,2 \text{ mA/cm}^2$ ) auf hocheffizienten n-Typ Siliciumsolarzellen erreicht.

Diese Arbeiten wurden durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) gefördert.

## Höchsteffiziente Solarzellen mit gedruckten Kontakten

Die Metallisierung von Solarzellen nimmt eine immer wichtigere Rolle ein, wenn es um die Steigerung des Wirkungsgrads bzw. um eine kosteneffizientere Herstellung von Silicium-solarzellen geht. Durch den Einsatz neuer Drucktechniken wie Aerosoldruck und der gleichzeitigen Entwicklung von speziellen Kontakttinten, ist es uns gelungen, die Effizienz von industrienah hergestellten Siliciumsolarzellen auf über 20 % zu steigern.

Sebastian Binder, Aleksander Filipovic, **Matthias Hörteis**, Daniel Schmidt, Robert Woehl, Stefan Glunz

Die Effizienz von Siliciumsolarzellen kann gesteigert werden, indem die vorderseitige Metallisierung einerseits weniger Fläche einnimmt, die Kontakte schmäler werden und andererseits der Metall-Halbleiterübergang verbessert wird. Mit dem Ziel die Linienbreite der Vorderseitenkontakte von derzeit ca. 120  $\mu\text{m}$  auf unter 30  $\mu\text{m}$  zu reduzieren, haben wir die Aerosoldrucktechnik für die Anwendung in der Solarzellenprozessierung optimiert.

Derzeit erreichen wir Linienbreiten von weniger als 30  $\mu\text{m}$  auf texturierten Solarzellen. Eine Reduzierung der Kontaktfläche bedeutet zwar, dass in der Solarzelle mehr Strom generiert wird, jedoch kann dieser Vorteil nur dann genutzt werden, wenn der Übergangswiderstand vom Silicium zum Metall ebenfalls verbessert wird. Die Aufgabe bestand also darin, eine geeignete Tinte zu entwickeln, mit der es möglich ist, trotz einer reduzierten Kontaktfläche Solarzellen niederohmiger kontaktieren zu können.

Mit der jüngst am Fraunhofer ISE entwickelten Vorderseiten-Metalltinte und deren Verwendung im Aerosoldruck-Verfahren haben wir den Wirkungsgrad einer gedruckten Siliciumsolarzelle mit passivierter Rückseite auf über 20 % gesteigert. Bemerkenswert dabei ist insbesondere, dass es uns gelungen ist, einen  $\text{SiN}_x$ -passivierten Emitter mit einem Schichtwiderstand von über 100  $\Omega/\text{sq}$  zu kontaktieren, was mit konventionellen Pasten und Tinten nicht möglich ist. Diese schwach dotierten Emitter erlauben aber sehr hohe Spannungen von über 660 mV und interne Quanteneffizienzen nahe 100 %.

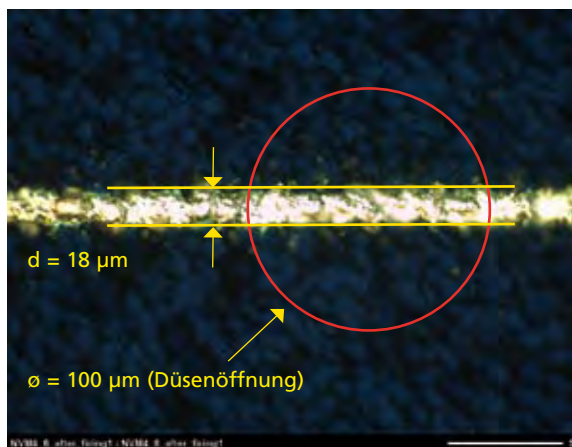


Abb. 1: Mikroskopische Aufnahme einer aerosolgedruckten Linie. Der Liniendurchmesser ist dabei mehr als fünfmal schmäler als die Düsenöffnung (gekennzeichnet als roter Ring).

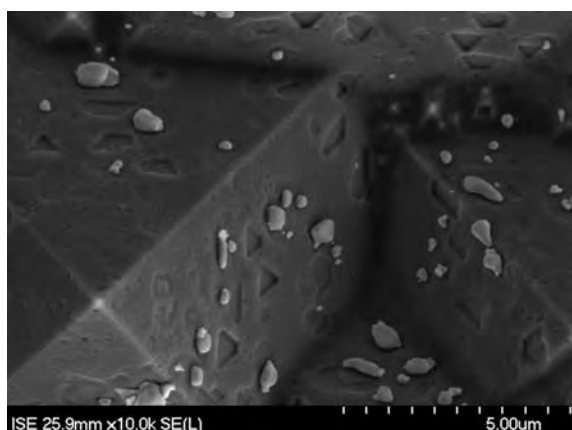


Abb. 2: REM-Aufnahme eines abgeätzten Kontaktfingers. Die Silberkristallite und deren geometrische Abdrücke im Silicium sind charakteristisch für einen guten elektrischen Kontakt. Hier wird die Kristallitdichte auf einer Solarzelle mit einem Emitterschichtwiderstand von über 100  $\Omega/\text{sq}$  gezeigt.

## p-Typ-Laserdotierung mittels Laser Chemical Processing (LCP)

Mit der proprietären LCP-Technologie des Fraunhofer ISE konnten Siliciumsolarzellen mit Wirkungsgraden oberhalb 20 % mit n-Typ Laserdotierung erreicht werden. Nun ist es uns auch gelungen, erfolgreich eine p-Typ-Dotierung mit LCP zu demonstrieren. Damit können sowohl auf der Vorder- als auch der Rückseite von hocheffizienten Solarzellenstrukturen lokale Hochdotierungen schnell und effizient über LCP eingebracht werden.

Christopher Baldus-Jeursen, Andreas Fell\*, Christoph Fleischmann, Cornelia Ghadami, Filip Granek, Sybille Hopman, Daniel Kray, Kuno Mayer, Matthias Mesec, Ralf Müller, Andreas Rodofili, Arpad Mihai Rostas, Maria Isabel Sierra-Trillo, Stefan Glunz

\* Freiburger Materialforschungszentrum FMF, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg

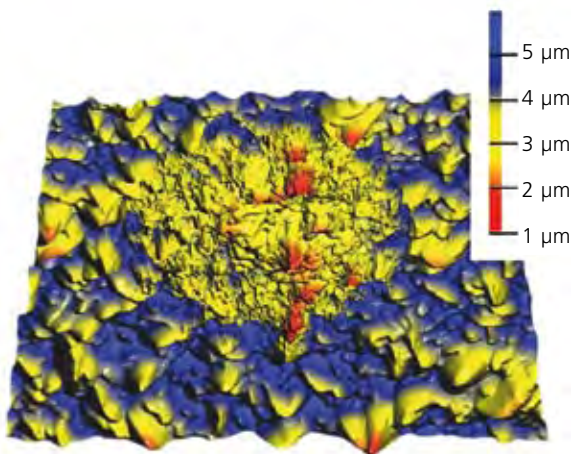
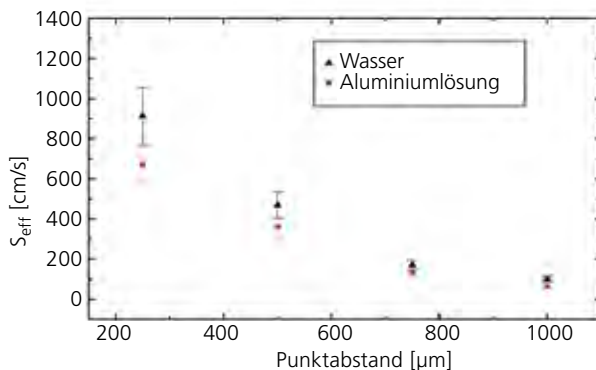


Abb. 1: Konfokale Mikroskopieaufnahme einer mittels LCP hergestellten Punktöffnung in einer thermischen Oxidpassivierung. Die sehr schonende Bearbeitung erlaubt eine lokale Dotierung bei geringer Kratertiefe und trägt zur Ausbildung von ohmschen Kontakten mit geringer Rekombinationsaktivität bei.



Höchsteffiziente Solarzellen besitzen unter beiden Kontakten hochdotierte Bereiche. Diese dienen u. a. der Reduktion des spezifischen Kontaktwiderstands und der Rekombinationsverluste. Da diese Diffusionen meist mit aufwändigen Hochtemperaturprozessen – z. B. im Rohrofen – verbunden sind, werden sie nicht standardmäßig bei der Herstellung von industriellen Solarzellen eingesetzt.

Die Laserdiffusion über das Laser Chemical Processing (LCP) bietet eine sehr einfache und elegante Möglichkeit, die lokalen Hochdiffusionen ohne Aufheizen des gesamten Wafers zu erzeugen. Dafür wird der Dotant (z. B. Phosphor für n-Typ-Dotierung und Al oder Bor für p-Typ-Dotierung) in einer geeigneten Lösung als Trägerflüssigkeit verwendet. Diese wird in einer Düse zu einem laminaren Strahl geformt, in den kurze Laserpulse eingekoppelt werden. Der Laser erlaubt das Aufschmelzen einer oberflächennahen Schicht, die durch den gleichzeitig auftreffenden Flüssigkeitsstrahl dotiert wird. Dies konnte bereits für die n-Dotierung mit Phosphor gezeigt werden. Nun ist es uns erstmals gelungen, unter Verwendung einer aluminiumhaltigen Lösung eine p-Typ-Dotierung zu erzeugen. Damit wird die Erzeugung von Local Back Surface Fields (LBSF) bei p-Typ-Solarzellen bzw. selektiven Emittlern bei n-Typ-Solarzellen möglich. Versuche zur LCP-Diffusion von Bor anstelle Al sind aktuell in der Bearbeitung.

Diese Arbeiten wurden durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) sowie die Industriepartner Deutsche Cell, Manx Automation, REC Solar und Synova gefördert.

Abb. 2: Gemessene Oberflächenrekombinationsgeschwindigkeiten  $S_{\text{eff}}$  von lokalen Punktkontakten, die unter Verwendung von LCP mit Wasser bzw. einer Aluminiumlösung hergestellt wurden. Die geringeren Werte für LCP mit Aluminiumlösung zeigen die Erzeugung eines Al-LBSF (Local Back Surface Field) an, das die Rückseitenrekombination reduzieren kann.



## Präzise Füge Technologien zur Verbindung von Solarzellen

*In unserem Modultechnikum entwickeln wir Fügeprozesse für die Verbindung von Solarzellen. Treibende Kräfte sind die abnehmenden Waferdicken, der Trend zu bleifreien Materialien und der Kostendruck in der Modulproduktion. Die steigenden Anforderungen bei Produktion und Qualitätssicherung erfordern eine präzisere Steuerung der Prozesse. Ein Schwerpunkt unserer Aktivitäten liegt deshalb bei dynamisch regelbaren, selektiven Lötprozessen.*

Carsten Malchow, Michael Meißner, Harry Wirth, Werner Platzer

Dynamische Lötprozesse auf der Grundlage von Laser oder Induktion ermöglichen eine besonders genaue Dosierung der Energiezufuhr. Voraussetzung sind hohe Geschwindigkeiten bei Temperaturerfassung, Signalverarbeitung und Leistungsregelung.

Der Laserstrahl erwärmt die Oberfläche des Zellverbinders durch Absorption. Um die Strahlungsenergie des Lasers besser zu nutzen, haben wir verschiedene Maßnahmen zur Verringerung des Reflexionsgrads untersucht.

Die erfolgreichste Behandlung erzielt eine Verringerung der Reflexion um ca. 25 Prozentpunkte (Abb. 1), was zu einer annähernden Verdopplung der Energieeffizienz führt. Beim Verbinden von Solarzellen mit vorverzinnten Kupferbändchen liegt eine Herausforderung in der Übertragung einer Andruckkraft zwischen Bändchen und Zelle. Wir haben einen Niederhalter entwickelt, der für einen materialgerechten Kontakt sorgt, ohne den Laserstrahl zu stören.

Durch die Kombination mehrerer Maßnahmen konnten wir eine hohe Qualität und Reproduzierbarkeit der punktuellen Lötverbindungen erreichen, in Verbindung mit bleifreiem Lot und kurzen Prozesszeiten. Abb. 2 zeigt gemessene Schälkräfte zwischen Verbinder und Zelle. Auch die thermomechanischen Spannungen zwischen Zelle und Zellverbinder, die nach dem Fügeprozess zurückbleiben, konnten wir deutlich senken.

Ein Teil der Arbeiten wurde im Rahmen des EU-Projekts »Crystal Clear« geleistet.

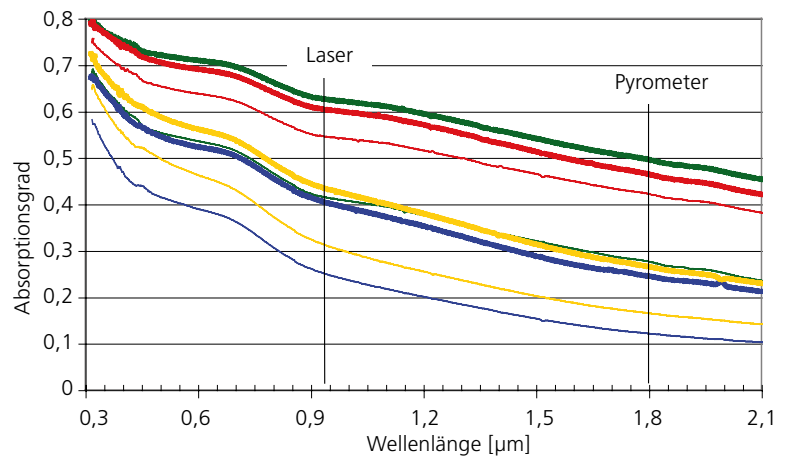


Abb. 1: Spektraler Absorptionsgrad einer Zellverbinder-Oberfläche nach verschiedenen Behandlungen. Markiert sind die Wellenlängen des Lasers und des Pyrometers.

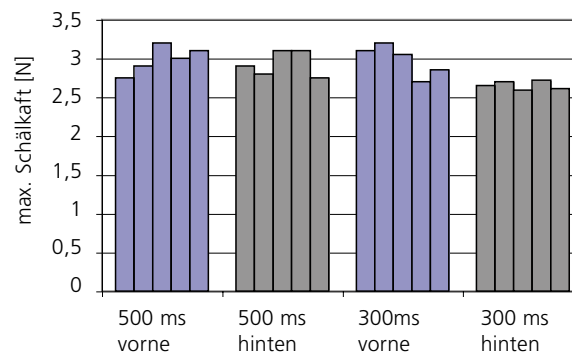
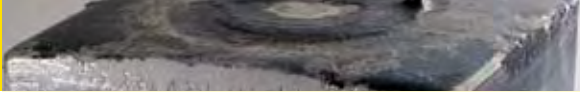


Abb. 2: Schälkräfte für punktuell mit Laser aufgelötete Zellverbinder, je fünf Lötunkte pro Busbar, bleifreies Lot, Prozesszeiten 500 und 300 ms, Werte für Zellvorder- und -rückseite.



## Das BMBF-Spitzencluster »Solarvalley Mitteldeutschland«

Als eine der weltweit führenden Regionen in der PV-Branche hat sich das Spitzencluster »Solarvalley Mitteldeutschland« zum Ziel gesetzt, die Industriepartner und Forschungseinrichtungen der Silicium-Photovoltaik entlang der gesamten Wertschöpfungskette zu vereinen. Mit den geplanten Investitionen und Forschungsanstrengungen kann innerhalb der nächsten fünf bis sieben Jahre die Netzparität in Deutschland erreicht und die Photovoltaik zur bedeutendsten Energietechnologie dieses Jahrhunderts ausgebaut werden.

**Jörg Bagdahn\*, Gerhard Willeke\***

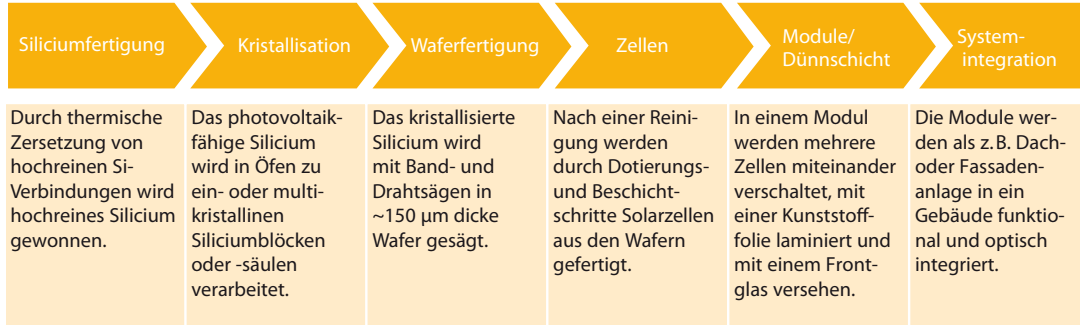
\* Fraunhofer Center für Silizium-Photovoltaik CSP, Halle (Saale)

Das Spitzencluster »Solarvalley Mitteldeutschland« ist einer von fünf Gewinnern der ersten Runde des Spitzenclusterwettbewerbs des BMBF. In dem Verbund sind 27 Unternehmen und zwölf Forschungseinrichtungen aus Thüringen, Sachsen-Anhalt und Sachsen sowie weitere strategische Partner, wie das Fraunhofer ISE in

Freiburg, aktiv. Durch diese strategischen Partner kann das Cluster die komplette Wertschöpfungskette im Bereich der Silicium-Photovoltaik abbilden (Abb. 1). Wissenschaftlich koordiniert wird das 80 Mio.€ Vorhaben (Laufzeit 2009–2013) vom Fraunhofer CSP, einer gemeinsamen Einrichtung des Fraunhofer IWM und Fraunhofer ISE.

In drei ersten, großen Startprojekten  $\mu$ -Material (PL CiS, Erfurt),  $\mu$ -Zelle (PL ersol, Erfurt) und  $\mu$ -Module (PL CSP, Halle) werden die Grundlagen zur industriellen Herstellung von Materialien, hocheffizienten Solarzellen und Modulen auf ultradünnen Siliciumwafern geschaffen. In diesen Projekten soll die optimale Waferdicke identifiziert werden (erstes Ziel: 130  $\mu$ m), mit der sich unter Verwendung von kostengünstigem Solarsilicium und einer Erhöhung der Modulgebrauchsdauer eine minimale Euro/Watt-Zahl in der industriellen Fertigung erreichen lässt.

Weitere Projekte in den Bereichen Kristallisation, Wafering (PL CSP), Prozesstechnologie, Dünnschichttechnologien sowie Gebäude- und Systemintegration (PL ISE) sind in Vorbereitung.



Photovoltaikunternehmen					
PV Silicon, City Solar	ersol, Q-Cells, Wacker Schott	Q-Cells, ersol, PV Silicon, Wacker Schott, Sawate	Q-Cells, ersol, Sunways, EverQ, Solar	SOLARWATT, CSG Solar, Solarion, Signet Solar, Sontor, Sunfilm, ersol thin films	SunStrom
Anlagenhersteller, Zulieferer					
	CGS/PVA Tepla, Heraeus	Jenoptik, SiC Processing	Jonas & Redmann, Roth & Rau, FHR, AIS Automation Dresden, ALOtec, von Ardenne, Jenoptik	Fresnel Optics, P-D Industries, von Ardenne, AIS Automation, FHR, Roth & Rau	SMA
Hochschulen und FuE-Organisationen					
	CSP, THM, FZD	CSP, TUBA, THM, CIS, BAM, CIS	ISE, CSP, CiS, IWS, FEP, FZD	CSP, ISE, CiS	ISE, CSP, TUD

Abb. 1: Wertschöpfungskette der kristallinen Silicium-Solartechnologie im BMBF-Spitzencluster »Solarvalley Mitteldeutschland« mit Zuordnung der Clusterakteure (Stand 05/2008).

## Das Fraunhofer Center für Silizium-Photovoltaik CSP

Das Fraunhofer Center für Silizium-Photovoltaik CSP in Halle (Saale), mitten im Herzen des Solarvalleys Mitteldeutschland, ist eine gemeinsame Einrichtung der Fraunhofer-Institute für Solare Energiesysteme ISE und Werkstoffmechanik IWM. Gegründet in 2007 und ausgestattet mit Infrastrukturmitteln in Höhe von 60 Mio. € arbeitet das Fraunhofer CSP unter dem Motto »Mehr Solarstrom aus weniger Silizium« an verschiedenen Themen der Wertschöpfungskette mit aktuell 29 Mitarbeitern.

Jörg Bagdahn\*, Gerhard Willeke\*

\* Fraunhofer Center für Silizium-Photovoltaik CSP, Halle (Saale)

Das Fraunhofer CSP beschäftigt sich schwerpunktmäßig mit folgenden Themen:

- Kristallisation:  
Weiterentwicklung der Verfahren Vertical Gradient Freeze (VGF) (Abb.1), Czochralski (Cz) und Floatzone (FZ) im industriellen Maßstab
- Mikrostruktur/Analytik:  
Das Diagnosezentrum am Fraunhofer CSP bewertet die Mikrostruktur (Abb.2) und Materialzusammensetzung bis in den ppb-Bereich.
- Mechanik Wafer/Zelle:  
Festigkeitsverhalten und Lebensdaueranalyse von Einzelkomponenten auf der Basis werkstoffmechanischer Modelle
- Verbindungstechnik:  
Neuartige, verspannungsarme Kontaktierungsprozesse für die Verschaltung von Si-Solarzellen
- Module:  
Analyse der Zuverlässigkeit und Lebensdauer von PV-Modulen unter Verwendung thermo-mechanischer Simulationen in Wechselwirkung mit mechanischen Lastversuchen und weiteren Tests
- Photonenmanagement:  
Erhöhung des Solarzellwirkungsgrads durch Modifikation des Lichtspektrums unter Verwendung optisch-aktiver Materialien (z. B. Glaskeramik)

Die Bereiche Dünnschichttechnologien sowie Elektrische Materialanalyse/Solarzellencharakterisierung befinden sich derzeit noch in der Planung.



Abb. 1: Industrielle Kristallisationsanlage (VGF) zur Herstellung von multikristallinen Siliziumblöcken.

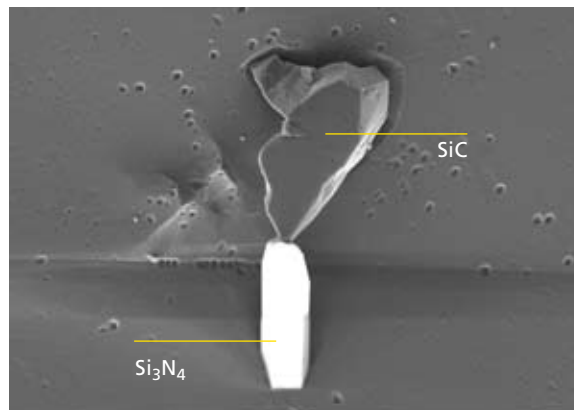
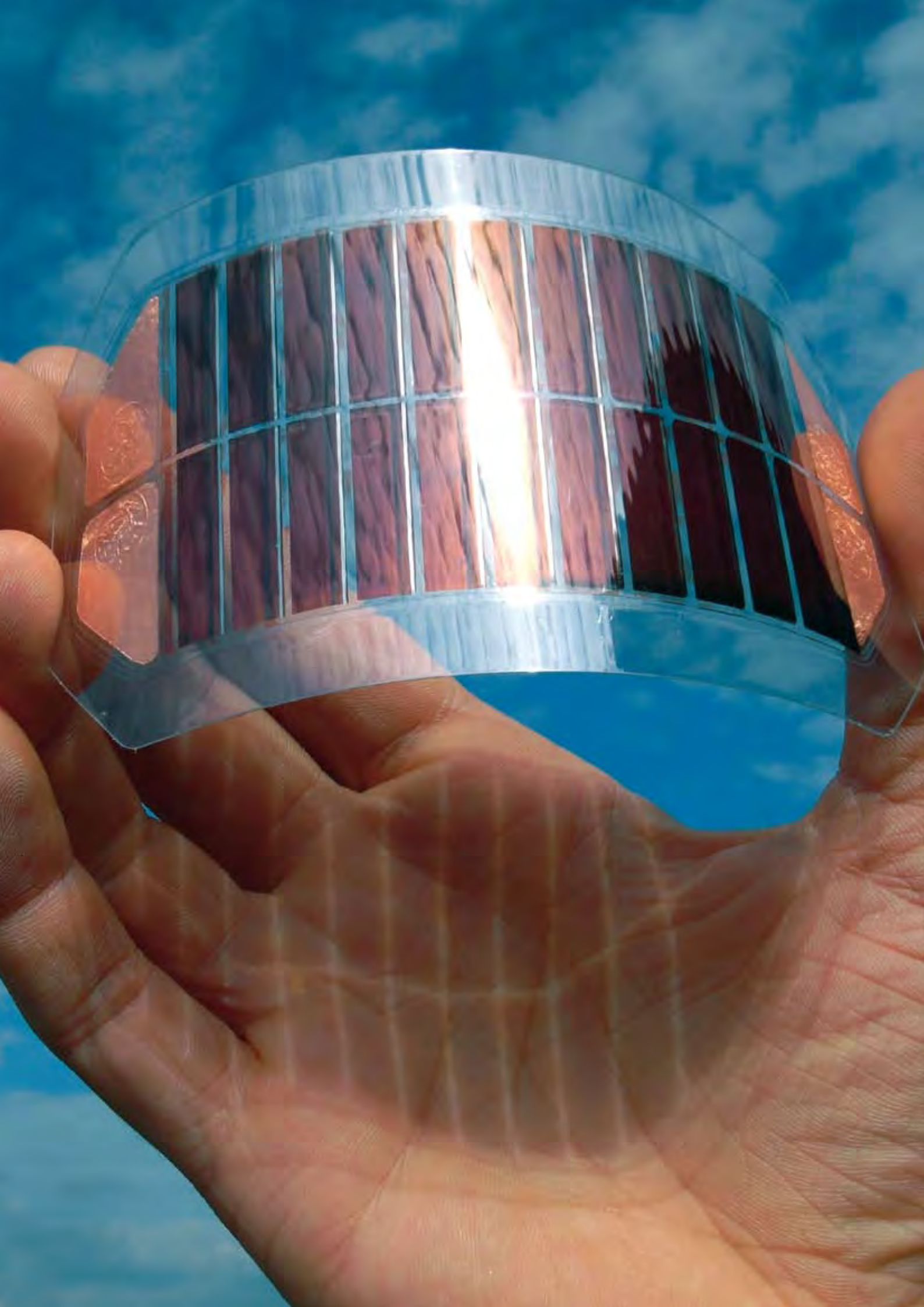


Abb. 2: Elektronenmikroskopische Aufnahme (REM) von Verunreinigungen in multikristallinem Silizium. Durch Rückätzen des Siliziummaterials werden  $\text{SiC}$ -Cluster und  $\text{Si}_3\text{N}_4$ -Stäbe freigelegt, die sich im Verlauf des Kristallisationsprozesses gebildet haben. Die Mikrostrukturen zeichnen sich durch ihre charakteristischen Formen und Materialkontrast aus.

Das Fraunhofer CSP ist derzeit in Räumlichkeiten des Fraunhofer IWM Halle untergebracht und wird seine eigenen Gebäude am Standort Schkopau (Verbindungstechnik) und Halle 2009 bzw. 2011 beziehen.





## Alternative Photovoltaik-Technologien

In Ergänzung zur Silicium-Photovoltaik (Seite 42 ff) erstreckt sich unsere Solarzellenforschung und -entwicklung auf weitere Photovoltaik-Technologien: III-V basierende Halbleiter, Farbstoffsolarzellen und Organische Solarzellen.

### **III-V basierende Halbleiter und ihre Anwendungsfelder**

Mehrfach-Solarzellen auf Basis der III-V-Halbleiter wie Galliumindiumphosphid, Aluminiumgalliumarsenid oder Galliumarsenid erzielen heute die höchsten Wirkungsgrade für jede Art von Solarzellen. 2008 stellte unser Institut einen neuen Weltrekord auf: Erstmals wurde ein Wirkungsgrad von 41,1% bei 454facher Sonnenkonzentration erzielt. Dreifach-Solarzellen aus GaInP/GaInAs/Ge werden bereits seit Jahren erfolgreich im Weltraum eingesetzt. In den letzten Jahren haben wir mitgewirkt, dass diese höchsteffizienten Zellen auch terrestrisch, im Zusammenspiel mit der optischen Konzentration des Sonnenlichts, erfolgreich in den Markt eingeführt werden konnte. Neben den beiden genannten Märkten bedienen wir mit den III-V-Solarzellen noch Spezialmärkte wie die Laser-Leistungsübertragung, die Thermophotovoltaik und weitere Sonderanwendungen.

Für die extraterrestrische Anwendung arbeiten wir derzeit schwerpunktmäßig an strahlungsresistenten Tripel- bis Sextupel-Zellen und deren Spezialanwendungen auf Mars und Jupiter. Für den terrestrischen Einsatz entwickeln wir Konzentratorsolarzellen für höchste optische Konzentrationsfaktoren bis 2000 und Wirkungsgrade im Bereich von 40 Prozent. Neben der Zellprozessentwicklung für die Industrie passen wir Konzentratorsolarzellen auf die spezifischen Bedürfnisse unserer Kunden an.

Ein weiterer Arbeitsschwerpunkt im Bereich der Konzentratorsolarzellen ist die Entwicklung angepasster Charakterisierungstechniken und -geräte für den Einsatz in einer industriellen Fertigung. In Zusammenarbeit mit unserem Kalibrierlabor CalLab bieten wir kalibrierte Messungen an Mehrfachsolarzellen an. Darüber hinaus entwickeln wir komplette Konzentratormodul- und -systemlösungen. Ein Beispiel ist die am Fraunhofer ISE entwickelte FLATCON®-Technologie. Nach einer Pilotfertigungsphase in unserem Concentrator Technology and Evaluation Center ConTEC wird diese Technologie seit Herbst 2008 von unserem Spin-off Concentrix Solar GmbH in einer eigenen 25 MW Fertigungslinie in Freiburg erfolgreich produziert.

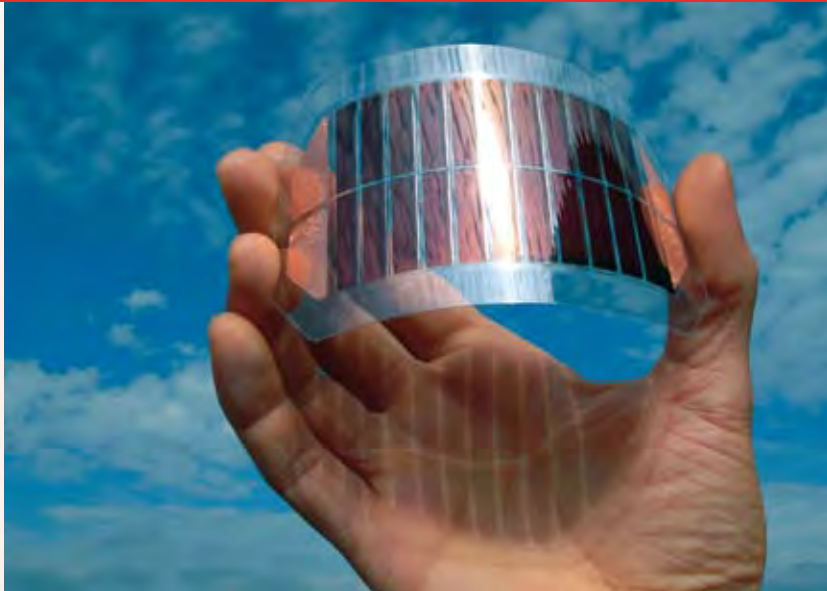
### **Farbstoffsolarzellen**

Die Technologie der Farbstoffsolarzellen hat sich in den letzten Jahren deutlich über den Labormaßstab hinaus entwickelt. Wir konnten zeigen, dass mit Siebdruck- und neuen Versiegelungstechniken Farbstoffsolarzellen-Module in industriennahen Techniken gefertigt werden können. Die Möglichkeit, gestalterische Aspekte umzusetzen, wurde in Prototypen gezeigt. Die Beständigkeit der Module wird im Labor und unter Außenbewitterung getestet. Neben der Entwicklung von Zell- und Herstellungskonzepten stehen Arbeiten zur Aufskalierung von Farbstoffsolarmodulen für die Anwendung im Architekturbereich im Vordergrund.

### **Organische Solarzellen**

Organische Solarzellen sind insbesondere aufgrund der erwarteten niedrigen Herstellungskosten attraktiv. Die hohe mechanische Flexibilität erweitert die zukünftigen Einsatzgebiete für Photovoltaik. Wir entwickeln neue Zellarchitekturen, die basierend auf kostengünstigen Materialien mit effizienten Verfahren hergestellt werden können. Ziel dieser Entwicklungen ist die Produktion im Rolle-zu-Rolle Verfahren. So konnten wir erste Solarzellenmodule mit Technologien herstellen, die in eine kontinuierliche Produktion überführt werden können. Auf dem Weg zu höheren Effizienzen und Lebensdauern untersuchen wir neue organische Halbleiter und Elektroden sowie in beschleunigten Alterungstests die Eignung von Verkapselungsmaterialien. Die Untersuchungen zeigen, dass Lebensdauern von einigen Jahren mittlerweile realistisch sind.





Organische Solarzellen stellen einen zukunftsweisenden Solarzellentyp dar. Der geringe Materialverbrauch und die Anwendung effizienter Produktionstechnologien eröffnen ein hohes Potenzial für eine kostengünstige Herstellung. Weitere Vorteile – vor allem in Hinblick auf die Anwendung – sind die mechanische Flexibilität und das geringe Gewicht. Die solare Effizienz organischer Solarzellen beträgt derzeit zwischen 3 % und 5 %. Am Fraunhofer ISE werden intensive Forschungsarbeiten durchgeführt, um die Voraussetzungen für eine Kommerzialisierung organischer Solarzellen zu schaffen (siehe Beitrag Seite 68).

## Ansprechpartner

Silicium-Photovoltaik/ Alternative Photovoltaik-Technologien	Dr. Andreas Bett	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-52 57 E-Mail: <a href="mailto:Andreas.Bett@ise.fraunhofer.de">Andreas.Bett@ise.fraunhofer.de</a>
Angewandte Optik und funktionale Oberflächen	Dr. Werner Platzer	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-59 83 E-Mail: <a href="mailto:Werner.Platzer@ise.fraunhofer.de">Werner.Platzer@ise.fraunhofer.de</a>
Konzentrator-Technologie	Dr. Andreas Bett	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-52 57 E-Mail: <a href="mailto:Andreas.Bett@ise.fraunhofer.de">Andreas.Bett@ise.fraunhofer.de</a>
III-V-Epitaxie und Solarzellen	Dr. Frank Dimroth	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-52 58 E-Mail: <a href="mailto:Frank.Dimroth@ise.fraunhofer.de">Frank.Dimroth@ise.fraunhofer.de</a>
Farbstoffsolarzellen	Dr. Andreas Hirsch	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-54 17 E-Mail: <a href="mailto:Andreas.Hirsch@ise.fraunhofer.de">Andreas.Hirsch@ise.fraunhofer.de</a>
Organische Solarzellen	Dr. Michael Niggemann	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-54 58 E-Mail: <a href="mailto:Michael.Niggemann@ise.fraunhofer.de">Michael.Niggemann@ise.fraunhofer.de</a>
Charakterisierung von III-V-Solarzellen	Dr. Gerald Siefer	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-54 33 E-Mail: <a href="mailto:Gerald.Siefer@ise.fraunhofer.de">Gerald.Siefer@ise.fraunhofer.de</a>

## III-V-Mehrfachsolarzellen mit Wirkungsgraden >41 %

Die höchsten Wirkungsgrade für die Umwandlung von Sonnenlicht in elektrische Energie erzielen wir mit der Hilfe von III-V-Mehrfachsolarzellen. Hierbei werden drei bis fünf pn-Übergänge aus Verbindungshalbleitern wie GaInP oder GaInAs in einem epitaktischen Verfahren übereinander gewachsen. Es entsteht eine komplexe Struktur mit bis zu 40 Einzelschichten, welche höchste kristalline Reinheit und Qualität aufweisen müssen. Diese Technologie ist heute ein Standard für die Stromversorgung von Satelliten und erobert in jüngster Zeit zunehmend den Markt der hochkonzentrierenden Photovoltaik.

Frank Dimroth, Jara Fernandez, Benjamin George, Wolfgang Guter, Ranka Koch, Eduard Oliva, Simon Philipps, Manuela Scheer, Jan Schöne, Gerald Siefer, Marc Steiner, Alexander Wekkeli, Elke Welser, Andreas Bett

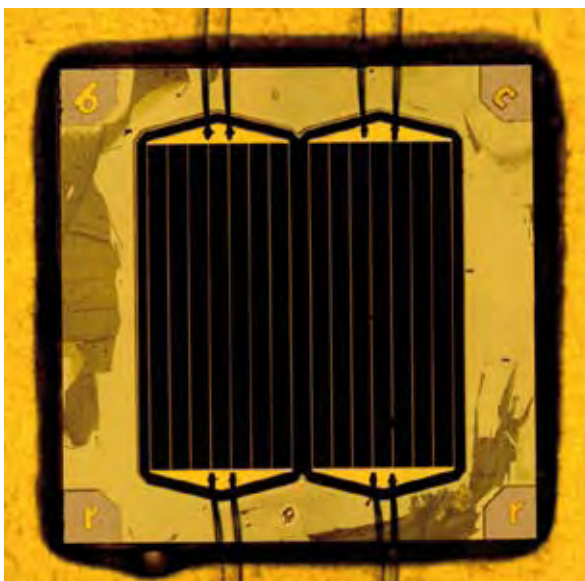
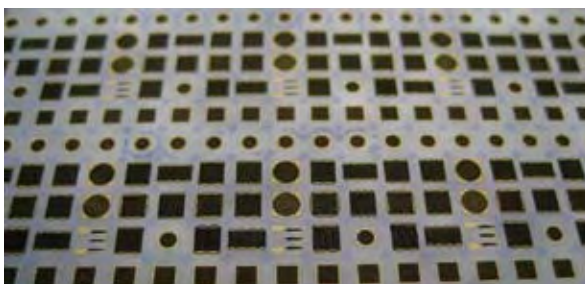


Abb. 1: Die neue Weltrekordsolarzelle am Fraunhofer ISE aus  $\text{Ga}_{0,35}\text{In}_{0,65}\text{P}/\text{Ga}_{0,83}\text{In}_{0,17}\text{As}/\text{Ge}$  mit einer Zellfläche von  $5,09 \text{ mm}^2$ .



Am Fraunhofer ISE werden seit mehr als zehn Jahren monolithische Mehrfachszellen entwickelt. Zur Herstellung der Solarzellenstrukturen verwenden wir eine Produktionsanlage für die Metallorganische Gasphasenepitaxie (MOVPE), so wie sie von unseren Industriepartnern eingesetzt wird. Mit dieser speziellen Maschine lassen sich III-V-Verbindungshalbleiter mit höchster Reinheit und kristalliner Qualität epitaktisch wachsen. Die momentan erfolgreichste Solarzellenstruktur besteht aus drei pn-Übergängen in  $\text{Ga}_{0,35}\text{In}_{0,65}\text{P}$ ,  $\text{Ga}_{0,83}\text{In}_{0,17}\text{As}$  und Ge. Diese drei Materialien absorbieren das Sonnenlicht in unterschiedlichen Spektralbereichen von 300 bis 780, bis 1020 und bis 1880 nm. Aus theoretischen Simulationsrechnungen wissen wir, dass diese Bandlückenkombination für die Umwandlung des Sonnenspektrums auf der Erde besonders vorteilhaft ist. Die eigentliche Solarzellenstruktur weist neben den genannten Materialien noch eine Vielzahl weiterer Schichten auf, welche als Barrieren für Ladungsträger oder als elektrische Verbindung zwischen den Teilzellen dienen. Um höchste Wirkungsgrade zu erzielen, haben wir sowohl die Qualität der Materialien und Grenzflächen als auch die Kontaktstruktur und die Herstellungsprozesse für die Solarzelle optimiert. So erreichten wir 2008 erstmals einen Wirkungsgrad von 41,1 % bei 454facher Sonnenkonzentration – einen neuen Weltrekord. Auch bei noch höheren Konzentrationen von  $C=1700$  arbeiten die Zellen noch mit einem Wirkungsgrad von 37,6 %. So kann teure Halbleiterfläche in hochkonzentrierenden PV-Systemen eingespart werden. Ein Weg, die Kosten für Solarstromerzeugung in Zukunft weiter zu senken.

Die Arbeiten wurden durch die EU, das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF), die Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU) sowie von einem Industriepartner unterstützt.

Abb. 2: Entwicklung unterschiedlicher Zellgrößen und Formen – optimiert für die Anwendung in spezifischen PV-Konzentratormodulen.

## ConTEC – Concentrator Technology and Evaluation Center

*Im Rahmen unserer Arbeiten zur Konzentrator-Photovoltaik haben wir am Fraunhofer ISE das Concentrator Technology and Evaluation Center ConTEC aufgebaut. Damit bieten wir unseren Kunden eine industrielle Plattform für die Entwicklung, Herstellung und Charakterisierung von Konzentratormodulen. Gemeinsam mit unserem Spin-off Concentrix Solar haben wir dort über 1 Mio. Bauteile verarbeitet, mit Prozessen, die zuvor am Fraunhofer ISE entwickelt wurden. Wir nutzen das Center auch für Neuentwicklungen. Jüngstes Beispiel ist ein Konzentratormodul mit einer zweiten optischen Stufe, das einen Wirkungsgrad von über 28 % aufweist.*

Armin Bösch, Frank Dimroth,  
Fabian Eltermann, Tobias Gandy, Joachim Jaus,  
Michael Passig, Gerhard Peharz, Gerald Siefer,  
Stefan Thaller, Maike Wiesenfarth, Oliver Wolf,  
**Andreas Bett**

Ein zentrales Ziel unserer Entwicklungsarbeiten am Fraunhofer ISE ist die Reduzierung der Kosten für photovoltaisch erzeugte Energie. Die Konzentrator-Technologie, bei der das Sonnenlicht mittels Optik fokussiert auf eine kleine Solarzelle gelenkt wird, ist eine technologische Option, um dieses Ziel zu erreichen. Seit Jahren beschäftigen wir uns im Besonderen mit der hochkonzentrierenden Photovoltaik auf Basis von Mehrfachsolarzellen aus III-V-Halbleitern. Diese Zellen erreichen Wirkungsgrade um 40 % und garantieren somit hohe Systemwirkungsgrade.

Unser Industriepartner Concentrix Solar hat AC-Systemwirkungsgrade von über 23 % publiziert. Aufgrund dieser hohen Effizienzen besteht derzeit ein großes Interesse an Konzentrator-Technologie. Am Fraunhofer ISE haben wir daher in den vergangenen Jahren das Concentrator Technology and Evaluation Center ConTEC aufgebaut. Hier stehen industrielle Fertigungsgeräte aus der Mikroelektronik zur Verfügung: ein Die-Bonder, ein Durchgangslötofen, ein Dünn- und Dickdrahtbonder sowie speziell für die Konzentrator-Technologie entwickelte Charakterisierungsgeräte. Dazu zählen der MAPCON Analysator, ein Gerät das Tausende von Zellen auf einem Wafer qualifiziert, ein automatisierter Blitzlichtsimulator für Solarzellenbaugruppen mit anschließender Einteilung in Qualitätsklassen, ebenso ein Modul-Messplatz, der uns erlaubt, Module unter reproduzierbaren Bedingungen im Labor zu vermessen. Auf dieser Pilotfertigungsline haben wir in Zusammenarbeit mit Concentrix Solar inzwischen mehr als 1 000 000 Bauteile für FLATCON®-Module verarbeitet.

Gleichzeitig entwickeln wir neue industrie-relevante Prozesse, z. B. die Integration einer 2. optischen Konzentratorstufe in Module. Erste auf unserer Linie gefertigte Module erreichten auf unserem Außenmessstand bereits einen Rekordwirkungsgrad von 28,2 %.

Die wissenschaftlichen Arbeiten wurden vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), der Fraunhofer-Gesellschaft und Concentrix Solar gefördert.

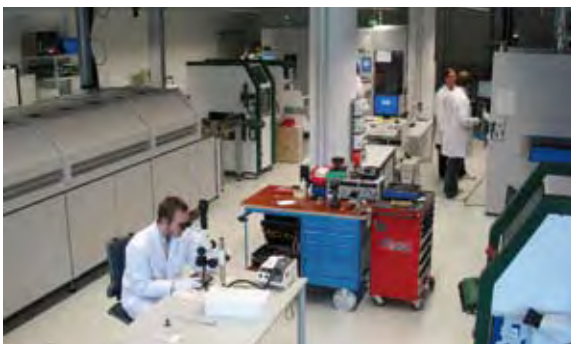


Abb. 1: ConTEC-Halle (von links nach rechts):

- Reflow-Ofen für Lötprozesse
- Dünn- und Dickdrahtbonder zur Kontaktierung der Solarzellenoberseite mit 50 µm dünnen Golddrähten
- Baugruppen-Tester: Hell- und Dunkelmessung von Solarzellenbaugruppen
- Pick & Place-Anlage: Hochpräzises Bestücken auf großer Fläche.



Abb. 2: FLATCON®-Modul mit reflektiven Elementen auf den Solarzellen. Die Montage erfolgte auf unserer Pilotlinie. Das Modul erreichte einen Rekordwirkungsgrad von 28,2 %.



## Untersuchung der Langzeitstabilität organischer Solarzellen

Die Stabilität organischer Solarzellen ist neben dem solaren Wirkungsgrad und der kostengünstigen Herstellbarkeit ein Kriterium für die Positionierung dieser neuartigen Solarzellentechnologie am Markt. Mit Hilfe beschleunigter Alterungsexperimente untersuchen wir die Degradationsmechanismen in organischen Solarzellen und identifizieren geeignete Verkapselungsmaterialien. Unsere Untersuchungen zeigen, dass Lebensdauern von einigen Jahren mittlerweile realistisch sind.

**Michael Niggemann,**

Hans-Frieder Schleiermacher, Martin Schubert, Felix Stelzl\*, Uli Würfel, Birger Zimmermann, Werner Platzer

\* Freiburger Materialforschungszentrum FMF, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg

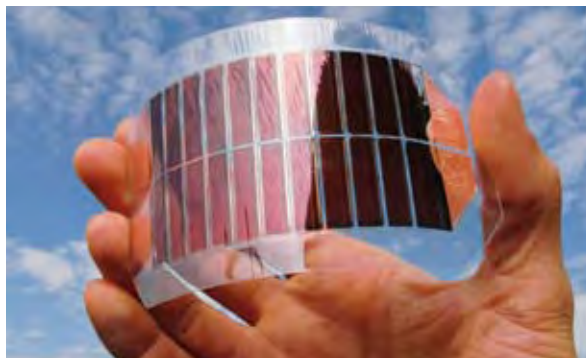
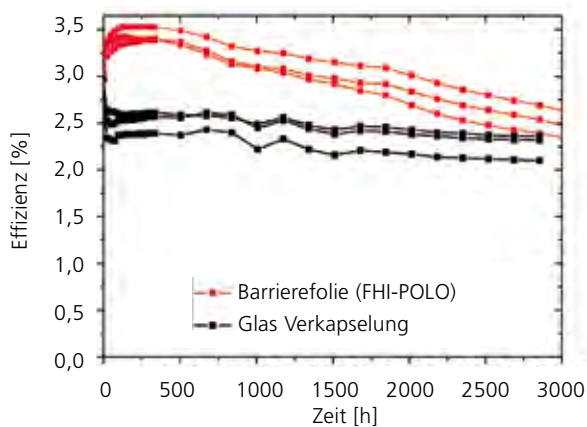


Abb. 1: Flexibles Modul einer organischen Solarzelle. Erste zukünftige Anwendungsgebiete sind energieautarke Systeme und die mobile Stromversorgung von Kleingeräten.



Langzeitstabilität, Effizienz und Herstellungskosten bestimmen die zukünftigen Einsatzgebiete organischer Solarzellen. Zusätzliche Aspekte sind, insbesondere für erste Anwendungen in Kleinsystemen, die mechanische Flexibilität, das Gewicht sowie das Design (Abb. 1). Ziele der Untersuchungen der Stabilität sind sowohl die Identifizierung der Degradationsprozesse, um davon eine Zelloptimierung ableiten zu können, als auch eine Prognose der zu erwartenden Lebensdauer unter anwendungsnahen Bedingungen.

Die Degradationsmechanismen in der Solarzelle untersuchen wir an unversiegelten Solarzellen unter definierten Stressbedingungen, z. B. unterschiedlichen Gasatmosphären. Unter Anwendung unterschiedlicher Messmethoden wie der Impedanzspektroskopie ist es möglich, die Degradation von Kontakten zu beobachten und stabilere Kontakte zu identifizieren. Die Untersuchung von transparenten Versiegelungsmaterialien und Klebern führen wir unter kontinuierlicher Beleuchtung der Solarzellen durch. Mit Glasscheiben versiegelte Solarzellen zeigen eine Abnahme der Effizienz von ca. 10 % nach 3000 h kontinuierlicher Beleuchtung (Abb. 2). Der Aufbau langzeitstabiler flexibler Solarzellen stellt eine große Herausforderung dar. Eine Abnahme um lediglich 20 % nach 2000 h konnte bereits mit einer transparenten Barrierefolie des Fraunhofer-Verbunds Polymere Oberflächen »POLO« erreicht werden. In erster Näherung entspricht eine Strahlungsdosis von 1000 h einem Jahr solarer Bestrahlung in Mitteleuropa. Diese Stabilität ist vielversprechend für den Einsatz organischer Solarzellen in ersten mobilen Anwendungen.

Die Arbeiten werden unterstützt durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF).

Abb. 2: Messung der Langzeitstabilität organischer Solarzellen mit unterschiedlichen transparenten Barrierematerialien unter kontinuierlicher Beleuchtung mit einer Schwefellampe. Das Spektrum der verwendeten Schwefellampe weist einen geringeren UV-Anteil als das Standard AM1,5 Solarspektrum auf. Die Zelltemperatur beträgt ca. 55 °C.

## Farbstoffsolarzellen auf dem Weg zur Marktreife

Farbstoffsolarzellen werden am Fraunhofer ISE im Siebdruckverfahren hergestellt. Die langzeitstabile Versiegelung erreichen wir durch ein Glaslotverfahren. Anders als bei herkömmlichen Solarzellen wandelt bei Farbstoffsolarzellen ein metall-organischer Farbstoff Licht in elektrische Energie um. Neben der Entwicklung von Zell- und Herstellungskonzepten stehen Arbeiten zur Qualitätskontrolle und zur Aufskalierung von Farbstoffsolarmodulen im Vordergrund.

Jörg Bernhard, Katarzyna Bialecka, Yacine Boulfrad, Henning Brandt, **Andreas Hinsch**, Katrine Jensen, Piotr Putyra\*, Krzysztof Skupien\*, Welmoed Veurman, Gregor Zieke, Werner Platzer

\* Freiburger Materialforschungszentrum FMF, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg

In den letzten Jahren ist die Technologie der Farbstoffsolarzellen der industriellen Umsetzung näher gekommen. Daher wird die Entwicklung von Methoden für die Qualitätskontrolle der Materialien und des Herstellungsverfahrens zunehmend wichtiger. Wir haben dafür Qualitäts-Tools getestet, die später in eine laufende Produktion integriert werden können. Als hierfür besonders geeignete, zerstörungsfreie Charakterisierungsmethoden wurden die Messungen der transienten Photospannung und der Ladungsextraktion, die räumlich aufgelöste Ramanspektroskopie (Abb. 1) sowie die Photostrom- und Impedanzspektroskopie identifiziert. Weiterhin haben wir einen Messaufbau für die elektrochemische Charakterisierung des Langzeitverhaltens von Elektrolyt und Versiegelungsmaterialien entwickelt. In einem Außenteststand haben wir an intern serienverschalteten Modulprototypen unter Realbedingungen einstrahlungs- und winkelabhängige Daten gewonnen.

In mehreren bei Industriepartnern durchgeführten Workshops wurde der Siebdruck und die Versiegelung von größerflächigen Farbstoffsolarmodulen optimiert. Das am Fraunhofer ISE entwickelte Verfahren der Einfärbung konnten wir erstmalig auf einer Modulfläche von 60 cm x 100 cm (Abb. 2) erfolgreich zeigen. Für

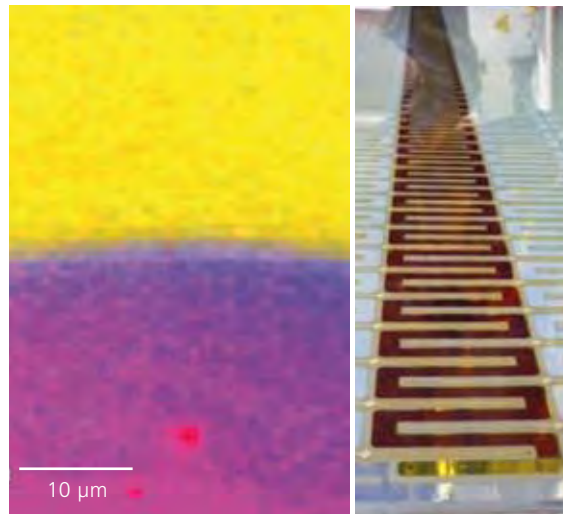


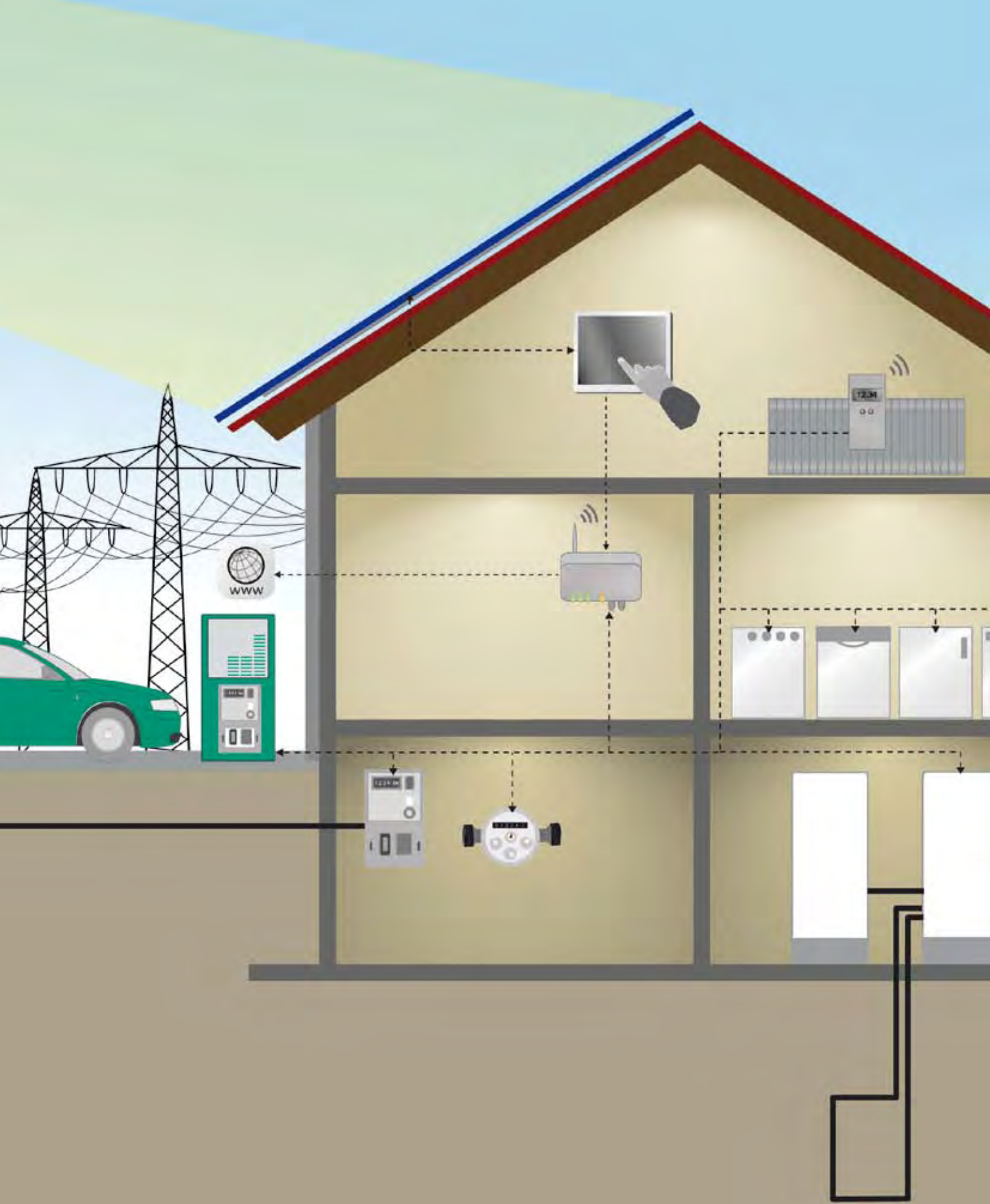
Abb. 1: Flächenscan (links) des Randbereichs einer Farbstoffsolarzelle (rechts) mittels Ramanspektroskopie. Sowohl der Elektrolyt (gelb) als auch das Elektrodenmaterial Titandioxid und der Farbstoff (blau und rot) lassen sich spektroskopisch nachweisen.



Abb. 2: Befüllvorgang an einem 60 cm x 100 cm großen Farbstoffsolarmodul. Zu diesem Zweck haben wir gemeinsam mit dem Fraunhofer IAO eine produktionsnahe Herstellungseinheit entwickelt und aufgebaut.

diesen Prozess wird zur Zeit eine auf Komponenten der industriellen Fertigungstechnik basierende Befüll- und Versiegelungseinheit aufgebaut. In Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer IAO erstellten wir eine Studie zur energetischen Amortisationszeit von Farbstoffsolarzellen in der Gebäudefassade.

Die Arbeiten wurden vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) und von der EU unterstützt.



**Smart Grids**

**Smart Metering**

**Smart Homes**



## Regenerative Stromversorgung

Rund zwei Milliarden Menschen in ländlichen Regionen, unzählige technische Anlagen in der Telekommunikation, Umweltmesstechnik sowie vier Milliarden tragbare Elektronikgeräte haben eines gemeinsam: Sie alle brauchen eine netz-unabhängige Stromversorgung. Hierfür werden zunehmend regenerative Energien bzw. innovative Energiewandler eingesetzt. Gut 10 Prozent der weltweit verkauften Photovoltaikmodule gehen in diese Märkte, die sich zum Teil bereits ohne Fördermittel ökonomisch selbst tragen. Zudem gibt es einen riesigen Markt für Technologien zur dezentralen Wasserentsalzung und -entkeimung auf der Basis von erneuerbaren Energien. Für dieses breite Anwendungsspektrum entwickeln wir Konzepte, Komponenten und Systeme zur autonomen Stromversorgung auf der Basis von Photovoltaik, Brennstoffzellen, Wind- und Wasserkraft. Besondere Bedeutung kommt dabei elektrischen Speichern zu wie Batterien, die in fast allen Anwendungen enthalten sind. Wir arbeiten deshalb intensiv an der Optimierung von Betriebsführungsstrategien und Managementsystemen für alle gängigen Technologien, um die Batteriealterung und die Betriebskosten zu reduzieren.

Der Bau netzgekoppelter Anlagen ist heute der weltweit größte Markt der Photovoltaikbranche. Um das dank Markteinführungsprogrammen derzeit starke Wachstum weiter aufrecht zu erhalten, müssen bei sinkender Förderrate auch die Kosten für die Systemtechnik kontinuierlich gesenkt werden. Wechselrichter zur Netzeinspeisung erreichen heute bereits eine hohe Qualität. Neue Schaltungskonzepte, digitale Regelungstechnik, Fortschritte bei Leistungshalbleitern sowie bei passiven Bauelementen bieten aber noch erhebliches Potenzial zur Effizienzsteigerung und Kostensenkung. Hierfür bieten wir für das gesamte Leistungsspektrum bis in den MW-Bereich spezifisches Know-how an, insbesondere in den Bereichen Schaltungsdesign sowie Dimensionierung und Implementierung von analogen und digitalen Reglern.

Zur Qualitätssicherung und Betriebsüberwachung von Photovoltaikanlagen und zur Charakterisierung von Photovoltaikmodulen bieten wir ein breites Dienstleistungsspektrum, das sowohl Ertragsgutachten, Anlagenabnahmen und Monitoringkonzepte für große Anlagen als auch Präzisionsmessungen von Modulen umfasst. Unser Photovoltaik-Kalibrierlabor (CalLab) zählt zu den führenden Labors weltweit.

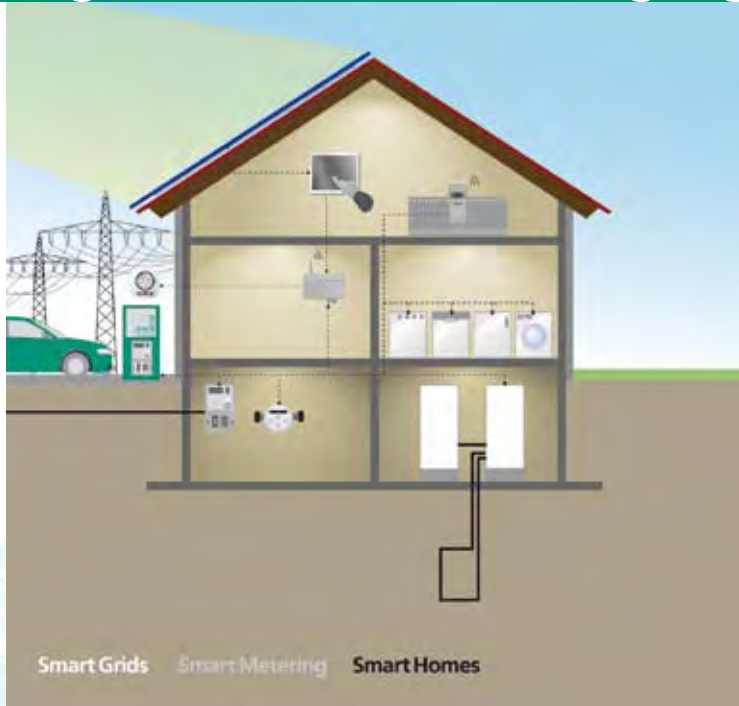
Ob Photovoltaik, Wind- und Wasserkraft oder Blockheizkraftwerke: Alleine in Deutschland speisen bereits heute zehntausende dezentrale Erzeugungsanlagen ihren Strom in die Verteilnetze ein. Um den zukünftig zu erwartenden enormen Steigerungen und den damit verbundenen technischen, ökologischen und ökonomischen Anforderungen gerecht zu werden, entwickeln wir neue Konzepte und Komponenten für das Energiemanagement von dezentralen Erzeugern und Verbrauchern im Verteilnetz auf Basis modernster Kommunikationstechnologie. Der Einbezug der Stromkunden über Nutzungsverhalten, Verbrauchsvisualisierung und effiziente Abrechnungsmethoden (Smart Metering) spielt dabei eine zunehmend wichtigere Rolle.

Bundesregierung, Industrie und Wissenschaft messen der Elektromobilität basierend auf Fahrzeugen, die teil- bzw. vollelektrische Antriebe besitzen und ihre Energie aus dem Stromnetz beziehen (Plug-In-Fahrzeuge), eine besondere Bedeutung zur Erreichung der gesteckten Umweltziele bei. Das Fraunhofer ISE arbeitet an der Schnittstelle zwischen Fahrzeug und Stromnetz an Konzepten für eine umweltverträgliche Energieversorgung, einer optimalen Einbindung der Fahrzeuge in das Stromnetz und entwickelt zusammen mit Partnern aus der Automobil- und Versorgungsindustrie Komponenten für das Energiemanagement und zur Energieübertragung.

Für die solare Stromerzeugung im größeren Maßstab und vorzugsweise für den Einsatz in südlichen Ländern arbeitet das Fraunhofer ISE an Technologien für solarthermische Kraftwerke. Unsere Laborausstattung für das Geschäftsfeld »Regenerative Stromversorgung« im Überblick:

- Leistungselektroniklabor mit modernster Geräte- und Softwareausstattung für Leistungen bis über 500 kW
- Entwicklungsumgebungen für Mikrocontroller, digitale Signalprozessoren (DSP) und Embedded Systems
- Messlabor für elektromagnetische Verträglichkeit (EMV)
- Labor für IuK-Technologien
- Smart Metering-Labor
- Mess- und Kalibrierlabor für Solarmodule
- Freiland-Testfeld zur Erprobung von Solarkomponenten
- Batterielabor für Entwicklung und Tests in weiten Strom-, Spannungs- und Temperaturbereichen
- Lichtmesslabor
- Teststände für Brennstoffzellen im Betrieb mit Wasserstoff und Methanol
- orts aufgelöste Charakterisierung von Brennstoffzellen
- Test- und Entwicklungslabor für Trinkwasseraufbereitungssysteme





Struktur eines lokalen dezentralen Energie-Management-Systems (EMS) mit integrierten Tarifinformationen. Mit Hilfe dieses Systems können Smart Home- und Smart Metering-Funktionalitäten in das Smart Grid-System der Zukunft eingebunden werden.

## Ansprechpartner

Regenerative Stromversorgung	Dr. Günther Ebert	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-52 29 E-Mail: Guenther.Ebert@ise.fraunhofer.de
Verteilte Erzeugung	Dr. Thomas Erge	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-53 37 E-Mail: Thomas.Erge@ise.fraunhofer.de
Smart Grids, Smart Metering, Betriebsführung	Dr. Christof Wittwer	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-51 15 E-Mail: Christof.Wittwer@ise.fraunhofer.de
Leistungselektronik und Regelungstechnik	Dr. Bruno Burger	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-52 37 E-Mail: Bruno.Burger@ise.fraunhofer.de
Elektrische Speichersysteme	Dr. Matthias Vetter	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-56 00 E-Mail: Matthias.Vetter@ise.fraunhofer.de
Netzgekoppelte Photovoltaik-Systeme	Dipl.-Ing. Klaus Kiefer	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-52 18 E-Mail: Klaus.Kiefer@ise.fraunhofer.de
Solare Kraftwerke	Dr. Werner Platzer	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-59 83 E-Mail: Werner.Platzer@ise.fraunhofer.de
Autarke Stromversorgungen und Inselnetze	Dr. Matthias Vetter	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-56 00 E-Mail: Matthias.Vetter@ise.fraunhofer.de
Brennstoffzellensysteme	Dr. Christopher Hebling	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-51 95 E-Mail: Christopher.Hebling@ise.fraunhofer.de
Wasserstoffherzeugung und -speicherung	Dr. Thomas Aicher	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-51 94 E-Mail: Thomas.Aicher@ise.fraunhofer.de
Systeme und elektrische Verfahren zur Wasserentsalzung und -entkeimung	Dr. Matthias Vetter	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-56 00 E-Mail: Matthias.Vetter@ise.fraunhofer.de
Thermische Solaranlagen, Verfahren zur Wasserentsalzung und -entkeimung	Dipl.-Phys. Matthias Rommel	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-51 41 E-Mail: Matthias.Rommel@ise.fraunhofer.de
Photovoltaische Module/ PV-Modultechnikum	Dr. Harry Wirth	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-51 93 E-Mail: Harry.Wirth@ise.fraunhofer.de



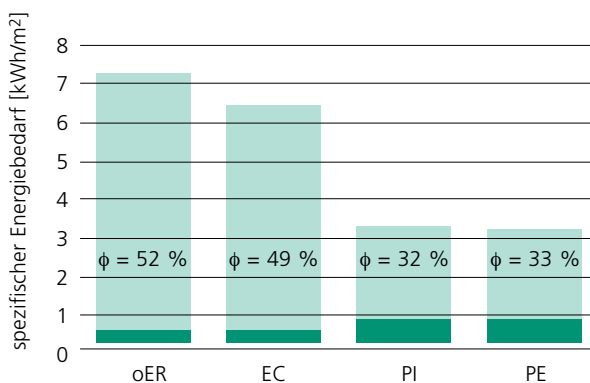
## Neue Generation photovoltaisch betriebener Umkehrosmoseanlagen zur Entsalzung

*Für eine effiziente, wirtschaftliche und verbrauchsnahe Versorgung von Einzelhäusern, Dörfern und gewerblichen Betrieben mit entsalztem Wasser entwickeln wir photovoltaisch betriebene, batterielose Umkehrosmoseanlagen mit Energierückgewinnung. Ein Schwerpunkt der Arbeiten liegt dabei auf der technisch und ökonomisch optimierten Auslegung dieser Anlagen sowie auf dem Entwurf von optimierten Betriebsführungsstrategien auf der Basis speziell entwickelter Analyse- und Simulationswerkzeuge.*

Manuela Eisele, Caroline Heidtmann, Fabian Krömke, Alexander Schies, Hannes Schmoch, Matthias Vetter, **Joachim Went**, Günther Ebert



Abb. 1: Meer vor einer der trockensten und zugleich sonnenverwöhntesten Küsten Europas (Jandia, Fuerteventura, Spanien). Auf den kanarischen Inseln und in Südspanien wird die Trinkwasserversorgung bereits heute mit großtechnischen Entsalzungsanlagen gesichert. In einigen Dörfern erfolgt die Wasserversorgung im Sommer über Tanklaster (Cabo de Gata, Almería, Andalusien).



Angesichts der zunehmenden Trinkwasserverknappung in vielen Ländern steigt der Bedarf an Meer- und Brackwasserentsalzungsanlagen. Vor diesem Hintergrund zeichnet sich auch für kleine autarke Entsalzungsanlagen ein enormes Marktpotenzial ab (Abb. 1).

Die nächste Generation von autarken, photovoltaisch betriebenen Umkehrosmoseanlagen zur Meerwasserentsalzung soll aus wirtschaftlichen Gründen ohne elektrischen Speicher auskommen. Die direkte Kopplung von PV-Generator und hydraulischer Anlage stellt eine Reihe neuer Herausforderungen an die Forschung und Entwicklung. Zunächst muss eine geeignete Wahl von Komponenten erfolgen, die das Nachregeln der Anlage nach dem Leistungsangebot der Sonne überhaupt erlauben.

Hierzu haben wir am Fraunhofer ISE ein Analysewerkzeug entwickelt, mit dem wir Energiebedarf und Wirtschaftlichkeit von unterschiedlichsten Anlagenkonzepten zur Umkehrosmose bewerten können. Damit lassen sich innovative Ansätze und Komponenten hinsichtlich ihrer Eignung zuverlässig einordnen und bewerten (Abb. 2). Die Dynamik der Anlage können wir in einer am Fraunhofer ISE entwickelten Detailsimulation nachbilden. Mit diesem Werkzeug entwickeln wir neue Algorithmen für die Betriebsführung und Regelung einer Umkehrosmoseanlage. Diese wird dem solaren Leistungsangebot nachgeregelt.

Das so ermittelte Lastprofil des Entsalzungsprozesses in Abhängigkeit vom solaren Leistungsangebot und dem Betriebsführungs-konzept stellt die Basis für die Auslegung des PV-Generators dar.

Die Arbeiten werden im Rahmen des InnoNet-Programms durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) gefördert.

Abb. 2: Beispiel für einen Systemvergleich anhand des spezifischen Energiebedarfs von vier Umkehrosmosekonzepten: ohne Energierückgewinnung (oER), mit hydraulischem Motor (EC), mit Druckintensivierer (PI) und mit Druckaustauscher (PE) als Energierückgewinnungseinheit. Dargestellt ist der Anteil des spezifischen Energiebedarfs für die Wasservorbehandlung (dunkel) und für den Umkehrosmoseprozess bei der jeweils besten Ausbeute  $\phi$ .

## Lithiumbatterien für Plug-in-Hybrid-Fahrzeuge und stationäre Anwendungen

Um Lithiumbatterien in Plug-in-Hybrid-Fahrzeugen und in stationären Anwendungen simulieren zu können, haben wir ein Systemmodell für verschiedene Technologien von Lithium-Ionen-Batterien entwickelt. Neben einer für die Systemsimulation hinreichenden Genauigkeit stand vor allem eine vergleichsweise einfache und schnelle Parametrierung, eine hohe Rechengeschwindigkeit und eine gute Adaptierbarkeit für verschiedene Lithiumtechnologien und Typen im Vordergrund.

Andreas Rudolph, Simon Schwunk,  
Robert Thomas, Matthias Vetter,  
Günther Ebert

Im Kontext nachhaltiger Energieversorgungsszenarien spielen Elektroautos in Verbindung mit erneuerbaren Energien eine zunehmend wichtige Rolle. Am Fraunhofer ISE untersuchen wir die Lithiumbatterie für diese Anwendung. Hierfür haben wir ein Modell entwickelt, mit dem Lithiumbatterien in hoher Rechengeschwindigkeit simuliert werden können. Als Basis wählten wir den Ansatz nach Shepherd, der das Klemmspannungsverhalten von Batterien beschreibt und vielfach in der Simulation von Bleibatterien in Photovoltaiksystemen verwendet wird. Dieses Modell bildet zwar keine Dynamiken ab, kann aber den stationären Zustand mit hinreichender Genauigkeit nachbilden. Dieser Ansatz reicht für Systembetrachtungen, z. B. für energetische Fragestellungen über längere Zeiträume, aus. Mit einigen von uns vorgenommenen Anpassungen ist das Modell jetzt auch für Lithiumbatterien geeignet. Umgesetzt wurde das Modell in der Simulationsumgebung Dymola.

Basis der Arbeiten waren Messungen der verschiedenen Lade- und Entladeströme und der zugehörigen Spannungen in unserem Batterielabor. Zur Extrahierung und Optimierung der Parameter haben wir ein eigenes Programm entwickelt, mit dem wir neue Technologien und Batterietypen schnell und unkompliziert modellieren können. Anhand wechselnder Profile aus unserem Labor haben wir das Modell validiert.

Die Arbeiten werden im Rahmen der deutsch-französischen Fraunhofer-Carnot-Kooperation vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert.



Abb. 1: Die Abbildung zeigt zwei im Rahmen des deutsch-französischen Kooperationsprojekts EMSIS modellierte Batterien. Die negative Elektrode besteht bei beiden Batterien aus Kohlenstoff, die positive Elektrode bei der linken Zelle aus  $\text{LiCoO}_2$ , bei der rechten Zelle aus  $\text{LiFePO}_4$ . Das entwickelte Modell lässt sich für Batterien unterschiedlichster Kapazitäten und Technologien nutzen.

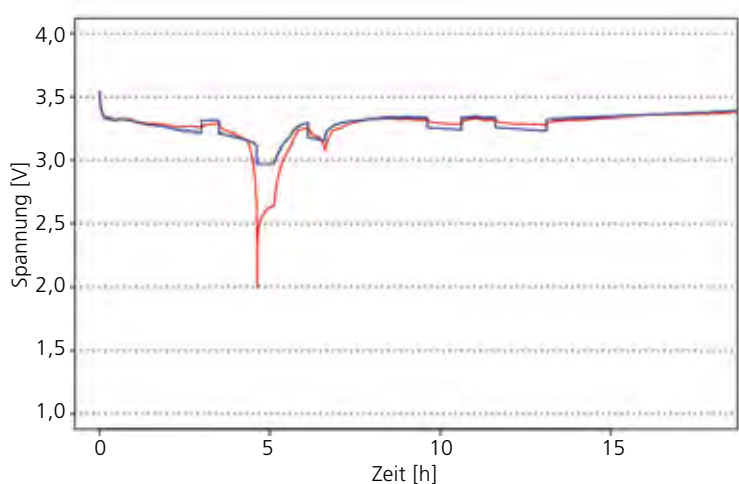


Abb. 2: Die Abbildung zeigt eine Validierungssequenz des Modells für die auf  $\text{LiFePO}_4$  basierende Batterie. Die rote Kurve stellt die gemessene Zellspannung, die blaue Kurve die Zellspannung des Modells dar. Im betrachteten Zeitraum wurde der Ladezustand zwischen 0 und 100 % variiert. Das Modell bildet dabei das Verhalten der Lithiumbatterie für die in der Systemsimulation relevanten Ladezustände größer 10 % sehr gut ab.

## Modellbildung und Entwicklung von Regelstrategien für Redoxflow-Batterien

In elektrischen Energiesystemen mit einem hohen Anteil an fluktuierenden regenerativen Erzeugern ist der Speicher von zentraler Bedeutung. Neben einer Reihe von derzeit untersuchten Speichertechnologien stellt die sogenannte Redoxflow-Batterie aufgrund ihrer spezifischen Eigenschaften eine interessante Option dar. Um den Einsatz und Betrieb dieser Batterien zu optimieren, entwickeln wir Systemmodelle, die sowohl für einen simulationsbasierten Regelungsentwurf als auch für die energetische und ökonomische Bewertung geeignet sind.

Martin Dennenmoser, Simon Schwunk,  
Tom Smolinka, **Matthias Vetter**, Günther Ebert

Am Beispiel der derzeit am Fraunhofer ISE entwickelten Vanadium-Redoxflow-Batterie (siehe Beitrag Seite 97) erstellen wir ein Systemmodell in der Simulationsumgebung Dymola unter Verwendung der Modellbeschreibungssprache Modelica. Das Systemmodell besteht aus den Teilmodellen für den Stack, die Tanks, die Verrohrung, die Pumpen, die Ventile und den Wechselrichter zur Netzeinbindung.

Mit diesen Modellen wird ein simulationsbasierter Regelungsentwurf bis hin zur Umsetzung von modellbasierten Regelungsstrategien ermöglicht. Das derzeit realisierte Regelungskonzept ist in Abb. 1 dargestellt.

Die entwickelten Modelle sind derart aufgebaut, dass neben dem simulationsbasierten Regelungsentwurf technische und ökonomische Analysen sowie die optimierte Einbindung in das Energiesystem ermöglicht werden. Dies umfasst sowohl die Anwendung in Inseln (Einzelhäuser, autonome Inselnetze) als auch in netzgekoppelten Systemen (große Speichersysteme, verteilte kleine Speichereinheiten). Das Teilmodell für den Stack berechnet aus der Leistungsanfrage die umgesetzten Stoffströme in der elektrochemischen Zelle. Aus den resultierenden Konzentrationsänderungen lässt sich der Ladezustand der Vanadium-Redoxflow-Batterie ermitteln. Für die Beschreibung der Spannungs- und Stromcharakteristik in Abhängigkeit des Ladezustands haben wir den Ansatz nach Shepherd gewählt (Abb. 2).

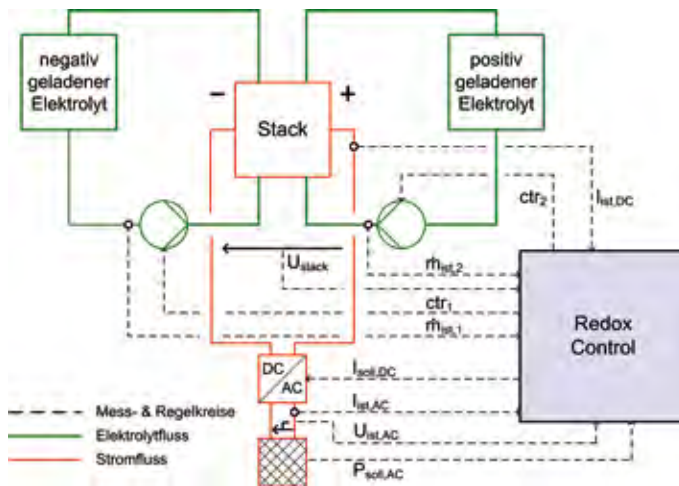


Abb. 1: Regelungskonzept für eine Vanadium-Redoxflow-Batterie. Die Regelungseinheit RedoxControl sorgt für einen optimierten Betrieb der Redoxflow-Batterie in Abhängigkeit von der Betriebsweise (Laden und Entladen), des Betriebspunkts sowie des Ladezustands des Batteriesystems.

Die Arbeiten werden im Rahmen eines Fraunhofer-Verbundprojekts durchgeführt.

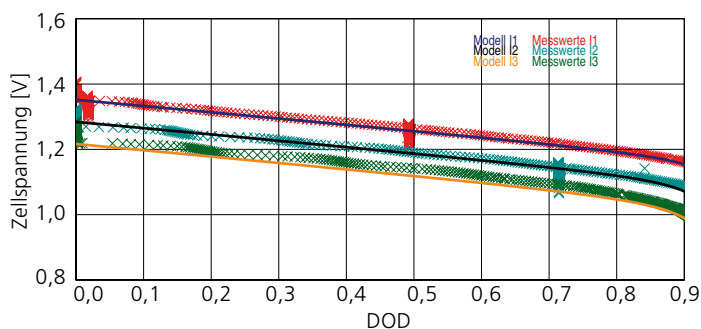


Abb. 2: Gemessene und simulierte Zellspannung einer Vanadium-Redoxflow-Batterie bei der Entladung in Abhängigkeit von Stromstärke und Ladezustand. Die Entladung erfolgt für diesen Vergleich jeweils bei konstanten Stromstärken von  $I_1=20$  A,  $I_2=30$  A und  $I_3=40$  A.



## Charakterisierung von photovoltaischen LED-Leuchten

Für die Qualitätsbeurteilung von photovoltaisch versorgten Leuchten mit weißen LEDs haben wir ein dreistufiges Prüfverfahren entwickelt. Damit wurden kostengünstig mehr als zehn LED-Leuchten im Hinblick auf ihre Eignung als Ersatz für Kerzen oder Petroleumleuchten in ländlichen Gebieten überprüft. Es zeigte sich, dass vorwiegend Leuchten mit Hochleistungs-LEDs Betriebszeiten von mehr als 10 000 h erreichen. Nur sehr wenige Leuchten mit einer Vielzahl von Kleinleistungs-LEDs halten über diese Betriebszeit ihre Beleuchtungsstärke stabil.

Georg Bopp, Stephan Lux, Norbert Pfanner, Michael Strasser, Günther Ebert

1,6 Mrd. Menschen haben keinen Zugang zu einem öffentlichen Stromversorgungsnetz. Als Beleuchtungssysteme in ländlichen Regionen in Entwicklungs- und Schwellenländern werden oft Petroleumlampen eingesetzt. Diese verschmutzen die Umwelt, zeigen eine schlechte Lichtqualität und belasten das Budget der Benutzer mit einem Jahresverbrauch von ca. 35 l Petroleum stark.

Als Alternative bieten sich kleine photovoltaisch betriebene Leuchten an. Diese erbringen eine wesentlich bessere Beleuchtung, sind umweltfreundlich und können zum Teil auch noch Strom für Handy, Radio und Fernseher liefern.

Im Laufe der vergangenen zwei Jahre wurden die Kompaktleuchtstofflampen und Bleibatterien in den photovoltaisch betriebenen Leuchten überwiegend durch weiße LEDs und NiMH-Batterien ersetzt. Um von der ländlichen Bevölkerung erworben und sinnvoll eingesetzt werden zu können, sollen diese LED-Leuchten unter schwierigen Bedingungen viele Jahre zuverlässig funktionieren und gleichzeitig kostengünstig sein.

Da die Langzeitstabilität und damit die Qualität der sehr preisgünstigen LED-Leuchten häufig schlecht sind, haben wir zur Beschleunigung des Prüfvorgangs ein dreistufiges Testverfahren ent-



Abb. 1: Verschiedene photovoltaische LED-Leuchten. Die linke und die rechte sind mit je einer weißen Hochleistungs-LED, die mittlere mit einer Vielzahl von Kleinleistungs-LEDs bestückt. Tagsüber wird der integrierte NiMh-Akku über ein kleines Photovoltaikmodul mit ca. 5 W Leistung aufgeladen. Je nach Dimensionierung werden nächtliche Leuchtdauern von 3–8 h erreicht. Die Qualität der Photovoltaikmodule und Akkus ist relativ gut, die mittlere Abweichung vom Nennwert beträgt minus 10 %.

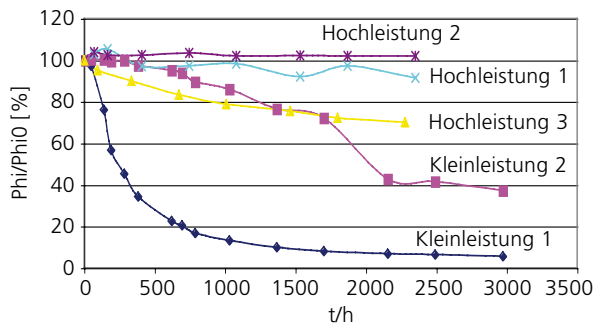


Abb. 2: Stabilität des Lichtstroms über der Betriebszeit. Der Lichtstrom der meisten weißen Kleinleistungs-LEDs degradiert bereits nach 200–1500 h auf 70 % des Anfangswerts und damit ist das Lebensdauerende erreicht. Dies ist für Raumbeleuchtungszwecke deutlich zu kurz. Im Gegensatz dazu ist der Lichtstrom von den meisten Hochleistungs-LEDs über viele 1000 h stabil und es werden Lebensdauern von 10 000–50 000 h erreicht.

wickelt. Leuchten, die eine mangelhafte mechanische oder elektrische Qualität haben, fallen bereits in der ersten Teststufe aus dem Rennen. So reduzieren sich bei offensichtlichen Qualitätsmängeln Testzeit und Testkosten. In der zweiten Teststufe werden die elektrischen Eigenschaften, z. B. Leistung des Photovoltaikmoduls und Wirkungsgrad der LED, geprüft. In der letzten Teststufe wird die Langzeitstabilität der LED-Beleuchtungsstärke beurteilt.

Die Arbeiten werden von der Deutschen Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit GTZ und der Weltbank gefördert.

## Smart Metering-System mit Feedback zu Verbrauch, Kosten und CO<sub>2</sub>-Emissionen

*Im Auftrag der EWE AG Oldenburg hat das Fraunhofer ISE ein Smart Metering-System entwickelt, das dem Strom- und Gaskunden in Echtzeit Feedback zu seinem Energieverbrauch, den dabei entstandenen Kosten und den verursachten CO<sub>2</sub>-Emissionen bietet. Dafür haben wir sowohl die Technologie für Kommunikation und Feedback als auch ein innovatives Tarifsystem entwickelt. In einem Feldversuch mit rund 400 Haushalten werden nun u. a. die Einspar- und Verlagerungseffekte dieses Systems untersucht.*

Markus Büttner, **Stefan Feuerhahn**,  
Dominik Noeren, Harald Schäffler,  
Thies Stillahn, Christof Wittwer,  
Michael Zillgith, Günter Ebert



Abb. 1: Das Display erhält über ZigBee-Funk Energiedaten und zeigt Tageswerte, Viertelstundenwerte und Echtzeit-Leistungswerte an.

Der Einsatz von sogenannten »intelligenten« Zählern (Smart Meters) ist ein wichtiger Baustein auf dem Weg zu einer ressourcenschonenden Energieversorgung. Das Fraunhofer ISE hat – unterstützt durch das Fraunhofer Anwendungszentrum Systemtechnik AST – ein System entwickelt, das auf solchen Zählern basiert.

Zentraler Bestandteil dieses Systems ist die EWE Box, ein Energie-Gateway in der Wohnung des Kunden, das die elektronischen Strom- und Gaszähler über M-Bus drahtgebunden ausliest. Die Messdaten werden von dort an ein tragbares Display mittels ZigBee-Funk übertragen und über die DSL-Verbindung des Kunden an einen Abrufserver des Energieversorgers weitergeleitet. Somit stehen die Daten für weitere Prozesse, wie die Abrechnung und die Visualisierung im Webportal, bereit. Zu diesem Zweck haben wir Hardware-Prototypen für das Energie-Gateway und das Feedback-Display entwickelt. Ebenso wurden die Inhalte der Feedbacksysteme (Display, Webportal und monatliche Verbrauchsanalyse) entworfen und implementiert. Zusätzlich können dem Kunden zeit- und lastvariable Tarifmodelle angeboten werden, die mit Hilfe von Simulationen berechnet wurden. In einem Feldtest mit 400 Haushalten werden die Systeme nun für einen Zeitraum von einem Jahr getestet und auf Effektivität geprüft.

Das Projekt wurde von der EWE AG gefördert.



Abb. 2: Struktur des Smart Metering-Systems. Die EWE Box fungiert als zentrales Energie-Gateway, das die Zählerdaten verarbeitet. In Zukunft sind weitere Mehrwertdienste, wie dezentrales Lastmanagement, für die Box vorgesehen.

## VIRTPLANT – Optimierung dezentraler Kraftwerke in Freiburg

Mit dem Ziel der effizienten Nutzung dezentraler Energieerzeugungspotenziale entwickelten und implementierten wir einen neuen Ansatz zur integrierten Optimierung der Anlagenbetriebsführung in einem Verteilnetz. Auf der Basis von Last- und Erzeugungsprognosen erstellen wir Betriebsfahrpläne für dezentrale Erzeugungseinheiten, welche nach Erfordernissen des Netzbetriebs, der Energiemarktsituation oder Ansprüchen an eine nachhaltige Energieversorgung optimiert sind.

Thomas Erge, Bernhard Wille-Haussmann, Christof Wittwer, Alexander von Zastrow, Günter Ebert

Die effiziente Integration dezentraler Energieerzeugungsanlagen direkt auf Einspeiseebene in Verteilnetzen wird in Zukunft eine Schlüsselrolle in der Energieversorgung spielen. Wir haben ein Konzept sowie Werkzeuge für die Betriebsführung dezentraler Anlagen entwickelt, die auf eine verbesserte technische Integration sowie einen hohen energiewirtschaftlichen Nutzen der dezentral erzeugten Energie abzielen. Diesen Ansatz haben wir für die Situation des Stromverteilnetzes des Freiburger Energieversorgers badenova AG & Co. KG angepasst und weiterentwickelt. Im Netz der badenova gibt es einen hohen Anteil dezentraler Erzeugung aus Blockheizkraftwerken, Windkraftanlagen, Photovoltaik und weiteren Aggregaten. Mithilfe wissenschaftlicher Prognosesysteme sowie der Auswertung historischer Daten gelingt uns die Vorhersage von Last- und Erzeugungsprofilen, einschließlich fluktuierender Einspeisung aus erneuerbaren Energien. Ausgehend von einer Modellierung des Gesamtsystems können wir nun die Betriebsführung steuerbarer Erzeuger und beeinflussbarer Lasten nach Anforderungen aus Netzbetrieb oder Stromhandel optimieren. Die so entstehenden »day-ahead« Einsatzfahrpläne werden über eine Online-Datenverbindung an die Leitwarte der badenova übermittelt und als Grundlage für Einsatzentscheidungen des Leitwartenpersonals verwendet. Eine direkte automatisierte Steuerung der dezentralen Erzeuger ist als zukünftige Option vorgesehen. Im praktischen Testbetrieb konnten wir zeigen, dass bei geeigneter Betriebsführung der KWK-

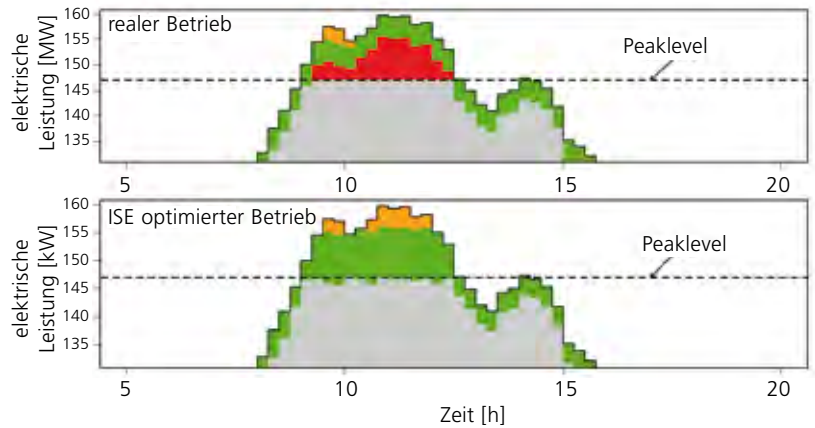


Abb. 1: Der Bezug von Spitzenleistungen aus Übertragungsnetzen für Strom kostet Geld, eine finanzielle Belastung, die an alle Kunden weitergeleitet wird. Mit unserem Energiemanagementsystem für dezentrale Erzeuger gelingt es, Leistungsspitzen zu prognostizieren und durch eine optimierte thermisch-elektrische Betriebsführung lokaler KWK-Anlagen und anderer Erzeuger zur richtigen Zeit ausreichend Strom lokal zu produzieren und damit den Spitzenlastbezug deutlich zu reduzieren. (grün: BHKW Anlagen, orange: Spitzenlastaggregate, rot: Leistungsbezug oberhalb Peaklevel, grau: Bezug und nicht steuerbare Erzeugung).

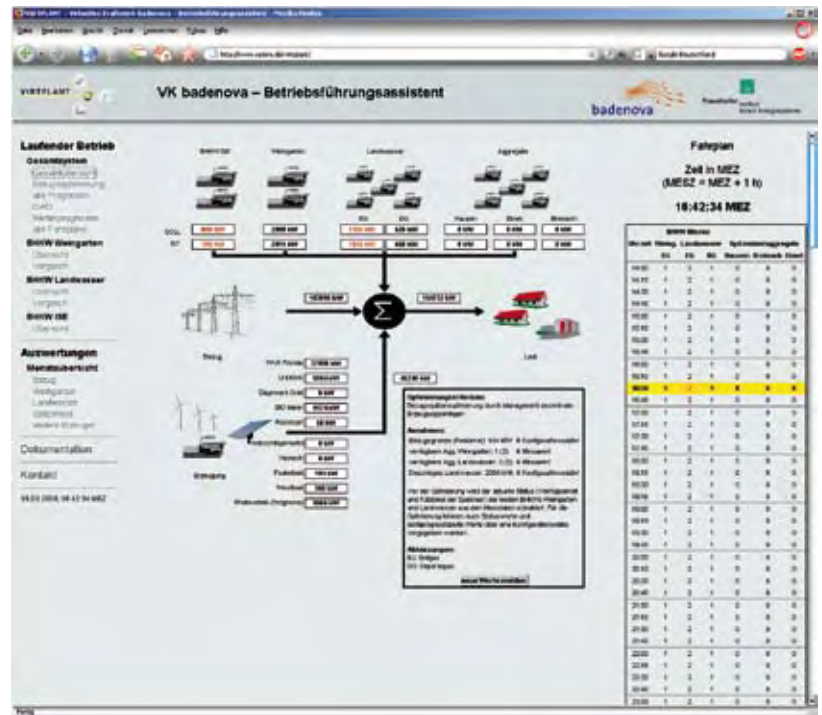


Abb. 2: Über einen webbasierten Betriebsführungsassistenten werden Einsatzfahrpläne für steuerbare Erzeuger und Lasten an die Leitwarte des Freiburger Energieversorgers badenova übermittelt und zeitnah Abweichungen zwischen Zielvorgaben und tatsächlichem Einsatz signalisiert. Zusätzlich stellen wir umfangreiche weitere Informationen, wie Last- und Erzeugungsprognosen, Betriebsauswertungen und Energiebilanzen zur Verfügung.

Einheiten Vorteile sowohl für die Anlagenbesitzer als auch für den Verteilnetzbetreiber erzielt werden können.

Das Projekt wurde im Rahmen des Innovationsfonds der badenova AG & Co. KG gefördert.



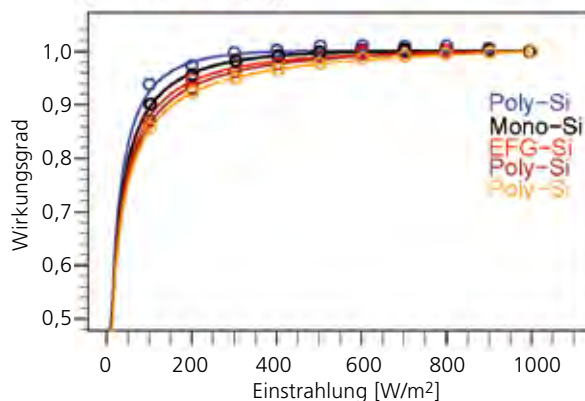
## Neue Simulationsmodelle für optimierte Ertragsprognosen

*Ertragsprognosen sind für die Erstellung von Finanzierungskonzepten für größere Photovoltaikanlagen ein unerlässliches Werkzeug. Zur Erhöhung der Qualität unserer Gutachten haben wir ein neues Simulationsmodell für PV-Module entwickelt. Dieses Modell ermöglicht die direkte Nutzung der Herstellerangaben aus dem Datenblatt oder der Messergebnisse aus dem Modul-Kalibrierlabor des Fraunhofer ISE (CalLab).*

Wolfgang Heydenreich, Klaus Kiefer, Björn Müller, **Christian Reise**, Günther Ebert



Abb. 1: Wieviel MWh Stromertrag wird diese Anlage in einem typischen Jahr erzeugen? Um diese Frage zu beantworten, müssen die im Datenblatt dokumentierten Eigenschaften der verwendeten Modultypen möglichst exakt nachgebildet werden. Jedes Prozent Prognosefehler entspricht bei einer Anlage mit 10 MW installierter Leistung (wie hier im Bild) einem Geldwert von etwa 35 000 € pro Jahr.



Die Hauptaussage einer Ertragsprognose ist der zu erwartende jährliche Energieertrag als absoluter Wert in kWh oder bezogen auf die Anlagengröße in kWh pro kWp. Zur Berechnung dieses Prognosewerts kommen Simulationsmodelle zum Einsatz, die das Verhalten der Anlagenkomponenten möglichst exakt nachbilden müssen. Die Unsicherheiten dieser Modelle gehen – ebenso wie die Unsicherheit der verwendeten Wetterdaten – in die Gesamt-Unsicherheiten der Prognose ein.

Für die Berechnung der PV-Generatorleistung haben wir ein neues Modell des Modul-Wirkungsgrads entwickelt. Im Gegensatz zu den bislang benutzten Modellen, die die Halbleiterphysik nachbilden, basiert das neue Verfahren auf nur drei elementaren Modellannahmen. Es ist damit gerade so aufwändig wie nötig, aber so einfach wie möglich, um mit wenigen Parametern die im Datenblatt angegebenen Moduleigenschaften reproduzieren zu können.

Untersuchungen zeigten, dass die erreichbare Genauigkeit auch bei unserem einfachen Modell noch durch die Unsicherheit der verfügbaren Datenblatt-Angaben begrenzt wird. Diese Unsicherheit kann allerdings weitgehend umgangen werden, indem auftragsbezogene Messungen aus unserem Modul-Kalibrierlabor zur Parametrisierung des Modells genutzt werden. Typische Fehler bei der Reproduktion der gemessenen Wirkungsgradverläufe liegen dann deutlich unter 0,5 %.

Abb. 2: Verschiedene Modultypen zeigen ein jeweils unterschiedliches Verhalten des Wirkungsgrads, hier ist dessen Abhängigkeit von der Einstrahlung dargestellt. Alle Kurven – gemessen in unserem Kalibrierlabor – sind auf denselben Wirkungsgrad bei Standard-Testbedingungen (1000 W/m<sup>2</sup>) normiert. Die Verringerung des Wirkungsgrads bei 200 W/m<sup>2</sup> liegt zwischen 2,1 % und 7,8 %.

## Gegenseitige Verschattung bei nachgeführten Photovoltaikanlagen

Bei nachgeführten Photovoltaikanlagen sind gegenseitige Verschattungen durch die eingesetzten Nachführeinheiten bei begrenzter verfügbarer Fläche unvermeidbar. Die Höhe der Verschattungsverluste ist für die Prognose des Anlagenertrags und die Optimierung der Aufstellungsgeometrie von Bedeutung. Am Fraunhofer ISE haben wir daher ein Verfahren entwickelt, das diese Verluste durch den Einsatz der Raytracing-Software »RADIANCE« ermittelt.

Klaus Kiefer, Björn Müller, Christian Reise, Günther Ebert

Nachführsysteme haben sich aufgrund der erzielbaren Mehrerträge gegenüber fest aufgestellten Anlagen im Markt für photovoltaische Freiflächenanlagen etabliert. Bei der Planung solcher Systeme kommt es darauf an, einen guten Kompromiss zwischen Flächenbedarf und unvermeidlichen Verlusten durch gegenseitige Verschattung zu finden.

Das von uns entwickelte Simulationsprogramm berechnet gegenseitige Verschattungen mit Hilfe der Raytracing-Software »RADIANCE«. Dazu wird ein Ausschnitt der Gesamtanlage in der Software modelliert (Abb. 1). Die auf der zentralen Nachführeinheit in Abb. 1 angeordneten Software-Sensoren »messen« dann die Einstrahlung für jeden Zeitschritt der Simulation. Um sämtliche Einstrahlungsverhältnisse, Sonnenstände und Positionen der Nachführeinheiten berücksichtigen zu können, ist eine hohe zeitliche Auflösung der Simulation notwendig. Unsere Software simuliert daher mit ca. 45 000 Zeitschritten den Ertrag eines Nachführsystems über ein Jahr (Abb. 2).

Als Ergebnis erhält man Aussagen zum Mehrertrag durch Nachführung sowie zu den Verschattungsverlusten bei vorgegebenen Anlagenabständen. Variiert man die Abstände der Nachführeinheiten, lassen sich optimale Anordnungen finden. Darüber hinaus kann anhand der simulierten Einstrahlungswerte die Anordnung der einzelnen Modulstränge auf den Nachführeinheiten optimiert werden. Allein diese Optimierung macht es möglich, Verschattungsverluste im Prozentbereich zu vermeiden.

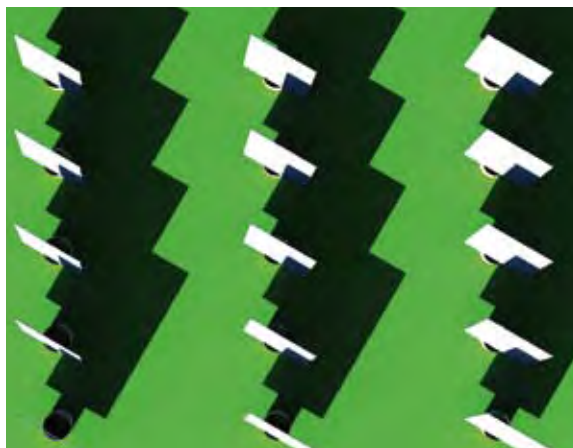


Abb. 1: Modellierung einer zweiachsig der Sonne nachgeführten Photovoltaikanlage in »RADIANCE«. Im Bild sieht man in einer Draufsicht die Nachführeinheiten und deren Schattenwurf am 21. Dezember um 14 Uhr an einem Beispielstandort in Südeuropa.

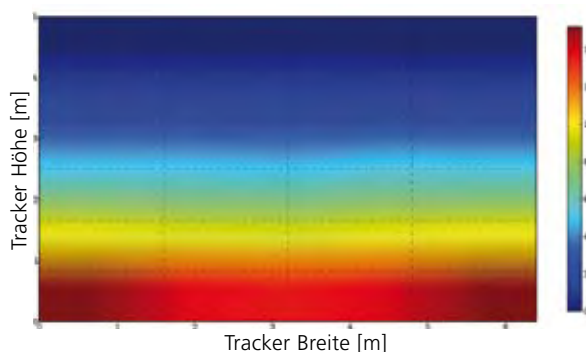


Abb. 2: Verschattungsverluste (in % über ein Jahr) auf einem zweiachsig der Sonne nachgeführten System. Die Graphik zeigt die mit Modulen belegte Fläche der Nachführeinheit im Zentrum von Abb. 1. Die gestrichelten Linien markieren die einzelnen Module. Die deutlichsten Verluste treten an den beiden unteren Ecken des Nachführsystems auf (ca. 15 % der in Modulebene einfallenden Strahlung). Die obere Modulreihe ist kaum verschattet.

## Netzqualitätsfunktionen mit PV-Wechselrichtern

Die stark wachsende dezentrale Erzeugung elektrischer Energie verändert die Eigenschaften der Verteilnetze. Wir entwickeln Photovoltaik (PV)-Wechselrichter, die sich an der Netzregelung zur Sicherstellung der Stabilität aktiv beteiligen. Sie stellen Blindleistung bereit und können bei Netzkurzschlüssen die Einspeisung fortsetzen. Darüber hinaus erweitern wir die Digitalregler von PV-Wechselrichtern zu aktiven Filtern für die Kompensation der von elektronischen Verbrauchern hervorgerufenen Spannungsverzerrungen.

Stefan Reichert, Christoph Siedle,  
Günther Ebert

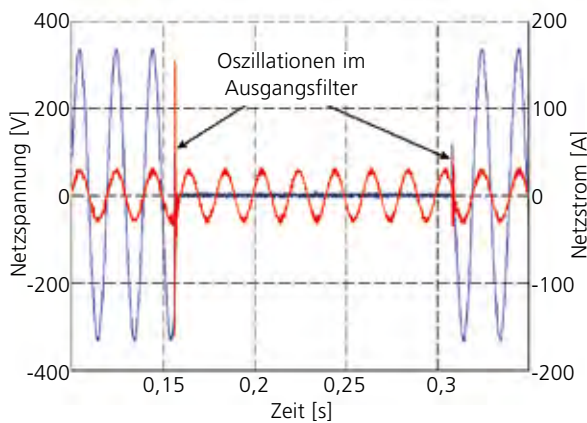
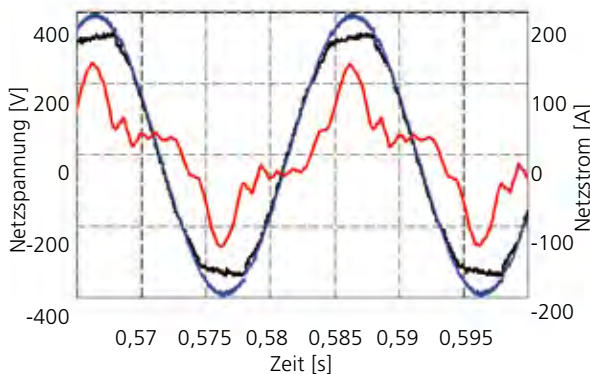


Abb. 1: Netzkurzschluss: Der eingespeiste Strom (rot) wird während der Kurzschlussdauer sinusförmig mit korrekter Frequenz und Amplitude geregelt und stützt so das Netz. Die schnellen Änderungen der Spannung (blau) zu Beginn und am Ende der Kurzschlussphase rufen starke Schwingungen im Ausgangsfilter des Wechselrichters hervor, die die leistungsfähige digitale Regelung innerhalb von 2 ms zum Abklingen bringt.



Die zunehmende Durchdringung elektrischer Verteilnetze mit dezentralen Erzeugern verändert deren dynamische Eigenschaften. Die Netzbetreiber reagieren darauf, zur Sicherstellung der Netzstabilität, mit neuen Anforderungen an die Generatoren im Mittel- und Niederspannungsnetz.

Neben der Bereitstellung von Blindleistung müssen Einspeisewechselrichter künftig in der Lage sein, das Netz bei temporären Spannungseinbrüchen und Kurzschlüssen zu stützen. Wir entwickeln Wechselrichter mit entsprechenden Fähigkeiten. Abb. 1 zeigt die Simulation des von einem Wechselrichter ins Netz eingespeisten Stroms bei Auftritt eines Netzkurzschlusses, das Simulationsmodell verarbeitet echte Netzspannungswerte.

Nichtlineare Verbraucher wie Computer, Fernseher oder Energiesparlampen verformen die sinusförmige Netzspannung durch den Oberschwingungsanteil ihrer Ströme. Dies verursacht in anderen Verbrauchern erhöhte Verluste. Hier können PV-Wechselrichter als aktive Filter wirken und kompensierende Ströme ins Netz einspeisen. Wir entwerfen und implementieren dafür geeignete Verfahren. Die deformierte Netzspannung in Abb. 2 wird durch den mit einem oberwellenbehafteten Kompensationsstrom überlagerten 50-Hz-Wirkstrom wieder sinusförmig eingeregelt.

Bei dauerhaften Netzfehlern können unsere Wechselrichter direkt angeschlossene Verbraucher nach Trennung vom Netz im Notstrombetrieb weiter versorgen, nach Netzwiederkehr erfolgt die Umschaltung auf das Netz unterbrechungsfrei.

Abb. 2: Verzerrungskompensation: Die im Scheitel abgeflachte Netzspannung (schwarz) wird durch einen Oberschwingungsbehafteten Einspeisestrom (rot) wieder sinusförmig (blau). Der Wechselrichter stellt Oberschwingungsströme für die Verbraucher bereit, die mit ihrem Oberschwingungsspektrum die Netzspannung verzerren.



## Zuverlässigkeit und Beständigkeit von Photovoltaikmodulen

Hersteller von Solarmodulen geben derzeit Leistungsgarantien von 20 Jahren und mehr. Dies ist nur möglich, weil für die verwendeten Materialien entsprechende Erfahrungen zur Gebrauchsdauer vorliegen. Wer alternative, preiswertere Materialien einsetzen möchte, kann ihre Zuverlässigkeit nur schwer einschätzen. Um hierfür neue Möglichkeiten zu schaffen, entwickeln wir einen beschleunigten Lebensdauerest für Solarmodule und bauen Bewitterungsstandorte in Extremklimata auf.

Claudio Ferrara, Markus Heck, **Michael Köhl**, Daniel Philipp, Karl-Anders Weiß, Hans-Martin Henning

Alterungsvorgänge im Photovoltaik (PV)-Modul werden hauptsächlich von folgenden Faktoren beeinflusst: ultraviolette Strahlung, mechanische Belastung z. B. durch Schnee und Wind, innere Spannungen infolge unterschiedlicher Wärmeausdehnungskoeffizienten sowie Diffusion von Wasser und Sauerstoff.

Simulationsprogramme auf der Basis finiter Elemente helfen, den Energie- und Stofftransport in PV-Modulen zu verstehen. Ein wichtiges Ergebnis ist, dass selbst beim Feuchte/Wärme-Test (85 % r. F./85 °C) gemäß der IEC 61215-Norm keine homogene Durchfeuchtung der Einkapselungsmaterialien nach 1000 h Prüfdauer zu erzielen ist, sondern hierfür mindestens 3000 h benötigt werden (Abb. 2). Für die Validierung der Simulationsergebnisse und der beschleunigten Gebrauchsdauerprüfungen haben wir kommerzielle Module und Testmodule

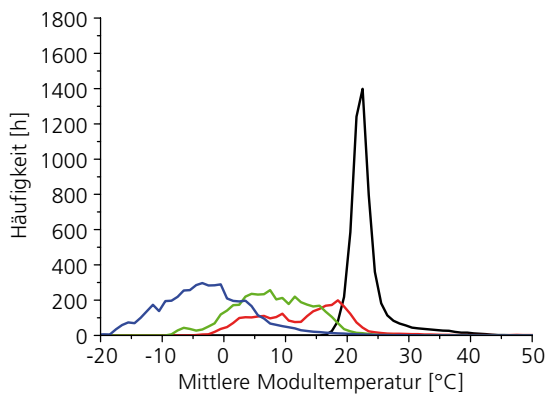


Abb. 1: Die Häufigkeit der Zeiten hoher Feuchte (>80 % r. F.) in Abhängigkeit von der mittleren Modultemperatur an den vier Freibewitterungsstandorten Schneefernerhaus (alpin – blau), Köln (urban – grün), Sede Boqer, Israel (arid – rot), Serpong, Indonesien (tropisch – schwarz) zeigt die deutlichen Unterschiede in der Feuchte- und Temperaturbelastung (links), die naturgemäß zu sehr unterschiedlichen Feuchte/Wärme-Prüfzeiten für 25 Jahre Gebrauchsdauer zwischen 3000 und 13 000 Stunden für EVA mit einer Aktivierungsenergie von 34 kJ/mol führen (rechts).

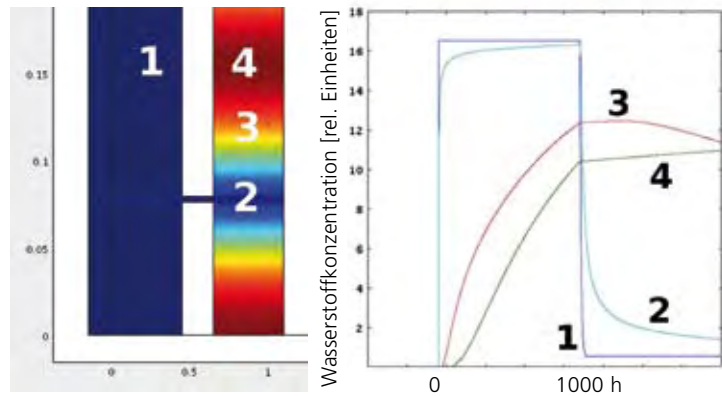
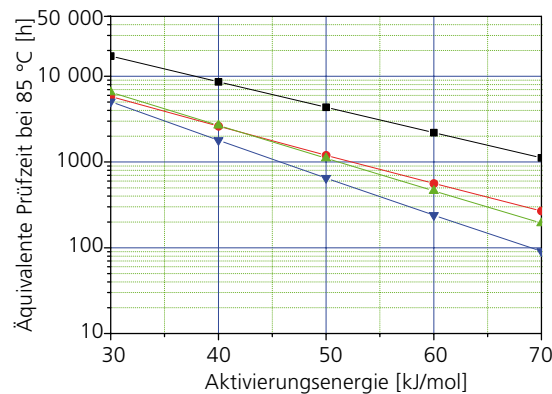


Abb. 2: Modellierung der Verteilung der Wasserkonzentration im Einbettungsmaterial von Photovoltaikmodulen mit kristallinen Silicium-Zellen (weiß). Das linke Bild zeigt die Feuchteverteilung nach 1000 h Feuchte/Wärmeprüfung (85 % r. F./85 °C) in Falschfarbendarstellung (hohe Feuchte ist blau). Im rechten Diagramm ist der zeitliche Verlauf der Wasserkonzentration an vier ausgewählten Punkten im Modul dargestellt. In der Rückseite (Nr. 1, blaue Linie) wird rasch die Sättigung erreicht.

mit innovativen Materialkombinationen in arider, tropischer, alpiner und urbaner Umgebung zur Freibewitterung ausgesetzt. Die Bewertung der Beanspruchungen auf der Basis eines kontinuierlichen Monitoring über ein gesamtes Jahr ergab unter anderem, dass die Feuchtebelastung in den Tropen um das 4fache höher liegt als in den Alpen. Ein Ergebnis dieser Untersuchungen ist, dass zur realistischen Prognose des Feuchteverhaltens von PV-Modulen mit dem heute überwiegend verwendeten Einbettungsmaterial EVA Prüfzeiten von – je nach Standort – 3000 bis 13 000 h notwendig sind, um eine 25jährige Lebensdauer abzubilden.

Das Clusterprojekt »Zuverlässigkeit von PV-Modulen« wird vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) gefördert.



## Solarthermische Kraftwerkskonzepte im Vergleich

*Für die techno-ökonomische Optimierung und Bewertung von solarthermischen Großkraftwerken und kleineren Anlagen mit Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung werden unsere Simulationsmodelle kontinuierlich ausgebaut. Technologisch setzen wir mit Komponentenentwicklung und experimenteller Qualifizierung Akzente in der vergleichsweise jungen linearen Fresnel-Technik. Angesichts des Fortschritts sind wir überzeugt, dass diese mittelfristig einen substantiellen Beitrag zur solarthermischen Stromproduktion leisten wird.*

Torsten Gutjahr, **Anna Heimsath**,  
Helena Hülsey, **Gabriel Morin**, Sanmati Naik,  
Anton Neuhäuser, Peter Nitz,  
Andreas Sauerborn, **Werner Platzer**

Solarthermische Kraftwerke mit konzentrierenden Kollektorfeldern können in Gebieten mit hoher Direktstrahlung (z. B. Mittelmeerraum, Nordafrika, Südwesten der USA) Stromgestehungskosten zwischen 15 und 20 ct/kWh erreichen, unter günstigen Umständen sogar noch weniger. Neben den klimatischen Voraussetzungen muss die Kraftwerkskonzeption hinsichtlich Qualität und Dimensionierung des Solarfelds, der Speicherung und der Auslegung des Kraftwerksprozesses stimmen und an die projektspezifischen Gegebenheiten angepasst werden. Produktionsprozesse und Komponentenauswahl beeinflussen sowohl Kosten als auch Ertrag und müssen daher optimiert werden.

Diese Aufgabe ist aufgrund der Vielzahl der sich wechselseitig beeinflussenden Parameter komplex und mit einfachen Methoden nicht zielführend zu bearbeiten. Wir haben daher die techno-ökonomische Optimierung als ein zentrales Gebiet kontinuierlich ausgebaut. Damit können wir:

- technische Entscheidungen und Dimensionierungen unterstützen.
- Verbesserungspotenzial für Produkt-(Weiter-)entwicklungen aufdecken und quantifizieren.
- kommerzielle Kraftwerksprojekte und Konzepte bewerten und optimieren.

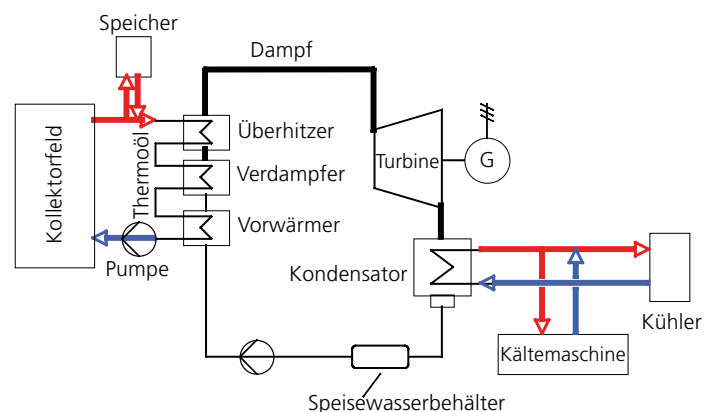


Abb. 1: Exemplarische Einbindung einer thermischen Absorptionskältemaschine und eines thermischen Speichers in einen Kreislaufprozess zur Stromerzeugung (Kraft-Kälte-Kopplung, schematisch).

Neben der reinen Stromerzeugung (Wärme- kraftmaschinen auf Wasserdampfbasis sowie organische Rankine-Prozesse) haben wir unsere Simulationswerkzeuge erweitert, um Kraft- Wärme(-Kälte)-Kopplung z. B. mit Prozessdampf- auskopplung oder Absorptionskälte bewerten zu können (Abb. 1).

Realitätsgetreue Simulationsmodelle müssen experimentell validiert werden. Ebenso müssen Spezifikationen von Teilkomponenten wie Receiver, Primärspiegelfeld oder Kreislaufprozess in ihrem optischen und thermodynamischen Verhalten überprüft werden. Qualitätssicherung im Werk und auf der Baustelle ist notwendig für die Wirtschaftlichkeit (Abb. 2).

Experimentelle Charakterisierungsmethoden und Versuchsaufbauten werden daher am Fraunhofer ISE ständig weiterentwickelt. Spiegel- und Receiververmessung, insbesondere bei dem neuen Fresnelkollektor, standen bisher im Mittelpunkt. Messungen, die wir derzeit gemeinsam mit dem DLR an der von MAN errichteten FRESDEMO-Testanlage (Abb. 3) auf der Solar-Forschungsplattform im südspanischen Almería durchführen, bestätigen die in unseren Simulationen vorausgerechneten Kollektorwirkungsgrade.

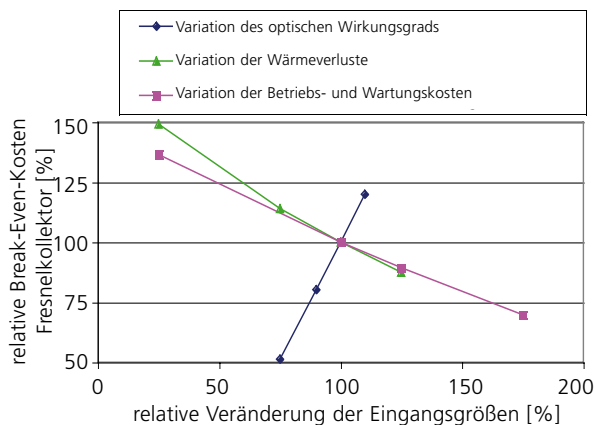


Abb. 2: Einflussfaktoren auf die relativen Break-Even-Investitionskosten des linearen Fresnelkollektors im Vergleich mit der Parabolrinne. Die Qualität der optischen Komponenten ist für die Wirtschaftlichkeit extrem kritisch: Verschlechtert sich die mittlere optische Effizienz durch Ungenauigkeiten, Verschmutzung oder Degradation um 10 %, so reduzieren sich die zulässigen Investitionskosten des Fresnelkollektors um 20 %.

Eine Hauptschwierigkeit der wirtschaftlichen Bewertung stellt die kommerzielle Datenbasis zu Investitions- und Betriebskosten des Fresnelkollektors dar. Wir haben daher die sogenannten Break-Even-Kosten errechnet, bei denen der Fresnelkollektor mit der kommerziellen Parabolrinne wirtschaftlich gleichauf steht.

Der Fresnelkollektor darf je nach Technologievariante bei Referenzkosten der Parabolrinne von 275 €/m<sup>2</sup> zwischen 100 und 220 €/m<sup>2</sup> kosten (bezogen auf die Aperturfläche). Prinzipbedingte niedrigere optische Wirkungsgrade stehen Kostenvorteilen gegenüber: Verwendung flacher Primärspiegel, geringere Anforderungen an die Statik wegen geringerer Windlasten, höhere Konzentrationsfaktoren.

Angesichts neuerer Technologieentwicklungen sind wir davon überzeugt, dass mit dem Fresnelkonzept die Kostenziele erreicht werden und die Technik mittelfristig einen entscheidenden Beitrag zur solarthermischen Stromproduktion leisten wird.

Die Arbeiten wurden vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) gefördert.



Abb. 3: FRESDEMO-Versuchskollektor auf der Plataforma Solar de Almería, Spanien. Die Vermessung dieses Kollektors dient als Grundlage für die techno-ökonomische Bewertung der Fresnel-Technologie (Basisfall).





## Wasserstoff- technologie

Wasserstoff setzt bei der Reaktion mit Sauerstoff in einer Brennstoffzelle nutzbare Energie in Form von Strom und Wärme frei. Da Wasserstoff in der Natur jedoch nicht in Reinform vorliegt, muss er aus seinen vielfältigen chemischen Verbindungen gewonnen werden. Dies geschieht unter Einsatz von Energie. Im Idealfall wird erneuerbare Energie in Form von regenerativ erzeugtem Strom für Elektrolyseverfahren verwendet. Ein weiterer Weg ist die Reformierung von gasförmigen bzw. flüssigen Brennstoffen, sogenannten Kohlenwasserstoffen oder Alkoholen.

Wasserstoff ist zwar keine Energiequelle, als universeller Energieträger wird er aber ein wichtiger Baustein einer künftigen nachhaltigen Energiewirtschaft sein. Langfristig kann Wasserstoff beispielsweise zeitlich fluktuierende erneuerbare Energie so zwischenspeichern, dass alle gewünschten Energiedienstleistungen mit der gewohnten Zuverlässigkeit bereitgestellt werden. Das Anwendungspotenzial von Wasserstoff ist sehr groß: In der dezentralen Energieversorgung können Brennstoffzellen Wärme und Strom aus Erdgas mit bis zu 80 Prozent Gesamtwirkungsgrad erzeugen. Brennstoffzellen dienen in mobilen Anwendungen zusammen mit Elektromotoren als schadstofffreie Antriebsaggregate für Automobile, LKWs und Busse. Außerdem können Brennstoffzellen in Auxiliary Power Units (APU) für die Bordnetz-Stromversorgung sorgen.



Schließlich eignen sich Mikrobrennstoffzellensysteme wegen der hohen Energiedichte von Wasserstoff oder Alkohol hervorragend als Ergänzung oder Alternative zu wiederaufladbaren Batterien in der netzfernen Stromversorgung oder in portablen Elektrogeräten. Auch wenn diese Anwendungen im Kontext unserer Gesamtenergieversorgung wenig unmittelbares Gewicht haben, so sind sie doch für die Einführung von Wasserstoffsystemen wegweisend.

Im Geschäftsfeld »Wasserstofftechnologie« erforschen wir innovative Technologien zur Gewinnung und hocheffizienten Umwandlung von Wasserstoff in Strom und Wärme. Zusammen mit unseren Partnern aus Industrie und Wissenschaft entwickeln wir Komponenten bis hin zu kompletten Brennstoffzellensystemen, überwiegend für netzferne, portable und mobile Anwendungen.

Wir entwickeln Reformersysteme zur Umwandlung flüssiger Kohlenwasserstoffe oder Alkohole. Die Anlagen umfassen den eigentlichen Reformierreaktor und, abhängig vom Typ der nachgeschalteten Brennstoffzelle, auch die Gasaufbereitung zur Erhöhung des Wasserstoffanteils und Reduzierung des Anteils an katalysatorschädigendem Kohlenmonoxid im Reformatgas. Die Einsatzgebiete dieser Systeme reichen von der stationären Kraft-Wärme-Kopplung über die Bordstromversorgung (Auxiliary Power Units) bis hin zur netzunabhängigen Stromversorgung. Um unseren Beitrag zu einer nachhaltigen Energieversorgung zu leisten, erweitern wir unser Portfolio mit Blick auf die Umwandlung und Nutzung von Biomasse. So entwickeln wir eine Technikumsanlage zur Holzvergasung, mit der wir die Tauglichkeit eines neuen, am Fraunhofer ISE mitentwickelten Verfahrens demonstrieren wollen. Außerdem forschen wir an einer Reaktorentwicklung zur Biomasseproduktion durch Grünalgen.

Für die Wasserstoffgewinnung aus Wasser realisieren wir geregelte Membran-Elektrolyse-Systeme mit Leistungen von wenigen Watt bis mehreren kW elektrischer Leistung, die einer Produktion von mehreren hundert Litern Wasserstoff pro Stunde entsprechen. Zum vertieften Verständnis der Vorgänge an den Elektroden setzen wir eine Reihe verschiedener Charakterisierungsmethoden wie Rasterelektronenmikroskopie oder Zyklovoltammetrie ein.

Als effiziente, umweltfreundliche, geräusch- und wartungsarme Energiewandler im Leistungsbereich von mW bis mehreren hundert Watt setzen wir auf Membranbrennstoffzellen inklusive deren Versorgung mit Wasserstoff oder Methanol. Neben der bekannten Systemarchitektur basierend auf Brennstoffzellenstapeln setzen wir einen weiteren Schwerpunkt auf planare, serienverschaltete Brennstoffzellen in einer Ebene. Dieses Design eignet sich in hervorragender Weise zur flächigen Gehäuseintegration sowie als Teil eines Hybridsystems in Kombination mit der Batterie.

Neben der Komponenten- und Anlagenentwicklung arbeiten wir an der Integration von Brennstoffzellensystemen in übergeordnete Systeme. Wir konzipieren und realisieren die elektrische Systemauslegung inklusive Spannungsaufbereitung und Sicherheitstechnik. Damit schaffen wir die Grundlagen für marktfähige Brennstoffzellensysteme. Unser Angebot umfasst insbesondere Brennstoffzellensysteme zur Bordnetzversorgung in Automobilen, Lastkraftwagen, auf Schiffen oder in Flugzeugen sowie autonome Stromversorgungen für netzferne Anwendungen und für portable elektronische Kleinsysteme.





Heizölbetriebener Gasbrenner, für den ein neuartiger Öl-Verdampfer entwickelt wurde, mit dessen Hilfe Heizöl ohne Rückstände verdampft werden kann. Im Bildhintergrund ist der Verdampfer zu sehen, der einen Gasbrenner (vorne im Bild) mit Heizöldampf versorgt. Dadurch ist es möglich, das Heizöl (oder wahlweise Diesel) modulierend über einen weiten Lastbereich in einem Gasbrenner zu verbrennen. Dies war bislang in Ölbrennern technisch nicht möglich.

## Ansprechpartner

Wasserstofftechnologie	Dr. Christopher Hebling	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-51 95 E-Mail: Christopher.Hebling@ise.fraunhofer.de
Brennstoffzellensysteme	Dipl.-Ing. Ulf Groos	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-52 02 E-Mail: Ulf.Groos@ise.fraunhofer.de
Wasserstofferzeugung und -speicherung	Dr. Thomas Aicher	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-51 94 E-Mail: Thomas.Aicher@ise.fraunhofer.de
Chemische Energiespeicherung	Dr. Tom Smolinka	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-52 12 E-Mail: Tom.Smolinka@ise.fraunhofer.de
Integration von Brennstoffzellen in autonome Stromversorgungen	Dr. Matthias Vetter	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-56 00 E-Mail: Matthias.Vetter@ise.fraunhofer.de
Leistungs- und Regelungselektronik für Brennstoffzellen	Dr. Bruno Burger	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-52 37 E-Mail: Bruno.Burger@ise.fraunhofer.de
Regelungsstrategien von Brennstoffzellen-Blockheizkraftwerken in Gebäuden	Dr. Christof Wittwer	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-51 15 E-Mail: Christof.Wittwer@ise.fraunhofer.de

## Vollautomatisches portables 300 W<sub>el</sub>-Reformer-Brennstoffzellensystem

*Für die netzferne Stromversorgung haben wir ein vollautomatisiertes, portables 300 W<sub>el</sub>-Reformer-Brennstoffzellensystem entwickelt. Als Brennstoff wird vergälltes Ethanol eingesetzt. Das System eignet sich daher für zahlreiche Anwendungen im Bereich der Stromversorgung für Wohnmobile, Yachten, Kleintraktion, Telekommunikation oder Notstromversorgung.*

Thomas Aicher, **Johannes Full**,  
Christoph Ketterer, Christian Lintner,  
Lisbeth Rochlitz, Christopher Hebling

Brennstoffzellensysteme (BZS) zur netzfernen Stromversorgung im Bereich mehrerer hundert Watt werden idealerweise direkt mit einem wasserstofferzeugenden Reformer kombiniert, wenn sie lange autarke Betriebszeiten erreichen sollen. Der Hauptvorteil solcher Reformer-Brennstoffzellensysteme (RBZS) ist, dass sie die hohe Energiespeicherdichte des Brennstoffs mit der hohen Leistungsdichte der Brennstoffzellen vereinen.

Zahlreiche Systeme dieser Art befinden sich derzeit in der Entwicklung für Anwendungen wie die Stromversorgung in Wohnmobilen oder Segeljachten, Telekommunikation, Notstromversorgung und Kleintraktion. Um solche Stromversorgersysteme auch Verbrauchern zugänglich zu machen, muss der Brennstoff kommerziell verfügbar, preiswert und ungefährlich bzw. ungiftig sein. Ethanol besitzt all diese Eigenschaften.

Am Fraunhofer ISE entwickeln wir derzeit ein Ethanol-Reformer-BZ-System mit einer elektrischen Nettoleistung von 250 W. Das System soll außentauglich sein, d. h. bei Außentemperaturen zwischen -10 °C und +40 °C betrieben werden können. Die elektrische Leistung soll auf Knopfdruck verfügbar sein. Dies bedeutet, dass

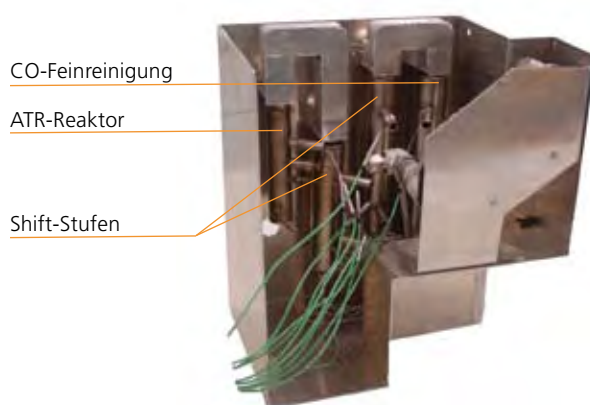


Abb. 1: »Hotbox« des 300 W<sub>el</sub>-Ethanol-Reformersystems. Zu sehen sind die einzelnen Reaktorstufen (ATR-Reformer, 2stufige Shift und CO-Feinreinigung). Die grünen Leitungen sind mit Thermoelementen verbunden, die die Temperaturen in den einzelnen Reaktorstufen messen.

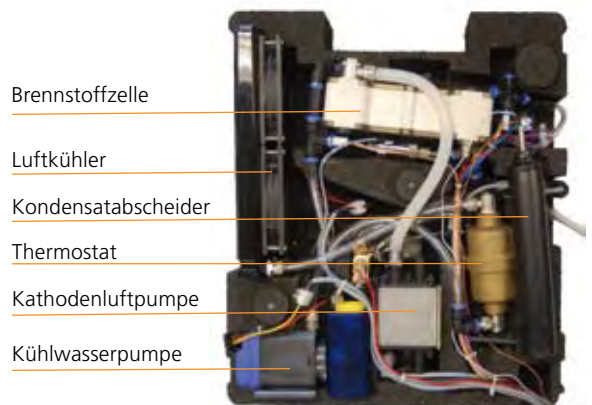


Abb. 2: Ansicht des Brennstoffzellenmoduls mit allen dazugehörigen Peripheriekomponenten.

die Startphase des Reformers, in der noch kein Wasserstoff zur Brennstoffzelle strömt, mit einer Pufferbatterie überbrückt wird. Gesamtgröße und Gewicht des Systems sollen 95 l und 30 kg betragen. Partner in diesem Gemeinschaftsprojekt sind die Firmen DMT, EGO, Elbau, Intra-tec, Lifebridge, Magnum und Umicore sowie das Forschungsinstitut HSG-IMIT.

Im letzten Jahr des 3jährigen Projekts übertrugen wir das System, das bislang in einem Teststand betrieben wurde, in ein modular aufgebautes, vollautomatisiertes Funktionsmuster. Die Optimierung der An- und Abfahrvorgänge stand im Fokus der durchgeführten Arbeitsschritte. Durch einen schonenden Anfahrprozess und eine Regenerationsphase beim Abfahren, konnten wir die Dauerstabilität der Katalysatoren so weit erhöhen, dass auch nach 50 Starts und Stopps, mehr als 150 h Betrieb und nach längeren Standzeiten eine für den BZ-Betrieb geeignete Gaskonzentration erreicht wird.

Die Brennstoffzelle erzielt mit Reformat auf der Anode und Umgebungsluft auf der Kathode eine Leistung von ca. 300 W. Nach umfangreichen Tests, in denen die Luftzufuhr, die Eintrittstemperatur, das BZ-Spülintervall und die Kühlwassertemperatur variiert wurden, konnten wir einen

stabilen Betriebszustand erzielen (Abb. 3). Der Gasnutzungsgrad beträgt bei voller Leistung ca. 80 %. Die Luftzahl auf der Kathodenseite liegt zwischen 2,5 und 3. Das Airbleed beträgt ca. 2 % des im Reformat enthaltenen Wasserstoffs. Das Airbleed wird benötigt, um im Reformat verbliebenes Kohlenmonoxid zu oxidieren und somit die CO-Toleranz der Brennstoffzelle zu erhöhen. Auf der Anode wird in definierten Abständen gespült, d. h. es wird kurzzeitig Gas an die Umgebung entlassen und somit ein Impuls erzeugt, der Wassertröpfchen in der Anode austrägt. In Langzeittests werden wir prüfen, ob die Zelle dauerhaft mit diesen Betriebsparametern betrieben werden kann. Gemeinsam mit der Firma DMT erarbeiteten wir ein Gehäusekonzept, das das RBZ-Modul in mehrere Funktionsmodule unterteilt (Abb. 4). Die einzelnen Module (Brennstoffzelle, Reformer, Elektronik und Tank) werden separat aufgebaut und können somit auch separat optimiert werden. Alle Module werden in einem Transportwagen übereinander gesteckt, wobei zum Transport oder zur Wartung einzelne Module herausgenommen werden können.

Die Arbeiten werden vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) im Rahmen des InnoNet-Projekts »RBZ-Modul« gefördert.

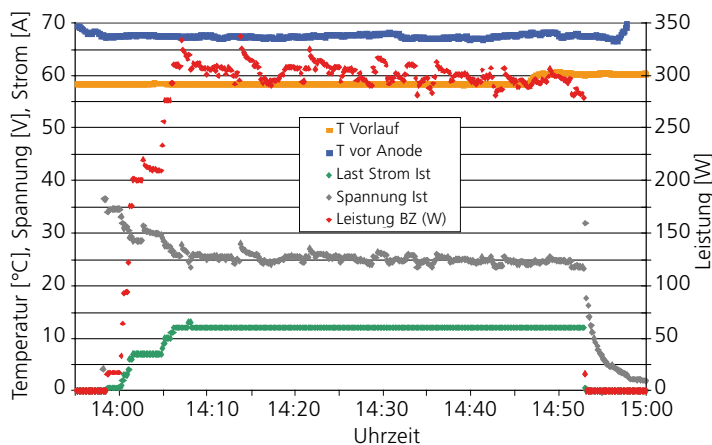


Abb. 3: Typische Messwerte des Betriebs der Brennstoffzelle mit Reformatgas. Bei einem aufgeprägten Strom von 12 A (grün) stellt sich je nach Gasmenge an der BZ eine Spannung von etwa 25 V (grau) und eine Leistung von etwa 300 W (rot) ein. Die periodischen Schwankungen in der Leistung werden durch die periodischen Spülvorgänge (Purgen) verursacht. Die BZ wird bei einer Temperatur von ca. 58 °C betrieben. Die Kathodenluft tritt mit etwa 65 °C aus.



Abb. 4: 3-D-Ansicht des modularen RBZS. Das Reformersmodul befindet sich oben (rot) und darunter das BZ-Modul (violett). Die anderen drei Module beinhalten die Elektronik (blau) und die Brennstofftanks. Für einen leichten Transport hat das System Rollen und einen Griff. Zum Verladen können einzelne Module herausgenommen werden. Zum Befüllen können die Tanks einfach getauscht werden.



## Vollautomatisches Pyrolysesystem für Hochtemperatur-PEM-Brennstoffzelle

Mit dem Ziel der Wasserstoffversorgung für Hochtemperatur-Polymer-Elektrolyt-Membran-Brennstoffzellen (HT-PEM-BZ) haben wir ein vollautomatisches Pyrolysesystem entwickelt. Es besteht aus zwei Reaktoren, die im Wechsel pyrolysieren und regenerieren. Das Produktgas aus der Pyrolyse kann direkt in ein Brennstoffzellensystem geleitet und dort in Strom und Wärme umgewandelt werden. Eine Gasreinigung ist nicht erforderlich. Der Pyrolyseprozess benötigt zudem kein Prozesswasser, somit kann auf eine aufwändige Wasserreinigung und -rückgewinnung verzichtet werden.

Timo Kurz, Marc Lehmann,  
Alexander Susdorf, Robert Szolak,  
Christopher Hebling

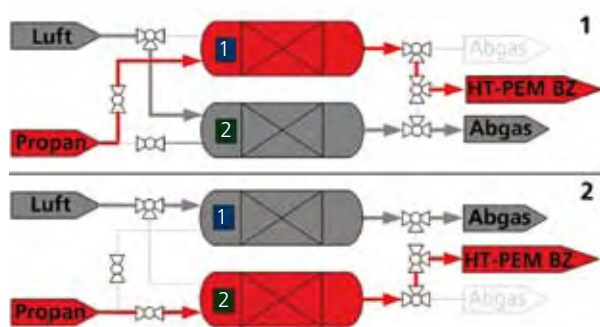
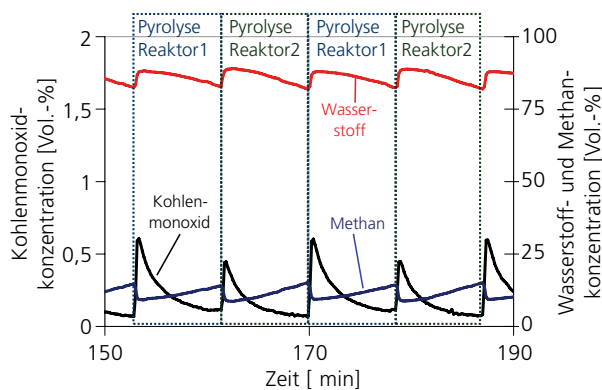


Abb. 1: Schematische Darstellung des Pyrolysesystems. Während Reaktor 1 pyrolysiert, wird Reaktor 2 regeneriert (1) und während Reaktor 2 pyrolysiert, wird Reaktor 1 regeneriert (2).



Die Pyrolyse bietet eine Alternative zur herkömmlichen Reformierung. Der Einsatzstoff, z. B. Propan, wird katalytisch zu Wasserstoff, Methan und Kohlenstoff umgesetzt. Der entstandene Kohlenstoff wird im zweiten Schritt abgebrannt. Zur Erzeugung eines kontinuierlichen, brennstoffzellentauglichen Gasvolumenstroms werden deshalb zwei Reaktoren benötigt, die im Wechsel pyrolysieren und regenerieren. Die Regenerationszeit ist dabei immer kürzer als die Pyrolysezeit. Die wechselnden Bedingungen stellen höchste Anforderungen an den Katalysator. Am Fraunhofer ISE haben wir einen Katalysator für das Pyrolysesystem entwickelt und optimiert, der langzeitstabil ist.

Die aktive Komponente des Katalysators besteht aus einer kostengünstigen Nickellegierung, die auf einen geeigneten Träger aufgebracht wurde. Zu Beginn jedes Pyrolyse-Zyklus liegt der Katalysator in oxidierter Form vor und muss zuerst reduziert werden. Die Reduzierung erfolgt durch den Eduktstrom. Der gespeicherte Sauerstoff wird zu Beginn der Pyrolyse in Form von Kohlenmonoxid und Kohlendioxid frei. Wir haben die Parameter des Pyrolysesystems dahingehend optimiert, dass die Kohlenmonoxidkonzentration beim Umschalten zwischen den beiden Reaktoren zu jeder Zeit kleiner als 0,6 Vol.-% ist. Die Wasserstoffkonzentration ist dabei immer größer als 80 Vol.-%. Die Hochtemperatur-PEM-Brennstoffzelle benötigt im Gegensatz zur Standard-PEM-BZ keine Befeuchtung der zugeführten Gase und toleriert Kohlenmonoxidkonzentrationen von über 1 Vol.-% im Brenngas. Aufgrund dieser Eigenschaften ist die HT-PEM-BZ ideal zur Kopplung mit dem Pyrolysesystem geeignet.

Abb. 2: Gaszusammensetzung während der Propanpyrolyse nach Reaktor 1 und 2. Die Pyrolysetemperatur ist in beiden Reaktoren 750 °C. Die Pyrolysezeit beträgt jeweils 10 min. Die Wasserstoffkonzentration (rechte Ordinate) ist auch am Umschaltzeitpunkt größer als 80 Vol.-%. Die Kohlenmonoxidkonzentration (linke Ordinate) ist dabei immer kleiner als 0,6 Vol.-%.

## Direkte Stromgewinnung aus Ethanol

Als innovative Brennstoffzellentechnologie entwickelten wir ein Demonstrationssystem, das mit einer speziellen Brennstoffzelle elektrischen Strom direkt aus Ethanol gewinnt. Damit lassen sich die Vorteile des Energieträgers Ethanol – weite Verbreitung, hoher Energiegehalt und Herstellung aus nachwachsenden Rohstoffen – in einem leisen und unkomplizierten System zur Stromgewinnung nutzen.

Adam Halaburda, **Stefan Keller**, Julia Melke, Christopher Hebling

Die Entwicklung eines Systems zur Stromerzeugung direkt aus Ethanol bündelt mehrere Fraunhofer-Kompetenzen. Wesentlicher Bestandteil unserer Arbeit am Fraunhofer ISE war die Charakterisierung der Systemkomponenten z. B. der Brennstoffzelle. Hierzu führten wir in einem speziellen Teststand unter definierten Bedingungen Tests durch und verwendeten dabei moderne Analysetechniken wie Massenspektroskopie, um qualifizierte und quantifizierbare Aussagen treffen zu können. Damit hat das Fraunhofer ISE wesentlich zum Erfolg des Projekts beigetragen. So entdeckten wir u. a. die Ursache für die ursprünglich starke Zelldegradation. Die von uns empfohlenen Gegenmaßnahmen verbesserten die Degradationsrate von Tagen auf Monate.

Weiterhin entwickelten wir ein funktionstüchtiges Demonstrationssystem, für das wir eine Microcontroller-gestützte Betriebsführung, ein Hybridisierungskonzept mit Pufferakku und entsprechender Leistungselektronik sowie die Sensorbeschaltungen erarbeiteten. Der Betrieb läuft komplett automatisiert, wobei Brennstoffzellenspannung und -strom ständig überwacht werden. Mithilfe dieser Daten verhindert die Betriebsführung kritische Zustände, welche die Brennstoffzelle stark belasten oder vorzeitig altern lassen würden.

Die Arbeiten sind Teil einer Fraunhofer-internen, marktorientierten strategischen Vorlauforschung. Das Projektteam umfasst das Fraunhofer ICT (Katalysatorentwicklung), Fraunhofer IGB (Membranentwicklung), Fraunhofer IIS (Elektronik), Fraunhofer ISE (Systemintegration und Charakterisierung), Fraunhofer ISI (Marktanalysen), Fraunhofer IZM (Pumpen- und Zellentwicklung).

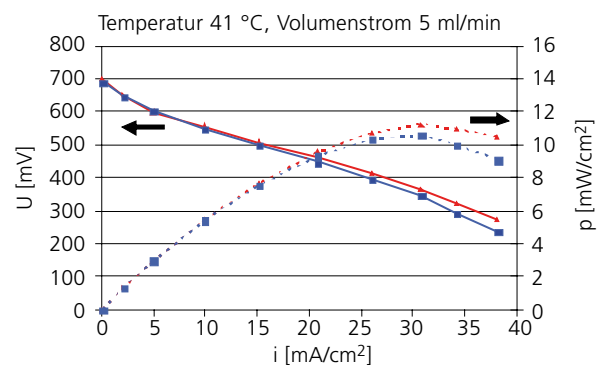


Abb. 1: Im Diagramm sind Spannungs- und Leistungsverlauf (gestrichelt) zweier Direktethanolbrennstoffzellen zu sehen. Die Zielvorgabe von 10 mW/cm<sup>2</sup> aktive Zellfläche bei 40 °C wurde deutlich erreicht. Auch bei systemnahen Bedingungen mit geringerem Ethanoldurchfluss von ca. 0,5 ml/min und bei Umgebungstemperatur konnten wir Leistungsdichten von über 7 mW/cm<sup>2</sup> messen. Dies ergibt eine Gesamtleistung von 280 mW für den vierzelligen Brennstoffzellenstapel.

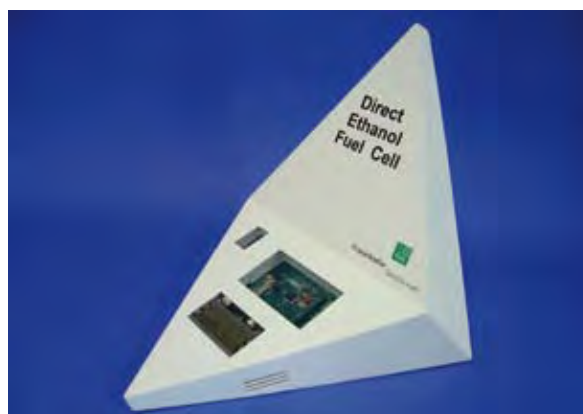


Abb. 2: Ein Foto des entwickelten Demosystems. Im vorderen Teil ist der Brennstoffzellenstapel mit integrierter Pumpenelektronik zu sehen. Die Abmessungen dieser Einheit betragen ca. 42x66x25 mm<sup>3</sup>. Unter dem großen Sichtfenster zeigt sich die Betriebselektronik. Neben einem stabilen Betrieb überzeugt das System durch eine geringe Leistungsaufnahme der Komponenten, die sich für Elektronik und Pumpe jeweils im Bereich von 8 % der Brennstoffzellenleistung bewegen.

## Systemsimulation von Mikrobrennstoffzellen-Batterie Hybrid-Systemen

*Mikrobrennstoffzellen-Batterie-Hybrid-Systemen steht eine vielversprechende Zukunft bevor. Sie vereinen die Vorteile der Brennstoffzelle mit denen der Batterie. Eine richtige Dimensionierung des Hybrid-Systems entscheidet über Konkurrenzfähigkeit und Effizienz gegenüber den jeweiligen speicherbasierten oder Brennstoffzellensystemen. Damit bereits im frühen Entwicklungsstadium detaillierte Vorhersagen und virtuelle Experimente möglich sind, erstellen wir mathematische Modelle der Systeme.*

Achim Christian, Friedrich Hagedorn,  
Lynn Schickl, Kanin Suwannarat,  
Mario Zedda, Christopher Hebling

Unsere langjährige Erfahrung im Bereich der Brennstoffzellen-Systementwicklung und -Charakterisierung sowie unsere Expertise bezüglich der Vorgänge innerhalb der Brennstoffzelle – erarbeitet durch Simulationen und Experimente – bilden ein solides Fundament für den neuen Bereich der Gesamtsystemsimulation. Hierfür entwickeln wir dynamische Modelle der Systemkomponenten und koppeln diese je nach Bedarf.

Im Rahmen der Gesamtsystemsimulation ist es wünschenswert, zeit- und materialaufwändige Labormessungen sowie die Anfertigung einer Vielzahl von Prototypen auf ein Mindestmaß zu reduzieren. Hierfür ersetzen wir weitgehend die Prototypen durch mathematische Modelle und die Messungen durch numerische Berechnungen. Dabei kommt in erster Linie kommerzielle Industriestandard-Software wie z. B. MATLAB®/ Simulink® zum Einsatz. Wir behalten uns jedoch ein hohes Maß an Flexibilität vor und greifen ebenso auf Open Source Software zurück. Im Idealfall dient schließlich der Prototyp nur noch zur Verifikation des optimierten Modells. Die sehr komplexen, detaillierten Modelle können mithilfe geeigneter Approximationsverfahren in Bezug auf die Rechenzeit optimiert werden.

Derzeit arbeiten wir an einem dynamischen Modell einer planaren passiven PEM-Mikrobrennstoffzelle in Simulink®, am Design eines geeigneten DC/DC-Wandlers, an der Modellierung eines Energiespeichers sowie an der Simulation eines neuartigen effizienten Verfahrens zur Aufheizung einer Hochtemperatur-Brennstoffzelle.

Das Projekt wird von der Fraunhofer-Gesellschaft unterstützt.

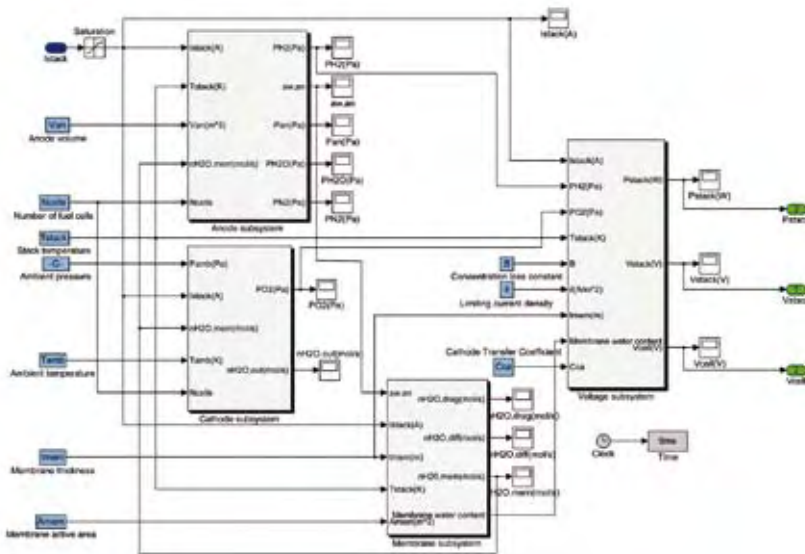


Abb. 1: Dynamisches Modell einer planaren, passiven PEM-Mikrobrennstoffzelle mit passiv luftversorgter Kathode. Das Modell wurde in der übersichtlichen graphischen Darstellung über Funktionsblöcke und Signalflussgraphen mit MATLAB®/ Simulink® erstellt.

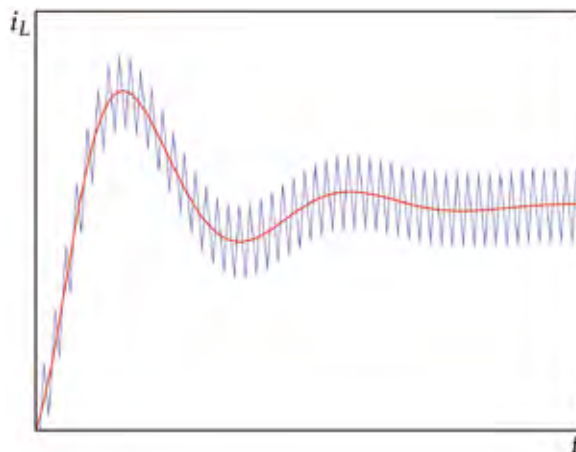


Abb. 2: Ein Mikrobrennstoffzellen-Batterie Hybrid-System benötigt Spannungswandler. In der Abbildung ist der Spulenstrom  $i_L$ , der eine signifikante Größe beim Design eines Spannungswandlers darstellt, während des Einschwingvorgangs zu sehen. Mit dem gemittelten Modell (rote Kurve) kann bei der numerischen Lösung bis zu 95 % Rechenzeit im Vergleich zum detaillierteren Modell (blaue Kurve) eingespart werden.



## Kinetikuntersuchungen an Direkt-Ethanol-Brennstoffzellen

*Kinetikuntersuchungen dienen der Analyse von Mechanismen, die zum Leistungsverlust von Brennstoffzellen führen. Aus deren Kenntnis kann eine systematische Optimierung vorgenommen werden. Die Untersuchung der Kinetik während des Betriebs von Brennstoffzellen erfolgt mittels Impedanzspektroskopie. Eine auf physikalischen Modellen beruhende Auswertung der Impedanzspektren erlaubt eine Bestimmung der kinetischen Parameter. Bei der Modellierung der Ethanoloxidation werden verschiedene Reaktionspfade berücksichtigt. Die Ableitung der im Modell hinterlegten Reaktionsschritte erfolgt dabei aus der Interpretation der XANES-Region von Röntgenabsorptionsspektren.*

Dietmar Gerteisen, Ulf Groos, **Julia Melke**, Marco Meyer, Friederike Schmid, Christopher Hebling



Abb. 1: Anoden-Flowfield einer Brennstoffzelle mit Referenzelektrodenkonfiguration, die eine separierte Messung der Anoden- und Kathodenimpedanzspektren ermöglicht.

Für die Charakterisierung von PEM- und Direktalkoholbrennstoffzellen wenden wir am Fraunhofer ISE seit Jahren erfolgreich die auf physikalischen Modellen beruhende Interpretation der Impedanzspektroskopie an. Die Methode hat gegenüber stationären Kennlinienmessungen den Vorteil, dass gleichzeitig ablaufende Prozesse mittels unterschiedlicher Frequenzen angeregt und somit aufgrund unterschiedlicher Zeitkonstanten separiert werden können.

Unter Verwendung von Referenzelektroden kann dieses Verfahren zur Analyse der Anodenkinetik während des Betriebs angewendet werden, ohne auf Halbzellenmessungen ausweichen zu müssen. Gleichzeitig wird die gegenseitige Kopplung beider Halbzellen berücksichtigt. Dadurch eignet sich diese Methode sehr gut zur Modellvalidierung. Mithilfe der validierten Modelle können kinetische Parameter unter realen Bedingungen ermittelt und aus dem Verständnis für die Prozesse Verlustmechanismen abgeleitet werden. Diese Erkenntnisse unterstützen die System- und Zellentwicklung.

Derzeit untersuchen wir grundlegende Prozesse in Direkt-Ethanol-Brennstoffzellen (DEFC). Im Modell für die DEFC ist speziell die elektrochemische Oxidation von Ethanol an der Anode detailliert berücksichtigt worden. Um hier die

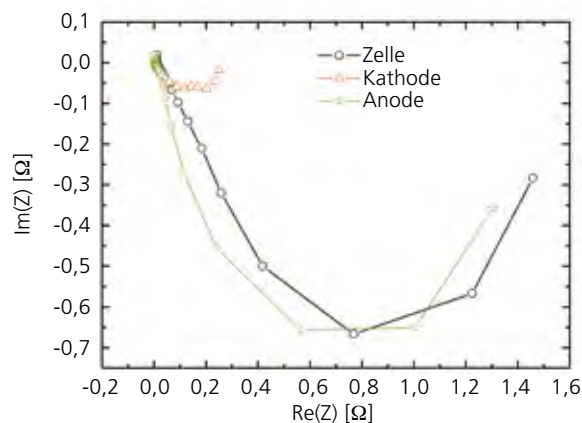


Abb. 2: Anoden-, Kathoden- und Zellimpedanz für einen Frequenzbereich von 0,025 Hz bis 10 000 Hz bei einer Zellspannung von 0,2 V. Die Zellimpedanz wird vorwiegend durch die Anodenimpedanz bestimmt. Daraus ergibt sich, dass die Verluste vorwiegend seitens der Anodenkinetik auftreten.

Aussagekraft des Modells noch zu erhöhen, wird die Anodenreaktion zusätzlich mittels Röntgenabsorptionsspektroskopie untersucht. Die Methode lässt Rückschlüsse auf Adsorbate auf der Oberfläche zu, wodurch Reaktionsmechanismen abgeleitet werden können.

## Low-Cost – High-Tech: Mikrobrennstoffzellen auf dem Weg zur Serienreife

*Das Mikrobrennstoffzellen hocheffiziente Energielieferanten sind, ist seit Langem bekannt. Nun bereiten wir deren Weg aus dem Labor in die Fertigung vor. Wir haben ein Kunststoffgehäuse entwickelt, das per Spritzguss herzustellen ist und dessen Kraftübertragung der einer dicken Stahlplatte entspricht. Das kostenoptimierte Herstellungsverfahren zur Stromableitung und Zellverschaltung sowie die spezielle Abdichtung der Brennstoffzellen wurden vom Fraunhofer ISE patentiert.*

Thomas Jungmann, Ulf Groos, **Mario Zedda**,  
Christopher Hebling

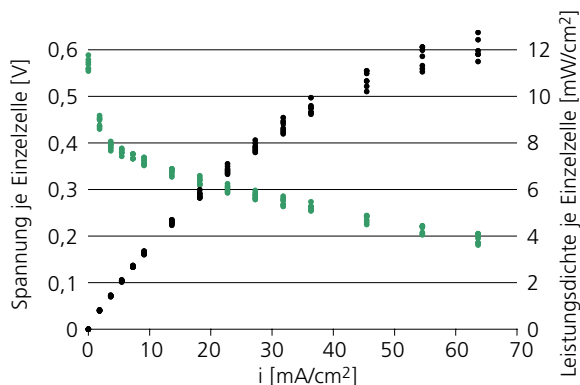


Abb. 1: Polarisations- (grün) und Leistungskurven (schwarz) eines 8zelligen Direkt-Methanol-Brennstoffzellen-Moduls betrieben mit einer 1molaren wässrigen Methanollösung bei einer Umgebungstemperatur von 22 °C mit passiver Luftzufuhr. Der Nominalbetriebspunkt der Einzelzellen liegt bei ca. 0,2 V. Das gesamte Modul liefert bei einer aktiven Fläche von 44 cm<sup>2</sup> ca. 500 mW<sub>el</sub>-Gesamtleistung.



Im Sekundentakt könnten Fluidverteiler für planare Mikro-Direkt-Methanol-Brennstoffzellen bald aus der Spritzgussmaschine fallen. Der verwendete Kunststoff, ein mit Glasfasern gefülltes Polymer, verfügt über einen 80fach höheren Elastizitätsmodul als Edelstahl und ist somit optimal geeignet zur Verpressung des Schichtaufbaus unserer Brennstoffzellen. Bereiche, die mechanisch nachgeben würden, haben wir bereits in der Konstruktionsphase mit einer minimalen Vorspannung ausgestattet. Beide Gehäusehälften verbinden wir durch Ultraschallschweißen zu einer monolithischen Einheit. Kosteneffizienz und Serientauglichkeit stehen im Mittelpunkt unserer Entwicklung.

Hierzu gehört auch der weitgehende Verzicht auf Peripheriebauteile. Deshalb favorisieren wir für Mikrobrennstoffzellen einen passiven Betrieb der Kathode und realisieren die Luftzufuhr nur über natürliche Diffusion. Dafür ist unsere planare Bauweise mit der Anordnung von Einzelzellen in einer Ebene besonders geeignet.

Planar angeordnete Brennstoffzellen stellen uns bezüglich der Stromableitung, Zellverschaltung und Abdichtung vor spezifische Herausforderungen. Hier haben wir eine Technologie entwickelt, die ebenso funktionell wie kostengünstig ist. Sie ermöglicht eine serientaugliche, von den Gehäuseplatten unabhängige Vormontage der kompletten Zelleinheiten.

Wir bedanken uns bei unserem Partner FWB GmbH für die gute Zusammenarbeit. Das Projekt wurde gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi).

Abb. 2: Planare Brennstoffzellen so weit das Auge reicht: Hohe Stückzahlen dank Spritzgusstechnologie. Anwendungen für die kleinen Energiespender finden sich überall dort, wo Kleingeräte im Industrie- und Consumer-Bereich über Wochen und Monate netzautark betrieben werden sollen. Je länger die geforderte Betriebszeit, desto vorteilhafter die Nutzung des Brennstoffs Methanol gegenüber herkömmlichen batteriebasierten Energiespeichern.

## Redoxflow-Batterien – Elektrische Speichersysteme für regenerative Energien

*Redoxflow-Batterien eignen sich hervorragend für die Zwischenspeicherung elektrischer Energie in Stromnetzen oder Inseln mit hohem fluktuierendem Anteil regenerativer Energien. Durch ihre vorteilhaften Eigenschaften stellen sie somit eine vielversprechende Alternative zu herkömmlichen Batteriespeichern oder auch zu Brennstoffzellen dar. Am Fraunhofer ISE optimieren wir Komponenten für diese Systeme und entwickeln modellbasierte Regelungsstrategien für eine robuste Betriebsführung.*

Martin Dennenmoser, Daniel Frick, Beatrice Hacker, Martin Ohlinger, Tom Smolinka, Matthias Vetter, Christopher Hebling

Vor allem die sogenannte All-Vanadium Redoxflow-Batterie weist wesentliche Vorteile gegenüber herkömmlichen Elektroenergiespeichern auf: Trennung von Wandler- und Speichereinheit, hoher elektrischer Wirkungsgrad, hohe Zyklenfestigkeit und damit Lebensdauer sowie keine Degradationseffekte des Elektrolyten durch Querkontamination über die Membran. Das allgemeine Funktionsprinzip einer Redoxflow-Batterie ist in Abb. 1 gezeigt. Beim Laden einer All-Vanadium-Redoxflow-Batterie werden durch Stromzufuhr auf der Anolyt-Seite  $V^{3+}$ - zu  $V^{2+}$ -Ionen reduziert und auf der Katholyt-Seite  $V^{4+}$ - zu  $V^{5+}$ -Ionen oxidiert. Bei der Entladung finden die Reaktionen in umgekehrter Richtung statt. Im Rahmen eines Fraunhofer-Verbundprojekts haben wir einen Versuchsstand aufgebaut und verschiedene Testzellen zur Materialcharakterisierung und Optimierung des Zelldesigns konstruiert. Beteiligt sind Fraunhofer UMSICHT (Projektleitung), Fraunhofer ICT, Fraunhofer AST und Fraunhofer ISI. Des Weiteren wurde ein Mehrzeller mit einer aktiven Fläche von  $250\text{ cm}^2$  ausgelegt und gefertigt. Mit Hilfe dieses Mehrzellens sollen die parallel entwickelten Systemmodelle (siehe Beitrag Seite 76) validiert und wichtige technische Parameter zur Anlagendimensionierung bestimmt werden. Neben der Entwicklung verbesserter Systemkomponenten wie dem Zellstapel ist es das Ziel, simulations-

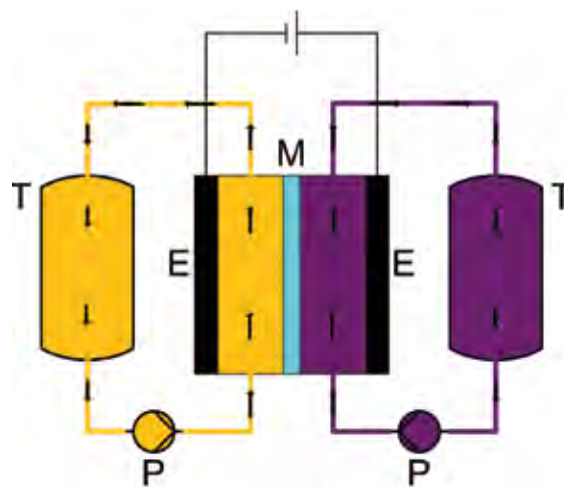


Abb. 1: Prinzipskizze einer Redoxflow-Batterie. Die elektrische Energie wird chemisch in Form von gelösten Redoxpaaren in den beiden externen Tanks (T) gespeichert. Die Tankgröße bestimmt damit den Energiegehalt des Systems. Die Leistung der Batterie wird durch die Größe des Zellstapels der Wandlereinheit festgelegt. Umwälzpumpen (P) auf beiden Seiten sorgen für eine ausreichende Versorgung der Elektroden (E) mit dem flüssigen Elektrolyten. Kathode und Anode sind durch eine Ionen leitende Membran (M) voneinander getrennt.

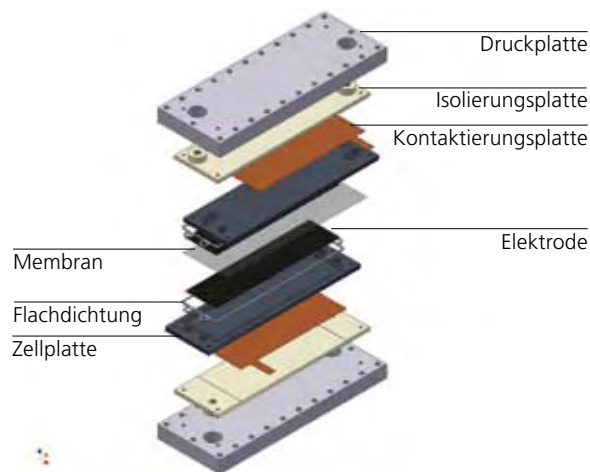
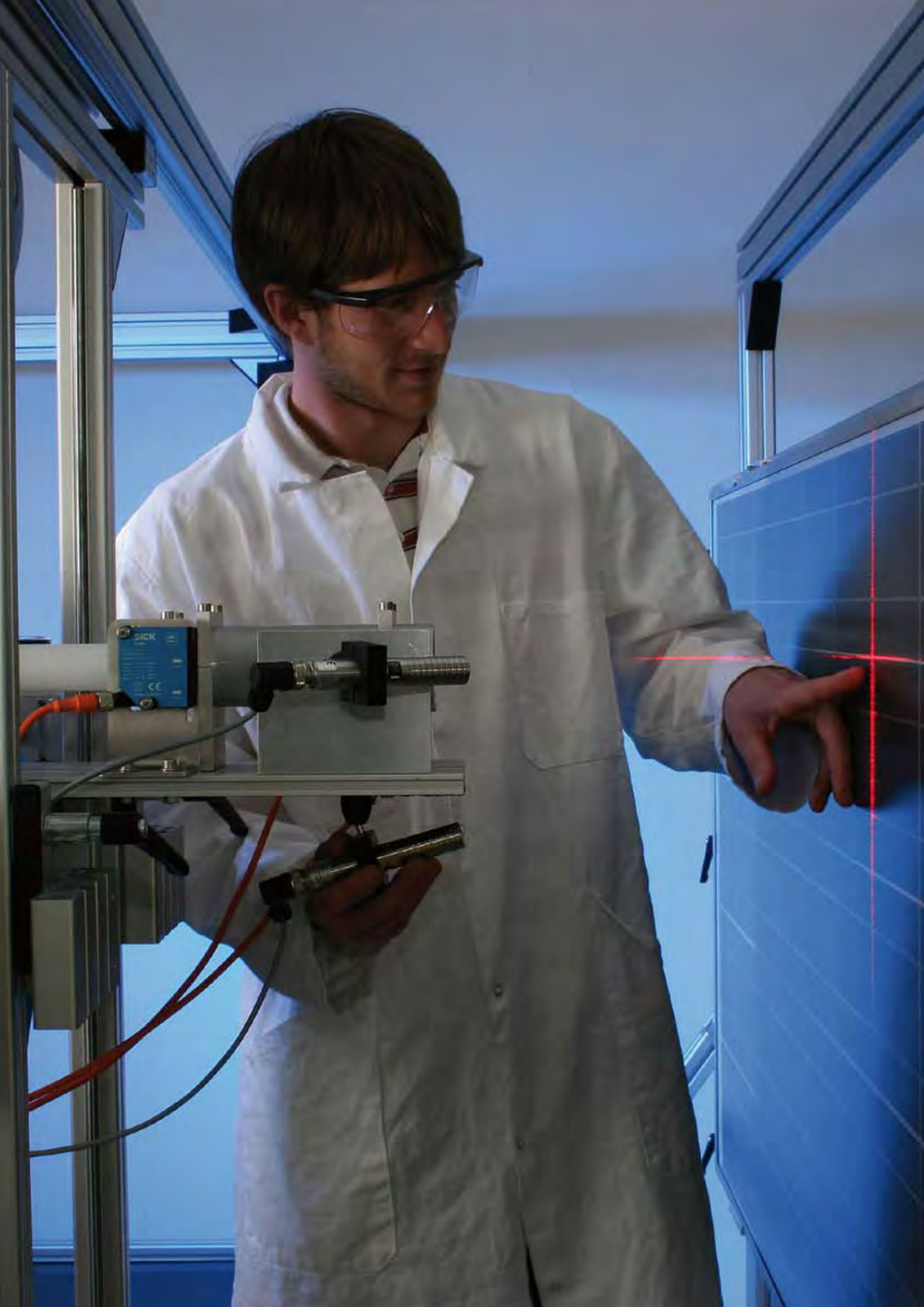


Abb. 2: Explosionszeichnung einer Redoxflow-Zelle zur Materialcharakterisierung. Die aktive Fläche beträgt  $100\text{ cm}^2$ .

basierte Regelentwürfe zu testen und dadurch eine robuste Betriebsstrategie zu entwickeln, die eine lange Lebensdauer der eingesetzten Materialien ermöglicht.





## Servicebereiche

In der boomenden Solarindustrie nehmen Materialprüfung, Zertifizierung und Qualitätssicherung einen immer wichtigeren Stellenwert ein. In Ergänzung zu unserer Forschung und Entwicklung bieten wir Kunden entsprechende Prüf- und Zertifizierungsverfahren an. Derzeit verfügt das Fraunhofer ISE über vier akkreditierte Testeinrichtungen: Prüfzentrum Thermische Solaranlagen, Thermisch-Optisches Prüflabor, VDE-Fraunhofer ISE-Testzentrum Photovoltaik sowie das ISE Callab. Zu unseren weiteren Servicebereichen zählen eine Testeinrichtung für Lüftungskompaktgeräte, ein Labor für die Qualifizierung von Phasenwechsellmaterialien (PCM), ein Teststand für thermisch angetriebene Wärmepumpen kleiner Leistung sowie ein Batterie-Prüflabor.

Über ihr Dienstleistungsangebot hinaus haben diese Einrichtungen für uns auch eine Forschungsfunktion. Die bei Charakterisierung, Prüfung oder Test gewonnenen Erkenntnisse können eingebettet werden in neue Forschungsthemen – sei es in der Produktentwicklung oder -verbesserung, bei der Weiterentwicklung von Testmethoden und Standards oder bei der Theorieentwicklung, z. B. im Bereich der modellbasierten Alterungsprognose.

Das Prüfzentrum Thermische Solaranlagen (PZTS) ist seit Mai 2005 durch DAP (Deutsches Akkreditierungssystem Prüfwesen GmbH) akkreditiert. Die Testeinrichtungen sind:

- Solarluftkollektorteststand
- Hagelschlagteststand
- System- und Speicherteststand
- Außen-Teststand mit Tracker
- Innen-Teststand mit Solarsimulator (max. Aperturfläche 3x3,5 m<sup>2</sup>)
- Kollektorteststand bis 200 °C

Am PZTS werden in erster Linie Industrieaufträge zur Prüfung von Kollektoren nach Europäischen Kollektornormen wie den Solar Keymark Scheme Rules des CEN durchgeführt. Einzigartig ist die Möglichkeit der Kollektorprüfung bei Temperaturen bis 200 °C. Dies ermöglicht die prüftechnische Erschließung neuer Anwendungen wie Prozesswärme sowie Tests zur Stagnation.

Ergänzt wurde das Angebot 2008 durch einen eigenen Hagelteststand mit Echteis-Hagel (siehe Beitrag Seite 105).

Das Thermisch-Optische Prüflabor (TOPLAB) erhielt die Akkreditierung nach DIN EN ISO/IEC 17025 im Jahr 2006. Es bietet Entwicklern, Herstellern und Planern von Fassaden(-komponenten) und Fenstern, einschließlich Sonnenschutz, ein umfassendes Dienstleistungsangebot zur Charakterisierung von innovativen Bauteilen oder Materialien (siehe Beitrag Seite 106).

Geprüft werden:

- g-Wert kalorimetrisch
- Transmissionsgrad: spektral und integral
- Reflexionsgrad: spektral und integral
- U-Wert

Ebenfalls 2006 wurde das Testzentrum für Photovoltaik (TZPV) akkreditiert mit einer Bauartzulassung für PV-Module gemäß IEC 61215 und 61646. Die Kapazitäten und Räumlichkeiten des gemeinsam mit dem VDE-Institut betriebenen Testzentrums wurden 2008 verstärkt ausgebaut. Ziel der Einrichtung ist die zunehmend bedeutendere Sicherung der Qualität und Zuverlässigkeit von PV-Modulen. Im Rahmen der Kooperation übernimmt das Fraunhofer ISE die relevanten Performance-Prüfungen, das VDE-Institut zeichnet für die Sicherheitsprüfung und Zertifizierung nach den gängigen Normen verantwortlich. Es werden entwicklungsbegleitende Prüfungen für Module und Modulkomponenten durchgeführt. Das TZPV ist eng vernetzt mit dem ISE Callab sowie mit der Modulentwicklung am Institut. Ebenso kooperiert das Testzentrum mit Modulproduzenten (siehe Beitrag Seite 102).

Das vierte Labor, mit Akkreditierung seit November 2006, ist das ISE Callab, das zu den weltweit führenden seiner Art zählt. Das Kalibrieren von Solarzellen und Modulen spielt eine wichtige Rolle bei Produktvergleichen ebenso wie bei der Qualitätssicherung von PV-Anlagen. Die Zellkalibrierung dient als Referenz für Industrie und Forschung. Die Modulkalibrierung ist einerseits Bestandteil der Modul-Zertifizierung und dient andererseits der Qualitätssicherung von Anlagen sowie der Unterstützung bei der Entwicklung (siehe Beitrag Seite 103).





Das VDE-Fraunhofer ISE-Testzentrum Photovoltaik (TZPV) ist 2008 in neue Räumlichkeiten gezogen. So konnte das gemeinsam mit dem VDE betriebene Testlabor seine Prüfkapazität verdoppeln und weitere Dienstleistungen anbieten. Die vorgeschriebenen IEC-Prüfungen wurden u. a. durch eine Hagelkanone, die am Fraunhofer ISE entwickelt wurde, ergänzt (siehe Beitrag Seite 102).

## Ansprechpartner

<b>Qualitätssicherung von PV-Anlagen</b>		
Ertragsgutachten	Dipl.-Wirt.Ing. Nicole Römer	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-55 75 E-Mail: Nicole.Roemer@ise.fraunhofer.de
Anlagenprüfung	Dipl.-Ing. Andreas Steinhüser	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-52 25 E-Mail: Andreas.Steinhueser@ise.fraunhofer.de
Monitoring	Dipl.-Ing. Klaus Kiefer	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-52 18 E-Mail: Klaus.Kiefer@ise.fraunhofer.de
<b>ISE CaLab</b>		
Zellkalibrierung	Dr. Wilhelm Warta	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-51 92 E-Mail: Wilhelm.Warta@ise.fraunhofer.de
	Dipl.-Ing. Astrid Ohm	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-54 23 E-Mail: Astrid.Ohm@ise.fraunhofer.de
Modulkalibrierung	Dipl.-Ing. Klaus Kiefer	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-52 18 E-Mail: Klaus.Kiefer@ise.fraunhofer.de
	Dipl.-Ing. Frank Neuberger	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-52 80 E-Mail: Frank.Neuberger@ise.fraunhofer.de
<b>PV-Modul Prüfungen</b>		
VDE-Fraunhofer ISE-Testzentrum Photovoltaik (TZPV)	Dipl.-Phys. Dipl.-Ing. (Arch.) Claudio Ferrara	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-56 50 E-Mail: Claudio.Ferrara@ise.fraunhofer.de
<b>Prüfzentrum für Thermische Solaranlagen (PZTS)</b>		
Innen- und Außen-Teststand für Solarkollektoren	Dipl.-Phys. Matthias Rommel	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-51 41 E-Mail: Matthias.Rommel@ise.fraunhofer.de
	Dipl.-Ing. Stefan Mehnert	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-53 54 E-Mail: Stefan.Mehnert@ise.fraunhofer.de
Solarluftkollektor-Teststand	Dipl.-Phys. Matthias Rommel	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-51 41 E-Mail: Matthias.Rommel@ise.fraunhofer.de
<b>Vermessung von Fassaden und transparenten Bauteilen</b>		
Thermisch-Optisches Prüflabor (TOPLAB)	Dipl.-Phys. Tilmann Kuhn	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-52 97 E-Mail: Tilmann.Kuhn@ise.fraunhofer.de
Tageslicht-messräume	Dipl.-Ing. Jan Wienold	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-51 33 E-Mail: Jan.Wienold@ise.fraunhofer.de
<b>Lüftungsgeräte und Wärmepumpen</b>		
Prüfstand	Dr. Benoît Sicre	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-52 91 E-Mail: Benoît.Sicre@ise.fraunhofer.de
<b>Photovoltaik-Systemkomponenten</b>		
Charakterisierung von Wechselrichtern	Dr. Bruno Burger	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-52 37 E-Mail: Bruno.Burger@ise.fraunhofer.de
<b>Qualifizieren und Optimieren von PV-Systemen</b>		
Batterie-Prüflabor	Dipl.-Ing. Stephan Lux	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-54 19 E-Mail: Stephan.Lux@ise.fraunhofer.de

## VDE-Fraunhofer ISE-Testzentrum Photovoltaik (TZPV)

*Die Prüfung der Zuverlässigkeit von Photovoltaikmodulen gewinnt mit der wachsenden Vielfalt an Modellen zunehmend an Bedeutung. Vor diesem Hintergrund wurden die Kapazitäten des bestehenden Testzentrums am Fraunhofer ISE weiter ausgebaut. Im September 2008 wurden die neuen Räumlichkeiten und Anlagen eingeweiht. Das TZPV ist bei der IEC als sogenanntes Testing Laboratory für den Certification Body VDE akkreditiert und führt Prüfungen für die Bauartzulassung gemäß IEC 61215 und 61646 durch.*

Holger Ambrosi\*, Stefan Brachmann, Ilie Cretu, **Claudio Ferrara**, Markus Heck, **Michael Köhl**, Kerstin Körner-Ruf, Georg Mülhölfer, Daniel Philip, Hans-Martin Henning

\* PSE AG, Freiburg



Abb. 1: Klimaprüfkammern für die zyklische Temperaturprüfung von Modulen.

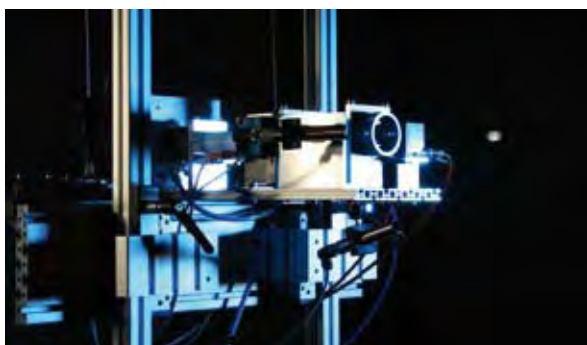


Abb. 2: Hagelkanone – von Mitarbeitern des Fraunhofer ISE entwickelt und gebaut.

Die stark wachsende Nachfrage nach IEC-basierten Prüfungen für die Bauartzulassung von Photovoltaikmodulen hat uns veranlasst, die Kapazität des gemeinsam mit dem VDE betriebenen Prüfzentrums deutlich auszubauen und unsere Kompetenzen noch stärker zu bündeln. Durch die Beschaffung begehrter Klimaprüfkammern (Abb. 1) wurden die Testkapazitäten um mehr als das 5fache erhöht.

Die vorgeschriebenen IEC-Prüfungen wurden durch die Entwicklung und den Aufbau einer normgerechten Hagelkanone komplettiert (Abb. 2). Das TZPV ist nun auch bei der IEC als Certification Body Testing Lab (CB-TL) des VDE akkreditiert.

Nahezu alle Prüflabors konnten im neu ausgebauten Testzentrum unter einem Dach Platz finden und die logistischen Abläufe somit enorm verbessert werden.

Für die wachsende Zahl neuer Dünnschichtmodule haben wir die Möglichkeit einer Lichtstabilisierung bei kontrollierter, konstanter Modultemperatur mit einem Dauerlichtsolarimulator im Labor geschaffen. Außerdem verfügen wir alternativ über neue Messmöglichkeiten unter Freibewitterung. Bei beiden Verfahren finden ein kontinuierliches Monitoring der Leistung sowie wiederholte Messungen der Kennlinien (4 pro h), der Einstrahlung und der Modultemperatur statt.

Zur Untersuchung von Modulschädigungen werden im TZPV zerstörungsfreie Verfahren wie Elektrolumineszenz (an ganzen Modulen) zur Feststellung von Zell- oder Zellverbinderschäden sowie optische Spektroskopie und Raman-spektroskopie für die Einkapselungsmaterialien eingesetzt.

## Qualitätssicherung von PV-Anlagen

Um den vorausgesagten Ertrag einer Photovoltaikanlage über die gesamte Lebensdauer zu garantieren, ist eine umfassende Qualitätssicherung erforderlich. Das Fraunhofer ISE bietet ein breites Maßnahmenpektrum von der Planung bis zur Inbetriebnahme an, um die bestmögliche Qualität von Photovoltaikanlagen sicherzustellen.

**Klaus Kiefer**, Frank Neuberger, Nicole Römer  
Andreas Steinhüser

## Ertragsgutachten

Eine zuverlässige Ertragsprognose kann nur unter Einbeziehung des Standorts und dessen Rahmenbedingungen erzielt werden. Nach Ermittlung aller Daten führen wir eine wissenschaftliche Ertragsanalyse durch. Weiterhin geben wir Hinweise zur:

- Fehleranalyse – Wie genau sind die Ergebnisse?
- Risikoanalyse – Was kann den Ertrag mindern?
- Performance Ratio – Wie gut ist der Systemnutzungsgrad der geplanten Anlage?
- Bewertung der Anlagentechnik – Wie gut sind die Komponenten und deren Dimensionierung?
- Sicherheitshinweise – Wie können Eingangskontrolle, Abnahmemessungen und Monitoring den vorhergesagten Ertrag zusätzlich sichern?

## Qualitätsmonitoring

Entscheidend für den optimalen Betrieb und damit auch für die Rendite einer Photovoltaikanlage sind nicht nur eine gute Planung und hochwertige Komponenten, sondern auch eine automatisierte Betriebsüberwachung. Mit unserer Monitoring-Dienstleistung erreichen unsere Kunden Qualitätssicherung und maximale Anlagenerträge. Wir vermessen Anlagen und ermitteln ihr Optimierungspotenzial.

## Anlagenprüfung

Zur Leistungsüberprüfung von großen PV-Anlagen sind Vorortmessungen der Kennlinien von Teilgeneratoren bzw. einzelnen Strängen des Solargenerators erforderlich. Fehlerhafte Module und Fehler in der Verschaltung des Generators können mittels unserer mobilen Messausrüstung identifiziert werden. So können rechtzeitig entsprechende Gegenmaßnahmen getroffen werden.

## Kalibrieren von Solarzellen und Modulen

Die präzise Bestimmung der Leistungsdaten von Solarzellen und Modulen spielt sowohl in Forschung und Entwicklung als auch bei der Produktion eine bedeutende Rolle. Sie ist unverzichtbar für Produktvergleiche sowie bei der Qualitätssicherung von Photovoltaikanlagen.

Patrick Blattert, Boris Farnung\*, Jochen Hohl-Ebinger, Jürgen Ketterer, **Klaus Kiefer**, Katinka Kordelos, Frank Neuberger, Astrid Ohm, Johannes Otto, Peter Raimann, Wilhelm Warta, Edgar Wolf, Jutta Zielonka

\* PSE AG, Freiburg

Das ISE CalLab ([www.callab.de](http://www.callab.de)) zählt zu den weltweit führenden Photovoltaik-Kalibrierlaboren. Modul- und Zellhersteller lassen ihre Referenzmodule und -zellen für die Produktion nach internationalen Standards bei uns kalibrieren. Die Messungen werden mit Sonnensimulatoren der Klasse A gemäß IEC 60904-9 durchgeführt. Das gesamte CalLab ist gemäß ISO/IEC 17025, die Zellkalibrierung beim Deutschen Kalibrierdienst DKD akkreditiert. In Kooperation mit PV-Herstellern und mit Unterstützung des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMU) und der EU arbeiten wir an der kontinuierlichen Verbesserung unserer Messprozeduren und -genauigkeiten.

Das Leistungsangebot umfasst:

- Messung der spektralen Empfindlichkeit der Solarzellen und Referenzmodule
- Messung der Strom-Spannungskennlinie bei STC (1000 W/m<sup>2</sup>, AM 1,5 und 25 °C) an Solarzellen und Modulen
- Messung der Temperatur- und Einstrahlungsabhängigkeit der Zell- bzw. Modulparameter
- Ermittlung von Leerlaufspannung, Kurzschlussstrom, Füllfaktor, Nennleistung, -strom und -spannung sowie Nennwirkungsgrad der Module bzw. Wirkungsgrad der Solarzellen.



Abb. 1: Neues Labor zur Leistungsmessung von PV-Modulen.



## Charakterisierung und Qualifizierung von elektrischen Komponenten

*Neben Photovoltaikzellen und -modulen vermisst, prüft und beurteilt das Fraunhofer ISE komplette PV-Systeme sowie einzelne Systemkomponenten. Hierzu gehören neben Wechselrichtern und Laderegler auch Gleichspannungskomponenten wie Leuchten, Batterien oder Fernsehgeräte.*

Bruno Burger, **Stephan Lux**, **Robert Thomas**, Heribert Schmidt

## Batterie-Prüflabor

Wir testen und qualifizieren für Hersteller, Systemintegratoren und Anwender Batterien aller gängigen Technologien und Ausführungen. Hierzu stehen frei programmierbare Anlagen zur Verfügung, mit denen beliebige Lade- und Lastgänge gefahren werden können. Auch mehrmonatige Langzeittests im Labor und in realen Anlagen bieten wir unseren Kunden an. Entwickler von Laderegler und Ladegeräten können ihre Geräte in Verbindung mit den entsprechenden Batterien testen und optimieren lassen.

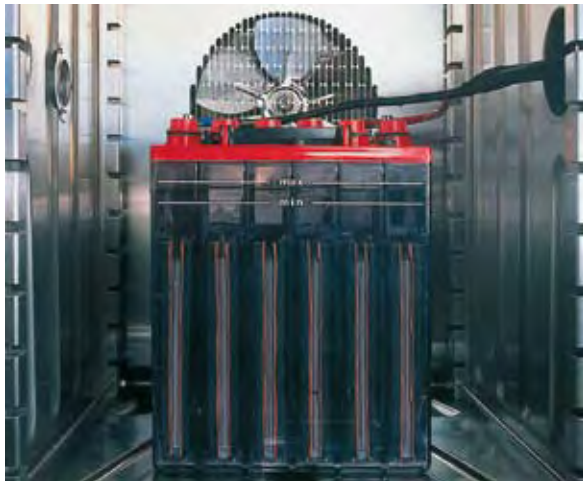


Abb. 1: In der Klimakammer können Wirkungsgrad und Kapazität sowie das Alterungs- und Ladeverhalten der Batteriespeicher unter variablen Bedingungen getestet werden.

## Messen und Prüfen von Lüftungsgeräten und Wärmepumpen

*Für Hersteller und Entwickler von Lüftungs-Kompaktgeräten mit integrierter Wärmepumpe führt das Fraunhofer ISE Messungen auf seinem Teststand durch. Wir verfügen über umfangreiche Erfahrungen mit großen Feldtests zur praktischen Evaluierung von Gebäuden und deren Energieversorgungssystemen.*

Sebastian Herkel, Marek Miara, Thore Oltersdorf, **Benoît Sicre**, Jeannette Wapler\*

\* PSE AG, Freiburg

## Prüfstand für Lüftungs-Kompaktgeräte

Auf unserem automatisierten Teststand messen wir die Energieeffizienz der Gesamtgeräte und ihrer Komponenten. Dabei können wir aus einer großen Bandbreite an Prüfbedingungen wählen. Aus den Messergebnissen leiten wir Empfehlungen ab, die die Komponenten und deren Zusammenwirken optimieren. In diesem Kontext unterstützen wir unsere Kunden auch bei der Umsetzung von Neuentwicklungen.

## Monitoring

Die Evaluierung von Energieversorgungssystemen in genutzten Gebäuden liefert verlässliche Daten über die real erreichte Effizienz sowie Hinweise auf Schwachstellen im Betrieb, der Nutzerführung sowie der Regelung. Aktuell führen wir ein Breiten-Monitoring von Wärmepumpenanlagen durch. Sowohl die Messtechnik als auch das Konzept der Evaluierung und Bewertung ist auf andere Techniken übertragbar.

## Luftdichtigkeitsmessungen und Luftwechselbestimmung

Die Luftdichtigkeit von Lüftungsgeräten messen wir mithilfe eines Indikatorgases nach der Konstant-Injektionsmethode im realen Betriebszustand. Dies kann sowohl auf dem Teststand durchgeführt werden als auch im Betrieb vor Ort. Mit der gleichen Apparatur bestimmen wir die Luftwechselrate im Gebäude nach der Konzentrationsabfallmethode.

## Prüfzentrum für Thermische Solaranlagen (PZTS)

Das PZTS am Fraunhofer ISE ist eine durch DIN CERTCO anerkannte Prüfstelle und durch das Deutsche Akkreditierungssystem Prüfwesen (DAP) voll akkreditiert. Wir prüfen Sonnenkollektoren sowie Komplettsysteme und unterstützen somit unsere Kunden bei der Entwicklung von solarthermischen Anlagenkomponenten.

Korbinian Kramer, Stefan Mehnert, **Matthias Rommel**, Arim Schäfer, Wolfgang Striewe, Christoph Thoma

Das PZTS bietet umfassende Dienstleistungen im Bereich der Kollektor- und Systemvermessung an. Wir nutzen einen großen Außen-Teststand mit einer südorientierten Freibewitterungsfläche von über 100 m<sup>2</sup> und betreiben seit mehr als sechs Jahren einen optimierten Tracker zur Vermessung der Leistungsparameter von Solarkollektoren. Regenteststand, mechanischer Belastungsteststand, sowie Teststände zur Durchführung von thermischen Innen- und Außenschocktests komplettieren die Möglichkeiten des PZTS alle nach EN 12975-1,2:2006 geforderten Prüfungen für Sonnenkollektoren durchzuführen.

Seit 2005 besteht für das PZTS eine volle Akkreditierung nach ISO 17025 durch DAP. Das PZTS ist über intensive Gremienarbeit maßgeblich in die internationale Solarthermieforschung und -normung eingebunden.

### Hagelschlagteststand

In diesem Jahr haben wir unsere Labors um einen Hagelschlagteststand erweitert. Damit ist es uns möglich, mit sehr guter Wiederholgenauigkeit standardisierte Eiskugeln mit variabel festlegbaren Geschwindigkeiten auf unterschiedlichste Kollektorgeometrien zu schießen.

### System- und Speicherteststand

Für die wachsende Nachfrage von Systemuntersuchungen haben wir ein neues Labor eingerichtet. Mit 80 m<sup>2</sup> unbeschatteter, nach Süden ausgerichteter Testfläche und direkt angeschlossenen 56 m<sup>2</sup> moderner Laborfläche können nun

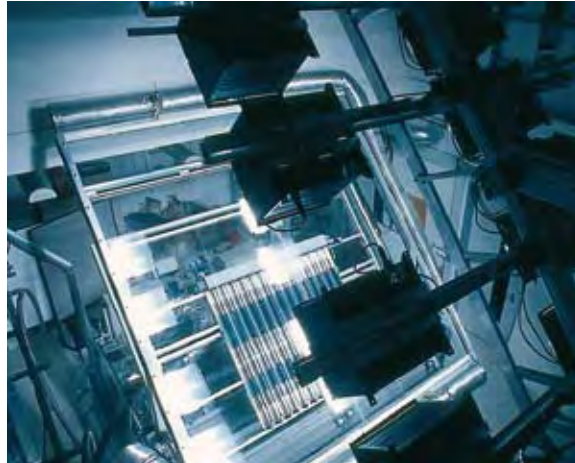


Abb. 1: Innen-Teststand mit Solarsimulator.

am PZTS bis zu vier vollständig aufgebaute Warmwasseranlagen parallel vermessen werden. Die Messeinbauten sind flexibel kombinierbar, so dass auch auf individuelle Rahmenbedingungen eingegangen werden kann. Das Labor bietet zusätzlich die Voraussetzungen, um Speichervermessungen nach EN 12977-3:2008 durchzuführen.

### Innen-Teststand mit Solarsimulator

Seit 2002 betreiben wir einen Innen-Teststand mit Solarsimulator. Sein großer Vorteil – speziell für die Entwicklung von Kollektoren – ist die hohe Wiederholgenauigkeit der Messbedingungen. Dadurch können wir in kurzer Zeit sehr effizient gezielte Entwicklungsarbeiten zur Verbesserung von Kollektorkonstruktionen durchführen.

### Mitteltemperatur-Teststand bis 200 °C

Seit 2006 nutzen wir unseren Mitteltemperatur-Teststand, mit dem wir Wirkungsgradkennlinien mit Arbeitspunkten bis zu 200 °C bestimmen können. Dadurch ist es uns möglich, experimentelle Entwicklungsarbeiten zu Prozesswärme-kollektoren durchzuführen.

### Solarluftkollektor-Teststand

Wir betreiben einen Teststand für Solarluftkollektoren, der sowohl bei Outdoor-Messungen mit dem Tracker als auch im Innen-Teststand mit Solarsimulator eingesetzt werden kann. Unser Angebot umfasst unter anderem Leckratenbestimmung, Druckverlustmessungen und die Bestimmung der Leistungsparameter.

## Vermessung von Fassaden und transparenten Bauteilen

*Entwicklern, Herstellern und Planern von Fassaden, Fassadenkomponenten und solaren Komponenten im Allgemeinen bietet das Fraunhofer ISE ein umfassendes Dienstleistungsangebot zur Charakterisierung von innovativen Bauteilen oder Materialien an. Für transparente Bauteile und Sonnenschutzsysteme stehen Speziallabors zur Bestimmung der optischen und thermischen Eigenschaften zur Verfügung, die nach DIN EN ISO/IEC 17025 akkreditiert sind. Außerdem verfügen wir über einen Tageslicht-Container und einen Außenprüfstand.*

Ulrich Amann, Johannes Hanek,  
Angelika Helde, **Tilmann Kuhn**,  
Werner Platzer, Jan Wienold,  
Helen Rose Wilson

### Thermisch-Optisches Prüf- und Lichtlabor (TOPLAB)

Die Eigenschaften von Verglasungen und Fassadenaufbauten mit komplexer Funktionalität können mit bestehenden Messverfahren wie DIN EN 410 oder DIN EN 13363 nicht ausreichend zuverlässig bestimmt werden. Deshalb haben wir Prüf- und Bewertungsmethoden entwickelt, mit denen wir energetische und lichttechnische Effekte exakt charakterisieren können. Unsere Apparaturen ermöglichen Messungen an Elementen bis über 1 m<sup>2</sup> mit folgenden Eigenschaften:

- Lichtstreuung und Lichtumlenkung
- makroskopische Strukturierung und Muster
- winkelselektive Eigenschaften
- zeitveränderliche Eigenschaften wie schaltbare Transparenz (photochrom, thermotrop, elektrochrom)
- Luftführung in der Fassade
- integrierte Photovoltaik

In die Bewertung können auch unterschiedliche Nutzerprofile einbezogen werden.



Abb. 1: Solarkalorimeter zur Bestimmung des Gesamtenergiedurchlassgrads (g-Wert). Seit 2006 ist das vom Fraunhofer ISE entwickelte Verfahren nach DIN EN ISO/IEC 17025 akkreditiert.

Standardprüfverfahren ergänzen unser Leistungsangebot. Spektrale Eigenschaften von Gläsern, Folien und Oberflächen bestimmen wir für unsere Kunden mit UV-VIS-NIR-Spektrometern.

### Beispiele der Apparaturen

- Solarkalorimeter zur Bestimmung des Gesamtenergiedurchlassgrads von transparenten Bauteilen und Sonnenschutz
- Wärmewiderstandmessungen an Verglasungen nach DIN EN 674
- winkelabhängige Transmissions- und Reflexionsmessungen mit großen Ulbrichtkugeln
- Messung der Winkelverteilung des transmittierten und reflektierten Lichts mit Photogoniometer

Das Labor ist seit 2006 nach DIN EN ISO/IEC 17025 akkreditiert. Dabei handelt es sich um eine flexible Akkreditierung, die auch am Fraunhofer ISE entwickelte und über den Stand der Technik hinausgehende Verfahren für g-Wert, Transmission, Reflexion und U-Wert umfasst. Das Prüflabor darf baurechtlich bei der Bestimmung des bauphysikalischen Kennwerts g (Gesamtenergiedurchlassgrad) einbezogen werden. Die Entwicklung der Prüfverfahren wurde teilweise öffentlich gefördert.

### Tageslichtmessräume

Die Tageslichtmessräume bestehen aus zwei identischen Büroräumen. Sie sind drehbar und ermöglichen beliebige Fassadenorientierungen. Wir erfassen über eine Wetterstation die Außenbedingungen und direkt an der Fassade die globale, vertikale Beleuchtungsstärke. In den Messräumen werden folgende Untersuchungen durchgeführt:

- Blendschutzprüfungen
- Nutzerakzeptanzuntersuchungen
- Vergleich der Beleuchtungssituation hinter zwei Fassadensystemen

### Fassadenprüfstand

Zusätzlich zu Labormessungen bieten wir die Vermessung von kompletten Fassaden unter realen Klimabedingungen an.

Langzeituntersuchungen ermöglichen Aussagen über Stabilität, Schaltverhalten und Belastungen der Fassade. Die Optimierung von Reglern kann experimentell validiert werden.



# Fakten im Überblick

Gastwissenschaftler

Mitarbeit in Gremien

Kongresse, Tagungen und Seminare

Vorlesungen und Seminare

Messebeteiligungen

Promotionen

Eingereichte Patente

Erteilte Patente

Pressearbeit

Veröffentlichungen in  
rezensierten Zeitschriften

Bücher und Beiträge zu Büchern

Vorträge

## Gastwissenschaftler

BSc.-Eng. Shelley Bambrook  
University of New South Wales  
Sydney, Australien  
1.3.2008–31.1.2009  
Arbeitsgebiet: Gebäudetechnik

Priscilla Braun  
Universidade Federal de Santa Catarina UFSC  
Florianópolis-SC, Brasilien  
1.4.2008–31.5.2009  
Arbeitsgebiet: Integration von PV-Systemen und  
Netzurückwirkung

César Domínguez Domínguez  
Instituto de Energía Solar de la Universidad  
Politécnica de Madrid, Spanien  
1.4.–30.6.2008  
Arbeitsgebiet: PV-Konzentrator  
Charakterisierung

MSc.-ME Anthony R. Florita  
University of Nebraska-Lincoln  
Omaha, Nebraska, USA  
1.6.2008–31.7.2009  
Arbeitsgebiet: Gebäudetechnik

MSc.-Ing. Francesco Frontini  
Politecnico di Milano  
Mailand, Italien  
1.6.2007–30.9.2008  
Arbeitsgebiet: Gebäudetechnik

MSc.-Ing. Michele Liziero  
Politecnico di Milano  
Mailand, Italien  
16.8.2008–15.3.2009  
Arbeitsgebiet: Gebäudetechnik

MSc.-Ing. Marco Olcese  
Istituto Nazionale di Fisica Nucleare  
Rom, Italien  
1.7.–15.9.2008  
Arbeitsgebiet: Solare Kühlung

MSc.-Ing. Graziano Salvalai  
Politecnico di Milano  
Mailand, Italien  
16.7.2008–15.7.2009  
Arbeitsgebiet: Gebäudetechnik

MSc.-Ing. Marta M. Sesana  
Politecnico di Milano  
Mailand, Italien  
1.11.2008–30.4.2009  
Arbeitsgebiet: Gebäudetechnik

Dr. Vatch Shimpalee  
University of South Carolina  
Columbia, South Carolina, USA  
2.–30.5.2008  
Arbeitsgebiet: Simulation von Brennstoffzellen

Prof. Dr. Fariborz Taghipour  
University of British Columbia  
Vancouver, Canada  
22.1.–31.7.2008  
Arbeitsgebiet: Simulation von  
Mikrobrennstoffzellen

MSc. (Tech.) Heli Talvitie  
Helsinki University of Technology  
Helsinki, Finnland  
1.12.2008–30.11.2009  
Arbeitsgebiet: Defektumlagerungen bei  
Temperaturbehandlungen von Silicium

Dr. John Weidner  
University of South Carolina  
Columbia, South Carolina, USA  
5.–30.4.2008  
7.6.–10.7.2008  
Arbeitsgebiet: Modellierung von  
Brennstoffzellen

## Mitarbeit in Gremien

Alliance for Rural Electrification  
- Mitglied

Arbeitskreis »Zukunftsthema Speicher«  
(Fraunhofer)  
- Mitglied

Bavaria California Technology Center (BaCaTec)  
- Kuratorium

Brennstoffzellen-Allianz-Baden-Württemberg  
(BzA-BW)  
- Mitglied und Vorstand

BSW Arbeitskreis Ländliche Elektrifizierung  
- Mitglied

Bundesverband Kraft-Wärme-Kopplung  
(B.KWK)  
- Mitglied

CAN in Automation (CiA)  
- Mitglied

Deutsche Elektrotechnische Kommission (DKE)  
- Komitee 373: »Photovoltaische  
Solarenergiesysteme«  
- Komitee 384: »Brennstoffzellen«  
- Arbeitsgruppe »Portable Fuel Cell Systems«  
- Ad-hoc-Arbeitskreis »Blitz- und  
Überspannungsschutz für Photovoltaik-  
Anlagen«  
- Arbeitskreis 221.1.4 »Errichten von  
Photovoltaik-Anlagen nach DIN VDE«

Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges  
Bauen e. V. (DGNB)  
- Mitglied

Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie e. V.  
(DGS)  
- Mitglied

Deutsche Meerwasserentsalzung e. V. (DME)  
- Mitglied

Deutsche Solarthermie-Technologieplattform  
(DSTTP), Steering Committee  
- Mitglied

Deutscher Wasserstoff- und Brennstoffzellen-  
Verband e. V.  
- Mitglied

Deutsches Institut für Normung DIN  
Fachnormenausschuss Heiz- und  
Raumluftechnik (NHRS AA1.56)  
»Solaranlagen«  
- Mitglied  
Fachnormenausschuss Lichttechnik (FNL 6)  
»Innenraumbelichtung mit Tageslicht«  
- Mitglied  
Fachnormenausschuss Lichttechnik (FNL 21)  
»Spiegelmaterial für die Lichttechnik«  
- Mitglied

Normenausschuss Bau NABau 00.82.00  
»Energetische Bewertung von Gebäuden«  
- Mitglied

Gemeinschaftsausschuss NABauNHRS  
»Energetische Bewertung von Gebäuden«  
- Mitglied

Erfahrungsaustauschkreis Thermische  
Solaranlagen und ihre Bauteile (EK-TSuB)  
- Stellvertretender Obmann

Europäisches Komitee für Normung CEN  
TC33/WG3/TG5  
- Mitglied

Europäisches Komitee für Normung CEN  
TC129/WG9  
- Mitglied

European Center for Power Electronics e. V.  
(ECPE)  
- Mitglied

European H2/FC Technology Platform  
- Mitglied

European Photovoltaic Industry Association  
(EPIA)  
- Assoziiertes Mitglied

European Renewable Energy Centres Agency  
(EUREC Agency)  
- Mitglied

European Solar Thermal Technology Platform  
(ESTTP), Steering Committee  
- gewähltes Mitglied

EU PV Technology Platform, Steering  
Committee  
- Stellvertretender Vorsitzender

EU PV Technology Platform, Arbeitsgruppe  
Science, Technology & Applications (WG3)  
- Mitglied

23<sup>rd</sup> European Photovoltaic Solar Energy  
Conference (EUPVSEC), Internationaler  
Wissenschaftlicher Beirat  
- Mitglied

European Solar Thermal Industry Federation  
(ESTIF)  
- Mitglied

EuroSun 2008 – 1<sup>st</sup> International Conference  
on Solar Heating, Cooling and Buildings,  
Wissenschaftlicher Beirat  
- Mitglied

Euro Solar: The European Association for  
Renewable Energy  
- Mitglied

Expertenkommission der Bundesregierung  
»Forschung und Innovation«  
- Mitglied

Fachausschuss Tageslicht der Lichttechnischen  
Gesellschaft (LitG)  
- Mitglied

Fachinstitut Gebäude-Klima (FGK)  
Arbeitskreis »Expertenkreis Klimaschutz«  
- Mitglied

Fachnormenausschuss Lichttechnik (FNL 21)  
»Spiegelmaterial für die Lichttechnik«  
- Mitglied

Fachverband Transparente  
Wärmedämmung e. V.  
- Mitglied

Fesa e. V.  
- Mitglied

FIT Mikroenergietechnik  
- Mitglied und Leitung

FitLicht – Fördergemeinschaft innovative  
Tageslichtnutzung  
- Mitglied

ForschungsVerbund Erneuerbare Energien (FVEE)  
- Mitglied und Sprecher

Forum für Zukunftsenergien  
- Mitglied

Fraunhofer-Allianz Energie  
- Geschäftsführung und Vorsitzender

Fraunhofer-Allianz Bau  
- Mitglied

Fraunhofer-Allianz SysWasser  
- Mitglied

Fraunhofer-Netzwerk Batterien  
- Mitglied

Fraunhofer-Netzwerk Intelligente Energienetze  
- Koordination

Fraunhofer-Netzwerk Windenergie  
- Mitglied

Fraunhofer Zukunftsperspektive  
Mikroenergietechnik  
- Mitglied und Leitung

Freiburger Verein für Arbeits- und  
Organisationspsychologie  
- Vorstand

Fuel Cell Europe  
- Mitglied

German Scholars Organization (GSO)  
- Präsident

Gettering and Defect Engineering in Semi-  
conductor Technology Conference (GADEST),  
Internationaler Programmbeirat  
- Mitglied

Global Village Energy Partnership (GVEP)  
- Mitglied

IEC TC82 WG7 for IEC Qualification Standards:  
Concentrator Photovoltaic (CPV)  
- Mitglied

Institut für Solare Energieversorgungstechnik  
(ISET), Wissenschaftlicher Beirat  
- Mitglied

International Commission on Glass (ICG)  
TC 10 »Optical Properties of Glass«  
- Mitglied

International Energy Agency (IEA), Paris,  
Frankreich:  
Solar Heating & Cooling Programme SHCP  
- Task 37 »Advanced Housing Renovation«  
- Task 38 »Solar Air-Conditioning and  
Refrigeration« (Leitung)  
- Task 39 »Polymeric Materials for Solar  
Thermal Applications« (Leitung)  
Energy Conservation in Buildings and  
Community Systems Programme ECBCS  
- Annex 47 »Cost Effective Commissioning«  
Energy Conservation through Energy Storage  
Programme ECES  
- Annex 18 »Transportation of Energy utilizing  
Thermal Energy Storage Technology«  
Heat Pump Programme HPP  
- Annex 32 »Economical Heating and Cooling  
Systems for Low Energy Houses«  
- Annex 34 »Thermally driven Heat Pumps«  
(Leitung)  
Photovoltaic Power Systems Programme  
- Taks 11: »PV Hybrids and Mini Grids«

International Science Panel on Renewable  
Energies (ISPREE)  
- Vorsitzender

International Solar Energy Society (ISES)  
- Mitglied

Kompetenzfeld Photovoltaik NRW  
- Mitglied

Kompetenznetzwerk Brennstoffzelle NRW  
- Mitglied

Lichttechnische Gesellschaft  
- Mitglied

Mikrosystemtechnik Baden-Württemberg  
(MST BW)  
- Beirat

M&EED Monitoring and Evaluation Working  
Group by Global Village Energy Partnership  
(GVEP) and European Union Energy Initiative  
(EUEI)  
- Mitglied

Scientific Advisory Board of Nanometer  
Structure Consortium (nmC)  
- Mitglied

Scientific Advisory Council of EURAC Research  
- Mitglied



## Mitarbeit des Fraunhofer ISE an der Organisation von Kongressen, Tagungen und Seminaren

Scientific Commission to the ENI Science and Technology Award  
- Mitglied

SEMI International Board of Directors  
- Mitglied

Semi<sup>®</sup> Standards – Photovoltaic Equipment Interface Specification, Task Force (PV-EIS)  
- Mitglied

14<sup>th</sup> Semiconducting and Insulating Materials Conference (SIMC), Internationaler Wissenschaftlicher Beirat  
- Mitglied

Stiftung Solarenergie  
- Beirat

Symposium Licht und Architektur  
- Wissenschaftlicher Beirat

Symposium Photovoltaische Solarenergie  
- Wissenschaftlicher Beirat

VDI Gesellschaft »Technische Gebäudeausrüstung«  
- Richtlinienausschuss 4706

VDI Gesellschaft »Energie und Umwelt«  
- Richtlinienausschuss VDI 4650, Blatt 1  
- Richtlinienausschuss VDI 4650, Blatt 2

VDMA – The German Engineering Federation Productronics Association/Dachverband Deutsches Flachdisplay-Forum (DFF) Arbeitsgemeinschaft Organic Electronics Association (OE-A)  
- Mitglied

VDMA Arbeitskreis Industrienetzwerk Brennstoffzellen  
- Mitglied

Verband zu Energieeffizienz in Gebäuden  
- Gründungsmitglied

Verein Deutscher Elektrotechniker  
- ETG-Fachausschuss »Brennstoffzellen«

Verein Deutscher Ingenieure (VDI) VDI-Gesellschaft Energietechnik  
- Fachausschuss »Regenerative Energien« (VDI-FARE)

VMPA – Verband der Materialprüfämter e. V.  
- Sektorgruppe »Türen, Fenster und Glasprodukte«

Weiterbildungszentrum WBZU »Brennstoffzelle«, Ulm  
- Mitglied im Aufsichtsrat

Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung ZSW  
- Kuratorium

OTTI Energie Kolleg:  
4. Anwenderforum Dünnschicht-Photovoltaik Module – Systeme – Anwendungen Kloster Banz, Bad Staffelstein, 11./12.2.2008

Workshop SiliconFOREST 2008 Fortschritte in der Entwicklung von Solarzellen-Strukturen und Technologien Falkau, 24.–27.2.2008

23. Symposium Photovoltaische Solarenergie Kloster Banz, Bad Staffelstein, 5.–7.3.2008

International Conference »Sustainable Cooling Systems« Wien, Österreich, 31.3./1.4.2008

CLEO-PHASE Conference on Lasers and Electro-Optics San Jose, Kalifornien, USA, 5.–9.5.2008

33<sup>rd</sup> IEEE Photovoltaic Specialists Conference San Diego, Kalifornien, USA, 11.–16.5.2008

Intersolar 2008:  
4<sup>th</sup> PV Industry Forum 2008 München, 10./11.6.2008 (Advisory Board)

Intersolar 2008: OTTI-Seminar »Solar Air-Conditioning Experiences and Practical Application« München, 11.6.2008

»Workshop on Polygeneration« des KTH (Royal Institute of Technology) Stockholm, Schweden, 16.6.2008

NOW-Workshop 2008 Regenerativer Wasserstoff aus der Elektrolyse Ulm, 7.7.2008

23<sup>rd</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition Valencia, Spanien, 1.–5.9.2008

BBR Kongress zur Klimatisierung von Büro- und Verwaltungsbauten – Fachveranstaltung zu den Aspekten des Sommerlichen Wärmeschutzes von Büro- und Verwaltungsbauten Dresden, 30.9.2008

EnOB-Symposium »Auf dem Weg zu Nullenergie-Gebäuden – Erfahrungen und Impulse aus dem Förderschwerpunkt Energieoptimiertes Bauen« Dresden, 1./2.10.2008

Netzferne Stromversorgung mit Photovoltaik Freiburg, 7.–9.10.2008

Solar Summits Freiburg International Conference on Renewable and Efficient Energy Use »Silicon Materials for Photovoltaics« Freiburg, 22.–24.10.2008

EMV, Blitz- und Brandschutz für Solaranlagen Regensburg, 5./6.11.2008

5<sup>th</sup> International Conference on Solar Concentrators Palm Desert, Kalifornien, USA, 17.–19.11.2008 (Program Committee)

DBU-Workshop »Kälte aus Wärme« Osnabrück, 2./3.12.2008

ETG-VDE Workshop Ländliche Elektrifizierung Frankfurt, 3./4.12.2008

## Vorlesungen und Seminare

Dr. Thomas Aicher  
Dr. Tom Smolinka  
»Energieverfahrenstechnik«  
Vorlesungen WS 07/08 und  
WS 08/09  
Hochschule Offenburg  
Studiengang Elektrotechnik/  
Informationstechnik<sup>Plus</sup>

Dr. Dietmar Borchert  
»Photovoltaik«  
Vorlesung SS 08  
TFH Georg Agricola zu Bochum  
Fachbereich Maschinentechnik

Dr. Bruno Burger  
»Solar-Technologien«  
Vorlesung SS 08  
Berufsakademie Ravensburg  
Studiengang Elektrotechnik-  
Automatisierungstechnik

Dr. Bruno Burger  
»Leistungselektronische Systeme für  
regenerative Energiequellen«  
Vorlesung WS 08/09  
Universität Karlsruhe  
Fakultät für Elektrotechnik und  
Informationstechnik

Priv. Doz. Dr. Andreas Gombert  
»Optische Eigenschaften von Mikro- und  
Nanostrukturen«  
Vorlesung WS 07/08  
Albert-Ludwigs-Universität Freiburg  
Fakultät für Angewandte Wissenschaften

Dipl.-Ing. Sebastian Herkel  
»Solare Energiesysteme«  
Vorlesung SS 08  
Staatliche Akademie der Bildenden Künste,  
Stuttgart  
Studiengang Architektur

Dipl.-Ing. Sebastian Herkel  
Dipl.-Ing. Florian Kagerer  
Dipl.-Ing. Doreen Kalz  
Dipl.-Phys. Dirk Jacob  
Dr. Jens Pfafferott  
Dipl.-Ing. Jan Wienold  
»Sonderkapitel Klimagerechtes Bauen«  
Vorlesung SS 08  
Hochschule Biberach  
Studiengang Gebäudetechnik

Dipl.-Ing. Doreen Kalz  
»Efficient Cooling in Low-Energy  
Non-Residential Buildings«,  
»Low-Energy Residential Buildings«  
Vorlesung SS 08  
Hanyang University, Seoul/Ansan, Korea  
Im Bereich: Environment Friendly and  
Sustainable Construction

Dipl.-Ing. Doreen Kalz  
»Kühlung von Nichtwohngebäuden mit  
Umweltenergie«  
Vorlesung SS 08  
Hochschule Offenburg  
Studiengang Versorgungstechnik

Dr. Jens Pfafferott  
»Energieeffiziente Lüftung«  
Vorlesung SS 08  
Universität Stuttgart  
Studiengang Maschinenbau

Dr. Jens Pfafferott  
»Solares Bauen«  
Präsenzveranstaltung SS 08 und WS 08/09  
Universität Koblenz-Landau  
Fernstudiengang Energiemanagement

Dr. Werner Platzer  
»Thermische Solarenergie«  
Präsenzveranstaltung WS 08/09  
Universität Koblenz-Landau  
Fernstudiengang Energiemanagement

Dr. Ralf Preu  
»Photovoltaik«  
Vorlesung WS 08/09  
Universität Freiburg  
Studiengang Renewable Energy Management

Prof. Dr. Roland Schindler  
»Photovoltaik I«  
Vorlesung WS 07/08  
»Photovoltaik II«  
Vorlesung SS 08  
Fernuniversität Hagen  
Fakultät für Mathematik und Informatik  
Fachrichtung Elektrotechnik und  
Informationstechnik

Dr. Heribert Schmidt  
»Photovoltaische Systemtechnik«  
Vorlesung SS 08  
Universität Karlsruhe  
Fakultät für Elektrotechnik und  
Informationstechnik

Prof. Dr. Eicke R. Weber  
»Photovoltaische Energiekonversion«  
Oberseminar WS 07/08  
Albert-Ludwigs-Universität Freiburg  
Fakultät für Physik und Mathematik

Prof. Dr. Eicke R. Weber  
Dr. Stefan Glunz  
»Photovoltaische Energiekonversion«  
Vorlesung SS 08  
Albert-Ludwigs-Universität Freiburg  
Fakultät für Physik und Mathematik

Prof. Dr. Eicke R. Weber  
Dr. Werner Platzer  
»Solarthermie«  
Vorlesung WS 08/09  
Albert-Ludwigs-Universität Freiburg  
Fakultät für Physik und Mathematik

Prof. Dr. Gerhard Willeke  
Priv. Doz. Dr. Giso Hahn  
»Solarzellen und Umweltaspekte bei deren  
Herstellung«  
Seminar SS 08  
»Halbleitertechnologie und Physik der  
Solarzelle«  
Vorlesung WS 08/09  
Universität Konstanz  
Fachbereich Physik

Prof. Dr. Volker Wittwer  
Dr. Stefan Glunz  
»Stromversorgung im kleinen Leistungsbereich«  
Vorlesung WS 07/08  
Albert-Ludwigs-Universität Freiburg  
Fakultät für Angewandte Wissenschaften

## Messebeteiligungen

GET – Gebäude.Energie.Technik  
Freiburg, 15.–17.2.2008

23. Symposium Photovoltaische Solarenergie  
Kloster Banz, Bad Staffelstein  
5.–7.3.2008

NHA Annual Hydrogen Conference and  
Hydrogen Expo  
Sacramento, Kalifornien, USA, 30.3.–4.4.2008

Hannover Messe Industrie, HMI 2008  
Hannover, 21.–25.4.2008

Intersolar 2008  
Internationale Fachmesse und Kongress für  
Solartechnik  
München, 12.–14.6.2008

Intersolar North America 2008  
San Francisco, Kalifornien, USA, 15.–17.7.2008

23<sup>rd</sup> European Photovoltaic Solar Energy  
Conference and Exhibition  
Valencia, Spanien, 1.–5.9.2008

f-cell 2008  
Stuttgart, 29./30.9.2008

glasstec  
Düsseldorf, 21.–25.10.2008

electronica  
München, 10.–14.11.2008

## Promotionen

Andreas Grohe  
»Einsatz von Laserverfahren zur Prozessierung  
von kristallinen Silizium-Solarzellen«  
Universität Konstanz  
Konstanz, 2008

Stefan Henninger  
»Untersuchungen von neuen hochporösen  
Sorptionsmaterialien für Wärmetransforma-  
tionsanwendungen«  
Albert-Ludwigs-Universität Freiburg  
Freiburg, 2008

Martin Hermle  
»Analyse von Silizium- und III-V-Solarzellen  
mittels Simulation und Experiment«  
Universität Konstanz  
Konstanz, 2008

Marc Hofmann  
»Rear surface conditioning and passivation for  
locally contacted crystalline silicon solar cells«  
Universität Konstanz  
Konstanz, 2008

Matthias Meusel  
»Entwicklung von III-V-Mehrfachsolarzellen  
für die Anwendung im Weltraum«  
Universität Konstanz  
Konstanz, 2008

Stephan Riepe  
»Verteilung lebensdauerlimitierender Defekte  
in kristallinem Silicium für Solarzellen«  
Universität Konstanz  
Konstanz, 2008

Lisbeth Rochlitz  
»Entwicklung, Untersuchung und Modellierung  
eines Mikroreformers als Teil eines Systems  
zur netzfernen Stromversorgung mit PEM-  
Brennstoffzellen im Bereich einiger 100 Watt«  
Brandenburgische Technische Universität  
Cottbus (BTU)  
Cottbus, 2008

Thomas Roth  
»Analyse von elektrisch aktiven Defekten in  
Silicium für Solarzellen«  
(Analysis of electrically active defects in silicon  
for solar cells)  
Universität Konstanz  
Konstanz, 2008

Gerald Siefer  
»Analyse des Leistungsverhaltens von  
Mehrfachsolarzellen unter realen  
Einsatzbedingungen«  
Universität Konstanz  
Konstanz, 2008

Evelyn Schmich  
»High-temperature CVD processes for crystalline  
silicon thin-film and wafer solar cells«  
Universität Konstanz  
Konstanz, 2008

Martin Schubert  
»Detektion von infraroter Strahlung zur  
Beurteilung der Materialqualität von Solar-  
Silicium«  
Universität Konstanz  
Konstanz, 2008

Birger Zimmermann  
»Inversion of the layer sequence in organic solar  
cells – physical and technological aspects«  
Albert-Ludwigs-Universität Freiburg  
Freiburg, 2008



## Eingereichte Patente

Joachim Jaus, Andreas Bett, Armin Bösch,  
Frank Dimroth, Hansjörg Lerchenmüller  
»Solarzellenmodul und Verfahren zu seiner  
Herstellung«

Marc Hofmann, Stephan Kambor  
»Solarzelle mit strukturierter Rückseiten-  
passivierungsschicht aus SiO<sub>x</sub> und SiN<sub>x</sub> sowie  
Verfahren zur Herstellung«

Oliver Schultz, Stefan Glunz, Martin Hermle  
»Solarzelle und Solarzellenmodul mit ver-  
besserten Rückseitelektroden sowie  
Verfahren und Herstellung«

Andreas Bett, Joachim Jaus  
»Photovoltaisches Modul und dessen  
Verwendung«

Oliver Schultz, Filip Graneck, Andreas Grohe  
»Verfahren zum Aufbringen einer Struktur auf  
ein Halbleiterbauelement«

Daniel Kray, Jörg Bagdahn, Stefan Schönfelder  
»Verfahren zur mechanischen Charakterisierung  
von Produktionsanlagen für Siliciumwafer oder  
Solarzellen«

Heribert Schmidt, Bruno Burger  
»Wechselrichter«

Michael Oszcipok, Mario Zedda  
»Brennstoffzellenanordnung mit in Schindel-  
bauweise angeordneten Brennstoffzellen sowie  
Verwendungszwecke«

Michael Oszcipok  
»Passive Verdünnungseinheit zur Verdünnung  
von Brennstoffen«

Joachim Jaus, Andreas Bett, Michael Passig,  
Gerhard Peharz, Peter Nitz, Wolfgang Graf  
»Solarzellenbaugruppe mit reflektiver  
Sekundäroptik«

Timo Kurz  
»Brennstoffzellensystem mit Adsorptions-  
wärmespeicher zur Aufheizung und Gas-  
trocknung«

Mario Zedda, Michael Oszcipok,  
Alexander Dyck, Ulf Groos,  
FWB Kunststofftechnik GmbH  
»Herstellung von planaren elektrochemischen  
Wandlern«

Wilhelm Warta, Martin Kasemann  
»Kontaktlose Charakterisierung von Halbleiter-  
strukturen durch gezielte Teilabschattung«

Emily Mitchell, Stefan Reber, Evelyn Schmich  
»Konzept und Verfahren zur Herstellung von  
rückseitenkontaktierten Dünnschichtsolarmodulen«

Benoît Sicre, Thore Oltersdorf, Michael Hermann  
»Verteilerverbindungsstück für ineinander ver-  
schachtelte mehrkanalige Fluidführungs-  
apparate«

Michael Hermann, Benoît Sicre, Thore Oltersdorf  
»Verfahren zur Herstellung eines Bauelements  
mit Rippen zur Wärmeübertragung und derart  
hergestelltes Bauelement«

Joachim Jaus, Andreas Bett  
»Bodenplattenintegrierte Solarzellenbaugruppe«

Steffen Eccarius, Mario Zedda, Christoph Ziegler  
»Lokale Anpassung der Protonenleitfähigkeit  
(MEA-Segmentierung)«

Harry Wirth  
»Kompakter Solarkonzentrator«

Heribert Schmidt, Bruno Burger  
»Wechselrichter, insbesondere für Dünnschicht-  
module«

Christian Wachtel, Matthias Krieg,  
Thomas Jungmann, Michael Oszcipok  
»Gekoppeltes-Tank-Absorber-System für eine  
passive CO<sub>2</sub>-Absorption in Direktalkohol-  
brennstoffzellen«

Peter Nitz  
»Photovoltaik-Vorrichtung und Verfahren zur  
Herstellung einer Konzentratoroptik«

Nicola Mingirulli, Daniel Biro, Christian Schmiga,  
Jan Specht, David Stüwe  
»Metallkontaktstruktur und Herstellungs-  
verfahren auf unebenen Substraten zur  
Anwendung bei rückseitig kontaktierten  
Solarzellen«

Martin Schubert, Martin Kasemann,  
Wilhelm Warta, Peter Würfel  
»Verfahren und Anordnung zur Messung der  
Diffusionslänge von Ladungsträgern in Halb-  
leitern (Zellen/Wafer) unter experimenteller  
Berücksichtigung der Oberfläche und zur  
Messung von Serienwiderständen«

Philipp Rosenits, Thomas Roth, Stefan Glunz  
»Verfahren zur Bestimmung der Überschuss-  
ladungsträgerlebensdauer in einer Halbleiter-  
schicht«

Harry Wirth  
»PV-Modul mit vorgespannten Solarzellen«

Damian Pysch, Stefan Glunz  
»Heterosolarzellen mit einem Tunnel-  
Aluminiumoxid (HALO)«

Martin Kasemann, Martin Hermle, Filip Graneck  
»Verfahren und Messung zur Oberflächen-  
rekombinationsgeschwindigkeit an Halbleitern«

Kolja Bromberger, Bettina Lenz  
»Thermo-pneumatisches Mikro-Ventil auf Basis  
von Phasenwechsel-Material«

Markus Glatthaar, Stefan Rein, Jonas Haunschild  
»Lumineszenzscanner zur Charakterisierung von  
Siliciumsolarmodulen«

Michael Hermann, Stefan Gschwander  
»Automatisiertes Wärmetransportsystem«

Valentin Radtke, Jonas Bartsch, Matthias Hörteis  
»Lichtinduzierte galvanische Pulsabscheidung  
zur Verstärkung von Metallkontakten von  
Solarzellen«

Kolja Bromberger, Bettina Lenz  
»Anordnung einer Thermo-Kapillar-Mikropumpe  
mit der Möglichkeit der Dosierung und  
Mischung verschiedener Stoffe«

Kolja Bromberger, Bettina Lenz  
»Mikro-Wasserabscheider auf Basis von Kapillar-  
effekten«

Kolja Bromberger, Bettina Lenz  
»Passives Thermosensitives Mikroventil«

Eva Zschieschang, Dietmar Gerteisen,  
Mario Zedda, Volker Ackermann  
»Brennstoffzellenanordnung und Verfahren zu  
deren Herstellung«

Johannes Giesecke  
»Methode zur Eliminierung des Reflexions-  
einflusses bei Photolumineszenz-Lebensdauer-  
messungen an nicht-planaren Siliciumscheiben«

## Erteilte Patente

Andreas Georg, Wolfgang Graf, Josef Steinhart,  
Volker Wittwer  
»Optisch transparentes Leichtbauelement«

Oliver Schultz, Marc Hofmann  
»Halbleiterbauelement und Verfahren zu  
dessen Herstellung sowie dessen Verwendung«

Ferdinand Schmidt, Hans-Martin Henning,  
Gunther Munz, Gerald Rausch, Andrea Berg,  
Norbert Rodler, Cornelia Stramm  
»Adsorptions-Wärmepumpe, Adsorptions-  
Kältemaschine und Adsorberelement hierfür«

Alexander Susdorf, Peter Hübner, Jürgen Koy,  
Angelika Heinzl, Klaus Wanninger,  
Albert Chigapov  
»Ce/Cu/Mn-Katalysatoren«

Daniel Kray  
»Verfahren und Vorrichtung zur Werkstück-  
trocknung und/oder Trockenhaltung bei der  
flüssigkeitsstrahlgeführten Bearbeitung eines  
Werkstücks«

Stefan Glunz, Ansgar Mette, Ralf Preu,  
Christian Schetter  
»Halbleiterbauelement mit einem auf min-  
destens einer Oberfläche angeordneten  
elektrischen Kontakt«

Hans-Martin Henning, Walter Mittelbach  
»PKW-Klimaanlagen mit Adsorptions-  
wärmepumpen«

Bruno Burger, Hansjörg Lerchenmüller  
»Wechselrichter mit integrierter Ansteuerung  
und Regelung für einen Tracker«

Christian Bichler  
»Wärmespeicher sowie Verwendung des  
Wärmespeichers in einem Heizungssystem mit  
Solaranlage und Wärmepumpe«

Dietmar Gerteisen  
»Verfahren zur Herstellung von Gasdiffusions-  
schichten, derart hergestellte Gasdiffusions-  
schichten und diese enthaltende Brenn-  
stoffzellen«

Ferdinand Schmidt, Lena Schnabel,  
Hans-Martin Henning, Tomas Núñez,  
Stefan Henninger  
»Zylinderförmiger Wärmetauscher in thermi-  
schem Kontakt mit einem Adsorbens«

Andreas Grohe, Jan-Frederik Nekarda,  
Oliver Schultz  
»Verfahren zur Metallisierung von Halb-  
leiterbauelementen und deren Verwendung«

Frank Dimroth  
»Transparenter Kontakt und Verfahren zu  
dessen Herstellung«

Andreas Bühring, Christian Bichler  
»Fluid-Luft-Kombiverdampfer und neues  
Schaltkonzept für eine Wärmepumpe in einem  
Lüftungsgerät«

Tilman Kuhn, Christoph Mayrhofer,  
Jürgen Frick, Michael Hermann, Jan Wienold,  
Volker Wittwer  
»Splitterschutz mit optischer und thermischer  
Funktionalität«

## Pressearbeit

### Presseinformationen

[www.ise.fraunhofer.de/german](http://www.ise.fraunhofer.de/german)

- 2.1.2008  
Wasser für die Ärmsten
- 15.1.2008  
Fraunhofer ISE stellt neuen Rekord für Wechselrichterwirkungsgrad auf – SiC Transistoren erhöhen Effizienz von Solarstromanlagen
- 20.1.2008  
Die Sonne und den Erfolg im Fokus – Concentrix Solar erhält den Innovationspreis der Deutschen Wirtschaft 2007
- 29.1.2008  
Solarzellen im Siebdruck
- 1.2.2008  
Strom aus der Folie
- 19.2.2008  
Fraunhofer Center für Silizium-Photovoltaik CSP erhält Millionenförderung
- 22.2.2008  
Prof. Joachim Luther wird Chief Executive Officer (CEO) des Solar Energy Research Institute of Singapore SERIS
- 29.2.2008  
Eni Award Science & Technology 2008 – Fraunhofer ISE Solarzellenforscher mit hoher italienischer Auszeichnung geehrt
- 3.3.2008  
Gut gedämmt ist gut gewärmt
- 10.3.2008  
Strom aus dezentralen Quellen intelligent vermarkten – Europäisches Projekt sucht nach neuen Lösungen
- 11.3.2008  
BMBF-Wettbewerb Spitzencluster – »Solarvalley Mitteldeutschland« eine Runde weiter
- 25.3.2008  
Auftakt der Kongressreihe »Solar Summits Freiburg« im Oktober 2008
- 2.4.2008  
Strom- und Gasverbrauch auf einen Blick
- 11.4.2008  
Von der Natur inspiriert – Dr. Michael Hermann erhält internationalen Bionic Award
- 15.4.2008  
Portable Brennstoffzellen auf dem Weg zum Prüfsiegel – Fraunhofer ISE und VDE kooperieren bei der Zertifizierung von Brennstoffzellensystemen
- 2.5.2008  
»SiliconFOREST« – die wissenschaftliche Zukunft der deutschen PV-Industrie Doktoranden-Austausch auf dem Feldberg
- 28.5.2008  
Fraunhofer und MIT gründen Forschungszentrum für erneuerbare Energie
- 5.6.2008  
Fraunhofer ISE und SorTech entwickeln Serienprodukt für Solare Kühlung – Adsorptionskältemaschine mit Erdsonden klimatisiert Institutskantine
- 10.6.2008  
Kongressreihe »Solar Summits Freiburg« startet im Oktober mit dem Thema »Silicon Materials for Photovoltaics«
- 19.6.2008  
»Eni Award« Preisverleihung in Gegenwart des italienischen Staatspräsidenten Giorgio Napolitano – Fraunhofer ISE Solarzellenforscher mit hoher italienischer Auszeichnung geehrt
- 30.6.2008  
Fraunhofer ISE koordiniert Projekt zur Senkung des Energieverbrauchs im Haushalt – Ressourcen schonen mit dem Stromzähler
- 3.7.2008  
37,6 % – europäischer Rekordwirkungsgrad für Solarzellen am Fraunhofer ISE
- 3.7.2008  
Fraunhofer ISE erreicht 28,5 % Wirkungsgrad bei Konzentratormodulen – In Konzentrator-Photovoltaik steckt noch viel Potenzial
- 11.7.2008  
Stromnetz bereit für große Mengen Solarstrom – Fraunhofer ISE veröffentlicht Untersuchungen zur Photovoltaik in Städten
- 22.7.2008  
Fraunhofer ISE stellt Weltrekord für Fluoreszenzkollektoren auf – Neue Wege zur Stromerzeugung aus Solarzellen
- 30.7.2008  
Ökonomische Anreize durch intelligentes Energiemanagement
- 11.8.2008  
Strom aus der Sonne – Zukunftsmarkt Photovoltaik im Fokus des Kongresses »Solar Summits 2008«
- 1.9.2008  
Fraunhofer in Korea – Trends für Megacitys
- 3.9.2008  
Fraunhofer erfolgreich beim Spitzencluster-Wettbewerb
- 17.9.2008  
Neuer Akzent bei Qualitätssicherung von Solarstrommodulen – VDE-Institut und Fraunhofer ISE weihen gemeinsames Testzentrum ein
- 22.9.2008  
39,7 % – neuer europäischer Rekordwirkungsgrad für Solarzellen am Fraunhofer ISE
- 9.10.2008  
VDE-Institut und Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE gründeten Unternehmen in Singapur
- 21.10.2008  
SIMTEC – Silicium Material Technologie und Evaluationscenter – Fraunhofer ISE weicht neues Labor für Silicium-Materialforschung ein
- 29.10.2008  
Überzeugende und rundum gelungene Premiere der internationalen Kongressreihe »Solar Summits Freiburg«
- 5.11.2008  
»inHaus2« Forschungszentrum für Nutzimmobilien in Duisburg – Fraunhofer ISE analysiert Energieeffizienz der Gebäudetechnik
- 1.12.2008  
Ein Platz für die Sonne: Der Wegbereiter der Solarenergie Adolf Goetzberger ist 80 Jahre alt
- 4.12.2008  
Wärmepumpen-Effizienz – Feldtest des Fraunhofer ISE – Erste Ergebnisse zeigen hohe Arbeitszahlen für Erdreichwärmepumpen



## Veröffentlichungen in rezensierten Zeitschriften

- Ahrens, B.; Löper, P.; Goldschmidt, J. C.; Glunz, S. W.; Henke, B.; Miclea, P.-T.; Schweizer, S.  
 »Neodymium-doped fluorochlorozirconate glasses as an upconversion model system for high efficiency solar cells«, *physica status solidi – Rapid Research Letters A* 205, pp. 2822–30 (2008)
- Alink, R.; Gerteisen, D.; Oszipok, M.  
 »Degradation Effects in Polymer Electrolyte Membran Fuel Cell Stacks by Sup-Zero Operation – An In Situ and Ex Situ Analysis«, in: *Journal of Power Sources*, Vol. 182/1, pp. 175–187 (2008)
- Benick, J.; Schultz-Wittmann, O.<sup>1</sup>; Schön, J.; Glunz, S. W.  
 »Surface Passivation Schemes for High-efficiency n-Type Solar Cells«, in: *physica status solidi – Rapid Research Letters*, published online, DOI:10.1002/pssr.200802124 (<sup>1</sup>: now with Solexel Inc., California, USA)
- Benick, J.; Hoex, B.<sup>1</sup>; Van de Sanden, M. C. M.<sup>1</sup>; Kessels, W. M. M.<sup>1</sup>; Schultz, O.; Glunz, S. W.  
 »High Efficiency n-Type Si Solar Cells on Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-passivated Boron Emitters«, in: *Applied Physics Letters*, Vol. 92, 253504 (2008)  
 (<sup>1</sup>: University of Technology, Department of Applied Physics, Eindhoven, The Netherlands)
- Borchert, D.; Rinio, M.  
 »Interaction Between Process Technology and Material Quality During the Process of Multicrystalline Silicon Solar Cells«, in: *Journal of Material Science: Materials in Electronics*, published online, 20.3.2008
- Böttger, G.; Dreschmann, M.; Klamouris, C.; Hübner, M.; Bett, A. W.; Kueng, T.; Becker, J.; Freude, W.; Leuthold, J.  
 »An Optically Powered Video Camera Link«, in: *IEEE Photonics Technology Letters*, Vol. 20, No. 1, pp. 39–41, Januar 2008
- Clement, M. F.; Lutsch, M.; Kubera, T.; Hoenig, R.; Wirth, H.; Harmel, C.; Wolke, W.; Biro, D.; Preu, R.  
 »Industrially Feasible Multi Crystalline Metal Wrap Through (MWT) Silicon Solar Cells«, in: *Solar Energy Materials and Solar Cells, Special Issue PVSEC 17*, published online, Doi:10.1016/j.solmat.2008.11.059, 2008
- Eccarius, S.; Krause, F.; Beard, K.<sup>1</sup>; Agert, C.  
 »Passively Operated Vapor-Fed Direct Methanol Fuel Cells for Portable Applications«, in: *Journal of Power Sources*, Vol. 182, pp. 565–579 (2008)  
 (<sup>1</sup>: Department of Chemical Engineering, University of South Carolina, Columbia, USA)
- Eccarius, S.; Garcia, B. L.<sup>1</sup>; Hebling, C.; Weidner, J. B.<sup>1</sup>  
 »Experimental Validation of a Methanol Crossover Model in DMFC Applications«, in: *Journal of Power Sources*, Vol. 179, pp. 723–733 (2008)  
 (<sup>1</sup>: Department of Chemical Engineering, University of South Carolina, Columbia, USA)
- Eduard, O.; Dimroth, F.; Bett, A. W.  
 »GaAs Converters for High Power Densities of Laser Illumination«, in: *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, Vol. 16, pp. 289–295, 22.1.2008
- Fell, A.; Kray, D.; Willeke, G. P.  
 »Transient 3D/2D Simulation of Laser-induced Ablation of Silicon«, in: *Applied Physics A*, published online: DOI:10.1007/s00339-008-4598-8, 20.5.2008
- Geerlings, E.; Rattunde, M.; Schmitz, J.; Kaufel, G.; Wagner, J.; Bläsi, B.; Kallweit, D.; Zappe, H.  
 »Widely Tunable Micro-Mechanical External-Cavity Diode Laser Emitting Around 2.1 µm«, in: *IEEE Journal of Quantum Electronics*, Vol. 44, No. 11, pp. 1071–1075, November 2008
- Georg, And.; Georg, A.; Graf, W.; Wittwer, V.  
 »Switchable Windows with Tungsten Oxide«, in: *Vacuum*, Vol. 82, pp. 730–735 (2008)
- Gerteisen, D.  
 »Realising a Reference Electrode in a Polymer Electrolyte Fuel Cell by Laser Ablation«, in: *Journal of Applied Electrochemistry*, Vol. 37, pp. 1447–1454 (2007)
- Gerteisen, D.; Heilmann, T.; Ziegler, C.  
 »Enhancing Liquid Water Transport by Laser Perforation of a GDL in PEM Fuel Cell«, in: *Journal of Power Sources* 177, No. 2, pp. 348–354 (2008)
- Gerteisen, D.; Alink, R.; Oszipok, M.  
 »Degradation Effects in PEM Fuel Cell Stacks by Sub-zero Operation – an In-situ and Ex-situ Analysis«, in: *Journal of Power Sources*, Vol. 182, pp. 175–187, 2008
- Giesecke, J.A.; The, M.; Kasemann, M.; Warta, W.  
 »Spatially Resolved Characterization of Silicon As-Cut Wafers with Photoluminescence Imaging«, in: *Progress in Photovoltaics*, published online, November 2008
- Gölz, S.; Biehler, M.  
 »Von der Energiesparforschung zur Energiepsychologie – Mögliche psychologische Perspektiven zur Gestaltung des künftigen Energiesystems am Beispiel des Smart Meterings«, in: *Umweltpsychologie*, Vol. 1, pp. 66–79, 2008
- Goetzberger, A.; Goldschmidt, J. C.; Peters, M.; Löper, P.  
 »Light Trapping, a New Approach to Spectrum Splitting«, in: *Solar Energy Materials and Solar Cells*, vol. 92, No. 12, pp. 1570–1578, December 2008
- Goldschmidt, J. C.; Peters, M.; Prönneke, L.; Steidl, L.; Zente, R.; Bläsi, B.; Gombert, A.; Glunz, S. W.; Willeke, G.; Rau, U.  
 »Theoretical and experimental analysis of photonic structures for fluorescent concentrators with increased efficiencies.« in: *physica status solidi (a)*, 2008. 205(12): pp. 2811–21
- Goldschmidt, J. C.; Peters, M.; Bösch, A.; Helmers, H.; Dimroth, F.; Glunz, S. W.; Willeke, G.  
 »Increasing the efficiency of fluorescent concentrator systems« in: *Solar Energy Materials and Solar Cells*, DOI:10.1016/j.solmat.2008.09.048, December 2008
- Granek, F.; Hermle, M.; Glunz, S. W.  
 »Analysis of the Current Linearity at Low Illumination of High-efficiency Back-junction Back-contact Silicon Solar Cells«, in: *physica status solidi – Rapid Research Letters*, Vol. 2, No. 4, pp. 151–153, August 2008
- Granek, F.; Hermle, M.; Huljic, D. M.; Schultz-Wittmann, O.; Glunz, S. W.  
 »Enhanced Lateral Current Transport via the Front N<sup>+</sup> Diffused Layer of N-Type High-Efficiency Back-Junction Back-Contact Silicon Solar Cell«, in: *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, published online, 29.10.2008
- Green, M. A.<sup>1</sup>; Emery, K.<sup>2</sup>; Hishikawa, Y.<sup>3</sup>; Warta, W.  
 »Solar Cell Efficiency Tables (Version 31)«, in: *Progress in Photovoltaics*, Vol. 16, pp. 61–67 (2008)  
 (<sup>1</sup>: The University of New South Wales, Sydney, Australia)  
 (<sup>2</sup>: National Renewable Energy Laboratory, Golden, CO, USA)  
 (<sup>3</sup>: National Institute of Advanced Industrial Science and Technology AIST, Tsukuba, Ibaraki, Japan)
- Gundel, P.; Schubert, M. C.; Warta, W.  
 »Origin of Trapping in Multicrystalline Silicon«, in: *Journal of Applied Physics*, Vol. 104, 073716, 3.10.2008
- Hassan, E. S.<sup>1</sup>; Elsherbiny, S. M.<sup>1</sup>; Hassan, A. A.<sup>1</sup>; Rommel, M.; Wieghaus, M.; Koschikowski, J.; Vatanserver, M.<sup>2</sup>  
 »PV and Thermally Driven Small-Scale, Stand-Alone Solar Desalination Systems with Very Low Maintenance Needs«, in: *Desalination*, Vol. 225, pp. 58–69 (2008)  
 (<sup>1</sup>: Mechanical Engineering Department, Alexandria University, Alexandria, Egypt)  
 (<sup>2</sup>: Fentec, Turkey)

- Herguth, A.<sup>1</sup>; Schubert, G.<sup>2</sup>; Kaes, M.<sup>1</sup>; Hahn, G.<sup>1,3</sup>  
 »Investigations on the Long Time Behaviour of the Metastable Boron-oxygen Complex in Crystalline Silicon«, in: Progress in Photovoltaics: Research and Applications, Vol. 16, pp. 135–140 (2008)  
 (1: University of Konstanz, Fachbereich Physik, Konstanz, Germany)  
 (2: Sunways AG, Konstanz, Germany)  
 (3: also with Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE, Freiburg, Germany)
- Hermann, J.; Zielger, C.  
 »Modeling the Dynamic Water Transport in the Porous Layers of PEM Fuel Cells Based on Numerical Upscaling«, in: Journal of the Electrochemical Society, Vol. 155, B1066–B1076, 2008
- Hermle, M.; Granek, F.; Schultz, O.; Glunz, S. W.  
 »Analysing the Effects of Front-surface Fields on Back-Back-junction Silicon Solar Cells Using the Charge-collection Probability and the Reciprocity Theorem«, in: Journal of Applied Physics, Vol. 103, 054507-1-7, March 2008
- Hermle, M.; Letay, G.; Phillips, S. P.; Bett, A. W.  
 »Numerical Simulation of Tunnel Diodes for Multi-junction Solar Cells«, in: Progress in Photovoltaics, Vol. 16, pp. 409–418 (2008)
- Hinsch, A.; Behrens, S.<sup>1</sup>; Berginc, M.<sup>2</sup>; Bönemann, H.<sup>3</sup>; Brandt, H.; DREWITZ, A.<sup>4</sup>; Einsele, F.<sup>5</sup>; Faßler, D.<sup>4</sup>; Gerhard, D.<sup>6</sup>; Gores, H.<sup>7</sup>; Haag, R.<sup>8</sup>; Herzig, T.<sup>7</sup>; Himmler, S.<sup>6</sup>; Khelashvili, G.<sup>1</sup>; Koch, D.<sup>9</sup>; Nazmutdinova, G.<sup>10</sup>; Opara-Krasovec, U.<sup>2</sup>; Putyra, P.<sup>11</sup>; Rau, U.<sup>12</sup>; Sastrawan, R.<sup>13</sup>; Schauer, T.<sup>9</sup>; Schreiner, C.<sup>7</sup>; Sensfuss, S.<sup>14</sup>; Siegers, C.<sup>13</sup>; Skupien, K.<sup>15</sup>; Wachter, P.<sup>7</sup>; Walter, J.<sup>15</sup>; Wasserscheid, P.<sup>2</sup>; Würfel, U.<sup>1</sup>; Zistler, M.<sup>3</sup>  
 »Material Development for Dye Solar Modules – Results from an Integrated Approach«, in: Progress in Photovoltaics: Research and Applications, Vol. 16, pp. 489–501, 2008  
 (1: Forschungszentrum Karlsruhe, Germany)  
 (2: National Institute of Chemistry, University of Ljubljana, Slovenia)  
 (3: Max-Planck-Institut für Kohlenforschung, Mülheim an der Ruhr, Germany)  
 (4: Gesellschaft zur Förderung von Medizin-, Bio- und Umwelt-Technologien GMBU e. V., Jena, Germany)  
 (5: Institute of Physical Electronics, University of Stuttgart, Germany)  
 (6: Lehrstuhl für Chemische Reaktionstechnik, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Germany)  
 (7: Institute of Physical and Theoretical Chemistry, University of Regensburg, Germany)  
 (8: Institut für Chemie und Biochemie, Freie Universität Berlin, Germany)  
 (9: Forschungsinstitute für Pigmente und Lacke e. V., Stuttgart, Germany)  
 (10: Thüringisches Institut für Textil- und Kunststoff-Forschung, Rudolfstadt, Germany)
- (11: Institute of Material Science and Metal Technology M-2, Cracow University of Technology, Poland)  
 (12: Forschungszentrum Jülich, Institut für Photovoltaik, Jülich, Germany)  
 (13: University of Freiburg, Freiburg Materials Research Center FMF, Freiburg, Germany)
- Hörteis, M.; Glunz, S. W.  
 »Fine Line Printed Silicon Solar Cells Exceeding 20 % Efficiency« in: Progress in Photovoltaics: Research and Applications, Vol 16, pp. 555–560, published online, DOI:10.1002/pip.850 (2008)
- Hofmann, M.; Kambor, S.; Schmidt, C.; Grambole, D.; Rentsch, J.; Glunz, S. W.; Preu, R.  
 »PECVD-ONO – A New Deposited Firing Stable Rear Surface Passivation Layer System for Crystalline Silicon Solar Cells«, in: Advances in OptoElectronics, published online, Article No. 485467, 4.6.2008
- Hofmann, M.; Schmidt, C.; Kohn, N.; Rentsch, J.; Glunz, S. W.; Preu, R.  
 »Stack System of PECVD Amorphous Silicon and PECVD Silicon Oxide for Silicon Solar Cell Rear Side Passivation«, in: Progress in Photovoltaics: Research and Applications, published online, DOI:10.1002/pip.835
- Jandieri, K.<sup>1</sup>; Baranovskii, S. D.<sup>1</sup>; Rubel, O.<sup>1</sup>; Stolz, W.<sup>1</sup>; Gebhard, F.<sup>1</sup>; Guter, W.; Hermle, M.; Bett, A. W.  
 »Resonant Tunneling as a Dominant Transport Mechanism in n-GaAs/p-GaAs Tunnel Diodes«, in: Applied Physics Letters, Vol. 92, 243504 (2008)  
 (1: Department of Physics and Material Sciences Center, Philipps University Marburg, Germany)
- Jandieri, K.<sup>1</sup>; Baranovskii, S. D.<sup>1</sup>; Rubel, O.<sup>1</sup>; Stolz, W.<sup>1</sup>; Gebhard, F.<sup>1</sup>; Guter, W.; Hermle, M.; Bett, A. W.  
 »Resonant Electron Tunneling Through Defects in GaAs Tunnel Diodes«, in: Journal of Applied Physics, Vol. 104, 094506, 11.11.2008  
 (1: Department of Physics and Material Sciences Center, Philipps University Marburg, Germany)
- Kasemann, M.<sup>1</sup>; Grote, D.; Walter, B.; Kwapil, W.; Trupke, T.<sup>2</sup>; Augarten, Y.<sup>2</sup>; Bardos, R. A.<sup>2</sup>; Pink, E.<sup>2</sup>; Abbott, M. D.<sup>2</sup>; Warta, W.  
 »Luminescence Imaging for the Detection of Shunts on Silicon Solar Cells«, in: Progress in Photovoltaics, DOI:10.1002/pip.812, January 2008  
 (1: University of Freiburg, Freiburg Material Research Center, Freiburg, Germany)  
 (2: The University of New South Wales, Sydney, Australia)
- Kasemann, M.<sup>1</sup>; Walter, B.; Meinhardt, C.; Ebser, J.; Kwapil, W.; Warta, W.  
 »Emissivity-corrected Power Loss Calibration for Lock-in Thermography Measurements on Silicon Solar Cells«, in: Journal of Applied Physics, Vol. 103, 113503, 5.6.2008  
 (1: University of Freiburg, Freiburg Material Research Center, Freiburg, Germany)
- Künle, M.; Janz, S.; Eibl, O.<sup>1</sup>; Berthold, C.<sup>2</sup>; Presser, V.<sup>2</sup>; Nickel, K.-G.<sup>2</sup>  
 »Thermal Annealing of SiC Thin Films with Varying Stoichiometry«, in: Material Science and Engineering B, DOI:10.1016/j.mseb.2008.10.056, 2008  
 (1: Eberhard Karls Universität Tübingen, Institute for Applied Physics, Tübingen, Germany)  
 (2: Eberhard Karls Universität Tübingen, Institute for GeoScience, Applied Mineralogy, Tübingen, Germany)
- Kurz, T.; Hakenjos, A.; Krämer, J.; Zedda, M.; Agert, C.  
 »An Impedance-based Predictive Control Strategy for the State-of-health of PEM Fuel Cell Stacks«, in: Journal of Power Sources, Vol. 180, pp. 742–747, 1.6.2008
- Laukamp, H.; Diaz, J.; Thoma, M.; Ebert, G.  
 »Get Connected: PV on the Grid«, in: Renewable Energy World, Vol. 11, Issue 1, January/February 2008
- Laukamp, H.; Diaz, J.; Erge, T.; Ebert, G.  
 »Results of a Housing Estate Case Study in Germany«, in: Renewable Energy World, pp. 82–87, January/February 2008
- Meyer, M.; Melke, J.; Gerteisen, D.  
 »Modelling and Simulation of a Direct Ethanol Fuel Cell Considering Multistep Electrochemical Reactions, Transport Processes and Mixed Potentials«, in: Journal of Power Sources, 18.8.2008
- Niggemann, M.; Zimmermann, B.; Haschke, J.; Glatthaar, M.; Bett, A. W.  
 »Organic Solar Cell Modules for Specific Applications – From Energy Autonomous Systems to Large Area Photovoltaics«, in: Thin Solid Films, Vol. 516, pp. 7181–7187 (2008)
- Niggemann, M.; Graf, W.; Gombert, A.  
 »Realization of Ultrahigh Photovoltages with Organic Photovoltaic Nanomodules«, in: Advanced Materials, No. 20, pp. 1–6, October 2008
- Niggemann, M.; Riede, M. K.; Gombert, A.; Leo, K.  
 »Light Trapping in Organic Solar Cells«, in: physica status solidi (a), 12, pp. 2862–2874 (2008)

Pfafferott, J.; Becker, P.<sup>1</sup>

»Erweiterung des Hitzewarnsystems um die Vorhersage der Wärmebelastung in Innenräumen«, in: BAUPHYSIK, Vol. 30, pp. 237–243, August 2008

(<sup>1</sup>: Deutscher Wetterdienst)

Philipps, S. P.; Ziegler, C.

»Computationally Efficient Modeling of the Dynamic Behaviour of a Portable PEM Fuel Cell Stack«, in: Journal of Power Source, Vol. 180, pp. 309–321, June 2008

Philipps, S. P.; Hermle, M.; Létay, G.; Dimroth, F.; George, B. M.; Bett, A. W.

»Calibrated Numerical Model of GaInP-GaAs Dual-junction Solar Cells«, in: physica status solidi – Rapid Research Letters, No. 4, pp. 166–168, 14.7.2008

Riede, M. K.<sup>1</sup>; Müller, T.<sup>1</sup>; Männig, B.<sup>1</sup>; Leo, K.<sup>1</sup>; Sylvester – Hvid, K. O.<sup>2</sup>; Zimmermann, B.<sup>2</sup>; Niggemann, M.; Gombert, A.

»Comment on »Roles of Donor and Acceptor Nanodomains in 6 % Efficient Thermally Annealed Polymer Photovoltaics««, in: Applied Physics Letters, Vol. 90, 163511 (2007)

(<sup>1</sup>: Technische Universität Dresden, Dresden, Germany)

(<sup>2</sup>: University of Freiburg, Freiburg Material Research Center, Freiburg, Germany)

Riede, M. K.<sup>1</sup>; Sylvester-Hvid, K. O.<sup>1</sup>; Glatthaar, M.<sup>1</sup>; Keegan, N.; Ziegler, T.; Zimmermann, B.<sup>1</sup>; Niggemann, M.; Liehr, A. W.<sup>1</sup>; Willeke, G.; Gombert, A.

»High Throughput Testing Platform for Organic Solar Cells«, in: Progress in Photovoltaics: Research and Applications, Vol. 16, pp. 561–576 (2008)

(<sup>1</sup>: University of Freiburg, Freiburg Material Research Center, Freiburg, Germany)

Roth, T.; Rüdiger, M.; Warta, W.; Glunz, S. W.

»Electronic Properties of Titanium in Boron-Doped Silicon Analyzed by Temperature-Dependent Photoluminescence and Injection-Dependent Photoconductance Lifetime Spectroscopy«, in: Journal of Applied Physics, Vol. 104, Issue 7, 074510, 2008

Rüdiger, M.; Trupke, T.; Würfel, P.; Roth, T.; Glunz, S. W.

»Influence of Photon Reabsorption on Temperature Dependent Quasi-steady-state Photoluminescence Lifetime Measurements on Crystalline Silicon«, in: Applied Physics Letters, Vol. 92, 222112, 6.6.2008

Schmich, E.; Lautenschlager, H.; Frieß, T.; Trenkle, F.; Schillinger, N.; Reber, S.

»n-Type Emitter Epitaxy for Crystalline Silicon Thin-Film Solar Cells«, in: Progress in Photovoltaics, Vol. 16, pp. 159–170 (2008)

Schöne, J.; Spiecker, E.; Dimroth, F.; Bett, A. W.; Jäger, W.

»Misfit Dislocation Blocking by Dilute Nitride Intermediate Layers«, in: Applied Physics Letters, Vol. 92, 081905, 26.2.2008

Siegers, C.<sup>1,2</sup>; Würfel, U.<sup>2</sup>; Zistler, M.<sup>3</sup>; Gores, H.<sup>3</sup>; Hohl-Ebinger, J.; Hirsch, A.; Haag, R.<sup>4</sup>

»Overcoming Kinetic Limitations of Electron Injection in the Dye Solar Cell Via Coadsorption and FRET«, in: ChemPhysChem 2008, Vol. 9, pp. 793–798, March 2008

(<sup>1</sup>: University of Toronto, Chemistry Department, Toronto, Canada)

(<sup>2</sup>: University of Freiburg, Freiburg Material Research Center, Freiburg, Germany)

(<sup>3</sup>: University of Regensburg, Institute of Physical and Theoretical Chemistry, Regensburg, Germany)

(<sup>4</sup>: Freie Universität Berlin, Institut für Chemie und Biochemie-Organische Chemie, Berlin, Germany)

Skupien, K.<sup>1</sup>; Putyra, P.<sup>1</sup>; Walter, J.<sup>1</sup>; Kozłowski, R.H.<sup>1</sup>; Khelashvili, G.<sup>2,3</sup>; Hirsch, A.; Würfel, U.<sup>4</sup>

»Catalytic Materials Manufactured by the Polyol Process for Monolithic Dye-Sensitized Solar Cells, in: Progress in Photovoltaics: Research and Applications, Vol. 17, pp. 67–73, 2008

(<sup>1</sup>: Cracow University of Technology, Poland)

(<sup>2</sup>: Forschungszentrum Karlsruhe, Germany)

(<sup>3</sup>: University of Heidelberg, Germany)

(<sup>4</sup>: University of Freiburg, Freiburg Materials Research Center FMF, Freiburg, Germany)

Steinkamp, K.; Schumacher, J. O.<sup>1</sup>; Goldsmith, F.<sup>2</sup>; Ohlberger, M.<sup>3</sup>; Ziegler, C.

»A Nonisothermal PEM Fuel Cell Model Including Two Water Transport Mechanisms in the Membrane«, in: Journal of Fuel Cell Science and Technology, Vol. 5, 011007, pp. 1–16, February 2008

(<sup>1</sup>: Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften, Winterthur, Switzerland)

(<sup>2</sup>: Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA, USA)

(<sup>3</sup>: University of Freiburg, Institute for Applied Mathematics, Freiburg, Germany)

van Heyden, H.<sup>1</sup>; Munz, G.<sup>2</sup>; Schnabel, L.; Schmidt, F.; Mintova, S.<sup>3</sup>; Bein, T.<sup>1</sup>

»Kinetics of Water Adsorption in Microporous Aluminophosphate Layers for Regenerative Heat Exchangers«, in: Applied Thermal Engineering, published online, July 2008

(<sup>1</sup>: Ludwig-Maximilians-Universität München)

(<sup>2</sup>: PSE AG, Freiburg)

(<sup>3</sup>: LMPC, Mulhouse, Frankreich)

Volz, K.<sup>1</sup>; Lackner, D.<sup>1</sup>; Németh, I.<sup>1</sup>; Kunert, B.<sup>1</sup>; Stolz, W.<sup>1</sup>; Baur, C.; Dimroth, F.; Bett, A. W.

»Optimization of Annealing Conditions of (GaIn)(NAS) for Solar Cell Applications«, in: Journal of Crystal Growth, Vol. 310, pp. 2222–2228 (2008)

(<sup>1</sup>: Department of Physics and Material Sciences Center, Philipps University Marburg, Germany)

Welsler, E.

»Memory-Effect of Ge in III-V Semiconductors«, in: Journal of Crystal Growth, Vol. 310, Issue 23, pp. 4799–4802, November 2008

Wieghaus, M.<sup>1</sup>; Koschikowski, J.<sup>1</sup>; Rommel, M.

»Solar Powered Desalination: An Autonomous Water Supply?«, in: Desalination (Filtration and Separation), Vol. 3, Issue 2, pp. 22–24 (Elsevier 2008)

(<sup>1</sup>: PSE AG, Freiburg)

Wieghaus, M.<sup>1</sup>; Koschikowski, J.<sup>1</sup>; Rommel, M.

»Solar Membrane Distillation Ideal for Remote Areas«, in: The International Desalination & Water Reuse – D&WR, Vol. 18, No. 3, pp. 37–40 (2008)

(<sup>1</sup>: PSE AG, Freiburg)

Würfel, U.<sup>1</sup>; Peters, M.; Hirsch, A.

»Detailed Experimental and Theoretical Investigation of the Electron Transport in a Dye Solar Cell by Means of a Three-Electrode Configuration«, in: Journal of Physical Chemistry C, Vol. 112(5), pp. 1711–1720, January 2008

(<sup>1</sup>: University of Freiburg, Freiburg Material Research Center, Freiburg, Germany)

Ziegler, C.; Heilmann, T.; Gerteisen, D.

»Experimental Study of Two-Phase Transients in PEMFCs«, in: Journal of the Electrochemical Society, Vol. 155 (4), B349–B355 (2008)

Alle weiteren Veröffentlichungen finden Sie auf unseren Internetseiten unter: [www.ise.fraunhofer.de/veroeffentlichungen2008](http://www.ise.fraunhofer.de/veroeffentlichungen2008)



## Bücher und Beiträge zu Büchern

Burger, B.; Rogalla, S.; Roth, W.  
»Projektbeschreibung: Self-Cleaning  
Photovoltaic Panels«, in: PtJ-/BMU-  
Forschungsjahrbuch »Erneuerbare Energien«  
2007/2008, Herausgeber Projektträger Jülich,  
2008, pp. 234

Hahn, G.  
»New Materials for Photovoltaic Energy  
Conversion – Solar Cells from Ribbon Silicon«,  
in: Renewable Energy – Sustainable Energy  
Concepts for the Future, Ed.: Bürke, T.;  
Wengenmayr, R., Wiley-VCH, Weinheim,  
1. Auflage 2008, pp. 42–49  
ISBN: 978-3-527-40804-7

Niggemann, M.; Gombert, A.  
»Novel Electrode Structures for Thin Film  
Organic Solar Cells«, in: Handbook Organic  
Photovoltaics – Materials, Device Physics and  
Manufacturing Technology, Ed.: Brabec, C.;  
Dyakonov, V.; Scherf, U., Wiley-VCH,  
Weinheim, 2008  
ISBN: 978-3-527-31675-5

Volz, K.; Stolz, W.; Teubert, J.; Klar, P. J.;  
Heimbrodt, W.; Dimroth, F.; Baur, C.;  
Bett, A. W.  
»Doping, Electrical Properties and Solar Cell  
Application of GaInNAs«, in: Dilute III-V Nitride  
Semiconductors and Material Systems, Ed. Ayşe  
Erol, Springer Verlag, 2008, pp. 319–404  
ISBN: 978-3-540-74528-0

Voss, K.<sup>1</sup>; Pfafferott, J.  
»Energieeinsparung contra Behaglichkeit?«,  
in: Umweltbewusstes Bauen, Hrsg. Maas, A.,  
Fraunhofer IRB Verlag, 2008, pp. 555–572  
(<sup>1</sup>: Bergische Universität Wuppertal)  
ISBN: 978-3-8167-7576-8

Wittstadt, U.  
»Electrolysis: Hydrogen Production Using  
Electricity«, in: Hydrogen as a Future Energy  
Carrier, Ed.: Züttel, A.; Borgschulte, A.;  
Schlapbach, L., Wiley-VCH, Weinheim,  
2008, pp. 155–163  
ISBN: 978-3-527-30817-0

## Vorträge

- Aicher, T.; Griesser, L.<sup>1</sup>  
 »Novel Process for CPOX and ATR of Liquid Fuels«, 11<sup>th</sup> Ulm Electrochemical Talks, Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung, Ulm, Germany, 11.–12.6.2008  
 (<sup>1</sup>: Griesser Engineering, Zurich, Switzerland)
- Aicher, T.; Griesser, L.<sup>1</sup>  
 »Katalytische Verdampfung – eine Lösung des Problems der Gemischbildung«, f-cell 2008, Peter Sauber Agentur, Stuttgart, Germany, 29./30.9.2008  
 (<sup>1</sup>: Griesser Engineering, Zurich, Switzerland)
- Alemán, M.; Glunz, S. W.  
 »Metallisierungstechnik für Solarzellen aus kristallinem Silicium«, DGO: »15. Leipziger Fachseminar«, Leipzig, Germany, 28.2.2008.
- Alemán, M.; Bay, N.; Rudolph, D.; Rublack, T.; Glunz, S. W.  
 »Front Side Metallization beyond Silver Paste: Silicide Formation/Alternative Technologies«, in: Proceedings, Workshop on Metallization of Crystalline Silicon Solar Cells, 6<sup>th</sup> Framework European Project Crystal Clear, Utrecht, The Netherlands, 1.10.2008
- Benick, J.; Hoex, B.<sup>1</sup>; Schultz, O.; Glunz, S. W.  
 »Surface Passivation of Boron Diffused Emitters for High-Efficiency Solar Cells«, 33<sup>rd</sup> IEEE Photovoltaic Specialists Conference, San Diego, CA, USA, 11.–16.5.2008  
 (<sup>1</sup>: University of Technology, Department of Applied Physics, Eindhoven, The Netherlands)
- Benick, J.  
 »Effective Passivation of Boron Diffused Emitters for High-Efficiency Solar Cells«  
 Oxford Instruments, Yatton, Great Britain, 16.12.2008
- Bett, A. W.  
 »Konzentratorphotovoltaik: Status und Erwartungen«, 23. Symposium Photovoltaische Solarenergie, OTTI, Bad Staffelstein, Germany, 5.–7.3.2008
- Bett, A. W.  
 »III-V MOVPE Growth For Solar Cell Applications«, 4<sup>th</sup> International Workshop on Crystal Growth Technology IWCGT-4, International Organization for Crystal Growth IOCG, Beatenberg, Switzerland, 18.–25.5.2008
- Bett, A. W.; Jaus, J.; Peharz, G.; Siefert, G.; Hakenjos, A.<sup>1</sup>; Heile, I.<sup>1</sup>; Lerchenmüller, H.<sup>1</sup>; Wüllner, J.<sup>1</sup>  
 »Outdoor Evaluation of FLATCON® Modules and Systems«, 33<sup>rd</sup> IEEE Photovoltaic Specialists Conference, San Diego, CA, USA, 11.–16.5.2008  
 (<sup>1</sup>: Concentrix Solar GmbH, Freiburg, Germany)
- Bett, A. W.  
 »Concentrating PV: A Technology Outlook«, Industry Day of Intersolar, PSE Intersolar, Munich, Germany, 10.6.2008
- Bett, A. W.  
 »Present Stage of MJC Research, Development and Industrialisation«, Workshop: Progress Towards a Next Generation Photovoltaics, IES-UPM Madrid, Madrid, Spain, 14.–16.10.2008
- Bett, A. W.  
 »Stand der konzentrierenden Photovoltaik«, 5. Workshop »Photovoltaik Modultechnik«, Cologne, Germany, 27./28.11.2008
- Bett, A. W.  
 »III-V-Based Solar Cell Approaching 50 % and CPV Systems Approaching 30 %«, Solar Summits 2008, Freiburg, Germany, 22.–24.10.2008
- Bett, A. W.; Dimroth, F.; Guter, W.; Jaus, J.; Passig, M.; Peharz, G.; Phillips, S.; Schöne, J.; Siefert, G.; Welsler, E.; Wolf, O.  
 »Hochkonzentrierende Photovoltaik mittels III-V Solarzellen«, Statusseminar Photovoltaik 2008, BMU, Berlin, Germany, 11./12.11.2008
- Bett, A. W.; Dimroth, F.; Guter, W.; Jaus, J.; Nitz, P.; Olvia, E.; Peharz, G.; Phillips, S.; Schöne, J.; Schult, T.; Siefert, G.; Steiner, M.; Welsler, E.  
 »Raising the Efficiency of FLATCON® Modules«, 5<sup>th</sup> International Conference on Solar Concentrators for the Generation of Electricity, National Renewable Energy Lab, Palm Desert, CA, USA, 16.–19.11.2008
- Biro, D.  
 »Status and Trends in Crystalline Silicon Solar Cell Manufacturing«, PHOTON 3<sup>rd</sup> PV Production Equipment Conference, PHOTON, Munich, Germany, 2.4.2008
- Biro, D.  
 »High Temperature Processes in Silicon Solar Cell Production«, Materials Valley – Herstellung von Si-Solarzellen, Heraeus, Hanau, Germany 18.4.2008
- Biro, D.  
 »Status and Trends of Crystalline Silicon Solar Cell Manufacturing«, Semicon Europa 2008, Semi, Stuttgart, Germany, 7.–9.10.2008
- Bongs, C.; Henning, H.-M.; Morgenstern, A.  
 »Modelling and Exergetic Assessment of a Sorptive Heat Exchanger for the Application in a Novel Desiccant Evaporative Cooling Cycle«, in: Proceedings, EuroSun 2008, 1<sup>st</sup> International Conference on Solar Heating, Cooling and Buildings, Lisbon, Portugal, 7.–10.10.2008, CD-Rom
- Bopp, G.; Pfanner, N.; Zimmermann, A.<sup>1</sup>  
 »Anspruch und Wirklichkeit Solarer Beleuchtungssysteme mit LED«, 23. Symposium Photovoltaische Solarenergie, OTTI, Bad Staffelstein, Germany, 5.–7.3.2008  
 (<sup>1</sup>: Phocos AG, Ulm, Germany)
- Bopp, G.; Kaiser, R.<sup>1</sup>  
 »Geschlossene Bleibatterien, Konstruktionsprinzipien, Materialien, Strom-/Spannungscharakteristik, Lebensdauer, Wartung, Wirtschaftlichkeit«, Profiseminar Wiederaufladbare Batteriesysteme, OTTI Technik-Kolleg, Ulm, Germany, 8.5.2008  
 (<sup>1</sup>: Robert Bosch GmbH, Stuttgart, Germany)
- Bopp, G.; Grüner, R.<sup>1</sup>; Lux, S.; Pfanner, N.; Zimmermann, A.<sup>1</sup>  
 »Claim and Reality of PV Lamps with LEDs«, 23<sup>rd</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Valencia, Spain, 1.–5.9.2008  
 (<sup>1</sup>: Deutsche Gesellschaft für technische Zusammenarbeit GTZ, Eschborn, Germany)  
 (<sup>2</sup>: Phocos AG, Ulm, Germany)
- Bopp, G.  
 »Batterien in netzfernen Stromversorgungsanlagen«, Profiseminar Netzferne Stromversorgung mit Photovoltaik, OTTI Energie-Kolleg, Freiburg, Germany, 8./9.10.2008
- Bopp, G.  
 »Solar Home Systeme und Einzelhausversorgung«, Profiseminar Netzferne Stromversorgung mit Photovoltaik, OTTI Energie-Kolleg, Freiburg, Germany, 8./9.10.2008
- Bopp, G.  
 »Elektrische Sicherheit, Errichtungsbestimmungen«, Profiseminar Netzferne Stromversorgung mit Photovoltaik, OTTI Energie-Kolleg, Freiburg, Germany, 8./9.10.2008
- Bopp, G.  
 »Erzeugen PV-Anlagen Elektrosmog?«, Profiseminar EMV, Blitz- und Brandschutz für Solaranlagen, OTTI Energie-Kolleg, Regensburg, Germany, 5./6.11.2008
- Bopp, G.  
 »Beispielhaft ausgeführter Blitzschutz bei Kollektoranlagen und netzgekoppelten PV-Anlagen«, Profiseminar EMV, Blitz- und Brandschutz für Solaranlagen, OTTI Energie-Kolleg, Regensburg, Germany, 5./6.11.2008
- Burger, B.; Kranzer, D.; Schmidt, H.  
 »98,5 % Wechselwirkungsgrad mit SiC MOSFETs«, 23. Symposium Photovoltaische Solarenergie, OTTI, Bad Staffelstein, Germany, 5.–7.3.2008

- Burger, B.  
»Solar Inverters – Market, Technology and Trends«, PCIM CHINA 2008, Shanghai, China, 18.–20.3.2008
- Burger, B.  
»Overview of Grid-Connected PV Inverters«, IEEE lecture organized by IEEE IAS/IES/PELS Joint Danish Chapter, Aalborg University, Denmark, 4.4.2008
- Burger, B.  
»High Efficiency PV Inverters Using SiC Transistors«, IEEE lecture organized by IEEE IAS/IES/PELS Joint Danish Chapter, Aalborg University, Denmark, 4.4.2008
- Burger, B.  
»Power Electronics for Photovoltaics – Review«, Seminar Power Electronics for Renewable Energies, OTTI, Munich, Germany, 10./11.6.2008
- Burger, B.  
»Power Electronics for Off Grid Photovoltaics«, Seminar Power Electronics for Renewable Energies, OTTI, Munich, Germany, 10./11.6.2008
- Burger, B.  
»Photovoltaic Inverters for Grid Connection« Seminar Power Electronics for Renewable Energies, OTTI, Munich, Germany, 10./11.6.2008
- Burger, B.  
»PV Inverters – Technology and Future Trends«, Intersolar North America Exhibition + Conference, San Francisco, CA, USA, 14.–17.7.2008
- Burger, B.; Goeldi, B.; Kranzer, D.; Schmidt, H.  
»98.8% Inverter Efficiency with SiC Transistors«, 23<sup>rd</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Valencia, Spain, 1.–5.9.2008
- Burger, B.; Reichert, S.  
»The Implications for PV of New Codes for Electricity Grids in Germany«, IEA PVPS Workshop, Valencia, Spain, 4.9.2008
- Burger, B.  
»Wechselrichter für Inselssysteme«, Seminar Netzferne Stromversorgung mit Photovoltaik, OTTI, Freiburg, Germany, 8./9.10.2008
- Burhenne, S.; Jacob, D.  
»Simulation Models to Optimize the Energy Consumption of Buildings«, in: Proceedings, The International Conference for Enhanced Building Operations (ICEBO'08), Berlin, Germany, 20.–22.10.2008, CD-Rom
- Bürfent, C.; Zillgith, M.; Wittwer, C.  
»Smart Metering Systems Using ZigBee Technology«, 2<sup>nd</sup> European ZigBee Developer's Conference, DESIGN&ELEKTRONIK, Munich, Germany, 24.6.2008
- Clement, F.; Menkö, M.; Kubera, T.; Hönig, R.; Harmel, C.; Kwapil, W.; Friz, J.; Wirth, H.; Biro, D.; Preu, R.  
»Die MWT-Solarzelle: Zell- und Modultechnologie«, ISFH Seminar, ISFH Hameln, Hameln, Germany, 10.6.2008
- Clement, F.; Menkö, M.; Erath, D.; Kubera, T.; Hönig, R.; Belledin, U.; Wolke, W.; Biro, D.; Preu, R.  
»High Throughput via Metallization Technique for Multi-Crystalline Metal Wrap Through (MWT) Silicon Solar Cells Exceeding 16 % Efficiency«, XVII International Materials Research Congress 2008, Sociedad Mexicana de Materiales (MRS-Mexico), Cancun, Mexico, 17.–21.8.2008
- Clement, F.; Menkö, M.; Erath, D.; Kubera, T.; Hönig, R.; Kwapil, W.; Wolke, W.; Biro, D.; Preu, R.; Neidert, M.<sup>1</sup>; Henning, A.<sup>1</sup>; Zhang, W.<sup>1</sup>  
»High Throughput via Metallization Technique for mc-Si Metal Wrap Through (MWT) Solar Cells Exceeding 16 % Efficiency«, in: Proceedings, Workshop on Metallization for Crystalline Silicon Solar Cells, 6<sup>th</sup> Framework European Project Crystal Clear, Utrecht, The Netherlands, 1.10.2008 (<sup>1</sup>: W.C. Heraeus, Hanau, Germany)
- Dimroth, F.  
»Hocheffiziente Mehrfachsolarzellen aus III-V Halbleitern«, Seminar: Spezielle Probleme der Festkörperphysik und der Materialentwicklung, Universität Freiburg, Freiburg, Germany, 25.4.2008
- Dimroth, F.; Hoheisel, R.; Guter, W.; Schöne, J.; Siefer, G.; Welsler, E.; Bett, A. W.  
»Development of Metamorphic 3-junction Solar Cells for LLT Operation in Space«, 33<sup>rd</sup> IEEE Photovoltaic Specialists Conference, San Diego, CA, USA, 11.–16.5.2008
- Dimroth, F.; Hoheisel, R.; Welsler, E.; Guter, W.; Hermle, M.; Philipps, S.; Siefer, G.; Baur, C.; Bett, A. W.  
»Multi-Junction Solar Cell Development for High End-of-Life Efficiency«, 8<sup>th</sup> International Workshop on Radiation Effects on Semiconductor Devices for Space Applications (RASEDA), Tsukuba, Japan, 15.–17.12.2008
- Ebert, G.  
»Energieerzeugung: Photovoltaik als Zukunftsvision«, Frühjahrssymposium der IndustrieBau, Munich, Germany, 15./16. 4. 2008
- Erath, D.; Biro, D.  
»Drucktechnische Anwendungen in der Silicium Photovoltaik«, Materials Valley Workshop, Heraeus, Darmstadt, Germany, 19.6.2008
- Erath, D.; Filipovic, A.; Retzlaff, M.; Götz, A.; Clement, F.; Biro, D.; Preu, R.  
»Advanced Screen Printing Technique for High Definition Front Side Metallisation of Crystalline Silicon Solar Cells«, in: Proceedings, Workshop on Metallization for Crystalline Silicon Solar Cells, 6<sup>th</sup> Framework European Project Crystal Clear, Utrecht, The Netherlands, 1.10.2008
- Erge, T.  
»Visionen zur Integration von PV-Strom in das Gesamtsystem der Energieversorgung«, 9. Forum Solarpraxis, Berlin, Germany, 20./21.11.2008
- Füldner, G.; Schnabel, L.  
»Non-Isothermal Kinetics of Water Adsorption in Compact Adsorbent Layers on a Metal Support«, in: Proceedings, COMSOL Conference 2008, Hannover, Germany, 4.–6.11.2008, CD-Rom
- Gerteisen, D.; Heilmann, T.; Ziegler, C.  
»Modeling Transient Effects in a PEM Fuel Cell Considering Flooding and Dehydrations«, in: Proceedings, Fuel Cells Science & Technology 2008, Elsevier, Copenhagen, Denmark, 8./9.10.2008
- Georg, A.  
»Transparente Elektroden für die organische PV«, in: Tagungsband, Transparent leitfähige Schichten, Neu-Ulm, Germany, 30.9.–1.10.2008
- Goetzberger, A.  
»Photovoltaik Quo Vadis?«, Festvortrag zum 80. Geburtstag von Prof. Dr. H. Flietner, Festkolloquium zum 80. Geburtstag von Prof. Dr. H. Flietner, HMI Berlin, Berlin, Germany, 29.2.2008
- Goetzberger, A.  
»How to Reconcile PV and Agricultural Crops?«, in: Proceedings, RENERGEX 2008, Dubai, United Arab Emirates, 4.–6.11.2008
- Goldschmidt, J. C.; Peters, M.; Dimroth, F.; Glunz, S. W.; Willeke, G.  
»Efficiency Enhancement of Fluorescent Concentrators with Photonic Structures and Material Combinations«, in: Proceedings, 23<sup>rd</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Valencia, Spain, 1.–5.9.2008



- Goldschmidt, J. C.; Löper, P.; Fischer, S.; Janz, S.; Peters, M.; Glunz, S. W.; Willeke, G.; Lifshitz, E.; Krämer, K.; Biner, D.  
»Advanced Upconverter Systems with Spectral and Geometric Concentration for High Upconversion Efficiencies«, in: Proceedings, IUMRS International Conference on Electronic Materials, Sydney, Australia, 2008
- Goldschmidt, J. C.; Peters, M.; Löper, P.; Fischer, S.; Janz, S.; Glunz, S. W.; Willeke, G.; Gombert, A.  
»Progress in Photonmanagement for Full Spectrum Utilization with Luminescent Materials«, QUANTSOL 2008 Winter workshop, Bad Gastein, Austria, 2./3.3.2008
- Goldschmidt, J. C.  
»Neuartige Solarzellenkonzepte« oder »Wie man Photonen managt?«, 83. Stipendiatenseminar der Deutschen Bundesstiftung Umwelt, Deutsche Bundesstiftung Umwelt, Roggenburg, Germany, 9.–13.6.2008
- Glunz, S. W.; Preu, R.  
»Hocheffiziente Siliciumsolarzellen – vom Labor in die Produktion«, in: Tagungsband, Statusseminar Photovoltaik 2008, BMU, Berlin, Germany, 11./12.11.2008
- Granek, F.  
»Analyse der Vorderseitenpassivierung von Back-Junction-Solarzellen«, SiliconFOREST Workshop, Falkau, Germany, 25.2.2008
- Granek, F.; Reichel, C.; Schultz O.; Glunz, S. W.  
»Analysis of the Front Surface Passivation of the Back-Junction Back-Contact Silicon Solar Cells«, Q-Cells AG, Thalheim, Germany, 19.3.2008
- Granek, F.; Hermle, M.; Reichel, C.; Grohe, A. O.; Schultz, O.; Glunz, S. W.  
»Positive Effects of Front Surface Field in High-efficiency Back-contact Back-junction N-Type Silicon Solar Cells«, 33<sup>rd</sup> IEEE Photovoltaic Specialists Conference, San Diego, CA, USA, 11.–16.5.2008
- Granek, F.; Hermle, M.; Reichel, C.; Schultz-Wittmann, O.; Glunz, S. W.  
»High-Efficiency Back-Contact Back-Junction Silicon Solar Cell – Research at Fraunhofer ISE«, in: Proceedings, 23<sup>rd</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Valencia, Spain, 1.–5.9.2008
- Granek, F.  
»Positive Effects of Front Surface Field in High-Efficiency Back-Contact Back-Junction Silicon Solar Cells«, ISFH Seminar, Institut für Solarenergieforschung Hameln (ISFH), Hameln, Germany, 25.11.2008
- Grohe, A.; Kray, D.  
»Laser Processions for the Application in Crystalline Silicon Solar Cell Manufacturing«, Workshop laser+photonics 2008, Fellbach, Germany, 22./23.4.2008
- Groos, U.  
»Micro Fuel Cells on their Way to the Daily Use – Today's Status and Future Challenges«, in: Proceedings, Hot Spot Micro Energy – BMBF Leitinnovation Mikrobrennstoffzelle, VDI/VDE-IT, Stuttgart, Germany, 7.10.2008
- Gundel, P.; Schubert, M. C.; Warta, W.  
»Analysis of the Physical Origin of Trap Centres and Their Effect on Solar Cells«, 23<sup>rd</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Valencia, Spain, 1.–5.9.2008
- Guter, W.; Dimroth, F.  
»Comparison of different TMIn Precursors for the Growth of Ga<sub>1-x</sub>In<sub>x</sub>P«, 14<sup>th</sup> International Conference of Metalorganic Vapor Phase Epitaxy, UMI Georgia Tech CNRS France, Metz, France, 2.–6.6.2008
- Guter, W.  
»III-V basierte Hochleistungssolarzellen«, Stipendiatenseminar der Deutschen Bundesstiftung Umwelt, Deutsche Bundesstiftung Umwelt, Bad Bederkesa, Germany, 23.–27.6.2008
- Guter, W.; Bett, A. W.; Dimroth, F.; Schöne, J.; Welsler, E.  
»III-V Multi-Junction Solar Cells for Photovoltaic Application«, in: International Symposium on Optoelectronic Materials and Devices, University of Illinois, Chicago, USA, 13.–18.7.2008
- Hahn, G.  
»Folien-Silizium für die Photovoltaik – Vorteile und Herausforderungen«, Deutsche Gesellschaft für Kristallzüchtung und Kristallwachstum e. V., Munich, Germany, 6.3.2008
- Hahn, G.  
»Folien-Silizium für die Photovoltaik«, Universität Halle-Wittenberg, Halle, Germany, 16.7.2008
- Hahn, G.  
»Folien-Silizium für die Photovoltaik – Vorteile und Herausforderungen«, Elektrotechnisches Kolloquium, Universität Stuttgart, Stuttgart, Germany, 18.11.2008
- Hausmann, T.  
»Aktuelle Entwicklungen bei PCMs in Gebäuden«, in: Tagungsband, ENOVA 2008, Pinkafeld, Austria, 20./21.11.2008, pp. 59–65
- Hebling, C.  
»Micro Water-Management by Means of Optimization of Fuel Cell Components«, Deutsch-Kanadischer Workshop PEMFC, Ottawa, Kanada, 6.2.2008
- Hebling, C.  
»Micro Energy Technology – Power to Go«, Vortrag bei Duracell, Bethel, CT, USA, 8.2.2008
- Hebling, C.  
»Degradation Effects in PEM Fuel Cell Stacks at sub-zero operation...an in-situ and ex-situ analysis«, IEA-HEV Workshop Cold Start Behaviour of Fuel Cell Vehicles, Geneva, Switzerland, 12.–14.3.2008
- Hebling, C.  
»Micro Energy Technology«, German-American Frontiers of Engineering, Humboldt-Foundation, Irvine, CA, USA, 25.–27.4.2008
- Hebling, C.  
»Micro Energy Technology at Fraunhofer Gesellschaft«, Technologie Radar Fujitsu-Siemens, Augsburg, Germany, 11.–12.6.2008
- Hebling, C.  
»Fuel Cell and Hydrogen Technology at Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE«, National Research Council Canada, Vancouver, Canada, 12.8.2008
- Hebling, C.  
»Micro Water-Management by Means of Optimization of Fuel Cell Components«, Canada-EU Hydrogen and Fuel Cells Workshop, Copenhagen, Denmark, 7.10.2008
- Hebling, C.  
»Solar Cell and Fuel Cell Research at the Fraunhofer ISE«, Graduierten-Kolleg Micro Energy Harvesting, Freiburg, Germany, 27.11.2008
- Heidtmann, C.; Eisele, M.; Schies, A.; Krömke, F.; Schmoch, H.; Vetter, M.; Went, J.  
»Photovoltaische Wasserversorgung, Rolle der Wasserversorgung in der ländlichen Energieversorgung«, in: Energietechnische Gesellschaft im VDE; Workshop Ländliche Elektrifizierung, Frankfurt, Germany, 3./4.12.2008
- Henning, H.-M.  
»Solar Assisted Cooling«, Workshop »Developing the Huge Solar Thermal Potential«, ESTIF – European Solar Thermal Industry Federation, Brussels, Belgium, 29.1.2008

- Henning, H.-M.  
»Solare Kühlung und Klimatisierung – Stand und zukünftige Perspektiven«, in: Tagungsband, 18. Symposium Thermische Solarenergie, OTTI, Bad Staffelstein, Germany, 23.–25.4.2008, pp. 146–152
- Henning, H.-M.  
»Solar Cooling Components and Systems – an Overview«, in: Proceedings, Solar Air-Conditioning – Experiences and Practical Application, OTTI-Seminar, Munich, Germany, 11.6.2008, pp. 13–29
- Henning, H.-M.  
»Solarthermische Kollektoren und BHKW als Antriebswärmequellen für thermisch angetriebene Kühlverfahren«, Internationales Fachforum für Energie – Kraft, Wärme, Kälte, Stadtwerke Chemnitz, Chemnitz, Germany, 10./11.9.2008
- Henning, H.-M.  
»Solar Driven Cooling«, in: Proceedings, EuroSun 2008, 1<sup>st</sup> International Conference on Solar Heating, Cooling and Buildings, Lisbon, Portugal, 7.–10.10.2008
- Henning, H.-M.; Bongs, C.; Morgenstern, A.  
»Modelling and Exergetic Assessment of a Sorptive Heat Exchanger for the Application in a Novel Desiccant Evaporative Cooling Cycle«, in: Proceedings, EuroSun 2008, 1<sup>st</sup> International Conference on Solar Heating, Cooling and Buildings, Lisbon, Portugal, 7.–10.10.2008, CD-Rom
- Henning, H.-M.  
»Geschlossene Verfahren mit festen Sorbentien«, Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU) Workshop »Kälte aus Wärme«, Osnabrück, Germany, 2./3.12.2008
- Herkel, S.; Jacob, D.; Dietz, S.; Komhard, S.  
»Optimierung von Linearen Regressionsmodellen für Energiesignaturen auf Basis von Gebäudesimulationen«, IPBSA BauSIM 2008, Kassel, Germany, 8.–10.9.2008, pp. 50–51
- Herkel, S.; Erhorn, H.<sup>1</sup>; Kaiser, J.<sup>1</sup>; Kaan, H.<sup>2</sup>  
»Energieeffiziente Büros und Produktionsstätten – Ergebnisse und Erfahrungen aus Monitoring-Projekten«, in: Tagungsband, FVS Jahrestagung 2008, Berlin, Germany, 29./30.9.2008  
(<sup>1</sup>: Fraunhofer IBP, Stuttgart, Germany)  
(<sup>2</sup>: Energy Research Centre of the Netherlands (ECN), Petten, The Netherlands)  
online available: <http://www.fvee.de/publikationen/publikation/download/uebersicht-der-vortraege-zur-jahrestagung-2008-energieeffizientes-und-solares-bauen>
- Herkel, S.; Kagerer, F.  
»Analysis of Energy Supply Strategies in Housing Retrofit«, in: Proceedings, EuroSun 2008, 1<sup>st</sup> International Conference on Solar Heating, Cooling and Buildings, Lisbon, Portugal, 7.–10.10.2008, CD-Rom
- Hermann, M.  
»FracTherm<sup>®</sup> – Fraktale Hydraulikstrukturen für energieeffiziente Wärmeübertragung«, Bionik-Wirtschaftsforum, Osnabrück, Germany, 8./9.4.2008
- Hermann, M.  
»FracTherm<sup>®</sup> – Fractal Hydraulic Structures for Energy-Efficient Heat Transfer«, Bionik-Sommer-schule, Pirna, Germany, 13.–16.5.2008
- Hermann, M.; Kuhn, T. E.  
»Development of a Multifunctional Semi-transparent Façade Collector«, EuroSun 2008, 1<sup>st</sup> International Conference on Solar Heating, Cooling and Buildings, Lisbon, Portugal, 7.–10.10.2008
- Hermann, M.  
»FracTherm<sup>®</sup> – Sonnenkollektoren und Wärmetauscher mit optimierten Strömungskanälen«, Rohrbau-Kongress, Weimar, Germany, 2./3.12.2008
- Hermann, M.  
»FracTherm<sup>®</sup> – Solarabsorber und Wärmetauscher mit Strömungskanälen nach natürlichem Vorbild«, 5. WIL-OEM-Forum, Dortmund, Germany, 4./5.12.2008
- Hermle, M.; Philipps, S. P.; Léty, G.; Bett, A. W.  
»Numerical Simulation of Tunnel Diodes and Multi-Junction Solar Cells«, 33<sup>rd</sup> IEEE Photovoltaic Specialists Conference, San Diego, CA, USA, 11.–16.5.2008
- Hermle, M.; Granek, F.; Schultz, O.; Glunz, S. W.  
»Shading Effects in Back-Junction Back-Contacted Silicon Solar Cells«, 33<sup>rd</sup> IEEE Photovoltaic Specialists Conference, San Diego, CA, USA, 11.–16.5.2008
- Heydenreich, W.; Müller, B.; Reise, Ch.  
»Describing the World with Three Parameters: A New Approach to PV Module Power Modelling«, in: Proceedings, 23<sup>rd</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Valencia, Spain, 1.–5.9.2008
- Hörteis, M.  
»Fine Line Printed Silicon Solar Cells Exceeding 20% Efficiency«, Crystal Clear Workshop: Metallization for Crystalline Silicon Solar Cells, Utrecht, The Netherlands, 1.10.2008
- Hörteis, M.  
»Metallisierungsverfahren für Silizium Solarzellen«, Materials Valley e. V., Darmstadt, Germany, 19.6.2008
- Hopman, S.; Fell, A.; Mayer, K.; Mesec, M.; Willeke, G. P.; Kray D.  
»First Results of Wafering with Laser Chemical Processing«, in: Proceedings, 23<sup>rd</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Valencia, Spain, 1.–5.9.2008
- Jacob, D.; Kaiser, J.<sup>1</sup>; Neumann, C.  
»Inbetriebnahme von Gebäuden, Betriebsführung und Überwachung«, in: Tagungsband, FVS Jahrestagung 2008, Berlin, Germany, 30.9.2008  
(<sup>1</sup>: Fraunhofer IBP, Stuttgart, Germany)
- Janz, S.; Künle, M.; Lindekugel, S.; Reber, S.  
»Advanced Optical Confinement and Further Improvements for Crystalline Silicon Thin Film Solar Cells«, 33<sup>rd</sup> IEEE Photovoltaic Specialists Conference, San Diego, CA, USA, 11.–16.5.2008
- Janz, S.  
»Technologien und Materialien für Photovoltaik-Anwendungen«, Arbeitskreis Klima, Frühjahrssitzung AK-Plasma, Freiburg, Germany, 6.5.2008
- Janz, S.  
»Neue PV Technologien auf dem Weg in die Marktführung«, Herstellung von Si-Solarzellen, Materials Valley e. V., Heuchelheim, Germany, 17.4.2008
- Janz, S.  
»Photovoltaik – Strom aus Sonnenenergie«, PV – Technologie in Forschung und Wirtschaft, Steirische Wirtschaftsförderungsgesellschaft, Kapfenberg, Germany, 19.6.2008
- Janz, S.  
»Innovative PV-Technologien und Fertigungsprozesse«, Photovoltaik – Technologie mit Zukunft, Steirische Wirtschaftsförderungsgesellschaft, Kapfenberg, Germany, 13.11.2008
- Jaus, J.  
»Packaging Technologies in Concentrator Photovoltaics«, SMT Nürnberg, Delvotec, Nuremberg, Germany, 3.6.2008
- Kagerer, F. E.; Herkel, S.  
»Queralyse von Versorgungsstrategien in der Wohnbausanierung«, Anwenderforum Energieeffizienz und Bestand, Bad Staffelstein, Germany, 14./15.2.2008, pp. 271–278

Kagerer, F. E.; Herkel, S.

»Analyse von Versorgungsstrategien in der Wohnbausanierung«, 12. Internationale Passivhaustagung, Nuremberg, Germany, 11./12.4.2008, pp. 303–308

Kalz, D.; Herkel, S.; Pfafferott, J.; Wagner, A.<sup>1</sup>

»Meta-analysis of Twelve Primary Energy Optimized Buildings employing Thermo-Active Building Systems and Environmental Energy«, »Air Conditioning and the low carbon cooling«, London Metropolitan University, Windsor, United Kingdom, 27.–29.7.2008

(<sup>1</sup>: Universität Karlsruhe, Karlsruhe Germany)

Kalz, D. E.; Herkel, S.; Pfafferott, J.

»Meta-analysis: Monitoring and Evaluation of Primary Energy Optimized Non-Residential Buildings Employing Environmental Energy and Thermoactive Building Systems«, London Metropolitan University, Windsor, United Kingdom, 27.–29.7.2008

Kalz, D. E.; Herkel, S.; Pfafferott, J.; Wagner, A.<sup>1</sup>

»Meta-Analyse: Heizen und Kühlen mit Thermoaktiven Bauteilsystemen und Umweltenergie: Energieeffizienz und thermischer Komfort«, EnOB-Symposium »Auf dem Weg zu Nullenergie-Gebäuden – Erfahrungen und Impulse aus dem Förderschwerpunkt Energieoptimiertes Bauen«, Dresden, Germany, 1./2.10. 2008

(<sup>1</sup>: Universität Karlsruhe, Karlsruhe Germany)

Kalz, D. E.; Herkel, S.; Pfafferott, J.;

»Energie und Komfort: Ergebnisse aus der angewandten Forschung«, Fachsymposium »Energieeffizienz in der Gebäudetechnik« Viega GmbH & Co. KG, Wolfenbüttel, Berlin, Cologne, Giessen.

Kalz, D. E.

»Leistungsfähigkeit von Kühlkonzepten mit Umweltenergie«, Seminar Technische Akademie Wuppertal »Bauphysik und TGA in der Bau-praxis«, Wuppertal, Germany, 30.10.2008.

Kasemann, M.; Schubert, M. C.;

Kontermann, S.; Kwapil, W.; Rein, S.; Warta, W.; Glunz, S. W.; Trupke, T.<sup>1</sup>; Augarten, Y.<sup>1</sup>; Pink, E.<sup>1</sup>; Breitenstein, O.<sup>2</sup>; Michl, B.<sup>3</sup>; Nagel, H.<sup>3</sup>; Schütt, A.<sup>4</sup>; Carstensen, J.<sup>4</sup>; Föll, H.<sup>4</sup>

»Spatially Resolved Silicon Solar Cell Characterization Using Infrared Imaging Methods«, 33<sup>rd</sup> IEEE Photovoltaic Specialists Conference, San Diego, CA, USA, 11.–16.5.2008

(<sup>1</sup>: The University of New South Wales, Sydney, Australia)

(<sup>2</sup>: Max Planck Institute for Microstructure Physics, Halle, Germany)

(<sup>3</sup>: SCHOTT Solar GmbH, Alzenau, Germany)

(<sup>4</sup>: University of Kiel, Kiel, Germany)

Kasemann, M.; Kwapil, W.; Walter, B.;

Giesecke, J.; Michl, B.<sup>1</sup>; The, M.; Wagner, J.-M.<sup>4</sup>; Bauer, J.<sup>4</sup>; Schütt, A.<sup>5</sup>; Carstensen, J.<sup>5</sup>; Kampwerth, H.<sup>3</sup>; Gundel, P.; Schubert, M. C.; Bardos, R.<sup>6</sup>; Föll, H.<sup>5</sup>; Nagel, H.<sup>1</sup>; Würfel, P.<sup>2</sup>; Trupke, T.<sup>3</sup>; Breitenstein, O.<sup>4</sup>; Warta, W.; Glunz, S. W.

»Progress in Silicon Solar Cell Characterization with Infrared Imaging Methods«, in: Proceedings, 23<sup>rd</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Valencia, Spain, 1.–5.9.2008

(<sup>1</sup>: SCHOTT Solar GmbH, Alzenau, Germany)

(<sup>2</sup>: University of Karlsruhe, Institut für Angewandte Physik, Karlsruhe, Germany)

(<sup>3</sup>: The University of New South Wales, Sydney, Australia)

(<sup>4</sup>: Max Planck Institute for Microstructure Physics, Halle, Germany)

(<sup>5</sup>: University of Kiel, Kiel, Germany)

(<sup>6</sup>: BT Imaging Pty Ltd, Sydney, Australia)

Khorenko, V.<sup>1</sup>; Meusel, M.<sup>1</sup>; Torunski, T.<sup>1</sup>;

Strobl, G.<sup>1</sup>; Hoheisel, R.; Dimroth, F.; Bett, A. W.; Campesato, R.<sup>2</sup>; Taylor, S.<sup>3</sup>

»Requirement Analysis and Solar Cell Characterization for Mars Exploration Missions«, 8<sup>th</sup> European Space Power Conference, European Space Agency, Konstanz, Germany, 14.–19.9.2008

(<sup>1</sup>: Azur Space Solar Power GmbH, Heilbronn, Germany)

(<sup>2</sup>: CESI – Centro Elettrotecnico Sperimentale Italiano, Milan, Italy)

(<sup>3</sup>: European Science and Technology Centre ESTEC, Noordwijk, The Netherlands)

Kiefer, K.

»Erträge und Ertragssicherheit – Was kann der Kunde von seiner Photovoltaik-Anlage verlangen?«, OTTI PV Forum, Bad Staffelstein, Germany, 4.3.2008

Kiefer, K.

»Qualitätsanforderungen und Erträge von Photovoltaik-Anlagen«, ECE Tagung, Hamburg, 25.4.2008

Kiefer, K.

»Stand der Technik bei PV Kraftwerken, Qualitätssicherung für Photovoltaikanlagen«, Fachseminar Projektfinanzierung, Forseo – Banking meets Photovoltaics, Freiburg, Germany, 15.10.2008

Kiefer, K.

»Maximale Erträge und optimale Technik bei Solarkraftwerken«, LBBW Konferenz, Erneuerbare Energien, Leipzig, Germany, 30.10.2008

Kiefer, K.

»Maximale Erträge von netzgekoppelten PV-Anlagen«, OTTI Profiseminar Photovoltaik-Anlagen, Munich, Germany, 12.6.2008

Koschikowski, J.<sup>1</sup>; Wieghaus, M.<sup>1</sup>; Rommel, M.; Subiela Ortin, V.<sup>2</sup>; Peñate Suarez, B.<sup>2</sup>; Betancort Rodríguez, J. R.<sup>2</sup>

»Experimental Investigation on Solar Driven Stand-Alone Membrane Distillation Systems for Remote Areas«, in: Proceedings, Water and Sanitation in International Development and Disaster Relief, International Workshop Edinburgh, Scotland, 28.–30.5.2008, pp. 142–147

(<sup>1</sup>: PSE AG, Freiburg, Germany)

(<sup>2</sup>: Instituto Tecnológico de Canarias, Santa Lucia, Spain)

Koschikowski, J.<sup>1</sup>; Wieghaus, M.<sup>1</sup>; Rommel, M. »Energy Self Sufficient Desalination Units Based on Solar Driven Membrane Distillation«, DME Seminar »Desalination and Renewable Energies«, Jülich, Germany, 19./20.6.2008

(<sup>1</sup>: PSE AG, Freiburg, Germany)

Koschikowski, J.<sup>1</sup>; Wieghaus, M.<sup>1</sup>; Rommel, M.; Subiela Ortin, V.<sup>2</sup>; Peñate Suarez, B.<sup>2</sup>; Betancort Rodríguez, J. R.<sup>2</sup>

»Experimental Investigations on Solar Driven Desalination Systems Using Membrane Distillation«, in: Proceedings, EuroSun 2008, 1<sup>st</sup> International Conference on Solar Heating, Cooling and Buildings, Lisbon, Portugal, 7.–10.10.2008, CD-Rom

(<sup>1</sup>: PSE AG, Freiburg, Germany)

(<sup>2</sup>: Instituto Tecnológico de Canarias, Santa Lucia, Spain)

Kranzer, D.; Stalter, O.; Burger, B.

»Cost Reductions of PV-Inverters with SiC-DMOSFETs«, CIPS 2008, 5<sup>th</sup> International Conference on Integrated Power Electronics Systems, Nuremberg, Germany, 11.–13.3.2008



- Kranzer, D.  
»Power Semiconductors«, Seminar Power Electronics for Renewable Energies, OTTI, Munich, Germany, 10.–11.6.2008
- Kranzer, D.; Burger, B.; Stalter, O.  
»Anwendung von SiC-Transistoren in PV-Wechselrichtern«, 7. Rundgespräch über Siliziumkarbid, Kloster Banz, Germany, 30.6./1.7.2008
- Kranzer, D.; Burger, B.; Stalter, O.; Navarro, N.  
»Applications of SiC-Transistors in Photovoltaic Inverters«, 7<sup>th</sup> European Conference on Silicon Carbide and Related Materials, Barcelona, Spain, 7.–11.9.2008
- Kranzer, D.; Burger, B.  
»98,8 % Inverter Efficiency with SiC-Transistors«, 37. Kolloquium Halbleiterleistungsbau-elemente und ihre systemtechnische Anwendung, Freiburg, Germany, 27./28.10.2008
- Kray, D.  
»Laser Chemical Processing LCP Silicon Solar Cells«, CLEO/QELS and PhAST 2008, APS Physics, San Jose, USA, 4.–9.5.2008
- Kray, D.; Fell, A.; Hopmann, S.; Mayer, K.; Glunz, S. W.  
»Hocheffiziente Solarzellen mit Laser Chemical Processing«, in: Tagungsband, BMU Status-seminar, PTJ/BMU, Berlin, Germany, 11./12.11.2008
- Kray, D.; Grohe, A.  
»Laser Processes for Crystalline Silicon Solar Cell Manufacturing«, International Symposium on Laser-Micromachining, Chemnitz, Germany, 12./13.11.2008
- Künle, M.  
»Phasenbildung und Nanostruktur von SiC Dünnschichten«, NET-Symposium, Netzwerk für Elektronenmikroskopie Tübingen, Reutlingen, Germany, 5.11.2008
- Kuhn, T. E.; Eisenschmid, I.<sup>1</sup>; Bosse, S.-K.<sup>2</sup>; Hinsch, A.  
»Gebäudeintegrierte Photovoltaik (GIPV)«, in: Tagungsband, FVS Jahrestagung 2008, Berlin, Germany, 29./30.9.2008  
(<sup>1</sup>: Scheuten Solar Germany GmbH, Gelsenkirchen, Germany)  
(<sup>2</sup>: Sulfurcell Solartechnik GmbH, Berlin, Germany)
- Kuhn, T. E.  
»Fassadenintegration von regenerativen Energiequellen: Solarthermie und Photovoltaik«, Glastec, Sonderschau glass technology live, Düsseldorf, Germany, 21.–25.10.2008, CD-Rom
- Kuhn, T. E.  
»Building Envelope Solar Control: Systems and Evaluation«, International Congress AICARR, Milan, Italy, 12./13.3.2008
- Kuhn, T. E.  
»Gebäudeintegration – PV und Solarthermie«, 36. Rosenheimer Fenstertage, Institut für Fenstertechnik, Rosenheim, Germany, 16./17.10.2008
- Kwapil, W.; Blazek, M.; Schön, J.; Habenicht, H.; Warta W.  
»Al Segregation Gettering on Intentionally Contaminated Wafers«, Workshop on Arriving at well-founded SoG silicon feedstock specifications, 6<sup>th</sup> Framework European Project Crystal Clear, Amsterdam, The Netherlands, 14.11.2008
- Löper, P.; Goldschmidt, J. C.; Fischer, S.; Peters, M.; Meijerink, A.; Biner, D.; Krämer, K.; Schultz-Wittmann, O.; Glunz, S. W.; Luther, J.  
»Upconversion for silicon solar cells: material and system characterisation«, in: Proceedings, 23<sup>rd</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Valencia, Spain, 1.–5.9.2008, pp 173–181
- Matzer, R.; Peharz, G.; Patyk, A.; Dimroth, F.; Bett, A. W.  
»Life Cycle Assessment of a Concentrating Photovoltaik System FLATCON®«, Advances in Energy Studies 2008, Technische Universität Graz, Graz, Austria, 29.6.–2.7.2008
- Mayer, K.; Kray, D.; Pérez, O. T.; Schumann, M.; Glunz, S. W.  
»New Surfactants for Combined Cleaning and Texturing of Mono-Crystalline Silicon Wafers after Wire-Sawing«, in: Proceedings, 23<sup>rd</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Valencia, Spain, 1.–5.9.2008
- Miara, M.  
»Two Large Field-Tests of New Heat Pumps in Germany«, in: Proceedings, 9<sup>th</sup> International Energy Agency Heat Pump Conference, Zurich, Switzerland, 19.–23.5.2008, CD-Rom
- Miara, M.  
»Feldmessung neuer Wärmepumpen »Wärmepumpen-Effizienz« – Zwischenergebnisse«, Symposium Wärmepumpe, TWK GmbH Test- und Weiterbildungszentrum Wärmepumpen und Kältetechnik, Karlsruhe, Germany, 5.6.2008
- Miara, M.  
»Feldmessung neuer Wärmepumpen »Wärmepumpen-Effizienz« – erste Ergebnisse«, 6. Forum Wärmepumpe, Solarpraxis, Berlin, Germany, 13./14.11.2008
- Miara, M.  
»Feldmessung neuer Wärmepumpen »Wärmepumpen-Effizienz« – Zwischenergebnisse«, Deutsche Kälte-Klima-Tagung 2008, Ulm, Germany, 19.–21.11.2008
- Mingirulli, N.; Trittlar, S.; Bui, M.; Grohe, A.; Biro, D.; Preu, R.; Glunz, S. W.  
»Passivation of Laser-Drilled via Holes for Emitter-Wrap-Through-Cells«, in: Proceedings, 23<sup>rd</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Valencia, Spain, 1.–5.9.2008
- Mitchell, E. J.<sup>1</sup>; Reber, S.  
»Emitter Wrap-Through Structure for Rear-side Contacting of Epitaxial Thin-Film Solar Cells«, 33<sup>rd</sup> IEEE Photovoltaic Specialists Conference, San Diego, CA, USA, 11.–16.5.2008  
(<sup>1</sup>: The University of New South Wales, Sydney, Australia)
- Morgenstern, A.; Wiemken, E.; Schossig, P.  
»Innovative Concepts for Energy Efficient Cooling«, 4<sup>th</sup> International Congress for South-East Europe – Energy Efficiency & Renewable Energy Sources, Sofia, Bulgaria, 7.–10.4.2008, CD-Rom
- Morgenstern, A.; Wiemken, E.  
»Solar Cooling in the German Funding Program solarthermie2000plus«, in: Proceedings, EuroSun 2008, 1<sup>st</sup> International Conference on Solar Heating, Cooling and Buildings, Lisbon, Portugal, 7.–10.10.2008, CD-Rom
- Morgenstern, A.; Wiemken, E.  
»Solare Klimatisierung und Kälteerzeugung – Teilergebnisse aus IEA Task 38 und solarthermie 2000plus«, Kälte aus Wärme, DBU, Osnabrück, Germany, 2./3.12.2008
- Morin, G.; Platzer, W.; Strelow, M.<sup>1</sup>; Leithner, R.<sup>1</sup>  
»Techno-economic System Simulation and Optimization of Solar Thermal Power Plants«, 14<sup>th</sup> Biennial SolarPACES Concentrating Solar, Las Vegas, NV, USA, 4.–7.3.2008  
(<sup>1</sup>: Technical University of Braunschweig, Institute for Heat and Fuel Technology, Braunschweig, Germany)
- Müller, B.; Reise, C.; Lorenz, E.<sup>1</sup>  
»Diffuse Verhältnisse bei der Einstrahlung? Über die Eingangsdaten bei Ertragsprognosen«, 23. Symposium Photovoltaische Solarenergie, OTTI, Bad Staffelstein, Germany, 5.–7.3.2008  
(<sup>1</sup>: University of Oldenburg, Oldenburg, Germany)
- Niggemann, M.  
»Investigation and Development of Organic Photovoltaic Modules«, Organic Semiconductor Conference Europe OSC-08, Frankfurt, Germany, 29.9.–1.10.2008

- Niggemann, M.; Zimmermann, B.  
»Stability of Organic Photovoltaic Cells - State of the Art at Fraunhofer ISE«, First International Summit on Organic Photovoltaic Stability (ISOS), Golden Colorado, USA, 14.–16.7.2008
- Nitz, P.; Wilson, H. R.  
»Modellierung thermotroper Materialien«, 2. Leobener Symposium »Solartechnik – Neue Möglichkeiten für die Kunststoffbranche«, Leoben, Austria, 7./8.2.2008
- Nitz, P.; Giovannetti, F.<sup>1</sup>; Weinländer, H.<sup>2</sup>; Wienold, J.  
»Neue Verglasungstechniken für Tageslicht und Wärmeschutz«, in: Tagungsband, FVS-Jahrestagung, Forschungsverbund Solarenergie FVS, Berlin, Germany, 29./30.9.2008  
(<sup>1</sup>: Institut für Solarenergieforschung Hameln/Emmerthal ISFH, Emmerthal, Germany)  
(<sup>2</sup>: ZAE Bayern, Würzburg, Germany)
- Núñez, T.; Nienborg, B.; Tiedtke, Y.  
»Heating and Cooling with a Small Scale Solar Driven Adsorption Chiller Combined with a Borehole System«, in: Proceedings, EuroSun 2008, 1<sup>st</sup> International Conference on Solar Heating, Cooling and Buildings, Lisbon, Portugal, 7.–10.10.2008
- Núñez, T.; Schweigler, C.<sup>1</sup>;  
»Technical Background of Thermally Driven Heat Pumps«, IEA Heat Pump Conference 2008, Zürich, Switzerland, 20.–22.5.2008  
(<sup>1</sup>: ZAE Bayern, Garching, Germany)
- Núñez, T.  
»Monitoring Standards im IEA SHC Task38 Solar Air-Conditioning and Refrigeration«, solarthermie2000plus Monitoring-Seminar 2008, Freiburg, Germany, 19.12.2008
- Peharz, G.; Siefert, G.; Araki, K.; Bett, A. W.  
»Spectrometric Outdoor Characterization of CPV Modules Using Isotype Monitor Cells«, 33<sup>rd</sup> IEEE Photovoltaic Specialists Conference, San Diego, CA, USA, 11.–16.5.2008
- Peharz, G.  
»Development of High-Concentration Photovoltaics at Fraunhofer ISE: Cells and Systems«, International Workshop on new PV Technologies, Cagliari, Italy, 23.10.2008
- Pfafferott, J.  
»Sorptionsgestützte Klimatisierung mit flüssigen Sorbentien und Nutzung von Niedertemperaturwärme als Antriebsenergie«, Forum Solare Kühlung, Münster, Germany, 29.4.2008
- Pfafferott, J.  
»Sorptionsgestützte Klimatisierung mit flüssigen Sorbentien: LiquiSorp und SOBIC«, Planer- und Betreiber-Forum »Nutzung vorhandener Wärmequellen für die Gebäudeklimatisierung«, Bonn, Germany, 29.10.2008
- Pfafferott, J.  
»Energieeinsparung contra Behaglichkeit? – Simulation und Praxis«, BBR-Kongress 2008, Dresden, Germany, 30.9.2008
- Philipps, S.  
»III-V Kaskadensolarzellen für höchste optische Konzentration«, 83. Stipendiatenseminar der Deutschen Bundesstiftung Umwelt, Deutsche Bundesstiftung Umwelt, Roggenburg, Germany, 9.–13.6.2008
- Philipps, S. P.; Hermlé, M.; Léty, G.<sup>1</sup>; Guter, W.; George, B. M.; Dimroth, F.; Bett, A. W.  
»Numerical Simulation and Modeling of III-V Multi-Junction Solar Cells«, 23<sup>rd</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Valencia, Spain, 1.–5.9.2008  
(<sup>1</sup>: Synopsis, Zurich, Switzerland)
- Platzer, W.; Heimsath, A.; Hildebrandt, C.  
»Quality Control of Concentrating Collector Components for the Optimization of Performance«, 14<sup>th</sup> Biennial SolarPACES Concentrating Solar, Las Vegas, NV, USA, 4.–7.3.2008
- Platzer, W.  
»Mikro- und nanostrukturierte Oberflächen«, Seminar »Beschichten von Kunststoffoberflächen«, OTTI, Regensburg, Germany, 22./23.9.2008
- Platzer, W.; Heimsatz, A.; Hildebrandt, C.; Georg, A.; Morin, G.  
»Quality Control of Concentrating Collector Components for the Optimization of Performance«, EuroSun 2008, 1<sup>st</sup> International Conference on Solar Heating, Cooling and Buildings, Lisbon, Portugal, 7.–10.10.2008
- Preu, R.  
»High Efficiency Silicon Solar Cells«, in: Tagungsband, Solar Summits 2008, Freiburg, 22.–24.10.2008
- Pysch, D.  
»Untersuchungen an neuartigen Metallisierungskonzepten«, Hahn-Meitner-Institut, Berlin, Germany, 5.3.2008
- Pysch, D.  
»Detailed Analysis of Advanced Solar Cell Contacts«, CrystalClear Workshop Metallization, 1.10.2008, Utrecht, The Netherlands
- Pysch, D.  
»a-Si/c-Si Heterojunction High Efficiency Solar Cells«, Oxford Instruments Plasma Technology, North End, Yatton, Bristol, UK, 16.12.2008
- Rein, S.; Krieg, A.; Weil, A.; Emanuel, G.; Glatthaar, M.; Grohe, A.; Preu, R.  
»Single-Wafer Tracking in PV Production Lines«, 23<sup>rd</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Valencia, Spain, 1.–5.9.2008
- Rochlitz, L.  
»Mikroreformer-Brennstoffzellen-System. Wie aus Alkohol Strom wird«, 6. Riesaer Brennstoffzellen-Workshop, ZTS Riesa-Großenhain, Glaubitz, Germany, 26.2.2008
- Rommel, M.  
»Übersicht zu Entwicklungen von Prozesswärmekollektoren«, in: Tagungsband, 18. Symposium Thermische Solarenergie, OTTI, Bad Staffelstein, Germany, 23.–25.4.2008, pp. 42–48
- Rommel, M.  
»Development of Process Heat Collectors for Solar Heat for Industrial Processes (IEA-SHC Task 33 SHIP)«, in: Proceedings, EuroSun 2008, 1<sup>st</sup> International Conference on Solar Heating, Cooling and Buildings, Lisbon, Portugal, 7.–10.10.2008, CD-Rom
- Roth, T.; Rüdiger, M.; Trupke, T.<sup>1</sup>; Bardos, R. A.<sup>1</sup>; Glunz, S. W.  
»Titanium-Related Defect Levels in Silicon Analyzed by Temperature-Dependent and Injection-Dependent Photoluminescence Lifetime Spectroscopy«, 33<sup>rd</sup> IEEE Photovoltaic Specialists Conference, San Diego, CA, USA, 11.–16.5.2008  
(<sup>1</sup>: Centre of Excellence for Advanced Silicon Photovoltaics and Photonics, University of New South Wales, Sydney, Australia)
- Roth, T.  
»Analyse von elektrisch aktiven Defekten in Silizium für Solarzellen«, Stipendiatenseminar der Deutschen Bundesstiftung Umwelt, Deutsche Bundesstiftung Umwelt, Papenburg, Germany, 30.6.–4.7.2008

- Roth, T.; Rosenits, P.; Rüdiger, M.; Warta, W.; Glunz, S. W.  
»Comparison of Photoconductance and Photoluminescence Based Lifetime Measurement Techniques«, IUMRS-ICEM08, Sydney, Australia, 28.7.–1.8.2008
- Roth, W.  
»40 Jahre Photovoltaik-Geräte-Entwicklung in Deutschland«, 23. Symposium Photovoltaische Solarenergie, OTTI, Bad Staffelstein, Germany, 5.–7.3.2008
- Roth, W.  
»Strategien zur erfolgreichen Bewerbung um Projekte internationaler Entwicklungsbanken«, Seminar »Export Erneuerbarer Energiesysteme«, OTTI, München-Dornach, Germany, 12.6.2008
- Roth, W.  
»Netzferne Stromversorgung mit Photovoltaik«, Seminar »Netzferne Stromversorgung mit Photovoltaik – Grundlagen«, OTTI, Freiburg, Germany, 7.10.2008
- Roth, W.  
»Grundlagen zur Nutzung der Sonnenenergie«, Seminar »Netzferne Stromversorgung mit Photovoltaik – Grundlagen«, OTTI, Freiburg, Germany, 7.10.2008
- Roth, W.  
»Netzferne Stromversorgung mit Photovoltaik«, Seminar »Netzferne Stromversorgung mit Photovoltaik«, OTTI, Freiburg, Germany, 8./9.10.2008
- Roth, W.  
»Industrieprodukte und technische Einrichtungen – Erfahrungen, Empfehlungen, Hinweise«, Seminar Netzferne Stromversorgung mit Photovoltaik, OTTI, Freiburg, Germany, 8./9.10.2008
- Roth, W.  
»Photovoltaics – Current Situations and Trends«, CNSRE 2008 National Conference New and Renewable Energy Sources, Bucharest, Romania, 23.–25.10.2008
- Roth, W.  
»Photovoltaics – Current Situation and Prospects«, German-Turkish TU9-Workshop on Sustainable Energy, TUBITAK Marmara Research Center, Gebze, Turkey, 12.–14.11.2008
- Roth, W.  
»Durchführung von Projekten internationaler Entwicklungsbanken«, Ländliche Energieversorgung, ETG, Frankfurt am Main, Germany, 3./4.12.2008
- Russ, C.; Platt, M.; Miara, M.  
»Monitoring – Bewertung von neu installierten Wärmepumpen im Neubau und Gebäudebestand«, Expertenkreis Solarthermie, Hamburg, Germany, 25.6.2008
- Russ, C.; Platt, M.; Miara, M.  
»Einsatz von Wärmepumpen im Gebäudebestand«, 6. Forum Wärmepumpen, Berlin, 13./14.11.2008
- Schick Tanz, M.  
»Modelling of an Adsorption Chiller with Modelica«, in: Proceedings, Modelica Conference 2008, Modelica Association, Bielefeld, Germany, 3./4.3.2008, pp. 573–577  
online available: [http://www.modelica.org/events/modelica2008/Proceedings/proceedings/volume\\_2.pdf](http://www.modelica.org/events/modelica2008/Proceedings/proceedings/volume_2.pdf)
- Schick Tanz, M.; Núñez, T.  
»Modelling of an Adsorption Chiller for Dynamic System Simulation«, in: Proceedings, International Sorption Heat Pump Conference 2008 (ISHPC08), International Sorption Heat Pump Conference, Kyung Hee University, Seoul, Korea, 23.–26.9.2008, CD-Rom
- Schick Tanz, M.  
»Grundlagen und Simulation von Adsorptionskältemaschinen«, Lehrstuhl Prof. Zeigler – Seminarreihe, TU Berlin, Berlin, Germany, 22.10.2008
- Schick Tanz, M.  
»Anwendung im Verbund mit BHKWs am Beispiel PolySMART«, Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU) Workshop »Kälte aus Wärme«, Osnabrück, Germany, 2./3.12.2008
- Schmich, E.  
»Silicium-Dünnschichtkonzepte am Fraunhofer ISE«, ISFH Seminar, Emmersthal, Germany, 9.12.2008
- Schmich, E.; Prigge, H.; Frieß, T.; Reber, S.  
»Emitter Epitaxy for Crystalline Silicon Wafers and Thin-Films: Solar Cells and Economical Aspects«, 23<sup>rd</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Valencia, Spain, 1.–5.9.2008
- Schmidt, H.; Burger, B.; Kiefer, K.  
»Benötigen Dünnschichtmodule spezielle Wechselrichter?«, 4. Anwenderforum Dünnschicht-Photovoltaik, OTTI, Bad Staffelstein, Germany, 11./12.2.2008
- Schmidt, H.; Burger, B.; Häberlin, H.<sup>1</sup>; Bründlinger, R.<sup>2</sup>; Baumgartner, F.<sup>3</sup>; Zehner, M.<sup>4</sup>  
»Modellierung der Spannungsabhängigkeit des Wechselrichter-Wirkungsgrades«, 23. Symposium Photovoltaische Solarenergie, OTTI, Bad Staffelstein, Germany, 5.–7.3.2008  
(<sup>1</sup>: Berner Fachhochschule, Burgdorf, Switzerland)  
(<sup>2</sup>: Arsenal Research, Wien, Austria)  
(<sup>3</sup>: Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften, Winterthur, Switzerland)  
(<sup>4</sup>: Fachhochschule München, Munich, Germany)
- Schmidt, H.  
»Electromagnetic Compatibility«, Seminar Power Electronics for Renewable Energies, OTTI, Munich, Germany, 10./11.6.2008
- Schmidt, H.  
»Interactions between Modules and Inverters«, Seminar Power Electronics for Renewable Energies, OTTI, Munich, Germany, 10./11.6.2008
- Schmidt, H.; Burger, B.; Goeldi, B.; Laukamp, H.  
»Higher System Efficiency in Three Phase Plants through System Voltages above 1000 V«, 23<sup>rd</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Valencia, Spain, 1.–5.9.2008
- Schmidt, H.  
»Meteorologie-Messtechnik«, Seminar »Netzferne Stromversorgung mit Photovoltaik – Grundlagen«, OTTI, Freiburg, Germany, 7.10.2008
- Schmidt, H.  
»Aufbau und Funktionsweise von Solarzelle, Modul und Solargenerator«, Seminar »Netzferne Stromversorgung mit Photovoltaik – Grundlagen«, OTTI, Freiburg, Germany, 7.10.2008

- Schmidt, H.  
»EMV-gerechtes Geräte- und Anlagendesign«, Seminar EMV, Blitz- und Brandschutz für Solaranlagen, OTTI, Regensburg, Germany, 5./6.11.2008
- Schmidt, H.  
»Inverter Specifics for Thin-film Modules«, PHOTON's 1<sup>st</sup> PV Thin-film Conference, San Francisco, CA, USA, 3.12.2008
- Schmiga, C.; Hermle, M.; Glunz, S. W.  
»Towards 20 % Efficient n-Type Silicon Solar Cells with Screen-Printed Aluminium-Alloyed Rear Emitter«, in: Proceedings, 23<sup>rd</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Valencia, Spain, 1.–5.9.2008
- Schnabel, L.; Scherr, C.; Weber, C.  
»Water as Refrigerant – Experimental Evaluation of Boiling Characteristics at Low Temperature and Pressures«, in: Proceedings, VII Minsk International Seminar »Heat Pipes, Heat Pumps, Refrigerators, Power Sources«, Luikov Heat & Mass Transfer Institute, Minsk, Belarus, 8.–11.9.2008, CD-Rom
- Schnabel, L.; Scherr, C.; Weber, C.  
»Water as Refrigerant – Experimental Evaluation of Boiling Characteristics at Low Temperature and Pressures«, in: Proceedings, International Sorption Heat Pump Conference 2008 (ISHPC08), Kyung Hee University, Seoul, Korea, 23.–26.9.2008, CD-Rom
- Schnabel, L.; Schmidt, F.<sup>1</sup>  
»Water Adsorption on Absorbent Layers Varied in Thickness – Kinetics Measurements and COP Estimations«, in: Proceedings, International Sorption Heat Pump Conference 2008 (ISHPC08), Kyung Hee University, Seoul, Korea, 23.–26.9.2008, CD-Rom  
(<sup>1</sup>: Universität Karlsruhe, Karlsruhe, Germany)
- Schöne, J.; Dimroth, F.; Guter, W.; Bett, A. W.  
»Kontrolle von Spannungsrelaxation und Defektbildung in metamorphen III-V Halbleiterstrukturen für die Solarzellenanwendung«, in: Seminar: Spezielle Probleme der Festkörperphysik und der Materialforschung, University of Freiburg, Freiburg Material Research Center, Freiburg, Germany, 11.7.2008
- Schöne, J.; Peharz, G.; Hoheisel, R.; Siefer, G.; Guter, W.; Dimroth, F.; Bett, A. W.  
»Impact of Thermal Cycles on the Material Quality of Metamorphic III-V Solar Cell Structures«, 23<sup>rd</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Valencia, Spain, 1.–5.9.2008
- Schossig, P.; Haussmann, T.; Gschwander, S.  
»Phasenwechselmaterialien zur thermischen Energiespeicherung«, Energieforum Nord, Hamburg, Germany, 14.2.2008
- Schossig, P.  
»Solare Wärme und Kälte«, 7. Europäische Konferenz Solarenergie in Architektur und Stadtplanung »Sun and Sense« 2008, Berlin, Germany, 11.–14.3.2008
- Schossig, P.  
»Thermally Driven Heat Pumps«, in: Proceedings, 9<sup>th</sup> International Energy Agency Heat Pump Conference; 20.–22.5.2008, Zurich, Switzerland, CD-Rom
- Schossig, P.  
»TES Material Development for Building Application«, in: Proceedings, ZAE Bayern Symposium »Material Development for Thermal Energy Storage«, Bad Tölz, Germany, 4.–6.6.2008  
online available: <http://www.zae-bayern.de/deutsch/abteilung-1/spezielle-themen/zae-symposium-2008.html>
- Schossig, P.  
»Technologies for Thermal Energy Storage«, in: Proceedings, 3. International Renewable Energy Storage Conference (IRES 2008), Berlin, Germany, 24.–25.11.2008, CD-Rom
- Schubert, M. C.; Gundel, P.; The, M.; Romero, M.<sup>1</sup>; Ostapenko, S.<sup>2</sup>; Warta, W.; Arguirov, T.<sup>3</sup>  
»Spatially Resolved Luminescence Spectroscopy on Multicrystalline Silicon«, in: Proceedings, 23<sup>rd</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Valencia, Spain, 1.–5.9.2008, pp. 17–23  
(<sup>1</sup>: National Renewable Energy Laboratory, Golden, CO, USA)  
(<sup>2</sup>: NNRC University of South Florida, Tampa, FL, USA)  
(<sup>3</sup>: IHP/BTU Joint Lab, BTU Cottbus, Cottbus, Germany)
- Schwunk, S.; Ortiz, B.; Bopp, G.; Vetter, M.  
»Simulation of Hybrid PV Systems – Concepts for Technology Improvement, Systems Design and Performance Improvement«, in: Proceedings, 4<sup>th</sup> European PV-Hybrid and Mini-Grid Conference, OTTI, Athens, Greece, 29./30.5.2008, pp. 310–317
- Sparber, W.<sup>1</sup>; Thuer, A.<sup>2</sup>; Besana, F.<sup>1</sup>; Streicher, W.<sup>3</sup>; Henning, H.-M.  
»Unified Monitoring Procedure and Performance Assessment for Solar Assisted Heating and Cooling Systems«, in: Proceedings, EuroSun 2008, 1<sup>st</sup> International Conference on Solar Heating, Cooling and Buildings, Lisbon, Portugal, 7.–10.10.2008, CD-Rom  
(<sup>1</sup>: EURAC Research, Institute for Renewable Energies, Bolzano, Italy)  
(<sup>2</sup>: AEE INTEC, Gleisdorf, Austria)  
(<sup>3</sup>: TU Graz, Graz, Austria)
- Stalter, O.; Burger, B.  
»Tracking Inverter for Large Scale CPV Power Plants«, 5<sup>th</sup> International Conference on Solar Concentrators for the Generation of Electricity, National Renewable Energy Lab, Palm Desert, CA, USA, 16.–19.11.2008
- Steinhüser, A.  
»Hohe Erträge durch umfassende Qualitätssicherung: Erste Erfahrungen und Messergebnisse der Anlagen aus dem Solarpark 1«, Karlsruher Solarpark – das Erfolgsmodell geht weiter, Stadtwerke Karlsruhe, Karlsruhe, Germany, 3.4.2008
- Suwito, D.; Roth, T.; Pysch, D.; Korte, L.<sup>1</sup>; Richter, A.; Janz, S.; Glunz, S. W.  
»Detailed Study on the Passivation Mechanism of a-Si<sub>x</sub>C<sub>1-x</sub> for the Solar Cell Rear Side«, 23<sup>rd</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Valencia, Spain, 1.–5.9.2008  
(<sup>1</sup>: Helmholtz-Zentrum Berlin für Materialien und Energie, Berlin, Germany)
- Taylor, S.<sup>1</sup>; Baur, C.<sup>1</sup>; Torunski, T.<sup>1</sup>; Khorenko, V.<sup>2</sup>; Strobl, G.<sup>2</sup>; Campesato, R.<sup>3</sup>; Hoheisel, R.; Hermle, M.; Dimroth, F.; Stetter, D.; Dettlaff, K.<sup>4</sup>; Bourgoïn, J.<sup>5</sup>; Makham, S.<sup>5</sup>  
»Performance of European Triple-Junction Solar Cells for Deep Space Missions«, 8<sup>th</sup> European Space Power Conference, European Space Agency, Konstanz, Germany, 14.–19.9.2008  
(<sup>1</sup>: European Space Agency ESA, Cologne, Germany)  
(<sup>2</sup>: Azur Space Solar Power GmbH, Heilbronn, Germany)  
(<sup>3</sup>: CESI – Centro Elettrotecnico Sperimentale Italiano, Milan, Italy)  
(<sup>4</sup>: EADS Astrium GmbH, Friedrichshafen, Germany)  
(<sup>5</sup>: Gesec R+D Inc., Paris, France)



- Vetter, M.; Schwunk, S.; Zillgith, M.; Bopp, G.  
»Overview on Operating Control Strategies for Different Applications of Autonomous Hybrid PV Systems and Mini-grids«, 4<sup>th</sup> European PV-Hybrid and Mini-Grid Conference, OTTI, Athens, Greece, 29./30.5.2008
- Vetter, M.; Thomas, R.; Schwunk, S.; Pfanner, N.; Schreiber, F.; Otto, J.; Wolf, M.<sup>1</sup>; Losch, S.<sup>1</sup>; Zenz, T.<sup>2</sup>; Höreth, R.<sup>2</sup>  
»PV-Wind-Brennstoffzellen-Hybridsysteme zur Versorgung von Messstationen auf Meeresplattformen«, 23. Symposium Photovoltaische Solarenergie, OTTI, Bad Staffelstein, Germany, 5.–7.3.2008  
(<sup>1</sup>: Pairan Elektronik GmbH, Göttingen, Germany)  
(<sup>2</sup>: Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz, Germany)
- Vetter, M.  
»Recent Developments in Hybrid PV Mini-Grids«, PV Industry Forum, Munich, Germany, 10./11.6.2008
- Vetter, M.  
»Technological Solutions and Support Schemes«, BBL on Sustainable Off-grid Rural Electrification: Principles and Good Practices, The World Bank, Washington, USA, 12.11.2008
- Vetter, M.  
»Ländliche Elektrifizierung auf Basis erneuerbarer Energien – Stand und Perspektiven«, VDE Workshop Ländliche Energieversorgung, Frankfurt, Germany, 3./4.12.2008
- Weber, E.  
»Regenerative Energie – Forschung am Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme«, Seminar der Universität Mainz, Mainz, Germany, 21.1.2008
- Weber, E.  
»Globaler Klimawandel und die Rolle der Solarenergie«, Physikalisches Kolloquium an der Universität Duisburg-Essen, Duisburg-Essen, Germany, 23.1.2008
- Weber, E.  
»Die Bedeutung der Erneuerbaren Energien im zukünftigen Energiemix«, Zentrum für Erneuerbare Energien ZEE an der Universität Freiburg, Freiburg, Germany, 29.1.2008
- Weber, E.  
»Zusammenarbeit von Wissenschaft und Wirtschaft in den USA – Erfahrungen aus 23 Jahren Forschung in Berkeley, USA«, Deutsch-Französische Gesellschaft für Wissenschaft und Technologie DFGWT, München, Germany, 1.2.2008
- Weber, E.  
»Solare Energiesysteme – Status Quo & Ausblick«, Fraunhofer Venture-Gruppe, München, Germany, 20.2.2008
- Weber, E.  
»Die Zukunft der PV-Technologie: Lösung des Siliciumproblems, Konzentrator- und Dünnschichttechnologie«, 23. Symposium PV Solarenergie, Kloster Banz, Bad Staffelstein, Germany, 5.3.2008
- Weber, E.  
»Klimawandel – Die Rolle der Photovoltaik in der Umsetzung der Klimaziele«, Parlamentarischer Abend Landesvertretung Sachsen-Anhalt, Berlin, Germany, 7.4.2008
- Weber, E.  
»Photovoltaic Technology – Where are we heading?«, SEMICON 2008 Singapore, Singapore, 6.5.2008
- Weber, E.  
»Silicon Materials Engineering for Advanced Solar Cells«, European Material Research Society E-MRS, Strasbourg, France, 26.5.2008
- Weber, E.  
»Die Realisierung von Brain Gain: Aufgaben und Strategien der German Scholars Organisation«, Fonds für den Hochschullehrernachwuchs, 11. Steinheimer Gespräche, Frankfurt, Germany, 29.5.2008
- Weber, E.  
»Innovationen in der Photovoltaik«, Symposium Energie Bayern Innovativ, Nürnberg, Germany, 11.6.2008
- Weber, E.  
»The Future of Photovoltaic Energy Conversion«, Physikalisches Kolloquium der Universität Bonn, Bonn, Germany, 17.6.2008
- Weber, E.  
»Photovoltaics from »Dirty« Silicon«, International Conference on Electronic Materials ICEM 2008, Sydney, Australia, 28.7.2008
- Weber, E.  
»Die Rolle der Solarenergie für die Energieversorgung der Erde«, Physikalisch-Technische Bundesanstalt PTB, Braunschweig, Germany, 11.9.2008
- Weber, E.  
»Die Rolle der Solarenergie im zukünftigen Energiemix«, Seminar des Wirtschaftsverbands Industrieunternehmen Baden WVIB, Freiburg, Germany, 23.9.2008
- Weber, E.  
»Solares Bauen – Energieversorgung im Haus aus erneuerbaren Energien«, Jahrestagung Forschungsverbund Sonnenenergie FVS, Berlin, Germany, 29.9.2008
- Weber, E.  
»Renewable Energies as the Sustainable Energy Supply for the World«, Ioffe Institute, St. Petersburg, Russia, 28.10.2008
- Weber, E.  
»Solarstrom: Eine Ressource mit Zukunft auch für Deutschland?«, Gesellschaft für Chemische Technik und Biotechnologie DECHEMA, Frankfurt, Germany, 13.11.2008
- Welser, E.; Guter, W.; Schöne, J.; Scheer, M.; Kailuweit, P.; Dimroth, F.  
»In-Situ Temperatur- und Krümmungsmessung mittels EpiCurve<sup>®</sup>TT für die Solarzellenanwendung«, in: Tagungsband, 23. DGKK Workshop, TU Braunschweig, Braunschweig, Germany, 4./5.12.2008
- Went, J.; Ripperger, S.<sup>1</sup>  
»Modell zur Ablösung von Deckschichten auf Membranen bei der Ultraschall-unterstützten Rückspülung«, in: Jahrestreffen ProcessNet Fachausschuss, Mechanische Flüssigkeitsabtrennung, Würzburg, Germany, 17./18.2.2008  
(<sup>1</sup>: Technische Universität Kaiserslautern, Lehrstuhl für Mechanische Verfahrenstechnik, Kaiserslautern, Germany)
- Went, J.; Kroemke, F.; Schmoch, H.; Vetter, M.  
»Energy Demand for Desalination in Solar Driven Reverse Osmosis Units«, in: Proceedings, CIERTA 2008, The Chamber of Commerce of Almería, Almería, Spain, 2./3.10.2008
- Wiegand, M.<sup>1</sup>; Koschikowski, J.<sup>1</sup>; Rommel, M.; Went, J.; Vetter, M.  
»Automation solar betriebener Meerwasserentsalzungsanlagen«, Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung (IZT) Workshop »Trinkwassergewinnung/Roadmap Automation«, Frankfurt, Germany, 24.6.2008  
(<sup>1</sup>: PSE AG, Freiburg, Germany)
- Wiegand, M.<sup>1</sup>; Koschikowski, J.<sup>1</sup>; Rommel, M.  
»Membrane Distillation – Innovative Technology for the Purification of Water with Low Temperature Heat Sources«, in: Proceedings, 6<sup>th</sup> Biennial International Workshop, Advances in Energy Studies, Graz University of Technology, Graz, Austria, 29.6.–2.7.2008, pp. 150–158  
(<sup>1</sup>: PSE AG, Freiburg, Germany)

Wieghaus, M.<sup>1</sup>; Koschikowski, J.<sup>1</sup>; Rommel, M.  
»Solar Desalination for a Water Supply in  
Remote Areas with Poor Grid Connection«, in:  
Proceedings, CIERTA 2008, The Chamber of  
Commerce of Almería, Almería, Spain,  
2./3.10.2008, CD-Rom  
(<sup>1</sup>: PSE AG, Freiburg, Germany)

Wiemken, E.  
»Dissemination of Experiences on Solar Cooling  
on European Level and the German solarther-  
mie2000plus Programme«, in: Proceedings,  
Solar Air-Conditioning – Experiences and  
Practical Application, OTTI-Seminar, Munich,  
Germany, 11.6.2008,  
pp. 93–101

Wirth, H.  
»SiRko – Simultane Rückseiten-Kontaktierung  
von dünnen Solarzellen«, Statusseminar  
Photovoltaik 2008, BMU, Berlin, Germany,  
11./12.11.2008

Wittstadt, U.; Jahnke, A.<sup>1</sup>; Schnabel, L.;  
Sosnowski, M; Schmidt, F.<sup>2</sup>; P.; Ziegler, F.<sup>1</sup>  
»Test Facility for Small-Scale Adsorbers«, in  
Proceedings: International Sorption Heat Pump  
Conference 2008 (ISHPC08), Kyung Hee  
University, Seoul, Korea, 23.–26.9.2008,  
CD-Rom  
(<sup>1</sup>: Technische Universität Berlin, Berlin,  
Germany)  
(<sup>2</sup>: Universität Karlsruhe, Karlsruhe, Germany)

Wittwer, V.  
»Erneuerbare Energien zu wettbewerbsfähigen  
Preisen«, Arbeitskreis Zukunftsenergie, Berlin,  
Germany, 7.5.2008

Wittwer, V.  
»The Active Solar Building«, EuroSun 2008,  
1<sup>st</sup> International Conference on Solar Heating,  
Cooling and Buildings, Lisbon, Portugal,  
7.–10.10.2008

Forschen für die Praxis ist die zentrale Aufgabe der Fraunhofer-Gesellschaft. Die 1949 gegründete Forschungsorganisation betreibt anwendungsorientierte Forschung zum Nutzen der Wirtschaft und zum Vorteil der Gesellschaft. Vertragspartner und Auftraggeber sind Industrie- und Dienstleistungsunternehmen sowie die öffentliche Hand.

Die Fraunhofer-Gesellschaft betreibt in Deutschland derzeit mehr als 80 Forschungseinrichtungen, davon 57 Institute. 14 000 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, überwiegend mit natur- oder ingenieurwissenschaftlicher Ausbildung, bearbeiten das jährliche Forschungsvolumen von 1,4 Milliarden Euro. Davon fallen 1,2 Milliarden Euro auf den Leistungsbereich Vertragsforschung. Zwei Drittel dieses Leistungsbereichs erwirtschaftet die Fraunhofer-Gesellschaft mit Aufträgen aus der Industrie und mit öffentlich finanzierten Forschungsprojekten. Nur ein Drittel wird von Bund und Ländern als Grundfinanzierung beigesteuert, damit die Institute Problemlösungen erarbeiten können, die erst in fünf oder zehn Jahren für Wirtschaft und Gesellschaft aktuell werden.

Niederlassungen in Europa, in den USA und in Asien sorgen für Kontakt zu den wichtigsten gegenwärtigen und zukünftigen Wissenschafts- und Wirtschaftsräumen.

Mit ihrer klaren Ausrichtung auf die angewandte Forschung und ihrer Fokussierung auf zukunftsrelevante Schlüsseltechnologien spielt die Fraunhofer-Gesellschaft eine zentrale Rolle im Innovationsprozess Deutschlands und Europas. Die Wirkung der angewandten Forschung geht über den direkten Nutzen für die Kunden hinaus: Mit ihrer Forschungs- und Entwicklungsarbeit tragen die Fraunhofer-Institute zur Wettbewerbsfähigkeit der Region, Deutschlands und Europas bei. Sie fördern Innovationen, stärken die technologische Leistungsfähigkeit, verbessern die Akzeptanz moderner Technik und sorgen für Aus- und Weiterbildung des dringend benötigten wissenschaftlich-technischen Nachwuchses.

Ihren Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern bietet die Fraunhofer-Gesellschaft die Möglichkeit zur fachlichen und persönlichen Entwicklung für anspruchsvolle Positionen in ihren Instituten, an Hochschulen, in Wirtschaft und Gesellschaft. Studentinnen und Studenten eröffnen sich an Fraunhofer-Instituten wegen der praxisnahen Ausbildung und Erfahrung hervorragende Einstiegs- und Entwicklungschancen in Unternehmen.

Namensgeber der als gemeinnützig anerkannten Fraunhofer-Gesellschaft ist der Münchner Gelehrte Joseph von Fraunhofer (1787–1826), der als Forscher, Erfinder und Unternehmer gleichermaßen erfolgreich war.

## Redaktion

Marion Hopf  
Karin Schneider (Leitung)  
Presse und Public Relations

## Bildquellen

Michael Eckmann, Freiburg  
Guido Erbring, Köln  
Guido Kirsch, Freiburg  
Margrit Müller, Freiburg  
Joscha Rammelberg, Freiburg  
Claudia Seitz, Sankt Märgen  
Fraunhofer ISE  
Fraunhofer IWM Halle  
Stirling Power Module GmbH

## Gestaltung und Druck

[www.netsyn.de](http://www.netsyn.de)  
Joachim Würger, Freiburg

## Anschrift der Redaktion

Fraunhofer-Institut für  
Solare Energiesysteme ISE  
Presse und Public Relations  
Heidenhofstr. 2  
79110 Freiburg  
Tel. +49 (0) 761/45 88-51 50  
Fax. +49 (0) 761/45 88-93 42  
[info@ise.fraunhofer.de](mailto:info@ise.fraunhofer.de)  
[www.ise.fraunhofer.de](http://www.ise.fraunhofer.de)

## Bestellung von Publikationen

Bitte per E-Mail oder per Fax.

Bei Abdruck ist die Einwilligung der  
Redaktion erforderlich.

©Fraunhofer-Institut für  
Solare Energiesysteme ISE  
Freiburg, 2009



**links**

FRESDOMO-Versuchskollektor auf der Plataforma Solar de Almería, Spanien. Die Vermessung dieses Kollektors dient als Grundlage für die techno-ökonomische Bewertung der Fresnel-Technologie im Vergleich zum Einsatz von Parabolrinnen für solarthermische Kraftwerke.

**mitte**

PV-Modul bei der Prüfung im Hagelteststand des VDE-Fraunhofer ISE-Testzentrum Photovoltaik (TZPV). Die Hagelkanone wurde vom Fraunhofer ISE speziell für den Teststand entwickelt.

**rechts**

Heizölbetriebener Gasbrenner, für den ein neuartiger Öl-Verdampfer entwickelt wurde, mit dessen Hilfe Heizöl ohne Rückstände verdampft werden kann. Zu sehen ist der Verdampfer (Hintergrund), der einen Gasbrenner (vorne im Bild) mit Heizöldampf versorgt.





## Veranstaltungen 2009 mit Beteiligung des Fraunhofer ISE

- 14. Symposium Licht und Architektur, Kloster Banz, Bad Staffelstein, 12.–13.2.2009
- 24. Symposium Photovoltaische Solarenergie, Kloster Banz, Bad Staffelstein 4.–6.3.2009
- Hannover Messe, Stand Fraunhofer-Allianz Energie, Hannover, 20.–24.4.2009
- 19. Symposium Thermische Solarenergie, Kloster Banz, Bad Staffelstein, 6.–8.5.2009
- Intersolar, München, 27.–29.5.2009
- Intersolar North America, San Francisco, USA, 14.–16.7.2009
- 3<sup>rd</sup> Heat Powered Cycles Conference, Berlin, 7.–9.9.2009
- 15<sup>th</sup> International SolarPACES Symposium, Berlin, 15.–18.9.2009
- 24<sup>th</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Hamburg, 21.–25.9.2009
- f-cell Forum, Stuttgart, 28.–29.9.2009
- 3<sup>rd</sup> International Conference on Solar Air-Conditioning, Palermo, Italien, 30.9.–2.10.2009
- Solar Summits Freiburg: Solar Buildings, Freiburg, 14.–16.10.2009

Fraunhofer-Institut für  
Solare Energiesysteme ISE  
Heidenhofstraße 2  
79110 Freiburg

Telefon +49 (0) 7 61/45 88-0  
Telefax +49 (0) 7 61/45 88-90 00  
info@ise.fraunhofer.de  
www.ise.fraunhofer.de

# Fakten im Überblick

Sonstige Veröffentlichungen

## Sonstige Veröffentlichungen

- Alemán, M.; Bay, N.; Gautero, L.; Specht, J.; Stüwe, D.; Neubauer, R.; Barucha, D.; Biro, D.; Rentsch, J.; Glunz, S. W.; Preu, R.  
 »Industrially Feasible Front-Side Metallization Based on Ink-Jet Masking and Nickel Plating«, in: Proceedings, 23<sup>rd</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Valencia, Spain, 1.–5.9.2008
- Benick, J.; Schultz-Wittmann, O.<sup>1</sup>; Schön, J.; Glunz, S.  
 »Passivation of Boron Emitters by Local Overcompensation with Phosphorus«, in: Proceedings, 23<sup>rd</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Valencia, Spain, 1.–5.9.2008, pp. 1550–1552  
 (1: now with Solexel Inc., California, USA)
- Benick, J.; Hoex, B.<sup>1</sup>; Schultz-Wittmann, O.<sup>2</sup>; Glunz, S.  
 »Surface Passivation of Boron Diffused Emitters for High Efficiency Solar Cells«, in: Proceedings, 33<sup>rd</sup> IEEE Photovoltaic Specialists Conference, San Diego, CA, USA, 11.–16.5.2008  
 (1: Eindhoven University of Technology)  
 (2: now with Solexel Inc., California, USA)
- Bendig, M.<sup>1</sup>; Hanika, J.<sup>1</sup>; Dammertz, H.<sup>1</sup>; Goldschmidt, J. C.; Peters, M.; Weber, M.<sup>1</sup>.  
 »Simulation of Fluorescent Concentrators«, in: Proceedings, IEEE/EG Symposium on Interactive Ray Tracing, Los Angeles, California, USA, 2008, pp. 93–98  
 (1: University Ulm, Ulm, Germany)
- Bernhard, R.; Laabs, H.; Lalaing, J.; Eck, M.; Eickhoff, M.; Pottler, K.; Morin, G.; Heimsatz, A.; Georg, A.; Häberle, A.  
 »Linear Fresnel Collector Demonstration on the PSA Part I – Design: Construction and Quality Control«, in: Proceedings, 14<sup>th</sup> Biennial SolarPACES Concentrating Solar, Las Vegas, NV, USA, 4.–7.3.2008
- Bernhard, R.; Hein, S.; Lalaing, J.; Eck, M.; Eickhoff, M.; Pfänder, M.; Morin, G.; Häberle, A.  
 »Linear Fresnel Collector Demonstration on the PSA Part II – Commissioning and First Performance Tests«, in: Proceedings, 14<sup>th</sup> Biennial SolarPACES Concentrating Solar, Las Vegas, NV, USA, 4.–7.3.2008
- Bett, A. W.  
 »Die Konzentration-Photovoltaik – an der Schwelle zum Markteintritt«, in: Science-Allemagne, Abteilung für Wissenschaft und Technologie, Französische Botschaft Berlin, Germany, October 2008, pp. 17–19
- Bett, A. W.  
 »Konzentrationsphotovoltaik: Status und Erwartungen«, in: Tagungsband, 23. Symposium Photovoltaische Solarenergie, OTTI, Bad Staffelstein, Germany, 5.–7.3.2008, pp. 250–255
- Bett, A. W.  
 »Indoor Characterization of CPV Modules at Fraunhofer ISE«, in: Proceedings, 5<sup>th</sup> International Conference on Solar Concentrators for the Generation of Electricity, National Renewable Energy Lab, Palm Desert, CA, USA, 17.–19.11.2008
- Bett, A. W.; Dimroth, F.; Löckenhoff, R.; Oliva, E.; Schubert, J.  
 »III-V Solar Cells under Monochromatic Illumination«, in: Proceedings, 33<sup>rd</sup> IEEE Photovoltaic Specialists Conference, San Diego, CA, USA, 11.–16.5.2008
- Bett, A. W.; Jaus, J.; Peharz, G.; Siefert, G.; Hakenjos, A.<sup>1</sup>; Heile, I.<sup>1</sup>; Lerchenmüller, H.<sup>1</sup>; Wüllner, J.<sup>1</sup>  
 »Outdoor Evaluation of FLATCON<sup>®</sup> Modules and Systems«, in: Proceedings, 33<sup>rd</sup> IEEE Photovoltaic Specialists Conference, San Diego, CA, USA, 11.–16.5.2008  
 (1: Concentrix Solar GmbH, Freiburg, Germany)
- Blazek, M.; Kwapił, W.; Schön, J.; Warta, W.  
 »Gettering Efficiency of Backside Aluminium Layer and Al-Si-Eutectic«, in: Proceedings, 23<sup>rd</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Valencia, Spain, 1.–5.9.2008, pp. 1637–1643
- Bongs, C.; Morgenstern, C.; Henning, H.-M.  
 »Modelling and First Experimental Characterization of a Sorptive Heat Exchanger Prototype for Application in a Novel Desiccant Evaporative Cooling Cycle«, in: Proceedings, EuroSun 2008, 1<sup>st</sup> International Conference on Solar Heating, Cooling and Buildings, Lisbon, Portugal, 7.–10.10.2008
- Bongs, C.; Henning, H.-M.; Morgenstern, A.  
 »Modelling and Exergetic Assessment of a Sorptive Heat Exchanger for the Application in a Novel Desiccant Evaporative Cooling Cycle«, in: Proceedings, EuroSun 2008, 1<sup>st</sup> International Conference on Solar Heating, Cooling and Buildings, Lisbon, Portugal, 7.–10.10.2008, CD-ROM
- Book, F.<sup>1</sup>; Raabe, B.<sup>1</sup>; Hahn, G.<sup>1,2</sup>  
 »Two Diffusion Step Selective Emitter: Comparison of Mask Opening by Laser or Etching Paste«, in: Proceedings, 23<sup>rd</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Valencia, Spain, 1.–5.9.2008, pp. 1546–1549  
 (1: University of Konstanz, Department of Physics, Konstanz, Germany)  
 (2: also with Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE, Freiburg, Germany)
- Bopp, G.; Grüner, R.<sup>1</sup>; Lux, S.; Pfanner, N.; Zimmermann, A.<sup>2</sup>  
 »Claim and Reality of PV Lamps with LEDs«, in: Proceedings, 23<sup>rd</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Valencia, Spain, 1.–5.9.2008, pp. 2770–2773  
 (1: Deutsche Gesellschaft für technische Zusammenarbeit, Eschborn, Germany)  
 (2: Phocos AG, Ulm, Germany)
- Bopp, G.; Schwunk, S.; Thomas, R.; Vetter, M.  
 »Batterien in autonomen PV-Anlagen«, in: Elektropraktiker, Vol. 11/12, December 2008, pp. 34–40
- Braun, P.<sup>1,2</sup>; Wille-Hausmann, B.; Rüter, R.<sup>1</sup>; Wittwer, C.  
 »Solar Energy on Airports: The Impact of Large Scale Photovoltaic Systems on Distribution Networks«, in: Proceedings, 23<sup>rd</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Valencia, Spain, 1.–5.9.2008, pp. 3392–3395  
 (1: University of Santa Catarina, Santa Catarina, Brazil)  
 (2: also with Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE, Freiburg, Germany)
- Burger, B.; Roth, W.  
 »PV Solar Inverters – Market, Technology and Trends«, in: European Sustainable Energy Review, March 2008
- Burger, B.; Kranzer, D.; Schmidt, H.  
 »98,5 % Wechselwirkungsgrad mit SiC MOSFETs«, in: Tagungsband, 23. Symposium Photovoltaische Solarenergie, OTTI, Bad Staffelstein, Germany, 5.–7.3.2008, CD-Rom
- Burger, B.; Laukamp, H.; Schmidt, H.  
 »Höhere Systemwirkungsgrade in dreiphasigen Anlagen durch Systemspannungen größer als 1000 V«, in: Tagungsband, 23. Symposium Photovoltaische Solarenergie, OTTI, Bad Staffelstein, Germany, 5.–7.3.2008, CD-Rom
- Burhenne, S.; Jacob, D.  
 »Simulation Models to Optimize the Energy Consumption of Buildings«, in: Proceedings, The International Conference for Enhanced Building Operations (ICEBO'08), IGS Braunschweig, Ebert-Ingenieure, Texas A & M University, Berlin, Germany, 20.–22.10.2008, CD-ROM
- Catoir, J.; Wolke, W.; Hartmann, P.; Gernot, E.; Preu, R.; Trassl, R.<sup>1</sup>; Wieder, S.<sup>1</sup>  
 »Investigation of Blistering of Sputtered Silicon Nitride Anti-Reflection Layer«, in: Proceedings, 23<sup>rd</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Valencia, Spain, 1.–5.9.2008, pp. 1542–1545  
 (1: Applied Materials GmbH & Co. KG, Alzenau, Germany)
- Catoir, J.; Wolke, W.; Griesshammer, M.; Preu, R.; Trassl, R.<sup>1</sup>; Grambole, D.<sup>2</sup>  
 »Analysis of Hydrogen Passivation by Sputtered Silicon Nitride«, in: Proceedings, 23<sup>rd</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Valencia, Spain, 1.–5.9.2008, pp. 1530–1533  
 (1: Applied Materials GmbH & Co. KG, Alzenau, Germany)  
 (2: Forschungszentrum Rossendorf, Dresden, Germany)



Clement, F.; Belledin, U.; Wotke, E.; Menkö, M.; Kubera, T.; Höning, R.; Harmel, C.; Spitz, M.; With, H.; Biro, D.; Preu, R.

»Industrially Feasible mc-Si Metal Wrap Trough (MWT) Solar Cells with High Emitter Sheet Resistance Exceeding 16 % Efficiency«, in: Proceedings, 23<sup>rd</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Valencia, Spain, 1.–5.9.2008

Clement, F.; Menkö, M.; Erath, D.; Kubera, T.; Höning, R.; Belledin, U.; Wolke, W.; Biro, D.; Preu, R.

»High Throughput via Metallization Technique for Multi-Crystalline Metal Wrap Through (MWT) Silicon Solar Cells Exceeding 16 % Efficiency«, in: Proceedings, XVII International Materials Research Congress 2008, Sociedad Mexicana de Materiales (MRS-Mexico), Cancun, Mexico, 17.–21.8.2008

Dastgheib-Shirazi, A.<sup>1</sup>; Haverkamp, H.<sup>1</sup>; Raabe, B.<sup>1</sup>; Book, F.<sup>1</sup>; Hahn, G.<sup>1,2</sup>  
»Selective Emitter for Industrial Solar Cell Production: A Wet Chemical Approach Using a Single Side Diffusion Process«, in: Proceedings, 23<sup>rd</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Valencia, Spain, 1.–5.9.2008, pp. 1197–1199

(<sup>1</sup>: University of Konstanz, Fachbereich Physik, Photovoltaik-Abteilung, Konstanz, Germany)  
(<sup>2</sup>: also with Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE, Freiburg, Germany)

Di Lauro, P.; Heß, S.; Rose, S.; Rommel, M.  
»Characterization of the Optical Properties of Solar Collectors by Ray Tracing Simulation«, in: Proceedings, EuroSun 2008, 1<sup>st</sup> International Conference on Solar Heating, Cooling and Buildings, Lisbon, Portugal, 7.–10.10.2008, CD-ROM

Dimroth, F.; Hoheisel, R.; Guter, W.; Schöne, J.; Siefer, G.; Welsler, E.; Stetter, D.; Bett, A. W.  
»Development of Metamorphic Triple-junction Solar Cells for Low Temperature, Low Intensity Operation in Space«, in: Proceedings, 33<sup>rd</sup> IEEE Photovoltaic Specialists Conference, San Diego, CA, USA, 11.–16.5.2008

Ebert, G.  
»Photovoltaik«, in: Ingenieurspiegel, 2008

Eccarius, S.; Tian, X.; Krause, F.; Agert, C.  
»Completely Passive Operation of a Vapor-fed DMFCs for Portable Applications«, in: PowerMEMS Special Issue 2007

Erath, D.; Filipovic, A.; Götz, A.; Retzlaff, M.; Clement, F.; Biro, D.; Preu, R.  
»Advanced Screen Printing Technique for High Definition Front Side Metallisation of Crystalline Silicon Solar Cells«, in: Proceedings, XVII International Materials Research Congress 2008, Sociedad Mexicana de Materiales (MRS-Mexico), Cancun, Mexico, 17.–21.8.2008

Erge, T.  
»Visionen zur Integration von PV-Strom in das Gesamtsystem der Energieversorgung«, in: Tagungsband, 9. Forum Solarpraxis, Solarpraxis, Berlin, 20./21.11.2008

Fath, H. E. S.<sup>1</sup>; Elsherbiny, S. M.<sup>1</sup>; Hassan, A. A.<sup>1</sup>; Wieghaus, M.<sup>2</sup>; Koschikowski, J.<sup>2</sup>; Vatanserver, M.<sup>3</sup>

»PV and Thermally Driven Small-Scale, Stand-Alone Solar Desalination Systems with very Low Maintenance Needs«, in: Desalination (Filtration and Separation), Vol. 225, pp. 58–69 (Elsevier 2008)

(<sup>1</sup>: Alexandria University, Egypt)  
(<sup>2</sup>: PSE AG, Freiburg, Germany)  
(<sup>3</sup>: Fentec, Turkey)

Fell, A.; Kray, D.; Wütherich, T.; Müller, R.; Willeke, G. P.; Glunz, S. W.

»Simulation of Phase Changes and Dopant Diffusion in Silicon for the Selective Emitter with Laser Chemical Processing (LCP)«, in: Proceedings, 23<sup>rd</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Valencia, Spain, 1.–5.9.2008

Fernandez, J.; Janz, S.; Suwito, D.; Oliva, E.; Dimroth, F.

»Advanced Concepts for High-Efficiency Germanium Photovoltaic Cells«, in: Proceedings, 33<sup>rd</sup> IEEE Photovoltaic Specialists Conference, San Diego, CA, USA, 11.–16.5.2008

Fischer, S.; Goldschmidt, J. C.; Löper, P.; Janz, S.; Peters, M.; Glunz, S. W.; Kigel, A.<sup>1</sup>; Lifshitz, E.<sup>1</sup>; Krämer, K.<sup>2</sup>; Biner, D.<sup>2</sup>; Bauer, G. H.<sup>3</sup>; Brüggemann, R.<sup>3</sup>

»Material Characterization for Advanced Up-converter Systems«, in: Proceedings, 23<sup>rd</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Valencia, Spain, 1.–5.9.2008, pp. 620–623

(<sup>1</sup>: Technion City, Haifa, Israel)  
(<sup>2</sup>: University of Bern, Bern, Switzerland)  
(<sup>3</sup>: Institute for Physics, Oldenburg, Germany)

Füldner, G.; Schnabel, L.  
»Non-Isothermal Kinetics of Water Adsorption in Compact Adsorbent Layers on a Metal Support«, in: Proceedings, COMSOL Conference 2008, Hannover, Germany, 4.–6.11.2008, CD-ROM

Giesecke, J.; Kasemann, M.<sup>1</sup>; Schubert, M.<sup>1</sup>; Michl, B.; The, M.; Warta, W.; Würfel, P.<sup>2</sup>  
»Determination of Minority Carrier Diffusion Lengths«, in: Proceedings, 23<sup>rd</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference, Valencia, Spain, 1.–5.9.2008, pp. 453–457  
(<sup>1</sup>: University of Freiburg, Freiburg Materials Research Center FMF, Freiburg, Germany)  
(<sup>2</sup>: University of Karlsruhe, Institut für Angewandte Physik, Karlsruhe, Germany)

Gölz, S.  
»Nachhaltiger Energiekonsum von Haushalten durch intelligente Zähler-, Kommunikations- und Tarifsysteme«, Projekt Website zum BMBF-Projekt Intelliekon, [www.intelliekon.de](http://www.intelliekon.de)

Gölz, S.  
»Projektvorstellung Intelliekon – Nachhaltiger Energiekonsum von Haushalten durch intelligente Zähler Kommunikations- und Tarifsysteme«, in: Umweltpsychologie, Heft 2/2000, December 2008

Goldschmidt, J. C.; Peters, M.; Dimroth, F.; Glunz, S. W.; Willeke, G.

»Efficiency Enhancement of Fluorescent Concentrators with Photonic Structures and Material Combinations«, in: Proceedings, 23<sup>rd</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference, Valencia, Spain, 1.–5.9.2008, pp. 193–197

Goldschmidt, J. C.; Löper, P.; Fischer, S.; Janz, S.; Peters, M.; Glunz, S. W.; Willeke, G.; Lifshitz, E.<sup>1</sup>; Krämer, K.<sup>2</sup>; Biner, D.<sup>2</sup>  
»Advanced Upconverter Systems with Spectral and Geometric Concentration for High Upconversion Efficiencies«, in: Proceedings, IUMRS International Conference on Electronic Materials, 2008, Sydney, Australia  
(<sup>1</sup>: Technion, Haifa, Israel)  
(<sup>2</sup>: University of Bern, Bern, Switzerland)

Goldschmidt, J. C.; Löper, P.; Peters, M.; Gombert, A.; Glunz, S. W.; Willeke, G.  
»Progress in Photon Management for Full Spectrum Utilization with Luminescent Materials«, in: Proceedings, Quantsol 2008, European Society for Quantum Solar Energy Conversion, Bad Gastein, Austria, 2.–7.3.2008

Goldschmidt, J. C.; Peters, M.; Dimroth, F.; Glunz, S.  
»Zurück in die Zukunft – Fluoreszenzkonzentratoren«, in: Erneuerbare Energien, pp. 48–52

Granek, F.; Hermle, M.; Reichel, C.; Grohe, A.; Schultz-Wittmann, O.; Glunz, S. W.  
»Positive Effects of Front Surface Field in High-Efficiency Back-Contact Back-Junction n-Type Silicon Solar Cells«, in: Proceedings, 33<sup>rd</sup> IEEE Photovoltaic Specialists Conference, San Diego, CA, USA, 11.–16.5.2008, pp. 1–5

Granek, F.; Hermle, M.; Reichel, C.; Benick, J.; Schultz-Wittmann, O.<sup>1</sup>; Glunz, S. W.  
»High-Efficiency Back-Junction Back-Contact Silicon Solar Cell Research at Fraunhofer ISE«, in: Proceedings, 23<sup>rd</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Valencia, Spain, 1.–5.9.2008, pp. 991–995  
(<sup>1</sup>: now with Solexel Inc., California, USA)

Groetschel, D.<sup>1</sup>; Junge, K.<sup>1</sup>; Kaes, M.<sup>1</sup>; Zuschlag, A.<sup>1</sup>; Hahn, G.<sup>1,2</sup>  
»Plasma Texturing and its Influence on Surface Passivation«, in: Proceedings, 23<sup>rd</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Valencia, Spain, 1.–5.9.2008, pp. 1534–1536  
(<sup>1</sup>: University of Konstanz, Department of Physics, Konstanz, Germany)  
(<sup>2</sup>: also with Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE, Freiburg, Germany)

Grote, D.; Hermle, M.; Wotke, E. A.; Belledin, U.; Hörteis, M.; Spitz, M.; Kasemann, M.<sup>1</sup>; Rein, S.; Biro, D.; Warta, W.  
 »Analyzing the Effects of Laterally Varying Emitter Sheet Resistances on Solar Cell Results Using Different Simulation Techniques«, in: Proceedings, 23<sup>rd</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference, Valencia, Spain, 1.–5.9.2008, pp. 278–282  
 (<sup>1</sup>: University of Freiburg, Freiburg Materials Research Center FMF, Freiburg, Germany)

Habenicht, H.; Gundel, P.; Mchedlidze, T.<sup>1</sup>; Kittler, M.<sup>1</sup>; Coletti, G.<sup>2</sup>; Warta, W.  
 »Defect Transformation on Intentionally Contaminated Multicrystalline FZ Silicon During Low Temperature Annealing«, in: Proceedings, 23<sup>rd</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Valencia, Spain, 1.–5.9.2008, pp. 1933–1937  
 (<sup>1</sup>: IHP/BTU Joint Lab, BTU Cottbus, Cottbus, Germany)  
 (<sup>2</sup>: ECN – Solar Energy, Petten, The Netherlands)

Hahn, G.<sup>1,2</sup>; Herguth, A.<sup>1</sup>; Helfricht, A.<sup>1</sup>; Hofmann, M.; Warta, W.; Van der Borg, N. J. C. M.<sup>3</sup>; Weeber, A. W.<sup>3</sup>; John, J.<sup>4</sup>; Beaucarne, G.<sup>4</sup>; Bagus, S.<sup>5</sup>; Nagel, H.<sup>5</sup>; Le Quang, N.<sup>6</sup>; Nichiporuk, O.<sup>6</sup>; Vincueria, I.<sup>7</sup>; Brochs, M.<sup>8</sup>  
 »IV Measurements of mc-Si Solar Cells: Comparison of Results from Institute and Industry Partners within the EU CrystalClear Project«, in: Proceedings, 23<sup>rd</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Valencia, Spain, 1.–5.9.2008, pp. 1182–1187  
 (<sup>1</sup>: University of Konstanz, Department of Physics, Konstanz, Germany)  
 (<sup>2</sup>: also with Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE, Freiburg, Germany)  
 (<sup>3</sup>: ECN – Solar Energy, Petten, The Netherlands)  
 (<sup>4</sup>: IMEC, Leuven, Belgium)  
 (<sup>5</sup>: SCHOTT Solar GmbH, Alzenau, Germany)  
 (<sup>6</sup>: Photowatt International S.A.U., Bourgoin Jallieu, France)  
 (<sup>7</sup>: BP Solar Espana, Madrid, Spain)  
 (<sup>8</sup>: REC Scancell, Narvik, Norway)

Hausmann, T.; Schossig, P.  
 »Bestandssanierung mit aktiv durchströmten PCM-Kühldecken«, in: Tagungsband, 2. Internationales Anwenderforum »Energieeffizienz + Bestand«, Bad Staffelstein 14./15.2.2008, pp. 158-165

Hausmann, T.; Schossig, P.  
 »Aktuelle Entwicklungen bei PCMs in Gebäuden«, in: Tagungsband, e-nova 2008, FH Burgenland, Pinkafeld, Austria, 20./21.11.2008

Haverkamp, H.<sup>1</sup>; Shirazi, A.<sup>1</sup>; Raabe, B.<sup>1</sup>; Book, F.<sup>1</sup>; Hahn, G.<sup>1,2</sup>  
 »Minimizing the Electrical Losses on the Front Side: Development of a Selective Emitter Process from a Single Diffusion«, in: Proceedings, 33<sup>rd</sup> IEEE Photovoltaic Specialists Conference, San Diego, CA, USA, 11.–16.5.2008  
 (<sup>1</sup>: University of Konstanz, Department of Physics, Konstanz, Germany)  
 (<sup>2</sup>: also with Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE, Freiburg, Germany)

Haverkamp, H.<sup>1</sup>; Scholz, S.<sup>1</sup>; Hahn, G.<sup>1,2</sup>  
 »Screen Printed EWT Cells: Limitations and Alternative Approaches to the Manufacturing Process«, in: Proceedings, 23<sup>rd</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Valencia, Spain, 1.–5.9.2008, pp. 1945–1948  
 (<sup>1</sup>: University of Konstanz, Department of Physics, Konstanz, Germany)  
 (<sup>2</sup>: also with Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE, Freiburg, Germany)

Hebling, C.; Tian, X.; Eccarius, S.; Beard, K.<sup>1</sup>; Jungmann, T.  
 »Passively Operated Vapor-Fed Direct Methanol Fuel Cells for Portable Applications«, in: Tagungsband, Small Fuel Cells Conference 2008, Atlanta, GA, USA, 30.4.–2.5.2008  
 (<sup>1</sup>: University of South Carolina, Columbia, SC, USA)

Hebling, C.  
 »Hydrogen and Fuel Cells as Part of a Renewable Energy Economy«, in: Tagungsband, The 5<sup>th</sup> International Forum on New and Renewable Energy, Jeonju, South Korea, 2.–5.12.2008,

Hebling, C.  
 »Portable Fuel Cells between Research and Commercial Products«, in: Tagungsband, f-cell 2008, Stuttgart, Germany, 29./30.9.2008

Hecking, B.<sup>1</sup>; Russ, C.; Miara, M.; Platt, M.  
 »Wärmepumpen im Gebäudebestand – Übersicht und erste Ergebnisse aus einem Feldtestmonitoring«, in: Tagungsband, 6. Forum Wärmepumpe, Solarpraxis, Berlin, Germany, 30.9.–1.10.2008  
 (<sup>1</sup>: E.ON Energie AG, Munich, Germany)

Heimsath, A.; Platzer, W.; Bothe, T.<sup>1</sup>; Li, W.<sup>2</sup>  
 »Characterization of Optical Components for Linear Fresnel Collectors By Fringe Reflection Method«, in: Proceedings, 14<sup>th</sup> Biennial SolarPACES Concentrating Solar, Las Vegas, NV, USA, 4.–7.3.2008, CD-Rom  
 (1: Bremer Institut für angewandte Strahltechnik BIAS, Bremen, Germany)  
 (<sup>2</sup>: Vereinigte Elektronikwerkstätten VEW, Bremen, Germany)

Heimsath, A.; Ebert, M.<sup>1</sup>  
 »Concentrating Solar Power – Technologies and Overview«, in: Proceedings, 14<sup>th</sup> International Conference of Women Engineers and Scientists, Lille, France, 15.–18.6.2008, CD-Rom  
 (<sup>1</sup>: German Aerospace Center (DLR), Tabernas, Spain)

Henning, H.-M.  
 »Aktive und passive Kühlung von Gebäuden«, in: Deutsches Architektenblatt, Heft 9, 2008, pp. 48–51

Henning, H.-M.  
 »Solar Assisted Cooling«, in: Proceedings, European Union Sustainable Energy Week »Developing the Huge Solar Thermal Potential«, Brussels, Belgium, 29.1.2008, CD-ROM

Henning, H.-M.  
 »Solare Kühlung und Klimatisierung – Technische Möglichkeiten (Teil I)«, in: KKA Kälteklima aktuell, Heft 3 (2008), pp. 28–32

Henning, H.-M.  
 »Solare Kühlung und Klimatisierung – Technische Möglichkeiten (Teil II)«, in: KKA Kälteklima aktuell, Heft 4 (2008), pp. 38–42

Henning, H.-M.  
 »Solare Kühlung und Klimatisierung – Stand und zukünftige Perspektiven«, in: Tagungsband, 18. Symposium Thermische Solarenergie, OTTI, Bad Staffelstein, Germany, 23.–25.4.2008, pp. 146-152

Henning, H.-M.  
 »Solar Cooling Components and Systems – an Overview«, in: Proceedings, Solar Air-Conditioning – Experiences and Practical Application, OTTI-Seminar, Munich, Germany, 11.6.2008, pp. 13–29

Henning, H.-M.  
 »Solar Driven Cooling«, in: Proceedings, EuroSun 2008, 1<sup>st</sup> International Conference on Solar Heating, Cooling and Buildings, Lisbon, Portugal, 7.–10.10.2008, CD-ROM

Henning, H.-M.; Bongs, C.; Morgenstern, A.  
 »Modelling and Exergetic Assessment of a Sorptive Heat Exchanger for the Application in a Novel Desiccant Evaporative Cooling Cycle«, in: Proceedings, EuroSun 2008, 1<sup>st</sup> International Conference on Solar Heating, Cooling and Buildings, Lisbon, Portugal, 7.–10.10.2008, CD-ROM

Henning, H.-M.; Wittwer, V.; Platzer, W.; Rommel, M.; Weber, E. R.  
 »Thermische Nutzung der Solarenergie«, in: Freiburger Universitätsblätter, Heft 180, Ausgabe Juni 2008, pp. 49–71

Henninger, S.; Habib, H. A.<sup>1</sup>; Janiak, C.<sup>1</sup>  
 »MOFs as Adsorbents for Low Temperature Heating and Cooling Applications«, in: Journal of the American Chemical Society (online available: <http://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/ja808444z>)  
 (<sup>1</sup>: University of Freiburg, Freiburg, Germany)

Herkel, S.; Jacob, D.; Dietz, S.; Komhard, S.  
 »Optimierung von linearen Regressionsmodellen für Energiesignaturen auf Basis von Gebäudesimulationen«, in: Tagungsband, IPBSA BauSIM 2008, Kassel, Germany, 8.–10.9.2008, pp. 50–51

- Herkel, S.; Erhorn, H.<sup>1</sup>; Kaiser, J.<sup>1</sup>; Kaan, H.<sup>2</sup>  
 »Energieeffiziente Büros und Produktionsstätten – Ergebnisse und Erfahrungen aus Monitoring-Projekten«, in: Tagungsband, FVS Jahrestagung 2008, Berlin, Germany, 29./30.9.2008 (online available: <http://www.fvee.de/publikationen/publikation/download/uebersicht-der-vortraege-zur-jahrestagung-2008-energieeffizientes-und-solares-bauen>)  
 (<sup>1</sup>: Fraunhofer IBP, Stuttgart, Germany)  
 (<sup>2</sup>: Energy Research Centre of the Netherlands (ECN), Petten, The Netherlands)
- Herkel, S.; Kagerer, F.  
 »Analysis of Energy Supply Strategies in Housing Retrofit«, in: Proceedings, EuroSun 2008, 1<sup>st</sup> International Conference on Solar Heating, Cooling and Buildings, Lisbon, Portugal, 7.–10.10.2008, CD-ROM
- Hermann, M.  
 »Development of Solar Collectors with FraTherm<sup>®</sup> Aluminium Roll-Bond Absorber«, in: Proceedings, EuroSun 2008, 1<sup>st</sup> International Conference on Solar Heating, Cooling and Buildings, Lisbon, Portugal, 7.–10.10.2008, CD-ROM
- Hermann, M.; Kuhn, T. E.; Rommel, M.  
 »Development of a Multifunctional Semi-Transparent Facade Collector«, in: Proceedings, EuroSun 2008, 1<sup>st</sup> International Conference on Solar Heating, Cooling and Buildings, Lisbon, Portugal, 7.–10.10.2008, CD-ROM
- Herrmann, N.<sup>1</sup>; Buchholz, B.<sup>1</sup>; Gözl, S.  
 »Waschen mit der Sonne: Feldtest der MVV Energie untersucht das Potenzial einer Lastverschiebung bei Haushaltskunden«, in: Energie & Management, Vol. 3, (2008)  
 (<sup>1</sup>: MVV Energie, Mannheim, Germany)
- Hermle, M.; Granek, F.; Schultz, O.; Glunz, S. W.  
 »Shading Effects in Back-junction Back-contacted Silicon Solar Cells«, in: Proceedings, 33<sup>rd</sup> IEEE Photovoltaic Specialists Conference, San Diego, CA, USA, 11.–16.5.2008
- Hermle, M.; Philipps, S. P.; Létay, G.; Bett, A. W.  
 »Numerical Simulation of Tunnel Diodes and Multi-Junction Solar Cells«, in: Proceedings, 33<sup>rd</sup> IEEE Photovoltaic Specialists Conference, San Diego, CA, USA, 11.–16.5.2008
- Herzog, B.<sup>1</sup>; Hahn, G.<sup>1,2</sup>; Hofmann, M.; Romijn, I. G.<sup>3</sup>; Weeber, A. W.<sup>3</sup>  
 »Bulk Hydrogenation in mc-Si by PECVD SiNx Deposition Using Direct and Remote Plasma«, in: Proceedings, 23<sup>rd</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Valencia, Spain, 1.–5.9.2008, pp. 1863–1866  
 (<sup>1</sup>: University of Konstanz, Department of Physics, Konstanz, Germany)  
 (<sup>2</sup>: also with Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE, Freiburg, Germany)  
 (<sup>3</sup>: ECN – Solar Energy, Petten, The Netherlands)
- Heß, S.; Rommel, M.; Di Lauro, P.; Rose, S.  
 »Raytracing-Untersuchungen für die Entwicklung von Prozesswärme-Kollektoren«, in: Tagungsband, 18. Symposium Thermische Solarenergie, OTTI, Bad Staffelstein, Germany, 23.–25.4.2008, pp. 416–421
- Heß, S.; Di Lauro, P.; Rommel, M.; Rose, S.  
 »Comparison of Medium Temperature Collectors for the Generation of Process Heat«, in: Proceedings, EuroSun 2008, 1<sup>st</sup> International Conference on Solar Heating, Cooling and Buildings, Lisbon, Portugal, 7.–10.10.2008, CD-ROM
- Hess, U.<sup>1</sup>; Lauermann, T.<sup>1</sup>; Seren, S.<sup>1</sup>; Hahn, G.<sup>1,2</sup>; Gutjahr, A.<sup>3</sup>; Schönecker, A.<sup>4</sup>  
 »Impact of the Crystal Structure on Solar Cell Parameters of Ribbon Growth on Substrate (RGS) Solar Cells«, in: Proceedings, 23<sup>rd</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Valencia, Spain, 1.–5.9.2008, pp. 1522–1526  
 (<sup>1</sup>: University of Konstanz, Department of Physics, Konstanz, Germany)  
 (<sup>2</sup>: also with Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE, Freiburg, Germany)  
 (<sup>3</sup>: ECN – Solar Energy, Petten, The Netherlands)  
 (<sup>4</sup>: RGS Development, Oudkarspel, The Netherlands)
- Heydenreich, W.; Müller, B.; Reise, C.  
 »Describing the New World with Three Parameters: A new Approach to PV Module Power Modelling«, in: Proceedings, 23<sup>rd</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Valencia, Spain, 1.–5.9.2008
- Hörteis, M.  
 »Improved Front Side Metallization by Aerosol Jet Printing of Hotmelt Inks«, in: Proceedings, 23<sup>rd</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Valencia, Spain, 1.–5.9.2008, pp. 1402–1405
- Hofmann, M.; Erath, D.; Bitnar, B.<sup>1</sup>; Gautero, L.; Nekarda, J.; Grohe, A.; Biro, D.; Rentsch, J.; Preu, R.  
 »Industrial Type CZ Solar Cells with Screen-printed Fine Line Front Contacts and Passivated Rear Contacted by Laser Firing«, in: 23<sup>rd</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Valencia, Spain, 1.–5.9.2008, pp. 1704–1707  
 (<sup>1</sup>: Deutsche Cell GmbH, Freiberg/Sachsen, Germany)
- Hoheisel, R.; Dimroth, F.; Bett, A. W.  
 »Performance Prediction of Triple-Junction Solar Cells under Arbitrary Operating Conditions«, in: Proceedings, 8<sup>th</sup> European Space Power Conference, European Space Agency, Konstanz, Germany, 14.–19.9.2008, CD-Rom
- Hohl-Ebinger, J.; Grote, D.; Hund, B.<sup>1</sup>; Mette, A.<sup>1</sup>; Warta, W.  
 »Contacting Bare Solar Cells for STC Measurements«, in: Proceedings, 23<sup>rd</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Valencia, Spain, 1.–5.9.2008, pp. 2012–2016  
 (<sup>1</sup>: Q-Cells, Thalheim, Germany)
- Hopman, S.; Fell, A.; Mayer, K.; Mesec, M.; Kray, D.  
 »First Results of Wafering with Laser Chemical Processing«, in: Proceedings, 23<sup>rd</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Valencia, Spain, 1.–5.9.2008
- Hülsmann, J. P.; Kaltenbach, T.; Köhl, M.; Philipp, D.; Schuhmacher, D.; Wirth, J.; Weiß, K.-A.  
 »Accelerated Degradation Studies of Encapsulation«, in: Proceedings, Solar Energy + Applications »Reliability of Photovoltaic Cells, Modules, Components and Systems«, SPIE Optics + Photonics, San Diego, CA, USA, 10.–14.8.2008, Vol. 7048, pp. 87–96
- Hülsmann, P.; Köhl, M.; Phillip, D.; Weiß, K.-A.  
 »Versuchsaufbau zur Bestimmung der Permeation von Wasser und anderen Gasen durch Barrierematerial«, in: Tagungsband, Thüringer Grenz- und Oberflächentage ThGOT 2008, Jena, Germany, 16./17.9.2008, CD-ROM
- Jacob, D.; Kaiser, J.<sup>1</sup>; Neumann, C.  
 »Inbetriebnahme von Gebäuden, Betriebsführung und Überwachung«, in: Tagungsband, FVS Jahrestagung 2008, Berlin, Germany, 29./30.9.2008 (online available: <http://www.fvee.de/publikationen/publikation/download/uebersicht-der-vortraege-zur-jahrestagung-2008-energieeffizientes-und-solares-bauen>)  
 (<sup>1</sup>: Fraunhofer IBP, Stuttgart, Germany)
- Jack, S.; Köhl, M.; Müller, A.; Weiß, K.-A.  
 »Optimization of Polymeric Solar Thermal Collectors by Fluid Dynamic Simulations«, in: Proceedings, EuroSun 2008, 1<sup>st</sup> International Conference on Solar Heating, Cooling and Buildings, Lisbon, Portugal, 7.–10.10.2008, CD-ROM
- Janz, S.; Künle, M.; Lindekugel, S.; Reber, S.  
 »Advanced Optical Confinement and further Improvements for Crystalline Silicon Thin Film Solar Cells«, in: Proceedings, 33<sup>rd</sup> IEEE Photovoltaic Specialists Conference, San Diego, CA, USA, 11.–16.5.2008, pp. 1–5
- Janz, S.; Ziegler, J.; Pysch, D.; Suwito, D.; Glunz, S. W.  
 »Amorphous Silicon Carbide Hetero-Emitters for High Efficiency Silicon Solar Cells«, in: Proceedings, 23<sup>rd</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Valencia, Spain, 1.–5.9.2008, pp. 1720–1723
- Jaus, J.; Hue, R.; Wiesenfahrt, M.; Peharz, G.; Bett, A. W.  
 »Thermal Management in a Passively Cooled Concentrator Photovoltaic Module«, in: Proceedings, 23<sup>rd</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Valencia, Spain, 1.–5.9.2008, pp. 832–836

Junge, J.<sup>1</sup>; Käs, M.<sup>1</sup>; Grötschel, D.<sup>1</sup>;  
Zuschlag, A.<sup>1</sup>; Seren, S.<sup>1</sup>; Hahn, G.<sup>1,2</sup>;  
Metz, A.<sup>3</sup>

»Advanced Processing Steps for High Efficiency Solar Cells based on EFG Material Process from a Single Diffusion«, in: Proceedings, 33<sup>rd</sup> IEEE Photovoltaic Specialists Conference, San Diego, CA, USA, 11.–16.5.2008, pp. 1–4

(<sup>1</sup>: University of Konstanz, Department of Physics, Konstanz, Germany)

(<sup>2</sup>: also with Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE, Freiburg, Germany)

(<sup>3</sup>: SCHOTT Solar GmbH, Alzenau, Germany)

Junge, J.<sup>1</sup>; Strümpel, C.<sup>1</sup>; Seren, S.<sup>1</sup>;  
Hahn, G.<sup>1,2</sup>; Metz, A.<sup>3</sup>; Käs, M.<sup>1</sup>

»Laser Fired Contacts for High Efficiency Solar Cells Based on EFG Material«, in: Proceedings, 23<sup>rd</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Valencia, Spain, 1.–5.9.2008, pp. 1561–1563

(<sup>1</sup>: University of Konstanz, Department of Physics, Konstanz, Germany)

(<sup>2</sup>: also with Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE, Freiburg, Germany)

(<sup>3</sup>: SCHOTT Solar GmbH, Alzenau, Germany)

Jungmann, T.; Dyck, A.

»Kleine Zellen mit großen Ambitionen – Dampf-Direkt-Methanol-Brennstoffzellen (DDMFC) als planare Energieversorgung für industrielle Anwendungen«, in: mstnews-Sonderausgabe, Vol. 6, 5.12.2008

Kagerer, F. E.; Herkel, S.

»Queranalyse von Versorgungsstrategien in der Wohnbausanierung«, in: Tagungsband, Anwenderforum »Energieeffizienz + Bestand«, Bad Staffelstein, Germany, 14./15.2.2008, pp. 271–278

Kagerer, F. E.; Herkel, S.

»Analyse von Versorgungsstrategien in der Wohnbausanierung«, in: Tagungsband, 12. Internationale Passivhaustagung, Nürnberg, Germany, 11./12.4.2008, pp. 303–308

Kalz, D.

»Monitor I: Thermoaktive Bauteilsysteme«, in: Tagungsband, EnOB-Symposium »Auf den Weg zur Nullenergie-Gebäuden«, Dresden, Germany, 1./2.10.2008, CD-ROM

Kasemann, M.<sup>1</sup>; Kwapil, M.; Schubert, M. C.;  
Habenicht, H.; Walter, B.; The, M.;  
Kontermann, S.; Rein, S.; Breitenstein, O.<sup>2</sup>;  
Bauer, J.<sup>2</sup>; Lotnyk, A.<sup>2</sup>; Michl, B.<sup>3</sup>; Nagel, H.<sup>3</sup>;  
Schütt, A.<sup>4</sup>; Carstensen, J.<sup>4</sup>; Föll, H.<sup>4</sup>;  
Trupke, T.<sup>5</sup>; Augarten, Y.<sup>5</sup>; Kampwerth, H.<sup>5</sup>;  
Bardos, R. A.<sup>6</sup>; Pingel, S.<sup>7</sup>; Berghold, J.<sup>7</sup>;  
Warta, W.; Glunz, S. W.

»Spatially Resolved Silicon Solar Cell Characterization Using Infrared Imaging Methods«, in: Proceedings, 33<sup>rd</sup> IEEE Photovoltaic Specialists Conference, San Diego, CA, USA, 11.–16.5.2008

(<sup>1</sup>: SCHOTT Solar GmbH, Alzenau, Germany)

(<sup>2</sup>: University of Karlsruhe, Institut für Angewandte Physik, Karlsruhe, Germany)

(<sup>3</sup>: The University of New South Wales, Sydney, Australia)

(<sup>4</sup>: Max Planck Institute for Microstructure Physics, Halle, Germany)

(<sup>5</sup>: University of Kiel, Kiel, Germany)

(<sup>6</sup>: BT Imaging Pty Ltd, Sydney, Australia)

(<sup>7</sup>: University of Karlsruhe, Institut für Angewandte Physik, Karlsruhe, Germany)

Kasemann, M.; Kwapil, W.; Walter, B.;  
Giesecke, J.; Michl, B.<sup>1</sup>; The, M.;  
Wagner, J.-M.<sup>4</sup>; Bauer, J.<sup>4</sup>; Schütt, A.<sup>5</sup>;  
Carstensen, J.<sup>5</sup>; Kampwerth, H.<sup>3</sup>; Gundel, P.;  
Schubert, M. C.; Bardos, R.<sup>6</sup>; Föll, H.<sup>5</sup>;  
Nagel, H.<sup>1</sup>; Würfel, P.<sup>2</sup>; Trupke, T.<sup>3</sup>;  
Breitenstein, O.<sup>4</sup>; Warta, W.; Glunz, S. W.

»Progress in Silicon Solar Cell Characterization with Infrared Imaging Methods«, in: Proceedings, 23<sup>rd</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Valencia, Spain, 1.–5.9.2008, pp. 965–973

(<sup>1</sup>: SCHOTT Solar GmbH, Alzenau, Germany)

(<sup>2</sup>: University of Karlsruhe, Institut für Angewandte Physik, Karlsruhe, Germany)

(<sup>3</sup>: The University of New South Wales, Sydney, Australia)

(<sup>4</sup>: Max Planck Institute for Microstructure Physics, Halle, Germany)

(<sup>5</sup>: University of Kiel, Kiel, Germany)

(<sup>6</sup>: BT Imaging Pty Ltd, Sydney, Australia)

Keipert, S.; Wang, P.; Borchert, D.; Müller, S.;  
Kühnemann, L.; Rinio, M.

»Influence of Different Wet Chemical Cleaning Procedures Prior to Silicon Nitride Deposition on Solar Cell Performance and Surface Passivation«, in: Proceedings, 23<sup>rd</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Valencia, Spain, 1.–5.9.2008, pp. 1612–1616

Kellenbenz, R.; Kailuweit, P.; Guter, W.;  
Dimroth, F.

»Strain-Balanced GaInAs/GaAsP Multi Quantum Wells for GaInP/GaInAs/Ge Triple-Junction Solar Cells«, in: Proceedings, 8<sup>th</sup> European Space Power Conference, European Space Agency, Konstanz, Germany, 14.–19.9.2008, pp. 1–6

Khorenko, V.<sup>1</sup>; Meusel, M.<sup>1</sup>; Torunski, T.<sup>1</sup>;  
Strobl, G.<sup>1</sup>; Hoheisel, R.; Dimroth, F.;  
Bett, A. W.; Campesato, R.<sup>2</sup>; Milanese, P.<sup>2</sup>;  
Taylor, S.<sup>3</sup>

»3-Junction Space Solar Cell Analysis and Characterisation for Mars Exploration Missions«, in: Proceedings, 8<sup>th</sup> European Space Power Conference, European Space Agency, Konstanz, Germany, 14.–19.9.2008

(<sup>1</sup>: Azur Space Solar Power GmbH, Heilbronn, Germany)

(<sup>2</sup>: CESI – Centro Elettrotecnico Sperimentale Italiano, Milan, Italy)

(<sup>3</sup>: European Space Agency ESA, Cologne, Germany)

Kiefer, K.; Neuberger, F.; Steinhüser, A.;  
Reise, C.

»Erträge und Ertragssicherheit – Was kann der Kunde von seiner Photovoltaik-Anlage verlangen?«, in: Tagungsband, Viertes Anwenderforum Dünnschicht-Photovoltaik, OTTI, Bad Staffelstein, Germany, 11./12.2.2008

Kirchartz, T.<sup>1</sup>; Helbig, A.<sup>2</sup>; Hermle, M.;  
Rau, U.<sup>1</sup>; Bett, A. W.

»Characterizing GaInP/GaOms/Ge Multi-junction Solar Cells with Electroluminescence«, in: Proceedings, 23<sup>rd</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Valencia, Spain, 1.–5.9.2008, pp. 86–89

Kluska, S.; Gronek, F.; Hermle, M.; Glunz, S. W.  
»Loss Analysis of High-Efficiency Back-Contact Back-Junction Silicon Solar Cells«, in: Proceedings, 23<sup>rd</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Valencia, Spain, 1.–5.9.2008, pp. 1590–1595

Köhl, M.; Franke, H.; Stricker, E.; Weiß, K.-A.

»Polymere für solarthermische Kollektoren – eine Machbarkeitsuntersuchung«, in: Tagungsband, 18. Symposium Thermische Solarenergie, OTTI, Bad Staffelstein, Germany, 23.–25.4.2008, pp. 68–73

Köhl, M.; Heck, M..

»Degradation von Flachkollektormaterialien bei langen Stillstandszeiten«, in: Tagungsband, 9. Internationale Symposium für thermische Sonnenenergienutzung (Solar 2008), AEE INTEC, Gleisdorf, Austria, 3.–5.9.2008, pp. 91–97

Köhl, M.; Heck, M., Philipp, D.; Weiss, K.-A.;  
Ferrara, C.<sup>1</sup>; Herrmann, W.<sup>1</sup>

»Indoor and Outdoor Weathering of PV-modules«, in: Proceedings, Solar Energy + Applications »Reliability of Photovoltaic Cells, Modules, Components and Systems«, SPIE Optics + Photonics, San Diego, CA, USA, 10.–14.8.2008, Vol. 7048, pp. 27–33

(<sup>1</sup>: TÜV Rheinland Group, Cologne, Germany)

Kontermann, S.; Grohe, S.; Preu, R.

»Detailed Analysis of Annealing Silver Front Side Contacts on Silicon Solar Cells«, in: Proceedings, 33<sup>rd</sup> IEEE Photovoltaic Specialists Conference, San Diego, CA, USA, 11.–16.5.2008



Koschikowski, J.<sup>1</sup>; Wieghaus, M.<sup>1</sup>; Rommel, M.; Subiela Ortin<sup>2</sup>, V.; Peñate Suarez<sup>2</sup>, B.; Betancort Rodríguez, J. R.<sup>2</sup>

»Experimental Investigations on Solar Driven Stand-Alone Membrane Distillation Systems for Remote Areas«, in: Proceedings, Water and Sanitation in International Development and Disaster Relief, International Workshop Edinburgh, Scotland, 28.-30.5.2008, pp. 142–147

(<sup>1</sup>: PSE AG, Freiburg, Germany)

(<sup>2</sup>: Instituto Tecnológico de Canarias, Santa Lucia, Spain)

Koschikowski, J.<sup>1</sup>; Wieghaus, M.<sup>1</sup>; Rommel, M.; Subiela Ortin, V.<sup>2</sup>; Peñate Suarez, B.<sup>2</sup>; Betancort Rodríguez, J. R.<sup>2</sup>

»Experimental Investigations on Solar Driven Desalination Systems Using Membrane Distillation«, in: Proceedings, EuroSun 2008, 1<sup>st</sup> International Conference on Solar Heating, Cooling and Buildings, Lisbon, Portugal, 7.–10.10.2008

(<sup>1</sup>: PSE AG, Freiburg, Germany)

(<sup>2</sup>: Instituto Tecnológico de Canarias, Santa Lucia, Spain)

Koschikowski, J.<sup>1</sup>; Wieghaus, M.<sup>1</sup>; Rommel, M.

»Meer- und Brackwasserentsalzung mit Solarenergie: Verfahren und ihre technischen Grundlagen«, in: Tagungsband, 18. Symposium Thermische Solarenergie, OTTI, Bad Staffelstein, Germany, 23.–25.4.2008, pp. 260–265

(<sup>1</sup>: PSE AG, Freiburg, Germany)

Kranzer, D.; Burger, B.; Navarro, N.; Stalter, O.

»Applications of SiC-Transistors in Photovoltaic Inverters«, in: Proceedings, 7<sup>th</sup> European Conference on Silicon Carbide and Related Materials, Barcelona, Spain, 7.–11.9.2008

Kubera, T.; Clement, F.; Grote, D.; Thaidigsmann, B.; Biro, D.; Warta, W.; Preu, R.

»Simulation of MWT-Solar Cells Using a Multi 2D Circuit Calculation Tool Based on SPICE«, in: Proceedings, 23<sup>rd</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Valencia, Spain, 1.–5.9.2008, pp. 430–434

Künle, M.; Hartel, A.; Janz, S.

»Analysis of Microstructural Transformations during Annealing of a-SiC:H/a-SiC-x:H Layer Stacks for the Preparation Silicon Quantum Dot Superlattices«, in: Proceedings, 23<sup>rd</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Valencia, Spain, 1.–5.9.2008, pp. 421–425

Künle, M.; Janz, S.; Eibl, O.<sup>1</sup>; Berthold, C.<sup>2</sup>; Presser, V.<sup>2</sup>; Nickel, K.-G.<sup>2</sup>

»Thermal Annealing of SiC Thin Films with Varying Stiochiometry«, in: Proceedings, Spring Meeting 2008 EMRS, EMRS, Strasbourg, France, 26.–30.4.2008

(<sup>1</sup>: Eberhard Karls Universität Tübingen, Institute for Applied Physics, Tübingen, Germany)

(<sup>2</sup>: Eberhard Karls Universität Tübingen, Institute for Geoscience, Applied Mineralogy, Tübingen, Germany)

Kuhn, T. E.

»Building Envelope Solar Control: Systems and Evaluation«, in: Proceedings, International Congress AICARR, Milan, Italy, 12./13.3.2008, CD-ROM

Kuhn, T. E.

»Fassadenintegration von regenerativen Energiequellen: Solarthermie und Photovoltaik«, in: Tagungsband, Glasstec 2008, Sonderschau »Glass Technology Live«, Düsseldorf, 21.–25.10.2008, CD-ROM

Kuhn, T. E.; Eisenschmid, I.<sup>1</sup>; Bosse, S.-K.<sup>2</sup>; Hinsch, A.

»Gebäudeintegrierte Photovoltaik (GIPV)«, in: Tagungsband, FVS Jahrestagung 2008, Berlin, Germany, 29./30.9.2008 (online available: <http://www.fvee.de/publikationen/publikation/download/uebersicht-der-vortraege-zur-jahrestagung-2008-energieeffizientes-und-solare-bauen>)

(<sup>1</sup>: Scheuten Solar Germany GmbH, Gelsenkirchen, Germany)

(<sup>2</sup>: Sulfurcell Solartechnik GmbH, Berlin, Germany)

Kwapil, W.; Kasemann, J.; Giesecke, J.; Michl, B.; Warta, W.

»Investigations on the Pre-Breakdown of Multicrystalline Silicon Solar Cells«, in: Proceedings, 23<sup>rd</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Valencia, Spain, 1.–5.9.2008, pp. 1797–1800

Lindekugel, S.; Lautenschlager, H.; Ruof, T.; Reber, S.

»Plasma Hydrogen Passivation for Crystalline Silicon Thin-Films«, in: Proceedings, 23<sup>rd</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Valencia, Spain, 1.–5.9.2008, pp. 2232–2235

Löper, P.; Goldschmidt, J. C.; Fischer, S.; Peters, M.; Meijerink, A.<sup>1</sup>; Biner, D.<sup>2</sup>; Krämer, K.<sup>2</sup>; Schultz-Wittmann, O.<sup>3</sup>; Glunz, S. W.; Luther, J.

»Upconversion for Silicon Solar Cells: Material and System Characterisation«, in: Proceedings, 23<sup>rd</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Valencia, Spain, 1.–5.9.2008, pp. 173–180

(<sup>1</sup>: Utrecht University, Debye Institute, Utrecht, The Netherlands)

(<sup>2</sup>: University of Bern, Bern, Switzerland)

(<sup>3</sup>: now with Solexel Inc., California, USA)

Mayer, K.; Kray, D.; Pérez, O. T.; Schumann, M.; Glunz, S. W.

»New Surfactants for Combined Cleaning and Texturing of Mono-Crystalline Silicon Wafers after Wire-Sawing«, in: Proceedings, 23<sup>rd</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Valencia, Spain, 1.–5.9.2008, pp. 1109–1113

Matzer, R.; Peharz, G.; Patyk, A.; Dimroth, F.; Bett, A. W.

»Life Cycle Assessment of a Concentrating Photovoltaik System FLATCON®«, in: Proceedings, Advances in Energy Studies 2008, Technische Universität Graz, Graz, Austria, 29.6.–2.7.2008, pp. 369–378

Melke, J.; Schmid, F.; Meyer, M.; Gerteisen, D.; Koch, L.

»Modelling the Impact of Mixed Potential and Intermediates in a Direct Ethanol Fuel Cell«, in: Proceedings, Fuel Cells Science & Technology 2008, Elsevier, Copenhagen, Denmark, 8./9.10.2008

Melke, J.; Meyer, M.; Malchow, C.; Roth, C.<sup>1</sup>

»Investigation of Reaction Mechanism and Structural Changes in Direct Ethanol Fuel Cell Electrodes Using X-ray Absorption Spectroscopy«, in: Proceedings, Fuel Cells Science & Technology 2008, Elsevier, Copenhagen, Denmark, 8./9.10.2008

(<sup>1</sup>: Technische Universität Dresden, Dresden, Germany)

Mehnert, S.; Rommel, M.; Brachmann, S.; Steinhart, J.; Siems, T.; Behringer, A.; Mülhöfer, G.; Kramer, K.; Scherer, J.

»Quantification of the Impact Resistance of Solar Thermal Collectors and Photovoltaic-Modules against Severe Hailstorms«, in: Proceedings, EuroSun 2008, 1<sup>st</sup> International Conference on Solar Heating, Cooling and Buildings, Lisbon, Portugal, 7.–10.10.2008, CD-ROM

Miara, M.

»Das Gesamtsystem sorgfältig auslegen. Aktuelle Zwischenergebnisse im Wärmepumpen-Feldtest« in: sbz Sanitär-, Heizungs-, Klima- und Klempnertechnik, Jg.: 63, Nr. 18 (2008), pp. 60–62

Miara, M.

»Two Large Field-Tests of New Heat Pumps in Germany«, in: Proceedings, 9<sup>th</sup> International Energy Agency Heat Pump Conference, Zurich, Switzerland, 19.–23.5.2008, CD-ROM

Miara, M.

»Feldmessung neuer Wärmepumpen >Wärmepumpen-Effizienz< – Zwischenergebnisse«, in: Tagungsband, 6. Forum Wärmepumpe, Solarpraxis, Berlin, Germany, 13./14.11.2008, pp. 40–44

Micard, G.<sup>1</sup>; Seren, S.<sup>1</sup>; Hahn, G.<sup>1,2</sup>

»Quantitative Interpretation of Light Beam Induced Current Contrast Profiles for Differing Diffusion Lengths on either Side of a Grain Boundary«, in: Proceedings, 23<sup>rd</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Valencia, Spain, 1.–5.9.2008, pp. 416–420

(<sup>1</sup>: University of Konstanz, Department of Physics, Konstanz, Germany)

(<sup>2</sup>: also with Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE, Freiburg, Germany)

Micard, G.<sup>1</sup>; Hahn, G.<sup>1,2</sup>; Le Donne, A.<sup>3</sup>; Binetti, S.<sup>3</sup>; Acciarri, M.<sup>3</sup>; Pizzini, S.; Chrastina, D.<sup>4</sup>; Isella, G.<sup>4</sup>

»Development of Nanocrystalline Solar Cells Grown by LEPECVD: Optimization of the Intrinsic Layer for Pin Structures«, in: Proceedings, 23<sup>rd</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Valencia, Spain, 1.–5.9.2008, pp. 2388–2392  
(<sup>1</sup>: University of Konstanz, Department of Physics, Konstanz, Germany)  
(<sup>2</sup>: also with Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE, Freiburg, Germany)  
(<sup>3</sup>: Università di Milano Bicocca, Department of Materials Science, Milan, Italy)  
(<sup>4</sup>: L-NESS, Dipartimento di Fisica del Politecnico di Milano, Como, Italy)

Michl, B.<sup>1</sup>; Kasemann, M.; Giesecke, M.; Glatthaar, M.; Schütt, A.<sup>2</sup>; Carstensen, J.<sup>2</sup>; Föll, H.<sup>2</sup>; Rein, S.; Warta, W.; Nagel, H.<sup>1</sup>  
»Application of Luminescence Imaging based Series Resistance Measurements Methods in an Industrial Environment«, in: Proceedings, 23<sup>rd</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Valencia, Spain, 1.–5.9.2008, 1176–1181  
(<sup>1</sup>: SCHOTT Solar GmbH, Alzenau, Germany)  
(<sup>2</sup>: University of Kiel, Kiel, Germany)

Mingirulli, N.; Trittler, S.; Bui, M.; Grohe, A.; Biro, D.; Preu, R.; Glunz, S. W.  
»Passivation of Laser-Drilled via Holes for Emitter-Wrap-Through-Cells«, in: Proceedings, 23<sup>rd</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Valencia, Spain, 1.–5.9.2008, pp. 996–999

Mitchell, E. J.<sup>1</sup>; Reber, S.  
»Emitter Wrap-Through Structure for Rear-Side Contacting of Epitaxial Thin-Film Solar Cells«, in: Proceedings, 33<sup>rd</sup> IEEE Photovoltaic Specialists Conference, San Diego, CA, USA, 11.–16.5.2008  
(<sup>1</sup>: The University of New South Wales, Sydney, Australia)

Mitchell, E. J.<sup>1</sup>; Künle, M.; Kwiatkowska, M.; Janz, S.; Reber, S.  
»Rear-Side Contact Structure for Epitaxy Wrap-Through Silicon Thin-Film Solar Cells«, in: Proceedings, 23<sup>rd</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Valencia, Spain, 1.–5.9.2008, pp. 2212–2216  
(<sup>1</sup>: The University of New South Wales, Sydney, Australia)

Morgenstern, A.; Wiemken, E.  
»Solar Cooling in the German Funding Program Solarthermie2000plus«, in: Proceedings, EuroSun 2008, 1<sup>st</sup> International Conference on Solar Heating, Cooling and Buildings, Lisbon, Portugal, 7.–10.10.2008, CD-ROM

Morgenstern, A.; Wiemken, E.; Schossig, P.  
»Innovative Concepts for Energy Efficient Cooling«, in: Proceedings, 4<sup>th</sup> International Congress for South-East Europe – Energy Efficiency & Renewable Energy Sources, Sofia, Bulgaria, 7.–10.4.2008, CD-ROM

Morgenstern, A.; Bongs, C.; Henning, H.-M.  
»ECOS – Ein neues, hocheffizientes Verfahren zur sorptiven Luftentfeuchtung im Vergleich mit sorptionsgestützten Klimatisierungsanlagen in Rotorbauweise«, in: Tagungsband, 18. Symposium Thermische Solarenergie, OTTI, Bad Staffelstein, Germany, 23.–25.4.2008, pp. 236–241

Morin, G.; Platzer, W.; Strelow, M.; Leithner, R.  
»Techno-Economic System Simulation and Optimization of Solar Thermal Power Plants«, in: Tagungsband, 14<sup>th</sup> SolarPACES Symposium, Las Vegas, NV, USA, 4.–7.3.2008

Müller, B.; Reise, C.; Seco, G.-A.; Lorenz, E.<sup>1</sup>  
»Diffuse Verhältnisse bei der Einstrahlung? Über die Eingangsdaten von Ertragsprognosen«, in: Proceedings, 3. Symposium Photovoltaische Solarenergie, OTTI, Bad Staffelstein, Germany, 5.–7.3.2008  
(<sup>1</sup>: Institut für Physik, Oldenburg, Germany)

Niggemann, M.; Graf, W.; Gombert, A.  
»Realization of Ultrahigh Photovoltages with Organic Photovoltaic Nanomodules«, in: Advanced Materials, Vol. 20, pp. 4055–4060, 2008

Nitz, P.; Giovannetti, F.<sup>1</sup>; Weinländer, H.<sup>2</sup>; Wienold, J.  
»Die Verglasungstechniken für Tageslicht und Wärmeschutz«, in: Tagungsband, FVS-Jahrestagung, Forschungsverbund Solarenergie FVS, Berlin, Germany, 29./30.9.2008 (online available: <http://www.fvee.de/publikationen/publikation/download/uebersicht-der-vortraege-zur-jahrestagung-2008-energieeffizientes-und-solares-bauen>)  
(<sup>1</sup>: Institut für Solarenergieforschung Hameln/Emmerthal ISFH, Emmerthal, Germany)  
(<sup>2</sup>: ZAE Bayern, Würzburg, Germany)

Núñez, T.; Nienborg, B.; Tiedtke, Y.<sup>1</sup>  
»Solare Kühlung kleiner Leistung mit Rückkühlung über Erdsonden«, in: Tagungsband, 18. Symposium Thermische Solarenergie, OTTI, Bad Staffelstein, Germany, 23.–25.4.2008, CD-Rom  
(<sup>1</sup>: PSE AG, Freiburg, Germany)

Núñez, T.; Nienborg, B.; Tiedtke, Y.<sup>1</sup>  
»Heating and Cooling with a Small Scale Solar Driven Adsorption Chiller Combined with a Borehole System«, in: Proceedings, EuroSun 2008, 1<sup>st</sup> International Conference on Solar Heating, Cooling and Buildings, Lisbon, Portugal, 7.–10.10.2008, CD-ROM  
(<sup>1</sup>: PSE AG, Freiburg, Germany)

Núñez, T.; Schweigler, C.<sup>1</sup>  
»Technical Background of Thermally Driven Heat Pumps« in: Proceedings, 9<sup>th</sup> International Energy Agency Heat Pump Conference; 20.–22.5.2008, Zurich, Switzerland, CD-ROM  
(<sup>1</sup>: ZAE Bayern, Garching, Germany)

Ohl, S.<sup>1</sup>; Hahn, G.<sup>1,2</sup>  
»Increased Internal Quantum Efficiency of Encapsulated Solar Cells by Using Two-Component Silicone as Encapsulant Material«, in: Proceedings, 23<sup>rd</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Valencia, Spain, 1.–5.9.2008, pp. 2693–2697  
(<sup>1</sup>: University of Konstanz, Department of Physics, Konstanz, Germany)  
(<sup>2</sup>: also with Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems, Freiburg, Germany)

Oltersdorf, A.; Zimmer, M.; Seitz, M.; Rentsch, J.  
»Analytical Research of the Acid Etching Bath by Ion Chromatography«, in: Proceedings, 23<sup>rd</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Valencia, Spain, 1.–5.9.2008, pp. 1488–1492

Peharz, G.; Siefert, G.; Araki, K.; Bett, A. W.  
»Spectrometric Outdoor Characterization of CPV Modules Using Isotope Monitor Cells«, in: Proceedings, 33<sup>rd</sup> IEEE Photovoltaic Specialists Conference, San Diego, CA, USA, 11.–16.5.2008

Peharz, G.; Jaus, J.; Nitz, P.; Schmidt, T.; Schult, T.; Bett, A. W.  
»Development of Refractive Secondary Optics for FLATCON<sup>®</sup> Modules«, in: Proceedings, 23<sup>rd</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Valencia, Spain, 1.–5.9.2008, pp. 865–868

Peters, M.; Goldschmidt, J. C.; Löper, P.; Ulbich, C.; Bläsi, B.; Glunz, S. W.; Gombert, A.; Willeke, G.  
»Verbesserte Fluoreszenzkonzentratoren«, in: Jahresbericht der Universität Freiburg, Abteilung FMF, 19.6.2008, pp. 80–83

Peters, M.<sup>1</sup>; Goldschmidt, J. C.; Löper, P.; Bläsi, B.; Willeke, G.  
»Lighttrapping with Angular Selective Filters«, in: Proceedings, 23<sup>rd</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Valencia, Spain, 1.–5.9.2008, pp. 353–357  
(<sup>1</sup>: University of Freiburg, Freiburg Materials Research Center FMF, Freiburg, Germany)

Peters, C.<sup>1</sup>; Engelhart, P.<sup>1</sup>; Hlusiak, M.<sup>1</sup>; Wade, R.<sup>1</sup>; Rychtarik, D.<sup>1</sup>; Müller, J.<sup>1</sup>; Ulzhöfer, C.<sup>2</sup>; Spätlich, S.<sup>2</sup>; Neubert, T.<sup>2</sup>; Harder, N. P.<sup>2</sup>; Schmiga, C.; Kray, D.; Grohe, A.; Glunz, S. W.  
»Alba – Development of High-Efficiency Multicrystalline Si EWT Solar Cells for Industrial Fabrication at Q-Cells«, in: Proceedings, 23<sup>rd</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Valencia, Spain, 1.–5.9.2008, pp. 1010–1013  
(<sup>1</sup>: Q-Cells, Bitterfeld-Wolfen, Germany)  
(<sup>2</sup>: Institut für Solarenergieforschung Hameln/Emmerthal ISFH, Emmerthal, Germany)

Peters, M.; Goldschmidt, J. C.; Löper, P.; Prönneke, L.<sup>1</sup>; Bläsi, B.; Gombert, A.  
»Design of Photonic Structures for the Enhancement of the Light Guiding Efficiency of Fluorescent Concentrators«, in: Photonics for Solar Energy Systems II, Strasbourg, France: SPIE, 2008, pp. 70020V-11.  
(<sup>1</sup>: University of Stuttgart, Stuttgart, Germany)

Philipps, S. P.; Stetter, D.; Hoheisel, R.; Hermle, M.; Dimroth, F.; Bett, A. W.  
»Characterization and Numerical Modeling of the Temperature-Dependent Behaviour of GaAs Solar Cells«, in: Proceedings, 23<sup>rd</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Valencia, Spain, 1.–5.9.2008, pp. 90–94

Philipps, S.; Hermle, M.; Létay, G.<sup>1</sup>; Guter, W.; George, B. M.; Dimroth, F.; Bett, A. W.  
»Numerical Simulation and Modeling of III-V Multi-Junction Solar Cells«, in: Proceedings, 23<sup>rd</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Valencia, Spain, 1.–5.9.2008, pp. 114–117  
(<sup>1</sup>: Synopsis, Zurich, Switzerland)

Platzer, W.; Heimsath, A.; Hildebrandt, C.  
»Quality Control of Concentrating Collector Components for the Optimization of Performance«, in: Tagungsband, 14<sup>th</sup> Biennial SolarPACES Concentrating Solar, Las Vegas, NV, USA, 4.–7.3.2008, CD Rom

Platzer, W.; Heimsath, A.; Hildebrandt, C.; Georg, A.; Morin, G.  
»Quality Control of Concentrating Collector Components for the Optimization of Performance«, in: Proceedings, EuroSun 2008, 1<sup>st</sup> International Conference on Solar Heating, Cooling and Buildings, Lisbon, Portugal, 7.–10.10.2008

Raabe, B.<sup>1</sup>; Peter, K.<sup>1</sup>; Enabakk, E.<sup>2</sup>; Hahn, G.<sup>1,3</sup>  
»Minority Carrier Lifetime Monitoring in a Buried Contact Solar Cell Process Using mc-Si«, in: Proceedings, 23<sup>rd</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Valencia, Spain, 1.–5.9.2008, pp. 1564–1567  
(<sup>1</sup>: University of Konstanz, Department of Physics, Konstanz, Germany)  
(<sup>2</sup>: Elkem Solar AS, Kristiansand, Norway)  
(<sup>3</sup>: also with Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE, Freiburg, Germany)

Radtke, V.; Bartsch, J.; Greil, S.; Schetter, C.; Bergander, R.; Glunz, S. W.  
»Understanding the Electrochemical Mechanism of Light Induced Plating by Means of Voltammetric Techniques«, in: 23<sup>rd</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Valencia, Spain, 1.–5.9.2008, pp. 1785–1788

Reichel, C.; Granek, F.; Benick, J.; Schultz-Wittmann, O.<sup>1</sup>; Glunz, S. W.  
»Comparison of Emitter Saturation Current Densities Determined by Quasi-Steady-State Photoconductance Measurements of Effective Carrier Lifetimes at High and Low Injections«, in: Proceedings, 23<sup>rd</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Valencia, Spain, 1.–5.9.2008, pp. 1664–1669  
(<sup>1</sup>: now with Solexel Inc., California, USA)

Rein, S.; Bothe, K.<sup>1</sup>; Sattler, B.<sup>2</sup>  
»Qualitätssicherung und -kontrolle in der Photovoltaik Produktion«, in: Tagungsband, FVS-Jahrestagung, ForschungsVerbund Solarenergie FVS, Berlin, Germany, 26./27.9.2008  
(<sup>1</sup>: Institut für Solarenergieforschung Hameln/Emmerthal ISFH, Emmerthal, Germany)  
(<sup>2</sup>: Manz Automation AG, Reutlingen, Germany)

Rein, S.; Krieg, A.; Weil, A.; Emanuel, G.; Glatthaar, M.; Grohe, A.; Preu, R.  
»Single-Wafer Tracking in PV Production Lines«, in: Proceedings, 23<sup>rd</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Valencia, Spain, 1.–5.9.2008, pp. 1125–1130

Rentsch, J.; Gautero, L.; Lemke, A.; Eigner, S.; Zimmer, M.; Walter, F.; Hofmann, M.; Preu, R.  
»Single Side Etching – Key Technology for Industrial High Efficiency Processing«, in: Proceedings, 23<sup>rd</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Valencia, Spain, 1.–5.9.2008, pp. 1889–1892

Rentsch, J.; Seiffe, J.; Walter, F.; Hofmann, M.; Weiss, L.; Gautero, L.; Decker, D.<sup>1</sup>; Schlemm, H.<sup>1</sup>; Preu, R.  
»Plasma Cluster Processing for Advanced Solar Cell Manufacturing«, in: Proceedings, 23<sup>rd</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Valencia, Spain, 1.–5.9.2008, pp. 1188–1192  
(<sup>1</sup>: Roth & Rau AG, Hohenstein-Ernstthal, Germany)

Richter, A.; Benick, J.; Glunz, S. W.  
»Spectral Ellipsometry Analysis of Ultrathin Amorphous Silicon Layers«, in: Proceedings, 23<sup>rd</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Valencia, Spain, 1.–5.9.2008, pp. 1724–1727

Riegel, S.<sup>1</sup>; Raabe, B.<sup>1</sup>; Petres, R.<sup>1</sup>; Dixit, S.<sup>2</sup>; Zhou, L.<sup>2</sup>; Hahn, G.<sup>1,3</sup>  
»Towards Higher Efficiencies for Crystalline Silicon Solar Cells Using SiC Layers«, in: Proceedings, 23<sup>rd</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Valencia, Spain, 1.–5.9.2008, pp.1604–1607  
(<sup>1</sup>: University of Konstanz, Department of Physics, Konstanz, Germany)  
(<sup>2</sup>: Applied Materials, Santa Clara, CA, USA)  
(<sup>3</sup>: also with Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE, Freiburg, Germany)

Rinio, M.<sup>1</sup>; Yodyunyoung, A.<sup>1</sup>; Pirker, M.<sup>1</sup>; Keipert, S.<sup>1</sup>; Buonassisi, T.<sup>2</sup>; Borchert, D.<sup>1</sup>  
»Defect Redistribution by Low Temperature Annealing in Ingot Silicon Solar Cells«, in: Proceedings, 23<sup>rd</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Valencia, Spain, 1.–5.9.2008, pp. 1014–1017  
(<sup>1</sup>: Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems, Gelsenkirchen, Germany)  
(<sup>2</sup>: Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA, USA)

Rodofili, A.; Fell, A.; Hopmann, S.; Mayer, K.; Willeke, G. P.; Kray, D.; Glunz, S. W.  
»Local p-Type Back Surface Fields via Laser Chemical Processing (LCP): First Experiments«, in: Proceedings, 23<sup>rd</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Valencia, Spain, 1.–5.9.2008, pp. 1808–1811

Rommel, M.  
»Übersicht zu Entwicklungen von Prozesswärmekollektoren«, in: Tagungsband, 18. Symposium Thermische Solarenergie, OTTI, Bad Staffelstein, Germany, 23.–25.4.2008, pp. 42–48

Rommel, M.  
»Development of Process Heat Collectors for Solar Heat for Industrial Processes (IEA-SHC Task 33 SHIP)«, in: Proceedings, EuroSun 2008, 1<sup>st</sup> International Conference on Solar Heating, Cooling and Buildings, Lisbon, Portugal, 7.–10.10.2008, CD-ROM

Rosenits, P.; Roth, T.; Reber, S.; Warta, W.; Glunz, S. W.  
»Lifetime Studies on Crystalline Thin-Film Silicon by Photoluminescence«, in: Proceedings, 23<sup>rd</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference, Valencia, Spain, 1.–5.9.2008, pp. 2224–2227

Roth, T.; Hohl-Ebinger, J.; Schmich, E.; Warta, W.; Glunz, S. W.; Sinton, R. A.<sup>1</sup>  
»Improving the Accuracy of Suns-Voc Measurements Using Spectral Mismatch Correction«, in: Proceedings, 33<sup>rd</sup> IEEE Photovoltaic Specialists Conference, San Diego, CA, USA, 11.–16.5.2008  
(<sup>1</sup>: Sinton Consulting Inc., Boulder, Colorado, USA)

Roth, T.; Rüdiger, M.; Trupke, T.<sup>1</sup>; Glunz, S. W.  
»Titanium-Related Defect Levels in Silicon Analyzed by Temperature-Dependent and Injection-Dependent Photoluminescence Lifetime Spectroscopy«, in: Proceedings, 33<sup>rd</sup> IEEE Photovoltaic Specialists Conference, San Diego, CA, USA, 11.–16.5.2008  
(<sup>1</sup>: Centre of Excellence for Advanced Silicon Photovoltaics and Photonics, University of New South Wales, Sydney, Australia)

Roth, T.; Rosenits, P.; Rüdiger, M.; Warta, W.; Glunz, S. W.  
»Comparison of Photoconductance- and Photoluminescence-Based Lifetime Measurements Techniques«, in: Proceedings, International Conference on Electronic Materials 2008, IUMRS, Sydney, Australia, 28.7.–1.8.2008

Roth, W.  
»40 Jahre Photovoltaik-Geräte-Entwicklung in Deutschland«, in: Tagungsband, 23. Symposium Photovoltaische Solarenergie, OTTI, Bad Staffelstein, Germany, 5.–7.3.2008

- Roth, W.  
»Strategien zur erfolgreichen Bewerbung um Projekte internationaler Entwicklungsbanken«, in: Konferenzband, Export Erneuerbarer Energiesysteme, OTTI, Munich-Dornach, Germany, 12.6.2008
- Roth, W.  
»Photovoltaik-Geräte-Entwicklung in Deutschland«, in: Elektropraktiker, 2008
- Rublack, T.; Alemán, M.; Glunz, S. W.  
»Evaluation of the Laser Melting Process of Different Materials for the Front-Side Metallisation of Silicon Solar Cells«, in: Proceedings, 23<sup>rd</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Valencia, Spain, 1.–5.9.2008, pp. 1419–1421
- Rudolph, D.; Aléman, M.; Bay, N.; Mayer, K.; Glunz, S. W.  
»Laser-Induced Nickel Deposition from an Aqueous Electrolyte for the Front-Side Metallization of Silicon Solar Cells«, in: Proceedings, 23<sup>rd</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Valencia, Spain, 1.–5.9.2008, pp. 1427–1430
- Rüdiger, M.; Roth, T.; Warta, W.; Glunz, S. W.  
»Temperature-Dependent Quasi-Steady-State Photoluminescence Lifetime Measurements for Defect Spectroscopy«, in: Proceedings, 23<sup>rd</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Valencia, Spain, 1.–5.9.2008, pp. 1333–1337
- Russ, C.  
»Wärmepumpe im Gebäudebestand – Ergebnisse aus der Heizperiode 2007/08«, in: Tagungsband, 6. Forum Wärmepumpe, Solarpraxis, Berlin, Germany, 13./14.11.2008, pp. 45–50
- Russ, C.; Miara, M.; Platt, M.  
»Untersuchungen zum Einsatz von Wärmepumpen im Gebäudebestand«, in: IKZ REnergy, December 2008
- Schick Tanz, M.  
»Modelling of an Adsorption Chiller with Modelica«, in: Proceedings, Modelica Conference 2008, Modelica Association, Bielefeld, Germany, 3./4.3.2008, pp. 573–577 (online available: [http://www.modelica.org/events/modelica2008/Proceedings/proceedings/volume\\_2.pdf](http://www.modelica.org/events/modelica2008/Proceedings/proceedings/volume_2.pdf))
- Schick Tanz, M.; Núñez, T.  
»Modelling of an Adsorption Chiller for Dynamic System Simulation«, in: Proceedings: International Sorption Heat Pump Conference 2008 (ISHPC08), International Sorption Heat Pump Conference, Kyung Hee University, Seoul, Korea, 23.–26.9.2008, CD-ROM
- Schmich, E.; Lindekugel, S.; Reber, S.  
»Improvement of Epitaxial Crystalline Silicon Thin-Film Solar Cells at Fraunhofer ISE«, in: Proceedings, 33<sup>rd</sup> IEEE Photovoltaic Specialists Conference, San Diego, CA, USA, 11.–16.5.2008
- Schmidt, H.; Burger, B.; Häberlin, H.<sup>1</sup>; Bründlinger, R.<sup>2</sup>; Baumgartner, F.<sup>3</sup>; Zehner, M.<sup>4</sup>  
»Modellierung der Spannungsabhängigkeit des Wechselrichter-Wirkungsgrades«, in: Tagungsband, 23. Symposium Photovoltaische Solarenergie, OTTI, Bad Staffelstein, Germany, 5.–7.3.2008, CD-Rom  
(<sup>1</sup>: Berner Fachhochschule, Burgdorf, Switzerland)  
(<sup>2</sup>: Arsenal Research, Wien, Austria)  
(<sup>3</sup>: Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften, Winterthur, Switzerland)  
(<sup>4</sup>: Fachhochschule München, Munich, Germany)
- Schmidt, H.; Burger, B.; Kiefer, K.  
»Benötigen Dünnschichtmodule spezielle Wechselrichter?«, in: Tagungsband, Viertes Anwenderforum Dünnschicht-Photovoltaik, OTTI, Bad Staffelstein, Germany, 11./12.2.2008, CD-Rom
- Schmiga, C.; Hermle, M.; Glunz, S. W.  
»Towards 20 % Efficient n-Type Silicon Solar Cells with Screen-Printed Aluminium-Alloyed Rear Emitter«, in: Proceedings, 23<sup>rd</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Valencia, Spain, 1.–5.9.2008, p. 982
- Schnabel, L.; Scherr, C.; Weber, C.  
»Water as Refrigerant – Experimental Evaluation of Boiling Characteristics at Low Temperature and Pressures«, in: Proceedings, VII. Minsk International Seminar »Heat Pipes, Heat Pumps, Refrigerators, Power Sources«, Luikov Heat & Mass Transfer Institute, Minsk, Belarus, 8.–11.9.2008, CD-ROM
- Schnabel, L.; Scherr, C.; Weber, C.  
»Water as Refrigerant – Experimental Evaluation of Boiling Characteristics at Low Temperature and Pressures«, in: Proceedings, International Sorption Heat Pump Conference 2008 (ISHPC08), Kyung Hee University, Seoul, Korea, 23.–26.9.2008, CD-ROM
- Schnabel, L.; Schmidt, F.<sup>1</sup>  
»Water Adsorption on Absorbent Layers Varied in Thickness – Kinetics Measurements and COP Estimations«, in: Proceedings, International Sorption Heat Pump Conference 2008 (ISHPC08), Kyung Hee University, Seoul, Korea, 23.–26.9.2008, CD-ROM  
(<sup>1</sup>: University of Karlsruhe, Karlsruhe, Germany)
- Schön, J.; Warta, W.  
»Simulation of Phosphorus Diffusion and Iron Gettering with Sentaurus Process«, in: 23<sup>rd</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Valencia, Spain, 1.–5.9.2008, pp. 1851–1854
- Scholz, S.<sup>1</sup>; Voser, S.<sup>2</sup>; Dovids, G.<sup>2</sup>; Haverkamp, H.<sup>1</sup>; Hahn, G.<sup>1,3</sup>  
»Development of an In-line Capable Sputtering Process of Silicon Nitride for Crystalline Silicon Solar Cells«, in: 23<sup>rd</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Valencia, Spain, 1.–5.9.2008, pp. 1717–1719  
(<sup>1</sup>: University of Konstanz, Department of Physics, Konstanz, Germany)  
(<sup>2</sup>: Oerlikon Systems, Balzers, Principality of Liechtenstein)  
(<sup>3</sup>: also with Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE, Freiburg, Germany)
- Schossig, P.  
»Thermally Driven Heat Pumps«, in: Proceedings, 9<sup>th</sup> International Energy Agency Heat Pump Conference; 20.–22.5.2008, Zurich, Switzerland, CD-ROM
- Schossig, P.  
»TES Material Development for Building Application«, in: Proceedings, ZAE Bayern Symposium »Material Development for Thermal Energy Storage«, Bad Tölz, Germany, 4.–6.6.2008 (online available: <http://www.zae-bayern.de/deutsch/abteilung-1/spezielle-themen/zae-symposium-2008.html>)
- Schossig, P.  
»Technologies for Thermal Energy Storage«, in: Proceedings, 3<sup>rd</sup> International Renewable Energy Storage Conference (IRES 2008), Berlin, Germany 24./25.11.2008, CD-ROM
- Schubert, M. C.; Gundel, P.; Romero, M.<sup>1</sup>; Ostapenko, S.<sup>2</sup>; Warta, W.; Arguirov, T.<sup>3</sup>  
»Spatially Resolved Luminescence Spectroscopy on Multicrystalline Silicon«, in: Proceedings, 23<sup>rd</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Valencia, Spain, 1.–5.9.2008, pp. 17–23  
(<sup>1</sup>: National Renewable Energy Laboratory, Golden, CO, USA)  
(<sup>2</sup>: NNRC University of South Florida, Tampa, FL, USA)  
(<sup>3</sup>: IHP/BTU Joint Lab, BTU Cottbus, Cottbus, Germany)
- Schwunk, S.; Ortiz, B.; Bopp, G.; Vetter, M.  
»Simulation of Hybrid PV Systems – Concepts for Technology Improvement, Systems Design and Performance Improvement«, in: Proceedings, 4<sup>th</sup> European PV-Hybrid and Mini-Grid Conference, OTTI, Athens, Greece, 29./30.5.2008, pp. 1–17
- Schwunk, S.; Rudolph, A.; Thomas, R.; Bopp, G.; Vetter, M.  
»Characterisation and Modelling of Lithium-Ion Secondary Batteries for Application in Solar Systems«, in: Proceedings, 23<sup>rd</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Valencia, Spain, 1.–5.9.2008, pp. 2964–2968
- Schwunk, S.; Bopp, G.; Rudolph, A.; Thomas, R.; Bopp, G.; Vetter, M.  
»Lithium-Ion Secondary Batteries for Solar Off-Grid Applications – Characterisation and Modelling«, in: Proceedings, 3<sup>rd</sup> International Renewable Energy Storage Conference IRES 2008, Eurosolar, Berlin, Germany, 11./12.11.2008



Seiffe, J.; Weiss, L.; Hofmann, M.; Gautero, L.; Rentsch, J.

»Alternative Rear Surface Passivation for Industrial Cell Production«, in: Proceedings, 23<sup>rd</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Valencia, Spain, 1.–5.9.2008, pp. 1700–1703

Seren, S.<sup>1</sup>; Hahn, G.<sup>1,2</sup>; Demberger, C.<sup>1,3</sup>; Nagel, H.<sup>4</sup>

»Fast Illuminated Lock-In Thermography: An Inline Shunt Detection Measurements Tool«, in: Proceedings, 33<sup>rd</sup> IEEE Photovoltaic Specialists Conference, San Diego, CA, USA, 11.–16.5.2008

(<sup>1</sup>: University of Konstanz, Department of Physics, Konstanz, Germany)

(<sup>2</sup>: also with Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE, Freiburg, Germany)

(<sup>3</sup>: now with Schmid GmbH + Co. Photovoltaik, Freudenstadt, Germany)

(<sup>4</sup>: SCHOTT Solar GmbH, Alzenau, Germany)

Seren, S.<sup>1</sup>; Käs, M.<sup>1</sup>; Hahn, G.<sup>1,2</sup>; Nagel, H.<sup>3</sup>

»Shunt Detection with Illuminated Lock-In Thermography on Inline Relevant Time Scales«, in: Proceedings, 23<sup>rd</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Valencia, Spain, 1.–5.9.2008, pp. 1746–1748

(<sup>1</sup>: University of Konstanz, Department of Physics, Konstanz, Germany)

(<sup>2</sup>: also with Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE, Freiburg, Germany)

(<sup>3</sup>: SCHOTT Solar GmbH, Alzenau, Germany)

Shimpalee, S.<sup>1</sup>; Ohashi, M.<sup>1</sup>; Van Zee, J. W.<sup>1</sup>; Ziegler, C.<sup>2</sup>; Stoeckmann, C.; Sadeler, C.; Hebling, C.

»Heuristic Design for Developing Portable PEMFC Stack Part I: Experimental Technique & Model Validation«, in: *Electrochimica Acta*, 15.9.2008

(<sup>1</sup>: University of South Carolina, Columbia, SC, USA)

(<sup>2</sup>: University of Freiburg, Department of Microsystems Engineering, Freiburg, Germany)

Sicre, B.; Wapler, J.<sup>1</sup>; Schüle, K.<sup>1</sup>; Maurath, T.

»Development of a Wood-Fired Micro-CHP-System with Stirling Engine for Residential Applications«, in: Proceedings, Internationales Stirling Forum 2008, ECOS GmbH, Osnabrück, Germany, 23./24.9.2008, CD-ROM

(<sup>1</sup>: PSE AG, Freiburg, Germany)

Smolinka, T.

»PEM-Wasserelektrolyse – Stand der Forschung und Entwicklung«, in: Proceedings, NOW-Workshop Regenerativer Wasserstoff aus Elektrolyse, Ulm, Germany, 7.7.2008

Sparber, W.<sup>1</sup>; Thuer, A.<sup>2</sup>; Besana, F.<sup>1</sup>; Streicher, W.<sup>3</sup>; Henning, H.-M.

»Unified Monitoring Procedure and Performance Assessment for Solar Assisted Heating and Cooling Systems«, in: Proceedings, EuroSun 2008, 1<sup>st</sup> International Conference on Solar Heating, Cooling and Buildings, Lisbon, Portugal, 7.–10.10.2008, CD-ROM

(<sup>1</sup>: EURAC Research, Institute for Renewable Energies, Bolzano, Italy)

(<sup>2</sup>: AEE INTEC, Gleisdorf, Austria)

(<sup>3</sup>: TU Graz, Graz, Austria)

Specht, J.; Biro, D.; Aléman, M.; Belledin, U.; Efinger, R.; Erath, D.; Gautero, L.; Lemke, A.; Mingirulli, N.; Stüwe, D.; Rentsch, J.; Preu, R.

»Using Hotmelt-Inkjets as an Structuring Method for Higher Efficiency Industrial Silicon Solar Cells«, in: Proceedings, Digital Fabrication 2008, Society for Imaging Science and Technology, Pittsburgh, PA, USA, 7.–12.9.2008

Striewe, W.; Rommel, M.; Kramer, K.; Mehnert, S.; Kleeberger, C.; Steinmetz, J.

»Leistungs- und Qualitätsprüfung von vorgefertigten Solaranlagen und Speichern«, in: Tagungsband, 18. Symposium Thermische Solarenergie, OTTI, Bad Staffelstein, Germany, 23.–25.4.2008, pp. 322–327

Striewe, W.; Kramer, K.; Mehnert, S.;

Steinmetz, J.; Kleeberger, C.; Biel, T.;

Rommel, M.; Völker, D.

»Testing of Pre-Assembled Solar Domestic Hot Water Systems and Heat Storages«, in: Proceedings, EuroSun 2008, 1<sup>st</sup> International Conference on Solar Heating, Cooling and Buildings, Lisbon, Portugal, 7.–10.10.2008, CD-ROM

Strümpel, C.<sup>1</sup>; McCann, M.<sup>1,2</sup>; Hahn, G.<sup>1,3</sup>

»Influence of Hygroscopy on the Optical Properties of the Up-Converter BaCl<sub>2</sub>:Er<sup>3+</sup>«, in: Proceedings, 23<sup>rd</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Valencia, Spain, 1.–5.9.2008, pp. 645–647

(<sup>1</sup>: University of Konstanz, Department of Physics, Konstanz, Germany)

(<sup>2</sup>: now with Spark Solar Australia, Acton Act, Australia)

(<sup>3</sup>: also with Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE, Freiburg, Germany)

Suwito, D.; Janz, S.; Schetter, C.; Glunz, S. W.; Roth, K.<sup>1</sup>

»Process Transfer of a-SiC 1-x Passivation Layers from a Laboratory-Type to an Industrial In-line PEVCD Reactor«, in: Proceedings, 33<sup>rd</sup> IEEE Photovoltaic Specialists Conference, San Diego, CA, USA, 11.–16.5.2008

(<sup>1</sup>: Roth & Rau, Hohenstein-Ernstthal, Germany)

The, M.; Giesecke, J.; Kasemann, M.<sup>1</sup>; Warta, W.

»Spatially Resolved Characterisation of Silicon As-Cut Wafers with Photoluminescence Imaging«, in: Proceedings, 23<sup>rd</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Valencia, Spain, 1.–5.9.2008, pp. 441–444

(<sup>1</sup>: University of Freiburg, Freiburg Materials Research Center FMF, Freiburg, Germany)

van Heyden, H.<sup>1</sup>; Munz, G.<sup>2</sup>; Schnabel, L.;

Schmidt, F.; Mintova, S.<sup>3</sup>; Bein, T.<sup>1</sup>

»Kinetics of Water Adsorption in Microporous Aluminophosphate Layers for Regenerative Heat Exchangers« in: *Applied Thermal Engineering*, article in press/corrected proof/ published online July 2008

(<sup>1</sup>: LMU München)

(<sup>2</sup>: PSE AG, Freiburg, Germany)

(<sup>3</sup>: LMPC, Mulhouse, Frankreich)

Vetter, M.; Schwunk, S.; Zillgith, M.; Bopp, G.

»Overview on Operating Control Strategies for Different Applications of Autonomous Hybrid PV Systems and Mini-Grids«, in: Proceedings, 4<sup>th</sup> European PV-Hybrid and Mini-Grid Conference, OTTI, Athens, Greece, 29./30.5.2008, pp. 416–423

Vetter, M.; Thomas, R.; Schwunk, S.;

Pfanner, N.; Schreiber, F.; Otto, J.; Wolf, M.<sup>1</sup>;

Losch, S.<sup>1</sup>; Zenz, T.<sup>2</sup>; Höreth, R.<sup>2</sup>

»PV-Wind-Brennstoffzellen-Hybridssysteme zur Versorgung von Messstationen auf Meeresplattformen«, in: Tagungsband, 23. Symposium Photovoltaische Solarenergie, OTTI, Bad Staffelstein, Germany, 5.–7.3.2008, pp. 98–103

(<sup>1</sup>: Pairan Elektronik GmbH, Göttingen, Germany)

(<sup>2</sup>: Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz, Germany)

Wachter, P.<sup>1</sup>; Zistler, M.<sup>1</sup>; Schreiner, C.<sup>1</sup>;

Berginc, M.<sup>2</sup>; Opara Krašovec, U.<sup>2</sup>;

Gerhard, D.<sup>3</sup>; Wasserscheid, P.<sup>3</sup>; Hirsch, A.;

Gores, H. J.<sup>1</sup>

»Characterisation of DSSC-Electrolytes Based on 1-Ethyl-3-Methylimidazolium Dicyanamide: Measurement of Triiodide Diffusion Coefficient, Viscosity and Photovoltaic Performance«, in: *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, Vol. 197, pp. 25–33, 2008

(<sup>1</sup>: University of Regensburg, Institute of Physical and Theoretical Chemistry, Regensburg, Germany)

(<sup>2</sup>: Faculty of Electrical Engineering, University of Ljubljana, Slovenia)

(<sup>3</sup>: Institut für Chemische Reaktionstechnik, Friedrich-Alexander-Universität, Erlangen-Nürnberg, Germany)

Walter, B.; Kasemann, M.; Grote, D.; Ebser, J.;

Kwapil, W.; Warta, W.

»Verification of Power Loss Mechanisms Contributing to the Illuminated Lock-In Thermography (ILIT) Signal«, in: Proceedings, 23<sup>rd</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Valencia, Spain, 1.–5.9.2008, p. 310

Walter, F.; Hofmann, M.; Rentsch, J.

»In Situ Cleaning and Deposition of A-Si:H for Surface Passivation of Crystalline Silicon Wafers Using an Industrial Type Inline Plasma System«, in: Proceedings, 23<sup>rd</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference, Valencia, Spain, 1.–5.9.2008

Weiß, K.-A.; Balthasar, M.; Heck, M.;

Hülsmann, P.; Köhl, M.

»Klimadatenbank mit geografischem Informationssystem für Gebrauchsdauer-simulation«, in: GUS e. V., 37. Jahrestagung der Gesellschaft für Umweltsimulation GUS, Pfinztal, Germany, 12.–14.3.2008, CD-ROM

- Went, J.; Kroemke, F.; Schmoch, H.; Vetter, M.  
 »Energy Demand for Desalination in Solar Driven Reverse Osmosis Units«, in: Proceedings, CIERTA 2008, The Chamber of Commerce of Almería, Almería, Spain, 2./3.10.2008, ID 16
- Wieghaus, M.<sup>1</sup>; Koschikowski, J.<sup>1</sup>; Rommel, M.  
 »Membrane Distillation – Innovative Technology for the Purification of Water with Low Temperature Heat Sources«, in: Proceedings, 6<sup>th</sup> Biennial International Workshop, Advances in Energy Studies, Graz University of Technology, 29.6.-2.7.2008, pp. 150–158  
 (¹: PSE AG, Freiburg, Germany)
- Wieghaus, M.<sup>1</sup>; Koschikowski, J.<sup>1</sup>; Rommel, M.  
 »Solar Desalination for a Water Supply in Remote Areas with Poor Grid Connection«, in: Proceedings, CIERTA 2008, The Chamber of Commerce of Almería, Almería, Spain, 2./3.10.2008, CD-ROM  
 (¹: PSE AG, Freiburg, Germany)
- Wiemken, E.  
 »Dissemination of Experiences on Solar Cooling on European Level and the German Solarthermie2000plus Programme«, in: Proceedings, Solar Air-Conditioning – Experiences and Practical Application, OTTI-Seminar, Munich, Germany, 11.6.2008, pp. 93–101
- Wiemken, E.  
 »Solar Cooling and Air Conditioning – Programmes and Projects for Demonstration and Technology Transfer«, in: Tagungsband, 9. Internationales Symposium für thermische Sonnenenergienutzung (Solar 2008), AEE INTEC, Gleisdorf, Austria, 3.-5.9.2008, pp. 159–164
- Wiemken, E.; Morgenstern, A.  
 »Solar Cooling in the German Funding Program Solarthermie2000plus«, in: Proceedings, EuroSun 2008, 1<sup>st</sup> International Conference on Solar Heating, Cooling and Buildings, Lisbon, Portugal, 7.–10.10.2008, CD-ROM
- Wiemken, E.; Nuñez, T.; Henning, H.-M.  
 »Programme und Projekte zur Förderung der solarthermischen Kühlung auf internationaler und nationaler Ebene«, in: Tagungsband, 18. Symposium Thermische Solarenergie, OTTI, Bad Staffelstein, Germany, 23.–25.4.2008
- Wille-Haussmann, B.; Erge, T.; Link, T.; Wittwer, C.  
 »Model Based Optimisation of Distributed Generation with Respect to Electric Grid Restrictions«, in: Proceedings, EuroSun 2008, 1<sup>st</sup> International Conference on Solar Heating, Cooling and Buildings, Lisbon, Portugal, 7.–10.10.2008
- Winter, S.<sup>1</sup>; Friedrich D.<sup>1</sup>; Ortel B.<sup>1</sup>; Sperling, A.<sup>1</sup>; Hermle, M.; Hohl-Ebinger J.; Warta W.  
 »Non-Linearity of Solar Cells Due to Non-Linear Effects within the Surrounding Area of the Active Cell«, in: Proceedings, 23<sup>rd</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Valencia, Spain, 1.–5.9.2008, pp.1897–1899  
 (¹: Technical University of Braunschweig, Institute for Heat and Fuel Technology, Braunschweig, Germany)
- Wirth, J.; Jack, S.; Köhl, M.; Weiß, K.-A.  
 »Durability Analysis on Solar Energy Converters Containing Polymeric Materials«, in: Proceedings, COMSOL Conference 2008, Hannover, Germany, 4.–6.11.2008, CD-ROM
- Wittstadt, U.; Jahnke, A.<sup>1</sup>; Schnabel, L.; Sosnowski, M.; Schmidt, F.<sup>2</sup>; P.; Ziegler, F.<sup>1</sup>  
 »Test Facility for Small-Scale Adsorbers«, in: Proceedings, International Sorption Heat Pump Conference 2008 (ISHPC08), Kyung Hee University, Seoul, Korea, 23.–26.9.2008, CD-ROM  
 (¹: Technische Universität Berlin, Berlin, Germany)  
 (²: University of Karlsruhe, Karlsruhe, Germany)
- Wittwer, C.; Erge, T.  
 »Smart Metering – Neue Chancen für PV-Systeme«, in: Tagungsband, 23. Symposium Photovoltaische Solarenergie, 5.–7.3.2008, pp. 244–249
- Woehl, R.; Hörteis, M.; Glunz, S. W.  
 »Determination of the Effective Optical Width of Screen Printed and Aerosol Printed and Plated Fingers«, in: Proceedings, 23<sup>rd</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference, Valencia, Spain, 1.–5.9.2008, pp. 1377–1382
- Zahler, C.<sup>1</sup>; Scherer, S.<sup>1</sup>; Luginskand, F.<sup>1</sup>; Häberle, A.<sup>1</sup>; Wegmann, H.-D.<sup>2</sup>; Fritzsche, U.<sup>3</sup>; Adrian, M.<sup>3</sup>; Rommel, M.; Koschikowski, J.<sup>1</sup>  
 »Fertigung und Installation eines kombinierten Indoor- und Outdoorteststandes für solarthermische Kollektoren für das Centre for Solar Energy Studies CSES in Libyen«, in: Tagungsband, 18. Symposium Thermische Solarenergie, OTTI, Bad Staffelstein, Germany, 23.–25.4.2008, pp. 199–203  
 (¹: PSE AG, Freiburg, Germany)  
 (²: Bavaria Engineering GmbH, Munich, Germany)  
 (³: TÜV Immissionsschutz und Energiesysteme GmbH, TÜV Rheinland Group, Cologne, Germany)
- Zimmer, M.; Oltersdorf, A.; Kirchgässner, E.; Rentsch, J.  
 »Spectroscopical Inline Analysis of Wet Chemical Processes«, in: Proceedings, 23<sup>rd</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Valencia, Spain, 1.–5.9.2008, pp. 1057–1061
- Zuschlag, A.<sup>1</sup>; Micard, G.<sup>1</sup>; Junge, J.<sup>1</sup>; Käs, M.<sup>1,2</sup>; Seren, S.<sup>1</sup>; Hahn, G.<sup>1,3</sup>; Coletti, G.<sup>4</sup>; Jia, G.<sup>5</sup>; Seif, W.<sup>5</sup>  
 »Investigations on the Recombination Activity of Grain Boundaries in mc Silicon«, in: Proceedings, 33<sup>rd</sup> IEEE Photovoltaic Specialists Conference, San Diego, CA, USA, 11.–16.5.2008, pp. 1–4  
 (¹: University of Konstanz, Department of Physics, Konstanz, Germany)  
 (²: now with Berlin Solar GmbH, Berlin Germany)  
 (³: also with Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE, Freiburg, Germany)  
 (⁴: ECN – Solar Energy, Petten, The Netherlands)  
 (⁵: IHP/BTU Joint Lab, BTU Cottbus, Cottbus, Germany)
- Zuschlag, A.<sup>1</sup>; Micard, G.<sup>1</sup>; Junge, J.<sup>1</sup>; Käs, M.<sup>1</sup>; Seren, S.<sup>1</sup>; Hahn, G.<sup>1,2</sup>; Coletti, G.<sup>3</sup>; Jia, G.<sup>4</sup>; Seifert, W.<sup>4</sup>  
 »Extraction of the Surface Recombination Velocity and Diffusion Length from LBIC and EBIC Measurements at Grain Boundaries in mc Silicon«, in: Proceedings, 23<sup>rd</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Valencia, Spain, 1.–5.9.2008, pp. 1915–1918  
 (¹: University of Konstanz, Department of Physics, Konstanz, Germany)  
 (²: also with Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE, Freiburg, Germany)  
 (³: ECN – Solar Energy, Petten, The Netherlands)  
 (⁴: IHP/BTU Joint Lab, BTU Cottbus, Cottbus, Germany)