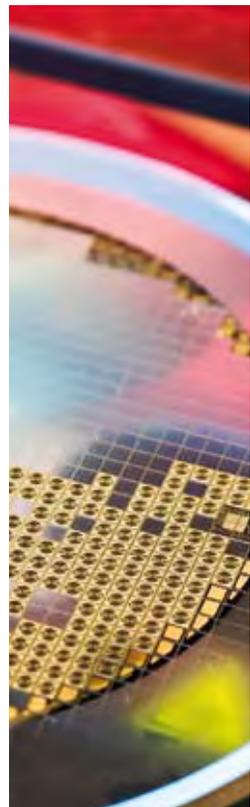




Fraunhofer Institut
Solare Energiesysteme

Jahresbericht **2007** Leistungen und Ergebnisse



links

Neuartige Großlamellen aus transparentem Polycarbonat mit metallischen Einlegeteilen. Das neue Produkt bietet sowohl Sonnen- als auch Blendschutz. Zielanwendungen sind vor allem außenliegende Systeme vor großen Glasfassaden.

mitte

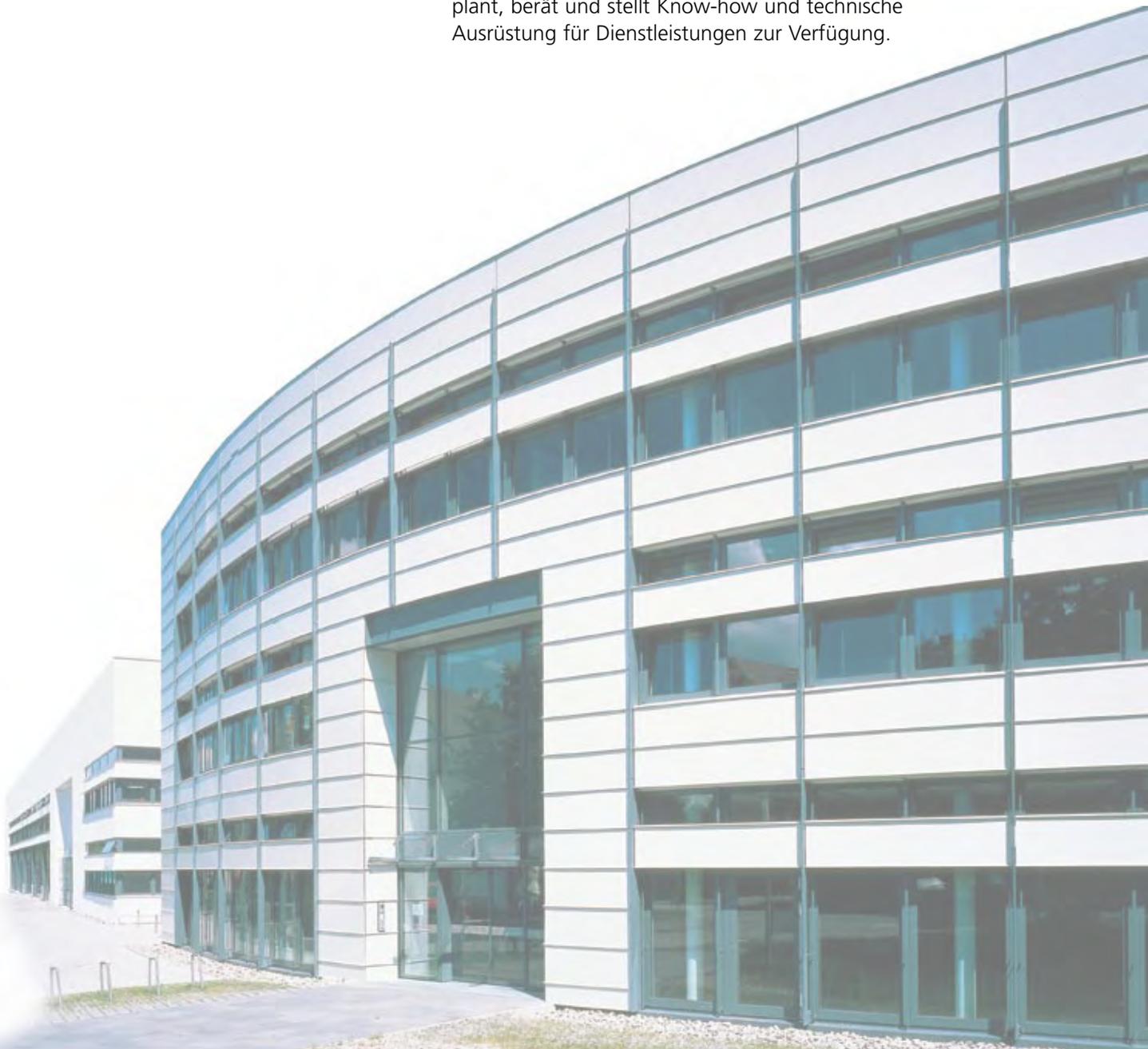
Organisches Solarzellenmodul. Untersuchung und Entwicklung von Beschichtungsverfahren zur Rolle-zu-Rolle Herstellung organischer Solarzellen.

rechts

Winzige Solarzellen mit mehreren pn-Übergängen aus III-V Halbleitern. Diese Solarzellen werden heute aufgrund ihrer hohen Wirkungsgrade in PV Konzentratorsystemen bei Lichtintensitäten von bis zu 1 Megawatt pro Quadratmeter eingesetzt.

Die Forschung des Fraunhofer-Instituts für Solare Energiesysteme ISE schafft technische Voraussetzungen für eine effiziente und umweltfreundliche Energieversorgung, sowohl in Industrieländern als auch in Schwellen- und Entwicklungsländern. Dazu entwickelt das Institut Materialien, Komponenten, Systeme und Verfahren in den Geschäftsfeldern: Gebäude und technische Gebäudeausrüstung, Optische Komponenten und Systeme, Solarzellen, Netzunabhängige Stromversorgungen, Regenerative Stromerzeugung im Netzverbund und Wasserstofftechnologie.

Die Arbeit des Instituts reicht von der Erforschung der naturwissenschaftlichen Grundlagen der Solarenergienutzung über die Entwicklung von Produktionstechniken und Prototypen bis hin zur Ausführung von Demonstrationsanlagen. Das Institut plant, berät und stellt Know-how und technische Ausrüstung für Dienstleistungen zur Verfügung.

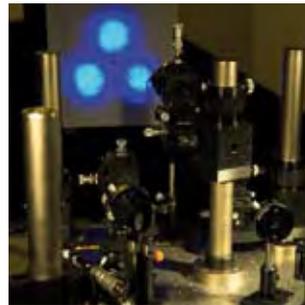


Vorwort	6		
Organisationsstruktur	8	FuE-Höhepunkte des Jahres 2007	12
Das Institut im Profil	10	Professuren, Ehrungen und Preise	13
Das Institut in Zahlen	11	Kuratorium	14



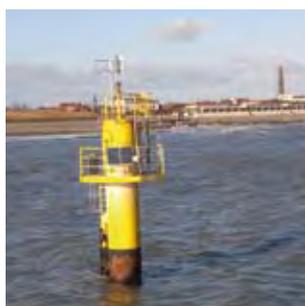
Gebäude und technische Gebäudeausrüstung

- Synthese und Bewertung von Materialien für die Wärme- und Kältespeicherung sowie für die Wärmetransformation	20
- Entwicklung von Prozesswärmekollektoren	21
- Adsorberentwicklung für Sorptionswärmepumpen und -kältemaschinen: Neue Charakterisierungsmöglichkeiten	22
- Sanieren mit Faktor 4	23
- Energieeffiziente und solare Kühlung	24
- Sonnenschutzoptimierung für komplexe Fassadensysteme	26
- Großlamelle aus glasklarem Material als innovatives Sonnenschutzsystem	27
- Wärmepumpen für hohe Energieeffizienz in Wohngebäuden	28
- Polymermaterialien für die Solarthermie	29
- Entwicklung von Produktionstechniken für Vakuum-Isolierglas	30
- Praxistaugliches Wärmedämmverbundsystem mit Vakuum-Isolations-Paneelen	31



Optische Komponenten und Systeme

- Transparente Elektroden für Solarzellen auf Basis dünner Silberschichten	36
- Innovative Konzepte für die Texturierung multikristalliner Siliziumsolarzellen	38
- Optische Charakterisierung von Schlüsselkomponenten linearer Fresnel-Kollektoren	40



Solarzellen	42	Netzunabhängige Stromversorgungen	62
- Kristallisation und Wafering von verunreinigtem Silizium	46	- Konzepte zur Etablierung und Stärkung von lokalen Stromanbietern in Ecuador und Peru	66
- Reduktion der Sägeverluste beim Vieldrahtsägen von Silizium	47	- Kleine PV-Wasserpumpen mit großer Wirkung auf ländliche Einkommen im südlichen Afrika	67
- Hocheffiziente Siliziumsolarzellen mit Siebdruck-Vorderseitenkontakten	48	- Neue Kommunikationsstandards für PV-Hybridssysteme	68
- Inline-Galvanik für Solarzellenkontakte	49	- Online-Detektion von Fouling-Schichten auf technischen Oberflächen durch Ultraschallreflektometrie	69
- Laserchemische Prozessierung von Solarzellen	50	- Autark arbeitende Membransysteme durch Ultraschallreinigung für die dezentrale Wasseraufbereitung	70
- Amorphes Silizium zur Oberflächenpassivierung kristalliner Siliziumsolarzellen	51	- Batteriemanagementsystem für autonome Stromversorgungssysteme im praktischen Einsatz	71
- Inline-Messtechnik – Entwicklung und Qualifizierung für den Einsatz in der industriellen Solarzellenfertigung	52	- Simulationsbasierte Entwicklung und Optimierung von PV-Hybridssystemen	72
- Inkjet-Technologie für die industrielle Herstellung von hochauflösenden Maskenstrukturen für Hocheffizienz-solarzellen	53	- Energieautarke Aufbereitung von Trinkwasser aus Meer- oder Brackwasser	73
- Metal-Wrap-Through (MWT) Solarzellen	54		
- Prototyp eines Solarmoduls mit 16 MWT-Solarzellen (MWT: Metal-Wrap-Through)	55		
- Heterosolarzellenprozesse für die Materialanalyse	56		
- Bildgebende Lumineszenzverfahren zur Charakterisierung von Silizium	57		
- Charakterisierung von III-V Mehrfach-solarzellen unter variierenden spektralen und thermischen Bedingungen	58		
- Hocheffiziente Laserleistungszellen	59		
- Farbstoffsolarzellen	60		
- Entwicklung flexibler organischer Solarzellenmodule	61		



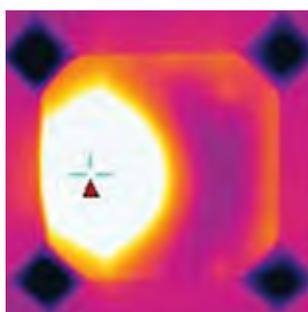
Regenerative Stromerzeugung im Netzverbund

- Verfahrensoptimierung und Qualitätssicherung bei Ertragsprognosen 74
- Performance Analyse und Optimierung von Photovoltaik-Solkraftwerken 78
- Wechselrichter mit SiC-MOSFETs 79
- Skalierbares Monitoring-System für Energieanalysen auf der Basis von Embedded Systems 80
- Praxistest für linearen Fresnel-Kollektor 82
- 83



Wasserstofftechnologie

- 84
- Charakterisierung von PEM- und Direktalkoholbrennstoffzellen 88
- Reformer-Brennstoffzellen-Modul für 350 W 90
- Ortsaufgelöste Charakterisierung von Hochtemperatur-PEM-Brennstoffzellen 92
- Wasserstoffspeicherung auf der Basis von chemischen Hydriden 93
- Entwicklung eines Katalysators für ein Pyrolysesystem 94
- Strömungssimulation als Hilfsmittel zum Reaktordesign 95



Servicebereiche	96	Gastwissenschaftler	106
- ISE Callab: Kalibrieren von Solarzellen und Modulen	100	Mitarbeit in Gremien	106
- Qualitätssicherung von PV-Anlagen	101	Kongresse, Tagungen und Seminare	108
- Testzentrum für Photovoltaik (TZPV)	101	Messebeteiligungen	108
- Charakterisierung und Qualifizierung von elektrischen Komponenten	102	Vorlesungen und Seminare	109
- Messen und Prüfen von Lüftungsgeräten	102	Promotionen	109
- Prüfzentrum für Thermische Solaranlagen (PZTS)	103	Patente	110
- Vermessung von Fassaden und transparenten Bauteilen	104	Pressearbeit	111
		Veröffentlichungen in rezensierten Zeitschriften	112
		Vorträge	116
		Veröffentlichungen	124
		Impressum	136

Fakten im Überblick



Das Jahr 2007 war mein erstes volles Jahr als Leiter des Fraunhofer ISE, und ich bin allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern für das in diesem Jahr Erreichte sehr dankbar. Das Arbeitsgebiet des ISE in den Bereichen Energieeffizienz und erneuerbare Energien ist besonders auch im Hinblick auf die sich abzeichnende Klimakatastrophe von immer größerer Relevanz. Weiterhin hat das Erneuerbare Energiengesetz (EEG) durch attraktive Vergütungen für die Netzeinspeisung erneuerbarer Energien die Entstehung wirtschaftlich potenter Firmen besonders auch im Bereich der Photovoltaik begünstigt. Viele dieser Firmen sind Partner des ISE bei der Entwicklung neuer Technologien.

Die besonderen Highlights der Arbeit am ISE im Jahr 2007 sind auf Seite 12 aufgeführt. Besonders erwähnen möchte ich die Weltrekordeffizienz von 98,5% eines Wechselrichters mit SiC Transistoren, die Entwicklung eines katalytischen Dieselerdampfers mit integriertem Reformer für die Verwendung von Dieseltreibstoff für Brennstoffzellen, eine Rekorderffizienz von 19,3% für eine Silizium-Solarzelle mit Siebdruckkontakten auf der Vorderseite und lasergefeuerten Rückseitenkontakten, eine 14,9% effiziente Silizium-Dünnschichtsolarzelle auf hochdotiertem, multikristallinem Silizium, und den erfolgreichen Dauerbetrieb einer kompakten Solaranlage zur Meerwasserentsalzung. In Almería in Spanien konnten wir eine Solarthermische Pilotanlage in Betrieb nehmen, die vom ISE entwickelte Absorberrohre enthält und sich durch eine neuartige, flache Fresnel-Anordnung von Spiegeln auszeichnet, die die sonst üblichen, großen Parabolspiegel ersetzen.

Die größte, objektive Anerkennung für die erfolgreiche Arbeit der ISE-Mitarbeiter lässt sich aus der Entwicklung des Budgets und der Zahl der Beschäftigten ableiten. Das ISE erlebte 2007 ein weiteres sehr beachtliches Wachstum von mehr als 10% des Budgets – von 29,2 Millionen Euro 2006 auf ca. 32,3 Millionen Euro 2007 (mit allen Investitionen über 40 Millionen Euro) – wie auch die Zahl der am ISE Beschäftigten um mehr als 20% von fast 500 auf mehr als 600 am Ende des Jahres gestiegen ist.

Unser größtes Problem ist zur Zeit, zusätzliche qualifizierte Mitarbeiter für bereits akquirierte Projekte zu finden sowie die dazu gehörigen Labor- und Büroflächen bereitzustellen. Daher haben wir in diesem Jahr weitere Räume außerhalb des ISE angemietet. Ende 2008 planen wir den Bezug neu hinzugekaufter Laborräume nahe des Hauptgebäudes. Gleichzeitig werden wir einen Neubau auf diesem Gelände beginnen.

Auch außerhalb von Freiburg arbeiten wir am Ausbau unserer Labors sowie an Neugründungen. Das Labor- und Servicecenter LSC Gelsenkirchen konnte im Beisein von NRW Forschungsminister Prof. Andreas Pinkwart am 9.2.2007 neue Labor- und Büroräume einweihen. Auch die Arbeit im Technologiezentrum Halbleitermaterialien THM Freiberg, das gemeinsam mit dem Fraunhofer IISB Erlangen betrieben wird, sowie in unserem angeschlossenen Labor an der Universität Konstanz hat in diesem Jahr wichtige Fortschritte gemacht. Ganz neu gegründet wurde am 1.6.2007 das Center für Silizium-Photovoltaik CSP Halle, das wir gemeinsam mit dem Fraunhofer IWM Halle betreiben. Das IWM Halle konnte für das CSP bereits neue Räume in einem Neubau zur Verfügung stellen. In diesen Labors wurde noch vor Jahresende erfolgreich ein erster multikristalliner Silizium-Block gezogen.

Im zweiten Halbjahr 2007 haben wir erste Schritte zur Gründung eines Labors in den USA im Rahmen der bereits bestehenden Organisation Fraunhofer USA unternommen. Die Labors der Fraunhofer USA sind jeweils eng mit einer Universität verknüpft. Wir planen, im Laufe des Jahres 2008 am MIT in Boston ein Center for Sustainable Energy CSE zu gründen. Auch an verschiedenen Orten in Asien besteht großes

Interesse an der Arbeit des ISE und das Jahr 2008 wird in dieser Hinsicht sicherlich weitere interessante Entwicklungen bringen.

Unter den vielen in diesem Jahr neu begonnenen Projekten sollten besonders zwei erwähnt werden, die durch erhebliche Stiftungsmittel der Fraunhofer-Gesellschaft gefördert werden. Das erste, von Dr. Stefan Reber geleitete Projekt, beschäftigt sich mit der Verwendung von gereinigtem metallurgischem Silizium («Dirty Silicon») für leistungsfähige Solarzellen. Das zweite, unter der Leitung von Dr. Christopher Hebling und in Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer IKTS, hat die Entwicklung von Brennstoffzellensystemen für die Energieversorgung kleiner Verbraucher zum Ziel. Zu diesem Thema fand unter der Leitung von Dr. Hebling auch das zweite Fraunhofer Symposium Mikroenergie-technik in Freiburg statt, parallel zur internationalen Power MEMS Konferenz, mit Herrn Hebling als Tagungsleiter.

Im Jahr 2007 fand die Fachmesse Intersolar zum letzten Mal in Freiburg statt. Diese Messe war in den letzten Jahren so außerordentlich erfolgreich, dass selbst der Bau weiterer Ausstellungshallen in Freiburg mit den schneller wachsenden Anforderungen nicht Schritt halten konnte. Daher wird die Intersolar 2008 auf dem deutlich größeren Messegelände in München stattfinden. Um diesen Verlust für die Stadt Freiburg teilweise zu kompensieren werden in Freiburg in den nächsten Jahren jeweils im Herbst »Solar Summits« unter wesentlicher Einbeziehung des ISE veranstaltet, mit jährlich wechselnden Schwerpunktthemen. Der erste Solar Summit vom 22. bis 24. Oktober 2008 findet unter dem Thema »Alternative Silizium-Materialien für die Photovoltaik« statt.

Weiterhin waren wir daran beteiligt, die Intersolar zum ersten Mal ins Ausland zu bringen: vom 15. bis 17. Juli 2008 wird die erste Intersolar North America in San Francisco stattfinden, gemeinsam mit der Semicon West. Ein Ziel der Intersolar North America wird es sein, dazu beizutragen, auch in den USA deutliche Wachstumsraten der erneuerbaren Energien, speziell auch der Photovoltaik, zu erreichen.

Unter den personellen Veränderungen dieses Jahres möchte ich zuerst die Ernennung unseres stellvertretenden Institutsleiters Dr. Volker Wittwer zum außerplanmäßigen Professor an der Fakultät für Angewandte Wissenschaften der Universität Freiburg erwähnen. Zusätzlich zu unseren bereits emeritierten Institutsleitern, Prof. Adolf Goetzberger und Prof. Joachim Luther, die beide noch im Institut mitarbeiten, sind mit Prof. Roland Schindler und Prof. Gerhard Willeke daher am ISE zur Zeit weitere vier Professoren sowie mit Dr. Andreas Gombert ein weiterer habilitierter Mitarbeiter tätig.

Der Erfolg des ISE spiegelt sich auch in den Karriere-möglichkeiten unserer Mitarbeiter wieder. Dr. Carsten Agert, Gruppenleiter in der Abteilung Energietechnik, erhielt einen Ruf auf eine W3-Professur an die Carl von Ossietzky Universität Oldenburg. Diese Professur ist mit dem Aufbau und der Leitung eines neuen Energieforschungszentrums verbunden, das maßgeblich von dem Energieversorgungsunternehmen EWE AG gefördert wird.

Prof. Luther ist seit Februar 2007 Mitglied der neu gegründeten Expertenkommission Forschung und Innovation der Bundesregierung, die die Bundesregierung in der Ausrichtung ihrer Forschungspolitik berät.

Eine weitere Person, die sich in diesem Jahr ganz besonders für das Institut verdient gemacht hat, ist unser technischer Leiter Herr Thomas Faasch. Durch seine umsichtige Planung hat Herr Faasch die nicht unerhebliche Expansion des Instituts in diesem Jahr möglich gemacht, und sein Verhandlungsgeschick war wesentlich für den noch vor Jahresende abgeschlossenen Kaufvertrag der Grundflächen für unseren Neubau.

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





Andreas Bett



Gerhard Willeke



Karin Schneider



Thomas Faasch



Ralf Preu



Stefan Glunz



Volker Wittwer

Die Organisationsstruktur des Fraunhofer ISE hat zwei parallele, sich wechselseitig ergänzende Hauptkomponenten: Abteilungen und Geschäftsfelder. FuE Marketing, die Außendarstellung des Instituts und vor allem unsere Strategieplanung sind entlang der sechs Geschäftsfelder des Instituts strukturiert.

Die sieben wissenschaftlichen Abteilungen sind für die konkrete Arbeitsorganisation und den Laborbetrieb entscheidend. Die meisten Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter aus den Bereichen Wissenschaft und Technik haben ihre Basis in den einzelnen Abteilungen.



Eicke R. Weber

Andreas Gombert

Christopher Hebling

Günther Ebert

Hans-Martin Henning

Wolfgang Wissler

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 88-52 10
Koordination Photovoltaik	Prof. Dr. Gerhard Willeke	+49 (0) 7 61/45 88-52 66
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 Priv. Doz. Dr. Andreas Gombert	+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
	Silizium-solarzellen – 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	Dipl.-Kaufm. Wolfgang Wissler	+49 (0) 7 61/45 88-53 50
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

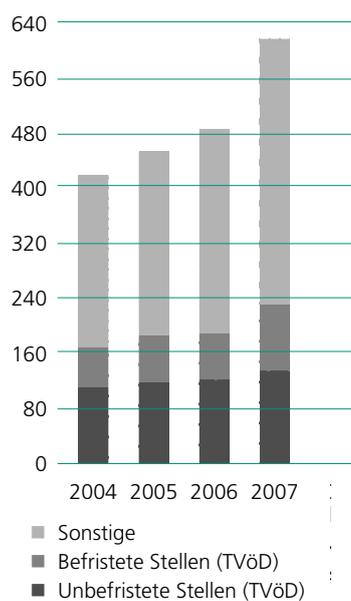
Kurzportrait

Die Forschung des Fraunhofer-Instituts für Solare Energiesysteme ISE schafft technische Voraussetzungen für eine effiziente und nachhaltige Energieversorgung, sowohl in Industrieländern als auch in Schwellen- und Entwicklungsländern. Dazu entwickelt das Institut Materialien, Komponenten, Systeme und Verfahren in den Geschäftsfeldern: Gebäude und technische Gebäudeausrüstung, Optische Komponenten und Systeme, Solarzellen, Netzunabhängige Stromversorgungen, Regenerative Stromerzeugung im Netzverbund und Wasserstofftechnologie. Zu weiteren – nicht solartechnischen – Kompetenzen zählen Displaytechnologie, Lichttechnik und Wasseraufbereitung.

Die Arbeit des Instituts reicht von der Erforschung der naturwissenschaftlich-technischen Grundlagen der Solarenergienutzung über die Entwicklung von Produktionstechniken und Prototypen bis hin zur Ausführung von Demonstrationsanlagen. Das Institut plant, berät und stellt Know-how sowie 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 erzielten wissenschaftlichen Ergebnissen beitragen. Im Dezember 2007 waren dies 68 Doktoranden, 70 Diplomanden, 32 Praktikanten, 3 Auszubildende sowie 213 wissenschaftliche Hilfskräfte. Das Fraunhofer ISE leistet auf diese Weise einen wichtigen Beitrag zur Ausbildung von Forschern auf diesem wichtigen Arbeitsgebiet.



Forschungs- und Dienstleistungsangebot

Das Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE ist Mitglied der Fraunhofer-Gesellschaft, einer als gemeinnützig anerkannten Organisation, die sich als Mittler zwischen universitärer Grundlagenforschung und industrieller Praxis versteht. Es finanziert sich zu über 80% durch Aufträge in den Bereichen angewandte Forschung, Entwicklung und Hochtechnologie-Dienstleistungen. Ob mehrjähriges Großprojekt oder Kurzberatung, kennzeichnend für die Arbeitsweise ist der Praxisbezug und die Orientierung am Kundennutzen. Das Institut ist in ein Netz von nationalen und internationalen Kooperationen eingebunden, es ist u.a. Mitglied des Forschungsverbunds Sonnenenergie (FVS) und der European Renewable Energy Centers (EUREC) Agency. Besonders eng ist die Zusammenarbeit mit der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg. Bei Bedarf kann das Institut insbesondere auf die Kompetenz anderer Fraunhofer-Institute zurückgreifen und erarbeitet so interdisziplinäre Komplettlösungen.

Vernetzung Fraunhofer-Gesellschaft

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

Internationale Kunden, Auftraggeber und Kooperationspartner

Das Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE arbeitet seit Jahren mit internationalen Kooperationspartnern und Auftraggebern vieler Branchen erfolgreich zusammen. Eine Auflistung unserer Partner finden Sie unter www.ise.fhg.de/ueber-uns/partner

Fraunhofer ISE Außenstandorte

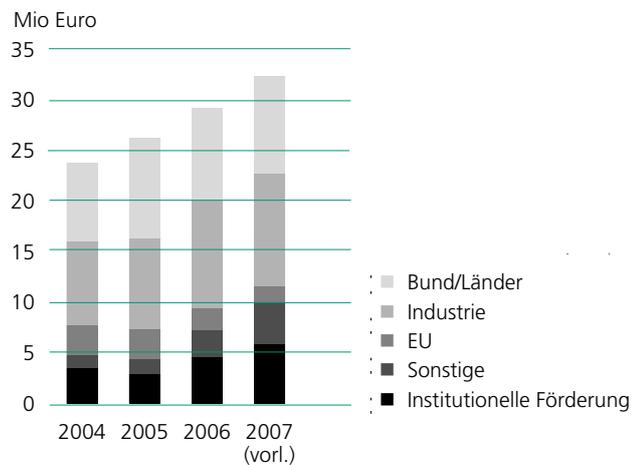
Das seit 2000 bestehende Fraunhofer ISE Labor- und Servicecenter Gelsenkirchen am Standort Nordrhein-Westfalen ist Partner für die Photovoltaik-Industrie auch über die Landesgrenzen von NRW hinaus. Solarzellenhersteller nutzen die Dienstleistung des LSC für die Qualitätskontrolle ihrer Produktion ebenso 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 Silizium. Das LSC Gelsenkirchen führt auch Trainings im Bereich Charakterisierungsverfahren und Solarzellentechnologie durch.

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. Aufbauend auf der Expertise beider Institute unterstützt das THM Firmen bei der Forschung und Entwicklung zur Materialpräparation und -bearbeitung für 300-mm-Silizium, SolarSilizium und III-V-Halbleiter. Darüber hinaus bietet das THM Dienstleistungen für die laufende Produktion der Industriepartner im Bereich Analytik, Charakterisierung und Test an.

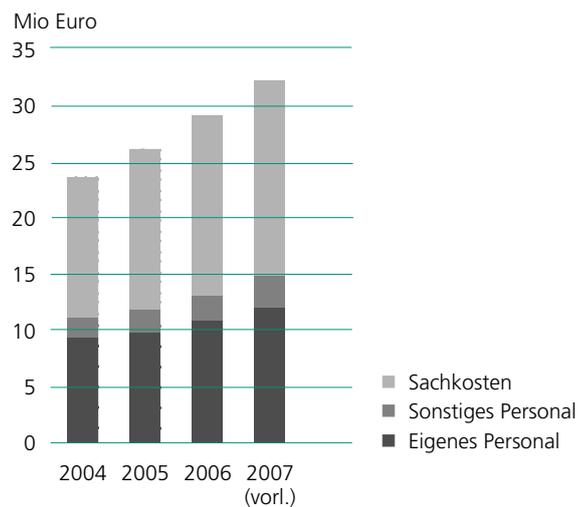
In Kooperation mit dem Fachbereich Physik der Universität Konstanz wird seit 2006 die Photovoltaik Projektgruppe vom Fraunhofer ISE und der Universität Konstanz gemeinsam betrieben.

Die jüngste Außenstelle, das Center für Silizium-Photovoltaik CSP in Halle/Saale, wird gemeinsam von den Fraunhofer-Instituten für Werkstoffmechanik IWM, Freiburg und Halle, und Fraunhofer ISE betrieben. Mit der 2007 gestarteten Einrichtung entsteht ein weltweit einmaliges Kristallisations- und Materialanalysezentrum, in dem gezielte Forschung und Entwicklung zu Silizium-Material durchgeführt wird. Diese Arbeiten erfolgen in Kooperation mit Industriepartnern. In weiteren Schwerpunkten werden Konzepte für Silizium-Dünnschichtzellen und Modulintegration entwickelt.

Erträge



Kosten



Zusätzlich zu den in der Grafik angegebenen Ausgaben tätigte das Institut im Jahr 2007 Investitionen in Höhe von 10,4 Mio € (ohne BMU-Investitionsprojekt PV-TEC, das in den Jahren 2005 bis 2007 realisiert wurde).

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. Der integrierte Finanzplan der Fraunhofer-Gesellschaft erlaubt die Mittelbewegung zwischen beiden Haushalten.

Forschung und Entwicklung

- Erfolgreicher Dauer-Betrieb von dezentralen Kompaktanlagen für solarthermische Meerwasserentsalzung
- Kollektortestanlage für Wirkungsgradkennlinienmessungen bis 200 °C erfolgreich entwickelt und in Betrieb genommen
- Innovatives Sonnenschutzsystem mit Großlamellen aus glasklarem Material entwickelt
- Neuartiges Wärmedämmverbundsystem aus Vakuumisulationspaneelen mit Industriepartnern entwickelt
- Freibewitterungsteststand für PV-Module und andere Solarkomponenten auf der Zugspitze in Betrieb genommen
- Inbetriebnahme eines neuen Thermoanalyse-Labors zur Entwicklung und Charakterisierung von Materialien für Wärmespeicherung und Wärmetransformation
- Erstmals Paraffin-Emulsionen als Wärmetransferfluid über mehrere Wochen stabil im Betrieb (Zusammenarbeit mit Fraunhofer UMSICHT)
- Solarthermischer Demonstrations-Fresnel-Kollektor in Kooperation mit MAN Ferrostaal, Solar Power Group, DLR und PSE in Almería aufgebaut
- Selektiv beschichtete Absorberrohre und Sekundärspiegel für Betriebstemperaturen von 450 °C mit einer Länge von 100 m hergestellt
- Durchkontaktierte organische Solarzellen und monolithisch verschaltete Module erstmals hergestellt
- Innovative Verschaltungstechnik für Solarmodul aus MWT (Metal Wrap Through)-Zellen entwickelt
- Interferenzlithographie mit 3 Wellen für die hexagonale Texturierung von Solarzellen erstmals realisiert
- Wellenoptische Modellierung von Mikro- und Nanostrukturen zum Lichteinfang in Solarzellen
- Inbetriebnahme des optimierten Leitwartenbetriebs mit dezentralen Erzeugern bei der badenova AG
- Inbetriebnahme eines webbasierten Smart-Metering-Systems
- 2,4% Wirkungsgradverbesserung bei einem 3-phasigen Wechselrichter erreicht
- Rekordwirkungsgrad von 98,5% bei einem einphasigen 5kW-Wechselrichter unter Verwendung von SiC-MOSFETs erreicht
- Internationalisierung von Ertragsgutachten und Qualitätssicherungs-Dienstleistungen für Photovoltaikanlagen erheblich ausgeweitet
- Software »ZENITH« zur Ertragsprognose von Photovoltaikanlagen mit erheblich erweitertem Anwendungsbereich fertig gestellt
- ISE-Modul-Kalibrierlabor erreicht höchste Genauigkeit bei internationalen Vergleichsmessungen
- Verbesserung der Erwerbssituation in ländlichen Regionen von Entwicklungsländern durch Einsatz von Photovoltaik-Systemlösungen analysiert
- Neue Kommunikationsstandards für Photovoltaik-Hybridssysteme entwickelt
- Batteriemanagementsystem erfolgreich unter realen Betriebsbedingungen getestet
- Entwickeltes PV-Brennstoffzellen-Hybridssystem zur Versorgung autarker Messstationen erfolgreich unter extremen Umweltbedingungen getestet
- Rein mechanisches Reinigungsverfahren für Membranen in Wasseraufbereitungssystemen entwickelt
- Skalierbares Monitoring-System zur Betriebskontrolle von Energieversorgungssystemen auf der Basis von Embedded Systems entwickelt
- Siliziumsolarzelle mit einer Siebdruckvorderseite und einer dielektrisch passivierten Rückseite mit lasergefeuerten Kontakten (LFC) erreicht einen Wirkungsgrad von 19,3%
- Photo- und Elektrolumineszenz zur ortsaufgelösten Material- und Solarzellencharakterisierung erfolgreich aufgebaut

- Unter Verwendung von amorphem Silizium als Passivierung und lokal laserlegierten Rückseitenkontakten konnten Hocheffizienz-solarzellen mit einem Wirkungsgrad von 21,7% hergestellt werden
- Kostengünstiger Siebdruck-Pilot-Prozess für rückseitenkontaktierte Solarzellen mit einem Wirkungsgrad von 16,4% auf multikristallinen Siliziumscheiben entwickelt (14,9% Modulwirkungsgrad)
- Waferäquivalente Solarzelle mit epitaktischem Emittor erreicht 14,9%
- Inline-fähige Industrieanlagen für die lichtinduzierte Galvanik aufgebaut, zur Verdickung von Solarzellenkontakten sowohl mit Silber als auch mit Kupfer
- Entwicklung einer rückseitig kontaktierten Hocheffizienz-Solarzelle für die Massenproduktion (gemeinsamen mit ISFH) ist Basis für Investitionsentscheidung der Q-Cells AG für den Bau einer Produktions-Pilotlinie
- Industrierelevantes Kristallisations- und Wafering-Technikum aufgebaut
- Erste multikristalline Siliziumblöcke mit ca. 250 kg erfolgreich hergestellt
- Heterosolarzellenprozess als Untersuchungsmethode für die Wechselwirkung zwischen Solarzellenprozess und Material entwickelt
- Maskendruck von 10 µm schmalen Öffnungen mittels Inkjet-Technologie
- Hocheffiziente III-V-Laserleistungszellen mit Wirkungsgraden von über 50% bei monochromatischer Beleuchtung mit Laserlicht bei 810 nm entwickelt
- GaAs Solarzelle mit einem im ISE Callab gemessenen Wirkungsgrad von 25,4% (AM1.5g) hergestellt
- Katalytischer Dieseldampfer mit integriertem Reformer (CPOX) vorgestellt
- Brennstoffzellensystem (300 W) für einen autonomen Serviceroboter entwickelt und thermisch optimiert
- Wasserstoffgenerator auf Basis der Pyrolyse von Kohlenwasserstoffen mit über 500 Zyklen nachgewiesen
- Spritzgegossene, planare Direktmethanol-Brennstoffzellen-Module vorgestellt

Professuren, Ehrungen und Preise

- Prof. Joachim Luther, ehemaliger Leiter des Fraunhofer ISE, ist Mitglied der im Februar 2007 gegründeten Expertenkommission Forschung und Innovation der Bundesregierung. In dieser Funktion berät er die Regierung in der Ausrichtung ihrer Forschungspolitik.
- Priv.-Doz. Dr. Gerhard Willeke erhielt im März 2007 eine außerplanmäßige Professur an der Universität Konstanz.
- Priv.-Doz. Dr. Volker Wittwer erhielt im Oktober 2007 eine außerplanmäßige Professur an der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg.
- Dr. Carsten Agert erhielt einen Ruf auf eine W3-Professur »Energietechnologie« an der Carl von Ossietzky Universität Oldenburg. Die Professur ist mit dem Aufbau und der Leitung eines neuen Energieforschungszentrums verbunden, das maßgeblich von einem großen deutschen Energieversorger, der EWE AG, gefördert wird. Das »EWE-Forschungszentrum für Energietechnologie e.V.« soll mit Schwerpunkten in den Bereichen Erneuerbare Energien, Energieeffizienz und Energiespeicherung aufgebaut werden.
- Georg Mühlhöfer wird vom VDI Rheinland-Pfalz für seine Diplomarbeit mit dem Titel »Untersuchung und Optimierung einer Solargetriebenen Membrandestillationsanlage zur Meerwasserentsalzung« ausgezeichnet.
- Marcel Wieghaus wurde anlässlich des World Congress der IDA (International Desalination Association), 22.–26.10.2007 in Gran Canaria, mit der Auszeichnung »Beste Präsentation« in der Kategorie »Andere Entsalzungstechnologien« geehrt.
- Dr. Oliver Schultz wurde 2007 in den »Think Tank 30 Deutschland« berufen. Der Think Tank ist ein 2004 unter dem Dach des »Club of Rome« gegründetes, interdisziplinär und interkulturell ausgerichtetes Forum junger Menschen um 30 Jahre, die sich mit Zukunftsfragen auseinandersetzen. Als unabhängige Gruppe trägt der Think Tank zu gesellschaftlichen Debatten bei und formuliert Empfehlungen für eine nachhaltige Politik.
- Gerhard Peharz erhielt für seine Diplomarbeit »Entwicklung und Charakterisierung eines hocheffizienten Systems zur photovoltaischen Wasserstoffproduktion« eine Auszeichnung des Fachbereichs Umweltsystemwissenschaften der Universität Graz.
- Das Poster zum Thema »Alternatives to Screen Printing for the Front Side Metallization of Silicon Solar Cells« von Mónica Alemán, Norbert Bay, Stefan Glunz, Andreas Grohe und Annerose Knorz wurde auf der PVSEC in Japan mit einem Poster Award ausgezeichnet.

Das Kuratorium begutachtet die Forschungsprojekte und berät die Institutsleitung und den Vorstand der Fraunhofer-Gesellschaft bezüglich des Arbeitsprogramms des Fraunhofer ISE.
Stand: 24.11.2007

Vorsitzender

Prof. Peter Woditsch

Deutsche Solar AG, Freiberg/Sachsen

Stellvertretender Vorsitzender

Dipl.-Ing. Helmut Jäger

Solvis GmbH & Co. KG, Braunschweig

Mitglieder

Dr. Hubert Aulich

PV Silicon Forschungs- und Produktions AG,
Erfurt

Dipl.-Phys. Jürgen Berger

VDI/VDE-IT Innovation+Technik GmbH, Berlin

Dr. Robert Brunner

Carl Zeiss AG, Jena

Hans-Josef Fell

Mitglied des Deutschen Bundestags, Berlin

Dr. Frank Güntert

Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg,
Stuttgart

Peter Hertel

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

Prof. Thomas Herzog

Herzog + Partner, München

Dr. Winfried Hoffmann

Applied Materials GmbH & Co. KG, Alzenau

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/Sachsen

Dipl.-Volkswirt Joachim Nick-Leptin

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

Klaus-Peter Pischke

Kreditanstalt für Wiederaufbau, Frankfurt

Dr. Dietmar Roth

Roth & Rau AG,
Hohenstein-Ernstthal

Prof. Günter Schatz

Universität Konstanz, Konstanz

Dipl.-Ing. Rainer Schild

Vaillant GmbH, Remscheid

Ministerialrat Hanno Schnarrenberger

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

Prof. Frithjof Staiß

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

Dr. Karl Wollin

Bundesministerium für Bildung und
Forschung (BMBF), Bonn

Geschäftsfelder

Gebäude und technische
Gebäudeausrüstung

Optische Komponenten
und Systeme

Solarzellen

Netzunabhängige
Stromversorgungen

Regenerative Stromerzeugung
im Netzverbund

Wasserstofftechnologie

Servicebereiche



Gebäude und technische Gebäudeausrüstung

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 seiner Bedeutung wachsen, 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 ebenso 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 Zugserscheinungen.

Nach wie vor verbrauchen wir in Deutschland rund 40% 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 Energie-nutzung 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 Demonstrationsbauten. Oder wir unterstützen bei der Konzipierung anspruchsvoller Bauwerke mit Simulationswerkzeugen, die wir bei Bedarf selbst weiter entwickeln. 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.



Auf dem Schneefernerhaus an der Zugspitze wurde gemeinsam mit dem TÜVRheinland eine Freibewitterungsstation für PV-Module eingerichtet. Extreme Temperaturdifferenzen, hohe Schnee- und Windlasten und ein erhöhter UV-Strahlungsanteil dienen zur Qualifizierung besonders witterungsbeständiger Produkte und als Referenz für die Entwicklung beschleunigter Beständigkeitsprüfverfahren.

Ansprechpartner

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 88-51 31 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

Übergreifende Koordination

Gebäude und technische Gebäudeausrüstung	Dr. Hans-Martin Henning	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-51 34 E-Mail: Hans-Martin.Henning@ise.fraunhofer.de
Optische Komponenten und Systeme	Priv. Doz. Dr. Andreas Gombert	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-59 83 E-Mail: Andreas.Gombert@ise.fraunhofer.de

Synthese und Bewertung von Materialien für die Wärme- und Kältespeicherung sowie für die Wärmetransformation

Wir haben die am Fraunhofer ISE bereits vorhandenen Kompetenzen zur Materialanalyse, Komponentenentwicklung und Systemoptimierung im Bereich thermisch aktiver Materialien erheblich ausgebaut. Somit steht nun eine umfangreiche Ausstattung für die Synthese und Bewertung von Materialien für die Wärme- und Kältespeicherung sowie für die Wärmetransformation auf der Basis von Sorptionsmaterialien und Phasenwechsel-flüssigkeiten zur Verfügung.

Stefan Gschwander, Stefan Henninger, Ferdinand Schmidt, York Tiedtke*,
Peter Schossig, Hans-Martin Henning

* PSE GmbH Forschung Entwicklung Marketing, Freiburg

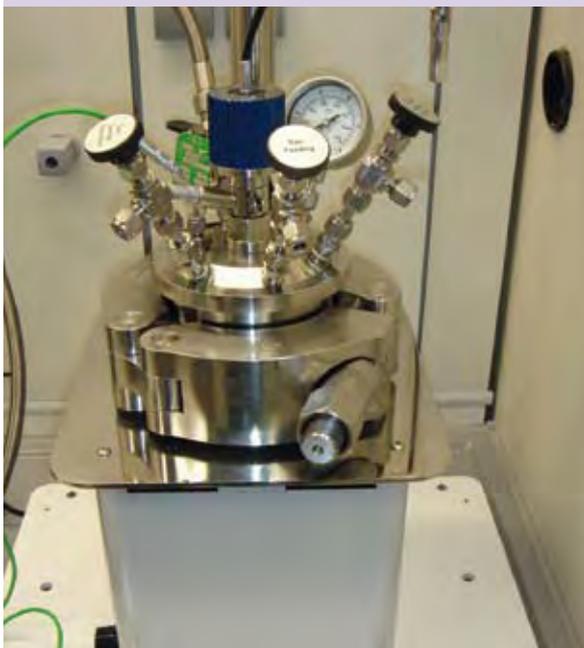


Abb. 1: Rührautoklav zur Synthese von hochporösen Sorptionsmaterialien im neuen Syntheselabor.



Mit Hilfe unseres neu eingerichteten Material-labors wurde die Möglichkeit geschaffen, neuartige Speichermaterialien zu synthetisieren und gezielt auf geplante Anwendungen der Wärmespeicherung und -transformation hin zu entwickeln.

Die Ausrichtung des Labors liegt auf den beiden für Wärmespeicherung und -transformation interessanten Materialklassen der Sorptions- und Phasenwechselmaterialien. Mit dem Betrieb eines kontinuierlich arbeitenden Reaktors zur Synthese von Sorptionsmaterialien streben wir an, den Übergang von der Laborsynthese zur industriellen Umsetzung zu beschleunigen. Dieses Labor erlaubt uns auch im Bereich der Herstellung von Phasenwechsel-flüssigkeiten die Materialentwicklung in Zukunft noch gezielter voranzutreiben. Weiterhin steht uns nun eine Anlage zur Beschichtung von Sorptionsmaterialien auf Wärmetauscher-Substraten zur Verfügung, die den Iterationszyklus zwischen Material- und Komponentenentwicklung verkürzt.

Zusätzlich haben wir die vorhandenen Kapazitäten zur Material- bzw. Strukturanalyse ergänzt. Im Bereich der thermischen Analyse stehen uns neben einer Anlage für die Thermogravimetrie weitere Anlagen zur Verfügung. Eine Anlage für die simultane Thermogravimetrie/Dynamische-Differenz-Kalorimetrie zur gleichzeitigen Erfassung von Masseänderung und Wärmeentwicklung sowie eine Anlage zur BET-Oberflächenanalyse. Vervollständigt wurden auch unsere Analyse-möglichkeiten im Bereich der Phasenwechselmaterialien. Es stehen uns nun alle grundlegenden Methoden für die Analyse von dispersen Systemen – angefangen von der Rheologie bis hin zur Stabilitätsanalyse – zur Verfügung.

Der Ausbau der Laborkapazität wurde vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) unterstützt.

Abb. 2: Neue simultane Thermogravimetrie und Dynamische Differenzkalorimetrie »Setaram Setsys Evolution« zur thermischen Analyse von Sorptionsmaterialien. Durch einen Graphit-Heizmantel können die zu untersuchenden Proben bis zu einer Temperatur von 1200 °C aufgeheizt werden.

Entwicklung von Prozesswärmekollektoren

Die Entwicklung von Prozesswärmekollektoren, die für Anwendungen mit Betriebstemperaturen zwischen 80 °C und 250 °C geeignet sind, ist von wachsendem Interesse. Prozesswärmekollektoren werden benötigt, um neue Anwendungsbereiche wie die Bereitstellung von Wärme für industrielle Prozesse sowie für solarthermische Klimatisierung und Kälteproduktion zu erschließen. Mit unserem Teststand sowie mit Simulationsprogrammen unterstützen wir die Industrie bei entsprechenden Entwicklungen.

Stefan Heß, Korbinian Kramer,
Stefan Mehnert, **Matthias Rommel**,
Thorsten Siems, Wolfgang Striewe,
Christoph Thoma, Hans-Martin Henning



Abb. 1: Fresnel-Kollektor der Fa. PSE GmbH, Freiburg. Der Kollektor wird in Bergamo, Italien, in einer Anwendung zur Kälteerzeugung eingesetzt (NH₃/H₂O Absorptions-Kältemaschine). Aufgrund seiner Bauweise, bei der die Primärreflektoren parallel zum Dach liegen, bietet der Kollektor eine geringe Windangriffsfläche und lässt sich leicht in die Gebäudestruktur integrieren.

Bei den momentanen Entwicklungsaktivitäten von Prozesswärmekollektoren im Temperaturbereich von 80 °C bis 250 °C unterscheidet man drei Technikansätze: 1. optimierte Flach- und Vakuumröhrenkollektoren, 2. schwach-konzentrierende Kollektoren, deren optischer Konzentrationsgrad so ausgelegt ist, dass sie der Sonne nicht nachgeführt werden müssen (CPC-Kollektoren), 3. konzentrierende Kollektoren, die nur die Direktstrahlung der Sonne ausnutzen und die deshalb der Sonne nachgeführt werden müssen. Hierzu zählen Parabolrinnenkollektoren, Fresnel-Kollektoren mit ortsfestem Receiver sowie Kollektoren mit nachgeführtem Receiver und ortsfestem Reflektor.

Es wurden insgesamt 14 verschiedene Prozesswärmekollektorentwicklungen im Rahmen der IEA (International Energy Agency) -Task untersucht. Abb. 1 zeigt den Fresnel-Kollektor der Fa. PSE GmbH, Freiburg. Zusammen mit PSE haben wir Messdaten aus dem Probetrieb des Kollektors ausgewertet, um die Parameter zur Berechnung der thermischen Leistungsfähigkeit zu bestimmen. Das Ergebnis einer Messung ist in Abb. 2 dargestellt.

Um die Industrie bei der Entwicklung von Prozesswärmekollektoren unterstützen zu können, haben wir einen Teststand entwickelt, mit dem wir die Wirkungsgradkennlinie von Kollektoren bis 200 °C in unserem Prüfzentrum messen können. Für die Entwicklung von konzentrierenden Kollektoren haben wir Simulationsprogramme entwickelt, mit denen die Geometrie der

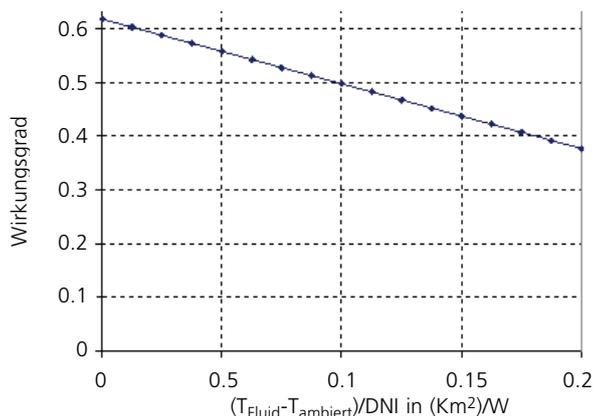


Abb. 2: Wirkungsgradkennlinie eines baugleichen Testkollektors, der in Freiburg betrieben wird. In Anlehnung an die Bestimmung von Wirkungsgradkennlinien von Flach- und Vakuumröhrenkollektoren nach EN12975 wurden Betriebsphasen mit quasistationären Bedingungen ausgewertet. Der Wirkungsgrad ist auf die Direktstrahlung bezogen (DNI=Direct Normal Irradiance). Die Aperturfläche ist bei diesem Kollektor die Fläche der Primärspiegel. Die zur Auswertung benötigten Einstrahlwinkelkorrekturfaktoren (IAM) wurden von der Fa. PSE durch Raytracing-Simulationen bestimmt.

Reflektoren für Prozesswärmekollektoren optimiert werden kann. Die Arbeiten erfolgten im Rahmen der von uns geleiteten Arbeitsgruppe C (Collectors and components) des internationalen IEA-Projektes »Solar Heat for Industrial Processes« und wurden durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) gefördert.

Adsorberentwicklung für Sorptionswärmepumpen und -kältemaschinen: Neue Charakterisierungsmöglichkeiten

Ein Ziel unserer Arbeiten im Bereich thermisch angetriebener Wärmepumpen und Kältemaschinen ist die Entwicklung sehr kompakter Anlagen. Zeolithschichten auf porösen metallischen Trägern sowie optimierte Verdampferstrukturen bieten ein großes Potenzial zur Erhöhung der Leistungsdichte in der Adsorptionstechnik. Ein neuer Teststand erlaubt die thermodynamische Charakterisierung kleiner Adsorber unter anwendungsnahen Bedingungen. In einer weiteren neuen Testapparatur können Adsorbens-Verbundproben schnell thermisch zyklert werden, um Daten zur Zyklusstabilität zu gewinnen.

Anna Jahnke, Gunther Munz,
Ferdinand Schmidt, Lena Schnabel,
 Daniel Sonnekalb, Marc Sosnowski,
Ursula Wittstadt, Hans-Martin Henning

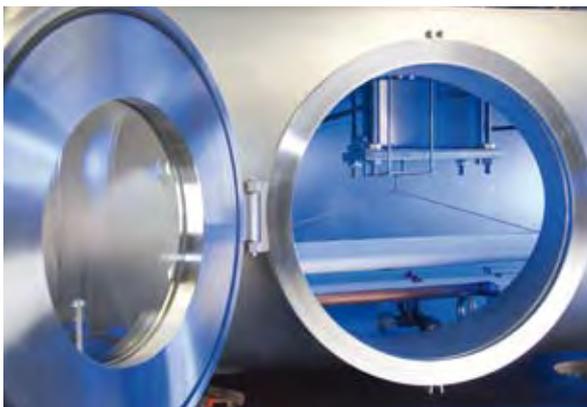
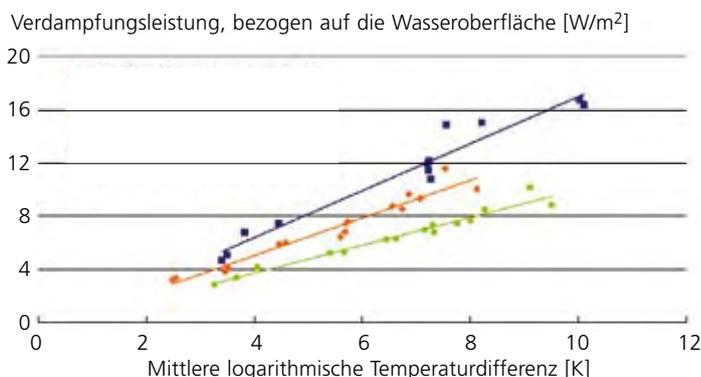


Abb. 1: Teststand zur thermodynamischen Vermessung kleiner Adsorber mit einem Volumen von bis zu 20 Litern. Die Anlage ist auf eine mittlere Kälteleistung von 400 W ausgelegt. Die Verdampfer-/Kondensatoreinheit ist überdimensioniert. Somit können Effekte der Kondensation und Verdampfung von den Vorgängen bei der Adsorption getrennt werden.

Mit einem Teststand (Abb. 1) zur Vermessung kleiner Adsorber wird die Lücke zwischen der Synthese und Charakterisierung von Sorptionsmaterialien und der Bewertung thermisch angetriebener Wärmepumpen und Kältemaschinen am Fraunhofer ISE geschlossen. Wir vermessen derzeit als Adsorber vor allem mit Zeolith beschichtete, hochporöse metallische Strukturen auf unterschiedlichen Wärmeübertragerstrukturen. Entscheidend für die erreichbare Leistungsdichte ist hier die gute thermische Ankopplung dünner Zeolithschichten ($d < 150 \mu\text{m}$) an Trägerstrukturen mit hoher spezifischer Oberfläche und guter Wärmeleitung, wie z.B. Aluminium-Schwämme. Um neu entwickelte Adsorberelemente zur Marktreife zu führen, sind aber nicht nur deren Effizienz und Leistungsdichte wichtig. Auch ein stabiler Betrieb über den Zeitraum der Lebensdauer von kontinuierlich arbeitenden Anlagen muss nachgewiesen werden.

Daher werden in einem weiteren Messaufbau Verbundproben thermisch zyklert, um deren Lebensdauer zu untersuchen. In einem Massenspektrometer werden durch Alterungsprozesse gebildete Inertgase untersucht. Daraus können Rückschlüsse auf die ablaufenden Degradationsprozesse gezogen werden. Poolverdampfer werden gerne wegen ihrer einfachen Verfahrenstechnik eingesetzt. In experimentellen Untersuchungen an unterschiedlichen Wärmeübertrager-Geometrien konnten wir Potenziale zur Steigerung der Verdampfungsleistung zeigen (Abb. 2).

Die Arbeiten erfolgen im Rahmen des Eigenforschungsprojekts »Thermische angetriebene Hochleistungskälteverfahren THOKA« der Fraunhofer-Gesellschaft sowie des vom BMWi geförderten Projekts »SORCOOL – Entwicklung einer Adsorptionskältemaschine mit hoher Leistungsdichte«.



- Lamellenwärmeübertrager A 83 ($d= 1.6 \text{ mm}$), Fa. SorTech
- Lamellenwärmeübertrager A 83 ($d= 4.5 \text{ mm}$), Fa. SorTech
- Oberflächenstrukturiertes Rohrbündel GEWA-C, Fa. Wieland

Abb. 2: Der lineare Verlauf des Wärmeflusses für Lamellen- und Rohrbündelwärmeübertrager zeigt, dass noch kein Blasensieden stattfindet und die Verdampfung aus der Wasseroberfläche erfolgt. Da die Strukturen nicht vollständig in Wasser getaucht waren, können der Lamellenabstand (d) bzw. die strukturierte Rohroberfläche durch Kapillareffekte die Wasseroberfläche vergrößern und durch Dünnschichtverdampfung höhere Verdampfungsleistungen bereitstellen.

Sanieren mit Faktor 4

Im Rahmen der IEA Task »Advanced Housing Renovation with Solar & Conservation« werden auf der Basis realisierter Gebäudesanierungen neue Konzepte für die Energieversorgung von Gebäuden im Bestand entwickelt. Ziel ist das Erreichen einer im Jahresmittel ausgeglichenen Energiebilanz.

Sebastian Herkel, Florian Kagerer,
Hans-Martin Henning



Abb. 1: Von der Freiburger Stadtbau GmbH als KfW 40 und KfW 60 sanierte Gebäude. Aus der Sanierung erhielten wir Ergebnisse, die es uns ermöglichen, einen detaillierten Vergleich zu verschiedenen Lüftungssystemen – mit und ohne Wärmerückgewinnung zu erstellen.

Die Fraunhofer-Institute für Solare Energiesysteme ISE in Freiburg und für Bauphysik IBP in Stuttgart sowie das Passivhaus-Institut in Darmstadt stellen gemeinsam ein nationales Expertenteam in der Arbeitsgruppe »Advanced Housing Renovation with Solar & Conservation« des »Solar Heating & Cooling Programme, Task 37« der Internationalen Energieagentur IEA. Zielstellung der gemeinsamen Arbeiten ist es, Verfahren und Maßnahmen zu entwickeln, die bei renovierten Wohngebäuden zu einem Endenergiebedarf für die Wärmeversorgung (Raumheizung, Brauchwassererwärmung, Hilfsenergie, Lüftung) führen, der etwa um einen Faktor 4 unter dem jeweiligen national üblichen Endenergiebedarf liegt.



Abb. 2: Die Heidelberger GGH setzt bei der Sanierung ihrer Gebäude »Blaue Heimat« ein Nullemissionskonzept des Planers solares bauen GmbH – eines Spin-Offs des Fraunhofer ISE – um. Das zusammen mit einem Pufferspeicher realisierte BHKW deckt den Wärmebedarf des Gebäudes zu 95%.

In enger Kooperation mit der Industrie konzentrieren wir uns auf nationaler Ebene auf folgende Arbeitsschwerpunkte:

- die Entwicklung neuer oder modifizierter Energieversorgungskonzepte für Gebäude,
- Arbeiten zur vergleichenden Evaluierung bestehender und neuer Demonstrationsgebäude,
- die Bewertung neuer Bau- und Haustechniksysteme sowie
- die Entwicklung angepasster Design-Tools.

Das Fraunhofer ISE leitet dabei die Arbeitsgruppe »Design und Konzepte«. Anhand des Monitorings zweier Gebäude in Heidelberg und Freiburg konnten wir die Realisierbarkeit dieser Konzepte zu marktfähigen Kosten nachweisen. Die Detailanalyse zeigt, dass sich der Energiebedarf vor allem für haustechnische Systeme und Haushaltsgeräte verringern lässt.

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

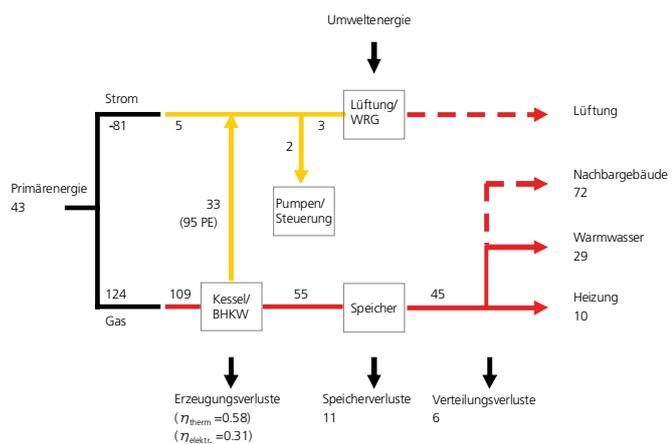


Abb. 3: Energiefluss des Gebäudes »Blaue Heimat«, Heidelberg für den Zeitraum 10/2006–9/2007. Deutlich erkennbar ist der höhere Energieverbrauch für die Warmwasserbereitung im Vergleich zum Energieverbrauch für die Heizwärmebereitstellung, die 10 kWh/m²a beträgt.

Energieeffiziente und solare Kühlung

Wir erarbeiten Konzepte für eine energieeffiziente Gebäudeklimatisierung, die eine Nutzung von Niedertemperatursenken wie z.B. des Erdreichs ebenso einbezieht wie (solar-) thermisch angetriebene Kühlverfahren. Im Vordergrund steht generell eine umfassende Energiebilanzierung des Gesamtbedarfs für Heizen und Kühlen, die durch Beteiligung an Monitoringprogrammen überprüft wird. Darüber hinaus arbeiten wir an neuen Klimatisierungsverfahren.

Martin Fischer, Daniel Gessner,
Sebastian Herkel, Doreen Kalz,
Alexander Morgenstern, Björn Nienborg,
Tomas Nuñez, York Tiedtke*, Peter Schossig,
Jens Pfafferott, Edo Wiemken,
Hans-Martin Henning

* PSE GmbH Forschung Entwicklung Marketing,
Freiburg



Abb. 1: Einbau von drei Erdsonden mit einer Tiefe von jeweils 80 m am Institutsgebäude des Fraunhofer ISE. Im Sommer erfolgt über die Sonden die Rückkühlung einer solarthermisch angetriebenen Adsorptionskältemaschine mit ca. 15 kW thermischer Rückkühlleistung (Abb. 2). Im Winter liefern die Erdsonden Niedertemperaturwärme für den Wärmepumpenbetrieb der Maschine.

Solarthermisch angetriebene Kühlung und Klimatisierung können einen wichtigen Beitrag zur Verringerung des Primärenergieeinsatzes in Gebäuden leisten und führen zu einer deutlichen Entlastung im Leistungsbezug aus dem öffentlichen Stromnetz. Der Einbau dieser Technologie ist jedoch nur im Zusammenhang mit einer Gebäudeplanung bzw. Gebäudesanierung sinnvoll, die auf Energieeffizienz und auf Minimierung des Kühlbedarfs hinzielt. Nur so lassen sich die Dimensionierung und Kosten der Systemkomponenten begrenzen.

Im Bereich der Systemtechnik stellt das Fraunhofer ISE sein Know-how im Rahmen von Dienstleistungen zur Unterstützung der Anlagenplanung zur Verfügung. Die Erfahrung aus mehreren Pilot- und Demonstrationsvorhaben fließt derzeit in folgende Projekte ein:

- »Solar Air-Conditioning and Refrigeration Task 38« der Internationalen Energieagentur IEA. Unter der Leitung des Fraunhofer ISE werden Paketlösungen für kleine Systeme zur solaren Kühlung mit einer Nennkälteleistung von bis zu 20 kW entwickelt. Für größere Anlagen erarbeiten wir Systemkonzepte und Standards.
- Das Fraunhofer ISE koordiniert die Begleitforschung für Anlagen zur solaren Kühlung, die im Rahmen des Förderprogramms Solarthermie 2000plus gefördert werden. Hauptaufgaben dieser Begleitforschung sind die Beurteilung der eingereichten Projektskizzen und die Unterstützung des Projektträgers bei der Auswahl förderfähiger Projekte sowie die anschließende vergleichende Auswertung der Messdaten. Im zweiten Halbjahr 2007 ging die in Deutschland derzeit größte Anlage zur solarthermisch unterstützten Klimatisierung bei der Fa. FESTO in Berkheim in Betrieb: Vakuumröhrenkollektoren (1200 m²) liefern zusammen mit der Prozessabwärme und der Wärme aus gas-

betriebenen Spitzenlastkesseln die Energie für drei vorhandene Adsorptionskältemaschinen. Die Nennkälteleistung der Anlage beträgt 1 MW und dient der Büroklimatisierung. Zwei weitere Projekte zur Erprobung neuer Anlagentechniken werden im Folgenden dargestellt:

- Eine kleine Adsorptionswärmepumpe zur solarthermisch unterstützten Kaltwassererzeugung (Kälteleistung 5,5 kW) der Fa. SorTech versorgt seit 2007 die Kantine des Fraunhofer ISE mit kühler Zuluft im Sommer und Wärme im Winter. Entwicklungen in dieser Leistungsklasse eröffnen einen interessanten Markt zur ganzjährigen Solarwärmenutzung im Wohngebäudebereich, dies im besonderen in Ländern des Mittelmeerraums. Die Arbeiten wurden durch die Europäische Union unterstützt.
- Die Druckerei Engelhardt & Bauer in Karlsruhe wird mittels Erdsonden gekühlt. Die Wärme der Büroräume wird über PCM-Kühldecken (Phasenwechselmaterial SmartBoard™) der Fa. ILKAZELL abgeführt. Voraussetzung für dieses Kühlkonzept mit geringen Temperaturdifferenzen ist ein optimiertes Energie- und Gebäudekonzept. Erste Messungen im Projekt EnSan zeigen, dass das Gebäude zwar weitestgehend ein akzeptables Raumklima aufweist, das Kühlkonzept aber noch optimiert werden kann. Durch eine thermo-hydraulische Optimierung soll die Kühlleistung verdoppelt und die Pumpenleistung halbiert werden. Ziel für 2008 ist eine Jahresarbeitszahl von 10 kWh Kühlenergie pro Kilowattstunde elektrischen Energieeinsatzes.

Die Arbeiten werden im Rahmen des Programms Solarthermie 2000plus vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) und im Rahmen des Projekts EnSan vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) gefördert.



Abb. 2: Adsorptionskältemaschine mit Wärmepumpenfunktion. Die Nennkälteleistung beträgt 5,5 kW. Über das Gerät erfolgt die Zuluftkühlung für den Küchenbereich der Institutskantine. Die Antriebswärme wird von Flachkollektoren auf einer Fläche von 22 m² und aus dem Heiznetz zur Verfügung gestellt. Die Maschine ist eine Entwicklung der Fa. SorTech, eines Spin-Offs des Fraunhofer ISE, und erfolgte mit Unterstützung des Instituts.

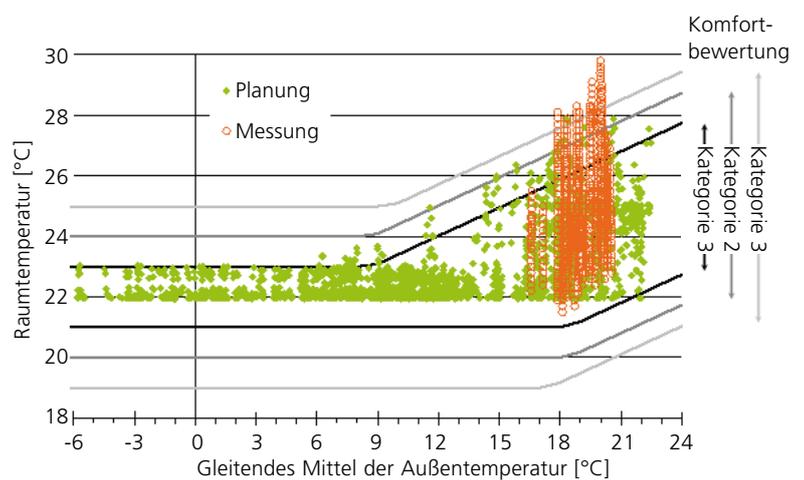


Abb. 3: Raumtemperaturen in der Druckerei Engelhardt & Bauer im Komfortdiagramm nach EN 15251 (Kategorie 1 = sehr hohe, 2 = normale und 3 = mäßige Anforderung an das Raumklima). In Neubau- und Sanierungsvorhaben soll Kategorie 2 erreicht werden. Im Sommer 2007 war das Gebäude an warmen Tagen aber rund 2 K wärmer als prognostiziert, weil die Kühldecken noch nicht optimal betrieben wurden.

Sonnenschutzoptimierung für komplexe Fassadensysteme

Innovative Fassadensysteme besitzen hinsichtlich ihrer Empfindlichkeit auf direkte Sonnenstrahlung ein stark winkelabhängiges Verhalten. Dies ist wichtig, um im Sommer gleichzeitig eine gute Sonnenschutzwirkung und eine gute Durchsicht zu gewährleisten. Am Beispiel des Neubaus der Konzernzentrale der Thyssen Krupp AG wird die Anwendung eines neuen Berechnungsverfahrens für den winkelabhängigen Energiedurchlassgrad gezeigt.

Sebastian Herkel, Tilmann Kuhn,
Jan Wienold, Hans-Martin Henning



Abb. 1: Simulationsmodell des vertikal drehbaren Sonnenschutzes in der Konzernzentrale der Thyssen Krupp AG in Essen. Der Sonnenschutz kann der Sonne nachgeführt werden, so dass sowohl eine gute Sonnenschutzwirkung als auch eine sehr gute Sichtverbindung nach außen bestehen.



Für den Neubau der Konzernzentrale der Thyssen Krupp AG berät das Fraunhofer ISE den Bauherrn hinsichtlich der Fassaden- und Sonnenschutzoptimierung, des thermischen und visuellen Komforts sowie hinsichtlich des Energiebedarfs.

Für das Hauptgebäude wurde ein Sonnenschutz konzipiert, der in der Vertikalen gedreht werden kann. Mit dieser Konstruktion wird den Büroexpositionen – Ost und West – Rechnung getragen. Der Sonnenschutz besteht aus feststehenden horizontalen Lamellen, die an einer drehbaren Achse befestigt sind. Der Lamellenabstand und der Winkel der Lamellen wurden von uns dabei derart optimiert, dass diese neben der eigentlichen Sonnenschutzfunktion zudem ausreichend Durchsicht und weitgehenden Blendenschutz gewährleisten. Eine weitere Besonderheit ist, dass die Lamellen der nebeneinanderstehenden Achsen so höhenversetzt wurden, dass diese ineinandergreifen können. Somit können vertikale Spalte vermieden werden.

Mit einem neu konzipierten Berechnungswerkzeug, basierend auf dem Lichtsimulationsprogramm RADIANCE, wurde der winkelabhängige Gesamtennergiedurchlassgrad (g-Wert) berechnet und als Eingangsparameter für die thermischen Berechnungen mit der Simulationsumgebung ESP-r verwendet. So wurde es möglich, das stark winkelselektive Verhalten des Sonnenschutzes in der thermischen Gebäudesimulation adäquat zu berücksichtigen.

Abb. 2: Foto eines Funktionsmusters des in Abb. 1 beschriebenen Sonnenschutzes. Die Lamellen sind aus Edelstahl gefertigt.

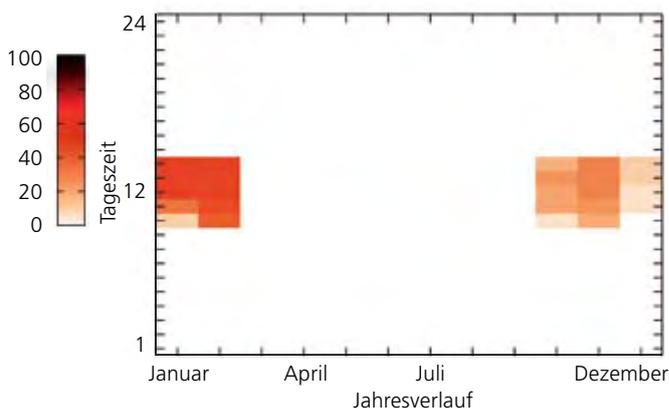


Abb. 3: Berechnung des Direktlichtdurchlasses für den optimierten Sonnenschutz. Dargestellt ist das zeitliche Auftreten (Tageszeit und monatlicher Verlauf) der Direktblendung am Arbeitsplatz. Der Farbwert zeigt die relative Häufigkeit des Auftretens der Blendung. Lediglich in den Wintermonaten fällt direktes Licht durch die Lamellen hindurch. In diesen Monaten ist der Sonnenschutz deaktiviert, um die passiven Solargewinne nutzen zu können. Der Blendenschutz wird durch ein zusätzliches Rollosystem ergänzt.

Großlamelle aus glasklarem Material als innovatives Sonnenschutzsystem

Unsere neu entwickelten Großlamellen bieten großflächigen Fassaden Sonnen- und Blendschutz. Die 70 cm breiten und bis zu 17 cm hohen elliptischen Lamellen bestehen aus einer Hülle aus glasklarem Polycarbonat und aus hochverspiegelten Einlegeteilen aus Metall. Dadurch kann ein sehr hoher Sonnen- und Blendschutz erreicht werden. Die transparente Hülle erlaubt außerdem, dass das Tageslicht blendfrei über die verspiegelten Metallteile in den Raum gelenkt wird.

Tilmann Kuhn, Peter Nitz, Thomas Schmidt, Hans-Martin Henning

Die Entwicklung von Sonnenschutzsystemen stellt seit vielen Jahren einen Schwerpunkt der Arbeiten des Fraunhofer ISE im Bereich effizienter Gebäude dar. Umfangreiche, selbst entwickelte Verfahren zur Bewertung von Sonnen- und Blendschutzwirkung gehen über den Stand der Technik hinaus, weil sie realistisches Nutzerverhalten, realistische Einstrahlungsbedingungen und die Winkelabhängigkeit der Fasadeneigenschaften miteinbeziehen. Unser akkreditiertes Prüflabor für thermische und optische Prüfungen zur Charakterisierung von Prototypen hilft uns bei der Entwicklung und experimentellen Überprüfung (siehe auch Service-Bereiche, Seite 104).

Die wesentlichen Ziele bei der Entwicklung der neuen Großlamelle waren:

- Sehr guter Sonnenschutz mit effektiven Gesamtenergiedurchlasswerten (g-Werten) $\leq 0,15$
- Hoher Blendschutz
- Blendfreie Versorgung mit Tageslicht
- »Leichtes« Erscheinungsbild, das sich deutlich von den konkurrierenden Lamellen aus lackierten Alu-Blechen unterscheidet.
- Einhaltung aller übrigen bauphysikalischen Anforderungen.

Als Basiskonstruktion für die Großlamelle haben wir einen Extrusionskörper aus glasklarem Polycarbonat konzipiert. Mit diesem Prototypen konnten wir alle Entwicklungsziele einhalten. Das neue System wurde zum Patent angemeldet und wird vom Auftraggeber dieses Entwicklungsprojekts, Prokuwa Kunststoff GmbH, Dortmund, in den Markt eingeführt.

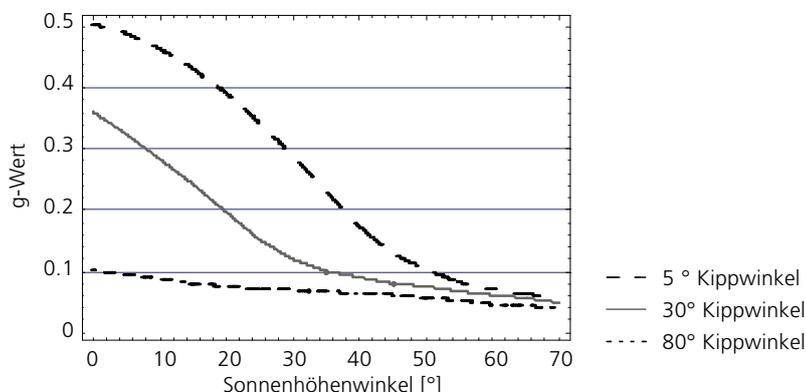


Abb. 1: Winkelabhängiger Gesamtenergiedurchlassgrad (g-Wert) für die neuen Großlamellen von Prokuwa. Man sieht, dass sich schon bei einem Lamellen-Kippwinkel von 30° und einem Sonnenhöhenwinkel von mehr als 35° ein sehr niedriger g-Wert von unter 0.10 einstellt.

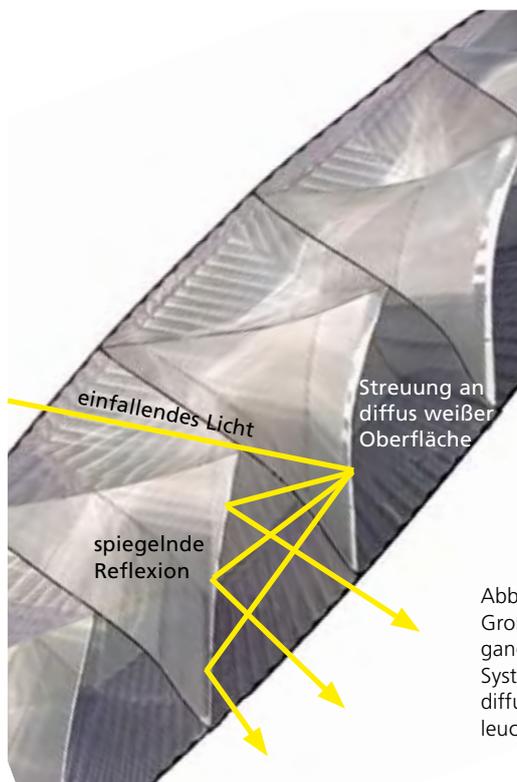


Abb. 2: Querschnitt durch eine Großlamelle. Man sieht am Strahlengang, dass die direkte Strahlung vom System abgeblockt wird, dass aber diffuses Tageslicht zur Raumausleuchtung zur Verfügung steht.

Wärmepumpen für hohe Energieeffizienz in Wohngebäuden

Wärmepumpen gewinnen bei der Wärmeversorgung von Wohn- und Gewerbegebäuden zunehmend an Bedeutung. Schätzungen des Bundesverbands für Wärmepumpen (BWP) zufolge wird sich die Installation von Wärmepumpen bis zum Jahr 2020 mehr als verzehnfachen. Mit dem Einsatz natürlicher Kältemittel kann die Ökobilanz von Kompressionswärmepumpen noch verbessert werden. Auf diesem Gebiet unterstützen wir Gerätehersteller bei der Entwicklung von neuen Geräten oder Anlagenteilen, bei der System- und Komponentensimulation, bei der Prototypentwicklung, Teststandcharakterisierung, Nullserienevaluierung sowie bei breit angelegten Feldmesskampagnen.

Till Gottschalk, Thomas Kramer, Marek Miara, Thore Oltersdorf, Christel Russ, Robert Salignat, Benoît Sicre, Jeannette Wapler*, Hans-Martin Henning

* PSE GmbH Forschung Entwicklung Marketing, Freiburg

Wärmepumpen ermöglichen es, in hohem Maß Umweltenergie oder Solarwärme niedriger Temperatur zur Beheizung von Gebäuden und zur Trinkwassererwärmung zu nutzen. Bei Kompressionswärmepumpen wird in der Regel Strom als Antriebsenergie eingesetzt. Deshalb ist neben geringen Herstellungs- und Betriebskosten eine hohe Effizienz sowie ein robuster Betrieb essenziell.

Das Fraunhofer ISE unterstützt Industriepartner bei der Umsetzung innovativer Ideen und betreibt eigene Geräte- und Patententwicklungen. Durch die Kombination verschiedener Wärmequellen (Abluft, Außenluft, Erdreich, Solarwärme) erhöhen wir die Effizienz und erweitern die derzeitigen Einsatzgrenzen von Wärmepumpen. Wir unterstützen außerdem die Umstellung von fluorierten Kohlenwasserstoffen auf natürliche Kältemittel wie Propan oder CO₂.

Für unsere Komponenten- und Systementwicklungen setzen wir die Simulationsumgebung Modelica ein, um z.B. den Kältekreis im dynamischen Betrieb zu untersuchen und Regelstrategien unter variierenden Betriebsbedingungen zu überprüfen. In umfangreichen Monitoringprojekten führen wir Feldmessungen an 240 Anlagen sowohl im Gebäudebestand als auch in neu errichteten Niedrigenergiehäusern durch. Wir untersuchen dabei die energetische, ökonomische und ökologische Effizienz von Wärmepumpen unterschiedlichster Hersteller. Dazu werden wir in der Heizperiode 2007/08 alle wichtigen Systemparameter – auf der Wärmequellen- und Wärmesenkenseite – von 150 Wärmepumpen minütlich erfassen und täglich per Funk zum Institut übertragen. Beispielhafte Anlagen werden im Internet visualisiert. Die Versorgungssicherheit prüfen wir, indem wir das Systemverhalten unter verschiedenen Randbedingungen analysieren. Daraus leiten wir Empfehlungen für die Geräteweiterentwicklung und die Systemoptimierung ab.

Die Projekte werden vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi), von Industriepartnern und Energieversorgern gefördert.

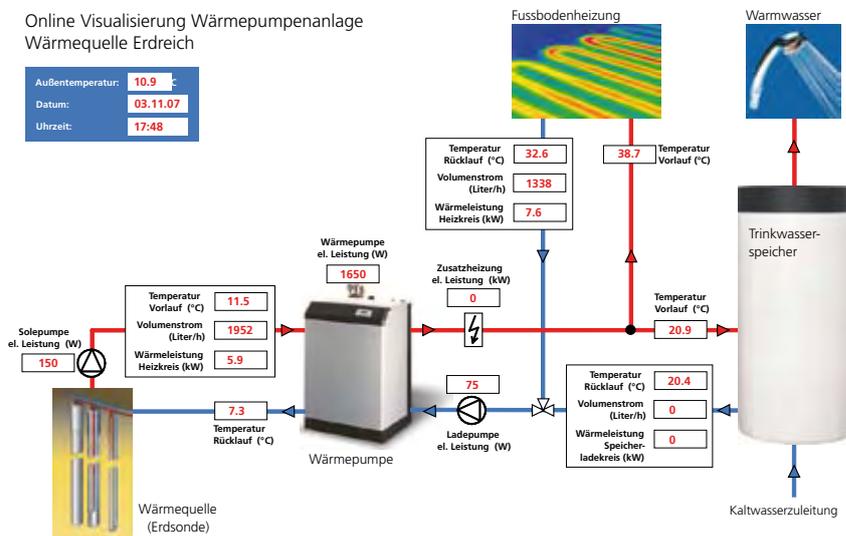


Abb. 1: An rund 150 Wärmepumpen in Wohngebäuden führen wir derzeit intensive Messungen im Betrieb durch. Neben dem Stromverbrauch der Wärmepumpe und aller Hilfsantriebe erfassen wir auch minütlich die Volumenströme und Temperaturen der Wärmequelle und des Heizkreises. So analysieren wir das Betriebsverhalten im Detail und leiten daraus Empfehlungen für eine Optimierung ab.

Polymermaterialien für die Solarthermie

Solarkollektoren, die vollständig aus Kunststoffen bestehen, bieten deutliche Kostenvorteile gegenüber Kollektoren, die aus Metall und Glas gefertigt sind. Es gilt, einen Werkstoff zu finden, der den optischen und mechanischen Erfordernissen eines leistungsstarken Sonnenkollektors gerecht wird. Zudem muss die Geometrie so optimiert werden, dass die ungünstigen Wärmeleitungseigenschaften der Polymersysteme weitgehend kompensiert werden. Hierfür haben wir geeignete Simulationswerkzeuge entwickelt.

Hannes Franke, Michael Köhl, Eva Stricker, Karl-Anders Weiß, Hans-Martin Henning

Um eine optimale System-Performance zu erreichen, erarbeiten wir im Rahmen der Task 39 des »Solar Heating and Cooling Programme« der IEA (International Energy Agency) zusammen mit Firmen aus der Polymertechnik, der Solartechnik sowie anderen Forschungslaboren ein komplett neues Systemdesign für thermische Solarkollektoren. Im Mittelpunkt stehen dabei die Absorption der Sonnenstrahlung, die Wärmeleitfähigkeit und die Wärmekapazität der neuen Materialien. Um das Absorber-Design zu optimieren, wurde ein Simulationswerkzeug auf der Basis des Finite-Element Programmsystems COMSOL Multiphysics entwickelt. Mit diesem Programm können wir Parameter-Empfindlichkeits- und Optimierungsstudien durchführen, mit denen wir die Stömungsprofile (Abb. 2) sowie die Temperaturverteilung (Abb. 1) für unterschiedliche Kanalgeometrien berechnen. Ein weiterer, für die Entwicklung des Systemdesigns wichtiger Gesichtspunkt, ist die Extrudierbarkeit. Sie ist ein entscheidendes Kriterium für die Tauglichkeit zur Massenfertigung und damit zur Kostenreduktion. Mittels einer Studie konnten verschiedene, auf dem Markt vorhandene Polymermaterialien aufgrund ihrer Eigenschaften, ihrer Verwendbarkeit und Verarbeitbarkeit als geeignet herausgefiltert werden. Außerdem wurden in dieser Studie die zu erwartenden Probleme für solarthermische Anwendungen durch den Einfluss von UV-Strahlung, durch hohe Temperaturen und durch mechanische Materialbelastungen aufgezeigt.

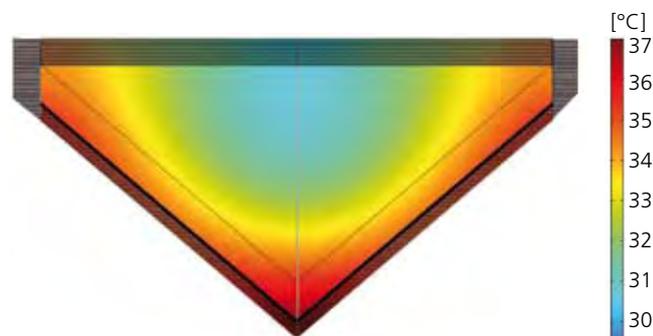


Abb. 1: Simulation eines Solarkollektors aus Polymermaterialien. Die Abb. zeigt den Querschnitt durch einen dreieckigen Absorberkanal. Als Wärmeträgermedium wurde Wasser angenommen. Isolationsmaterialien, Verglasung etc. wurden hier nicht berücksichtigt. Die Abb. zeigt den Temperaturverlauf in den verschiedenen Materialien. Die Solarstrahlung wird an der Innenseite der unteren Begrenzung des Dreiecks absorbiert.

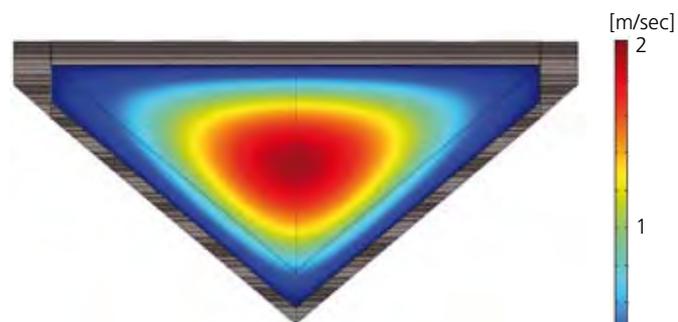


Abb. 2: Verteilung der Strömungsgeschwindigkeit des Wärmeträgerfluids im selben Querschnitt wie in Abb. 1. Gut zu erkennen sind die Randschichten mit nur geringer Strömungsgeschwindigkeit (blau). Diese Schichten entsprechen den wärmsten Bereichen (rot) in Abb. 1.

Entwicklung von Produktionstechniken für Vakuum-Isolierglas

Vakuum-Isoliergläser ermöglichen die Fertigung von Fenstern mit niedrigen Wärmedurchlasskoeffizienten und sehr schlanker Fensterkonstruktion. Bisher eingesetzte Fertigungsverfahren erfüllen die Anforderungen des Marktes noch nicht zufriedenstellend. Wir entwickeln in einem Verbundprojekt neue Produktionstechniken, mit denen auch großflächige Vakuum-Isoliergläser gefertigt werden können. Dabei spielt die Machbarkeit eines neuartigen Konzepts für einen vakuumdichten Randverbund die Schlüsselrolle.

Wolfgang Graf, Josef Steinhart,
Walter Schnetzler, Armin Zastrow,
Andreas Gombert



Abb. 1: Ansichtsmuster eines Vakuum-Isolierglases mit Glas/Metall-Randverbund (ungerahmt und ungesäumt) und Abstandshaltern aus Glas.



Abb. 2: Schädigung eines Versuchsmusters aus der Entwicklung durch Aufprallen einer Stahlkugel. An den hier verwendeten und als ungeeignet geprüften Abstandshaltern bricht das Glas.

Vakuum-Isoliergläser haben im Vergleich zu herkömmlichen Wärmeschutz-Verglasungen kleinere Wärmedurchlasskoeffizienten (U-Werte) bei wesentlich verringertem Gewicht und Systemstärken von < 10 mm. Der durch Abstandshalter definierte Scheibenabstand kann in einer Größenordnung von einem Millimeter liegen. Bisher existierende Produktionstechniken für Vakuum-Isoliergläser sind aufwändig und nicht auf große Glasflächen skalierbar.

Wir entwickeln in Zusammenarbeit mit der Industrie und weiteren Forschungspartnern neue Produktionstechniken, deren Besonderheit ein vakuumdichter, metallischer Randverbund ist (Abb. 1). Grundlegende Arbeiten zu diesem Randverbund und zu wichtigen Fragestellungen der Fertigungstechnik wurden bereits in einer ersten Projektphase bis Ende 2006 durchgeführt. Es konnten Lösungswege für die Glasreinigung und -trocknung, für geeignete Gettermaterialien und für die Fügetechnik des Randverbunds gefunden werden. Auch die mechanische Belastbarkeit der Abstandshalter bei Anlegen des Vakuums sowie bei Punktbelastungen, wie sie z.B. bei Hagel auftreten können, wurde geprüft (Abb. 2).

Jetzt geht es in unseren Arbeiten darum, auf einer Versuchsanlage die Machbarkeit von großflächigen Vakuum-Isolierglasscheiben zu prüfen. Dazu werden von den Industriepartnern spezielle Reinigungs- sowie Positionier-Fügevorrichtungen in eine bestehende Vakuumanlage des Fraunhofer ISE integriert, so dass prototypische Vakuum-Isolierglaseinheiten gefertigt werden können.

Das Vorhaben wurde und wird vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) gefördert.

Praxistaugliches Wärmedämmverbundsystem mit Vakuum-Isolations-Paneelen

Der Vakuumdämmung wird seit Jahren ein hohes Potenzial für die Wärmedämmung von Gebäuden bescheinigt. Allerdings fehlte ein praxisgerechtes Wärmedämmverbundsystem, das einen schlanken Aufbau, eine Minimierung der Wärmebrücken, Schutz vor Beschädigung und die Anpassbarkeit an Bautoleranzen in sich vereinen konnte. Mit Partnern aus der Industrie entwickelte das Fraunhofer ISE das LockPlate®-System. Optimierung des Aufbaus, Wärme- und Feuchtetransport sowie Folienpermeation wurden von uns untersucht.

Michael Köhl, Daniel Philipp, **Werner Platzer**, Christel Russ, Thomas Schmidt, Helen Rose Wilson, Andreas Gombert

Um die für heutige Ansprüche notwendigen Wärmedämmwerte ($U_{W} < 0.3 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$) zu erreichen, werden oft zweischalige Wände mit Außendämmung eingesetzt. Preiswerte Lösungen sind hierbei Wärmedämmverbundsysteme (WDVS). Eine Dämmstärke von 200–300 mm benötigt viel Platz und kann auch architektonisch unerwünscht sein. Verglichen mit Styropor oder Mineralwolle ermöglichen Vakuum-Isolations-Paneele (VIP) auf Grund der 8–10 mal niedrigeren Wärmeleitfähigkeit im Kern deutlich schlankere Dämm Lösungen. Mit unseren Industriepartnern Porextherm und Maxit Deutschland haben wir ein Wärmedämmverbundsystem (LockPlate®-System) entwickelt, das auf der Baustelle eine Reihe von Vorteilen gegenüber bisherigen Prototypen aufweist:

- Höherer Schutz der Paneele vor Beschädigung
- Bereithaltung nur weniger Standardgrößen notwendig, da flexible Größenanpassung möglich
- Durchstoßpunkte leicht planbar
- Minimierte Wärmebrücken

Als praxisnahes Optimum wurde ein System von in Expandiertes Polystyrol (EPS) eingeschäumten VIP-Platten gefunden. Theoretische Simulationen und experimentelle Messungen des Wärmetransports verschiedener Aufbauvarianten unterstützten die Entwicklung. Die minimierten Permeationseigenschaften der Barrierefolien und die guten Sorptionseigenschaften des Kernmaterials bestimmen die Lebensdauer der VIPs.

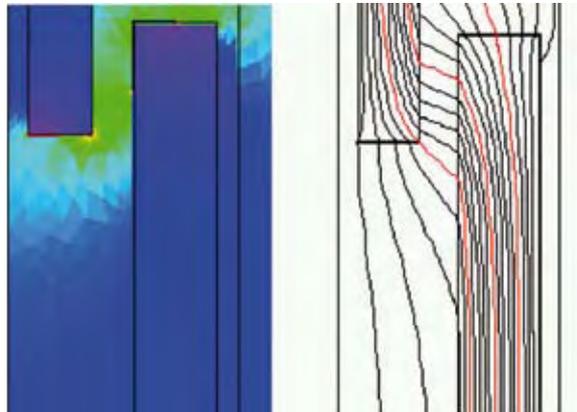


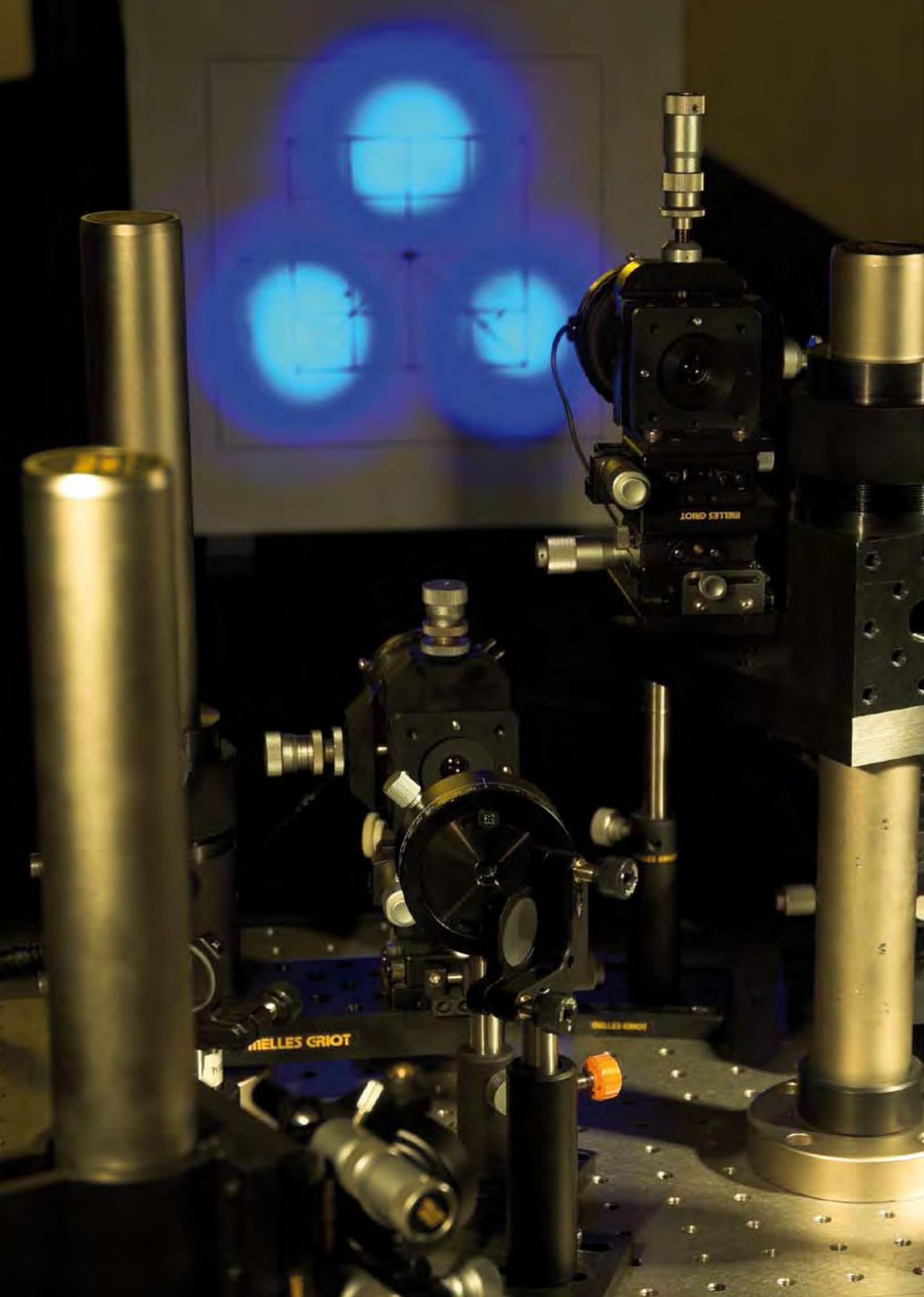
Abb. 1: Gerechneter Verlauf von Wärmestromdichte (links farbkodiert) und Isothermen (rechts) in dem untersuchten Wärmedämmverbundsystem auf Basis von Vakuum-Isolations-Technik. Randbereich eines Aufbaus mit VIP ($d=30\text{mm}$, langes Rechteck) im Basisbereich, und VIP ($d=20\text{mm}$, kurzes Rechteck) im Abdeckbereich.



Abb. 2: Mit dem neuen VIP-Wärmedämmverbundsystem (Dicke 90 mm) ausgestattetes Demonstrationsgebäude (Einfamilienhaus bei Giengen/Brenz). Wärmedurchlasskoeffizient (U-Wert) der Wand, $U_{W} = 0.13 \text{ W/(m}^2\text{K)}$.

Ein Einfamilienhaus wurde zu Demonstrationszwecken mit dem insgesamt 90 mm dicken Dämmsystem (Passivhaus-Variante 110 mm) sowie Messtechnik für das Monitoring versehen.

Das Vorhaben wurde vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) im Rahmen der Projektförderung VIBau (www.enob.info) unterstützt.



MILLES GRIOT

MILLES GRIOT

MILLES GRIOT

Optische Komponenten und Systeme

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 stellt die große Bandbreite des solaren Spektrums mit Wellenlängen von $0,3\text{--}2,5\ \mu\text{m}$ sowie die Notwendigkeit der großflächigen und kostengünstigen Herstellbarkeit von optischen Komponenten und Systemen eine Herausforderung dar. Um dieser 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 zu finden sind.

Das Geschäftsfeld »Optische Komponenten und Systeme« bedient als Querschnittsthema mehrere Marktsegmente der Solartechnik: Fenster und Fassaden, solarthermische Kollektoren, Photovoltaik und solare Kraftwerke. Unsere Expertise

wird aber auch 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. Labormuster von photochromen und photoelektrochromen Systemen zeigen sehr gute optische Resultate und sind für Verglasungen äußerst vielversprechend. Mikrostrukturierte Oberflächen ermöglichen Sonnenschutzsysteme, die unerwünschte direkte Solarstrahlung reflektieren und dennoch diffuses Tageslicht durchlassen.

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 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.

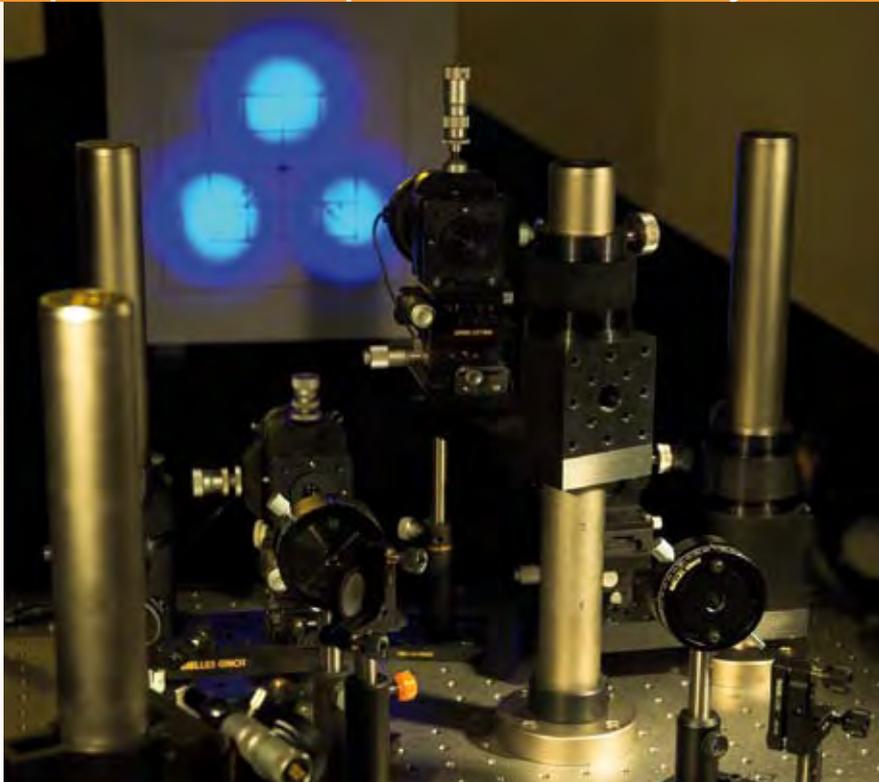
Selektive Absorberschichten solarthermischer Kollektoren (Temperaturen bis 230 °C) werden von uns seit Jahren entwickelt und in die Industrie transferiert. Als Beschichtungen in Absorberrohren von solarthermischen Kraftwerken müssen solche Schichtsysteme aber wesentlich höhere Temperaturen (mehr als 400 °C) dauerhaft aushalten. Dafür werden

abhängig von der Absorberrohr-Variante zusätzliche Schichten als Diffusionsbarrieren in das Schichtsystem integriert. In photovoltaischen Konzentrador-Modulen wird die Solarstrahlung auf kleinflächige Hochleistungssolarzellen konzentriert. Wir optimieren Konzentradoroptiken hinsichtlich Wirkungsgrad und Kosten.

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 bidirektionaler optischer Eigenschaften. 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 industrienahe Herstellung großflächiger (140x180 cm²) komplexer Schichtsysteme
- Interferenzlithographieanlagen zur homogenen Herstellung von Mikro- und Nanostrukturen auf Flächen von bis zu 120x120 cm²
- Optische Messtechnik: Spektrometrie mit integrierenden Kugeln, Goniometrie, Streulichtmessung



Interferenzlithographischer Aufbau, in dem drei kohärente Wellen zur Erzeugung einer hexagonalen Struktur überlagert werden (siehe auch Seite 38 ff.). Im Vordergrund sieht man die Optikkomponenten, mit denen drei Laserstrahlen umgelenkt und aufgeweitet werden. Im Hintergrund steht zur Veranschaulichung ein Schirm, auf den die drei aufgeweiteten Wellen projiziert werden. Für eine Belichtung wird der Schirm entfernt, so dass die Teilwellen in einer hinter dem Schirm liegenden Ebene überlagert werden können.

Ansprechpartner

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
Komponentenentwicklung Lichttechnik und solare Konzentration	Dr. Werner Platzer	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-51 31 E-Mail: Werner.Platzer@ise.fraunhofer.de
Solare Kraftwerke	Dr. Werner Platzer	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-51 31 E-Mail: Werner.Platzer@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
Displaytechnik	Dr. Benedikt Bläsi	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-59 95 E-Mail: Benedikt.Blaesi@ise.fraunhofer.de

Übergreifende Koordination

Optische Komponenten und Systeme	Priv. Doz. Dr. Andreas Gombert	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-59 83 E-Mail: Andreas.Gombert@ise.fraunhofer.de
Gebäude und technische Gebäudeausrüstung	Dr. Hans-Martin Henning	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-51 34 E-Mail: Hans-Martin.Henning@ise.fraunhofer.de
Photovoltaik	Prof. Dr. Gerhard Willeke	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-52 66 E-Mail: Gerhard.Willeke@ise.fraunhofer.de

Transparente Elektroden für Solarzellen auf Basis dünner Silberschichten

Bei einigen Dünnschicht-Solarzellen, aber auch bei organischen Leuchtdioden, werden Zinn-dotierte Indiumoxidschichten (ITO) als transparente elektrisch leitende Schichten zum Abführen des Stroms verwendet. Aufgrund stark steigender Rohstoffkosten sucht man nach Alternativen. Dünne Silberschichten weisen hohe Transmissionswerte und Leitfähigkeiten auf und können kostengünstig hergestellt werden. Wir haben erste Muster erfolgreich an organischen Solarzellen getestet.

Andreas Georg, Wolfgang Graf,
Michael Niggemann, Tobias Schosser,
Andreas Gombert



Abb. 1: Schematischer Schichtaufbau einer organischen Solarzelle mit transparenter Silberelektrode.

Fünf Institute der Fraunhofer-Gesellschaft arbeiten derzeit an der Entwicklung von transparenten, elektrisch leitfähigen Dünnschichtsystemen, die für viele opto-elektronische Anwendungen und vor allem für die Dünnschicht-Photovoltaik benötigt werden. Zu den Arbeiten des Fraunhofer ISE gehört die Entwicklung von Dünnschichtsystemen auf der Basis dünner Silberfilme. Wir konnten erste wichtige Ergebnisse für den Einsatz in organischen Solarzellen erzielen.

Transparente elektrisch leitfähige Elektroden wurden durch Sputtern hergestellt. Hierbei wurde eine ca. 10 nm dünne Silberschicht in zwei dielektrische Schichten eingebettet. Die Schicht unter dem Silber muss eine gute Benetzung der folgenden Schicht erlauben, um eine hohe Leitfähigkeit bei geringer Schichtdicke und somit hoher Transmission zu ermöglichen. ZnO oder SnO₂ sind hier gut geeignete Materialien. Die dielektrische Deckschicht soll die dünne Silberschicht stabilisieren und eine gute elektronische Anbindung an das folgende System, hier eine organische Solarzelle, aufbauen. Prinzipiell kann diese Elektrode auch auf andere Systeme, wie etwa organische Leuchtdioden oder andere Dünnschicht-Solarzellen angewandt werden. In allen Fällen kann zusätzlich zu einer elektronischen Anpassung eine optische

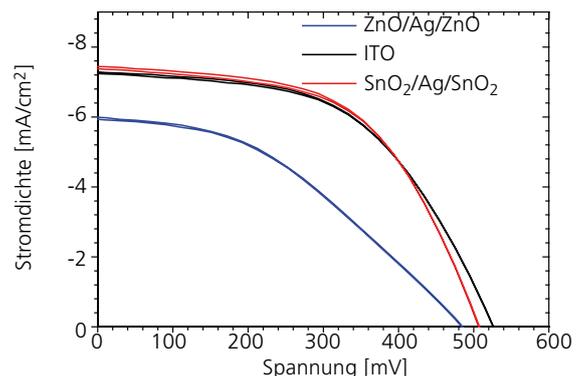


Abb. 2: Kennlinien dreier organischer Solarzellen mit einer PEDOT:PSS-Schicht unter Beleuchtung (AM1.5) mit ITO und mit ZnO/Ag/ZnO bzw. SnO₂/Ag/SnO₂ als Elektrode.

Anpassung erfolgen, indem durch die Wahl der Schichtdicken und den Einsatz zusätzlicher dielektrischer Schichten gezielt ein Mehrschichtsystem aufgebaut wird. Dieses optimiert durch seine Interferenzen die optischen Eigenschaften, bei Solarzellen die Absorption des Sonnenlichts in der photoaktiven Schicht.

Bei der organischen Solarzelle kann zunächst eine Schicht aus elektrisch leitfähigem Polymer (Polyethyldioxythiophen dotiert mit Polystyren-sulfonsäure – PEDOT:PSS) aufgebracht werden. Es wird jedoch angestrebt, diese Schicht wegzulassen. In Folge schließt sich die eigentliche photoaktive Schicht an, eine Mischung aus P3HT (Poly-[3-Hexylthiophen 2,3 Diyl]) und PCBM (Phenyl-C61-Butylsäure-Methylester). Die Gegenelektrode wird von einer Aluminiumschicht gebildet (Abb. 1).

In früheren Versuchen wurden ITO-Schichten mit Ag-Elektroden verglichen, bei denen die Silberschicht in SnO_2 bzw. ZnO eingebettet war. Auf diese Elektroden wurde jeweils eine PEDOT:PSS-Schicht aufgebracht. Während die Ag/ZnO-Kombination vor allem in ihrem Kurzschlussstrom und ihrem inneren Serienwiderstand schlechter ausfällt als die Zelle mit ITO, ist die Kombination aus Ag und SnO_2 mit dem ITO-System vergleichbar (Abb. 2).

In neueren Versuchen wurde eine Kombination aus $\text{ZnO}/\text{Ag}/\text{WO}_3$ mit ITO verglichen. In einem Fall wurde die Solarzelle mit PEDOT:PSS aufgebaut (Abb. 3), in einem anderen Fall ohne die PEDOT:PSS-Zusatzschicht (Abb. 4). Mit PEDOT:PSS fällt der innere Serienwiderstand bei ITO wesentlich geringer aus als bei $\text{ZnO}/\text{Ag}/\text{WO}_3$. Dies ist nicht auf eine höhere Leitfähigkeit der ITO-Schicht selbst zurückzuführen. Die Leitfähigkeiten waren bei ITO und $\text{ZnO}/\text{Ag}/\text{WO}_3$ vergleichbar. Vielmehr ist die Grenzfläche an dem WO_3/PEDOT -System ungünstig.

Ohne PEDOT fällt das System mit ITO wesentlich schlechter aus als mit $\text{ZnO}/\text{Ag}/\text{WO}_3$. Aus den hier nicht gezeigten Dunkel-Kennlinien kann man folgern, dass der innere Serienwiderstand des Systems mit ITO höher ist als mit $\text{ZnO}/\text{Ag}/\text{WO}_3$. Die Hell-Kennlinie von Abb. 4 zeigt weiter eine geringere Leerlaufspannung mit ITO als mit $\text{ZnO}/\text{Ag}/\text{WO}_3$. Dies steht im Einklang mit parallel durchgeführten Messungen, die an $\text{ZnO}/\text{Ag}/\text{WO}_3$ eine höhere Austrittsarbeit zeigen.

Die Arbeiten werden im Rahmen des Eigenforschungsprojekts (beteiligte Institute: Fraunhofer IBM, IPMS, ISC, ISE, IST) MAVO-METCO gefördert.

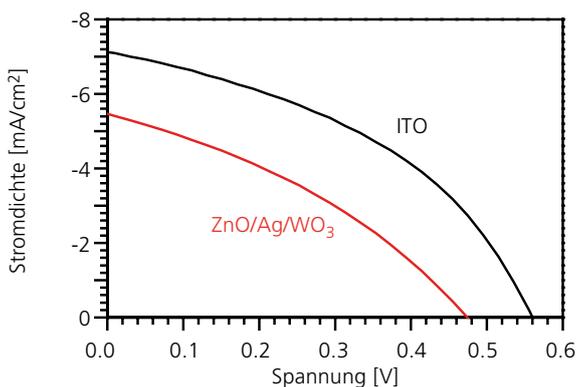


Abb. 3: Kennlinien zweier organischer Solarzellen mit einer PEDOT:PSS-Schicht unter Beleuchtung (AM1.5) mit ITO und mit $\text{ZnO}/\text{Ag}/\text{WO}_3$ als Elektrode.

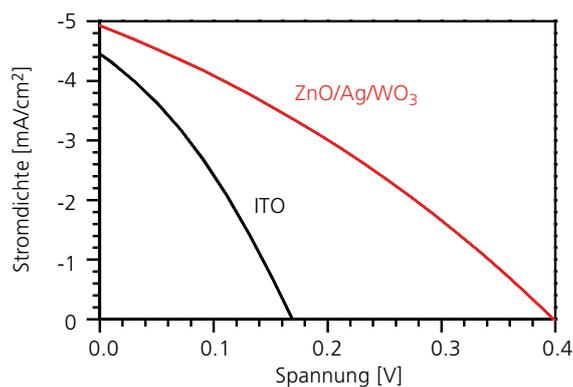


Abb. 4: Kennlinie zweier organischer Solarzellen ohne PEDOT:PSS-Schicht unter Beleuchtung (AM1.5) mit ITO und mit $\text{ZnO}/\text{Ag}/\text{WO}_3$ als Elektrode.

Innovative Konzepte für die Texturierung multikristalliner Siliziumsolarzellen

Die Effizienz von Solarzellen kann durch eine Texturierung der Oberfläche gesteigert werden. Eine gezielte Texturierung auf Substraten aus multikristallinem Silizium ließ sich bisher jedoch nur mit sehr aufwändigen Prozessen realisieren. Wir haben am Fraunhofer ISE neuartige Texturierungsverfahren entwickelt und durch optische Modellierung geeignete Profilformen identifiziert.

Benedikt Bläsi, Hubert Hauser, Jörg Mick, Marcel Pfeifer, Oliver Schultz, Claas Müller*, Andreas Gombert

* IMTEK – Institut für Mikrosystemtechnik, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg

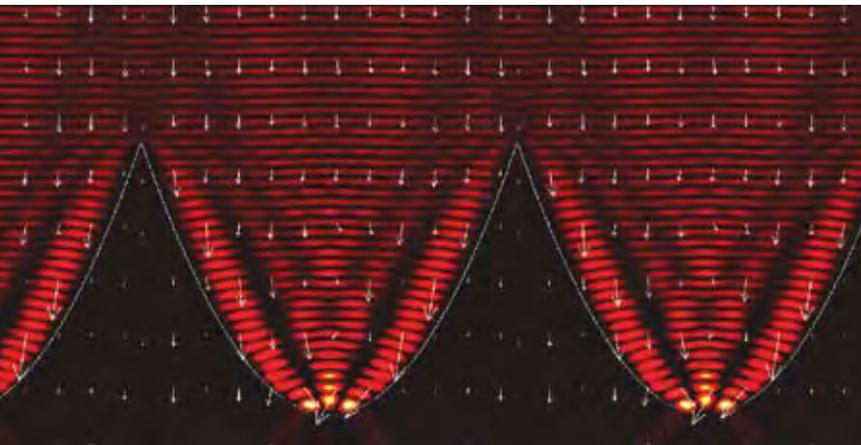
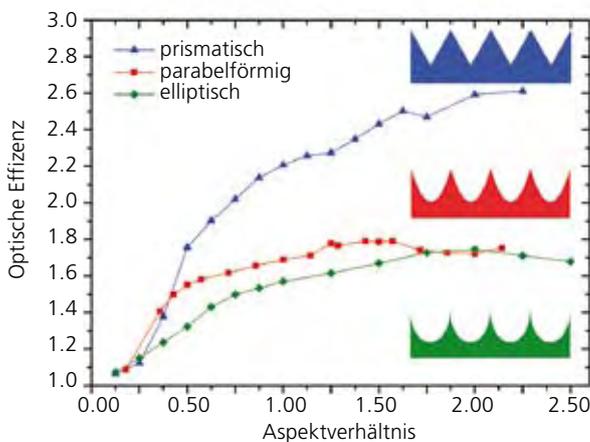


Abb. 1: Wellenoptische Modellierung einer parabolisch linear strukturierten Siliziumoberfläche mit einer Strukturperiode von 8 μm (Wellenlänge: 680 nm). Zu sehen ist die Intensitätsverteilung im Nahfeld-Bereich der Struktur. Der Energiefluss ist durch die Poynting-Vektoren veranschaulicht (weiße Pfeile).



Die Effizienz von Solarzellen kann durch eine vorderseitige Oberflächentexturierung gesteigert werden. Die durch die Texturierung hervorgerufene Erhöhung des Wirkungsgrads beruht auf einer Verringerung der Reflektivität der vorderseitigen Grenzfläche sowie auf Light-Trapping Effekten. Der Begriff Light-Trapping beschreibt die erzwungene Wegverlängerung des Lichts innerhalb der Zelle. Verfahren, die zur Texturierung von Solarzellen aus monokristallinem Silizium bereits seit längerem angewandt werden, können bei multikristallinem Silizium aufgrund der unterschiedlichen Kristallorientierungen nicht genutzt werden.

Mit dem Ziel der Texturierung von multikristallinem Silizium haben wir am Fraunhofer ISE sowohl Arbeiten im Bereich der Modellierung des optischen Verhaltens dieser Oberflächen als auch im prozesstechnologischen Bereich durchgeführt.

Die optischen Eigenschaften von mikrostrukturierten Oberflächen wurden in diesem Zusammenhang durch geometrisch-optische (Ray-Tracing) wie auch wellenoptische Rechnungen modelliert. Hierbei wurde der Einfluss von Strukturperioden, Profilformen und -tiefen auf das Reflexions- beziehungsweise Transmissionsverhalten untersucht. In Abb. 1 und Abb. 2 sind exemplarisch Ergebnisse solcher Berechnungen dargestellt. Die Modellierungen zeigen, dass schon mit einem Aspektverhältnis von 1 die optische Effizienz mehr als verdoppelt werden kann.

Die gezielte Texturierung multikristalliner Siliziumsubstrate erfordert den Einsatz einer strukturierten Ätzmaske. Wir haben eine Prozesskette entwickelt, die sich zur Strukturierung einer solchen Ätzmaske eignet. Konventionell wird eine

Abb. 2: Optische Effizienz (OE) einer linear strukturierten Silizium-Oberfläche für verschiedene Profilformen in Abhängigkeit vom Aspektverhältnis (Relation Strukturtiefe zu Strukturbreite). Die OE dient als Maß sowohl für die Wegverlängerung des Lichts innerhalb der Zelle (Light-Trapping-Effizienz) als auch für die Erhöhung der Transmission gegenüber einer unstrukturierten Oberfläche (OE = 1).

Ätzmaske photolithographisch strukturiert. Um dies auf multikristallinem Silizium zu realisieren, müssen die Substrate zuvor aufwändig chemisch-mechanisch poliert werden. Die von uns entwickelte alternative Prozesskette zielt auf die kostengünstige Strukturierung von Ätzmasken auf unebenen Oberflächen.

Die Einzelschritte der konzipierten Prozesskette sind: Interferenzlithographie (Generation der Urform einer Oberflächenstruktur), Replikation der Struktur in Silikon (Herstellung eines Werkzeugs), Nanoimprint Lithographie (Strukturierung einer Resistschicht auf dem Substrat) und abschließende Plasmaätzprozesse (Texturierung des Substrats). Nach der Generation einer Urform (Abb. 3) und deren Replikation in einem flexiblen Material, die anschließend als Stempel dient, folgt der massentaugliche Prozess der UV-Nanoimprint-Lithographie. Bei diesem Prozess wird ein UV-vernetzender Resist auf das zu strukturierende Substrat aufgebracht und durch eine Belichtung während des Prägens ausgehärtet. Durch den Einsatz flexibler Stempelmateriale können Unebenheiten der Siliziumoberfläche ausgeglichen werden und Resistmasken auch auf raue Oberflächen definiert aufgebracht werden (Abb. 4). Wir konnten demonstrieren, dass sich diese strukturierten Resistschichten als Ätzmaske für darauffolgende Plasmaätzprozesse nutzen lassen.

In weiteren Projekten wollen wir diese neuartige Prozesskette zur Texturierung von multikristallinem Silizium weiterentwickeln, um optimale Strukturformen zu realisieren und das Verfahren den Anforderungen einer industriellen Fertigung anzupassen.

Die Arbeiten wurden im Rahmen des Fraunhofer ISE-Eigenforschungsprojekts »Mikrosol« gefördert.



Abb. 3: Optischer Aufbau zur Dreistrahl-Interferenzlithographie. Ein Laserstrahl wird in drei gleichstarke Strahlen geteilt, welche aufgeweitet und auf der mit einem photoempfindlichen Lack beschichteten Probe zur Überlagerung gebracht werden. Das resultierende Interferenzmuster weist eine hexagonale Symmetrie auf.

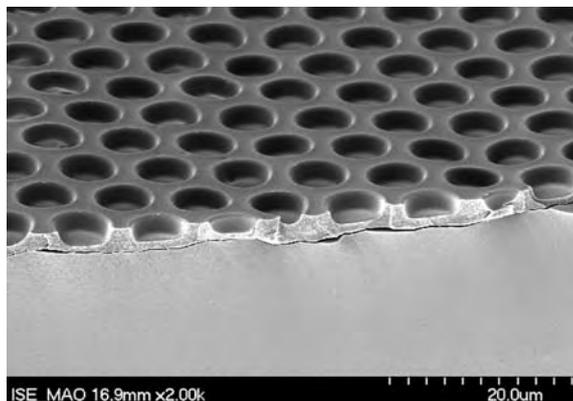


Abb. 4: Mittels Nanoimprint-Lithographie strukturierte Ätzmaske auf einem multikristallinen Siliziumsubstrat. Die durch Sägeschäden verursachte Oberflächenrauigkeit wurde vor der Maskierung durch nasschemisches Ätzen reduziert. Durch den Einsatz flexibler Stempel kann die Resistschicht trotz der Rauigkeit der unpolierten Oberfläche homogen strukturiert werden.

Optische Charakterisierung von Schlüsselkomponenten linearer Fresnel-Kollektoren

Zur Optimierung der Technologie linearer Fresnel-Kollektoren haben wir eine Reihe von Verfahren für die optische Charakterisierung von Schlüsselkomponenten entwickelt. Wir haben die Wirkungsweise des Sekundärkonzentrators sowie die abbildenden Eigenschaften der konzentrierenden Spiegel im horizontalen Spiegelfeld untersucht. Mit den vorgestellten Methoden fördern wir die Entwicklung neuer Komponenten und ermöglichen eine Qualitätssicherung sowohl im Labor als auch bei der Realisierung solarer Kraftwerke.

Anna Heimsath, Nicolaus Lemmert,
Werner Platzer, Markus Tscheche,
Andreas Gombert

Solarthermische Kraftwerke erzeugen mit konzentrierenden Solarkollektoren und einem konventionellen Wärmekraftprozess Strom. In solarthermischen Kraftwerken mit linearen Fresnel-Kollektoren konzentrieren einachsige nachgeführte leicht gekrümmte Spiegel die Solarstrahlung auf einen Receiver. Der Receiver besteht aus einem stationären Absorberrohr mit einem Sekundärkonzentrator, der ein breites Spiegelfeld ermöglicht. Wir entwickeln und optimieren die Fresnel-Technologie weiter in einem Demonstrationsprojekt auf der Plattform Solar de Almería, gemeinsam mit unseren Industriepartnern MAN-Ferrostaal, Solar Power Group, PSE und unserem Forschungspartner, dem Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt DLR (vgl. Beitrag Seite 83). Da die Leistungsfähigkeit der Kollektoren stark durch die optische Genauigkeit der Komponenten und ihre Anordnung beeinflusst wird, liegt ein Schwerpunkt auf der Entwicklung verschiedener Verfahren zur optischen Qualifizierung von einzelnen Komponenten und deren Zusammenwirken.

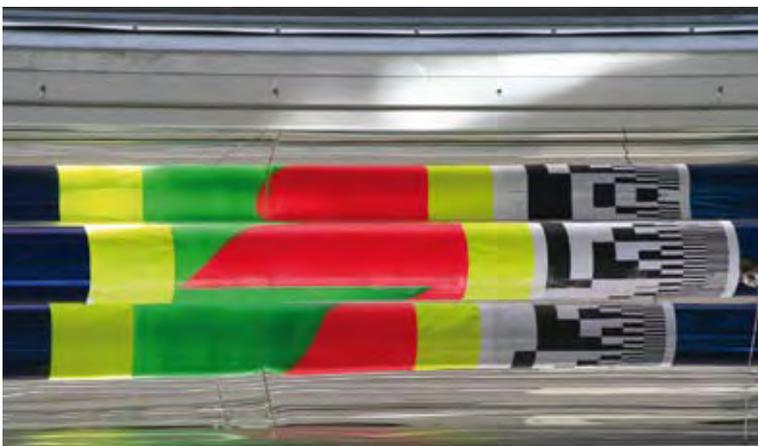


Abb. 1: Receiverakzeptanzmessung: Ein farblich kodiertes Target und seine Reflektion im Sekundärreceiver eines Fresnel-Kollektors, aus definiertem Winkel von einer Kamera aufgenommen. Die Trefferquote der Solarstrahlung auf das Absorberrohr wird ermittelt und mit der Trefferquote der idealen geometrischen Anordnung verglichen.

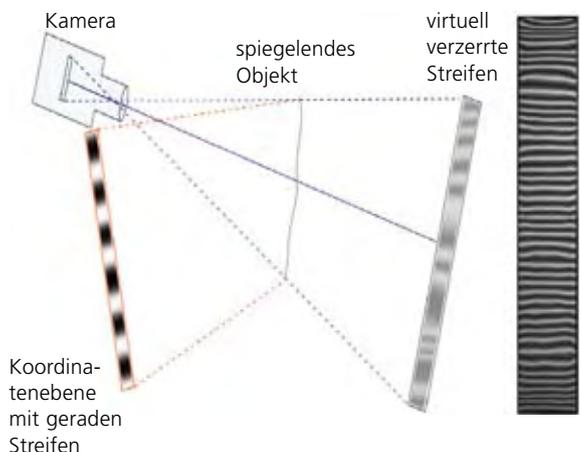


Abb. 2: Links: Funktionsprinzip der Streifenreflektometrie – Die Kamera nimmt die Reflektion eines Streifenmusters auf. Über die Verzerrung werden Oberflächensteigung, Krümmung und Form ermittelt.

Rechts: Beispiel für ein gespiegeltes Streifenmuster auf einem Primärspiegel.

Das Ziel bei der Entwicklung konzentrierender Solarkollektoren ist es, die direkte Solarstrahlung möglichst verlustfrei über Spiegel auf das Absorberrohr zu reflektieren. Um die optische Qualität des Sekundärkonzentrators zu vermessen, werden Bilder farblich kodierter Zielpunkte numerisch ausgewertet. Daraus wird die Trefferquote der konzentrierenden Solarstrahlung ermittelt (Abb. 1).

Mit Leuchtdichtemessungen charakterisieren wir die Intensitätsverteilung der Brennlinie von Primärspiegeln. Ein Vergleich mit der idealen Intensitätsverteilung zeigt eine fehlerhafte Reflexion durch Spiegel- und Montagefehler.

Um Rückschlüsse auf die dreidimensionale Krümmung und Formtreue eines Spiegels zu ziehen, wird die Streifenreflexionstechnik verwendet (Abb. 2). Dabei nimmt eine Kamera die Verzerrung eines streifenförmigen Musters im Spiegel auf. Die Verzerrung wird analysiert und so werden die lokalen Oberflächenwinkel des Spiegels ermittelt.



Abb. 3: Apparatur zur Vermessung der Formtreue von schmalen Spiegeln. Hier bei der Vermessung eines Spiegels des Demonstrationskollektors der PSE GmbH in Freiburg. Die Formtreue der spiegelnden Komponenten wird überprüft.

Durch die hohe Empfindlichkeit der Methode ist es möglich, kleinste Abweichungen der Oberflächenwinkel im Bereich von Zehntelgraden zu erfassen und die optische Qualität zu charakterisieren. Herstellungsfehler und Defekte werden detektiert.

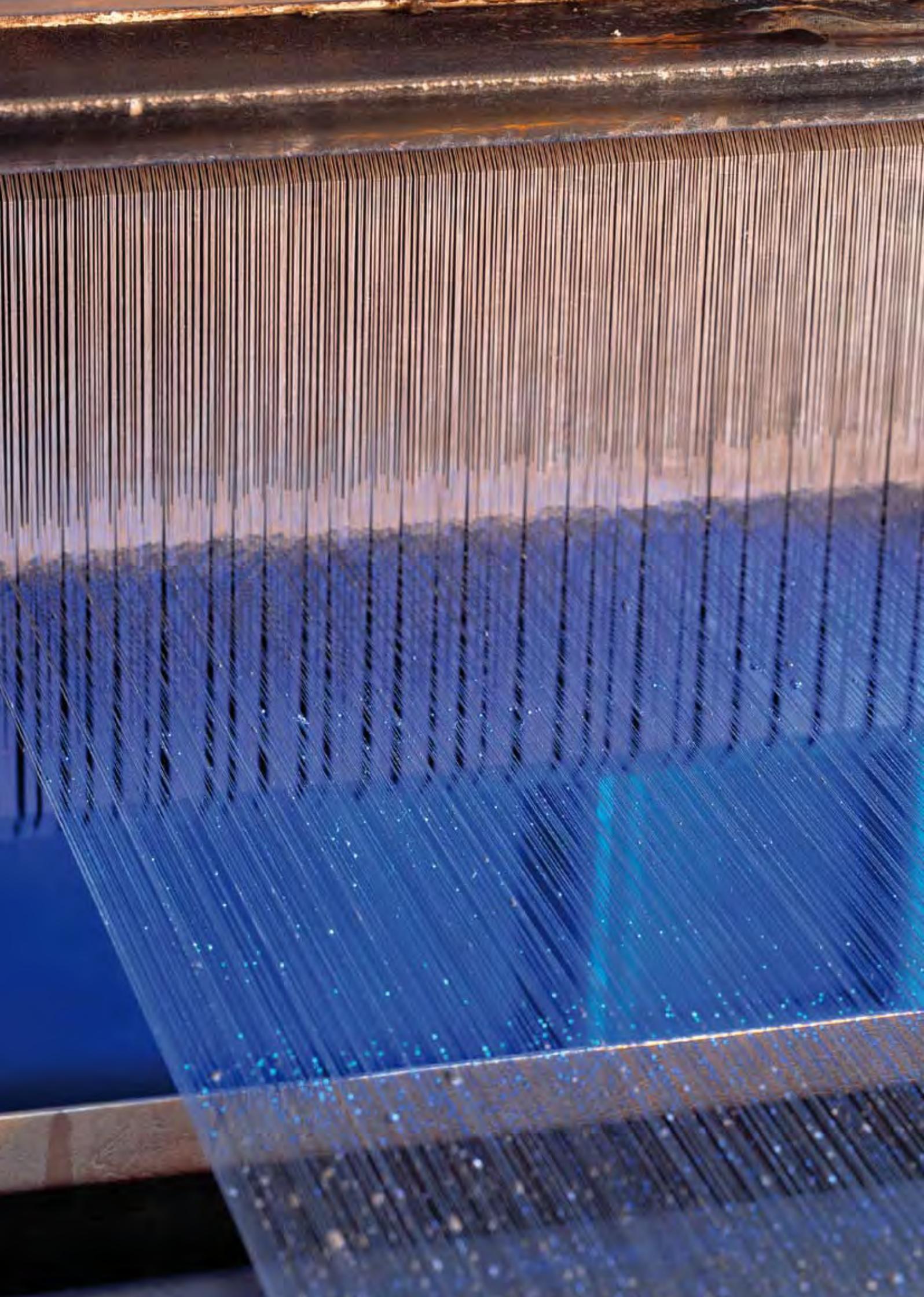
Zur Charakterisierung der schmalen Spiegelemente von Fresnel-Kollektoren haben wir eine kompakte Messapparatur für die Qualifizierung von Spiegeln sowohl parallel zur Produktion als auch im Spiegelfeld entwickelt.

Mit den vorgestellten Messmethoden unterstützen wir durch die Qualitätssicherung die Entwicklung von neuen Schlüsselkomponenten. Eine gezielte Designoptimierung von Kollektoren wird experimentell überprüft. Damit wird eine Steigerung der Kollektorleistung und Senkung der Stromgestehungskosten möglich.

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



Abb. 4: Spiegelsegment: Lokale Winkel-Verteilung der Abweichung von den idealen Oberflächenwinkeln in mrad. Deutlich sind systematische Abweichungen am Rand des Spiegels zu erkennen, die durch die Fertigung verursacht wurden. Die Formtreue wird auch statistisch bewertet, dieses Segment hat eine Standardabweichung von 1,6 mrad.



Solarzellen

Die Photovoltaik erlebt seit mehr als zehn Jahren insbesondere durch die gezielten Markteinführungsprogramme in Japan und Deutschland einen Boom. Die weltweit installierte Spitzenleistung ist in diesem Zeitraum von wenigen 100 MW auf rund 6 GW angewachsen.

Über 90 Prozent der hergestellten Solarzellen sind aus kristallinem Silizium. 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 die gesamte Wertschöpfungskette der kristallinen Silizium-Photovoltaik ausgewogener abzubilden, haben wir 2007 unsere Aktivitäten im Bereich der Silizium-Materialentwicklung und hier insbesondere bei der Kristallisation deutlich erweitert. In neuen Räumlichkeiten in Freiburg nahmen wir eine Kristallisationsanlage in Betrieb, die es uns erlaubt, bis zu 300 kg schwere multi-kristalline Blöcke herzustellen. Hier liegt der wissenschaftliche Schwerpunkt unserer Arbeiten in der Untersuchung des Kristallisationsprozesses von Solar-Silizium. Am Center für Silizium-Photovoltaik CSP in Halle, werden wir weitere Kapazitäten in diesem Bereich aufbauen. Das CSP soll wie geplant 2008 in Betrieb gehen. Ein neuer Schwerpunkt unserer Arbeit ist die Entwicklung von Solarzellenprozessen basierend auf der Verwendung von gereinigtem metallurgischem Silizium (»Dirty Silicon«).

In unserem Photovoltaik Technologie Evaluationscenter PV-TEC haben wir die Basis-Prozesslinie für die Herstellung von Solarzellen mit den industriell üblichen siebgedruckten Kontakten deutlich erweitert und können nun auch Solarzellenprozesse mit hochwertiger Oberflächenpassivierung im Pilotmaßstab abbilden. Essenziell war hierfür die Weiterentwicklung der einseitigen Inline-Ätztechnologie, so dass nun die einseitige Ätzung von Wafersubstraten mit unterschiedlichen Oberflächeneigenschaften möglich ist. Weiterhin haben wir eine Inline-Silbergalvanikanlage aufgebaut, mit der das Verdicken von Kontaktsaatschichten mit exzellenten elek-

trischen Leitungseigenschaften möglich ist. Insgesamt kommt der kontaktlosen inline-fähigen Prozesstechnologie für die zukünftige Solarzellenproduktion eine zentrale Bedeutung zu. So haben wir auch eine Anlage zur Inline-Diffusion, eine Anlage zur Tintenstrahlbeschichtung zur Maskierung sowie eine weitere Laserbearbeitungsanlage aufgebaut.

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.

Ein Highlight des letzten Jahres war die Entwicklung einer Rückseitenkontaktsolarzelle zusammen mit dem Institut für Solarenergieforschung ISFH in Hameln für die Firma Q-Cells, die mittlerweile ein Technikum für die Pilotierung dieser hocheffizienten Zellstruktur aufgebaut hat.

Bei der kristallinen Silizium-Dünnschichtsolarzelle forschen wir verstärkt am Konzept des Waferäquivalents. Dabei wird aus siliziumhaltigem 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 Silizium kann sich das Waferäquivalent-Konzept von der Versorgungslage für Solar-Silizium abkoppeln und erlaubt daher ein sehr dynamisches Marktwachstum. Die experimentellen Ergebnisse sind vielversprechend.

Das Fraunhofer ISE Modul-Technikum 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-Stringer und ein Laminator, ergänzt durch eine Reihe von Mess- und Prüfsystemen.

Solarzellen müssen zum Schutz vor Umwelteinflüssen langzeitstabil 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.

Als zweites Materialsegment bearbeiten wir III-V Halbleiter wie Galliumarsenid. Es steht derzeit noch für einen Spezialmarkt, der mit den Stichworten Weltraum, optische Konzentration, Laserleistungsübertragung und sonstige Sonderanwendungen beschrieben werden kann. Für die extraterrestrische Anwendung arbeiten wir an strahlungsresistenten Tripel- bis 6-fach-Zellen. Für den terrestrischen Einsatz entwickeln wir Konzentratorzellen für höchste optische Konzentrationsfaktoren und angepasste Charakterisierungstechniken.

Ein drittes Materialsegment sind Farbstoff- und Organische Solarzellen. 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 industrienahen Techniken gefertigt werden können. Die Möglichkeit, gestalterische Aspekte umzusetzen, wurde in Prototypen gezeigt. Die Beständigkeit der Module wird im Labor und unter Außenbewitterung getestet. Organische Solarzellen eröffnen durch ihre mechanische Flexibilität neue Einsatzgebiete und sind auch aufgrund ihrer prinzipiell niedrigen Herstellungskosten attraktiv. Wir arbeiten an der optischen und elektrischen Modellierung organischer Solarzellen, prüfen die Eignung neuer Materialien und Prozessvarianten mit einer automatisierten Charakterisierungslinie und entwickeln neue Zellarchitekturen zur Optimierung von Effizienz und kostengünstiger Herstellung. Erste Module mit bis zu 22 Einzelzellen konnten erfolgreich gefertigt werden.

Unsere Solarzellen-Aktivitäten am Standort Freiburg werden ergänzt durch das Fraunhofer ISE Labor- und Servicecenter in Gelsenkirchen, Nordrhein-Westfalen, das in neue, größere Räumlichkeiten umziehen konnte sowie das gemeinsam mit dem Fraunhofer IISB betriebene Technologiezentrum Halbleitermaterialien THM in Freiberg, Sachsen und dem Center für Silizium-Photovoltaik CSP in Halle/Saale, Sachsen-Anhalt, das derzeit gemeinsam mit dem Fraunhofer IWM geplant wird.



Silizium-Wafer nach beendetem Sägeschritt auf einer industriellen Vieldrahtsäge. Die Wafer hängen noch an der Aufnahmeschiene, das Drahtfeld ist nach unten abgesenkt. Die Vieldrahtsäge-Technologie ist heute die Schlüsseltechnologie für die Herstellung dünner Silizium-Wafer für die Solarzellenfertigung. Das Fraunhofer ISE arbeitet an der Reduzierung des Sägespaltes (heute ca. 180 µm), an der Reduzierung der Waferdicke (heute ca. 160 µm) und an der Verbesserung der Oberflächenschädigung, um einerseits die Verluste an hochwertigem Silizium so gering wie möglich zu halten und andererseits die Ausbeute aus einem Siliziumblock zu erhöhen. Dazu müssen die Drähte, die Slurry (Siliziumkarbid-Partikel in einem flüssigen Trägermedium) und die Maschinenparameter entsprechend angepasst werden. Es wurden bereits Sägespalte von 120 µm und Waferdicken von 80 µm erreicht.

Ansprechpartner

Silizium-Material, Kristallisation und Bearbeitung	Dr. Achim Eyer	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-52 61 E-Mail: Achim.Eyer@ise.fraunhofer.de
Kristalline Silizium-Hocheffizienzsolarzellen	Dr. Stefan Glunz	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-51 91 E-Mail: Stefan.Glunz@ise.fraunhofer.de
Kristalline Silizium-Dünnschichtsolarzellen	Dr. Stefan Reber	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-52 48 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
III-V-Solarzellen und Epitaxie	Dr. Frank Dimroth	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-52 58 E-Mail: Frank.Dimroth@ise.fraunhofer.de
Farbstoff- und Organische Solarzellen	Priv. Doz. Dr. Andreas Gombert	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-59 83 E-Mail: Andreas.Gombert@ise.fraunhofer.de
Charakterisierung von Solarzellen und -material	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	Dr. Dietmar Borchert	Tel.: +49 (0) 2 09/1 55 39-11 E-Mail: Dietmar.Borchert@ise.fraunhofer.de
Technologiezentrum Halbleitermaterialien THM, Freiberg	Prof. Dr. Roland Schindler	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-52 52 E-Mail: Roland.Schindler@ise.fraunhofer.de
Gruppe Photovoltaik Universität Konstanz	Priv. Doz. Dr. Giso Hahn	Tel.: +49 (0) 7 53 17/88 36-44 E-Mail: Giso.Hahn@uni-konstanz.de
Center für Silizium- Photovoltaik CSP, Halle	Prof. Dr. Gerhard Willeke	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-52 66 E-Mail: Gerhard.Willeke@ise.fraunhofer.de

Übergreifende Koordination

Photovoltaik	Prof. Dr. Gerhard Willeke	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-52 66 E-Mail: Gerhard.Willeke@ise.fraunhofer.de
Optische Komponenten und Systeme	Priv. Doz. Dr. Andreas Gombert	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-59 83 E-Mail: Andreas.Gombert@ise.fraunhofer.de

Kristallisation und Wafering von verunreinigtem Silizium

Auf dem langen Weg vom Rohsilizium bis zum fertigen Solarmodul ist die Kristallisation von Siliziumblöcken ein zentraler Arbeitsschritt. Trotz jahrzehntelanger Forschung gibt es hier jedoch noch viele offene Fragen. Wir haben in den letzten Monaten die notwendige Infrastruktur für ein industrierelevantes Kristallisations- und Wafering-Technikum aufgebaut, um einige dieser Fragen beantworten zu können.

Yannis Bdioui, **Achim Eyer**, Fridolin Haas, Stefan Reber, Matthias Singh, Andreas Bett



Abb. 1: Unsere Anlage (Höhe 3,5 m) für die Kristallisation multikristalliner Siliziumblöcke, nah am derzeitigen Standard der Photovoltaikindustrie. Sie zeichnet sich durch ihre hohe Flexibilität aus: wir können damit Blöcke in variablen Größen mit einer Grundfläche von ca. 20x20 cm² bis zu einer Größe von 68x68 cm² herstellen. Mehrfach vorhandene Heizersätze ermöglichen uns, auch sehr unterschiedliche Siliziumqualitäten zu kristallisieren und zu charakterisieren.



Abb. 2: Kristallisierter Siliziumblock aus hochdotierten »tops and tails«, einem Abfallmaterial der Mikroelektronikindustrie. Der Block hat eine Grundfläche von etwa 68x68 cm² und wiegt bei einer Höhe von ca. 25 cm etwa 270 kg.

Das Ausgangsmaterial für die derzeit marktbeherrschende Silizium-Wafersolarzelle muss erst zu großen Blöcken von mehreren hundert Kilogramm kristallisiert werden, bevor daraus Wafer geschnitten werden können. Dieser Kristallisationsschritt ist äußerst wichtig, denn er bestimmt letztendlich den Wirkungsgrad der Solarzelle. In den letzten 20 Jahren ist das Wissen um die Kristallisation enorm gestiegen, doch steckt noch viel Optimierungs- und damit Kostensenkungspotenzial darin. Um der Industrie zu ermöglichen, dieses Potenzial auszuschöpfen, haben wir im vergangenen Jahr begonnen, ein komplettes Kristallisations- und Wafering-Technikum aufzubauen. Es umfasst alle Anlagen und Prozesse, die derzeit Stand der Technik sind: angefangen von der Beschichtung des Schmelztiegels mit einer Antihaft-Beschichtung, über das Block-Kristallisieren bis hin zum Trennen der Blöcke in Säulen, Wafering und Reinigen der Wafer. So können wir sowohl Forschung an einzelnen Prozessschritten im kleinen Maßstab (Blöcke von ca. 20 kg) betreiben als auch Industrieprozesse bis zur vollen Kapazität der Anlage (ca. 300 kg) abbilden. Erste erfolgreiche Kristallisationsversuche haben bestätigt, dass wir in der Lage sind, diese anspruchsvolle Aufgabe zu meistern. Eines unserer Projekte thematisiert entsprechend den wohl schwierigsten Aspekt bei der Kristallisation – die Herstellung von guten Kristallen aus nur leicht aufgereinigtem und daher kostengünstigem Silizium. Sein Gehalt an Restverunreinigungen stellt uns vor die Aufgabe, innovative Lösungen bei der Tiegelbeschichtung und der Führung des Kristallisationsprozesses zu finden. Zusammen mit unserem Hochdurchsatz-Labor PV-TEC für die Solarzellenherstellung und unserem Modultechnikum bietet sich uns nun die einzigartige Möglichkeit, in jedem Abschnitt der gesamten Wertschöpfungskette forschend einzugreifen.

Das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) unterstützte uns bei der Anschaffung der Kristallisationsanlage. Das Projekt wird im Rahmen des Fraunhofer-Eigenforschungsprojekts »Silicon Beacon« gefördert.

Reduktion der Sägeverluste beim Vieldrahtsägen von Silizium

Zur Reduktion der Waferkosten und zur Ressourcenschonung in der Solarzellenfertigung müssen Sägeverluste und Waferdicke reduziert werden. Wir haben Vieldrahtsägeprozesse mit Drähten von nur 100 µm Dicke untersucht und ähnlich gute Waferqualitäten und Ausbeuten wie mit heute üblichen Drähten von 140 µm Dicke erzielen können.

Markus Bergmann, Achim Eyer,
Roland Schindler, Mark Schumann,
Andreas Bett

Die Arbeiten des Fraunhofer ISE zum Vieldrahtsägen von Silizium werden auf einer industriellen Maschine zusammen mit dem Technologiezentrum Halbleitermaterialien (THM) Freiberg, einer gemeinsamen Abteilung der beiden Fraunhofer-Institute IISB Erlangen und ISE Freiburg durchgeführt.

Die Vieldrahtsäge-Technologie ist heute die Schlüsseltechnologie für die Herstellung dünner Siliziumscheiben für die Solarzellenfertigung. Zur Erhöhung der Materialausbeute und damit zur Reduktion der Waferkosten ist es wichtig, einerseits die Siliziumverluste im Sägespalt (heute ca. 160 µm) zu reduzieren und andererseits dünnere Wafer als die heute üblichen (180–200 µm) zu schneiden. Für eine Reduktion der Sägeverluste muss der Durchmesser der Drähte (heute typischerweise 140 µm) deutlich auf 100 µm oder weniger gesenkt werden, und das ohne eine merkliche Verringerung der Waferqualität und Ausbeute. Die Slurry (Siliziumkarbid-Partikel in einem flüssigen Trägermedium, meist Polyethylenglycol) und die Maschinenparameter müssen entsprechend angepasst werden. Wir haben Drähte verschiedener Dicken im Bereich zwischen 160–100 µm zunächst Zugtests unterworfen und dabei vergleichbare Zugfestigkeiten ermittelt. Mit diesen wurden einkristalline Siliziumsäulen (Querschnitt 125 x 125 mm²) geschnitten und Slurries mit verschiedenen Viskositäten und verschiedenen Partikelgrößen eingesetzt.

Die geschnittenen Wafer wurden in Hinblick auf ihre Oberflächenbeschaffenheit (Rauheit, Dickenschwankungen (TTV), Schädigungstiefe) analysiert. Wir fanden heraus, dass bei dünnen Drähten bis hinunter zu 100 µm und angepasster Slurry sowohl die Schnittleistung als auch die

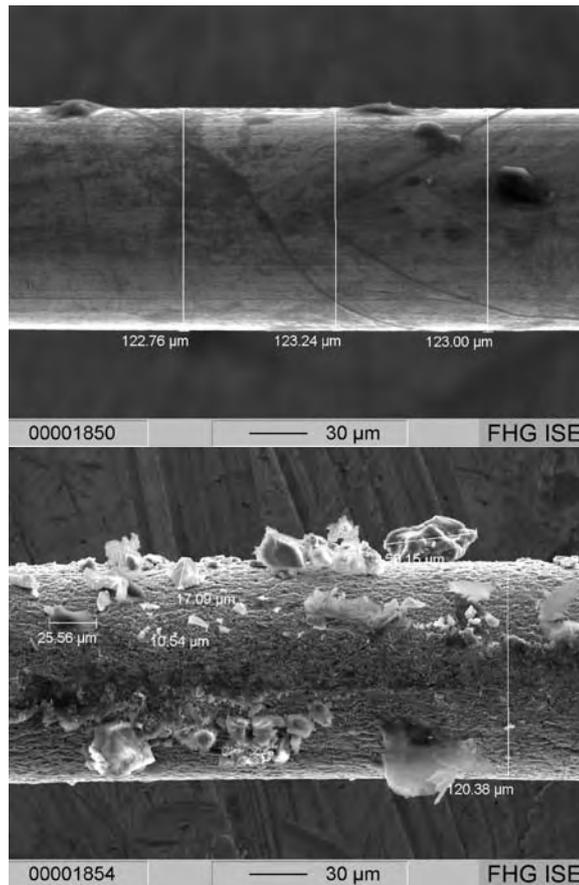


Abb. 1: Draht mit einem Durchmesser von 120 µm vor (oben) und nach (unten) dem Sägen. Die Abnutzung des Drahts ist ersichtlich an der rauen Drahtoberfläche; zudem lagern sich auf dem Draht SiC-Partikel aus der Slurry ab.

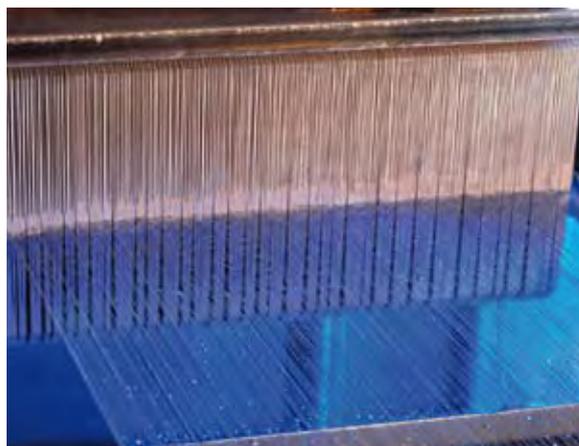


Abb. 2: Drahtfeld der Violdrahtsäge (unten) und bereits geschnittene Wafer (oben).

Oberflächenbeschaffenheit der Silizium-Wafer gleich bleiben. Es wurde ein Schnittverlust von minimal 125 µm erzielt, was einer Reduzierung von 25% im Vergleich zum heutigen Standard-schnittverlust entspricht.

Hocheffiziente Siliziumsolarzellen mit Siebdruck-Vorderseitenkontakten

Im Vergleich zu industriellen Standardsolarzellen mit vollflächiger Aluminiumrückseite kann die Effizienz von kristallinen Siliziumsolarzellen durch die elektrische Passivierung und optische Verspiegelung der Zellrückseite signifikant erhöht werden. Jetzt ist es uns gelungen, diese Technologie mit einer siebgedruckten Vorderseitenmetallisierung zu kombinieren, hierfür wurden mehrere innovative und für die Massenfertigung taugliche Verfahren verwendet. Dies ermöglichte erstmals die Herstellung von Solarzellen mit siebgedruckter Vorderseitenmetallisierung mit mehr als 19% Wirkungsgrad.

Denis Erath, Anke Herbolzheimer, Antonio Leimenstoll, Ansgar Mette, Ralf Preu, Phillip Richter, Elisabeth Schäffer, **Oliver Schultz**, Sonja Seitz, Stefan Glunz

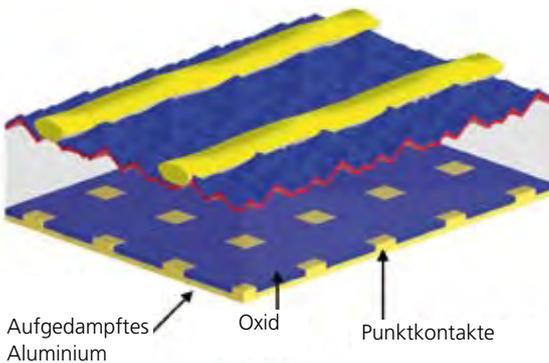
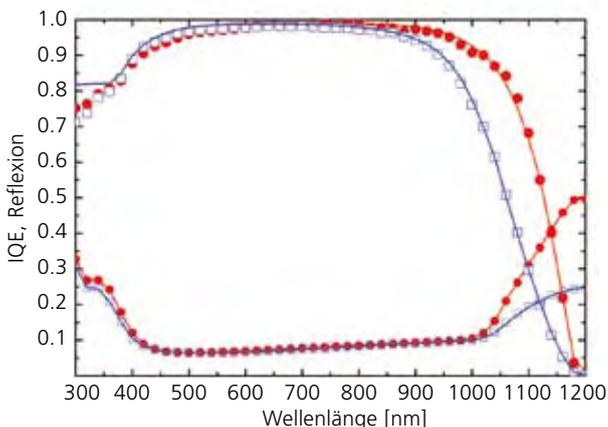


Abb. 1: Hocheffiziente industrielle Solarzellenstruktur. Für die Metallkontakte auf der Vorderseite wurde per Siebdruckverfahren eine silberhaltige thermoplastische Paste aufgebracht, eingebrannt und galvanisch verstärkt. Die Rückseite ist mit einem unter feuchten Prozessbedingungen thermisch gewachsenen Oxid passiviert, die Kontaktierung wurde durch Laser-Fired Contacts (LFC) hergestellt.



Hocheffiziente Siliziumsolarzellen benötigen eine exzellente Oberflächenpassivierung und eine sehr gute interne Verspiegelung. Sowohl bei mono- als auch bei multikristallinen Weltrekord-Siliziumsolarzellen bildet die thermische Oxidation die Schlüsseltechnologie. Während eine industrietaugliche Herstellung der Solarzellenrückseite mit Hilfe des LFC-Verfahrens (Laser-Fired Contacts) am Fraunhofer ISE bereits erfolgreich demonstriert werden konnte, stand bei der hier vorgestellten Entwicklung die Kombination der dielektrisch passivierten Rückseite mit einer siebgedruckten Vorderseitenmetallisierung im Vordergrund.

Im Vergleich zu einer Standardsiliziumsolarzelle zeichnet sich die neuentwickelte Zellstruktur (Abb. 1) vor allem durch die nur noch lokal stattfindende Kontaktierung der Rückseite (nur 1–2% der Fläche) aus, während der übrige Bereich durch die Oxidation eine exzellente Passivierung aufweist. Zusätzlich wird durch Aufdampfen von Aluminium eine sehr gute optische interne Verspiegelung der Zelle erreicht, so dass auch der langwellige Anteil des Lichts optimal genutzt wird (Abb. 2). Insbesondere durch diese Maßnahme haben wir es geschafft, einen Wirkungsgrad von 19,3% ($V_{OC} = 655$ mV, $J_{SC} = 38.2$ mA/cm²) zu erreichen.

Nach der erfolgreichen Umsetzung des Konzepts auf kleinen Flächen im Labormaßstab findet derzeit eine Umsetzung der Ergebnisse im Pilotproduktionsmaßstab statt.

Diese Arbeiten werden maßgeblich vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) sowie fünf deutschen Solarzellenherstellern im Projekt »LFC-Cluster« gefördert.

Abb. 2: Interne Quantenausbeute (IQE) und Reflexion der entwickelten Solarzellenstruktur (rot) im Vergleich zu einem industriellen Standardkonzept mit ganzflächigem Aluminiumkontakt auf der Rückseite (blau). Die Überlegenheit der oxidpassivierten Solarzelle zeigt sich vor allem in der besseren Ausnutzung des langwelligeren Spektralbereiches. Mit diesem Konzept haben wir Spitzenwirkungsgrade von 19,3% erreicht.

Inline-Galvanik für Solarzellenkontakte

Die am Fraunhofer ISE entwickelten neuen Metallisierungsmethoden basieren auf einem zweistufigen Verfahren, bei dem eine Saatschicht aufgebracht wird, die dann galvanisch verdickt wird. Für die galvanische Verdickung von Solarzellenkontakten nutzen wir die lichtinduzierte Galvanik. Schon seit geraumer Zeit steht für diesen eleganten Prozess eine semi-automatische Batch-Anlage zur Verfügung. In Kooperation mit einem Industriepartner haben wir zwei inline-fähige Industrieanlagen aufgebaut und in Betrieb genommen, mit welchen sowohl die Verstärkung mit Silber als auch mit Kupfer möglich ist.

Mónica Alemán, Jonas Bartsch, Norbert Bay, René Bergander, Aleksander Filipović, Stefanie Greil, Matthias Hörteis, Anke Herbolzheimer, Michael Menkö, Ansgar Mette, Valentin Radtke, Jochen Rentsch, Philipp Richter, Christian Schetter, Daniel Schmidt, Oliver Schultz, **Stefan Glunz**

Der Standardprozess zur Herstellung von Vorderseitenkontakten auf kristallinen Silizium-solarzellen ist der Siebdruck von silberhaltigen Pasten. Bei diesem einstufigen Verfahren muss der Herstellungsprozess sowohl im Hinblick auf Leitfähigkeit als auch auf Kontakteigenschaften hin optimiert werden. Das ist nur in eingeschränktem Maße möglich. Somit bleibt das Wirkungsgradpotenzial dieser Technologie begrenzt. Um bessere Ergebnisse zu erreichen, entwickeln wir Verfahren, die auf einem zweistufigen Konzept beruhen, bei dem zunächst eine Saatschicht aufgebracht wird (siehe Jahresbericht 2006), die dann galvanisch verdickt wird.

Für den zweiten Schritt benutzen wir schon seit Jahren die lichtinduzierte Galvanik. Hier muss nur die Rückseite der Solarzelle kontaktiert werden, um ein Schutzpotenzial gegenüber einer Silberanode anzulegen. Durch die Beleuchtung der Zelle wird dann ein zusätzliches negatives Potenzial im Vorderseitenkontaktgitter generiert und so der Galvanikprozess initiiert. Da eine Abscheidung nur selektiv an den Saatschichten stattfindet, wird das Material äußerst effizient eingesetzt.

Die lichtinduzierte Galvanik ist industriell wesentlich einfacher umzusetzen als die direkte Kontaktierung des filigranen Vorderseitenkontaktgitters.



Abb. 1: Inline-Galvanikanlage (Silber) am Fraunhofer ISE. Deutlich zu erkennen sind die Beleuchtungsquellen im Bad.

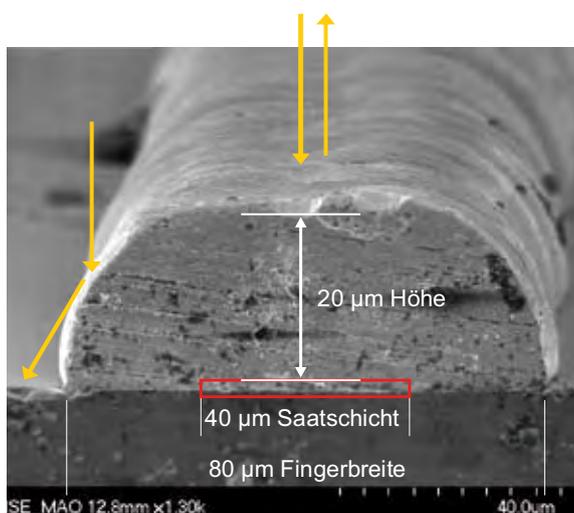


Abb. 2: Mit lichtinduzierter Galvanik verdickter Kontaktfinger einer Silizium-solarzelle. Die mittels Aerosol gedruckte Saatschicht ist nur 1 µm hoch und 40 µm breit. Der restliche Querschnitt besteht aus gut leitendem Galvaniksilber. Durch die abgerundete Form kann Licht, das im Seitenbereich auf den Finger trifft, in die Zelle reflektiert und genutzt werden. Damit ist die »optische Breite« des Fingers kleiner als die »geometrische Breite«.

Daher haben wir für diesen Prozess gemeinsam mit den Firmen Gebr. Schmid und Rohm and Haas einen inline-fähigen industriellen Prototypen entwickelt. Zwei Anlagen (Silber- und Kupfergalvanik) wurden am Fraunhofer ISE aufgebaut (Abb. 1) und erfolgreich in Betrieb genommen. Der Vorteil der galvanischen Abscheidung kommt besonders dann zum Tragen, wenn die Saatschicht möglichst schmal ist, so wie das mit unserem Aerosoldruckverfahren (Abb. 2) oder mit Ni-Plating möglich ist.

Diese Arbeiten werden maßgeblich durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) sowie die Fa. Gebr. Schmid im Projekt »Gasol« gefördert.

Laserchemische Prozessierung von Solarzellen

Durch Einkoppelung eines Laserstrahls in einen reaktiven Flüssigkeitsstrahl können innovative lokale Mikrostrukturierungsprozesse für Siliziumsolarzellen realisiert werden. Mit unserer LCP-Technologie (Laser Chemical Processing) konnten wir die Erzeugung eines selektiven Emitters (lokale Hochdotierung mit Phosphor) in einem einzigen Prozessschritt demonstrieren.

Andreas Fell, Christoph Fleischmann, Sybille Hopman, **Daniel Kray**, Kuno Mayer, Matthias Mesec, Ralf Müller, Arpad Mihai Rostas, Stefan Glunz

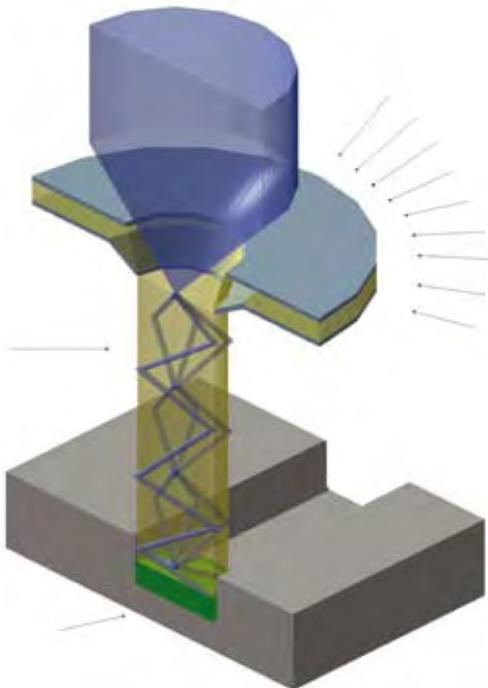


Abb. 1: Das proprietäre Verfahren LCP (Laser Chemical Processing) beruht auf einem wasserstrahlgeführten Laser von Synova®. Die Wahl einer reaktiven Flüssigkeit ermöglicht eine Vielzahl an hochflexiblen, lokalen laserchemischen Prozessen.

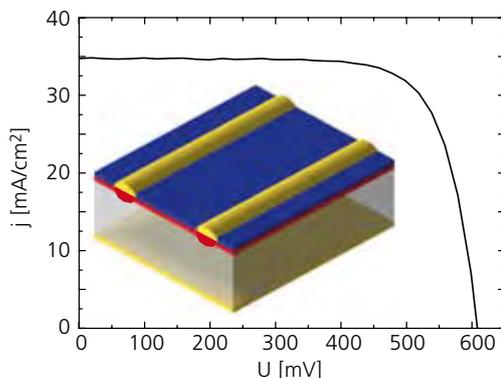


Abb. 2: IV-Kennlinie einer planen Solarzelle mit ganzflächigem Aluminium-BSF (Back Surface Field) und selektivem LCP-Emitter. Die Analyse der Kennlinie ergibt, dass die LCP-Bearbeitung erfolgreich war: Der bestehende Flächenemitter wurde ohne Erzeugung von Shunts oder Rekombinationszentren in der Raumladungszone strukturiert. Es konnte ein Wirkungsgrad von 15,9% auf Floatzone-Material erreicht werden.

Der Wirkungsgrad von Solarzellen lässt sich steigern, wenn unter den Vorderseitenkontakten eine höhere Dotierung eingebracht wird als auf den unmetallisierten Bereichen. Dieser so genannte selektive Emitter wird aufwändig durch Photolithografie bzw. konventionelle Laserprozessierung mit einer nachfolgenden Schadens-Ätze hergestellt. Zudem muss der ganze Wafer üblicherweise einem Hochtemperaturschritt unterzogen werden, um eine zweite Diffusion durchzuführen. Wird der selektive Emitter hingegen durch LCP (Laser Chemical Processing, Abb. 1) hergestellt, so kann die Antireflexschicht in einem einzigen Schritt geöffnet sowie eine lokale Laserdiffusion erreicht werden, die kein Nachätzen benötigt. So vermeiden wir zu viele Prozessschritte und das insbesondere für multi-kristallines Silizium nachteilige Erhitzen des ganzen Wafers. Wir konnten mit LCP unter Verwendung von Phosphorsäure als Medium und einem Nd:YVO₄ Laser (Wellenlänge 532 nm) erfolgreich selektive Emitter in industrielle Solarzellen einbringen. In Abb. 2 ist eine Hellkennlinie einer planen Solarzelle mit LCP-selektivem Emitter dargestellt. Diese zeigt deutlich, dass der selektive Emitter sehr schadigungsarm lokal eingebracht werden konnte, ohne die bereits vorhandene Emitterdiffusion zu stören. Messungen des Pseudo-Füllfaktors durch das Suns-V_{oc}-Verfahren bestätigen dieses Ergebnis. So können Solarzellen mit selektivem Emitter mit erheblich geringerem Aufwand hergestellt werden.

Die Arbeiten wurden durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) sowie die Firmen Deutsche Solar AG, Manz Automation AG, Renewable Energy Corporation Group und Synova S.A. gefördert.

Amorphes Silizium zur Oberflächenpassivierung kristalliner Siliziumsolarzellen

Amorphes Silizium ist eines der wirkungsvollsten Materialien zur Grenzflächenpassivierung von Silizium. Am Fraunhofer ISE konnten wir mittels industriell eingesetzter Plasma Enhanced Chemical Vapour Deposition (PECVD)-Verfahren hochpassivierende amorphe Siliziumschichten herstellen. Mittels eines Schichtsystems aus amorphem Silizium und Siliziumdioxid haben wir langzeitstabile und temperaturbeständige Passivierungsschichten erzeugt.

Dirk Bareis, Marc Hofmann, Norbert Kohn, Rainer Neubauer, **Jochen Rentsch**, Christian Schmidt, Stefan Glunz, Ralf Preu

Die elektrische Passivierung der Solarzellenrückseite gewinnt bei abnehmender Waferdicke zunehmend an Bedeutung. Das PECVD-Verfahren gilt als eine der effizientesten Methoden zur Oberflächenpassivierung von p-dotierten Siliziumwafern. Die thermische Stabilität sowie die Reproduzierbarkeit der Abscheidung von amorphen Siliziumschichten stellt jedoch eine der größten Herausforderungen bei der industriellen Umsetzung dieser Technologie für rückseitig passivierte und lokal kontaktierte hocheffiziente Siliziumsolarzellen dar.

Mit einer industriellen PECVD-Durchlaufanlage direkt abgeschiedene Schichtsysteme aus amorphem Silizium und SiO_x zeigen eine hervorragende Passivierungsqualität mit effektiven Ladungsträgerlebensdauern von 900 bis 1600 μs und daraus resultierenden Oberflächenrekombinationsgeschwindigkeiten zwischen 9 und 3 cm/s auf FZ-Silizium-Material. Diese Schichten zeigen selbst nach längerer Temperatureinwirkung bei 400 °C noch ein hervorragendes Lebensdauerniveau im Bereich von etwa 900 μs . Selbst reine amorphe Siliziumschichten ohne SiO_x -Maskierung liegen bei gleicher Behandlung im Bereich von etwa 200 μs . Durch die gezeigte Temperaturstabilität ergeben sich auch für amorphe Siliziumschichten neue Einsatzmöglichkeiten bei der industriellen Umsetzung von hocheffizienten Solarzellenstrukturen.

Die Arbeiten wurden im Rahmen des integrierten EU-Projekts »Crystal Clear« gefördert.

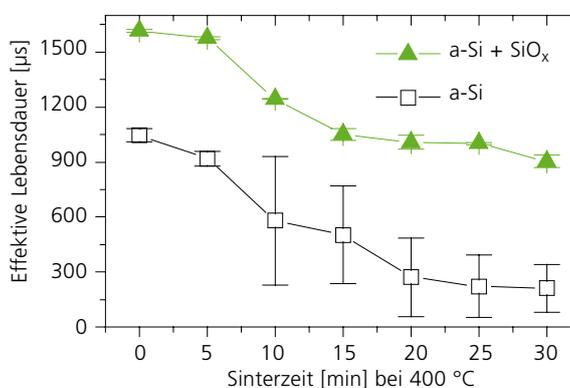


Abb. 1: Effektive Minoritätsladungsträgerlebensdauer bei verschiedenen Sinterzeiten (400 °C) für ein Schichtsystem aus a-Si und SiO_x sowie eine reine a-Si Schicht. Es ist zwar eine Degradation der Lebensdauer zu erkennen, es kann jedoch ein hohes Niveau auch bei langer Temperatureinwirkung gehalten werden.



Abb. 2: Automatisierte, industrielle PECVD-Anlage zur Inline-Abscheidung von amorphem Silizium, Siliziumnitrid und Siliziumdioxid.

Inline-Messtechnik – Entwicklung und Qualifizierung für den Einsatz in der industriellen Solarzellenfertigung

Angesichts steigender Wirkungsgrade und enger werdender Prozessfenster gewinnt die Prozesskontrolle in der Solarzellenfertigung zunehmend an Bedeutung und erfordert aufgrund des hohen Durchsatzes eine schnelle Inline-Messtechnik. Für die Inline-Charakterisierung von Emitterschichten wurde ein induktives Schichtwiderstandsmessverfahren untersucht und für die speziellen Anforderungen der Photovoltaik qualifiziert.

Gernot Emanuel, Alexander Krieg,
Stefan Rein, Isolde Reis, Meinrad Spitz,
 Albrecht Weil, Ralf Preu



Abb. 1: Induktives Inline-Schichtwiderstandsmesssystem der Firma Kitec, integriert in die Bandstrecke einer Automatisierung in der PV-TEC Pilotlinie. Da die Messung an der durchlaufenden Probe erfolgt, wird in Transportrichtung ein ortsaufgelöstes Schichtwiderstandsprofil gemessen. Durch Anordnung mehrerer Sensoren quer zur Transportrichtung kann dieses Profil entlang mehrerer Spuren aufgenommen werden, was eine Kontrolle der Homogenität des Diffusionsprozesses ermöglicht macht (Abb. 2).

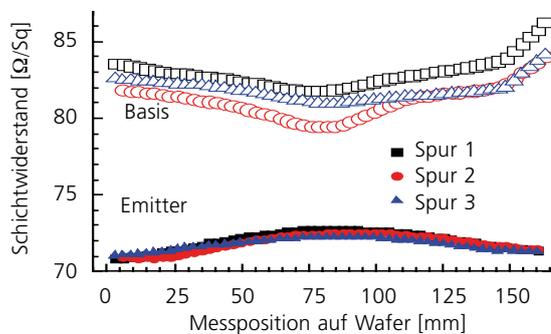


Abb. 2: Charakteristische Profile des Basis- (offen) und des Emitterschichtwiderstands (geschlossen) eines Wafers, gemessen mit dem induktiven Messsystem entlang von drei Messspuren. Die Bestimmung des Emitterschichtwiderstands erfordert ein zweistufiges Verfahren mit je einer Messung vor und nach der Diffusion, die dann miteinander verrechnet werden.

Für die Entwicklung und Qualifizierung neuer Inline-Messmethoden stellt das Photovoltaik Technologie Evaluationscenter (PV-TEC) eine ideale Plattform dar, da Messgeräte durch Integration in bestehende Automatisierungsbandstrecken im Inline-Betrieb getestet werden können. Zudem kann für die Tests die gesamte Bandbreite an relevanten Proben bereitgestellt werden und für Vergleichsmessungen sind umfangreiche Charakterisierungsmethoden verfügbar. Dies erlaubt, neben der Absolutgenauigkeit auch die Reproduzierbarkeit und Robustheit der Methoden effizient zu untersuchen.

Für die Inline-Emittercharakterisierung haben wir am Fraunhofer ISE ein induktives Schichtwiderstandsmesssystem der Firma Kitec untersucht (Abb. 1). Obwohl das Wirbelstromverfahren weithin bekannt ist, wird es in der PV-Industrie bisher noch nicht für die Emittercharakterisierung eingesetzt. Wir konnten nachweisen, dass sich der Emitterschichtwiderstand monokristalliner Siliziumscheiben mit der induktiven Methode unabhängig von der Oberflächenbeschaffenheit im gesamten Widerstandsbereich präzise bestimmen lässt, während bei der weithin als Referenzmethode angesehenen 4-Spitzen-Methode oberflächenabhängige systematische Fehler von bis zu 34% auftreten (Abb. 3). Da das induktive Verfahren zudem kontaktlos ist, Transferraten von bis zu 2000 Wafern/h erlaubt und eine Reproduzierbarkeit von mehr als 2,5% aufweist, ist es für die Inline-Emittercharakterisierung sehr gut geeignet.

Die Arbeiten wurden im Rahmen der vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) geförderten Projekte »PV-TEC« und »PV-QC« durchgeführt.

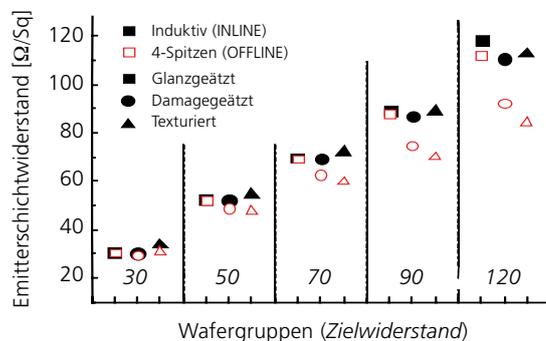


Abb. 3: Emitterschichtwiderstand gemessen mit der induktiven (geschlossen) und der 4-Spitzen-Methode (offen) an Cz-Si-Wafern mit 5 Zielemittern und 3 Oberflächenbehandlungen. Während die induktive Methode unabhängig von der Oberflächenbeschaffenheit eine präzise Bestimmung zulässt, treten bei der 4-Spitzen-Methode systematische Messfehler auf, die mit zunehmender Oberflächenrauigkeit und zunehmendem Emitterschichtwiderstand stark anwachsen.

Inkjet-Technologie für die industrielle Herstellung von hochauflösenden Maskenstrukturen für Hocheffizienz-solarzellen

Hochauflösende Strukturierungsverfahren für die industrielle Herstellung von Solarzellen sind Voraussetzung für die Realisierung von Solarzellenstrukturen mit höchstem Effizienzpotenzial. Wir setzen schnelle Inkjet-Verfahren ein, um beispielsweise Masken zu drucken, die eine selektive Ausführung der nachfolgenden nass-chemischen Bearbeitungsprozesse erlauben.

Mónica Alemán, Udo Belledin, **Daniel Biro**, Raphal Efinger, Denis Erath, Anke Lemke, Nicola Mingirulli, Jochen Rentsch, Jan Specht, David Stüwe, Ralf Preu

Die Inkjet-Technologie ermöglicht die großflächige Beschichtung von Substraten mit fein strukturierten Schichten. Die am Fraunhofer ISE verwendete Anlage kann Pasten in heißem (ca. 70–90 °C) Zustand verdrucken und erlaubt somit die Verarbeitung so genannter Hotmelt-Pasten. Durch Erhöhung der Temperatur lässt sich die Viskosität von Hotmelt-Pasten stark reduzieren. Dadurch kann die Paste exzellent verdruckt werden, sie erstarrt sofort auf dem Substrat und erlaubt dadurch eine sehr hohe Auflösung der gedruckten Strukturen. Dieses Verfahren wird seit Mitte 2007 am Fraunhofer ISE verwendet, um verschiedene Maskierungsprozesse auszuführen. Für die Herstellung von Solarzellen ist beispielsweise die Bildung von sehr feinen langgestreckten Fingerstrukturen besonders interessant. Darüber hinaus ist die lokale punktweise Öffnung von dielektrischen Schichten für rückseitenpassivierte Solarzellen von großer Bedeutung. Bereits in diesem sehr jungen Stadium der Technologie konnten wir sowohl für galvanisch abgeschiedene Nickelschichten als auch für Schichten, die mit PVD (Physikalische Gasphasenabscheidung)-Verfahren in Verbindung mit Lift-Off-Verfahren abgeschieden worden sind, durchgängig Strukturgrößen von ca. 50 µm erzeugen. Auf Foliensubstraten sind bereits feinere Strukturen mit einer Auflösung von ungefähr 10 µm erreicht worden. Das verwendete Verfahren ist sehr schnell und sehr gut skalierbar, so dass mit einer Maschine, die mehrere Druckköpfe enthält, ca. 1000 Wafer/Stunde bearbeitet werden können.

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



Abb. 1: Präzisions-Inkjet-Anlage am Fraunhofer ISE für die Bedruckung von Siliziumwafern mit Hotmelt-Pasten. Die Anlage ist in der Lage, mit unterschiedlichen Pasten und Druckkopfmodulen zu arbeiten. Es steht darüber hinaus ein einfacheres Drucksystem zur Verfügung, mit dem neue Pasten und Druckköpfe getestet werden können, bevor sie in das Hauptgerät übernommen werden.

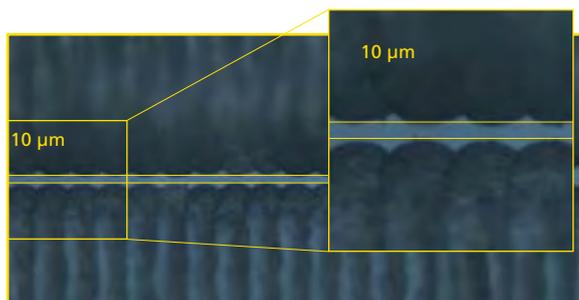


Abb. 2: Auf Foliensubstraten sind bereits Strukturgrößen im Bereich von 10 µm durchgängig erreichbar. Das Bild zeigt eine feine Linie, die beim Druck ausgespart wird, damit an dieser Stelle in weiteren Prozessschritten eine selektive Bearbeitung erfolgen kann.

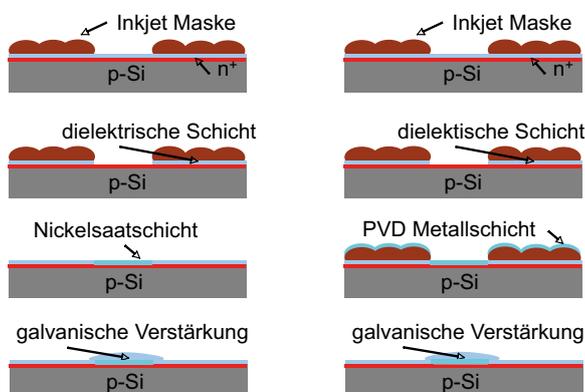


Abb. 3: Beispiele für Prozessoptionen zur Herstellung feiner Kontaktstrukturen für Solarzellenvorderseitenkontakte. Die Inkjet-Maske wird verwendet, um eine selektive Bearbeitung einer dielektrischen Antireflexschicht zu erlauben. Links: für Nickel-Saatschichten. Rechts: für Lift-Off-Prozesse in Verbindung mit ganzflächigen PVD-Abscheidungen.

Metal-Wrap-Through (MWT) Solarzellen

Die MWT-Solarzelle ist eine kostengünstige Möglichkeit zur Verwirklichung einer rückseitenkontaktierten Solarzelle, die sich stark am gegenwärtigen industriellen Herstellungsprozess orientiert. Am Fraunhofer ISE wurde ein Herstellungsprozess für MWT-Solarzellen entwickelt und im Photovoltaik Technologie Evaluationscenter (PV-TEC) mit industrienahen Verfahren umgesetzt. Wir konnten bei multikristallinem Silizium bisher Wirkungsgrade von bis zu 16% erreichen. Auch erste Module mit MWT-Zellen wurden am ISE gefertigt.

Udo Belledin, **Daniel Biro**, Florian Clement, Rene Hönig, Denis Erath, Heike Furtwängler, Andreas Grohe, Christian Harmel, Tim Kubera, Michael Menkö, Nicola Mingirulli, Ralf Preu

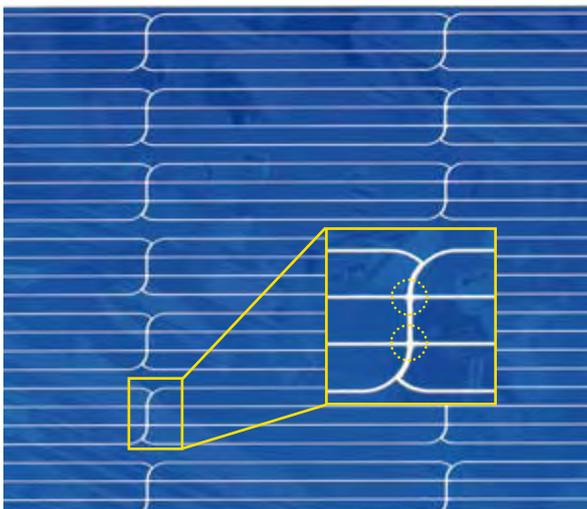
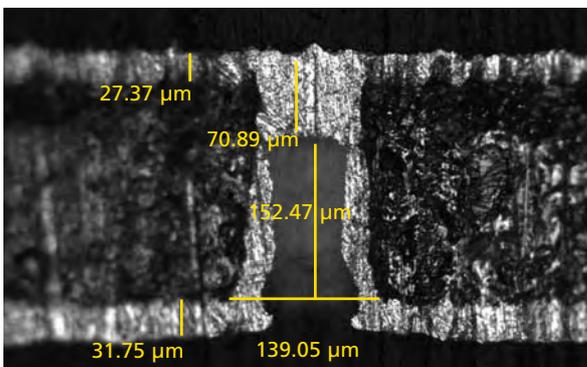


Abb. 1: MWT-Solarzelle aus multikristallinem Silizium (125x125 mm²). Der vergrößerte Bereich zeigt die neu entwickelte Kontaktstruktur, mit der über die Vias (jeweils unter dem Zentrum der Kreise) die Verbindung zur Rückseite der Solarzelle erfolgt.



Um die Markteinführung der MWT-Zelle zu erleichtern, haben wir ihren Herstellungsprozess bewusst an den gegenwärtig in der Solarzellenproduktion eingesetzten Standardherstellungsprozess angelehnt.

Im Unterschied zur Standardsolarzelle weist die MWT-Solarzelle keinen vorderseitigen Busbar auf, sämtliche zur Kontaktierung benötigten Flächen befinden sich auf der Rückseite. Dadurch kann die Abschattung um ca. 3% reduziert werden und es lassen sich Gewinne im Kurzschlussstrom der Solarzellen erzielen.

Für die Herstellung der Löcher für die Kontakt-durchführungen haben wir schnelle Laserbohrprozesse entwickelt. Mit hochpräzisen Industriesiebdruckern können wir die Metallisierung und die Vias (Kontaktdurchführung) präzise aufeinander justieren. Hierzu wurde eine spezielle Vorderseitengitterstruktur entwickelt, die die Anforderungen an das Alignment reduziert und somit einen robusten industriellen Prozess erlaubt. Die spezielle Metallisierungstechnologie ermöglicht einen sehr zuverlässigen elektrischen Kontakt durch die Vias hindurch. Die Rückseite der Solarzellen wurde so ausgebildet, dass bei der Modulverschaltung eine optimierte Zellverbinderstruktur mit größeren Leitungsquerschnitten eingesetzt werden konnte.

Aus den im PV-TEC Labor hergestellten multikristallinen Solarzellen mit bis zu 16% Effizienz wurden Module mit Wirkungsgraden von bis zu 15% gefertigt (vgl. Beitrag Seite 55).

Die Basisentwicklung der MWT-Solarzelle erfolgte im Rahmen des vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) geförderten Projekts PV-TEC.

Abb. 2: Querschliff durch ein MWT-Via. Deutlich zu erkennen ist der helle Bereich der Kontakte, die durch das Loch hindurch die Vorder- und die Rückseite der Solarzelle elektrisch miteinander verbinden.

Prototyp eines Solarmoduls mit 16 MWT-Solarzellen (MWT: Metal-Wrap-Through)

Um die Wattpeak-Kosten von Solarmodulen zu senken, sind höhere Wirkungsgrade sowie rationelle Prozesse bei der Modulherstellung gefragt. Am PV-Modul-Technikum des Fraunhofer ISE haben wir in Kooperation mit dem Photovoltaik Technologie Evaluationscenter (PV-TEC) ein MWT-Solarmodul mit einem Modulwirkungsgrad von 15% hergestellt. Durch eine innovative Verschaltungstechnik können die ohmschen Verluste minimiert und der Herstellungsprozess beschleunigt werden.

Tim Kubera, Marco Tranitz, Harry Wirth, Andreas Gombert

Im Gegensatz zu Standardsolarzellen befinden sich bei MWT-Solarzellen sämtliche zur Kontaktierung benötigten Flächen auf der Zellrückseite (s. Beitrag Seite 54). Dadurch kann ein größerer Flächenanteil der Vorderseite zur Stromgewinnung genutzt werden. Des Weiteren können Verschaltungselemente – so genannte Zellverbinder – mit vergrößerten Leitungsquerschnitten eingesetzt werden, da diese keine Abschattungsverluste zur Folge haben. Durch eine spezielle Kontaktanordnung auf den Zellrückseiten und einer entsprechenden Strukturierung der Zellverbinder können die ohmschen Verluste, die zwangsläufig bei der Serienschaltung im Modul entstehen, sehr gering gehalten werden. Mit dieser neuartigen Verschaltungstechnik wurde ein Modulfüllfaktor von 76,6% erreicht. Die Füllfaktoren der MWT-Zellen lagen im Mittel bei 77,5%, so dass der Füllfaktorverlust (Zelle – Modul) unter einem Prozentpunkt liegt.

Insbesondere im Hinblick auf die Verschaltung größerer Solarzellen, welche höhere Ströme liefern, bietet dieser Ansatz viel versprechende Vorteile. Des Weiteren eröffnet die ausschließlich rückseitige Verschaltung neue Möglichkeiten bei der Verbindungstechnik, wodurch bedeutende Rationalisierungspotenziale bei der Stringherstellung entstehen. Für die Herstellung des MWT-Moduls wurde ein spezielles Kontaktlötverfahren entwickelt. Am Photovoltaik-Modul-Technikum des Fraunhofer ISE werden weitere Verfahren wie Laserlöten oder Induktionslöten untersucht.

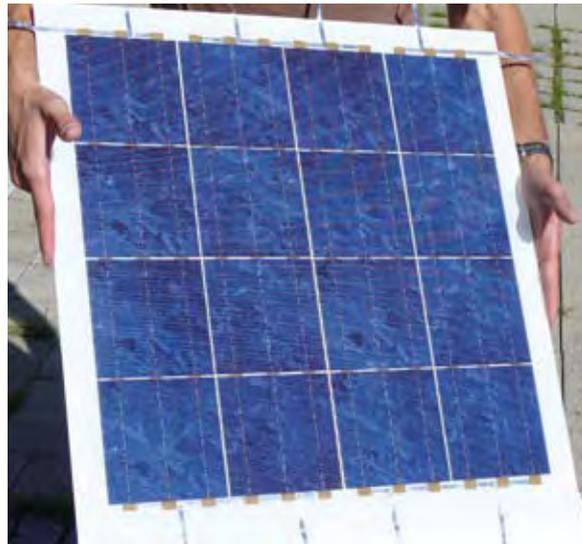


Abb. 1: Das MWT-Modul besteht aus 16 multikristallinen Siliziumsolarzellen mit einer Kantenlänge von 125 mm. Die MWT-Zellen sind in Zusammenarbeit mit dem PV-TEC entworfen worden. So konnte eine neuartige Verschaltungstechnik mit sehr geringen ohmschen Verlusten realisiert werden.

		Modulwert	mittlerer Zellwert
V_{OC}	[V]	9.84	0.64
I_{SC}	[A]	5.19	5.22
P_{MPP}	[W]	39.1	2.47
FF	[%]	76.6	77.5
η	[%]	14.9*	15.8

* Bezugsfläche: 51.4 x 51.2 cm²

Abb. 2: Gegenüberstellung der elektrischen Parameter (Leerlaufspannung V_{OC} , Kurzschlussstrom I_{SC} , max. Leistung P_{MPP} , Füllfaktor FF und Wirkungsgrad η) des hergestellten MWT-Moduls und der verwendeten MWT-Solarzellen. Der Vergleich der Füllfaktoren belegt die niedrigen ohmschen Verluste der neuen Verschaltungstechnik.

Das Projekt SiRko (Simultane Rückseitenkontaktierung) wird gefördert durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU).

Heterosolarzellenprozesse für die Materialanalyse

Ein zentraler Punkt bei der Optimierung von Solarzellenprozessen für multikristallines Silizium ist das Verständnis der Wechselwirkung zwischen Solarzellenprozess und Material. Um diese Wechselwirkung zu untersuchen, haben wir eine neue Untersuchungsmethode entwickelt, die aus einer Kombination von Heterosolarzellenprozess und hochauflösender Kurzschlussstromtopographie besteht. Damit können das Ausgangsmaterial und auch teilprozessierte Zellen effektiv in die Untersuchungen miteinbezogen werden.

Dietmar Borchert, Daniel Dopmeier, Stefan Müller, Maik Pirker, **Markus Rinio**, Katrin Schmidt, Mark Scholz, Ralf Preu

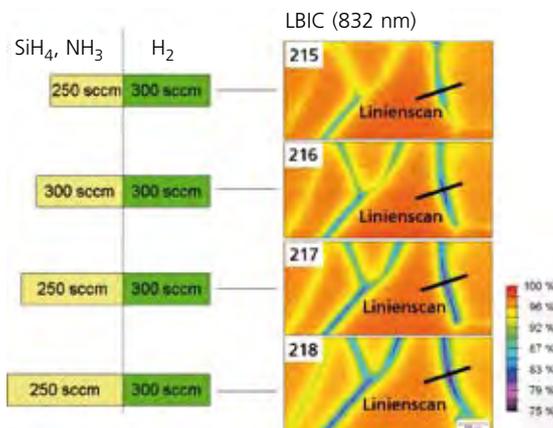
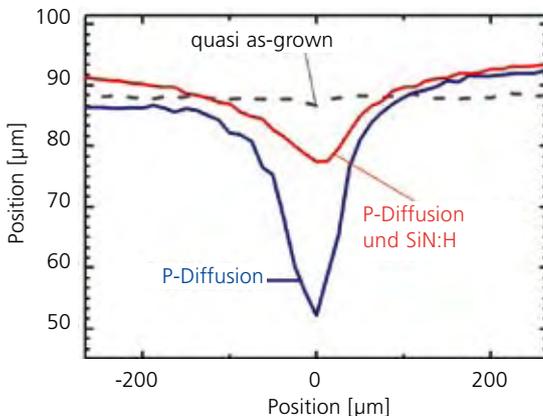


Abb. 1: Der Einfluss des Gasgemisches bei der Abscheidung der SiN-Schicht auf die Qualität der Korngrenzen im Wafer wurde mit der Kurzschlussstromtopografie sichtbar gemacht. Links: Gasströme in sccm, rechts: Topogramme der gemessenen internen Quanteneffizienz auf unterschiedlich prozessierten Nachbarwafern. Ein relativ höherer H_2 -Anteil bewirkt eine Verbesserung der Korngrenzen, welche daraufhin im Bild heller erscheinen.



Für die Optimierung von Material und Prozess ist es von entscheidender Bedeutung, dass wir die Wechselwirkung zwischen multikristallinem Solarzellenmaterial und dem Herstellungsprozess verstehen.

Hochauflösende Kurzschlussstromtopografie ist eine Messmethode, um das Verhalten von Defekten im Solarmaterial zu untersuchen. Allerdings benötigt diese Methode immer eine Solarzellenstruktur. Die (konventionelle) Herstellung einer solchen Struktur verändert aber nun ihrerseits das Material erneut. Um dies zu vermeiden haben wir eine Untersuchungsmethode entwickelt, die es ermöglicht, auch das Ausgangsmaterial und sogar teilprozessierte Wafer in die Untersuchungen miteinzubeziehen. Dieses neue Verfahren besteht aus einer Kombination von hochauflösender Kurzschlussstromtopografie und einem Heterosolarzellenprozess. Bei dem Heterosolarzellenprozess handelt es sich um einen Niedertemperaturprozess, der es ermöglicht, Zellen bei Temperaturen unterhalb von $250\text{ }^\circ\text{C}$ herzustellen. Dadurch werden im Solarzellenmaterial keine Veränderungen erzeugt. Um mit den aktuellen Substratgrößen der industriellen Fertigung mithalten zu können, haben wir den Heteroprozess auf größere Flächen ($15,6\text{ cm} \times 15,6\text{ cm}$) übertragen. Die entwickelte Methode ist sowohl für Material- als auch für Zellhersteller interessant.

Materialhersteller können das Verhalten von neuem Material in unserem Standardprozess testen und so die Tauglichkeit für die Solarzellenproduktion sicherstellen. Zellherstellern ermöglicht das Verfahren, nach jedem Prozessschritt die Reaktion der verschiedenen Defekte auf diesen Prozessschritt zu verfolgen.

Abb. 2: Linienscan senkrecht über eine Korngrenze auf drei Nachbarwafern. Der erste Wafer wurde zur Heterosolarzelle prozessiert und zeigt den Zustand des Ausgangsmaterials (»quasi as-grown«). Der zweite Wafer wurde konventionell diffundiert, hat jedoch keine SiN-Schicht. Beim dritten Wafer wurde zusätzlich eine SiN-Schicht abgeschieden und gefeuert. Die Korngrenze wird im konventionellen Solarzellenprozess zunächst verschlechtert und durch das SiN-Feuern wieder verbessert.

Bildgebende Lumineszenzverfahren zur Charakterisierung von Silizium

Die Abbildung der Lumineszenzstrahlung von Siliziumwafern und -zellen hat sich in kurzer Zeit als äußerst interessante, weil schnelle und kostengünstige Charakterisierungstechnik herausgestellt. Schwieriger als bei anderen Verfahren ist es allerdings, Lumineszenzbildern eine quantitative Aussagekraft zu geben. Wir haben verschiedene Ansätze hierzu entwickelt. Eine einfache und viel versprechende Möglichkeit ist die Kalibrierung über eine quantitative Lebensdauermessung in Kombination mit einem geeigneten Modell für die Photolumineszenz.

Martin Kasemann, Martin Schubert, Manuel The, **Wilhelm Warta**, Stefan Glunz

Die Leistung einer Solarzelle im Betrieb ist im Wesentlichen durch die erreichte Dichte optisch erzeugter Ladungsträger bestimmt. Bilder der Ladungsträgerdichte lassen ungleichmäßige Verteilungen und damit verschiedene Verlustmechanismen erkennen. Für Silizium kann die Band-Band-Rekombinationsstrahlung (Photolumineszenz PL) mit einer CCD-Kamera aufgenommen (PL-Imaging) und so die Verteilung der Ladungsträgerdichte abgebildet werden. Wir arbeiten daran, diese schnelle Methode für fertige und teilprozessierte Solarzellen sowie Material in der Produktion nutzbar zu machen.

Gegenüber den etablierten Techniken CDI (Carrier Density Imaging) bzw. ILM (Infrared Lifetime Mapping), bei denen die Ladungsträgerdichte über Absorption und Emission durch freie Ladungsträger im mittleren Infrarot dargestellt werden, kann PL-Imaging schneller und kostengünstiger sein. Allerdings liefern CDI/ILM ein zur Lebensdauer der Ladungsträger proportionales Bild, während das bei PL-Imaging nicht der Fall ist. PL-Bilder zeigen daher zunächst nur qualitative Unterschiede.

Wir arbeiten an verschiedenen Verfahren, qualitativen PL-Bildern eine quantitative Skala zuzuordnen und damit den beobachteten Unterschieden Aussagekraft für die realen Verhältnisse zu geben. Mit Hilfe eines Modells für die Emission der Lumineszenzstrahlung aus dem Silizium ist es uns gelungen, aus dem Vergleich einer

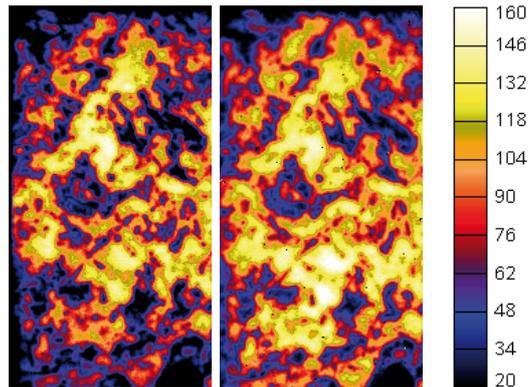


Abb. 1: Photolumineszenz (PL)-Lebensdauerbild (in μs) eines multikristallinen Wafers mit passivierter Oberfläche (links) und Referenzmessung der gleichen Probe mit CDI (rechts). Das PL-Bild ist mit unserem neuen Verfahren kalibriert. Die Übereinstimmung der beiden Messergebnisse ist sehr gut. Eine Waferfläche von $100 \times 50 \text{ mm}^2$ ist abgebildet.

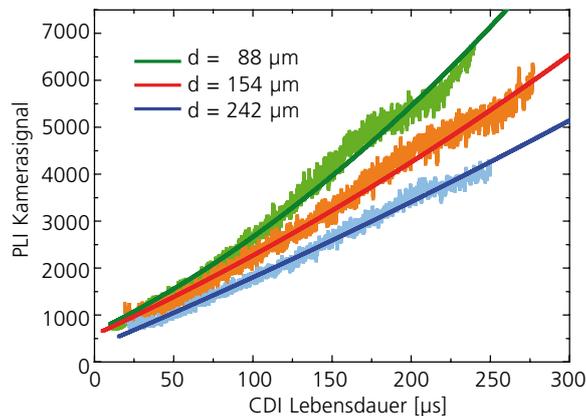


Abb. 2: Das gemessene PL-Signal ist für drei Parallelwafer unterschiedlicher Dicke d gegen das CDI-Signal aufgetragen. Die CDI-Daten geben die tatsächliche Trägerlebensdauer wieder. Deutlich ist zu erkennen, dass die PL-Ergebnisse sich nicht linear zur Lebensdauer verhalten. Die durchgezogenen Linien zeigen die nach unserem Modell erwartete theoretische Abhängigkeit. Der Verlauf der Messdaten wird sehr gut beschrieben. Damit können PLI-Bildern aussagefähige Werte zugeordnet werden.

CDI- und einer PLI-Messung an einem Referenzwafer (s. Bilder) eine Kalibrierung für die PLI-Messung zu gewinnen, die für einen bestimmten Messaufbau und unter definierten Bedingungen allgemein verwendet werden kann.

Die Arbeiten werden von Bundesforschungsministerium BMBF bzw. Bundesumweltministerium BMU im Rahmen der Projekte »Netzwerk Diagnostik« bzw. »SiCPass« gefördert.

Charakterisierung von III-V Mehrfach-solarzellen unter variierenden spektralen und thermischen Bedingungen

Zur Energieversorgung von nicht-terrestrischen Systemen sowie von terrestrischen Konzentratorsystemen werden heute bevorzugt monolithische 3-fach Kaskadensolarzellen aus den Halbleitermaterialien GaInP/GaInAs/Ge eingesetzt. Diese zeichnen sich durch sehr hohe Wirkungsgrade von bis zu 40% aus. Wir arbeiten daran, derartige Solarzellen weiter zu verbessern, indem wir zum Beispiel die Solarzellenstruktur genau charakterisieren und an spezielle thermische und spektrale Bedingungen anpassen.

Frank Dimroth, Martin Hermle,
Raymond Hoheisel, Simon Philipps,
Daniel Stetter, **Gerald Siefer**, Andreas Bett

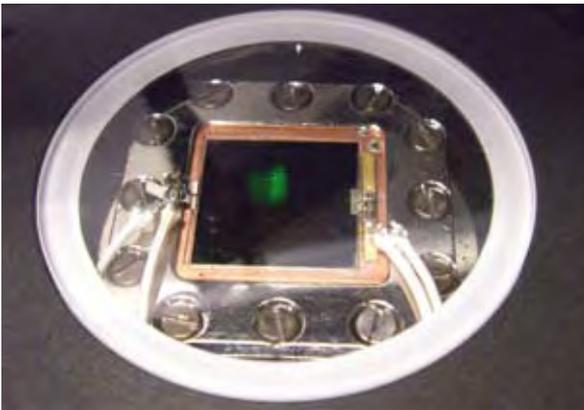
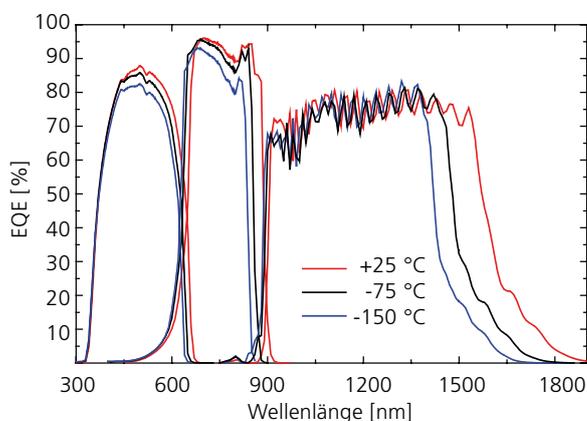


Abb. 1: 3-fach Solarzelle in einem Kryostat zur Messung der Solarzellenparameter bei sehr tiefen Temperaturen von bis zu $-190\text{ }^{\circ}\text{C}$.



Mehrfachsolarzellen sind in der Anwendung sehr unterschiedlichen Umgebungsbedingungen ausgesetzt. In terrestrischen Konzentratorsystemen arbeiten die Zellen bei hohen Intensitäten von bis zu 100 W/cm^2 und Temperaturen von über $80\text{ }^{\circ}\text{C}$. Ganz anderen Bedingungen sind die Solarzellen im Weltraum ausgesetzt. Bei Missionen zu entfernten Planeten wie Jupiter oder Mars arbeiten die Zellen bei extremer Kälte von bis zu $-150\text{ }^{\circ}\text{C}$ und Sonnenintensitäten von nur 4 mW/cm^2 . Zudem sind die spektralen Einstrahlungsbedingungen ganz anders als auf der Erde. Mit unseren sehr flexiblen Sonnensimulatoren können wir die Umgebungsbedingungen für fast jede Anwendung exakt einstellen und die Eigenschaften der Solarzellen bestimmen. Hierdurch erhalten unsere Kunden Informationen über die Leistungsfähigkeit ihrer Produkte. Zudem ergeben sich aus den Messungen wichtige Erkenntnisse über eine mögliche Anpassung und Verbesserung der Solarzellenstruktur.

Messungen bei niedrigen Temperaturen werden im Labor mit der Hilfe eines Kryostaten durchgeführt (Abb. 1), der mit flüssigem Stickstoff Temperaturen von bis zu $-190\text{ }^{\circ}\text{C}$ erreicht. Abb. 2 zeigt ein Beispiel für die Quanteneffizienz einer GaInP/GaInAs/Ge 3-fach Solarzelle bei verschiedenen Temperaturen. Die Messung zeigt, wie sich die Absorptionskante der Teilzellen mit sinkender Temperatur zu kürzeren Wellenlängen hin verschiebt. Es konnte gezeigt werden, dass diese Solarzellen unter den Betriebsbedingungen auf dem Jupiter einen Wirkungsgrad von bis zu 30,3 % erreichen.

Für die Weiterentwicklung der Solarzellenstrukturen und die Verbesserung der Messtechnik arbeiten wir eng mit AZUR SPACE Solar Power GmbH, der Europäischen Weltraumbehörde (ESA-ESTEC) und dem Deutschen Zentrum für Luft und Raumfahrt (DLR) zusammen.

Abb. 2: Externe Quanteneffizienz (EQE) einer 3-fach GaInP/GaInAs/Ge-Kaskadensolarzelle in Abhängigkeit von der Temperatur. Bei Flügen zu den Planeten Jupiter und Mars kann die Temperatur der Solarzelle auf bis zu $-150\text{ }^{\circ}\text{C}$ absinken. Dies hat Einfluss auf die Bandkante der verschiedenen Teilzellen und beeinflusst die Stromanpassung der Mehrfach-solarzelle.

Hocheffiziente Laserleistungszellen

Wir haben eine Vielzahl unterschiedlicher hocheffizienter Photovoltaik-Zellen für die monochromatische Beleuchtung entwickelt. Die Entwicklungsschwerpunkte orientierten sich an den Wünschen der Kunden nach angepassten Halbleitermaterialien und erhöhten Ausgangsspannungen bei der optischen Energieübertragung. Für die monochromatische Beleuchtung mit Laserlicht bei 810 nm erzielten wir Wirkungsgrade von über 50%.

Frank Dimroth, Wolfgang Guter, Rüdiger Löckenhoff, Eduard Oliva, Manuela Scheer, Johannes Schubert, Gerald Siefer, Alexander Wekkeli, Andreas Bett

Die Energiekonversion von Solarstrahlung mittels Solarzellen nutzt bekanntermaßen den photovoltaischen Effekt. Wirkungsgrade für die Standard-silizium-solarzellen liegen im Bereich von 20% und für Mehrfachsolarzellen aus III-V Halbleitern unter konzentrierter Sonneneinstrahlung im Bereich von 40%. Wirkungsgrade über 50% erreichen wir, wenn wir statt des Sonnenspektrums eine monochromatische Strahlungsquelle zur Beleuchtung der PV-Zelle nutzen. Eine solche Zelle nennen wir Laserleistungszelle. Für diese hocheffizienten Laserleistungszellen gibt es viele Anwendungsfelder, beispielsweise ist die optische Energieversorgung in explosionsgefährdeten oder stark elektromagnetisch empfindlichen Umgebungen von großem Interesse, da man hier das Verlegen von elektrischen Kabeln vermeiden möchte. Videokameras, Sensoren oder Schalter werden dann über den Lichtweg mit Energie versorgt.

Aufgrund der Kundennachfrage haben wir in diesem Jahr vielfältige und neuartige Laserleistungszellen entwickelt. Ein Schwerpunkt unserer Arbeiten war der Einsatz unterschiedlicher Halbleitermaterialien wie GaSb, GaAs und GaInP, um möglichst hohe Wirkungsgrade für spezifische Laserwellenlängen zu erzielen. Eine weitere Anforderung ist eine hohe Ausgangsspannung. Dazu haben wir auf einem Chip einzelne Zellen verschaltet (Abb. 2). Auf diese Weise gelingt es uns nun, den Spannungsbereich von 1–6 Volt abzudecken. Weiterhin haben wir Tandemzellen für die monochromatische Bestrahlung in GaAs entwickelt, die eine Spannung von 2 Volt erzielen. Somit steht für unsere Kunden nunmehr ein breites Spektrum an Laserleistungszellen zur Verfügung, die wir auch in Transistorgehäusen montiert liefern können.

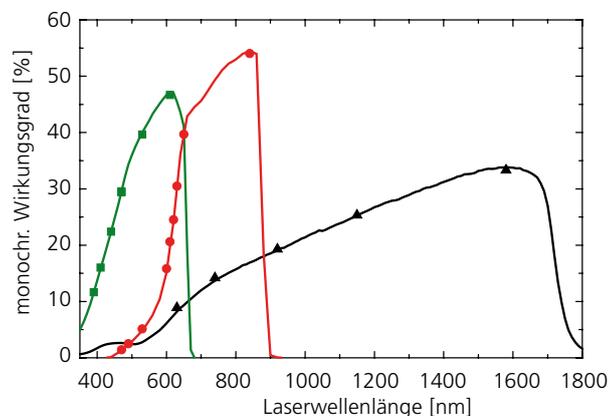


Abb. 1: Die Abbildung zeigt den experimentell abgeleiteten monochromatischen Wirkungsgrad in Abhängigkeit der Laserwellenlänge für Zellen aus den Materialien GaInP (grün), GaAs (rot) und GaSb (schwarz). Die Einstrahlungsleistung des Lasers beträgt dabei immer 20 W/cm².

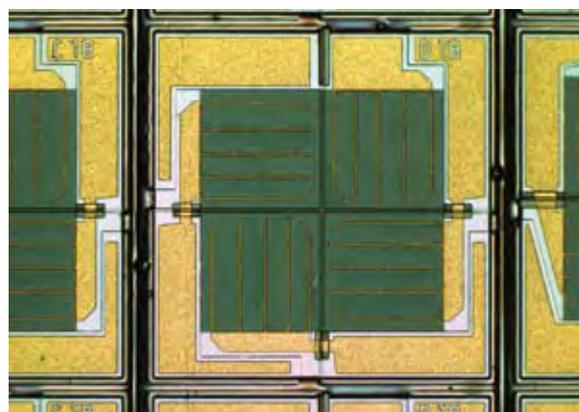


Abb. 2: Bild einer 1.6 x 1.6 mm² Laserleistungszelle, bei der wir vier Segmente auf einem Chip verschaltet haben. Dadurch haben wir Betriebsspannungen von ca. 4 Volt realisiert. Der monochromatische Wirkungsgrad bei einer Laserwellenlänge von 810 nm und einer Einstrahlungsleistung von 40 W/cm² beträgt 50%.

Farbstoffsolarzellen

Farbstoffsolarzellen werden am Fraunhofer ISE im Siebdruckverfahren hergestellt. Die langzeitstabile Versiegelung wird durch ein Glaslotverfahren erreicht. Anders als bei herkömmlichen Solarzellen wandelt hier ein metall-organischer Farbstoff Licht in elektrische Energie um.

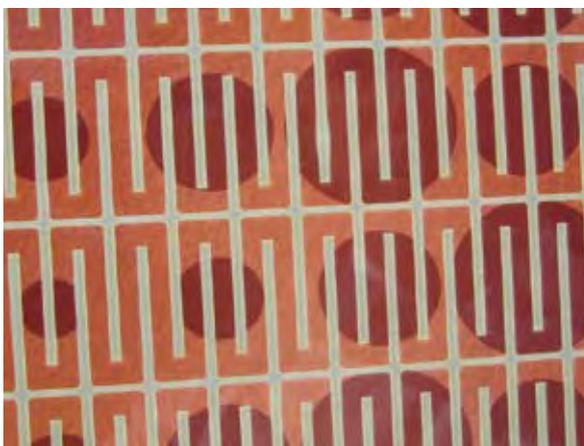
Henning Brandt, Simon Hemming*,
Andreas Hinsch, Mathias Nittel,
Piotr Putyra**, Sandra Simeaner, Welmoed Veurman, Uli Würfel**, Andreas Gombert

* PSE GmbH Forschung Entwicklung Marketing, Freiburg

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



Abb. 1: Messe-demonstrator – aufgebaut aus mehreren Farbstoffsolarmodulen (30 cm x 30 cm), die als Glasverbund zwischen Architekturglas einlamiert sind. Als Einbaumöglichkeiten werden der semi-transparente Verbund (links) in einer Glasfassade und die Integration in einer Kaltfassade (rechts) aufgezeigt.



Durch die Möglichkeit unterschiedlicher Farbgebung und teiltransparenter Flächen eröffnet die Farbstoffsolarzelle neue Gestaltungsmöglichkeiten bei der gebäudeintegrierten Photovoltaik sowie der Kombination klassischer Fassadenfunktionen (Witterungsschutz, Sonnenschutz etc.) mit Design und Stromerzeugung. Wir haben am Fraunhofer ISE Modulprototypen für die Integration in Glasfassaden hergestellt und auf Fachmessen sowie bei einem Lead-User Workshop mit Architekten demonstriert (Abb. 1). Mit dem Ziel einer einfachen Aufskalierbarkeit der Module haben wir ein spezielles Moduldesign (Mäanderdesign, Abb. 2) entwickelt, das eine integrierte elektrische Serienschaltung über siebgedruckte Punktkontakte erlaubt. Unter Außenbedingungen haben wir mit Prototypen dieser Module einen solaren Wirkungsgrad von 3,5% auf einer Gesamtmodulfläche von 30 cm x 30 cm erreicht. Mit dem Ziel langfristiger kostengünstiger Farbstoffsolarzellen herzustellen, entwickelten wir am Fraunhofer ISE glaslotversiegelte Farbstoffsolarzellen nach dem so genannten monolithischen Zellkonzept. Mit diesem Konzept gelang es, die kostenintensive Gegenelektrode durch eine siebgedruckte Graphitschicht zu ersetzen, bei der kein Platin als Katalysator erforderlich ist. Impedanzuntersuchungen an den so hergestellten, monolithischen Farbstoffzellen zeigten eine gute elektrische Leitfähigkeit der Gegenelektrode (Schichtwiderstand < 10 Ohm/Square) und eine hohe katalytische Aktivität (Übergangswiderstand 1.2 Ohm*cm² mit Standardelektrolyt).

Die Arbeiten erfolgten im Rahmen des vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderten Projekts »ColorSol: Nachhaltige Produktinnovationen durch Farbstoffsolarzellen«. Die Entwicklung des monolithischen Zellkonzepts erfolgte im Rahmen eines vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderten Netzwerkprojekts mit Partnern aus der Grundlagen- und anwendungsorientierten Forschung.

Abb. 2: Bildausschnitt eines glaslotversiegelten, semi-transparenten Farbstoffsolarmoduls nach dem Mäanderkonzept vor einer weißen Fassade. Das optische Erscheinungsbild (Punktdesign) wurde durch Aufbringen einer lichtstreuenden Schicht hinter die photoaktive Schicht erzielt. Hierdurch lässt sich ein dekoratives Design erzielen, ohne dass die für den Wirkungsgrad relevante Fläche beeinflusst wird.

Entwicklung flexibler organischer Solarzellenmodule

Die Entwicklung einer effizienten Herstellungstechnologie ist neben der Erhöhung des Wirkungsgrads sowie der Entwicklung flexibler Verkapselungsmaterialien eine notwendige Voraussetzung, um in Zukunft kostengünstige organische Solarzellen herstellen zu können. Gemeinsam mit Partnern aus der Industrie konnten wir wesentliche Fortschritte in der Entwicklung von Beschichtungs- und Strukturierungsverfahren für polymere Schichten mit einer Dicke von einigen zehn bis hundert Nanometern erzielen.

Michael Niggemann,
Hansfrieder Schleiermacher,
Markus Speckmann, Kristian Silvester-Hvid*,
Birger Zimmermann*, Andreas Gombert

* Freiburger Materialforschungszentrum FMF,
Albert-Ludwigs-Universität Freiburg

Gemeinsam mit Partnern aus der Industrie entwickeln wir Prozesse für die Herstellung organischer Solarzellen in einem kontinuierlichen Rolle-zu-Rolle Verfahren. Teilaspekte der Herstellung sind die Entwicklung einer nasschemischen Beschichtungstechnologie für die polymere Anode und die photoaktive Schicht sowie die Entwicklung von Strukturierungstechniken der Dünnschichten für die monolithische Verschaltung der Solarzellenflächen zu einem Modul.

Auf der Grundlage rheologischer Untersuchungen und Modellrechnungen konnten wir die Stabilitätskriterien für die Beschichtungsprozesse ermitteln. Erste Untersuchungen zur Beschichtung führen wir in unserem Labor mit einem diskontinuierlichen Beschichtungsprozess durch. Aufgrund der Kompatibilität des Auftragsystems mit den Rolle-zu-Rolle Beschichtungsanlagen der Projektpartner ist ein schneller Transfer der Prozesse auf deren Anlagen möglich. Abhängig von der Flächenleitfähigkeit der transparenten Elektrode und den Beleuchtungsbedingungen in der späteren Applikation (Indoor oder Outdoor) dimensionieren wir die Verschaltung der Einzelzellen zu einem Solarzellenmodul mit entsprechend angepasster Ausgangsspannung. Um erste Anwendungsfelder zu einem frühen Zeitpunkt zu erschließen, arbeiten wir mit Entwicklern spezifischer Applikationen für organi-

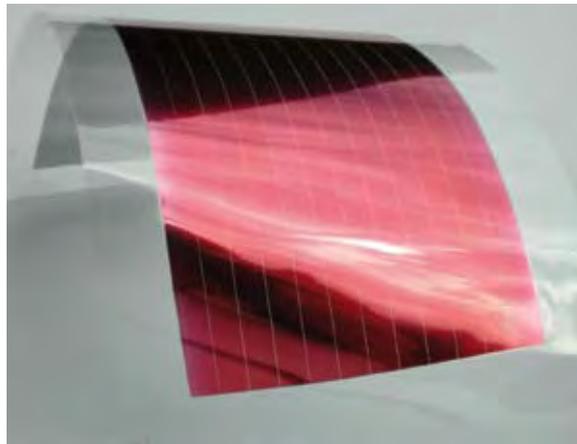


Abb. 1: Ansichtsmuster eines flexiblen organischen Solarzellenmoduls, das im Rahmen des Vorhabens gefertigt wurde.

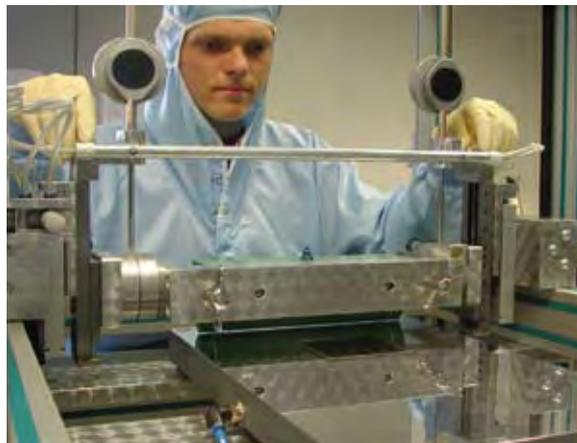


Abb. 2: Beschichtung der polymeren Anode und der photoaktiven Schicht organischer Solarzellen. Wir untersuchen die Eignung unterschiedlicher Beschichtungsverfahren für eine zukünftige Rolle-zu-Rolle Herstellung.

sche Solarzellen zusammen. Ein konkretes Anwendungsbeispiel ist die Integration eines flexiblen energieautarken Messsystems für komfort- und gesundheitsrelevante Daten in Kleidung.

Diese Arbeiten werden vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) unterstützt.



Netzunabhängige Stromversorgungen

Rund zwei Milliarden Menschen in ländlichen Regionen, unzählige technische Anlagen in der Telekommunikation, Umweltmesstechnik und Telematik sowie vier Milliarden tragbare Elektronikgeräte haben eines gemeinsam: Sie alle brauchen eine netzunabhängige Stromversorgung. Hierfür werden zunehmend regenerative Energien oder innovative Energiewandler eingesetzt.

Knapp 20 Prozent der weltweit verkauften Photovoltaikmodule gehen in diese Märkte, die sich zum Teil bereits ohne Fördermittel ökonomisch selbst tragen. Die Stromversorgung mit der Sonne ist heute in vielen Fällen betriebswirtschaftlich sinnvoller als Einwegbatterien, Netzausbau oder Versorgung mit Dieselgeneratoren.

Über eine Milliarde Menschen ohne Zugang zu sauberem Trink- und Brauchwasser benötigen zudem Technologien zur dezentralen Wasserentsalzung und -entkeimung. Wir versorgen solche Systeme mit erneuerbaren Energien, verbessern ihre Energieeffizienz und reduzieren den Wartungsbedarf.

Sowohl in der ländlichen Elektrifizierung als auch bei der Stromversorgung von technischen Anlagen hat sich die Qualität der Komponenten und der Systeme in den letzten Jahren spürbar verbessert, es gibt aber immer noch große Entwicklungspotenziale. Deshalb unterstützen wir Unternehmen sowohl bei der Komponentenentwicklung als auch bei der Systemplanung und der Markterschließung. Unsere Kompetenzfelder umfassen insbesondere hocheffiziente Leistungs- und Regelungselektronik, Algorithmen für das Batteriemonitoring, Ladestrategien von Batterien, Anlagenbetriebsführung, Energiemanagement und Systemsimulation.

Weiterhin bieten wir auch Analysen und Beratungen zu sozialen und ökonomischen Rahmen- und Marktbedingungen für eine erfolgreiche Einführung von Energietechnologien an. Denn insbesondere in der ländlichen Elektrifizierung sind neue Geschäftsmodelle und angepasste Strategien zur Markterschließung wichtig. Nur so können der nachhaltige Aufbau von Vertrieb und Service – und damit der langfristige Betrieb der aufgebauten Systeme – gesichert werden.

Dorfstromversorgungsanlagen gewinnen in der ländlichen Elektrifizierung zunehmend an Bedeutung. Im Rahmen internationaler Kooperationen führt das Fraunhofer ISE Monitoring an neu installierten Systemen durch. Anhand der gewonnenen Messdaten können die Qualität und die Einsatzbereitschaft der Systeme analysiert werden. Bei gleichzeitiger Vermittlung des Monitoring-Know-hows werden die Ergebnisse mit Fachpersonal vor Ort diskutiert, um mittelfristig die Unabhängigkeit der Länder beim Aufbau und Betrieb der Anlagen zu erreichen.

Für tragbare Geräte besitzen insbesondere Mikrobrennstoffzellen ein großes Potenzial. Hierfür entwickeln wir die Technologie ein-

schließlich der dazugehörigen Leistungs- und Regelungselektronik. Der Vorteil der Mikrobrennstoffzellen gegenüber konventionellen Batteriesystemen ist die hohe Energiedichte ihres Energiespeichers für Wasserstoff oder Methanol. Dadurch können bei gleicher Baugröße oder gleichem Gewicht die Betriebszeiten der Geräte wesentlich verlängert werden. Weitere Aktivitäten in diesem Umfeld werden im Geschäftsfeld »Wasserstofftechnologie« dargestellt.

Für unsere Entwicklungsarbeiten stehen uns unter anderem folgende Einrichtungen zur Verfügung:

- Wechselrichterlabor
- hochpräzise Leistungsmessgeräte für Wechselrichter und Laderegler
- Präzisionsmessgeräte zur Charakterisierung induktiver und kapazitiver Bauelemente
- Messkabine für elektromagnetische Verträglichkeit (EMV)
- Burst- und Surge-Generatoren
- programmierbare Solarsimulatoren und elektronische Lasten
- Entwicklungsumgebungen für Mikrocontroller und Digitale Signalprozessoren (DSP)
- Lichtmesslabor
- Entwicklungsumgebungen für Regelungen auf der Basis von »embedded systems«
- temperierte Teststände für vielzellige Batterien und Hybridspeicher
- Teststände für Brennstoffzellen im Betrieb mit Wasserstoff und Methanol
- orts aufgelöste Charakterisierung von Brennstoffzellen
- Kalibrierlabor für Solarmodule
- Freiland-Testfeld zur Erprobung von Solarkomponenten
- Test- und Entwicklungslabor für Trinkwasseraufbereitungssysteme.



Hybridsystem zur Versorgung einer Pegelmessstation zur Erfassung des aktuellen Wasserstands vor der Nordseeinsel Borkum, bestehend aus einem Photovoltaik-Generator, einem Windgenerator, einer Direkt-Methanol-Brennstoffzelle, einem Batteriespeicher und einem Energiemanagementsystem. In der Regel steht auf diesen Plattformen kein Netzanschluss zur Verfügung. Durch den modularen Aufbau der Energieversorgung und das innovative Energiemanagementsystem kann ein zuverlässiger und kostengünstiger Betrieb sichergestellt werden.

Ansprechpartner

Systeme zur netzunabhängigen Stromversorgung	Dr. Matthias Vetter	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-56 00 E-Mail: Matthias.Vetter@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	Dipl.-Ing. Robert Thomas	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-54 19 E-Mail: Robert.Thomas@ise.fraunhofer.de
Brennstoffzellensysteme	Dr. Christopher Hebling	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-51 95 E-Mail: Christopher.Hebling@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
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-Modul-Technikum	Dr. Harry Wirth	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-51 93 E-Mail: Harry.Wirth@ise.fraunhofer.de

Übergreifende Koordination

Netzunabhängige Stromversorgungen	Dr. Günther Ebert	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-52 29 E-Mail: Guenther.Ebert@ise.fraunhofer.de
Wasserstofftechnologie	Dr. Christopher Hebling	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-51 95 E-Mail: Christopher.Hebling@ise.fraunhofer.de
Photovoltaik	Prof. Dr. Gerhard Willeke	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-52 66 E-Mail: Gerhard.Willeke@ise.fraunhofer.de

Konzepte zur Etablierung und Stärkung von lokalen Stromanbietern in Ecuador und Peru

Mit dem Ziel, Dorfstromanlagen auf der Basis erneuerbarer Energien in ländlichen Gebieten in Ecuador und Peru zu verbreiten, entwickeln wir Konzepte, die lokalen Stromanbietern helfen, sich zu etablieren. Darüber hinaus erarbeiten wir Vorschläge zur Integration von erneuerbaren Energien in staatliche Programme zur ländlichen Elektrifizierung. Schwerpunkte der Arbeit sind dabei die Entwicklung von technischen Spezifikationen und Richtlinien zur Finanzierung von Projekten, unter Berücksichtigung der rechtlichen Rahmenbedingungen. Im Rahmen von Seminaren schulen wir lokale Betreiber von regenerativen Energieversorgungssystemen.

Brisa Ortiz, Matthias Vetter, Günther Ebert

Der Zugang zu Strom ist essenziell für die Entwicklung ländlicher Gebiete. Eine klassische Netzerweiterung lässt sich jedoch in Entwicklungsländern oftmals nicht ökonomisch durchführen. Dorfstromanlagen auf der Basis von erneuerbaren Energien hingegen ermöglichen eine ökonomische, zuverlässige und umweltfreundliche Stromversorgung. In Peru und Ecuador wurde dies bereits in unterschiedlichsten Projekten erfolgreich demonstriert. In diesen beiden Ländern mangelt es jedoch an einem rechtlichen Rahmen sowie an technischen Spezifikationen für derartige Energieversorgungskonzepte. Vor diesem Hintergrund entwickelt das Fraunhofer ISE gemeinsam mit internationalen Projektpartnern Konzepte zur Etablierung und Unterstützung lokaler Elektrizitätsunternehmen in ländlichen Gebieten in Ecuador und Peru. Hierfür haben wir den aktuellen rechtlichen Rahmen, die verschiedenen Umwelteinflüsse, die finanziellen Randbedingungen und Technologieoptionen erfasst, um dann anhand dieser Daten Lösungsmodelle zu erarbeiten. Für die Unternehmen entwickeln wir ein Handbuch, das institutionelle, ökonomische, finanzielle und technische Richtlinien unter Berücksichtigung der nationalen und regionalen Programme zur ländlichen Elektrifizierung enthält. Seminare sollen den Wissenstransfer zwischen den beteiligten Institutionen, Regionen und Unternehmen fördern.



Abb. 1: Dorfstromversorgung mit einer Kleinwasserkraftanlage. In Peru und Ecuador wurden bereits in unterschiedlichsten Projekten derartige Anlagen auf der Basis erneuerbarer Energien erfolgreich eingesetzt. Jedoch mangelt es an einem rechtlichen Rahmen sowie an technischen Spezifikationen für eine Verbreitung derartiger Energieversorgungskonzepte im großen Maßstab.

Die Arbeiten werden im Rahmen des internationalen Verbundprojekts »DOSBE« durchgeführt und im Rahmen des EU-Programms »Intelligent Energy Europe« gefördert.

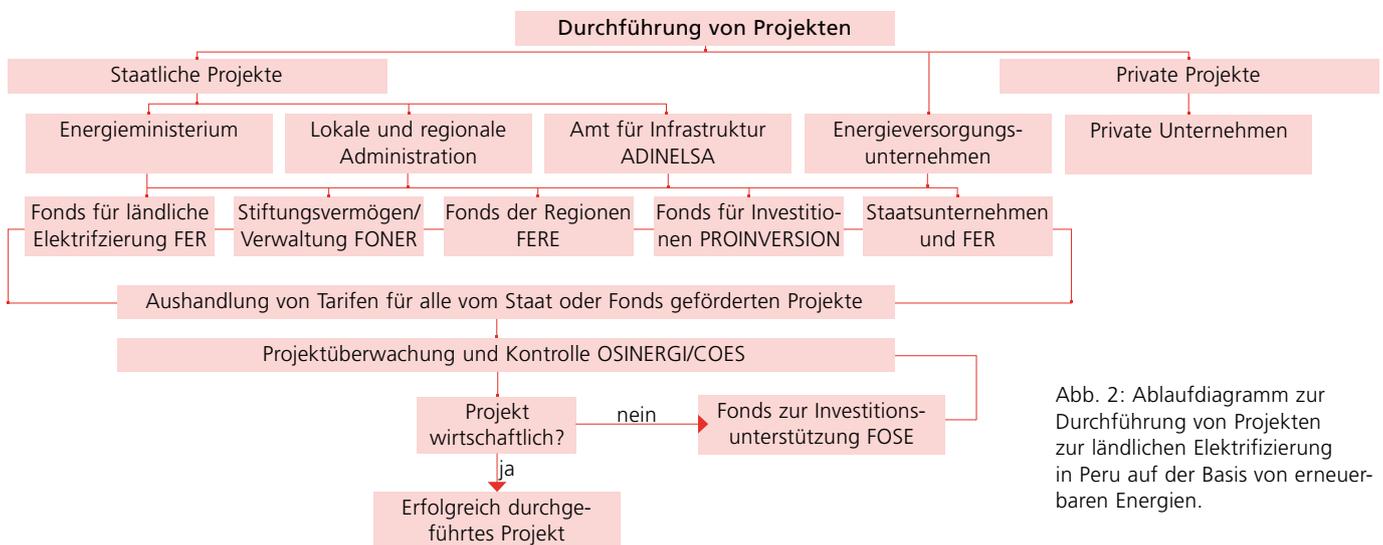


Abb. 2: Ablaufdiagramm zur Durchführung von Projekten zur ländlichen Elektrifizierung in Peru auf der Basis von erneuerbaren Energien.

Kleine PV-Wasserpumpen mit großer Wirkung auf ländliche Einkommen im südlichen Afrika

Der Einsatz erneuerbarer Energietechnologien mit kleiner und mittlerer Leistungskapazität hat das Potenzial, die Armut im südlichen Afrika zu verringern. In einer sozialwissenschaftlichen Feldstudie erfasste das Fraunhofer ISE die Lebensbedingungen von Kleinbauern in Sambia und konnte auf der Basis ihrer Erwerbssituation Photovoltaik-Systemlösungen mit möglichen Finanzierungsmodellen entwickeln.

Frank Fleischhauer, **Sebastian Gölz**,
Christof Weber, Günther Ebert

Die ländliche Bevölkerung in der Region Katuba (ein Siedlungsgebiet mit 9.631 Einwohnern in 1.726 Haushalten) in Sambia geht hauptsächlich landwirtschaftlichen Tätigkeiten nach – zumeist in Form der Subsistenzwirtschaft. Für die meisten Familien ist der Obst- und Gemüseanbau in kleinen Gärten eine Einkommensquelle. Die Ernte wird auf dem regionalen Markt oder in der etwa 20 km entfernten Hauptstadt Lusaka verkauft. Diese Einkommensquelle könnte gesteigert werden, wenn es außerhalb der Regenzeit die Möglichkeit der Bewässerung gäbe. Um den Wasserbedarf in der Trockenzeit zu decken, haben wir eine Systemlösung für photovoltaisch betriebene Wasserpumpen (150 Wp PV für 4,2 m³/Tag bei 10 m Pumphöhe) entwickelt. Neben technischen und sozio-ökonomischen Parametern wurden die jeweiligen Vorteile von PV- und Diesel-Wasserpumpen bei der Systementwicklung berücksichtigt: Während PV-Wasserpumpen vor allem ein geringer Wartungsaufwand, eine einfache Installation und eine lange Lebensdauer auszeichnet, sprechen für die



Abb. 1: Trinkwasser und Brauchwasser wird in Katuba aus Brunnenlöchern, Flüssen und einem kleinen Stausee gewonnen. Die Bevölkerung ist von der Lage der Wasserstellen und den Mitteln zum Wasserschöpfen – typischerweise mit der Hand – abhängig.

Dieselwasserpumpe vor allem geringe Investitionskosten, ihre heute schon existierende Verbreitung und damit die technische Expertise der Betreiber sowie der mobile Einsatz der Pumpe.

Mobilität ist angesichts der Siedlungs- und Anbaustruktur in Katuba sowie aufgrund der Finanzierungsmodelle ein zentraler Faktor für den Erfolg. Somit kann eine hohe Auslastung der PV-Wasserpumpen durch den Verleih an verschiedene Bauern erreicht werden. Auf diese Weise kann ein »Fee-for-Service« Ansatz entwickelt werden, bei dem die Nutzungsgebühren für die Kleinbauern bezahlbar bleiben und der Verleiher mit seinen Einnahmen ein gewinnbringendes Geschäft aufbauen kann.

Die Arbeiten erfolgten im Rahmen des EU-Projekts »Renewable and Efficient Energy for Poverty Alleviation in Southern Africa (REEPASA)«. Partnerländer im Projekt sind Sambia, Swaziland, Mozambique und Südafrika.



Abb. 2: In einer Befragung wurde gemeinsam mit sambischen Bauern deren bisherige Anbauaktivitäten und Einkommen analysiert. Gemeinsam mit dem Partner »Centre for Energy, Environment and Engineering Zambia (CEEEZ)« wurde der genaue Energiebedarf ermittelt sowie mögliche Organisations- und Finanzierungsansätze entwickelt und vor Ort in ein neues Projekt integriert.

Neue Kommunikationsstandards für PV-Hybridsysteme

Das von uns entwickelte »Universal Energy Supply Protocol (UESP)« für die innovative Betriebsführung von PV-Hybridsystemen wurde einer Standardisierung zugeführt. So haben wir für das Lastmanagement und die Energieverteilung in PV-Hybrid-Dorfstromanlagen »Energy Dispenser«-Geräte mit einem Interface für die herstellerunabhängige Kommunikation mit einer übergeordneten Betriebsführungseinheit ausgerüstet.

Georg Bopp, Matthias Vetter, Jakob Wachtel, Michael Zillgith, Günther Ebert



Abb. 1: PV Laderegler »Taron« der Firma Steca für 24 V/70 A mit UESP-Interface. Das UESP-Interface besteht aus einem kleinen Embedded System der Firma SSV mit einem 32 Bit Coldfire Prozessor (unten rechts im Foto). Das Fraunhofer ISE hat in dieses Interface das UESP-Protokoll samt Netzwerkmanagement unter dem Betriebssystem Linux implementiert. Dasselbe Embedded System wird für das CANopen-Interface des »Energy Dispensers« (Abb. 2) verwendet.



Abb. 2: Der »Energy Dispenser« verteilt eine bestimmte Energiemenge pro Tag. Steht im System insgesamt viel Energie zur Verfügung (z. B. bei Sonnenschein), können die Nutzer doppelt soviel Energie für den gleichen Preis verbrauchen. Im umgekehrten Fall (z. B. nachts bei fast leerer Batterie) wird für den gleichen Preis nur die Hälfte der Energie geliefert. Sein proprietärer Kommunikationsbus wurde von uns durch ein universelles CANopen-Interface mit standardisierten Befehlen für Ein-/Ausgabegeräte ersetzt.

Auf Initiative des Fraunhofer ISE und mehrerer Photovoltaik-Firmen wurde im Jahr 2007 in der »CAN (Controller Area Network) in Automation (CIA) Organisation« die neue Special Interest Group (SIG) »Battery-Based Decentralized Energy Supply Systems« gegründet. Dort wird ein standardisiertes und herstellerunabhängiges Kommunikationsprotokoll für netzunabhängige PV-Hybridsysteme erarbeitet. Als Grundlage dient das am Fraunhofer ISE zusammen mit Industriepartnern, u. a. der Firma Steca, entwickelte Universal Energy Supply Protocol (UESP). UESP ermöglicht die Vernetzung und optimierte Betriebsführung der Systemkomponenten, vereinfacht die Planung und Installation von Photovoltaik-Hybridsystemen und führt gleichzeitig zu einem kostenoptimierten und zuverlässigen Betrieb des Systems. UESP kommuniziert bereits über den CAN Bus, benutzt aber noch ein herstellereigenes Netzwerkmanagement. Im Rahmen der Standardisierung wird das Netzwerkmanagement durch den Industriestandard CANopen ersetzt und der Anwendungsbereich auf alle Arten netzunabhängiger Energieerzeugungssysteme mit Batteriespeicher erweitert.

Im Jahr 2007 haben wir zwei PV-Hybridsysteme mit UESP aufgebaut und für den »Energy Dispenser« der spanischen Firma TTA ein CANopen-Interface programmiert. Der »Energy Dispenser« ist ein intelligenter Stromzähler und dient der gerechten Verteilung begrenzter Energiemengen und der optimalen Ausnutzung verfügbarer Solarenergie in PV-Hybridsystemen. Sein proprietärer Kommunikationsbus wurde von uns durch ein universelles CANopen-Interface ersetzt. Der »Energy Dispenser« kann somit in Zukunft herstellerunabhängig in jedem PV-Hybridsystem eingesetzt werden.

Die Arbeiten werden im Rahmen von Projekten des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) und der Europäischen Union gefördert.

Online-Detektion von Fouling-Schichten auf technischen Oberflächen durch Ultraschallreflektometrie

Die Entwicklung geeigneter Methoden zur Detektion störender Ablagerungen (Fouling) auf technischen Oberflächen wie Wärmeübertragerflächen und insbesondere auf Membranen, ist Gegenstand eines laufenden Forschungsvorhabens. Die Online-Detektion von Fouling-Schichten ist Grundlage für die zuverlässige Bewertung von Reinigungsmaßnahmen und von präventiven Maßnahmen bei der Betriebsführung. Der optimierten Betriebsführung kommt bei solar betriebenen Wasseraufbereitungsverfahren eine besonders wichtige Rolle zu. Hierzu untersuchen wir die Methode der Ultraschallreflektometrie. Ziel ist die Entwicklung eines Sensorsystems, das in der Lage ist, selbst mikrobiologische Ablagerungen (Biofouling) von wenigen Mikrometer Dicke im laufenden Betrieb zu detektieren.

Daniel Philippen, Matthias Vetter,
Joachim Went, Günther Ebert

Im Kontext der solaren Trinkwasseraufbereitung arbeiten wir an der Realisierung autark betriebener Kleinmembransysteme. Das zentrale Problem dieser Systeme stellt die Deckschichtbildung (Fouling) dar. Die Entwicklung eines Sensors zur Online-Fouling-Detektion zielt darauf ab, die Betriebsführung der Membrananlagen zu optimieren und Reinigungsmaßnahmen gezielt einsetzen zu können.

Mit einem ersten Funktionsmuster konnten wir bereits Schichtdicken von weniger als 5 µm auf Membranoberflächen verlässlich detektieren. Gemeinsam mit der Firma Gampt mbH aus dem Bereich der Medizintechnik haben wir die Weiterentwicklung eines Ultraschall-Schichtdickenmessgerätes begonnen. Am Fraunhofer ISE haben wir spezielle Testzellen entwickelt, die einen definierten Deckschichtaufbau auf Flachmembranen ermöglichen. Damit können wir gezielt unterschiedliche Fouling-Arten simulieren. Besonders vorteilhaft sind transparente Testzellen, da mit ihnen bei laufender Querstromfiltration farbige Deckschichten erzeugt werden können, deren Aufwachsen visuell beobachtet und gleichzeitig deren Dicke mit der neuen Detektionsmethode gemessen werden kann. Besonders interessant ist diese Methode, weil es uns gelungen ist, selbst beim Aufwuchs einer Schicht aus mikrobiologischem Fouling (Biofouling), die Schichtdicke mit einem Weg-

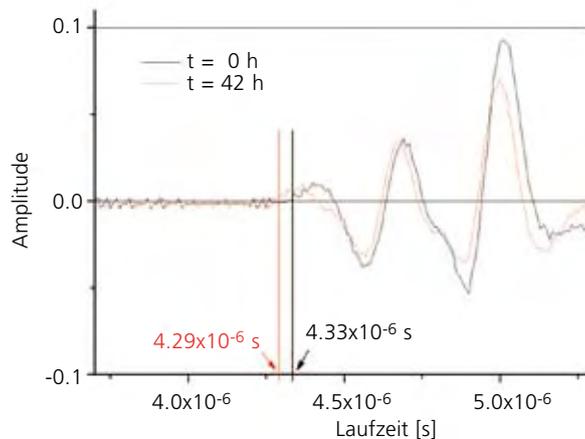


Abb. 1: Reflexionssignal des Ultraschalls von der Membran- bzw. Deckschichtoberfläche (10 MHz-Wandler) bei einer Temperatur $T = 24,8^\circ\text{C}$. Die vertikalen Linien markieren die Zeitpunkte, zu denen die Impulse beim Wandler eintreffen. Der Referenzimpuls der sauberen Membran (schwarz) trifft nach $4,33\ \mu\text{s}$ beim Wandler ein, der nach 42 h Filtrationszeit aufgenommene Impuls (rot) bereits nach $4,29\ \mu\text{s}$. Daraus lässt sich eine Schichtdicke von $30\ \mu\text{m}$ berechnen.

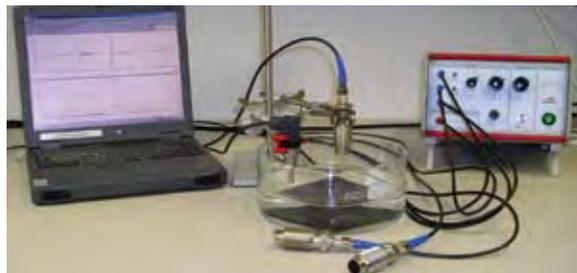


Abb. 2: Funktionsmuster des Fouling-Messgeräts. In der Bildmitte und im Vordergrund sind die Ultraschallwandler (blaue Anschlüsse) sowie der Temperaturfühler zu erkennen. Rechts im Bild sieht man den Impulsgeber mit integriertem Messverstärker, links im Bild den Messrechner mit graphischer Mess- und Auswertesoftware.

längenunterschied von etwa $30\ \mu\text{m}$ korrekt zu messen. Eine verlässliche Detektion von störendem Biofouling im laufenden Betrieb kann den Einsatz von Betriebsmitteln wie Bioziden oder Antiscaling-Chemikalien während des Betriebs erheblich reduzieren. Mit der Weiterentwicklung des Sensorsystems haben wir die Chance, Problemlösungen für eine Reihe von technischen Prozessen anbieten zu können, die durch Fouling beeinflusst werden. Darüber hinaus können wir damit einen wirtschaftlicheren und umweltfreundlicheren Betrieb ermöglichen.

Die Arbeiten wurden von der Firma Gampt mbH und durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) im Rahmen des Forschungsprogramms ProInno II gefördert.

Autark arbeitende Membransysteme durch Ultraschallreinigung für die dezentrale Wasseraufbereitung

Im Laufe der letzten drei Jahre haben wir uns intensiv mit den Möglichkeiten einer rein mechanischen Reinigung von Membranen in Wasseraufbereitungssystemen beschäftigt. Jetzt sind wir in der Lage, Systeme anzubieten, die ohne den Zusatz von Reinigungschemikalien betrieben werden können. Ergebnis der Entwicklungsarbeiten ist ein Ultraschall unterstütztes Reinigungssystem im Produktionsmaßstab. Mit Erfolg haben wir das Funktionsmuster des mit Ultraschallwandlern ausgestatteten Membranmoduls mit Flusswasser aus der »Dreisam« in Freiburg betrieben.

Simone Herold, Monika Gidt, Heiko Pawelczyk, **Joachim Went**, Günther Ebert

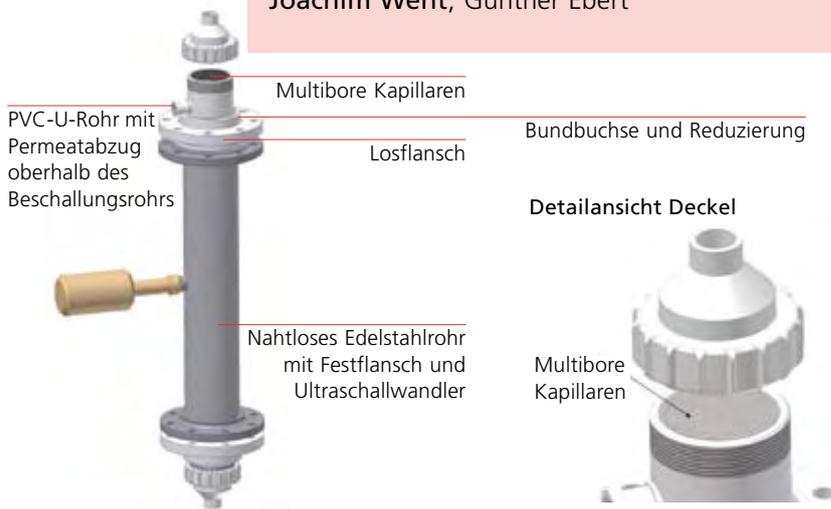
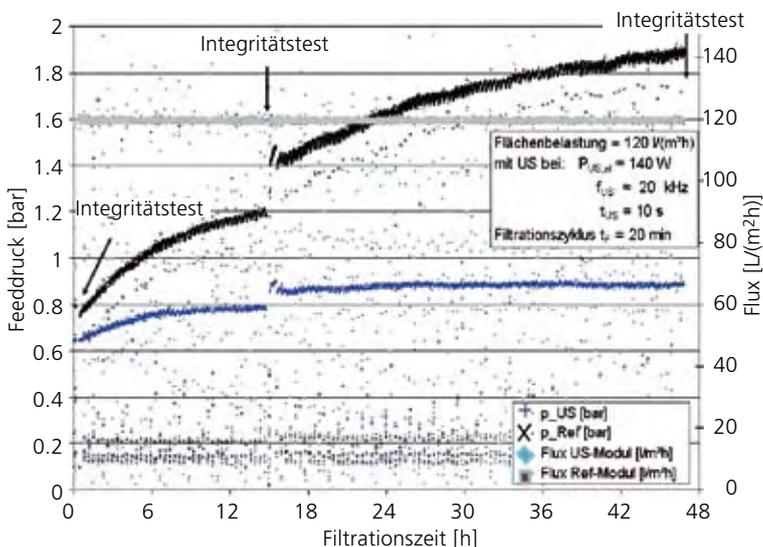


Abb. 1: Konstruktion eines Ultraschallmembranmoduls für das Kapillarmodul-dizzer 450 der Fa. Inge AG. Ein handelsübliches Ultrafiltrationsmodul wird von einem schwingungsfähigen Edelstahlrohr zur Ultraschalleinkopplung ummantelt. Dieses Modul arbeitet mit Kapillarmembranen aus Polyethersulfon mit einer Trenngrenze von 150 kDa. Das Modul hat insgesamt eine aktive Membranfläche von 4,5 m².



Erstmals ist die Skalierung eines Ultraschallmembranreinigungssystems aus dem Labormaßstab auf den Produktionsmaßstab von Kleinmembransystemen in einem Rahmen gelungen, bei dem sich der apparative und energetische Aufwand abbilden lässt. Durch Langzeittests mit natürlichem Oberflächengewässern haben wir verlässliche Ergebnisse in Bezug auf das Reinigungsverhalten der Methode erhalten.

Das Konzept des »Ultraschall-unterstützten-Rückspülens« stellt einen realisierbaren Weg für die Ultraschallmembranreinigung dar. Zudem sind die zu erwartenden Kosten für die Produktumsetzung kalkulierbar. Dieser Ansatz nutzt energetische Vorteile sowie Vorteile in Bezug auf die Deckschichtbildung von größeren Membranflächen.

Langzeitversuche, die Vermessung des Schallfeldes in den Modulen und die Verwendung unterschiedlicher Membranmaterialien haben verschiedene Optimierungsansätze für die Produktentwicklung aufgezeigt. Die Erkenntnisse aus dem Forschungsvorhaben bieten erstmals einen Überblick über die technische Anwendung der Ultraschallreinigung auf empfindlichen Oberflächen und die Wirksamkeit der »weichen« Kavitation (Hohlraumbildung in einer Flüssigkeit) als Reinigungswirkung. Bei der Anwendung der Ultraschallreinigung auf porösen Membranen kann die Kavitationsaggressivität über die Einstellung des Druckabfalls und die gezielte Verwendung des Rückspülfluids kontrolliert werden.

Die Arbeiten wurden von den Firmen ITN-Nanovation AG, Hielscher Ultrasonics GmbH und Grünbeck Wasseraufbereitung GmbH sowie durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) im Rahmen des Forschungsprogramms »InnoNet« unterstützt.

Abb. 2: Die Grafik zeigt einen zweitägigen Ausschnitt aus einem Dauertest. Bei einer Flächenbelastung von 120 l / (m²h) und einem Reinigungsintervall von 20 min entwickelt sich der Druckanstieg für das Ultraschallmodul (blaue Markierung) und das Referenzmodul ohne die Ultraschallausrüstung (schwarze Markierung) sehr unterschiedlich. Während sich der Druck bei dem Ultraschallmodul stabilisiert, steigt der Druck im Referenzmodul aufgrund der schlechteren Reinigung immer weiter an.

Batteriemanagementsystem für autonome Stromversorgungssysteme im praktischen Einsatz

Batterien sind in netzfernen Stromversorgungen integraler Bestandteil zum Ausgleich von Differenzen zwischen Erzeugern und Verbrauchern von elektrischer Energie. Am häufigsten werden für diese Aufgabe verhältnismäßig günstige Bleibatterien eingesetzt, deren Lebensdauer jedoch einen kritischen Faktor darstellt. Um die Lebensdauer zu erhöhen, ohne die Verfügbarkeit und die Autonomiezeit der Energieversorgung einzuschränken, haben wir ein Batteriemanagementsystem entwickelt und unter realen Einsatzbedingungen erfolgreich getestet.

Rudi Kaiser, Simon Schwunk, **Robert Thomas**, Matthias Vetter, Günther Ebert

Für einen optimierten Betrieb von photovoltaisch versorgten Inselformen entwickelten wir ein Batteriemanagementsystem, das den Zustand der Batterie (Ladezustand und Alterung) exakt bestimmt, optimierte Ladestrategien einsetzt und durch seine Verschaltung ein Höchstmaß an Flexibilität bezüglich der Betriebsführung der Batterien ermöglicht. Auf diese Art und Weise können wir die Lebensdauer von Batterien in PV-Systemen signifikant erhöhen.

Die Algorithmen für die Bestimmung des Lade- und Alterungszustands zeichnen sich dadurch aus, dass nur leicht zugängliche Messwerte benötigt werden und ohne spezifische Batterieparameter für verschiedene Technologien präzise Ergebnisse ermittelt werden. Bei der Bestimmung des Ladezustands ist weiterhin vorteilhaft, dass im Gegensatz zu anderen Algorithmen keine Vollladungen als Rekalibrierungspunkte benötigt werden. Trotz seiner Funktionalität ist das entwickelte Batteriemanagement ausreichend kompakt, um mit kostengünstiger Hardware auch in kleineren Systemen eingesetzt werden zu können.

Derzeit unterziehen wir das Batteriemanagementsystem einem Feldtest unter realen Einsatzbedingungen auf dem Rappenecker Hof, einer Wandergaststätte im Schwarzwald ohne Netzanschluss (Abb. 2). Diese wird seit 20 Jahren mit einem Hybridsystem, bestehend aus einem Photovoltaikgenerator, einer Windkraftanlage, einem Dieselgenerator und einem Batteriespeicher sowie seit nunmehr vier Jahren einer Brennstoffzelle betrieben.



Abb. 1: Drei der vier installierten Batteriestränge im Rappenecker Hof. Das eingesetzte Batteriemanagementsystem ist in der Lage, den Zustand der Batterien (Ladezustand, Alterung) exakt zu bestimmen, optimierte Ladestrategien einzusetzen und flexibel auf das Verbraucherverhalten sowie die Erzeuger zu reagieren. Dies wird durch die Aufteilung des Speichers in mehrere parallele Stränge erreicht, die unabhängig voneinander geschaltet werden können.



Abb. 2: Das Hybridsystem des Rappenecker Hofes besteht aus einem PV-Generator mit 3,8 kWp, einer Brennstoffzelle mit 1,2 kW, einer Windkraftanlage mit 1 kW, einem Dieselgenerator mit 9,6 kW und einem Batteriespeicher mit einer Kapazität von 62 kWh. Im Rahmen eines Praxistests unterziehen wir das von uns entwickelte Batteriemanagementsystem den Betriebsbedingungen auf dem Rappenecker Hof.

Simulationsbasierte Entwicklung und Optimierung von PV-Hybridssystemen

Für die Planung, Untersuchung und Optimierung von komplexen Energiesystemen auf der Basis von PV-Hybridanlagen ist die Simulation eine unverzichtbar schnelle und kostengünstige Methode. Dazu entwickeln wir effiziente Modelle unter Verwendung modernster Simulationsprogramme. Darüber hinaus setzen wir diese Modelle für die simulationsbasierte Entwicklung von Betriebsführungsstrategien und Komponentenregelungen sowie für Energie- und Batteriemanagementsysteme von PV-Hybridanlagen ein.

Christian Friebe, **Matthias Vetter**,
Simon Schwunk, Günther Ebert

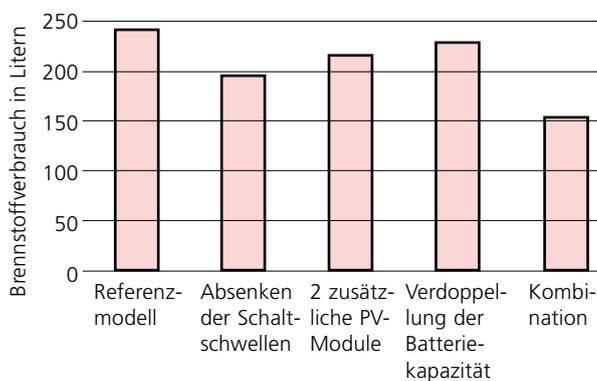
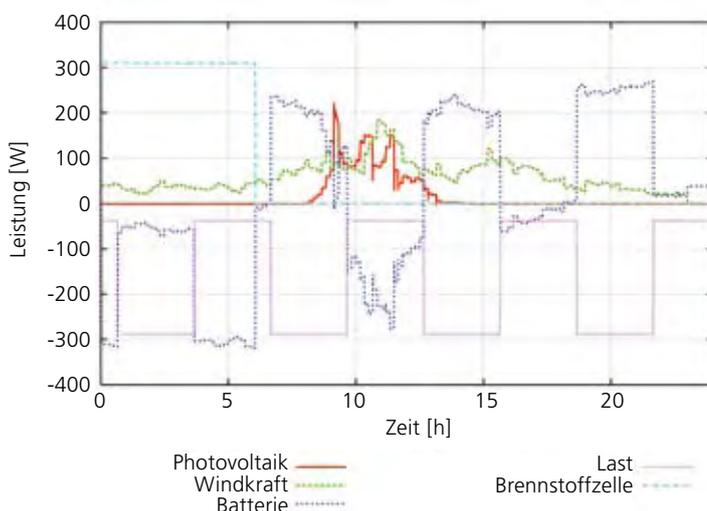


Abb. 1: Einfluss unterschiedlicher Optimierungsmaßnahmen auf den jährlichen Methanolverbrauch einer Brennstoffzelle in einer PV-Hybridanlage. Das Referenzsystem besteht aus einem PV-Generator (6 x 162 Wp), einem Windgenerator (1 kW), einer Direktmethanol-Brennstoffzelle (325 W) und einer Batterie (660 Ah). Die größte Auswirkung auf den Methanolverbrauch wird durch die Änderung der Schaltschwellen des Energiemanagementsystems erreicht. Die rechte Säule stellt das Ergebnis bei Kombination aller Optimierungsmaßnahmen dar.



PV-Hybridanlagen stellen komplexe technische Systeme dar, deren Verhalten je nach Anlagenkonfiguration und Umgebungsbedingungen sehr unterschiedlich ist. Überschlagsrechnungen können dies zumeist nicht erfassen. Daher führen wir detaillierte Systemsimulationen unter Verwendung modernster Simulationsprogramme durch. Um einerseits Regelstrategien zu untersuchen und andererseits eine energetische Bewertung im Jahresverlauf durchführen zu können, entwickeln wir detaillierte aber dennoch effiziente Komponenten- und Systemmodelle. Mit diesem Ansatz sind wir in der Lage, Systeme zu dimensionieren, den Einfluss der einzelnen Parameter zu quantifizieren (Abb. 1), die Anlage zu optimieren sowie Regelungen zu entwickeln, zu verbessern und deren Einfluss auf das Systemverhalten zu untersuchen. Die Regelalgorithmen erstellen wir in ANSI C, die nach erfolgreicher Prüfung direkt auf Microcontroller portierbar sind.

Auf diese Weise haben wir im Rahmen des EVEREST-Projekts ein Energiemanagementsystem entwickelt, das den Systemzustand, wie beispielsweise den Batterieladezustand, richtig erfasst, eine Einsatzplanung für den Tag erstellt (Abb. 2) und für regelmäßige Vollladungen der Batterie sorgt.

Die richtige Funktionsweise der entwickelten Regelalgorithmen auf dem Microcontroller prüfen wir mit Hilfe der so genannten »hardware in the loop«-Methode. Dazu nutzen wir Modelle für den zu regelnden Prozess, die dem Microcontroller simulierte Werte zur Verfügung stellen. Auf diese Art und Weise sind wir in der Lage, Entwicklungsprozesse und vor allem die Fehlersuche erheblich zu verkürzen.

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

Abb. 2: Simulierter Verlauf der einzelnen Leistungen in einem PV-Hybridsystem, bestehend aus einem PV-Generator (6 x 162 Wp), einem Windgenerator (1 kW), einer Direktmethanol-Brennstoffzelle (325 W) und einer Batterie (660 Ah) zur Versorgung einer autark betriebenen Messstation während eines typischen Wintertages. Die Brennstoffzelle wird an diesem Tag nachts angeschaltet, damit möglichst viel Energie direkt genutzt werden kann und nicht erst in der Batterie zwischengespeichert werden muss.

Energieautarke Aufbereitung von Trinkwasser aus Meer- oder Brackwasser

Am Fraunhofer ISE werden solarthermisch betriebene Wasser-Entsalzungsanlagen entwickelt, die auf dem Prinzip der Membrandestillation beruhen. Wir unterscheiden hierbei zwischen sehr einfach aufgebauten und vollkommen energieautarken Kompaktanlagen für Tageskapazitäten von ca. 150 l je System und Zweikreisssystemen für Tageskapazitäten von mehr als 2000 l. Nach der erfolgreichen Erprobung in Pilotanlagen liegt der Schwerpunkt unserer Arbeiten nun auf der Entwicklung eines vermarktbaren Produkts.

Joachim Koschikowski, Georg Mülhöfer, **Matthias Rommel**, Marcel Wieghaus, Hans-Martin Henning

Membrandestillation (MD) ist ein Trennverfahren, bei dem Wasserdampf von einer wässrigen Lösung abgeschieden und durch eine mikroporöse Membran getrieben wird. Als treibende Kraft dient hierbei die über eine Temperaturdifferenz erzeugte Wasserdampfpartialdruckdifferenz zwischen den beiden Seiten der Membran. Für Kleinanlagen im Kapazitätsbereich von einigen 100 l/Tag bis hin zu 100 000 l/Tag, die mit Solarenergie oder Abwärme betrieben werden können, hat die MD entscheidende Vorteile gegenüber anderen Verfahren. Ein wesentlicher Aspekt ist hierbei, dass für dezentral einsetzbare, solarbetriebene Anlagen die Membrandestillation einen nur geringen systemtechnischen Aufwand erfordert und ein weitgehend wartungsfreier Betrieb sehr gut möglich ist. Das Fraunhofer ISE hat seit 2004 solar betriebene MD-Pilotanlagen zur Entsalzung von Meer- und Brackwasser im Einsatz. Die Erfahrungen, die wir durch ein kontinuierliches Monitoring der fünf Kompaktanlagen und zweier Zweikreisssysteme unter realen Betriebsbedingungen gewinnen konnten, haben uns die gezielte Weiterentwicklung sowohl der MD-Module als auch des Gesamtsystems hinsichtlich der Ertragssteigerung, Betriebssicherheit und Montagefreundlichkeit ermöglicht.

Simulationsmodelle können wir anhand der Messdaten validieren und zur Optimierung der Systeme nutzen. Weiterhin haben wir uns darauf konzentriert, die Kompaktanlage mit einer Tageskapazität von 100 bis 150 l zu einem vermarktbaren Produkt zu entwickeln. Eine erste Anlage nach neuestem Design haben wir im November 2007 bei einem Kunden auf Teneriffa installiert.

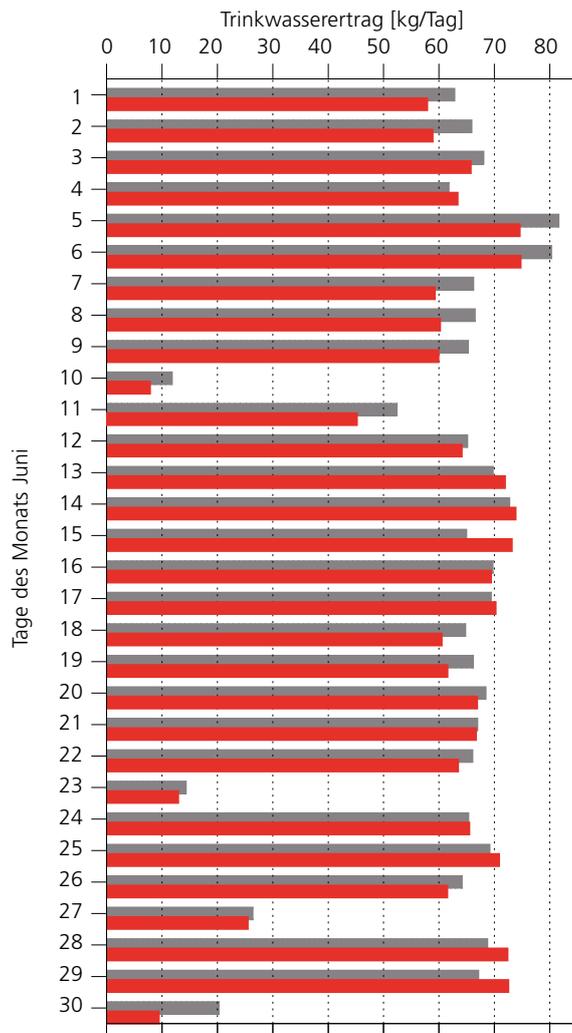


Abb. 1: Vergleich von simulierten (grau) und gemessenen (rot) Trinkwassererträgen pro Tag für den Monat Juni bei einer im Jahr 2004 auf Gran Canaria installierten Kompaktanlage.



Abb. 2: Im November 2007 auf Teneriffa installierte energieautarke Kompaktanlage zur Entsalzung von Meerwasser. Die Tageskapazität beträgt ca. 120 Liter.



RACO POWER
TML 05105 CE 200

SIC-SAFCO
SNAPSIC
105 4P
1000 μ F \pm 20%
500 Vcc .LL.
-55+105°C
05 49 326

CGS SACHSIS
15K J KP KE

V
6

0.47
250-

01A7
01A7

20332

In/ph: 8.33A Pn: 5.75kW

Regenerative Stromerzeugung im Netzverbund

Der Bau netzgekoppelter Anlagen ist heute der weltweit größte Markt der Photovoltaikbranche. Gut ausgestattete Markteinführungsprogramme vor allem in Japan, Deutschland und einigen Staaten der USA, aber auch in europäischen Ländern wie Spanien, Italien, Griechenland, Frankreich und Portugal sorgen für hohe Wachstumsraten. Um dieses Marktwachstum weiter aufrecht zu erhalten, müssen bei sinkender Förderrate auch die Kosten für die Systemtechnik – wie Wechselrichter, Montage- und Verkabelungssysteme – kontinuierlich gesenkt werden. Gleichzeitig steigt die Erwartung an die Qualität und die Lebensdauer der Komponenten.

Wechselrichter zur Netzeinspeisung erreichen heute bereits eine hohe Qualität. Neue Schaltungskonzepte, digitale Regelungstechnik, Fortschritte bei Leistungshalbleitern sowie bei passiven Bauelementen besitzen jedoch noch erhebliche Verbesserungspotenziale, die ausgeschöpft werden können. Hierzu bieten wir spezifisches Know-how an, insbesondere in den Bereichen Schaltungsdesign und -auslegung sowie Dimensionierung und Implementierung von analogen und digitalen Reglern.

Die Qualitätssicherung und die Betriebsüberwachung von PV-Anlagen spielen eine immer wichtigere Rolle, vor allem bei großen, kommerziellen Anlagen. Deshalb entwickeln wir verbesserte Messverfahren und leistungsfähigere Simulations- und Informationstechnologien, die eine Qualitäts- und Ertragssicherung auf allen Ebenen ermöglichen. Dazu beraten wir bei der Anlagenplanung, charakterisieren Solarmodule und führen die technische Bewertung und Leistungsprüfung von PV-Anlagen durch. Unsere Ertragsprognosen bieten höchste Genauigkeit und gelten als Referenz.

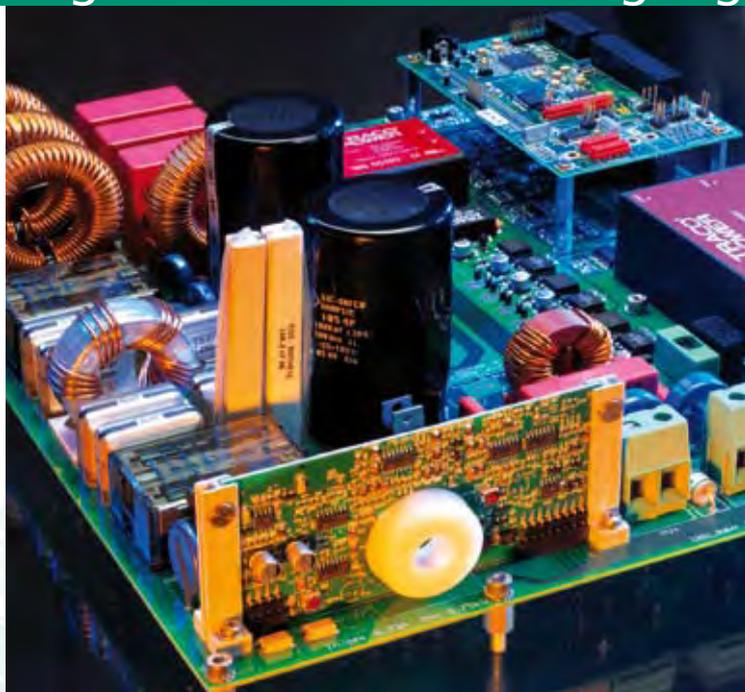
Neben großflächigen photovoltaischen Anlagen können mittelfristig auch konzentrierende photovoltaische Systeme und solarthermische Kraftwerke einen wichtigen Beitrag zur umweltfreundlichen Stromerzeugung leisten. Zur Erreichung höherer Dampftemperaturen forschen wir an der Verbesserung sowohl von Konzentratoroptiken mit Fresnellinsen- und Spiegelsystemen als auch von Absorberschichten in solarthermischen Kraftwerken. Wir unterstützen die Industrie mit unseren optischen und thermischen Messdienstleistungen zur Qualifizierung der Kollektorfelder ebenso wie mit Simulationen zur Auslegung und Optimierung von Gesamtsystemen. Mit unserem Partner PSE GmbH erarbeiten wir neue Konzepte zur Steuerung der Spiegel für Fresnel-Kollektoren. Mit moderner Leistungselektronik und Regelungstechnik optimieren wir den Betrieb der Konzentrator-PV und die Trackeransteuerung.

Optisch konzentrierende PV-Systeme haben das Potenzial, die Stromgestehungskosten für große Kraftwerkseinheiten an sonnenreichen Standorten erheblich zu senken. Für zweiachsig der Sonne nachgeführte Konzentratormodule entwickeln wir Hochleistungssolarzellen, die in Kombination mit preisgünstig hergestellten Fresnellinsen Modulwirkungsgrade von 26 Prozent erzielen. Die Firma Concentrix Solar GmbH, eine Ausgründung aus dem Fraunhofer ISE, baut derzeit ein erstes 500kW-Kraftwerk mit dieser Technologie.

Wegen der Liberalisierung der Strommärkte und der Markteinführung klimaschonender Energietechnologien zur Stromerzeugung steigt der Anteil von PV-Anlagen und anderer dezentraler Stromerzeuger wie Blockheizkraftwerke kontinuierlich an. Viele kleine Erzeuger und beeinflussbare Lasten agieren miteinander und zum Teil auch mit den Gebäuden, in die sie integriert werden. Dies führt zu völlig neuen Anforderungen an Regelung, Betriebsführung, Kommunikation und Datenmanagement von Stromnetzen und von Gebäuden. Wir arbeiten an Steuerungs- und Regelungskonzepten, neuen Simulations- und Managementtechnologien sowie an Planungswerkzeugen für diese Systeme. Fragen der Kosten, der Betriebs- und Versorgungssicherheit sowie der Spannungsqualität stehen dabei im Vordergrund.

Für unsere Arbeiten im Geschäftsfeld »Regenerative Stromerzeugung im Netzverbund« greifen wir unter anderem auf folgende Ausstattung zurück:

- Wechselrichterlabor
- hochpräzise Leistungsmessgeräte für Wechselrichter und Laderegler
- Präzisionsmessgeräte zur Charakterisierung induktiver und kapazitiver Bauelemente
- Messkabine für elektromagnetische Verträglichkeit (EMV)
- Burst- und Surge-Generatoren
- programmierbare Solarsimulatoren und elektronische Lasten
- Entwicklungsumgebungen für Mikrocontroller und Digitale Signalprozessoren (DSP)
- Kalibrierlabor für Solarmodule
- Freiland-Testfeld zur Erprobung von Solarkomponenten
- Entwicklungsumgebungen für Regelungen auf der Basis von »embedded systems«
- Labor zur Entwicklung von Lade- und Betriebsstrategien für Batterien
- Prüfeinrichtungen für Batterien in weitem Strom-, Spannungs- und Temperaturbereich.



Dreiphasiger, transformatorloser Wechselrichter mit einer Leistung von 6 kW zur Netzkopplung von PV-Anlagen. Durch den transformatorlosen Aufbau werden hohe Wirkungsgrade erreicht. Dieser Wechselrichter benötigt lediglich eine passive Kühlung mittels eines Kühlkörpers. Vergleichbare Geräte sind häufig mit einer aktiven Kühlung, d. h. einem zusätzlichen Ventilator ausgestattet, der meist während der Lebensdauer des Wechselrichters ausgetauscht werden muss. Durch den Verzicht auf den Transformator verringern sich das Gewicht und die Baugröße des Wechselrichters, wodurch Kosten eingespart werden können.

Die dreiphasige Netzeinspeisung hat den Vorteil einer symmetrischen Netzbelastung – dadurch werden ungewollte Schiefasten im Netz vermieden. Zudem kann die Anzahl der benötigten Elektrolytkondensatoren gegenüber einphasigen Wechselrichtern deutlich reduziert werden, was sich ebenfalls positiv auf Lebensdauer und Kosten auswirkt.

Ansprechpartner

Verteilte Erzeugung	Dr. Thomas Erge	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-53 37 E-Mail: Thomas.Erge@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	Dipl.-Ing. Robert Thomas	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-54 19 E-Mail: Robert.Thomas@ise.fraunhofer.de
Monitoring und Demonstrationsprojekte	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 88-51 31 E-Mail: Werner.Platzer@ise.fraunhofer.de

Übergreifende Koordination

Regenerative Stromerzeugung im Netzverbund	Dr. Günther Ebert	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-52 29 E-Mail: Guenther.Ebert@ise.fraunhofer.de
Photovoltaik	Prof. Dr. Gerhard Willeke	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-52 66 E-Mail: Gerhard.Willeke@ise.fraunhofer.de
Gebäude und technische Gebäudeausrüstung	Dr. Hans-Martin Henning	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-51 34 E-Mail: Hans-Martin.Henning@ise.fraunhofer.de

Verfahrensoptimierung und Qualitätssicherung bei Ertragsprognosen

Ertragsgutachten sind ein unerlässliches Werkzeug für die Erstellung von Finanzierungskonzepten größerer Photovoltaikanlagen. Wissenschaftliche Gutachten können innerhalb der angegebenen Genauigkeiten verlässliche Informationen zum langfristigen Mittel des Anlagenenertrags liefern. Zur Sicherstellung der Qualität unserer Gutachten wurden für 15 Standorte in Deutschland, bei denen sowohl Ertragsprognosen erstellt wurden als auch unser Qualitätsmonitoring eingesetzt wird, die Messdaten mit der Prognose verglichen.

Thomas Erge, Klaus Kiefer, Björn Müller,
Christian Reise, Nicole Römer,
Andreas Steinhüser, Günther Ebert

Die Hauptaussage eines Ertragsgutachtens einer Photovoltaikanlage ist der zu erwartende jährliche Energieertrag, als absoluter Wert in kWh und bezogen auf die Anlagengröße in kWh pro kWp. Für die Bewertung der Qualität einer Anlage und auch zum Vergleich von Betriebsdaten aus realisierten Anlagen ist die Performance Ratio (PR), der Anlagenwirkungsgrad, ein wichtiger Parameter und sollte deshalb in einem Gutachten ermittelt werden.

Bei den 15 Standorten in Süddeutschland, bei denen wir sowohl Ertragsprognosen als auch unser Qualitätsmonitoring durchgeführt haben, stimmen die Prognosen sehr gut mit der Realität überein. Für alle Anlagen ohne technische Probleme liegt der Wert der prognostizierten Performance Ratio im Vergleich zu dem mit dem Pyranometer (Einstrahlungsmessgerät) gemessenen Wert im Bereich von +/- 2 % und somit deutlich innerhalb des Bereichs, der in den Gutachten ausgewiesenen Unsicherheiten. Größere Abweichungen sind bei einzelnen Systemen, die technische Probleme aufweisen, zu beobachten.

Für einen direkten Vergleich der prognostizierten und der gemessenen PR müssen Pyranometer-Messungen herangezogen werden. Die Ergebnisse zeigen, dass das Systemverhalten von PV-Kraftwerken sehr gut simuliert werden kann.

Größere Unsicherheiten ergeben sich bei der Bestimmung des langjährigen Mittels der direkten und diffusen Einstrahlung auf die horizontale Fläche und die Berechnung der Einstrahlung auf die Modulebene. Die Gesamtunsicherheit für Ertragsprognosen einschließlich der Unsicherheit für die solare Einstrahlung liegt zwischen 4 und 5 % je nach Standort und technischem Konzept.

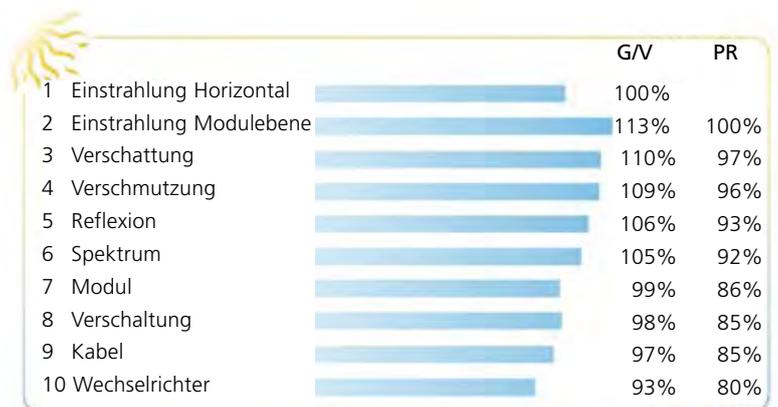


Abb. 1: Typische Rechenschritte, Gewinne und Verluste (G/V) sowie Entwicklung der Performance Ratio (PR) im Rahmen der Ertragsprognose.

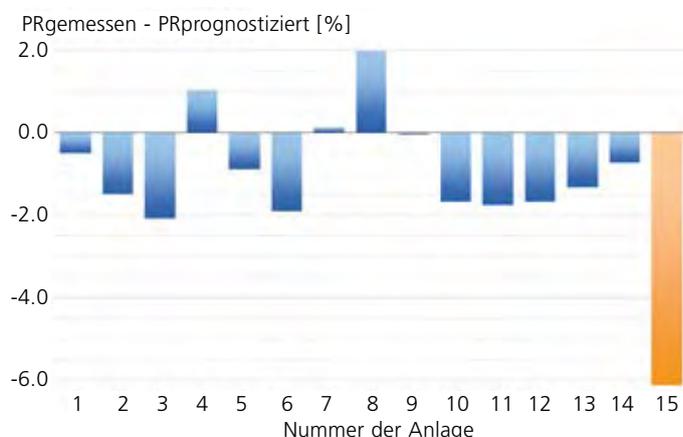


Abb. 2: Vergleich der Performance Ratio laut Prognose mit Pyranometer-Messdaten: positive Werte bedeuten, dass die Messung die Prognose übersteigt, Anlage 15 weist technische Probleme auf.

Performance Analyse und Optimierung von Photovoltaik-Solkraftwerken

Um sicher zu stellen, dass eine Photovoltaik-anlage über einen geplanten Zeitraum von 20 Jahren konstante Erträge liefert, ist eine automatisierte Betriebsüberwachung notwendig. Damit wird eine Anlagenstörung, beispielsweise ein Wechselrichter-ausfall, sofort erkannt. Anhand der Erfassung solarer Einstrahlung mittels kalibrierter Strahlungssensoren und der Erfassung erzeugten Solarstroms mittels eines geeichten Einspeisezählers lässt sich die so genannte Performance Ratio (Anlagenwirkungsgrad) präzise ermitteln. Nicht nur bei den Photovoltaik-Komponenten zählt sich Qualität aus. Eine genaue und zuverlässige Messtechnik sollte im Gesamtsystem inbegriffen sein.

Alfons Armbruster, Wolfgang Heydenreich, Klaus Kiefer, Frank Neuberger, Peter Raimann, Eberhard Rössler, Günther Ebert

Bei sehr guten Anlagen liegt die Performance Ratio bei 80% und darüber. Langjährige Messungen zeigen, dass die jeweiligen Monatswerte geringen Schwankungen unterliegen, der Jahreswert bei störungsfreiem Anlagenbetrieb aber nahezu konstant bleibt. Die Performance Ratio ist also ein wichtiger Faktor für die Anlagenqualität im laufenden Betrieb. Schon in den ersten Monaten ist zu erkennen, ob die in der Ertragsprognose ermittelte Performance erreicht wird. Dadurch erhält man sofort eine Rückkopplung, ob das Solarkraftwerk die Erwartungen erfüllt.

Die Qualität von Photovoltaikanlagen ist in den letzten Jahren kontinuierlich gesteigert worden. So sind in Bayern und Baden-Württemberg zunehmend Erträge von jährlich über 1000 Kilowattstunden aus einem Kilowatt installierter Leistung (ca. acht Quadratmeter Modulfläche nach derzeitigem Stand der Technik) möglich. Bei großen Megawatt-Solkraftwerken, deren gesamtes Qualitätsmanagement – von der Ertragsprognose bis zum Monitoring – das Fraunhofer ISE durchgeführt hat, lag die Performance Ratio im Jahr 2006 durchgehend bei etwa 80% oder teilweise deutlich darüber (Abb. 2).

Die gemessene Einstrahlung auf die geneigte Solargeneratorfläche lag in der Jahressumme im



Abb. 1: PV-Anlage auf dem Solar Info Center in Freiburg: Die 2003 gebaute 50 kWp Anlage erbrachte in den vergangenen Jahren durchgehend optimale Erträge (Angaben: Einstrahlung; Ertrag; Performance Ratio):
 2004: 1240 kWh/m²; 1026 kWh/kWp; 82,7%
 2005: 1252 kWh/m²; 1091 kWh/kWp; 87,2%
 2006: 1279 kWh/m²; 1097 kWh/kWp; 85,8%
 2007: 1300 kWh/m²; 1151 kWh/kWp; 88,6%
 Foto: Andreas Weindel

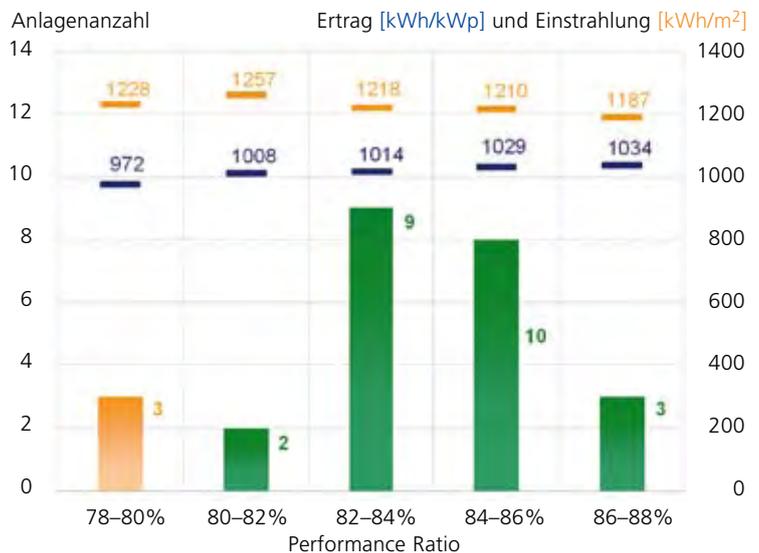


Abb. 2: Verteilung der Performance Ratio für 27 Anlagen in Süddeutschland (grün bzw. orange). Die Anlagen mit einer PR von 78–80% wiesen Teilverschattungen auf. Blau dargestellt ist der jeweilige mittlere Ertrag für die Anlagen im gleichen Performance-Bereich; gelb entsprechend die mittlere Solare Einstrahlung. Man erkennt die enge Kopplung von Ertrag und Performance Ratio. Einstrahlung und PR sind hingegen unabhängig voneinander.

Mittel etwa bei 1220 kWh/m². Die höchste Einstrahlung wurde 2007 mit 1300 kWh/m² in Grünstadt in der Südpfalz gemessen. Alle Anlagen mit Erträgen unter 1000 kWh/kWp sind teilweise verschattet und nicht optimal ausgerichtet. Maximale Erträge lassen sich selbst mit optimaler Technik nur an verschattungsfreien Standorten erzielen.

Die besten Anlagen erzielten Erträge im Bereich von 1050 kWh/kWp und 1100 kWh/kWp.

Wechselrichter mit SiC-MOSFETs

Siliziumkarbid (SiC) ist ein Halbleitermaterial, das durch seine herausragenden Eigenschaften in den letzten Jahren vermehrt in der Leistungselektronik eingesetzt wurde. Das SiC kam zunächst bei Dioden zum Einsatz, bald auch bei Bipolartransistoren, JFETs und seit neuestem bei MOSFETs. Wir erkannten die Möglichkeiten, die sich hierdurch für PV-Wechselrichter ergaben. Die Firma CREE® war von unseren Ideen überzeugt und überließ uns als einzigem Forschungsinstitut außerhalb der USA Labormuster der ersten SiC-Leistung-MOSFETs.

Bruno Burger, Dirk Kranzer, Sascha Lehrmann, Olivier Stalter, Günther Ebert

Neben Zuverlässigkeit ist der Wirkungsgrad das Hauptkriterium bei PV-Wechselrichtern. Bestimmt wird dieser überwiegend durch die Schaltverluste der eingesetzten Transistoren. Die neuen SiC-MOSFETs vereinen niedrigen Durchlasswiderstand und kurze Schaltzeiten und sind damit für PV-Wechselrichter besser geeignet als vergleichbare Silizium-IGBTs. Die eingesetzten Muster, die uns die Firma CREE® überlassen hatte, waren Laborprototypen und das Datenblatt enthielt nur unvollständige Angaben. Daher stellte der MOSFET letztlich für uns eine »Black Box« dar. Mit unseren für die Charakterisierung von Transistoren entwickelten Messaufbauten erfassten wir die Schaltzeiten, die Schaltenergien und den Durchlasswiderstand bei unterschiedlichen Temperaturen und Gate-Spannungen. Dieses Messverfahren ermöglicht uns die genaue Modellierung von Transistoren, und wir erhalten damit aussagekräftige Vergleiche für unterschiedliche Halbleiterbauteile bei Topologie-studien.

Siliziumkarbid ist durch seinen aufwändigen Herstellungsprozess – verglichen mit Silizium – ein sehr teures Halbleitermaterial. Man findet es deswegen trotz seiner herausragenden Eigenschaften nur in wenigen Anwendungen der kommerziellen Leistungselektronik. Aber gerade



Abb. 1: Einphasiger PV-Wechselrichter in HERIC®-Topologie. 5 kW Nennleistung, 350 V Zwischenkreisspannung und 16 kHz Schaltfrequenz. Die Entwicklung erfolgte im Auftrag eines Industriepartners.

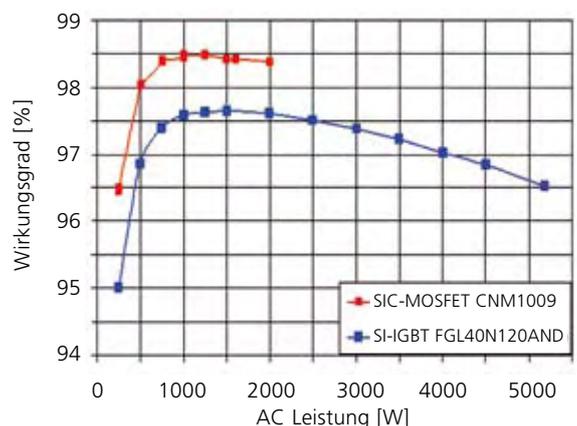


Abb. 2: Wirkungsgradvergleich des einphasigen HERIC®-PV-Wechselrichters. Da die MOSFETs nicht auf die volle Leistung des Wechselrichters spezifiziert sind, wurde in diesem Fall die Kurve nicht bis zur Nennleistung aufgenommen. Mit 98,5% maximalem Wirkungsgrad haben wir erneut einen Weltrekord im Bereich der PV-Wechselrichter aufgestellt.

hier eröffnen sich durch den Einsatz in PV-Wechselrichtern für den Massenmarkt neue Möglichkeiten. Aufgrund der Einspeisevergütung ist der Mehrwert, den man durch einen höheren Wirkungsgrad über die Lebensdauer erzielt, deutlich höher als die zusätzlichen Kosten, die durch das teure Halbleitermaterial entstehen. Um dies zu zeigen, haben wir bei einem einphasigen (Abb. 1) und einem dreiphasigen (Abb. 4) PV-Wechselrichter – beide Geräte wurden von uns für Industriepartner entwickelt – die eingebauten IGBTs durch die Prototypen der SiC-MOSFETs ersetzt. Weitere Änderungen wurden nicht vorgenommen.

Die einphasige HERIC®-Topologie mit bis zu 850 V Betriebsspannung besitzt bereits einen hohen Wirkungsgrad, so dass der maximale Wirkungsgradgewinn von 0,8% gering erscheinen mag. Betrachtet man ihn jedoch vor dem Hintergrund, dass in der Regel ganze Entwicklungsabteilungen damit beschäftigt sind, den Wirkungsgrad um ein, zwei Zehntel Prozent zu erhöhen, stellt er einen großen Fortschritt dar, da wir hier lediglich die Transistoren ausgetauscht haben. So wurde ein neuer Wirkungsgradrekord von 98,5% für PV-Wechselrichter aufgestellt, der bei einem angepassten System noch weiter erhöht werden wird.

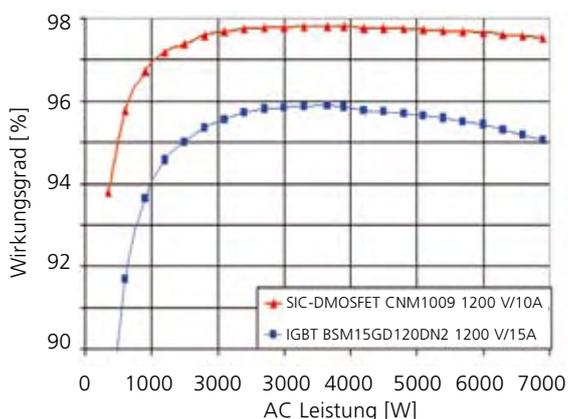


Abb. 3: Wirkungsgradvergleich des dreiphasigen Wechselrichters bei Bestückung mit IGBTs und mit SiC-MOSFETs. Mit IGBTs werden 95,1% erreicht und mit MOSFETs 97,5%. Dies ist ein Zugewinn von 2,4%. Bei der Wirkungsgradmessung wurden die gesamten Verluste des Systems einschließlich der Ansteuer- und Regelungselektronik berücksichtigt.

Noch deutlicher fiel der Zuwachs bei einem dreiphasigen Wechselrichter bei einer Betriebsspannung von 750 V aus. Die Steigerung des europäischen Wirkungsgrads um 2,4% war beträchtlich (Abb. 3). Was im ersten Augenblick unspektakulär wirkt, entspricht einer Halbierung der Verlustleistung. Hinzu kommt, dass diese Steigerung auch hier ohne Anpassung des Systems erreicht wurde! Wir gehen davon aus, dass wir mit einer Neuentwicklung auch bei dem dreiphasigen Wechselrichter einen maximalen Wirkungsgrad von 98,5% bei reduziertem Gesamtvolumen erreichen und damit neue Maßstäbe für PV-Wechselrichter setzen werden.

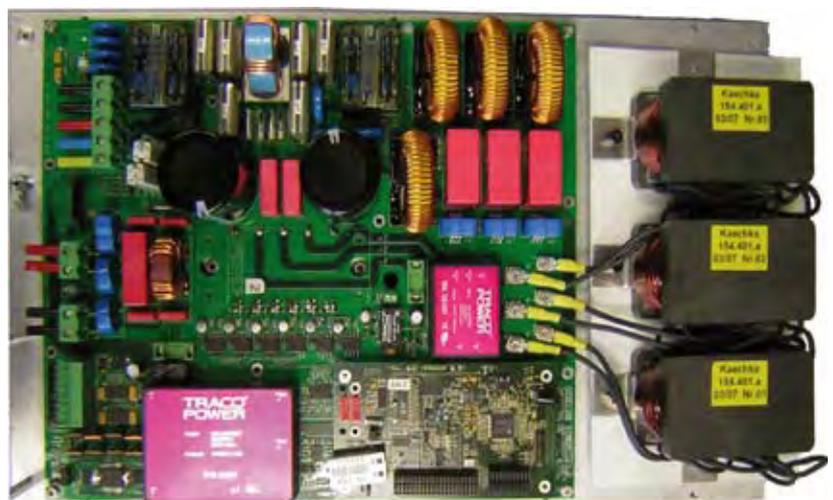


Abb. 4: Am Fraunhofer ISE entwickelter Wechselrichter zur dreiphasigen Einspeisung. 7 kW Nennleistung bei 750 V Zwischenkreisspannung und 16,6 kHz Schaltfrequenz.

Skalierbares Monitoring-System für Energieanalysen auf der Basis von Embedded Systems

Zur Betriebskontrolle von Energieversorgungssystemen werden immer häufiger Monitoring-Systeme eingesetzt, die den Fernabruf der Betriebsdaten gestatten. Wir haben am Fraunhofer ISE ein skalierbares Monitoring-System auf der Basis von Embedded Systems entwickelt, das den Online-Zugriff ermöglicht. Dabei kommt der GSM-Mobilfunkservice M2M zum Einsatz, der eine Integration von verteilten Rechnern in ein Netzwerk erlaubt.

Rainer Becker, Cedric Buerfent, Rico Werner, Michael Zillgith, **Christof Wittwer**, Günther Ebert

Das neu entwickelte Monitoring-System zur Betriebskontrolle von Energieversorgungssystemen ermöglicht die langjährige Vermessung von energietechnischen Anlagen im Feld. Vor Ort arbeiten Embedded Systems ohne Lüfter und mit flash-basierten Speichermedien. Als Betriebssystem kommt das quelloffene Linux zum Einsatz. Die Systeme erfassen kontinuierlich Messdaten und speichern diese in Form von Tagesdatensätzen ab. Täglich werden die Datensätze über eine VPN-Internetverbindung zum Mobilfunknetzbetreiber auf einen zentralen Server kopiert. Die Embedded Systems sind jederzeit per Internet erreichbar, so dass Wartungsarbeiten und Updates der Software per Fernwartung erfolgen können.

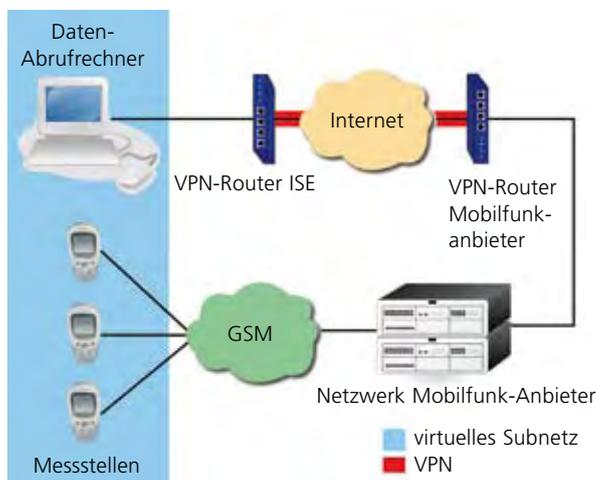


Abb. 1: M2M-Kommunikations-Infrastruktur für skalierbare Monitoring-Systeme auf Basis der GSM-Technologie: Die Messrechner bauen über GSM-Modem eine IP-Verbindung zum Netzanbieter auf, wobei eine VPN-Verbindung den sicheren Zugriff des Abrufservers zum Zielrechner erlaubt.

Wir haben das System skalierbar konzipiert, so dass eine große Anzahl von Anlagen in das Netzwerk integriert werden können und auch eine automatisierte Wartung des Systems erfolgen kann. Derzeit werden in einem großen Monitoringprojekt bereits mehr als 100 über ganz Deutschland verteilte Wärmepumpensysteme mit dieser Technologie vermessen. Das System kann sehr einfach um zusätzliche Messstellen erweitert werden.

Die Hardware des Systems haben wir so ausgelegt, dass beliebige Feldbussysteme und Messsysteme integriert werden können. Das Softwareframework wurde am Fraunhofer ISE entwickelt. Es wird eine flexible und robuste Messsoftware eingesetzt, die eine Erweiterung durch eingebettete Systeme gestattet. Die Abrufmechanismen wurden weitgehend mit Softwarepaketen aus der Linux Community realisiert, die den hohen Anforderungen an Verfügbarkeit und Fernwartbarkeit entsprechen. Systeme dieser Art werden zukünftig bereits für ca. 100 € zur Verfügung stehen.

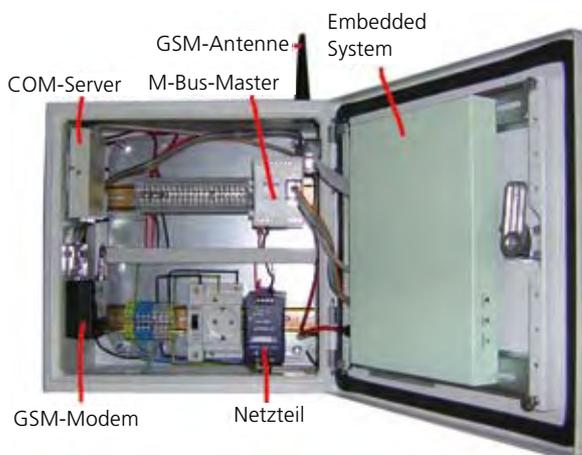


Abb. 2: Systembild: Installationseinheit des Messsystems mit Embedded System – die Monitoring-Systeme werden in Bezug auf ihre individuellen Anforderungen konfektioniert, so dass auch Feldbussysteme, z. B. M-Bus-Zähler integriert werden können.

Praxistest für linearen Fresnel-Kollektor

Die vielversprechende Technologie des linearen Fresnel-Kollektors für solarthermische Kraftwerke wurde am Fraunhofer ISE optimiert. Auf der Plataforma Solar de Almería wurde ein 100 m langer Demonstrationskollektor des Auftraggebers MAN Ferrostaal Power Industries und der Solar Power Group errichtet. Schlüsselkomponenten wie Absorber und Sekundärreflektor sowie optische Qualitätssicherung und Beratung bei Komponentenauslegung und Messwerterfassung gehörten zu unseren Leistungen.

Andreas Georg, Wolfgang Graf,
Anna Heimsath, Christina Hildebrandt,
Nico Lemmert, Gabriel Morin,
Thomas Schmidt, Josef Steinhart,
Markus Tscheche, **Werner Platzler**,
Andreas Gombert

Für solarthermische Kraftwerke, bei denen mit konzentrierter Solarstrahlung Dampf für eine Turbine erzeugt wird, haben wir eine Alternative zu den bisher eingesetzten Parabolrinnen entwickelt – den linearen Fresnel-Kollektor. In langen Reihen verlegte, flache Spiegel werden so ausgerichtet, dass sie die Direktstrahlung auf den Receiver fokussieren, der über den Spiegelreihen verläuft.

Für die Demonstrationsanlage wurden luft- und temperaturstabile selektive Absorberschichten auf ein Stahlrohr gesputtert. Die Sekundärspiegel aus gebogenem Glas, wurden mit einer temperaturstabilen Spiegelschicht versehen. Das Absorberrohr ist für überhitzten Dampf von 450 °C ausgelegt, da die fortschrittliche Direktverdampfungstechnik angewendet wird. Auf Wärmetauscher Öl-Wasser kann verzichtet werden. Während der Erstellung des Spiegelfeldes wurde vor Ort die exakte Form der Primärspiegel mittels eines Streifenreflexionsverfahrens überprüft (siehe auch Beitrag Seite 40 ff.). Spektrometrische Untersuchungen und die Bestimmung der Receiver-Akzeptanz mit einem Bildverfahren rundeten die Vorqualifizierung ab. Aus den im Betrieb gemessenen Temperaturen und Energieströmen können die Wirkungsgrade des Kollektors in Abhängigkeit von Sonnenstand und Betriebstemperaturen bestimmt werden. Erste Feldergebnisse stimmen hervorragend mit den Simulationsergebnissen überein.

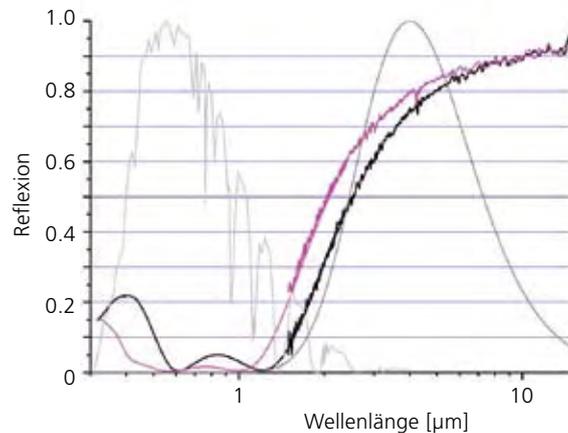
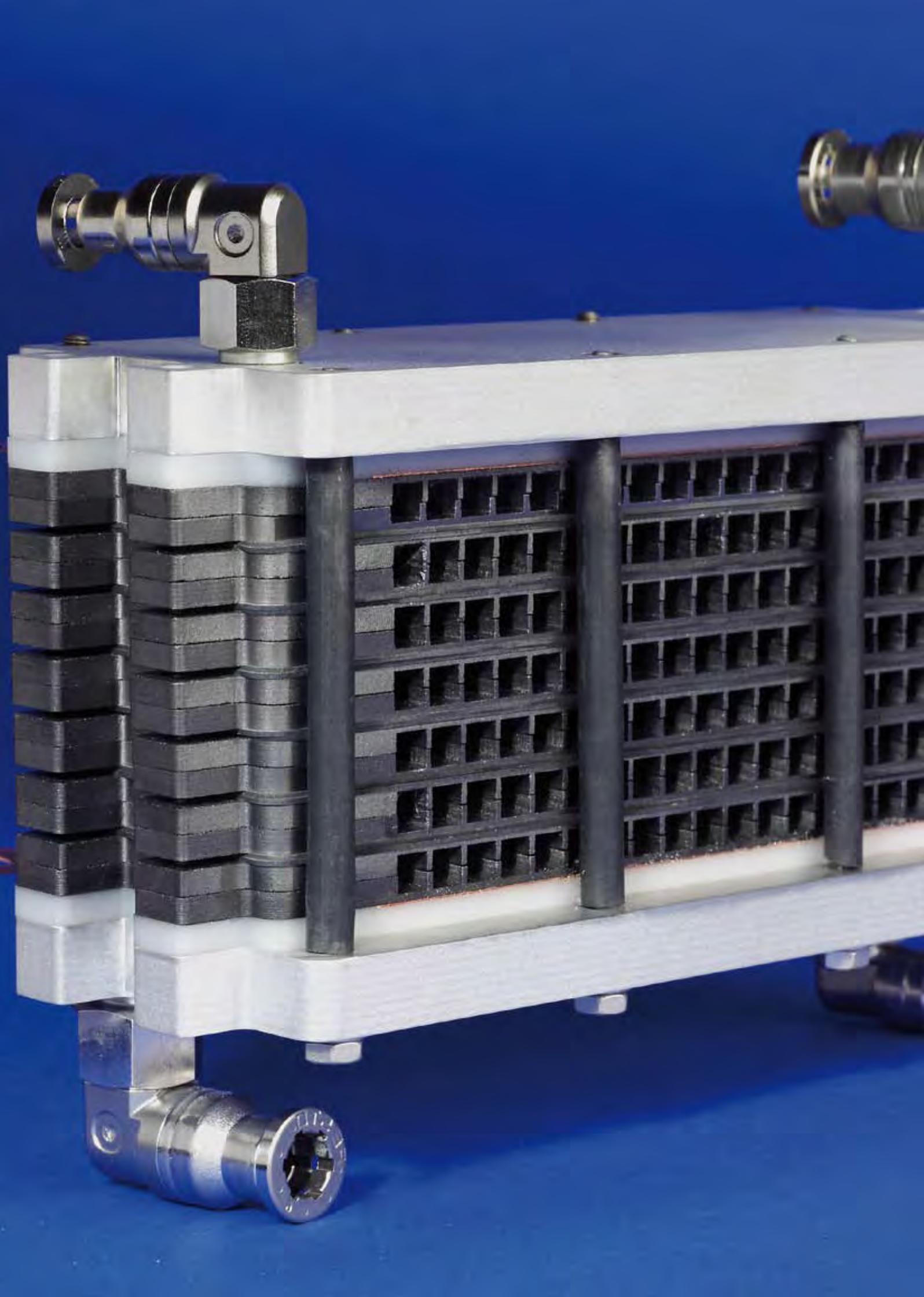


Abb. 1: Spektrale Reflexionskurve eines gesputterten Absorbers unmittelbar nach der Beschichtung (schwarz) und nach dem Ausheizen (violett), aufgetragen über der relativen Intensitätsverteilung der direkten Solarstrahlung (grau, links) und eines Planck'schen Strahlers bei 450 °C (grau, rechts).



Abb. 2: Demonstrationskollektor in Almería. Der Kollektor ist hydraulisch variabel mit der Direktverdampfungsrinne verbunden, so dass unterschiedliche Betriebszustände des Kollektors (Vorwärmung, Verdampfung und Überhitzung) problemlos untersucht werden können.

Unsere Projektpartner waren MAN Ferrostaal Power Industries, Solar Power Group GmbH, Deutsches Luft- und Raumfahrtzentrum (DLR), sowie die PSE GmbH.



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, so genannten 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 gewaltig: 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.

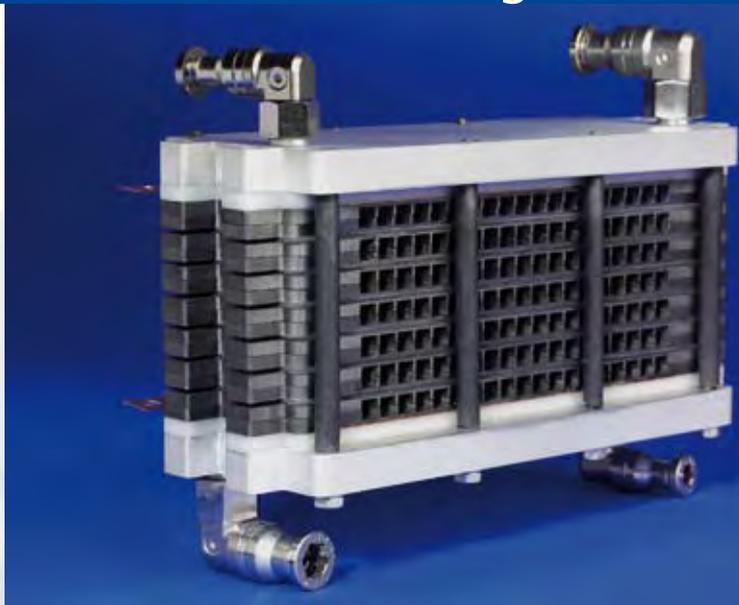
Wir entwickeln Reformersysteme zur Umwandlung flüssiger Kohlenwasserstoffe oder Alkohole. Die Anlagen umfassen den eigentlichen Reformierreaktor und, abhängig vom Typ der nachgeschalteten Brennstoffzelle, auch die Gasaufbereitung zur Erhöhung des Wasserstoffanteils und Reduzierung des Anteils an katalysatorschädigendem 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.

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 Ver-

ständnis der Vorgänge an den Elektroden setzen wir eine Reihe verschiedener Charakterisierungsmethoden wie Rasterelektronenmikroskopie oder Zyklovoltammetrie ein.

Als effiziente, umweltfreundliche, geräusch- und wartungsarme Energiewandler im Leistungsbe- reich von mW bis mehreren hundert Watt setzen wir auf Membranbrennstoffzellen inklusive deren Versorgung mit Wasserstoff oder Methanol. Neben der bekannten Systemarchitektur basie- rend auf Brennstoffzellenstapeln setzen wir einen weiteren Schwerpunkt auf planare, serien- verschaltete Brennstoffzellen in einer Ebene. Dieses Design eignet sich in hervorragender Weise zur flächigen Gehäuseintegration sowie als Teil eines Hybridsystems in Kombination mit der Batterie. Deshalb forcieren wir diese zukunftsweisende Technologie zusammen mit dem Fraunhofer-Institut für Keramische Technologien und Systeme IKTS. Dabei ent- wickeln wir Mikroreformer und Mikrobrenn- stoffzellen, die mit einem kleinen Alkoholtank einen stundenlangen Betrieb portabler Elek- tronikgeräte erlauben werden.

Neben der Komponenten- und Anlagenent- wicklung arbeiten wir an der Integration von Brennstoffzellensystemen in übergeordnete Sys- teme. Wir konzipieren und realisieren die elek- trische Systemauslegung inklusive Spannungs- aufbereitung und Sicherheitstechnik. Damit schaffen wir die Grundlagen für marktfähige Brennstoffzellensysteme. Unser Angebot umfasst insbesondere Brennstoffzellensysteme zur Bord- netzversorgung in Automobilen, Lastkraftwagen, auf Schiffen oder in Flugzeugen sowie autonome Stromversorgungen für netzferne Anwendungen und für portable elektronische Kleinsysteme.



In unseren portablen Brennstoffzellensystemen streben wir auf Grund der besseren Energieeffizienz und der geringeren Baugröße eine Luftkühlung der Brennstoffzellen-Stacks an. Die Abbildung zeigt einen luftgekühlten Test-Stack zur Untersuchung der Temperaturverteilung im laufenden Betrieb. Ziel ist die Minimierung von Temperaturdifferenzen zwischen den Einzelzellen und somit ein optimierter Wasserhaushalt und eine maximale Leistungsdichte.

Der Test-Stack wird in einem Brennstoffzellen-Teststand mit integrierter Klimakammer unter genau definierten Umgebungsbedingungen betrieben. Der Vergleich von gemessener und modellierter Temperaturverteilung gibt Aufschluss darüber, inwiefern Kühlstrukturen, Lüfterposition und andere wichtige Parameter optimiert werden können.

Ansprechpartner

Brennstoffzellensysteme	Dr. Christopher Hebling	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-51 95 E-Mail: Christopher.Hebling@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
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
Marketing	Dipl.-Ing. Ulf Groos	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-52 02 E-Mail: Ulf.Groos@ise.fraunhofer.de

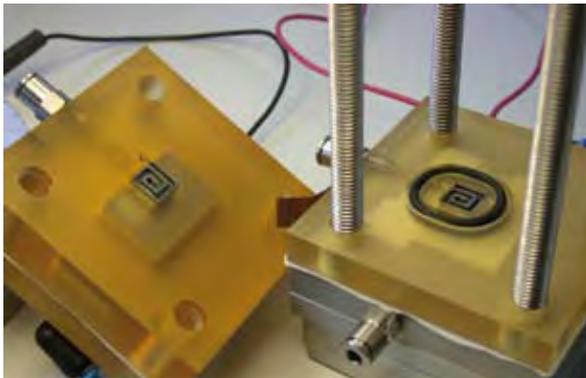
Übergreifende Koordination

Wasserstofftechnologie	Dr. Christopher Hebling	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-51 95 E-Mail: Christopher.Hebling@ise.fraunhofer.de
Netzunabhängige Stromversorgungen	Dr. Günther Ebert	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-52 29 E-Mail: Guenther.Ebert@ise.fraunhofer.de
Gebäude und technische Gebäudeausrüstung	Dr. Hans-Martin Henning	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-51 34 E-Mail: Hans-Martin.Henning@ise.fraunhofer.de

Charakterisierung von PEM- und Direktalkoholbrennstoffzellen

Das Fraunhofer ISE verfügt über sieben Teststände zur *in-situ* Charakterisierung von einzelnen Polymer Elektrolyt Membran (PEM)-Brennstoffzellen, vier Teststände zur Untersuchung von Direktalkoholbrennstoffzellen sowie vier Systemteststände. Damit decken wir den gesamten Kompetenzbereich von der Grundlagenuntersuchung bis zur Regelungsentwicklung kompletter Systeme im niedrigen Leistungsbereich ab. Durch eine deutliche Verstärkung der *ex-situ* Analytik ergänzen wir unser Portfolio hinsichtlich der Material- und Alterungseffektecharakterisierung.

Carsten Agert, Steffen Eccarius, Dietmar Gerteisen, Thomas Jungmann, Timo Kurz, Julia Melke, **Michael Oszcipok**, Christopher Hebling



Das Fraunhofer ISE entwickelt seit Jahren portable PEM-Brennstoffzellensysteme im Leistungsbereich von wenigen 100 mW bis einigen 100 W. Dabei steht eine kontinuierliche Optimierung unserer Entwicklungen im Mittelpunkt. Voraussetzung hierfür ist ein grundlegendes Verständnis der Vorgänge innerhalb unserer Brennstoffzellensysteme.

Die erzielten grundlegenden Einblicke ermöglichen uns zum einen die direkte Weiterentwicklung unserer Technologie, zum anderen erhalten wir wichtige Parameter, die der Validierung der theoretischen Modelle dienen. Die Modellierung der elektrochemischen Vorgänge in den katalytisch aktiven Zonen, die fluidische Auslegung von Brennstoffzellenmodulen bis hin zur simulationsbasierten Regelung kompletter PEM-Brennstoffzellensysteme stützen seit vielen Jahren die Systementwicklungen schon im ersten Entwicklungsschritt.

Abb. 1: Brennstoffzellen mit Referenzelektrode und sehr kleiner Fläche (1 cm²) erlauben uns elektrochemische, katalytische Elektrodenprozesse gradientenfrei zu untersuchen.

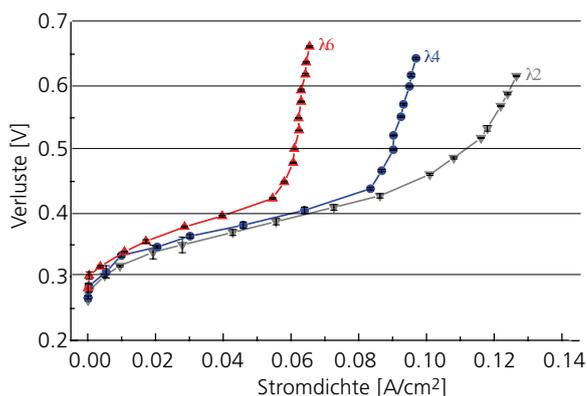


Abb. 2: Referenzzellmessungen zeigen uns die Verluste einer bei 50 °C dampfförmig betriebenen Direkt-Methanol-Brennstoffzelle mit 50 Gew.% Lösung aus Methanol und Wasser. Daraus lernen wir, dass hohe Luftstöchiometrien die Brennstoffkonzentration auf der Anode nachhaltig beeinflussen und wie man den Aufbau solcher Brennstoffzellen optimieren muss.

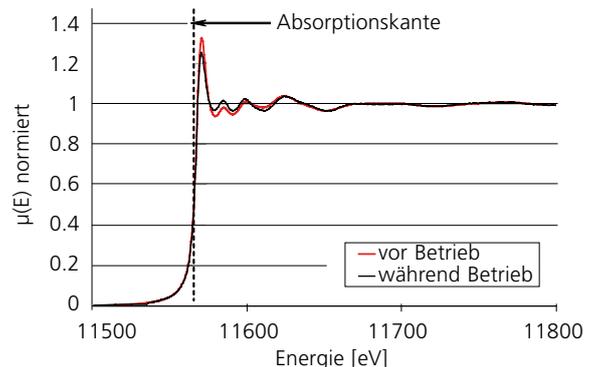


Abb. 3: Röntgenabsorptionsspektren für einen kohlenstoffgeträgerten PtRu Katalysator vor und während des Betriebs mit Ethanol. Der Bereich hinter der Absorptionskante liefert Daten über Partikelgröße und Morphologie des Katalysators sowie deren Änderung während des Betriebs. Der Bereich direkt um die Absorptionskante enthält Informationen zur Adsorbatbelegung.

Die Aussagekraft eines jeden Brennstoffzellenmodells steht und fällt mit seiner Validierung. Darum charakterisieren wir am Fraunhofer ISE Brennstoffzellen sowohl in-situ als auch ex-situ, und das nicht nur nach dem Stand der Technik – wir gehen mit unseren innovativen Ansätzen weit darüber hinaus.

Elektrochemische Vorgänge wie die anodische Oxidation von Methanol und Ethanol untersuchen wir in-situ mit Hilfe von Brennstoffzellen, die mit Referenzelektroden ausgestattet sind (Abb. 1). Durch Referenzzellmessungen können wir Verluste im Betrieb analysieren. In Abb. 2 sind die anodischen Verluste einer Direktmethanolbrennstoffzelle bei variiertem Luftstöchiometrie aufgezeichnet. Der hohe Luftstrom fördert das Austrocknen der Brennstoffzelle. Die sinkende Wasserkonzentration auf der Brennstoffseite und die damit verbundenen Massentransportverluste führen zu einer Reduktion der maximal erreichbaren Stromdichte.

Noch tieferen Einblick in die Reaktionsprozesse unserer Brennstoffzellen im Betrieb (Abb. 3) erlangen wir mittels Röntgenabsorptionsspektroskopie (XAS), die wir am Hamburger Synchrotronstrahlungslabor durchführen. Hierbei erhalten wir Aufschluss über Katalysatorkinetik, Adsorbatbildung und Teilreaktionen, die an den Elektroden ablaufen.

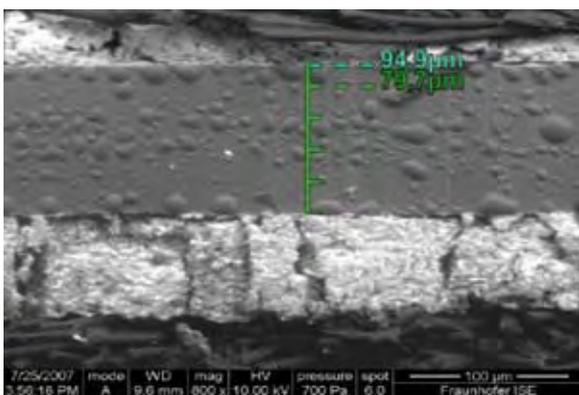


Abb. 4: Wenn wir die Proben um den Tripelpunkt von Wasser analysieren, können wir mit unserem ESEM (Environmental Scanning Electron Microscope) das Quellungsverhalten (siehe Skala) von Membranelektroden-Einheiten studieren. Eine Nafion 115-Membran-Elektroden-Einheit quillt dabei um bis zu 20%. Eisbildung in der Elektrode kann zu deren Zerstörung führen.

Unser Know-how bezüglich des Brennstoffzellenbetriebs ergänzen wir mit modernster ex-situ Analytik. Wir sind in der Lage, unter Zuhilfenahme der Elektronenmikroskopie in Wasserdampf-atmosphäre (ESEM) und der Röntgenanalyse (EDX) Brennstoffzellenkomponenten im mikroskopischen Maßstab in einem Bereich zwischen 0% und 100% relativer Feuchte und in einem Temperaturbereich zwischen -40 °C und 200 °C hinsichtlich Morphologie und elementarer Zusammensetzung zu analysieren (Abb. 4). Mit der integrierten EDX-Einheit (EDAX Genesis) können wir überdies Verunreinigung, Katalysatormigration und andere Degradationsphänomene visualisieren und quantifizieren.

Ergänzend setzen wir unser Inductively Coupled Plasma Massenspektrometer ein, dem derzeit genauesten Verfahren zur Spurenanalyse (Abb. 5). Damit weisen wir kontaminierende Stoffverbindungen oder Korrosionsrückstände aus dem Betrieb von wasserstoff- oder alkohol-versorgten Brennstoffzellen bis in den ppt-Bereich nach.



Abb. 5: Mit unserem Inductively Coupled Plasma (ICP) Spektrometer können wir Korrosionsprodukte oder Katalysatorpartikel aus dem Brennstoffzellenbetrieb nachweisen, um optimierte Materialien zu verifizieren.

Reformer-Brennstoffzellen-Modul für 350 W

Unabhängig zu sein vom öffentlichen Stromnetz mit einem leichten, effizienten Energieerzeuger, der mit einem nachwachsenden Rohstoff als Energieträger versorgt wird – mit diesem Ziel entwickeln wir ein auf Bioethanol basierendes Reformer-Brennstoffzellen-Modul (RBZ-Modul). Die anvisierte Leistung von 350 W ist ausreichend, um z. B. medizinische Geräte, Repeater oder Basisstationen aus dem Bereich der Telekommunikation oder ein Campingmobil mit elektrischer Energie zu versorgen.

**Johannes Full, Lisbeth Rochlitz,
Achim Schaadt, Gerd Schmid,
Philipp Wemhöner, Christopher Hebling**

Am Fraunhofer ISE entwickeln wir derzeit einen kompakten Energieerzeuger bestehend aus einem Wasserstoffgenerator und einer Brennstoffzelle mit einem Akku als Puffer. Die Vorteile dieses Konzepts gegenüber Brennstoffzellensystemen mit Wasserstofftank oder Metallhydridspeicher und gegenüber reinen Akkusystemen liegen in der wesentlich höheren gravimetrischen Energiedichte. Unser System besitzt bei einer Tagesenergiemenge von 8400 Wh nur etwa 50% des Gewichts eines Systems mit Wasserstofftank oder eines reinen Akkusystems und nur 35% des Gewichts eines Systems mit Metallhydridspeicher (s. Abb. 1). Möglich wird dies, weil das umweltfreundliche Bioethanol in flüssiger Form gespeichert wird.

Andererseits wird das System durch den Einsatz des Reformers auch komplexer. Hier erarbeiten wir Lösungsansätze auf der Basis unserer langjährigen und umfangreichen Erfahrungen mit der Reformierung von Kohlenwasserstoffen. In den aktuellen Arbeiten optimieren wir das Reaktor-konzept, indem wir verschiedene Stromführungen, Geometrien und Reformierverfahren testen. Den Anfang bildete ein flacher Reaktor mit integriertem Brenner, Wärmetauscher und Gasreinigungsstufen. Die integrierten Wärmetauscher wurden im nächsten Schritt durch einen Mikrowärmetauscher des Forschungszentrums Karlsruhe ersetzt. Weiterhin setzen wir das Konzept eines zylindrischen Reaktors mit innenliegendem Brenner und integriertem Wärmetauscher um. Im Anschluss an die Messreihen werden wir entscheiden, welches Konzept als Prototyp realisiert wird.

Die Niedertemperaturbrennstoffzelle, die im System zum Einsatz kommt, beziehen wir von der Firma Schunk. Sie ist für den Einsatz von Reformat ausgelegt. Hinsichtlich der Integration der Brennstoffzelle und der Betriebsführung können wir ebenfalls auf langjährige Erfahrung zurückblicken. Wir haben am Fraunhofer ISE bereits zahlreiche Niedertemperaturbrennstoffzellen in Stack- und Planarbauweise entwickelt sowie weitreichende Erfahrungen in der Betriebsführung gesammelt.

Im Juli 2007 haben wir erstmals einen Reformer gemeinsam mit einer Brennstoffzelle betrieben. Ein Diagramm der Brennstoffzelle, das die Stromstärke und Spannung aus dieser Zusammenschaltung zeigt, ist in Abb. 2 zu sehen. Die Dosierung wurde zur Zeit des Versuchs noch nicht mit dem Dosiersystem des Projektpartners Hahn-Schickard-Gesellschaft/Institut für Mikro- und Informationstechnik (HSG-IMIT), sondern mit einer pulsierenden Pumpe realisiert. Die dadurch verursachten Flutungs- und Gasmangel-effekte sind deutlich im Spannungsverlauf zu sehen. Wir erwarten, dass sich diese Effekte durch den Einsatz des neuen Dosiersystems und durch Anpassung des thermischen Managements beider Systeme stark verringern werden.

Eine weitere wichtige Aufgabe ist die Systemintegration, d. h. das Zusammenschalten aller Systemkomponenten und die Betriebsführung des gesamten Systems mit An- und Abfahr-prozedur und Sicherheitskonzept. Dem Sicherheitskonzept geht ein PAAG-Verfahren voraus, das mögliche Gefahren beschreibt und potenzielle Gegenmaßnahmen auflistet. Die ebenfalls von uns entwickelte mikrocontrollerbasierte Regelung des Gesamtsystems gewährleistet einen autarken sicheren Betrieb des Gesamtsystems.

Unsere Projektpartner EGO, Lifebridge, Umicore, HSG-IMIT, DMT, Elbau, Intratec und Magnum sind spätere Anwender des Systems oder unterstützen uns bei der Gehäuseplanung, der Fertigung des Reaktors, der Dosiertechnik und der Elektronikentwicklung.

Die Arbeiten erhalten Förderung durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) im Rahmen eines InnoNet-Projekts.

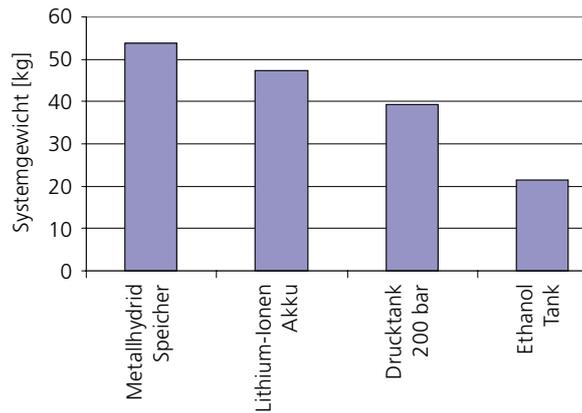


Abb. 1: In der Abb. ist das gesamte Gewicht eines Reformer-Brennstoffzellensystems für unterschiedliche Konzepte der Brennstoffspeicherung dargestellt. Die Tankgröße ist so bemessen, dass das System 24 Stunden mit 350 W Ausgangsleistung betrieben werden kann. Zum Vergleich ist auch ein reines Akkusystem aus Lithium-Ionen Akkus dargestellt.

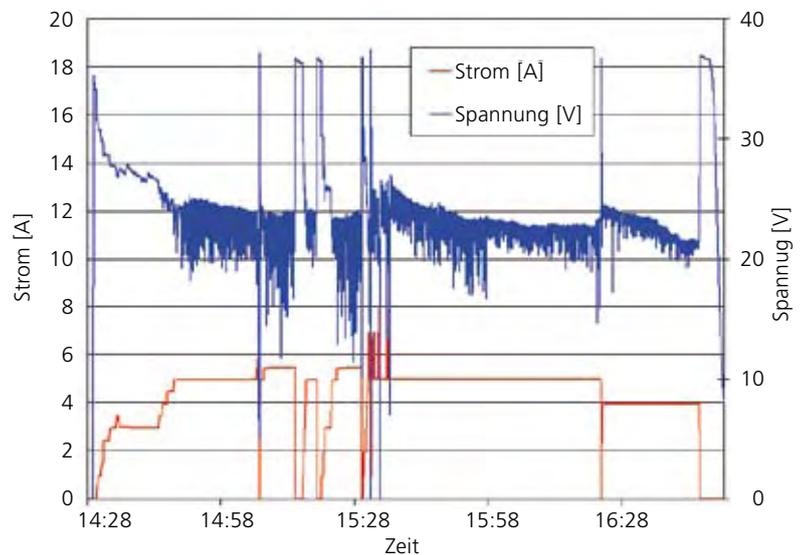


Abb. 2: Die Abb. zeigt den Strom- und Spannungsverlauf unseres Testsystems aus Reformer und Brennstoffzelle im Teillastbetrieb. Dargestellt sind die Werte für unterschiedliche Betriebspunkte und Lastzustände. Die Streuung der Spannungswerte ist in einer pulsierenden Brennstoffdosierung und somit in einer pulsierenden Wasserstoffversorgung der Brennstoffzelle begründet.

Ortsaufgelöste Charakterisierung von Hochtemperatur-PEM-Brennstoffzellen

Zur ortsaufgelösten Charakterisierung von Hochtemperatur-Polymerelektrolytmembran-(HT-PEM)-Brennstoffzellen haben wir eine segmentierte Testzelle entwickelt, an der Messungen bis zu 200 °C durchgeführt werden können. Es lassen sich während des Betriebs sowohl Impedanz, Stromdichte als auch Zelltemperatur ortsaufgelöst messen. Dieser Teststand bietet uns damit einzigartige Möglichkeiten zur Entwicklung von HT-PEM-Brennstoffzellen.

Carsten Agert, Zoran Canic,
Tobias Hutzenlaub, **Timo Kurz**,
Marco Zobel, Christopher Hebling

Die Hochtemperatur-Polymerelektrolytmembran-Brennstoffzelle (HT-PEM) stellt eine Weiterentwicklung der PEM-Brennstoffzelle dar. Durch die erhöhte Arbeitstemperatur von über 100 °C wird die Entstehung flüssigen Wassers vermieden, welches bei Niedertemperatur-PEM-Brennstoffzellen zur Flutung von Kanalstrukturen und damit zu Leistungseinbußen führen kann. Außerdem wird die Kohlenmonoxid-Verträglichkeit der üblichen Katalysatoren deutlich erhöht, womit sich dieser Zelltyp vor allem für die Verwendung von wasserstoffreichem Reformatgas aus der Umwandlung von Kohlenwasserstoffen wie Methanol, Ethanol oder Erdgas eignet.

Um für die HT-PEM-Brennstoffzelle ein optimiertes Design, temperaturbeständige Materialien und bestmögliche Betriebsführungsstrategien zu ermitteln haben wir eine neuartige segmentierte Testzelle entwickelt. Diese ermöglicht auf einer aktiven Fläche von 25 cm² eine ortsaufgelöste Charakterisierung von Membran-Elektroden-Einheiten bei Temperaturen bis zu 200 °C. Eine Endplatte der Zelle besteht aus 49 Segmenten, an denen jeweils die Stromdichte und Impedanz – zwei entscheidende Kenngrößen – gemessen werden. Zusätzlich wird die Temperaturverteilung in der Zelle aufgenommen. Mit Hilfe dieser Messergebnisse lassen sich Aussagen über lokale Verlustmechanismen und eine optimale Gasverteilung in der Zelle treffen. Die Testzelle wird in einem Ofen unter Stickstoffatmosphäre betrieben, so dass eine gleichmäßige Aufheizung aller Komponenten gegeben ist.

Die Arbeiten werden durch ein Promotionsstipendium der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) unterstützt.

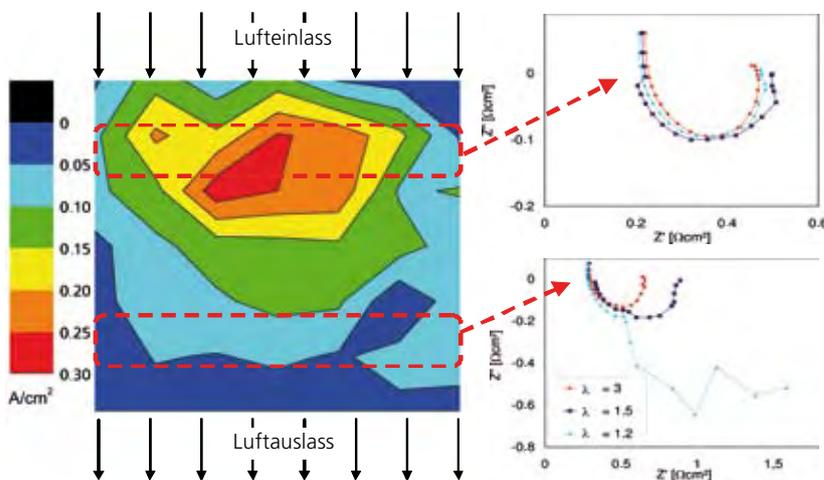


Abb. 1: Ortstromdichtemessung in der Zelle bei 160 °C und niedrigen Luft-Durchflussraten in einem parallelen Strömungskanal. An der zum Auslass hin abnehmenden Stromdichte ist erkennbar, dass durch die Zellreaktion entlang des Kanals Luft verbraucht wird. Gut zu erkennen ist dieser Sauerstoffmangel an den geweiteten Impedanzspektren (unten rechts).

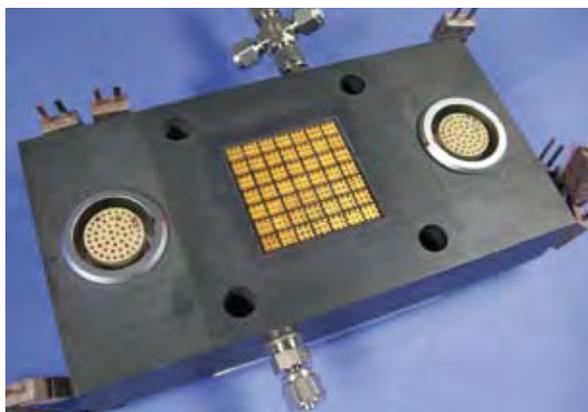


Abb. 2: Segmentierte Endplatte der Zelle: Zu sehen sind 49 Goldkontakte (mitte), zwei Rundstecker zum Anschluss der Messgeräte (rechts u. links), Gasanschlüsse (oben u. unten) sowie Thermoelementstecker (außen).

Wasserstoffspeicherung auf der Basis von chemischen Hydriden

Chemische Hydride besitzen auf Grund ihres hohen Wasserstoffanteils hohe energetische Speicherdichten und eignen sich daher hervorragend als Speichermaterial für portable Brennstoffzellensysteme, bei denen ein geringes Gesamtgewicht zählt. Wir nutzen diese Vorteile des Materials, um Wasserstoff sicher und einfach zur Verstromung bereitzustellen. Für den Kleinleistungsbereich (20 W_e) entwickeln wir derzeit am Fraunhofer ISE ein Wasserstoffspeicher/Generatorsystem auf der Basis des chemischen Hydrids Borazan.

Thomas Aicher, Johannes Kostka,
Tom Smolinka, Oliver Wolf,
Christopher Hebling

Die effiziente und sichere Speicherung von Wasserstoff mit hohen gravimetrischen und volumetrischen Speicherdichten ist im Hinblick auf eine baldige Markteinführung kleiner portabler Brennstoffzellensysteme von zentraler Dringlichkeit. In chemischen Hydriden ist der Wasserstoff chemisch an das Wirtsmaterial gebunden, so dass diese Materialien sehr hohe Speicherdichten erreichen und zudem die Risiken der Speicherung elementaren Wasserstoffs vermieden werden. Sie sind somit geeignete Kandidaten vor allem für portable Brennstoffzellensysteme. Technische Herausforderungen beim Einsatz dieser Materialien ergeben sich allerdings durch die hohen Reaktionstemperaturen von deutlich über 100 °C, bei denen der Wasserstoff in ausreichenden Volumenströmen freigesetzt werden kann.

Am Fraunhofer ISE entwickeln wir deshalb ein Verfahren, in dem die Freisetzungstemperatur für Wasserstoff bei unter 100 °C liegt. Derartig moderate Bedingungen versprechen ein einfaches und somit leichtes und leistungsfähiges System zur Wasserstoffgenerierung. Dazu nutzen wir das vorteilhafte Lösungsverhalten des potenten Wasserstoffspeichers Borazan (H₃B-NH₃) in verschiedenen Lösungsmitteln. Ebenso testen wir verschiedene Reaktorkonzepte zur Verbesserung der Wärmeintegration, um so den Wirkungsgrad zu steigern.

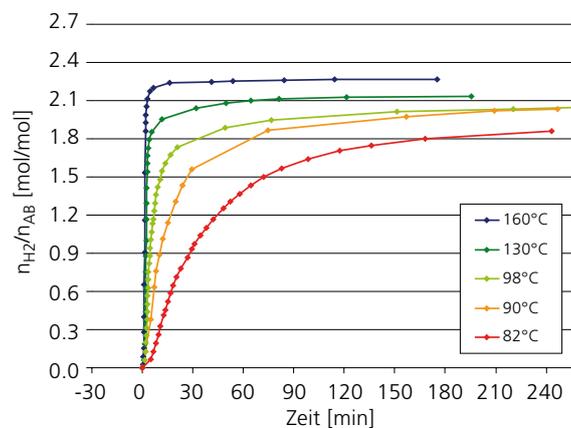


Abb. 1: Wasserstoff-Freisetungsverhalten einer 20%igen Borazan-Triglyme-Lösung bei verschiedenen Temperaturen. Ab einer Temperatur von 90 °C wird eine ausreichend schnelle Kinetik erreicht. Pro mol Borazan werden bis zu 2,2 mol Wasserstoff freigesetzt. Das entspricht einer Speicherdichte von 13 Gew.-% bezogen auf das Ausgangsmaterial.



Abb. 2: Versuchsaufbau zur Erprobung verschiedener Reaktortypen eines Wasserstoffgenerators auf Basis chemischer Hydride bestehend aus Vorratsbehälter, Dosierpumpe, wärmeisoliertem Reaktor und Auffangbehälter. Zur optimalen Auslegung des Systems ist eine genaue Kenntnis der möglichen Reaktionspfade der Wasserstoff-Freisetzung erforderlich.

Entwicklung eines Katalysators für ein Pyrolysesystem

Die Pyrolyse aus Kohlenwasserstoffen als Wasserstoffgenerator für portable oder stationäre PEM-Brennstoffzellensysteme bietet eine Alternative zur herkömmlichen Reformierung. Bei der Pyrolyse werden die Kohlenwasserstoffverbindungen aufgespalten und es entsteht Kohlenstoff und Wasserstoff. Der wesentliche Vorteil des Pyrolysesystems ist dessen einfacher Aufbau. Das wasserstoffreiche Produktgas kann im Anschluss an den Pyrolysereaktor direkt in eine Hochtemperatur-PEM-Brennstoffzelle geleitet und verstromt werden.

Thomas Aicher, Johannes Schuth,
Alexander Susdorf, Robert Szolak,
Christopher Hebling

Für die Pyrolyse wird kein Wasser benötigt, das Produktgas besteht zum größten Teil aus Wasserstoff (> 80 Vol.-%) sowie aus Methan. Auf Grund der geringen Kohlenmonoxidkonzentration kann auf eine Gasreinigung verzichtet werden.

Während der Pyrolyse wird Propan katalytisch zu Wasserstoff, Methan und Kohlenstoff zersetzt. Der produzierte Kohlenstoff setzt sich am Katalysator ab und muss in einem zweiten Schritt mit Luft abgebrannt werden. Für einen kontinuierlichen wasserstoffreichen Gasvolumenstrom werden deshalb zwei Reaktoren benötigt, die im Wechsel pyrolysieren und regenerieren. Die ständig wechselnden Betriebsbedingungen und die bei der Regenerierung auftretenden, hohen Temperaturen (> 950 °C) stellen eine Herausforderung für den Katalysator dar. Es gibt gegenwärtig keinen kommerziell verfügbaren Katalysator, der für ein Pyrolysesystem geeignet ist.

Am Fraunhofer ISE haben wir einen Katalysator entwickelt, der für diesen Prozess thermisch und langzeitstabil ist. Wir haben bei der Entwicklung des Katalysators auf teure Edelmetalle verzichtet. Als aktive Komponente wurde eine Nickellegierung eingesetzt, die auf einem geeigneten Träger aufgebracht wurde. Die Zusammensetzung der aktiven Komponente, die Präparationsmethode und der Träger haben einen großen Einfluss auf die Gaszusammensetzung und die Stabilität des Katalysators. Der von uns entwickelte Katalysator ist bereits soweit ausgereift, dass er in einen Prototyp eingebaut wird.

Die Katalysatorentwicklung wurde im Auftrag der Firma Voller Energy durchgeführt.

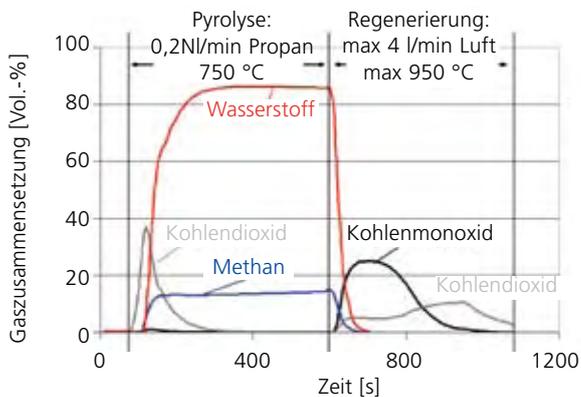


Abb. 1: Gaszusammensetzung einer Propanpyrolyse mit anschließender Regenerierung. Die Wasserstoff- und Methankonzentration während der Pyrolyse ist nach Erreichen des Maximums nahezu konstant. Die Kohlenmonoxidkonzentration ist dabei immer unterhalb < 1 Vol.-%. Eine Überschneidung zwischen der Regenerierung und der Pyrolyse ist bei den eingestellten Parametern möglich, somit können mit dem entwickelten Katalysator zwei Reaktoren im Wechsel betrieben werden. Dadurch wird ein konstanter Gasvolumenstrom für die Brennstoffzelle erreicht.

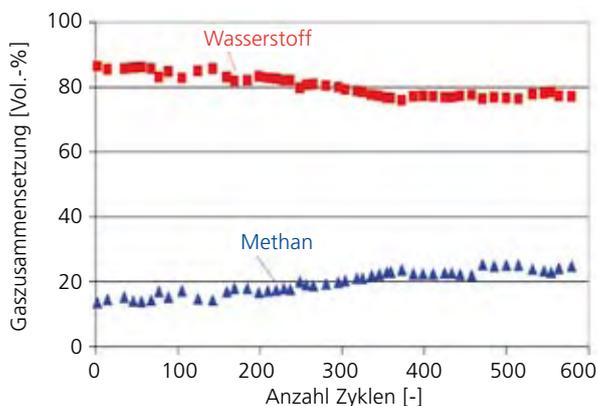


Abb. 2: Katalysatoralterung. Die Abbildung zeigt die gemessene Gaszusammensetzung am Ende der Pyrolyse. Die Gaszusammensetzung ist seit ca. 250 Zyklen konstant. Die Wasserstoffkonzentration ist auch nach 580 Zyklen (1 Zyklus umfasst die Pyrolyse mit anschließender Regenerierung) noch > 77 Vol.-%. Der Alterungstest wurde mit den in Abb. 1 dargestellten Betriebsparametern durchgeführt.

Strömungssimulation als Hilfsmittel zum Reaktordesign

Für die Konstruktion unserer Reaktorbehälter benutzen wir seit einiger Zeit das CFD-(Computational Fluid Dynamics)-Software-Paket »Fluent«. Der große Vorteil dabei ist die Visualisierung von Strömungsgeschwindigkeiten, Druckgradienten und der Konzentration der zugeführten Stoffe in der Planungsphase. Diese Kriterien ersparen uns wertvolle Zeit und erlauben einen genauen Blick in die Reaktoren, der sonst nicht möglich wäre.

Bettina Lenz, Christopher Hebling

Mittels Reformierung von Brennstoffen können wasserstoffreiche Gase zur Versorgung von Brennstoffzellen erzeugt werden. Die chemische Reaktion erfolgt an Katalysatoren. Die optimale Vermischung und Aufbereitung der Reaktionspartner vor dem Katalysator ist eine zentrale Forderung, um Rußbildung oder »Hot Spots« zu vermeiden. Als Reaktionspartner verwenden wir je nach Verfahren nahezu alle Kohlenwasserstoffe sowie Wasser und Luft oder reinen Sauerstoff.

Die Reaktoren können in verschiedene Zonen unterteilt werden: die Zone, in der die reagierenden Stoffe zugegeben werden, eine Misch- und Verdampfungszone, den Wabenkatalysator, an dem die eigentlichen chemischen Reaktionen ablaufen und der Austritt des erzeugten Produktgases. Je nach Temperatur, Massenstrom und Geometrie werden bei der Simulation für die Bereiche unterschiedliche Randbedingungen (z. B. Wärmeverluste über die Reaktorwand) vorgegeben. So erzeugen wir ein je nach Detaillierungsgrad hochkomplexes Abbild des Reformers.

Die Geometriedaten können wir direkt aus einem Zeichenprogramm übernehmen. Hier verwenden wir marktübliche 3D-Zeichenprogramme (CAD-Programme). Die Diskretisierung der Geometrie, d. h. die Unterteilung in finite Volumenelemente erfordert viel Sorgfalt, um die Rechenzeit möglichst gering zu halten und ein stabiles Ergebnis zu erhalten.



Abb. 1: Die Diskretisierung der Reaktor-Geometrie mit Mischkammer, Reaktionszone (Katalysator) und Auslasszone dient als Eingabedatei der eigentlichen CFD-Simulation. Die Abbildung zeigt die Vernetzung eines autothermen Kerosinreformers, bei dem über das oben dargestellte Rohr verdampftes Wasser-Luft-Gemisch zugegeben wird. Dieses Gemisch wird über einen Ringspalt in den Reaktorraum überführt. Im Ringspalt geben wir zentral über eine Einstoffdüse flüssiges Kerosin zu.

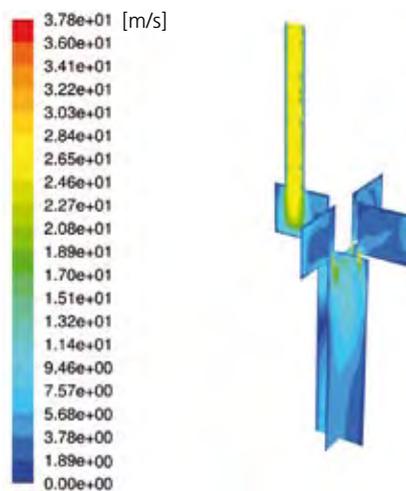


Abb. 2: Das berechnete Geschwindigkeitsprofil gibt Aufschluss über Durchmischung, Zonen sehr geringer Strömungsgeschwindigkeit und Druckabfall als Grundlage zur Optimierung der Geometriedaten. Dargestellt ist die Strömungsgeschwindigkeit, die im Ringspalt Werte bis zu 40 m/s annimmt.

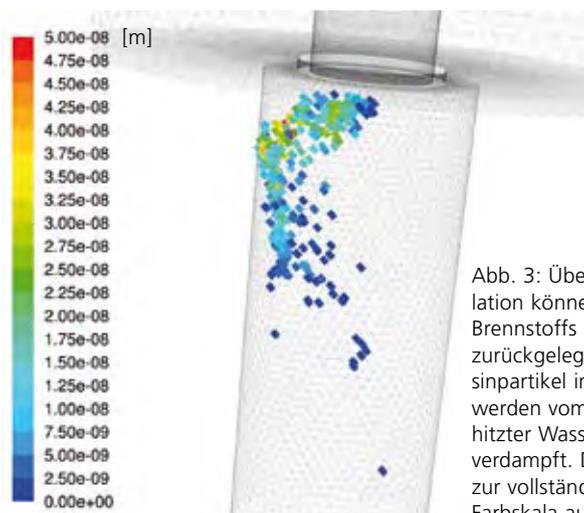
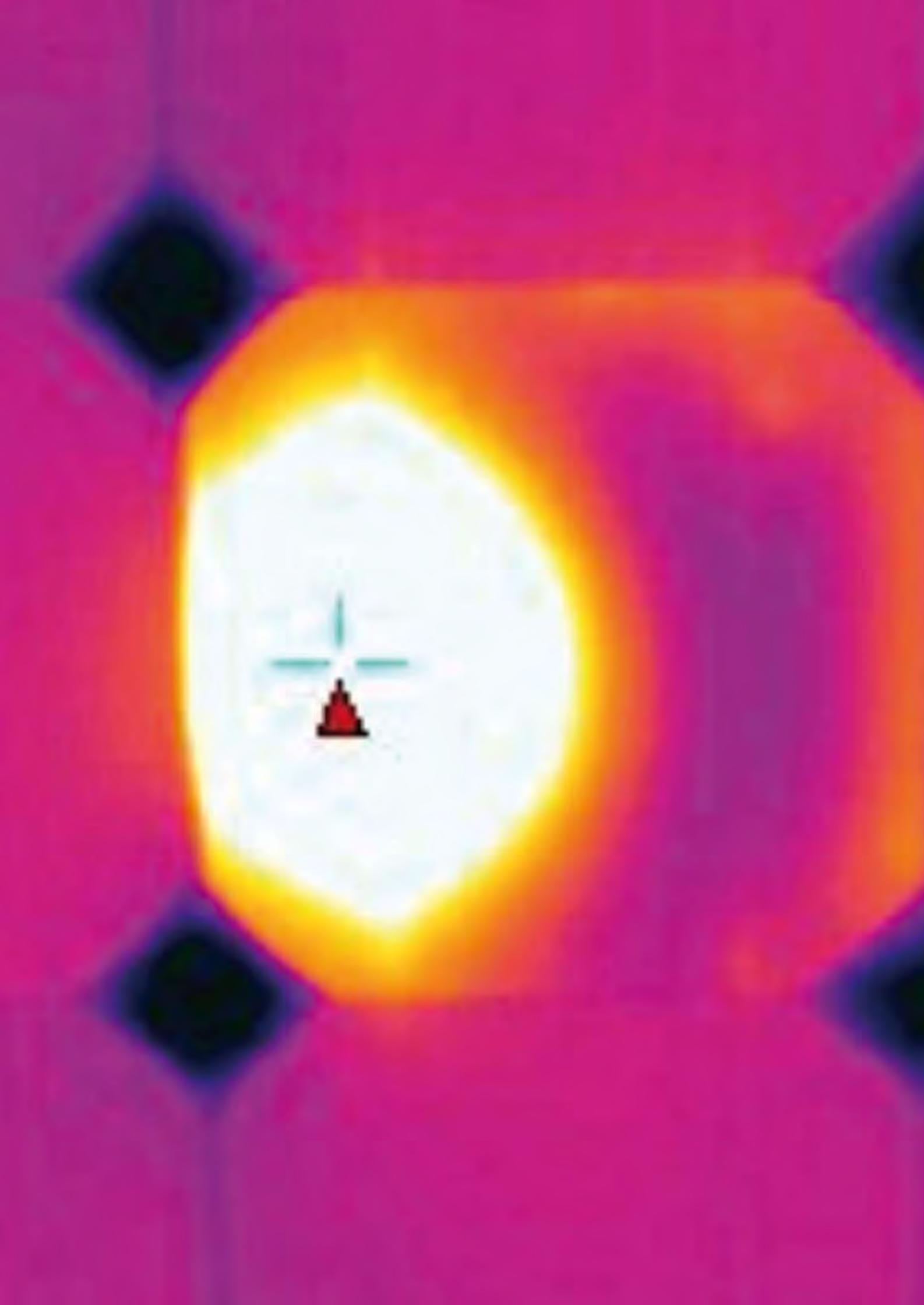


Abb. 3: Über eine instationäre Simulation können wir die Eindüsung des Brennstoffs abbilden. Das Bild zeigt den zurückgelegten Weg eingedüster Kerosinpartikel im Reaktorraum. Die Partikel werden vom Gasstrom (Luft und überhitzter Wasserdampf) mitgerissen und verdampft. Der Partikeldurchmesser bis zur vollständigen Verdampfung ist als Farbskala aufgetragen.



Servicebereiche

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

Über die Dienstleistung hinaus haben diese Einrichtungen für uns auch eine Forschungs-Funktion. 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, beispielsweise im Bereich der modell-basierten Alterungsprognose.

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

- Außenteststand mit Tracker
- Innenteststand mit Solarsimulator (max. Aperturfläche 3x3,5 m²)
- Kollektorteststand bis 200 °C
- System- und Speicherteststand

Es werden im wesentlichen Industriaufträge zur Prüfung von Kollektoren nach Europäischen Kollektornormen wie SOLARKEYMARK Label 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 (Beitrag S. 103).

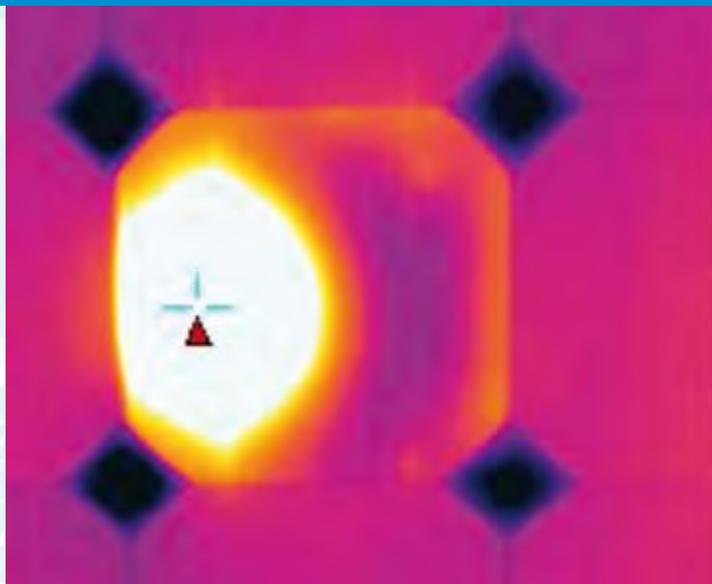
Das Thermisch-Optische Prüflabor (TOPLAB) erhielt die Akkreditierung nach DIN EN ISO/IEC 17025 im Jahr 2006. Es bietet Entwicklern, Herstellern und Planern von Fassaden (-komponenten) und Fenstern, einschließlich Sonnenschutz, ein umfassendes Dienstleistungsangebot zur Charakterisierung von innovativen Bauteilen oder Materialien (Beitrag S. 104).

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. Das Testzentrum ist eingebettet in die Gebrauchsdaueranalyse von PV-Modulen. Ziel der Einrichtung ist die Sicherung der Qualität und Zuverlässigkeit von PV-Modulen. Das TZPV ist eng vernetzt mit dem ISE CalLab Module sowie mit der Modulentwicklung am Institut. Es werden entwicklungsbegleitende Prüfungen für Module und Modulkomponenten durchgeführt. Ebenso erfolgt eine Kooperation mit Modulproduzenten bei der Qualitätssicherung. Unser Kooperationspartner als »Certification Body« ist der VDE (Beitrag S. 101).

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 (Beitrag S. 100).



Thermografisches Bild einer teilverschatteten Solar-Zelle in einem PV-Modul. Die weiße Stelle zeigt Überhitzung durch einen »Hot-Spot« an. Zur Erkennung von schadhafte Modulen z. B. von Hot-Spots vermessen wir die Solarmodule mit einer hoch auflösenden Thermokamera. Mit diesem Verfahren können die Temperaturverläufe innerhalb eines Moduls oder innerhalb größerer Modulfelder sichtbar gemacht werden.

Ansprechpartner

Qualitätssicherung von PV-Anlagen

Ertragsgutachten	Dipl.-Ing. Andreas Steinhüser	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-52 25 E-Mail: Andreas.Steinhueser@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

ISE CaLab

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

Gebrauchsdaueranalysen

Testzentrum für Photovoltaik (TZPV)	Dipl.-Phys. Michael Köhl	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-51 24 E-Mail: Michael.Koehl@ise.fraunhofer.de
-------------------------------------	--------------------------	--

Prüfzentrum für Thermische Solaranlagen (PZTS)

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

Vermessung von Fassaden und transparenten Bauteilen

Thermisch-Optisches Prüflabor (TOPLAB)	Dipl.-Phys. Tilmann Kuhn	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-52 97 E-Mail: Tilmann.Kuhn@ise.fraunhofer.de
Tageslichtmessräume	Dipl.-Ing. Jan Wienold	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-51 33 E-Mail: Jan.Wienold@ise.fraunhofer.de

Lüftungsgeräte und Wärmepumpen

Prüfstand	Dr. Benoît Sicre	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-52 91 E-Mail: Benoit.Sicre@ise.fraunhofer.de
-----------	------------------	--

Photovoltaik-Systemkomponenten

Charakterisierung von Wechselrichtern	Dr. Bruno Burger	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-52 37 E-Mail: Bruno.Burger@ise.fraunhofer.de
---------------------------------------	------------------	--

Qualifizieren und Optimieren von PV-Systemen

Batterie-Prüflabor	Dipl.-Ing. Robert Thomas	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-54 19 E-Mail: Robert.Thomas@ise.fraunhofer.de
--------------------	--------------------------	--

ISE Callab: Kalibrieren von Solarzellen und Modulen

Die Charakterisierung 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, Jochen Hohl-Ebinger,
Astrid Ohm, Jürgen Ketterer, **Klaus Kiefer**,
Frank Neuberger, Peter Raimann,
Edgar Wolf, Wilhelm Warta

Das ISE Callab zählt zu den weltweit führenden Photovoltaik-Kalibrierlaboratorien. Modul- und Zellhersteller lassen ihre Referenzmodule und -zellen für die Produktion bei uns kalibrieren. Unsere Kunden erhalten in puncto Sicherheit und Service außergewöhnliche Leistungen, denn

- wir garantieren die Zuverlässigkeit der Ergebnisse durch regelmäßige Messvergleiche mit anderen international anerkannten Laboratorien
- wir erfüllen internationale Standards in allen Kalibrierschritten sowie bei der Verwendung von Referenzelementen und Messeinrichtungen und
- wir bearbeiten Kundenanfragen schnell, unbürokratisch und vertraulich.

Zellkalibrierung – Referenz für Industrie und Forschung

Für die Zellkalibrierung übernehmen wir die komplette Charakterisierung von Solarzellen und Detektoren bis 16x16 cm². Unser Leistungsangebot umfasst:

- Kalibrierung von Referenzzellen, Standard-solarzellen, Konzentratorzellen sowie Tandemzellen
- Messung der spektralen Empfindlichkeit
- Bestimmung der Temperaturabhängigkeit der Leistung.

Modulkalibrierung – eine effiziente Methode zur Qualitätssicherung

Für PV-Module bis zu einer Größe von 2x2 m² umfasst unser Leistungsangebot:

- Modulpräzisionsmessung mittels Flasher und Leistung
- Bestimmung der NOCT Temperatur und Leistung
- Messung der Winkel- und Temperaturabhängigkeit der Modulparameter
- Messung der Einstrahlungsabhängigkeit der Modulparameter.

Im November 2006 wurde das ISE Callab Module nach DIN EN ISO/IEC 17025:2005 akkreditiert, die Akkreditierung des ISE Callab Zellen steht kurz vor dem Abschluss.

Unter www.callab.de erhalten Sie detaillierte Informationen zu unserem Dienstleistungsangebot.

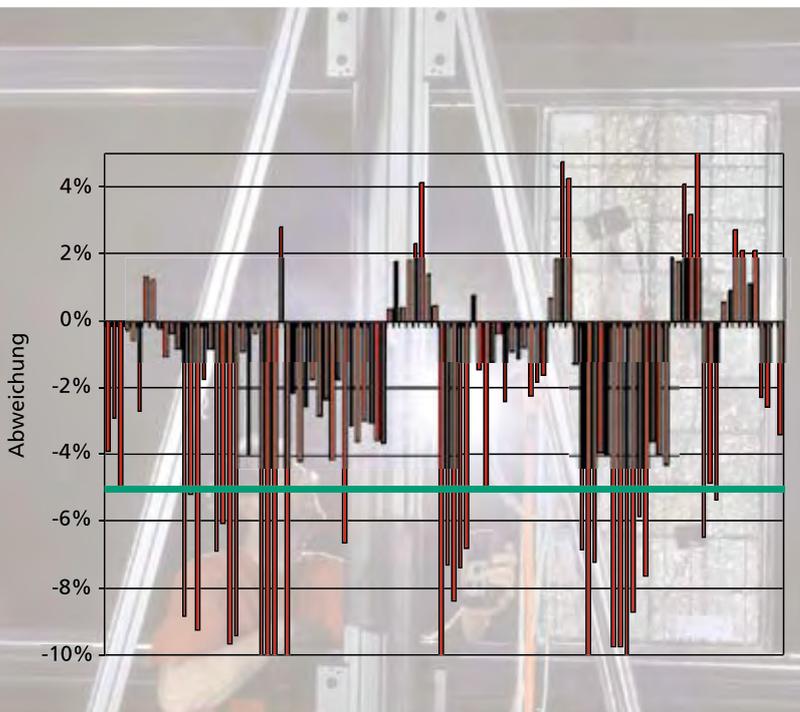


Abb. 1: Am Fraunhofer ISE kann die Leistung von Photovoltaik-Modulen mit einem neuen Präzisionsflasher auf einer Fläche von 4 m² vermessen werden. Die Messgenauigkeit für Präzisionsmessungen beträgt +/-2% für die Leistung bei STC (Standard Test Conditions). Eine Reihenmessung über 100 PV-Module zeigt, dass Qualitätssicherung wichtig ist. Denn viele Module erreichen nicht die angegebene Nennleistung und liegen sogar außerhalb des Toleranzbereichs von minus fünf Prozent. Im Durchschnitt lag die Modulleistung mit 3,4% im Minus.

Qualitätssicherung von PV-Anlagen

Eine umfassende Qualitätssicherung für Photovoltaikanlagen bedeutet für uns ein Paket von Maßnahmen, die sicherstellen, dass der vorausgesagte Ertrag über die gesamte Lebensdauer der Anlage erreicht wird. Wir bieten von der Planung bis zum Betrieb Dienstleistungen für die maximale Qualität von Photovoltaikanlagen.

Klaus Kiefer, Frank Neuberger,
Andreas Steinhüser

Unser Service umfasst:

Ertragsgutachten

Eine zuverlässige Ertragsprognose kann nur unter Einbeziehung des Standorts mit seinen Rahmenbedingungen erzielt werden. Nach Ermittlung aller Daten führen wir eine wissenschaftliche Ertragsanalyse durch. Weiterhin erhalten Sie Hinweise zur: Fehleranalyse: Wie genau sind die Ergebnisse?, Risikoanalyse: Was kann den Ertrag mindern?, Performance Ratio: Wie gut ist der Systemnutzungsgrad Ihrer geplanten Anlage?, Bewertung der Anlagentechnik: Wie gut sind die Komponenten und deren Dimensionierung?, Sicherheitshinweise: Wie können Sie durch 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 Sie Qualitätssicherung und maximale Anlagenerträge. Wir vermessen Ihre Anlage und ermitteln ihr Optimierungspotenzial.

Anlagenabnahme

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

Testzentrum für Photovoltaik (TZPV)

Für die Prüfung der Zuverlässigkeit von Photovoltaik-Modulen wurde ein neues Testzentrum aufgebaut. Seit der Akkreditierung 2006 gemäß ISO 17025 führen wir als so genanntes »Testing Laboratory« für den »Certification Body« VDE Prüfungen für die Bauartzulassung gemäß IEC 61215 und 61646 durch.

Michael Köhl, Stefan Brachmann,
Markus Heck

Das enorme Wachstum in der Photovoltaik-Industrie hat den Bedarf nach Prüfung der Gebrauchstauglichkeit und Beständigkeit von Photovoltaik-Modulen zur Sicherstellung der Qualität für die Verbraucher in einem globalen Markt sehr stark vergrößert. Deshalb hat das Fraunhofer ISE entsprechende Prüfkapazitäten aufgebaut und bietet diese im Rahmen einer Kooperation mit dem VDE, der »Certification Body« der IEC-EE ist, den Modulherstellern an.

Folgende Modul-Prüfungen werden im Testzentrum durchgeführt:

- Spannungsfestigkeit
- Kriechstrom unter Benässung
- mechanische Belastung
- Temperaturwechsel
- Feuchte-Wärme
- Frost-Tau-Wechsel
- UV-Belastung
- Nominale Zelltemperatur (Abb. 1)
- Hot-Spots unter Bestrahlung
- Thermische Stabilität der Bypass-Dioden
- Robustheit der Anschlussdose
- Freibewitterung

Das ISE Callab (Beitrag S. 100) – eines der führenden Labore für Leistungsmessung von Modulen – führt die STC-Leistungsmessungen nach den einzelnen Prüfungen durch.



Abb. 1: Prüfstand zur Bestimmung der »Nominal Operating Cell Temperature« (NOCT). Der einachsige nachgeführte Tracker ermöglicht eine Verkürzung der notwendigen Prüfzeiten.

Charakterisierung und Qualifizierung von elektrischen Komponenten

Neben Photovoltaikzellen und -modulen vermessen, prüfen und beurteilen wir komplette PV-Systeme sowie einzelne Systemkomponenten. Hierzu gehören neben Wechselrichtern und Laderegler auch Gleichspannungskomponenten wie Leuchten, Batterien oder Fernsehgeräte.

Robert Thomas, Bruno Burger, Heribert Schmidt

Messen und Prüfen von Lüftungsgeräten

Für Hersteller und Entwickler von Lüftungs-Kompaktgeräten mit integrierter Wärmepumpe führen wir Messungen auf unserem Teststand und im Feldversuch durch.

Benoît Sicre, Jeannette Wapler*, Thore Oltersdorf, Sebastian Herkel

* PSE GmbH Forschung Entwicklung Marketing, Freiburg

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 an. Entwickler von Laderegler und Ladegeräten können ihre Geräte in Verbindung mit den entsprechenden Batterien testen und optimieren lassen.

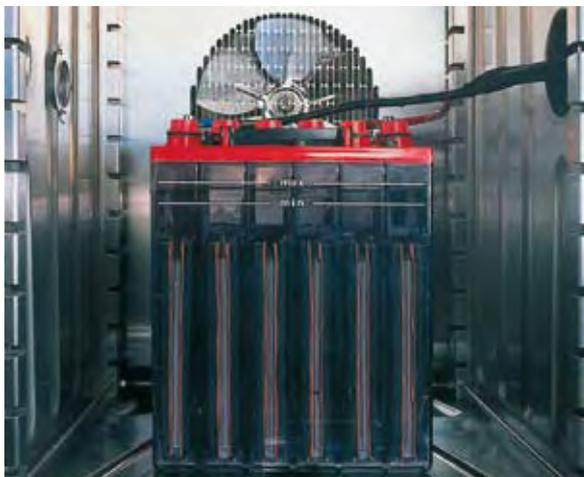


Abb. 1: In der Klimakammer können Wirkungsgrad und Kapazität sowie das Alterungs- und Ladeverhalten der Batteriespeicher unter variablen Bedingungen getestet werden.

Prüfstand für Lüftungs-Kompaktgeräte

Auf unserem automatisierten Teststand messen wir die Energieeffizienz der Gesamtgeräte und ihrer Komponenten. Dabei können wir die Prüfbedingungen in einer großen Bandbreite wählen. Aus den Messungen leiten wir Empfehlungen für das Optimieren der Komponenten und ihres Zusammenwirkens ab. Wir unterstützen unsere Kunden bei der Umsetzung von Neuentwicklungen. Geschultes Personal mit Know-how in der Kältetechnik sowie notwendige technische Hilfsmittel stehen zur Verfügung.

Monitoring

In zahlreichen bewohnten Häusern messen wir die Leistungsfähigkeit von Lüftungsgeräten mit Wärmepumpen unterschiedlicher Hersteller im Praxistest. Mögliche Störungsursachen werden identifiziert und behoben. Aus den Messungen erarbeiten wir Vorschläge für die Optimierung von Geräten und für die Regelung.

Luftdichtigkeitsmessungen und Luftwechselbestimmung

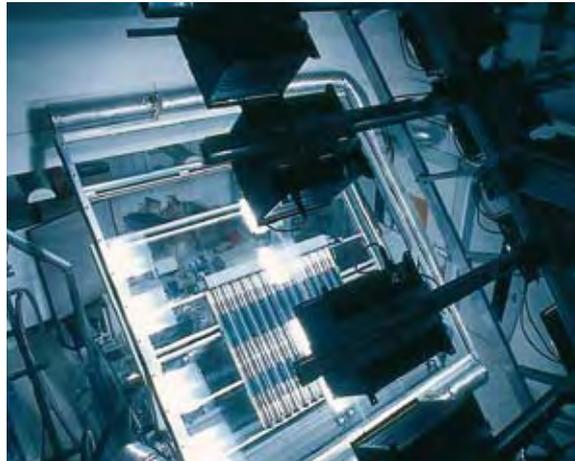
Die Luftdichtigkeit von Lüftungsgeräten messen wir mit Hilfe eines Indikatorgases nach der Konstant-Injektionsmethode im realen Betriebszustand. Dies kann sowohl auf dem Teststand durchgeführt werden als auch im Betrieb vor Ort. Mit der gleichen Apparatur bestimmen wir die Luftwechselrate im Gebäude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

Prüfzentrum für Thermische Solaranlagen (PZTS)

Wir betreiben einen Freiland-Teststand für thermische Sonnenkollektoren. Das PZTS ist eine durch DIN CERTCO anerkannte Prüfstelle und ist durch das DAP (Deutsches Akkreditierungssystem Prüfwesen) voll akkreditiert. Wir prüfen Sonnenkollektoren sowie Komplettsysteme und unterstützen somit unsere Kunden bei der Entwicklung von solarthermischen Anlagenkomponenten. Der Innen-Teststand mit großem Solarsimulator hat sich für Prüfungs- und Entwicklungsarbeiten sehr bewährt.

Korbinian Kramer*, Stefan Mehnert, Matthias Rommel, Thorsten Siems

* PSE GmbH Forschung Entwicklung Marketing, Freiburg



Innen-Teststand mit Solarsimulator.

Prüfung von Sonnenkollektoren

Wir prüfen Sonnenkollektoren und Gesamtsysteme nach nationalen oder internationalen Normen und Standardverfahren:

- SolarKeymark Scheme Rules
- Kollektorprüfung nach EN 12975 – 1,2:2006
- alle relevanten Funktionsprüfungen
- Bestimmung der Wärmeleistung
- Berechnung des Jahresenergieertrags
- direkte Messung des Einstrahlwinkel-Korrekturfaktors (IAM) mit einem Tracker
- Systemprüfung nach EN 12976 – 1,2:2006

Kollektor- und Systementwicklung

Wir arbeiten eng mit Herstellern von Solaranlagen zusammen. Dies geschieht im Rahmen von Projektarbeit oder bei individueller Produktentwicklung. Wir bieten an:

- Thermografische Detailuntersuchungen (z. B. Wärmebrücken)
- Bestimmung des Kollektorwirkungsgradfaktors F' von Absorbern bei Flachkollektoren
- Optimierung und Berechnung der Spiegelgeometrie von Kollektoren mit Reflektoren

Innen-Teststand für Kollektoren

Wir betreiben einen Innen-Teststand mit Solarsimulator. Wir haben ihn so konstruiert, dass er den Außenbedingungen so nahe wie möglich kommt. Sein großer Vorteil – speziell für die Entwicklung von Kollektoren – ist die hohe Wiederholgenauigkeit der Messbedingungen. Dadurch können wir in kurzer Zeit und sehr effizient gezielte Entwicklungsarbeiten zur Verbesserung von Kollektorkonstruktionen durchführen.

Die wichtigsten technischen Daten:

- Größe der Prüffläche 2,4x2,0 m²; andere Geometrien der Prüffläche sind möglich (maximal 3,5x3,0 m²)
- Bestrahlungsintensität 1200 W/m² ohne künstlichen Himmel, 1000 W/m² mit künstlichem Himmel
- Homogenität dabei +/-10%
- Neigungswinkel des Lampenfeldes 0° bis 90°

Hochtemperatur-Teststand bis 200 °C

Wir haben einen neuen Hochtemperatur-Teststand aufgebaut, mit dem wir Wirkungsgrad-Kennlinienmessungen bis zu 200 °C durchführen können. Dadurch sind nun experimentelle Entwicklungsarbeiten zu Prozesswärmekollektoren möglich.

Solarluftkollektor-Teststand

Wir betreiben einen Teststand für Solarluftkollektoren, der sowohl bei Outdoor-Messungen mit dem Tracker als auch mit dem Innen-Teststand mit Solarsimulator eingesetzt werden kann. So können wir kurze Messzeiten garantieren. Die Solarluftkollektoren werden in Anlehnung an EN 12975 geprüft. Es können Luftvolumenströme von 50 bis 1000 m³/h bestimmt werden.

Unsere Dienstleistungen zu Luftkollektoren:

- Messung des Druckverlustes von Solarluftkollektoren als Funktion der Durchflussmenge
- Bestimmung von Leckluftraten
- Unterstützung von Herstellern bei der Produktneu- und Weiterentwicklung
- Berechnung von Jahresenergieerträgen für unterschiedliche Solarluftkollektorsysteme

Vermessung von Fassaden und transparenten Bauteilen

Entwicklern, Herstellern und Planern von Fassaden, Fassadenkomponenten und solaren Komponenten im Allgemeinen bieten wir ein umfassendes Dienstleistungsangebot zur Charakterisierung von innovativen Bauteilen oder Materialien an. Für transparente Bauteile und Sonnenschutzsysteme stehen Speziallabore 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, Angelika Helde,
Tilmann Kuhn, Werner Platzer,
Jan Wienold, Helen Rose Wilson

Thermisch-Optisches Prüflabor und Lichtlabor

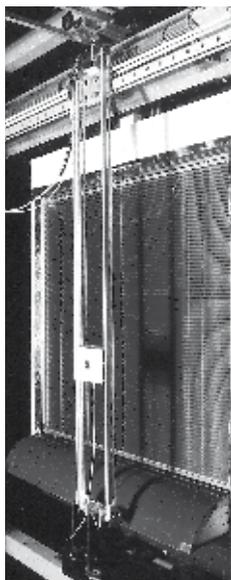
Die Eigenschaften von Verglasungen und Fassadenaufbauten mit komplexer Funktionalität können mit bestehenden Messverfahren wie DIN EN 410 oder DIN EN 13363 nicht ausreichend zuverlässig bestimmt werden. Deshalb haben wir Prüf- und Bewertungsmethoden entwickelt, mit denen wir energetische und lichttechnische Effekte exakt charakterisieren können. Unsere Apparaturen ermöglichen Messungen an Elementen bis über 1 m² 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.

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

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.



Beispiele der Apparaturen

- Solarkalorimeter zur Bestimmung des Gesamtenergiedurchlassgrads von transparenten Bauteilen und Sonnenschutz
- Wärmewiderstandmessungen an Verglasungen nach 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 die im Hause entwickelten und über den Stand der Technik hinaus gehenden 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. 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

Messebeteiligungen

Vorlesungen und Seminare

Promotionen

Patente

Pressearbeit

Veröffentlichungen in
rezensierten Zeitschriften

Vorträge

Veröffentlichungen

Gastwissenschaftler

Kevin Beard
University of South Carolina
Columbia, South Carolina, USA
1.3.2007–15.4.2007
Arbeitsgebiet: Mikrobrennstoffzellen

Dipl.-Phys. Benjamin Gonzales Diaz
Universidad de La Laguna
Teneriffa, Spanien
31.1.2005–31.12.2007
Arbeitsgebiet: Solarzellentechnologie

MSc.-Ing. Francesco Frontini
Politecnico di Milano
Mailand, Italien
1.6.2007–31.12.2008
Arbeitsgebiet: Gebäudetechnik

Darja Markova
TU Riga
Riga, Lettland
1.2.2006–31.1.2007
Arbeitsgebiet: Mikroreformer

MSc.-Ing. Douglas Bressan Riffel
Universidade Federal da Paraíba (UFPB)
Paraíba, Brasilien
16.4.2007–15.4.2008
Arbeitsgebiet: Solare Kühlung

Prof. Ricardo Rütger
Universidade Federal de Santa Catarina UFSC,
Florianópolis-SC, Brasilien
16.6.2007–30.7.2007
Arbeitsgebiet: PV-Systemtechnik

Dipl.-Ing. Isabel Salomoni
Universidade Federal de Santa Catarina UFSC,
Florianópolis-SC, Brasilien
1.5.2006–31.3.2007
Arbeitsgebiet: Potenziale Erneuerbare Energien
in Brasilien

Prof. Bifen Shu
Sun Yat-Sen University
Guangzhou, China
11.12.2006–11.12.2007
Arbeitsgebiet: Wärmespeicher

John Weidner
University of South Carolina
Columbia, South Carolina, USA
1.9.2007–30.9.2007
Arbeitsgebiet: Brennstoffzellen-Simulation

Dr. Noboru Yamada
Nagaoka University of Technology
Nagaoka, Niigata, Japan
16.7.2007–31.8.2007
Arbeitsgebiet: Solarthermie

Mitarbeit in Gremien

Allianz SysWasser
- Mitglied

Bavaria California Technology Center (BaCaTec)
- Kuratorium

BERTA AK – Brennstoffzellen: Entwicklung und
Erprobung für stationäre und mobile
Anwendungen (Arbeitskreis des BMWi)
- Mitglied

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«

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

Deutsche Meerwasserentsalzung e.V. (DME)
- Mitglied

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

Deutsches Institut für Normung DIN
Fachnormenausschuss Heiz- und
Raumlufttechnik (NHRS AA1.56)
»Solaranlagen«
- Mitglied
Fachnormenausschuss Lichttechnik (FNL 6)
»Innenraumbelichtung mit Tageslicht«
- Mitglied
Normenausschuss Bau NABau 00.82.00
»Energetische Bewertung von Gebäuden«
- Mitglied
Gemeinschaftsausschuss NABauNHRS
»Energetische Bewertung von Gebäuden«
- Mitglied

EU PV Technology Platform, Steering
Committee
- Stellvertretender Vorsitzender

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

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

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

European H2/FC Technology Platform
- Mitglied

European Photovoltaic Industry Association
(EPIA)
- Assoziiertes Mitglied

European Solar Thermal Industry Federation
(ESTIF)
- Mitglied

Evergreen Solar, Marlboro, USA
- Wissenschaftlicher Beirat

Expertenkommission der Bundesregierung
»Forschung und Innovation«
- Mitglied

Fachausschuss Tageslicht der Lichttechnischen
Gesellschaft (LitG)
- Mitglied

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

Fachverband Transparente Wärmedämmung
e.V.
- Mitglied
- Fachausschuss »Produktkennwerte«

FIT Mikroenergie-technik
- Mitglied und Leitung

FitLicht – Fördergemeinschaft innovative
Tageslichtnutzung
- Mitglied

Forschungsverbund Sonnenenergie (FVS)
- Mitglied und Sprecher

Fraunhofer-Allianz Energie
- Geschäftsführung und Vorsitzender

Fraunhofer-Netzwerk Intelligente Energienetze
- Koordination

Fraunhofer-Netzwerk Windenergie
- Mitglied

Freiburger Verein für Arbeits- und
Organisationspsychologie
- Vorstand

Fuel Cell Europe - Mitglied	Mikrosystemtechnik (MST) - Beirat
German Scholars Organization (GSO) - Präsident	Scientific Commission to the ENI Science and Technology Award - Mitglied
GVEP Global Village Energy Partnership - Mitglied	Semi® Standards – Photovoltaic Equipment Interface Specification Task Force (PV-EIS) - (Task Force) Mitglied
IEC TC82 WG7 for IEC Qualification Standards: Concentrator Photovoltaic (CPV) - Mitglied	Stiftung Solarenergie - Beirat
Institut für Solare Energieversorgungstechnik (ISET) - Wissenschaftlicher Beirat	Strategierat Wasserstoff – Brennstoffzellen - Mitglied - AK Wasserstoffbereitstellung - AK Wasserstoffspeicherung
International Advisory Committee of EUPVSEC - Mitglied	Symposium Photovoltaische Solarenergie - Wissenschaftlicher Beirat
International Advisory Committee of SIMC - Mitglied	VDE-ETG Fachausschuss V.I.I. Brennstoffzellen - Mitglied
International Energy Agency IEA, Paris, Frankreich: Solar Heating & Cooling Programme SHCP - Task 33/4 »Solar Heat for Industrial Processes« - Task 37 »Advanced Housing Renovation« - Task 38 »Solar Air-Conditioning and Refrigeration« - Task 39 »Polymeric Materials for Solar Thermal Applications« 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«	VDI-Gesellschaft Technische Gebäudeausrüstung - Richtlinienausschuss 6018 VDMA – The German Engineering Federation Productronics Association / Dachverband Deutsches Flachdisplay-Forum (DFF) Arbeitsgemeinschaft Organic Electronics Association (OE-A) - Mitglied VDMA Arbeitsgemeinschaft Brennstoffzellen - Mitglied Verband zu Energieeffizienz in Gebäuden - Gründungsmitglied Verein Deutscher Elektrotechniker - ETG-Fachausschuss »Brennstoffzellen«
International Program Committee of GADEST - Mitglied	Verein Deutscher Ingenieure (VDI) VDI-Gesellschaft Energietechnik - Fachausschuss »Regenerative Energien« (VDI-FARE)
International Science Panel on Renewable Energies (ISPRES) - Vorsitzender	VMPA – Verband der Materialprüfämter e.V. - Sektorgruppe »Türen, Fenster und Glasprodukte«
Kompetenzfeld Photovoltaik NRW - Mitglied	Weiterbildungszentrum WBZU »Brennstoffzelle«, Ulm - Mitglied im Aufsichtsrat
Kompetenznetzwerk Brennstoffzelle NRW - Mitglied	Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung ZSW - Kuratorium
Lichttechnische Gesellschaft - Mitglied	
M&EED Monitoring and Evaluation Working Group by Global Village Energy Partnership (GVEP) and European Union Energy Initiative (EUEI) - Mitglied	

Vom Institut (mit-)organisierte Kongresse, Tagungen und Seminare

22. Symposium Photovoltaische Solarenergie
Kloster Banz, Bad Staffelstein, 7.–9.3.2007

13. Symposium Licht und Architektur
Kloster Banz, Bad Staffelstein, 8.–9.3.2007

Workshop SiliconFOREST 2007
Fortschritte in der Entwicklung von Solarzellen-
Stukturen und Technologien
Falkau, 12.–14.3.2007

17. Symposium Thermische Solarenergie
Kloster Banz, Bad Staffelstein, 9.–11.5.2007

Low-power Microtrigeneration for the
Residential and Commercial Sector
Conference organised by Cluster de Energia,
Enerlan and Polysmart
Bilbao, Spain, 12.6.2007

Local Renewables Freiburg 2007
Freiburg, 13.–15.6.2007

estec 2007
3rd European Solar Thermal Energy Conference
Freiburg, 19.–20.6.2007

Power Electronics for Renewable Energies
Freiburg, 19.–20.6.2007

Intersolar 2007:
»PREHEAT – Symposium on Heat Storage
Technologies«
»New Generation of Solar Thermal Systems –
NEGST«
Congress and Convention Center Freiburg,
21.–22.6.2007

ISES Solar Academy 2007
Solar & Energy Efficient Renovation Strategies
for Multi-Family Housing
Solothurn, Switzerland, 4.–11.8.2007

22nd European Photovoltaic Solar Energy
Conference and Exhibition
Milan, Italy, 3.–7.9.2007

Semi® Standards – PV-EIS Task Force, Kick-Off
Meeting
Milan, Italy, 6.9.2007

Jahrestagung 2007 des Forschungsverbunds
Sonnenenergie
Leibniz Universität, Hannover, 26.–27.9.2007

Effiziente Fernwärmenutzung für Low-Ex-
Gebäude – Statusseminar von BMWi und PTJ
Berlin, 4.–5.10.2007

Netzferne Stromversorgung mit Photovoltaik
Freiburg, 10.–11.10.2007
VDI Wissensforum
Solarthermie – Heizen und Kühlen mit der
Sonne
Stuttgart, 17.–18.10.2007

Semi® Standards – PV-EIS Task Force, 1st
Meeting
Messezentrum Stuttgart, 11.10.2007

2nd International Conference Solar Air-
Conditioning
Tarragona, Spain, 18.–19.10.2007

Solartechnik: Aktuelle technische
Entwicklungen und Perspektiven
DECHEMA-Haus, Frankfurt/Main, 25.10.2007

Bauphysik und TGA in der Baupraxis
Wuppertal, 30.10.2007

Investmentforum 2007
Fraunhofer Haus, München, 8.11.2007

2nd Fraunhofer Symposium Micro Energy
Technology
Freiburg, 27.11.2007

PowerMEMS 2007
The 7th International Workshop on Micro and
Nanotechnology for Power Generation and
Energy Conversion Applications
Congress and Convention Center Freiburg,
28.–29.11.2007

EMV, Blitz- und Brandschutz für Solaranlagen
Freiburg, 4.–5.12.2007

Messebeteiligungen

Bau 2007
München, 15.–20.1.2007

Nanotech 2007
Tokyo, Japan, 21.–23.2.2007

Hannover Messe Industrie, HMI 2007
Hannover, 16.–20.4.2007

ECOTEC 2007 – Der Wissensmarkt für
Umwelttechnologie
Essen Zollverein, 1.–3.6.2007

Intersolar 2007
Internationale Fachmesse und Kongress für
Solartechnik
Freiburg, 21.–23.6.2007

22nd European Photovoltaic Solar Energy
Conference and Exhibition
Milan, Italy, 3.–7.9.2007

f-cell 2007
Stuttgart, 24.–25.9.2007

2nd Fraunhofer Symposium Micro Energy
Technology
Freiburg, 27.11.2007

Vorlesungen und Seminare

Dr. Dietmar Borchert
»Photovoltaik«
Vorlesung SS 07
TFH Georg Agricola zu Bochum
Fachbereich Maschinentechnik

Dr. Bruno Burger
»Leistungselektronische Systeme für regenerative Energiequellen«
Vorlesung WS 07/08
Universität Karlsruhe
Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik

Priv. Doz. Dr. Andreas Gombert
»Optische Eigenschaften von Mikro- und Nanostrukturen«
Vorlesungen SS 06 und WS 06/07
Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
Fakultät für Angewandte Wissenschaften

Dr. Jens Pfafferott
»Solares Bauen«
Präsenzveranstaltung SS 07 und WS 07/08
Fernstudiengang Energiemanagement
Universität Koblenz-Landau

Dipl.-Ing. Norbert Pfanner
»Photovoltaische Systemtechnik«
Vorlesung SS 07
Hochschule Offenburg

Dr. Werner Platzer
»Thermische Solarenergie«
Präsenzveranstaltung WS 07/08
Fernstudiengang Energiemanagement
Universität Koblenz-Landau

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

Dr. Heribert Schmidt
»Photovoltaische Systemtechnik«
Vorlesung SS 07
Universität Karlsruhe
Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik

Prof. Dr. Eicke R. Weber
Dr. Stefan Glunz
»Photovoltaische Energiekonversion«
Vorlesung SS 07
Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
Fakultät für Physik und Mathematik

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. Werner Platzer
Dr. Ferdinand Schmidt
»Solarthermie«
Vorlesung WS 07/08
Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
Fakultät für Physik und Mathematik

Prof. Dr. Gerhard Willeke
Priv. Doz. Dr. Giso Hahn
»Aktuelle Solarzellenkonzepte in der Photovoltaik«
Seminar SS 07
»Halbleitertechnologie und Physik der Solarzelle«
Vorlesung WS 07/08
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

Promotionen

Carsten Baur
»Entwicklung und Charakterisierung von III-V Weltraumsolarzellen«
Universität Konstanz
Konstanz, 2007

Steffen Eccarius
»Passive Konzepte der Direktmethanolbrennstoffzelle«
Universität Karlsruhe (TH)
Karlsruhe, 2007

Jürgen Ell
»Gasinduziertes optisches Schaltverhalten dünner MgNi-Schichten«
Technische Universität Darmstadt
Darmstadt, 2007

Markus Glatthaar
»Zur Funktionsweise organischer Solarzellen auf der Basis interpenetrierender Donator/Akzeptor-Netzwerke«
Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
Freiburg, 2007

Rüdiger Löckenhoff
»Neue Aufbau- und Integrationstechniken für die hoch konzentrierende Photovoltaik«
Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
Freiburg, 2007

Ansgar Mette
»New Concepts for Front Side Metallization of Industrial Silicon Solar Cells«
Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
Freiburg, 2007

Peter Schossig
»Mikroverkapselte Phasenwechselmaterialien in Wandverbundsystemen«
Universität Karlsruhe (TH)
Karlsruhe, 2005

Malte Christian Thoma
»Optimierte Betriebsführung von Niederspannungsnetzen mit einem hohen Anteil an dezentraler Erzeugung«
ETH Zürich, Schweiz
Zürich, 2007

Eingereichte Patente

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

Frank Dimroth, Andreas Bett, Hansjörg Lerchenmüller, Christoph Schmidt
»Photovoltaisches Konzentratormodul mit Multifunktionsrahmen«

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

Robert Szolak, Tom Smolinka, Felix Bailatow, Florian Mertens
»Wasserstoffgenerator sowie Verfahren zur Erzeugung von Wasserstoff«

Rüdiger Löckenhoff
»Frontseitig serienverschaltetes Solarmodul«

Ferdinand Schmidt, Andreas Häberle, Michael Hermann
»System zur Solarenergienutzung mit Vorrichtung zur Wärmeabgabe an die Umgebung, Verfahren zum Betreiben des Systems sowie Verwendung«

Kuno Mayer, Mónica Alemán, Daniel Kray, Stefan Glunz, Ansgar Mette, Ralf Preu
»Verfahren zur Präzisionsbearbeitung von Substraten und dessen Verwendung«

Thorsten Siems, Kurt Schüle
»Solarröhre, Solarröhrenkollektor sowie Verwendung«

Michael Oszcipok, Steffen Eccarius
»Brennstoffzelle sowie Verfahren zu deren Herstellung«

Matthias Schickanz
»Vorrichtung und Verfahren zum Temperieren und zur Wärmerückgewinnung«

Kuno Mayer, Mark Schumann, Daniel Kray, Teresa Orellana Peres, Jochen Rentsch, Martin Zimmer
»Verfahren und Vorrichtung zur Bearbeitung von Waferoberflächen«

Stefan Janz, Stefan Reber
»Reflektiv beschichtetes Halbleiterbauelement, Verfahren zu dessen Herstellung sowie dessen Verwendung«

Jan Christoph Goldschmidt, Philipp Löper, Marius Peters
»Solarelement mit gesteigerter Effizienz und Verfahren zur Effizienzsteigerung«

Frank Dimroth, Jara Fernandez, Stefan Janz
»Halbleiterbauelement, Verfahren zu dessen Herstellung und dessen Verwendung«

Frank Dimroth, Jan Schöne
»Mehrfachsolarzelle«

Kuno Mayer, Mark Schumann, Daniel Kray, Teresa Orellana Peres, Jochen Rentsch, Martin Zimmer
»Textur- und Reinigungsmedium zur Oberflächenbehandlung von Wafern und dessen Verwendung«

Giso Hahn, Helge Haverkamp, Bernd Raabe, Felix Book, Amir Dastgheib-Shirazi
»Neuartiges, siebdruckartiges Verfahren zur Erzeugung einer selektiven Emitterstruktur auf industriell gefertigten Solarzellen«

Michael Köhl, Karl-Anders Weiß, Axel Müller, Hannes Franke
»Thermischer Kunststoffkollektor mit eingeschobenem Absorberkörper«

Tilmann Kuhn, Peter Nitz, Christoph Meyer
»Großlamelle aus transluzentem Trägermaterial mit lichtundurchlässigen Einlegeteilen«

Beatrice Hacker, Thomas Jungmann, Ursula Wittstadt, Tom Smolinka
»Bipolarplatte für einen PEM-Elektrolyseur«

Adolf Goetzberger, Jan Christoph Goldschmidt, Philipp Löper, Marius Peters
»Lichtfalle zur Konzentration von Licht, insbesondere Solarstrahlung«

Frank Dimroth, Jan Schöne
»Halbleiterbauelement und dessen Verwendung«

Meinrad Spitz, Stefan Rein
»Verfahren zur induktiven Messung eines Schichtwiderstands einer in einen multi-kristallinen Halbleiterwafer eingebrachten Dotierungsschicht«

Rüdiger Löckenhoff
»Photovoltaikmodul mit angepasster Solarzellenbreite«

Erteilte Patente

Ralf Preu, Erik Schneiderlöchner, Stefan Glunz, Ralf Lüdemann
»Verfahren zur Herstellung eines Halbleiter-Metallkontakts durch eine dielektrische Schicht«

Robert Hahn, Andreas Schmitz, Christopher Hebling
»Mikrobrennstoffzellensystem«

Robert Hahn, Stefan Wagner, Andreas Schmitz
»Protonenleitende Polymermembran sowie Verfahren zu deren Herstellung«

Alexander Hakenjos
»Verfahren und Schaltungsanordnung zur Vermessung von elektrochemischen Zellen in einer Serienschaltung«

Anders Ødegård, Christopher Hebling
»Vorrichtung und Verfahren zur Erhöhung der Brennstoffkonzentration in einem der Anode einer Brennstoffzelle zugeführten, einen Brennstoff enthaltenden Flüssigkeitsstrom«

Sarmimala Hore, Peter Nitz, Rainer Kern
»Verfahren zur Herstellung der Photoelektrode einer Solarzelle«

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

Bruno Burger, Jan Hesselmann, Mario Zedda
»Vorrichtung und Verfahren zur Heizung einer Brennstoffzelle oder eines Brennstoffzellen-stacks«

Stefan Reber, Albert Hurrle, Norbert Schillinger
»Vorrichtung und Verfahren zur kontinuierlichen Gasphasenabscheidung unter Atmosphärendruck und deren Verwendung«

Bruno Burger, Heribert Schmidt
»Schutzschalteinrichtung für ein Solarmodul«

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

Ansgar Mette, Stefan Glunz, Ralf Preu, Mónica Alemán
»Verfahren zum Aufbringen von elektrischen Kontakten auf halbleitende Substrate, halbleitendes Substrat und Verwendung des Verfahrens«

Pressearbeit

Presseinformationen

www.ise.fraunhofer.de/german

9.2.2007

Fraunhofer ISE Labor und Servicecenter LSC Gelsenkirchen – Laboreinweihung im Beisein von NRW-Innovationsminister Prof. Pinkwart

21.12.2007

Fraunhofer-Institute und PVA TePla: Erster MultiCrystallizer geht in Halle an den Start

15.3.2007

Prof. Joachim Luther Mitglied der Expertenkommission Forschung und Innovation des BMBF – Ehemaliger Leiter des ISE berät Bundesregierung in der Forschungspolitik

20.3.2007

Silicium-Photovoltaik ohne Ressourcenbegrenzung

23.3.2007

Fortschritte bei der Materialentwicklung für Farbstoffsolarzellen – Netzwerkprojekt liefert neue Grundlagenergebnisse

4.4.2007

Solarstrom im großen Maßstab – Lineare Fresnel-Kollektoren für solarthermische Kraftwerke im Praxistest

4.4.2007

Wasserstoff aus Diesel: effizient, rückstandsfrei und zuverlässig – Dieselverdampfer für Verbrennungsmotoren, Brenner und Brennstoffzellen

4.4.2007

Energieschub für Service-Roboter – 350 Watt Brennstoffzellensystem für netzunabhängige Stromversorgung

14.5.2007

»Energieeinsparung contra Behaglichkeit?« – Studie des Bundesamts für Bauwesen und Raumordnung jetzt erhältlich

9.7.2007

Neue Technik macht Solarstrom billiger

21.8.2007

Neues Design und mehr Strom – Solarzellen mit »Metal Wrap Through« Technologie

18.9.2007

Europäisches Projekt will deutsche Erfahrungen mit Photovoltaik im Stromnetz nutzen – Fraunhofer ISE sucht Dialog mit Energieversorgern

1.10.2007

Solarzellen in der Wüste und im Schnee

5.11.2007

Die Zauberzwerge kommen – Fraunhofer Veranstaltungen zur Mikroenergietechnik in Freiburg

14.12.2007

Regionale Solarbranche bündelt ihre Kräfte – »Solarvalley Mitteldeutschlands« hofft auf Spitzenclusterförderung vom Bund

Veröffentlichungen in rezensierten Zeitschriften

Aicher, T.; Griesser, L.

»Novel Process to Evaporate Liquid Fuels and its Application to the Catalytic Partial Oxidation of Diesel«, in: *Journal of Power Sources*, Vol. 165/2007 1, 210-216

Alink, R.; Gerteisen, D.; Oszcipok, M.

»Degradation Effects in PEM Fuel Cell Stacks by Sub-Zero Operation – an In-situ and Ex-situ Analysis«, in: *Journal of Power Sources*, submitted

Antón, I.¹; Silva, D.¹; Sala, D.¹; Bett, A. W.; Siefer, G.; Luque-Heredia, I.²; Trebst, T.³

»The PV-FIBRE Concentrator: A System for Indoor Operation of 1000X MJ Solar Cells«, in: *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, Vol. 115, pp. 431-447
(¹: Instituto de Energía Solar, Universidad Politécnica, Madrid, Spain)
(²: Inspira S.L., Madrid, Spain)
(³: CeramOptec GmbH, Bonn, Germany)

Banat, F.¹; Jwaied, N.¹; Rommel, M.; Koschikowski, J.; Wieghaus, M.

»Performance Evaluation of the »large SMADES« Autonomous Desalination Solar-driven Membrane Distillation Plant in Aqaba, Jordan«, in: *Desalination*, Vol. 217, pp. 29-37
(¹: Department of Chemical Engineering, Jordan University of Science and Technology, Irbid, Jordan)

Baur, C.; Hermle, M.; Dimroth, F.; Bett, A. W. »Effects of Optical Coupling in III-V Multi-Layer Systems«, in: *Appl. Physics Letters* 2007, Vol. 90, Article ID 192109

Baur, C.; Bett, A. W.; Dimroth, F.; Siefer, G.; Meusel, M.¹; Bensch, W.; Köstler, W.; Strobl, G.¹

»Triple-Junction III-V Based Concentrator Solar Cells: Perspectives and Challenges«, in: *Journal of Solar Energy Engineering*, Vol. 129, pp. 258-265
(¹: AZUR Space GmbH, Heilbronn, Germany)

Berginc, M.¹; Hočevar, M.¹; Opara Krašovec¹; Hinsch, A.; Sastrawan, R.; Topič, M.¹

»Ionic Liquid-Based Electrolyte Solidified with SiO₂ Nanoparticles for Dye-Sensitized Solar Cells«, in: *Thin Solid Films*, in print
(¹: University of Ljubljana, Faculty of Electrical Engineering, Ljubljana, Slovenia)

Böttger, G.; Dreschmann, M.; Klamouris, C.; Hübner, M.; Röger, M.; Bett, A. W.; Kueng, T.; Becker, J.; Freude, W.; Leuthold, J.

»Optically Powered Video Camera Network«, in: *IEEE Photon. Technol. Lett.* (accepted)

Diez, S.; Rein, S.; Roth, T.; Glunz, S. W.

»Cobalt Related Defect Levels in Silicon Analyzed by Temperature- and Injection-Dependent Lifetime Spectroscopy«, in: *Journal of Applied Physics*, Vol. 101, Article ID 033710

Dimroth, F.

»High-Efficiency Solar Cells from III-V Compound Semiconductors«, *Phys. Stat. Sol. (c)* 3 (2006), pp. 373-379

Dimroth, F.; Kurtz, S.

»High-Efficiency Multijunction Solar Cells«, in: *MRS Bulletin*, Vol. 32, pp. 230-234

Eccarius, S.; Manurung, T.; Ziegler, C.

»On the Reliability of Measurements Including a Reference Electrode in DMFCs«, in: *Journal of Electrochemical Society*, Vol. 154, pp. B852-B864

Ell, J.; Georg, A.; Arntzen, M.; Gombert, A.; Graf, W.; Wittwer, V.

»Optical Investigation of the Hydrogenation and Dehydrogenation Mechanisms of Evaporated MgNi Films«, in: *Solar Energy Materials & Solar Cells*, Vol. 91, pp. 503-517

Forberich, K.; Gombert, A.; Pereira, S.¹; Crewett, J.²; Lemmer, U.³; Diem, M.⁴; Busch, K.⁴

»Lasing Mechanisms in Organic Photonic Crystal Lasers with Two-Dimensional Distributed Feedback«, in: *Journal of Applied Physics*, Vol. 100 (2006), Article ID 023110
(¹: Groupe d'Etude des Semiconducteurs, Université Montpellier, France)
(²: Photonics and Optoelectronics Group, Ludwig-Maximilians-Universität München, Germany)
(³: Lichttechnisches Institut, Universität Karlsruhe (TH), Germany)
(⁴: Institut für Theoretische Festkörperphysik, Universität Karlsruhe (TH), Germany)

Georg, Anneke¹; Georg, Andreas; Krasovec, U.²; Wittwer, V.

»Rate-Determining Process in Photoelectrochromic Devices«, in: *Journal of New Materials for Electrochemical Systems*, Vol. 8, No. 4, 2005, pp. 327-338
(¹: Freiburger Materialforschungszentrum FMF, Freiburg, Germany)
(²: Faculty of Electrical Engineering, University of Ljubljana, Slovenia)

Georg, Anneke¹; Georg, Andreas; Krasovec, U.²; Wittwer, V.

»Phase Transitions of the WO₃ Layer in Photoelectrochromic Devices«, in: *Journal of New Materials for Electrochemical Systems*, Vol. 8, No. 4, 2005, pp. 319-327
(¹: Freiburger Materialforschungszentrum FMF, Freiburg, Germany)
(²: Faculty of Electrical Engineering, University of Ljubljana, Slovenia)

Gerteisen, D.; Hakenjos, A.; Schumacher, J.

»AC Impedance Modelling Study on Porous Electrodes of Proton Exchange Membrane Fuel Cells Using an Agglomerate Model«, in: *Journal of Power Sources*, Vol. 173, pp. 346-356

Glattaar, M.¹; Riede, M.¹; Keegan, N.; Sylvester-Hvid, K.¹; Zimmermann, B.¹; Niggemann, M.¹; Hinsch, A.; Gombert, A.

»Efficiency Limiting Factors of Organic Bulk Heterojunction Solar Cells Identified by Electrical Impedance Spectroscopy«, in: *Solar Energy Materials & Solar Cells*, Vol. 91, pp. 390-393
(¹: Freiburger Materialforschungszentrum FMF, Freiburg, Germany)

Glunz, S. W.

»High-efficiency Crystalline Silicon Solar Cells«, in: *Advances in Opto Electronics*, Vol. 2007, Article ID 97370

Glunz, S. W.

»New Concepts for High-Efficiency Silicon Solar Cells«, in: *Solar Energy Materials & Solar Cells*, Vol. 90, pp. 3276-3284

Green, M. A.¹; Emery, K.²; King, D. L.³; Hishikawa, Y.⁴; Warta, W.

»Solar Cell Efficiency Tables«, in: *Progress in Photovoltaics*, Vol. 15 (2007), pp. 35-40
(¹: ARC Photovoltaics Centre of Excellence, University of New South Wales, Sydney, Australia)
(²: National Renewable Energy Laboratory, Golden, CO, USA)
(³: Sandia National Laboratories, Albuquerque, NM, USA)
(⁴: National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST), Research Center for Photovoltaics (RCVP), Tsukuba, Ibaraki, Japan)

González-Díaz, B.¹; Guerrero-Lemus, R.¹; Borchert, D.; Hernández-Rodríguez, C.¹; Martínez-Duart, J.²

»Low-Porosity Porous Silicon Nanostructures on Monocrystalline Silicon Solar Cells«, in: *Physica E*, Vol. 38 (2007), pp. 215-218
(¹: Departamento de Física Básica, Universidad de La Laguna de Tenerife, Spain)
(²: Departamento de Física Aplicada, Universidad Autónoma, Madrid, Spain)

Hebling, C.

»Mikroenergie-technik macht mobil«, in: *Physik Journal* 6, Vol.10, pp. 33-40

Hebling, C.; Aicher, T.; Ziegler, C.; Rochlitz, L.

»Micro-Fuel Cells«, in: *Comprehensive Microsystems*, Gianchandri, Y.; Tabato, O.; Zappe, H. (eds.), Vol. 3.19, Oxford: Elsevier BV

Henning, H.-M.; Wiemken, E.; Balaras, C. A.¹; Grossman, G.²; Infante Ferreira, C. A.³; Podesser, E.⁴; Wang, L.³

»Solar Air-Conditioning in Europe – an Overview«, in: *Renewable & Sustainable Energy Reviews* (Elsevier), Vol. 11 (2007), pp. 299-314
(¹: National Observatory of Athens, Greece)
(²: Technion – Israel Institute of Technology, Haifa, Israel)
(³: Delft University of Technology, Delft, The Netherlands)
(⁴: Joanneum Research, Graz, Austria)

- Henning, H.-M.
»Solar Assisted Air-Conditioning of Buildings – an Overview«, in: Applied Thermal Engineering, Vol. 27 (2007), Issue 13, pp. 1734-1749
- Henning, H.-M.; Wiemken, E.; Pagano, T.¹; Mola, S.²
»Micro Tri-Generation System for Indoor Air-Conditioning in the Mediterranean Climate«, in: Applied Thermal Engineering, Vol. 27 (2007), Issue 13, pp. 2188-2194
(¹: AMG ENERGIA, Palermo, Italy)
(²: Centro Ricerche Fiat, Orbassano, Italy)
- Henze, G.¹; Pfafferot, J.; Herkel, S.; Felsmann, C.²
»Impact of Adaptive Comfort Criteria and Heat Waves on Optimal Building Thermal Mass Control«, in: Energy and Buildings, Vol. 39 (2007), Issue 2, pp. 221-235
(¹: University of Nebraska-Lincoln, Omaha, Nebraska, USA)
(²: Technische Universität Dresden, Germany)
- Herke, S.; Knapp U.; Pfafferott J.
»Towards a Model of User Behaviour Regarding the Manual Control of Windows in Office Buildings«, in: Building and Environment, published online
- Hogarth, W.¹; Steiner, J.; Benzinger, J.²; Hakenjos, A.
»Spatially-resolved Current and Impedance Analysis of a Stirred Tank Reactor and Serpentine Fuel Cell Flow-field at Low relative Humidity«, in: Journal of Power Sources, Vol. 164, Issue 2, pp. 464-471
(¹: Centre for Functional Nanomaterials, University of Queensland, Australia)
(²: Department of Chemical Engineering, Princeton University, New Jersey, USA)
- Janßen, L.¹; Rinio, M.; Borchert, D.; Windgassen, H.¹; Bätzner, D.¹; Kurz, H.¹
»Passivating Thin Bifacial Silicon Solar Cells for Industrial Production«, in: Progress in Photovoltaics, Vol. 15 (2007), Issue 6, pp. 469-475
(¹: Institut für Halbleitertechnik RWTH Aachen, Germany)
- Janz, S.; Riepe, S.; Hofmann, M.; Reber, S.; Glunz, S.
»Phosphorus-doped SiC as an Excellent P-type Si Surface Passivation Layer«, in: Applied Physical Letters, Vol. 88 (2006), Article ID 133516
- Kasemann, M.¹; Schubert, M.; The, M.; Köber, M.; Hermle, M.; Warta, W.
»Comparison of Luminescence Imaging and Illuminated Lock-in Thermography on Silicon Solar Cells«, in: Applied Physics Letters 89 (2007), Article ID 224102
(¹: Freiburger Materialforschungszentrum FMF, Freiburg, Germany)
- Kasemann, M.¹; Grote, D.; Walter, B.; Kwapil, W.; Trupke, T.²; Augarten, Y.²; Bardos, R. A.²; Pink, E.²; Abbott, M. D.²; Warta, W.
»Luminescence Imaging for the Detection of Shunts on Silicon Solar Cells«, in: Progress in Photovoltaics: Research and Applications, in print
(¹: Freiburger Materialforschungszentrum FMF, Freiburg, Germany)
(²: Centre of Excellence for Advanced Silicon Photovoltaics and Photonics, University of New South Wales, Sydney, Australia)
- Katusic, S.¹; Albers, P.¹; Kern, R.; Petrat, F.²; Sastrawan, R.; Hore, S.; Hinsch, A.; Gutsch, A.
»Production and Characterization of ITO-Pt Semiconductor Powder Containing Nanoscale Noble Metal Particles Catalytically Active in Dye-Sensitized Solar Cells«, in: Solar Energy Materials & Solar Cells, Vol. 90 (2006), pp. 1983-1999
(¹: Degussa AG, Hanau, Germany)
(²: Degussa AG, Marl, Germany)
- Kaiser, R.
»Optimized Battery-Management System to improve Storage Lifetime in Renewable Energy Systems«, in: Journal of Power Sources, Vol. 168, Issue 1, pp. 58-65
- Khelashvili, G.¹; Behrens, S.¹; Hinsch, A.; Habicht, W.¹; Schild, D.³; Eichhöfer, A.⁴; Sastrawan, R.⁵; Skupien, K.⁶; Dinjus, E.¹; Bönnemann, H.⁷
»Preparation and Characterization of Low Platinum Loaded Pt:SnO₂ Electrocatalytic Films for Screen Printed Dye Solar Cell Counter Electrode«, in: Thin Solid Films, Vol. 515, pp. 4074-4079
(¹: Forschungszentrum Karlsruhe, ITC-CPV, Germany)
(²: Universität Heidelberg, Germany)
(³: Institut für Nukleare Entsorgung, Forschungszentrum Karlsruhe, Germany)
(⁴: Institut für Nanotechnologie, Forschungszentrum Karlsruhe, Germany)
(⁵: Freiburger Materialforschungszentrum FMF, Freiburg, Germany)
(⁶: University of Technology, Krakow, Poland)
(⁷: Max-Planck-Institut für Kohlenforschung, Mülheim, Germany)
- Khelashvili, G.¹; Behrens, S.¹; Weidenthaler, C.²; Vetter, C.; Hinsch, A.; Kern, R.; Skupien, K.³; Dinjus, E.¹; Bönnemann H.¹
»Catalytic Platinum Layers for Dye Solar Cells: A Comparative Study«, in: Thin Solid Films, Vol. 511-512, pp. 342-348
(¹: Forschungszentrum Karlsruhe ITC-CPV, Karlsruhe, Germany)
(²: Max-Planck-Institut für Kohlenforschung, Mülheim, Germany)
(³: University of Technology, Krakow, Poland)
- König, P.; Weber, A.; Lewald, N.; Aicher, T.; Jörissen, L.; Ivers-Tiffée, E.
»Model-aided Testing of a PEMFC CHP System«, in: Fuel Cells, Vol. 7 (2007) 1, 70-77
- Kroon, J.¹; Bakker, N.¹; Smit, H.¹; Liska, P.²; Thampi, K.²; Wang, P.²; Zakeeruddin, S.²; Grätzel, M.²; Hinsch, A.; Hore, S.³; Würfel, U.³; Sastrawan, R.³; Durrant, J.⁴; Palomares, E.⁴; Petterson, H.⁵; Gruszecki, T.⁵; Walter, J.⁶; Skupien, K.⁶; Tulloch, G.⁷
»Nanocrystalline Dye-Sensitized Solar Cells Having Maximum Performance«, in: Progress in Photovoltaics: Research and Applications, Vol. 15 (2007), pp. 1-18
(¹: Energy Research Center (ECN), Solar Energy, Petten, The Netherlands)
(²: LPI-ISIC, Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL), Lausanne, Switzerland)
(³: Freiburger Materialforschungszentrum FMF, Freiburg, Germany)
(⁴: Centre for Electronic Materials and Devices, Department of Chemistry, Imperial College, London, United Kingdom)
(⁵: IVF Industrial Research and Development Corporation, Mölndal, Sweden)
(⁶: University of Technology, Krakow, Poland)
(⁷: Greatcell Solar SA (GSA), Lausanne, Switzerland)
- Köhl, M.; Kübler, V.; Heck, M.
»Optimisation of Micro-Climature in Solar Collectors«, in: Solar Energy Materials & Solar Cells, Vol. 91, pp. 721-726
- Kray, D.; Hermle, M.; Glunz, S. W.
»Theory and Experiments on the Back Side Reflectance of Silicon Wafer Solar Cells«, in: Progress in Photovoltaics: Research and Applications, published online: 8.5.2007
- Kray, D.; Hopman, S.; Spiegel, A.¹; Richerzhagen, B.¹; Willeke, G.
»Study on the Edge Isolation of Industrial Silicon Solar Cells with Waterjet-guided Laser«, in: Solar Energy Materials & Solar Cells, Vol. 91, pp. 1638-1644
(¹: Synova, S.A., Ecublens, Switzerland)
- Kuhn, T.
»Sonnenschutz: Eine generelle Bewertungsmethode – auch für zwischenliegende Systeme – und zwei neue Behänge«, in: Bauphysik, Vol. 29, pp. 63-74
- Létay, G.; Hermle, M.; Bett, A. W.
»Simulating Single-Junction GaAs Solar Cells Including Photon Recycling«, in: Progress in Photovoltaics: Research and Applications, Vol. 14, Issue 7, pp. 683-696
- Loeckenhoff, R.; Dimroth, F.; Oliva, E.; Ohm, A.; Wilde, J.; Faiman, D.; Biryukov, S.; Melnichak, V.; Kabalo, S.; Bokobza, D.; Bett, A. W.
»Development, Characterisation and 1000 Suns Outdoor Tests of GaAs Monolithic Inter-connected Module (MIM) Receivers«, in: Progress in Photovoltaics: Research and Applications, to be published

Lungenschmied, C.¹; Dennler, G.¹; Neugebauer, H.¹; Sariciftci, S.¹; Glatthaar, M.; Meyer, T.²; Meyer, A.²
 »Flexible, Long-Lived, Large-Area Organic Solar Cells«, in: *Solar Energy Materials & Solar Cells*, Vol. 91, pp. 379-384
 (¹: Linz Institute for Organic Solar Cells, Johannes Kepler University, Linz, Austria)
 (²: Solaronix SA, Aubonne, Switzerland)

Macdonald, D.¹; Deenapanray, P. N. K.²; Cuevas, A.²; Diez, S.; Glunz, S. W.
 »The Role of Silicon Interstitials in the Formation of Boron-Oxygen Defects in Crystalline Silicon«, in: *Solid State Phenomena*, Vol. 108-109 (2006), pp. 497-501
 (¹: Department of Engineering, The Australian University, Canberra, Australia)
 (²: Centre for Sustainable Energy Systems, The Australian University, Canberra, Australia)

Macdonald, D.¹; Rosenits, P.; Deenapanray, P. N. K.²
 »Recombination Activity of Manganese in P- and N-Type Crystalline Silicon«, in: *Semiconductor Science and Technology*, Vol. 22, pp. 163-167
 (¹: Department of Engineering, The Australian University, Canberra, Australia)
 (²: Centre for Sustainable Energy Systems, The Australian University, Canberra, Australia)

Marrero, N.¹; González-Díaz, B.¹; Guerrero-Lemus, R.¹; Borchert, D.; Hernández-Rodríguez, C.¹
 »Optimization of Sodium Carbonate Texturization on Large-Area Crystalline Silicon Solar Cells«, in: *Solar Energy Materials & Solar Cells*, Vol. 91, pp. 1943-1947
 (¹: Departamento de Física Básica, Universidad de La Laguna, Tenerife, Spain)

Mette, A.; Richter, P.; Hörteis, M.; Glunz, S. W.
 »Metal Aerosol Jet Printing for Solar Cell Metallization«, in: *Progress in Photovoltaics*, Vol. 15, pp. 621-627

Mette, A.; Pysch, D.; Emanuel, G.; Erath, D.; Preu, R.; Glunz, S. W.
 »Series Resistance Characterization of Industrial Silicon Solar Cells With Screen-Printed Contacts Using Hotmelt Paste«, in: *Progress in Photovoltaics*, Vol. 15, pp. 493-505

Mingirulli, N.; Riepe, S.¹; Biro, D.; Preu, R.; Glunz, S.W.
 »Method for Determination of Recombination Activity of Cylindric Conduction Channels for Back Contacted Solar Cells«, in: *Applied Physics Letters*, Vol. 91/2007, Article ID 183512
 (¹: Freiburger Materialforschungszentrum FMF, Freiburg, Germany)

Mohr, A.; Roth, T.; Glunz, S. W.
 »BICON: High Concentration PV One-axis Tracking«, in: *Progress in Photovoltaics*, Vol. 14 (2006), pp. 663-674

Möller, H. J.; Funke, C.; Rinio, M.; Scholz, S.
 »Multicrystalline Silicon for Solar Cells«, in: *Thin Solid Films*, Switzerland, Vol. 487, p.179

Nazmutdinova, G.¹; Sensfuss, S.¹; Schrödner, M.¹; Hinsch, A.; Sastrawan, R.²; Gerhard, D.³; Himmeler, S.³; Wasserscheid, P.³
 »Quasi-solid State Polymer Electrolytes for Dye-sensitized Solar Cells: Effect of the Electrolyte Components Variation on the Triiodide Ion Diffusion Properties and Charge-Transfer Resistance at Platinum Electrode«, in: *Solid State Ionics*, Vol. 177, pp. 3146
 (¹: Thüringisches Institut für Textil- und Kunststoff-Forschung e. V.)
 (²: Freiburger Materialforschungszentrum FMF, Freiburg, Germany)
 (³: Friedrich-Alexander-Universität, Erlangen, Germany)

Nuñez, T.; Mittelbach, W.¹; Henning, H.-M.
 »Development of an Absorption Chiller and Heat Pump for Domestic Heating and Air-Conditioning Applications«, in: *Applied Thermal Engineering*, Vol. 27 (2007), pp. 2205-2212
 (¹: SorTech AG, Halle, Germany)

Oszcipok, M.; Hakenjos, A.; Riemann, D.; Hebling, C.
 »Start Up and Freezing Processes in PEM Fuel Cells«, in: *Fuel Cells*, Vol. 7 (2007), pp. 135-141

Peharz, G.; Dimroth, F.; Wittstadt, U.
 »Solar Hydrogen Production by Water Splitting with a Conversion Efficiency of 18%«, in: *International Journal of Hydrogen Energy*, Vol. 32, pp. 3248-3252

Pfafferott, J.; Herkel, S.
 »Statistical Simulation of User Behaviour in Low-Energy Office Buildings«, in: *Solar Energy*, Vol. 81 (2007), Issue 5, pp. 676-682

Pfafferott, J.; Herkel, S.; Kalz, D.; Zeuschner, A.
 »Comparison of Low-Energy Office Buildings in Summer Using Different Thermal Comfort Criteria«, in: *Energy and Buildings*, Vol. 39 (2007), Issue 7, pp. 750-757

Prager, C.; Köhl, M.; Heck, M.; Herkel, S.
 »The Influence of the IR Reflection of Painted Façades on the Energy Balance of a Building«, in: *Energy and Building*, Vol. 38 (2006), pp. 1369-1379

Pysch, D.; Mette, A.; Glunz, S. W.
 »A Review and Comparison of Different Methods to determine the Series Resistance of Solar Cells«, in: *Solar Energy Materials & Solar Cells*, Vol. 91, pp. 1698-1706

Rinio, M.; Scholz, S.; Müller, H.; Funke, C.
 »Multicrystalline Silicon for Solar Cells«, in: *Thin Solid Films*, Vol. 487, pp. 179-187

Roth, T.; Rosenits, P.; Macdonald, D.¹; Beljakowa, S.²; Pensl, G.²; Glunz, S. W.
 »Electronic Properties and Dopant Pairing Behavior of Manganese in Boron-Doped Silicon«, in: *Journal of Applied Physics*, Vol. 102 (2007), Article ID 103716
 (¹: Department of Engineering, College of Engineering and Computer Science, The Australian National University, Canberra, Australia)
 (²: Lehrstuhl für Angewandte Physik (LAP), Universität Erlangen-Nürnberg, Germany)

Rosenits, P.; Roth, T.; Beljakowa, S.¹; Glunz, S. W.
 »Determining the Defect Parameters of the Deep Aluminium-Related Defect Center in Silicon«, in: *Applied Physics Letters*, Vol. 91 (2007), Article ID 122109
 (¹: Lehrstuhl für Angewandte Physik (LAP), Universität Erlangen-Nürnberg, Germany)

Sauer, D.¹; Karden, E.²; Fricke, B.²; Blanke, H.¹; Thele, M.¹; Bohlen, O.¹; Schiffer, J.¹; Gerschler, J.¹; Kaiser, R.
 »Charging Performance of Automotive Batteries – an Underestimated Factor Influencing Lifetime and Reliable Battery Operation«, in: *Journal of Power Sources*, Vol. 168 (2007), Issue 1, pp. 22-30
 (¹: Institut für Stromrichtertechnik und Elektrische Antriebe, RWTH Aachen, Germany)
 (²: Ford Research and Advanced Engineering Europe, Aachen, Germany)

Schiffer, J.¹; Sauer, D.¹; Bindner, H.²; Cronin, T.²; Lundsager, P.²; Kaiser, R.
 »Model Prediction for Ranking Lead-Acid Batteries According to Expected Lifetime in Renewable Energy Systems and Autonomous Power-Supply Systems«, in: *Journal of Power Sources*, Vol. 168 (2007), Issue 1, pp. 66-78
 (¹: Institut für Stromrichtertechnik und Elektrische Antriebe, RWTH Aachen, Germany)
 (²: National Laboratory, Risø, Roskilde, Denmark)

Schmich, E.; Lautenschlager, H.; Hees, J.; Trenkle, F.; Frieß, T.; Schillinger, N.; Reber, S.
 »N-type Emitter Epitaxy for Crystalline Silicon Thin-Film Solar Cells«, in: *Progress in Photovoltaics*, Vol. 1 (2007), pp. 1111-1114

Schmich, E.; Schillinger, N.; Reber, S.
 »Silicon CVD Deposition for Low-Cost Applications in Photovoltaics«, in: *Surface and Coatings Technology*, Volume 201 (2007), Issues 22-23, pp. 9325-9329

Schubert, M.¹; Pingel, S.; The, M.; Warta, W.
 »Quantitative Carrier Lifetime Images Optically Measured on Rough Silicon Wafers«, in: *Journal of Applied Physics*, Vol. 101, Article ID 124907
 (¹: Freiburger Materialforschungszentrum FMF, Freiburg, Germany)

Schultz, O.; Glunz, S. W.; Riepe, S.; Willeke, G.
 »High-Efficiency Solar Cells on Phosphorous Gettered Multicrystalline Silicon Substrates«, in: *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, Vol. 14/2006, pp. 711-719

Schultz, O.; Mette, A.; Hermlé, M.; Glunz, S. W.
»Thermal Oxidation for Crystalline Silicon Solar Cells exceeding 19% Efficiency Using Industrial Technology«, in: Progress in Photovoltaics, in print

Siegers, C.¹; Hohl-Ebinger, J.; Zimmermann, B.²; Würfel, U.¹; Mühlhaupt, R.¹; Hinsch, A.; Haag, R.³

»A Dyadic Sensitizer for Dye Solar Cells with High Energy-Transfer Efficiency in the Device«, in: ChemPhysChem, Vol. 8, pp. 1548-1556

(¹: Freiburger Materialforschungszentrum FMF, Freiburg, Germany)

(²: Institut für Physikalische Chemie, Albert-Ludwigs-Universität, Freiburg, Germany)

(³: Institut für Chemie und Biochemie – Organische Chemie, Freie Universität Berlin, Berlin, Germany)

Sylvester-Hvid, K. O.¹; Ziegler, M.; Riede, M.; Keegan, N.; Niggemann M.; Gombert, A.

»Analyzing P3HT:PCBM Bulk-Heterojunction Solar Cells by UV-vis Spectroscopy and Optical Simulations«, in: Journal of Applied Physics, Vol. 102 (2007), Article ID 054502

(¹: Freiburger Materialforschungszentrum FMF, Freiburg, Germany)

Voss, K.¹; Herkel, S.; Pfafferott, J.; Löhnert, G.²; Wagner, A.³

»Energy-Efficient Office Buildings with Passive Cooling – Results and Experiences from Research and Demonstration Programme«, in: Solar Energy, Vol. 81 (2007), Issue 3, pp. 424-434

(¹: Bergische Universität Wuppertal, Bauphysik und technische Gebäudeausrüstung, Wuppertal, Germany)

(²: Solidar Planungswerkstatt, Berlin, Germany)

(³: Universität Karlsruhe, Karlsruhe, Germany)

Würfel, P.¹; Trupke, T.²; Puzzer, T.²; Schäffer, E.; Warta, W.; Glunz, S. W.

»Diffusion Lengths of Silicon Solar Cells from Luminescence Images«, in: Journal of Applied Physics, Vol. 101, Article ID 123110

(¹: Universität Karlsruhe, Karlsruhe, Germany)

(²: Centre of Excellence for Advanced Silicon Photovoltaics and Photonics, University of New South Wales, Sydney, Australia)

Würfel, U.¹; Peters, M.; Hinsch, 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, accepted for publication

(¹: Freiburger Materialforschungszentrum FMF, Freiburg, Germany)

Zimmermann, B.¹; Glatthaar, M.¹; Niggemann, M.¹; Riede, M.¹; Hinsch, A.; Gombert, A.

»ITO-Free Wrap Through Organic Solar Cells – a Module Concept for Cost-Efficient Reel-to-Reel Production«, in: Solar Energy Materials & Solar Cells, Vol. 91, pp. 374-378

(¹: Freiburger Materialforschungszentrum FMF, Freiburg, Germany)

Zistler, M.¹; Wachter, P.¹; Wasserscheid, P.²; Gerhard, D.²; Hinsch, A.; Sastrawan, R.³; Gores, H. J.¹

»Comparison of Electrochemical Methods for Triiodide Diffusion Coefficient Measurements and Observation of Non-Stokesian Diffusion Behaviour in Binary Mixtures of Two Ionic Liquids«, in: Electrochimica Acta, Vol. 52 (2006), pp. 161-169

(¹: Institut für Physikalische und Theoretische Chemie, Universität Regensburg, Germany)

(²: Institut für Chemische Reaktionstechnik, Universität Erlangen-Nürnberg, Germany)

(³: Freiburger Materialforschungszentrum FMF, Freiburg, Germany)

Zistler, M.¹; Wachter, P.¹; Schreiner, C.²; Fleischmann, M.¹; Gerhard, D.²;

Wasserscheid, P.²; Hinsch, A.; Gores, H.

»Temperature Dependent Impedance Analysis of Binary Ionic Liquid Electrolytes for Dye-Sensitized Solar Cells«, in: Journal of the Electrochemical Society, Vol. 154, pp. B925-B930

(¹: Institut für Physikalische und Theoretische Chemie, Universität Regensburg, Germany)

(²: Institut für Chemische Reaktionstechnik, Universität Erlangen-Nürnberg, Germany)

Vorträge

- Agert, C.
»The Planar PCB Fuel Cells Development at Fraunhofer ISE«, Taiwan Int' I Small Fuel Cell Application Technical Forum, Taipei, China, 6./7.12.2006
- Agert, C.; Eccarius, S.; Groos, U.; Oszcipok, M.; Hebling, C.
»Mikrobrennstoffzellen: aktuelle Entwicklungen und Einsatzfelder«, Verband der Elektrotechnik, Bundesministerium für Bildung und Forschung, Mikrosystemtechnik Kongress 2007, Dresden, Germany, 15.-17.10.2007
- Agert, C.
»Fraunhofer Energy Alliance«, Fraunhofer Nokia Technology Day, Munich, Germany, 13.6.2007
- Aicher, T.; Griesser, L.¹
»Novel Process for Catalytic Partial Oxidation of Diesel«, Fuel Cell Seminar & Exposition, San Antonio, TX, USA, 15.-19.10.2007
(¹: Griesser Engineering, Zurich, Switzerland)
- Bett, A. W.; Peharz, G.; Siefer, G.
»CVP – an Industrial Revolution for Renewables?«, Universität Marburg, Workshop On Concentrating Photovoltaic Optics and Power, Marburg, Germany, 11./12.10.2007
- Bett, A. W.; Dimroth, F.; Jaus, J.; Peharz, G.; Siefer, G.
»The Needs for Industrialisation of CPV Technologies«, 4th International Conference on Solar Concentrators for the Generation of Electricity of Hydrogen (ICSC-4), El Escorial, Spain, 12.-16.3.2007
- Bett, A. W.; Dimroth, F.; Jaus, J.; Peharz, G.; Siefer, G.; Lerchenmüller, H.
»High-Concentration PV Systems Using III-V Solar Cells«, MCEET, International Conference on Sustainable Energy: Technologies, Materials and Environmental Issues (ISCE07), Cairo, Egypt, 29.10.-1.11.2007
- Bett, A. W.
»Technology Overview: Concentrator Technology«, PV Industry Forum, Freiburg, Germany, 20.6.2007
- Bläsi, B.
»Mikrostrukturierte Kunststoffoberflächen in Solar- und Displaytechnik«, Konferenz »Transparente Kunststoffe«, Würzburg, Germany, 9./10.5.2007
- Bläsi, B.
»Optical Enhancement Films«, Deutsches Fachdisplayforum (DFF), Flachdisplays: Grundlagen und Anwendungen, Pforzheim, Germany, 27./28.9.2007
- Bopp, G.
»Betriebsführungssysteme für PV-Hybrid-Inselanlagen«, OTTI Energie-Kolleg, 22. Symposium Photovoltaische Solarenergie, Bad Staffelstein, Germany, 7.-9.3.2007
- Bopp, G.
»Batterien in netzfernen Stromversorgungsanlagen«, Fachseminar Netzferne Stromversorgung mit Photovoltaik, OTTI Energie-Kolleg, Freiburg, Germany, 10./11.10.2007
- Bopp, G.
»Solar Home Systeme und Einzelhausversorgung«, Fachseminar Netzferne Stromversorgung mit Photovoltaik, OTTI Energie-Kolleg, Freiburg, Germany, 10./11.10.2007
- Bopp, G.
»Elektrische Sicherheit, Errichtungsbestimmungen, Blitzschutz, EMV« Fachseminar Netzferne Stromversorgung mit Photovoltaik, OTTI Energie-Kolleg, Freiburg, Germany, 10./11.10.2007
- Bopp, G.
»Erzeugen PV-Anlagen Elektrosmog?«, Fachseminar EMV, Blitz- und Brandschutz für Solaranlagen, OTTI Energie-Kolleg, Freiburg, Germany, 4./5.12.2007
- Bopp, G.
»Beispielhaft ausgeführter Blitzschutz bei Kollektoranlagen und netzgekoppelten PV-Anlagen«, Fachseminar EMV, Blitz- und Brandschutz für Solaranlagen, OTTI Energie-Kolleg, Freiburg, Germany, 4./5.12.2007
- Burger, B.
»25 Jahre transformatorlose Wechselrichter«, OTTI Energie-Kolleg, 22. Symposium Photovoltaische Solarenergie, Bad Staffelstein, Germany, 7.-9.3.2007
- Burger, B.
»Power Electronics for Grid Connected Photovoltaics«, Fachseminar Power Electronics for Renewable Energies, OTTI Energie-Kolleg, Freiburg, Germany, 19./20.6.2007
- Burger, B.
»Power Electronics for Variable Speed Generators and Combined Heat and Power Plants (CHP)«, Fachseminar Power Electronics for Renewable Energies, OTTI Energie-Kolleg, Freiburg, Germany, 19./20.6.2007
- Burger, B.; Kranzer, D.; Stalter, O.
»Photovoltaic Inverters with SiC MOSFETs«, in: Proceedings, 2nd SiC User Forum – Potential of SiC in Power Electronics Applications, Copenhagen, Denmark, 6./7.9.2007
- Clement, F.; Lutsch, M.; Kubera, T.; Wirth, H.; Harmel, C.; Wolke, W.; Biro, D.; Preu, R.
»Industrially Feasible Multi Crystalline Metal Wrap Through (MWT) Silicon Solar Cells Exceeding 16% Efficiency«, 17th International Photovoltaic Science and Engineering Conference (PVSEC), Fukuoka, Japan, 3.-7.12.2007
- Eccarius, S.; Manurung, T.; Ziegler, C.; Hebling, C.
»Reliability of Measurements of a Reference Electrode for DMFCs«, Korea-USA Joint Symposium on Hydrogen & Fuel Cell, Columbia SC, USA, 2.-5.5.2007
- Erath, D.
»Printing Technologies for High Volume Production of Crystalline Silicon Solar Cells«, 39th Conference of the International Circle of Educational Institutes for the Graphic Arts: technology and management, Yverdon-les-Bains, Switzerland, 10.10.2007
- Glunz, S. W.
»Thin High-Efficiency Crystalline Silicon Solar Cells«, 3rd Workshop on the Future Direction of Photovoltaics, Tokyo, Japan, 8./9.3.2007
- Glunz, S. W.
»High-efficiency Silicon Solar Cells«, Seminarvortrag am Toyota Technological Institute, Nagoya, Japan, 7.3.2007
- Glunz, S. W.; Nekarda, J.; Mäckel, H.; Cuevas, A.
»Analyzing Back Contacts of Silicon Solar Cells by Suns-Voc-Measurements at High Illumination Densities«, 22nd European Photovoltaic Solar Energy Conference (EUPVSEC), Milan, Italy, 3.-7.9.2007
- Glunz, S. W.
»Silicon Solar Cells: State-of-the-Art Technology and High-efficiency Concepts«, 398. Heraeus-Seminar: Photon Management in Solar Cells, Bad Honnef, Germany, 29.10.-1.11.2007
- Glunz, S. W.
»Metallisierungstechnik für Solarzellen aus kristallinem Silicium«, DGO-Workshop: Galvano- und Oberflächentechnik für Elektronik- und Solaranwendungen, Berlin, Germany, 11.10.2007
- Glunz, S. W.
»Crystalline Silicon Solar Cells: State-of-the-art and High-efficiency Concepts«, First Workshop on Physics and Energy Research: Condensed Matter of the European Physical Society, Garching, Germany, 9.11.2007
- Goldschmidt, J.; Peters, M.; Löper, P.; Glunz, S. W.; Gombert, A.; Willeke, G.
»Photon Management for Full Spectrum Utilization with Fluorescent Materials«, QUANTSOL 2007, Winter Workshop, Bad Hofgastein, Germany, 18.-24.3.2007
- Goldschmidt, J.
»Novel Solar Cell Concepts – How to manage photons«, Ornstein Colloquium, Utrecht University, The Netherlands, 15.11.2007
- Goldschmidt, J.
»Neuartige Solarkonzepte – Wie man Photon managt«, Stipendiantenseminar, Deutsche Bundesstiftung Umwelt, Benediktbeuren, Germany, 5.-9.11.2007

- Gölz, S.; Hewitt, A.¹
 »The LETIT Tool and Municipal Experience«, Local Renewables Freiburg 2007 – Powerful local action for secure and sustainable energy in Europe, Freiburg, Germany, 13.-15.6.2007 (¹: Climate Change Team Leader, London, UK)
- Gölz, S.; Schröter, A.¹; Nanthavong, S.¹; Ortiz, B.; Vetter, M.
 »PV-Hybrid-Dorfstromversorgung in Laos – Profitabel für Versorgungsunternehmen mit bezahlbaren Preisen für die ländliche Bevölkerung?«, OTTI Energie-Kolleg, 22. Symposium Photovoltaische Solarenergie, Bad Staffelstein, Germany, 7.-9.3.2007 (¹: Sunlabob, Vientiane, Laos)
- Gölz, S.
 »Financing Models for Decentralised Systems«, Symposium on Solar Desalination and Water Treatment, Freiburg, Germany, Juni 2007
- Gölz, S.
 »Psychological Research for Innovative Systems in the Changing Energy Supply Market«, Environmental Psychology Conference 2007, Deutsche Gesellschaft für Psychologie (DGPs), Bayreuth, Germany, 9.-12.9.2007
- Gölz, S.
 »Nichttechnische Aspekte der ländlichen Elektrifizierung«, Fachseminar Netzferne Stromversorgung mit Photovoltaik, OTTI Energie-Kolleg, Freiburg, Germany, 10./11.10.2007
- Gombert, A.
 »Organic Solar Cells – from Fundamentals to Technology«, International Expert Symposium, KGITCC, Seoul, South Korea, 31.10.2006
- Gombert, A.
 »Nanotechnologie im Bauwesen«, Impulsreferat Branchendialog Bauwesen nanoDE 2006, Berlin, Germany, 6./7.11.2006
- Gombert, A.
 »Nanotech in der Energieversorgung der Zukunft«, Jahreskongress 2006 der Hessischen Landesregierung: Hessen im Dialog: Nano – hier ist die Zukunft, Gießen, Germany, 9.11.2006
- Gombert, A.; Niggemann, M.; Zimmermann, B.; Hinsch, A.
 »State of the Art and Perspectives of Organic Solar Cells«, International Symposium for Electronics on Polymers & Web-Coating Technology, Aoyama-Kaikan, Aoyama-Gakuin University, Tokyo, Japan, 20./21.3.2007
- Gombert, A.; Bläsi, B.; Mick, J.; Gronbach, A.
 »Micro and Nano Structures for Web Coated Film Products«, International Symposium for Electronics on Polymers & Web-Coating Technology, Aoyama-Kaikan, Aoyama-Gakuin University, Tokyo, Japan, 20./21.3.2007
- Gombert, A.
 »Coated and Microstructured Surfaces with Variable or Wavelength Selective Optical Properties for Solar Applications«, 2007 50th SVC Annual Technical Conference, Louisville, Kentucky, USA, 28.4.-3.5.2007
- Gombert, A.; Niggemann, M.
 »New Device Architectures and Applications for Polymer-C60 Organic Solar Cells«, Organic Photovoltaics 2007, Intertech Pira Conference, Baltimore, MA, USA, 1./2.5.2007
- Gombert, A.; Bläsi, B.
 »Eigenschaften und Anwendungen von Mottenaugenstrukturen als Antireflexoberflächen«, GMM-Workshop Nanooptik – Kleine Dimension große Wirkung, Jena, Germany, 14./15.5.2007
- Gombert, A.
 »New Developments in Glazing for a Better Use of Solar Energy in Buildings«, Glass Performance Days, Tampere, Finland, 15.-18.6.2007
- Gombert, A.; Niggemann, M.
 »Novel Device Architectures for Organic Solar Cells«, International Materials Forum 2007, Bayreuth, Germany, 2./3.8.2007
- Gombert, A.
 »Mikro- und Nanostrukturierte Kunststoffoberflächen«, OTTI-Fachforum Beschichten von Kunststoffoberflächen, Linz, Austria, 24./25.9.2007
- Gombert, A.
 »Photonics for Photovoltaics – an Overview on Old and New Ideas«, 398. WE-Heraeus-Seminar: Photon Management in Solar Cells, Bad Honnef, Germany, 29.10.-1.11.2007
- Groos, U.
 »Portable Brennstoffzellen – Marktpotenzial und Umweltgesichtspunkte«, Arbeitskreistreffen »Richtlinien-konformes Design für WEEE/RoHS/EuP«, Berlin, Germany, 5.6.2007
- Guter, W.; Dimroth, F.; Schöne, J.; Philipps, S.; Bett, A. W.
 »Investigation and Development of III-V Triple-Junction Concentrator Solar Cells«, 22nd European Photovoltaic Solar Energy Conference (EUPVSEC), Milan, Italy, 3.-7.9.2007
- Hahn, G.
 »Folien-Silizium: Vorteile und Herausforderungen«, Symposium Fortschritte in der Photovoltaik, IHP Frankfurt/Oder, Germany, 18.4.2007
- Hahn, G.
 »Strom von der Sonne«, Deutsche Physikalische Gesellschaft, Highlights der Physik, Frankfurt am Main, Germany, 30.8.2007
- Hausmann, T.; Schossig, P.
 »PCM – Grundlagen und Anwendungen«, 29. Ulmer Gespräch, Neu-Ulm, Germany, 10./11.5.2007
- Hebling, C.
 »Chancen einer nachhaltigen Energieversorgung«, 4th Benchmarking-Treffen Zukunftsmanagement, Festo KG & Co. KG, Esslingen, Germany, 10.5.2007
- Hebling, C.
 »Mikroenergietechnik – Power to Go«, 4th Benchmarking-Treffen Zukunftsmanagement, Festo KG & Co. KG, Esslingen, Germany, 10.5.2007
- Hebling, C.
 »Hydrogen Technology in Renewable Energy Research at Fraunhofer ISE«, EU-China Multidisciplinary Conference, Royal Society, London, United Kingdom, 4./5.6.2007
- Hebling, C.
 »Fuel Cells – Early Markets«, Pre-Conference Seminar, Fuel Cells – Early Markets 2007 – Policy, Finance, Applications, Brussels, Belgium, 10.-12.6.2007
- Hebling, C.
 »Fuel Cells for Portable and Offgrid Applications«, Solvay S.A. Research & Technology, Brussels, Belgium, 29.6.2007
- Hebling, C.; Oszcipok, M.; Alink, R.; Gerteisen, D.
 »Degradation Effects in PEM Fuel Cell Stacks at Sub-Zero-Operation (in In-Situ and Ex-Situ Analysis)«, Degradation Workshop (EU), Hersonissos, Crete, Greece, 18.-21.6.2007
- Hebling, C.
 »Hydrogen Technology in Renewable Energy Research at Fraunhofer ISE«, University of Delaware, Newark (DE), USA, 15.10.2007
- Henning, H.-M.
 »Zeolithe in Wärmetransformationsprozessen – Grundlagen, Möglichkeiten und Grenzen«, Sonderkolloquium: 250 Jahre Zeolithe, Universität Erlangen, 30.11.2006
- Henning, H.-M.
 »Solare Kühlung und Klimatisierung – technische Möglichkeiten, Stand der Umsetzung und offene Fragen«, Deutsche Kälte-Klima-Tagung 2007, Hannover, Germany, 21.-23.11.2007
- Henning, H.-M.; Morgenstern, A.; Nunez, T.
 »Thermodynamic Analysis of Solar Thermally Driven Cold Production«, 2nd International Conference Solar Air-Conditioning, Tarragona, Spain, 18.-19.10.2007
- Henning, H.-M.; Morgenstern, A.
 »Solar Air-Conditioning and Refrigeration – Collaborative Work in Task 38 of the IEA Solar Heating & Cooling Programme«, 2nd International Conference Solar Air-Conditioning, Tarragona, Spain, 18.-19.10.2007
- Henning, H.-M.
 »Phasenwechselmaterialien in Baumaterialien und Leitungssystemen«, AGFW-Projekt-GmbH, Statusseminar Fernwärmeforschung, Berlin, Germany, 4./5.10.2007
- Henning, H.-M.
 »Solar Cooling«, ISES Solar World Congress 2007, Beijing, China, 16.-23.9.2007

Henning, H.-M.

»Energie-effiziente und solare Kühlung«, inHaus-Innovationsforum: Vom Bauen zu Lebensräumen, Fraunhofer-Gesellschaft, Duisburg, Germany, 28.8.2007

Henning, H.-M.

»Solar Air-Conditioning and Refrigeration«, b_Tech Barcelona, Barcelona TECH Summer Sessions 07, Barcelona, Spain, 10.7.2007

Henning, H.-M.

»Solare Kühlung und Effizienztechnologien für die Gebäudeklimatisierung«, Fachseminar: Kühlen. Natürlich. Wirtschaftlich, Intersolar 2007, Freiburg, Germany, 21.6.2007

Henning, H.-M.

»Overview on Solar Cooling«, 3rd European Solar Thermal Energy Conference – estec 2007, Freiburg, Germany, 19.-20.6.2007

Henning, H.-M.

»Design and Dimensioning of CHIP Systems«, Conference »Low-power Microtrigeneration for the Residential and Commercial Sector«, Bilbao, Spain, 12.6.2007

Henning, H.-M.

»Solar Cooling Options – Energy-Saving and Reduction of Electricity Peak Demands«, Seminar, Sustainability Victoria, Melbourne, Australia, 15.5.2007

Henning, H.-M.

»Solar Air-Conditioning and Refrigeration«, Workshop: Solar Cooling, Sustainability Victoria, Melbourne, Australia, 14.5.2007

Henning, H.-M.

»Solar Cooling – Technologies, Systems and Design«, Seminar with professionals, Melbourne, Australia, 14.5.2007

Henning, H.-M.

»Solar Thermally Driven Cooling«, Sustainable Energy 2007, Sydney, Australia, 8.5.2007

Henning, H.-M.

»Solar Energy for Heating and Cooling of Buildings«, VELUX Conference: How to develop healthy buildings with low energy consumption, Las Arenas, Spain, 8.5.2007

Henning, H.-M.

»Heizen und Kühlen mit solarthermischen Anlagen«, Konferenz: Klimaschutz durch Solarenergie, Veranstaltung der Reihe »Chancen der Forschung«, Brussels, Belgium, 7.2.2007

Henning, H.-M.

»Solar Cooling and Air-Conditioning«, Workshop on Solar Thermal Technology, Sustainable Energy Week of the European Union, Brussels, Belgium, 2.2.2007

Henning, H.-M.

»Solar unterstützte Gebäudeklimatisierung«, Bauen & Energie 2007, Research Center Henry Tudor, Luxemburg, 26.1.2007

Henning, H.-M.

»The Sun as the Sole Energy Supplier? – Introduction to the Panel Discussion«, Bau 2007, Fachtagung »ClimaDesign meets Visions of Glas«, Munich, Germany, 19.1.2007

Henning, H.-M.

»Innovation in the Field of Solar Thermal Energy«, Wissenschaftliches Kolloquium der EMPA, Akademie, Dübendorf, Switzerland, 9.1.2007

Henninger, S.

»Experimentelle und theoretische Untersuchung neuer Adsorbentien für Wärmetransformations- und Speicheranwendungen«, 17. OTTI Symposium Thermische Solarenergie, Kloster Banz, Bad Staffelstein, 9.-11.5.2007

Herkel, S.

»Bürogebäude mit Zukunft – Ergebnisse der Begleitforschung EnBau:Monitor«, Bau 2007, Kongress »Energieeffizienz bauen«, Munich, Germany, 16.1.2007

Herkel, S.

»Energieeffizienz im Wohnungsbau«, Vorlesung Universität Karlsruhe FBTA, Karlsruhe, Germany, 9.2.2007

Herkel, S.

»Betriebsverfahren Nullheizenergiehaus Voggenthal«, 11. Passivhaustagung 2007, Bregenz, Austria, 13.4.2007

Herkel, S.

»Zukunft Energieeffizienz im Wohnbereich«, Techniker Tagung »Bund Deutscher Fertighaushersteller«, BDF, Köln, Germany, 26.4.2007

Herkel, S.

»Kühlen mit Umweltenergie in Bürogebäuden«, ForumPlanenBauen, Freiburg, Germany, 4.5.2007

Herkel, S.

»Eine Queranalyse – EnBau:Monitor«, Berliner Energietage 2007, Berlin, Germany, 9.5.2007

Herkel, S.

»Energieeinsparung vs. Behaglichkeit? – Eine Analyse von passiven Kühlkonzepten«, Hearing »Begrenzung Kälte- und Klimatechnik«, Hamburg, Germany, 13.6.2007

Herkel, S.

»Energy efficient and Solar Buildings«, Local Renewables Freiburg 2007 – Powerful local action for secure and sustainable energy in Europe, Freiburg, Germany, 15.6.2007

Herkel, S.

»Thermische Behaglichkeit und Effizienz bei passiven Kühlkonzepten«, Ökosan 2007, Weiz, Austria, 12.10.2007

Herkel, S.

»Energieeffizienz und erneuerbare Energien bei der energetischen Sanierung von Gewerbeimmobilien«, KfW-Symposium Energetische Modernisierung, Frankfurt, Germany, 15.11.2007

Heß, S.

»Application of Medium Temperature Collectors for Solar Air-Conditioning«, 2nd International Conference Solar Air-Conditioning, Tarragona, Spain, 18./19.10.2007

Hinsch, A.

»DSC Appearance: Glass Frit Sealed Dye Solar Modules with Decorative Design«, 2nd DSC Industrialization Conference, St. Gallen, Switzerland, 11.-13.9.2007

Hinsch, A.

»Dye and Organic Solar Cells: Energy Conversion through Applied Nanoscience«, German-Thai Symposium on Nanotechnology, Bang Saen, Thailand, 26.-28.9.2007

Hinsch, A.; Brandt, H.; Veurman, W.; Hemming, S.; Nittel, M.; Würfel, U.¹; Putyra, P.²; Lang-Koetz, C.³; Stabe, M.³; Beucker, S.⁴; Fichter, K.⁴

»Dye Solar Modules for Façade Applications: Recent Results from Project COLORSOL«, 17th International Photovoltaic Science and Engineering Conference (PVSEC), Fukuoka, Japan, 3.-7.12.2007

(¹: Freiburger Materialforschungszentrum FMF, Freiburg, Germany)

(²: University of Technology, Krakow, Poland)

(³: Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO, Stuttgart, Germany)

(⁴: Borderstep Institut für Nachhaltigkeit und Innovation, Berlin, Germany)

Hinsch, A.; Putyra, P.⁶; Würfel, U.¹; Brandt, H.; Skupien, K.⁶; Drewitz, A.⁹; Einsele, F.⁴; Gerhard, D.²; Gores, H.³; Hemming, S.; Himmler, S.²; Khelashvili, G.⁵; Nazmutdinova, G.⁸; Opara-Krasovec, U.⁷; Rau, U.⁴; Sensfuss, S.⁹; Walter, J.⁶; Wasserscheid, P.²

»Developments Towards Low-cost Dye Solar Modules«, in: Proceedings, 22nd European Photovoltaic Solar Energy Conference (EUPVSEC), Milan, Italy, 3.-7.9.2007

(¹: Freiburger Materialforschungszentrum FMF, Freiburg, Germany)

(²: Friedrich-Alexander-Universität, Erlangen, Germany)

(³: Institut für Physikalische und Theoretische Chemie der Universität Regensburg, Regensburg, Germany)

(⁴: Institut für Physikalische Elektronik, Universität Stuttgart, Stuttgart, Germany)

(⁵: Forschungszentrum Karlsruhe, ITC-CPV, Karlsruhe, Germany)

(⁶: University of Technology, Krakow, Poland)

(⁷: University of Ljubljana, Faculty of Electrical Engineering, Ljubljana, Slovenia)

(⁸: Thüringisches Institut für Textil- und Kunststoff-Forschung, Rudolstadt, Germany)

(⁹: Gesellschaft zur Förderung von Medizin-, Bio- und Umwelt-Technologien e.V., Jena, Germany)

- Hofmann, M.; Janz, M.; Schmidt, C.; Kambor, S.; Suwito, D.; Kohn, N.; Rentsch, J.; Glunz, S. W.; Preu, R.
»Recent Developments in Rear Surface Passivation at Fraunhofer ISE«, 17th International Photovoltaic Science and Engineering Conference (PVSEC), Fukuoka, Japan, 3.-7.12.2007
- Hofmann, M.; Kambor, S.; Schmidt, C.; Grambole, D.¹; Rentsch, J.; Glunz, S. W.; Preu, R.
»Firing Stable Surface Passivation Using All-PECVD Stacks of SiO_x:H and SiN_x:H«, 22nd European Photovoltaic Solar Energy Conference (EUPVSEC), Milan, Italy, 3.-7.9.2007
(¹: Forschungszentrum Dresden-Rossendorf, Dresden, Germany)
- Hörteis, M.; Mette, A.¹; Richter, P. L.; Fidorra, F.¹; Glunz, S. W.
»Further Progress in Metal Aerosol Jet Printing for Front Side Metallization of Silicon Solar Cells«, 22nd European Photovoltaic Solar Energy Conference (EUPVSEC), Milan, Italy, 3.-7.9.2007
(¹: Q-Cells AG, Thalheim, Germany)
- Kagerer, F.
»Gebäudebezogene Energieeinsparung, technische Ansatzpunkte, Potenziale und Erfahrungen«, Expertenworkshop Smart Home, Oldenburg, Germany, 28.6.2007
- Kagerer F.
»Energieeffiziente Planung im Neubau und Bestand am Beispiel Bauhof Passau«, Bundesanstalt für Wasserbau, Kolloquium Energetische Ertüchtigung von Gebäuden, Karlsruhe, Germany, 10.5.2007
- Kalz, D.; Pfafferott, J.; Herkel, S.
»Querauswertung von drei Niedrigenergiegebäuden: Heizen und Kühlen mit thermoaktiven Bauteilsystemen (TABs)«, OTTI Energie-Kolleg, Oberflächennahe Geothermie, Freising, Germany, 26./27.4.2007
- Kalz, D.; Pfafferott, J.; Kagerer, F.
»Monitoring and Evaluation of Night-time Ventilation and Radiant Cooling Concepts Applied to Low Energy Office Buildings«, IBPSA, 10th International Building Performance Simulation Association Conference and Exhibition, Beijing, China, 3.-6.9.2007
- Kiefer, K.
»Umfassende Qualitätssicherung als Voraussetzung für eine solide Finanzierung«, Forsee – Banking meets New Energy, Freiburg, Germany, 18.4.2007
- Kiefer, K.
»Maximale Erträge durch umfassende Qualitätssicherung – Erfahrungen aus der Praxis«, Branchengespräch der Landesbank Rheinland Pfalz LRP, Photovoltaik in der Praxis, Mainz, Germany, 25.9.2007
- Kiefer, K.
»Qualitätsanforderungen und Erträge von Photovoltaik-Anlagen«, Marktpartner Tagung der RWE Power, Nürburgring, Germany, 16.8.2007
- Kiefer, K.
»Einflüsse auf die Leistungsfähigkeit solarer Energiesysteme – häufige Fehlerquellen«, Landesverbandstagung Dachdeckerhandwerk, Rust, Germany, 27.4.2007
- Kiefer, K.
»Erträge und Qualitätssicherung bei Photovoltaik-Anlagen«, Seminar für Kunden der Solarmarkt AG, Freiburg, Germany, 16.11.2007
- Kiefer, K.
»Maximale Erträge von netzgekoppelten PV-Anlagen«, OTTI Profiseminar Photovoltaik-Anlagen, Freiburg, Germany, 21.6.2007
- Kray, D.
»Laser Chemical Processing (LCP) – A Versatile Tool for Microstructuring Applications«, in: Proceedings, Applied Physics A, 9th International Conference on Laser Ablation, Tenerife, Spain, 24.-28.9.2007
- Kuhn, T.
»Sonnenschutz: Eine neue Methode zur Bewertung von Fassaden mit Jalousien oder anderen Sonnenschutzsystemen«, OTTI Energie-Kolleg, 13. Symposium Licht + Architektur, Innovative Lichttechnik in Gebäuden, Bad Staffelstein, Germany, 8./9.3.2007
- Kuhn, T.
»Thermischer und visueller Komfort – Leistungsmerkmale und Klassifizierung von Sonnenschutzsystemen«, OTTI Energie-Kolleg, 13. Symposium Licht + Architektur, Innovative Lichttechnik in Gebäuden, Bad Staffelstein, Germany, 8./9.3.2007
- Kuhn, T.
»Leistungsmerkmale von Sonnenschutz – Inhalt und Hintergründe zu den Normentwürfen prEN14500 und prEN14501«, OTTI Energie-Kolleg, 13. Symposium Licht + Architektur, Innovative Lichttechnik in Gebäuden, Bad Staffelstein, Germany, 8./9.3.2007
- Kramer, K.; Mehnert, S.; Rommel, M.; Schäfer, A.
»Solar Keymark – Experiences with the European Solar Thermal Quality Label«, La Conferencia de la Industria Solar 2007, Madrid, Spain, 24./25.10.2007
- Laukamp, H.; Diaz, J.; Erge, Th.; Ebert, G.
»Grid Effects of a Large, Distributed PV Capacity in a Modern Urban Settlement«, in: Proceedings, 22nd European Photovoltaic Solar Energy Conference (EUPVSEC), Milan, Italy, 3.-7.9.2007
- Link, J.
»Operation Strategies for CHP-Plants in a Virtual Power Plant Network Making Use of the Building's Internal Thermal Capacities«, Energy Storage and the Case of Energy Autonomy Decentralization and Efficiency, Bonn, Germany, 19.-21.11.2007
- Luther, J.
»Strom aus Sonnenenergie – Photovoltaische Energiekonversion«, MPI Stuttgart, Stuttgart, Germany, 9.1.2007
- Luther, J.
»Photovoltaische Energiekonversion – Status und Perspektiven«, Wacker AG, Burghausen, Germany, 10.1.2007
- Luther, J.
»Solare Klimatisierung – Heizen und Kühlen mit Solarkollektoren«, Universität Freiburg Solarbeirat, Freiburg, Germany, 12.4.2007
- Luther, J.
»Solares und energieeffizientes Bauen: Ressourcenschonung und mehr Lebensqualität«, Universität Freiburg Jubiläumsvortrag, Freiburg, Germany, 13.4.2007
- Luther, J.
»Solar Energy – The Basis of Sustainable Energy Systems«, BMBF-Forum für Nachhaltigkeit L2L, Leipzig, Germany, 10.5.2007
- Luther, J.
»Strom aus Sonnenenergie«, Physikalisches Kolloquium Universität Ulm, Ulm, Germany, 21.5.2007
- Luther, J.
»Strom aus Sonnenenergie - Photovoltaische Energiekonversion«, Universität Tübingen Vortrag Studium Generale SS 07, Tübingen, Germany, 22.5.2007
- Luther, J.
»International Science Panel on Renewable Energies (ISPRE)«, REN21 General annual meeting, Berlin, Germany, 12.9.2007
- Luther, J.
»Neue Energien – Chancen für Deutschland«, Erfurter Technologiedialog, Erfurt, Germany, 30.10.2007
- Luther, J.
»World in Transition – Towards a Sustainable Energy System«, ENERGEX Conference, Singapore, 28.11.2007
- Luther, J.
»Solar Means Business – Solar Electricity«, ENERGEX Conference, Singapore, 28.11.2007
- Luther, J.
»Progress in High-Concentration Photovoltaic Systems«, 17th International Photovoltaic Science and Engineering Conference (PVSEC), Fukuoka, Japan, 3.-7.12.2007
- Luther, J.
»Photovoltaics – Electricity from the Sun«, Alumni-Treffen der Universität Freiburg, New York, USA, Dezember 2007
- Mülhölfer, G.; Koschikowski, J.; Wieghaus, M.
»Oryx 150: a Solar-Driven Membrane Desalination System«, Intersolar 2007, Freiburg, Germany, 21.-23.6.2007

Miara, M.; Russ, C.

»Feldmessung neuer Wärmepumpen: Wärmepumpen-Effizienz – erste Ergebnisse«, 5. Forum Wärmepumpen, Berlin, Germany, 11.-12.10.2007

Niggemann, M.; Zimmermann, B.;

Silvester-Hvid, K.; Haschke, J.; Gombert, A. »Development of Organic Solar Cell Architectures and Modules for Specific Applications«, 3rd Workshop on the Future Direction of Photovoltaics at Aogaku Kaikan in Tokyo, Japan, 8./9.3.2007

Niggemann, M.; Zimmermann, B.;

Silvester-Hvid, K.; Haschke, J.; Gombert, A. »Organic Solar Cell Modules – From Energy Autonomous Systems to Large Area Photovoltaics«, European Materials Research Society Spring Meeting E-MRS, Strasbourg, France, 28.5.2007

Nitz, P.; Bläsi, B.; Walze, G.; Gombert, A.

»Verglasungen mit mikrostrukturierten optisch-funktionalen Komponenten«, OTTI Energie-Kolleg, 13. Symposium Licht und Architektur, Bad Staffelstein, Germany, 8./9.3.2007

Nitz, P.

»Adaptive, selektive und schaltbare Materialien«, Kongress »Energieeffizienz bauen«, Bau 2007, München, 15./16.1.2007

Nitz, P.; Heller, A.; Platzer, W.

»Indoor Characterization of Fresnel-type Concentrator Lenses«, 4th International Conference on Solar Concentrators for the Generation of Electricity of Hydrogen (ICSC-4), El Escorial, Spain, 12.-16.3.2007

Ortiz, B.; Vetter, M.; Gözl, S.; Bopp, G.

»Concepts for Hybrid PV Village Grids to make their Operation a Local Business«, 22nd European Photovoltaic Solar Energy Conference, Milan, Italy, 3.-7.9.2007

Ortiz, B.

»Rural Electrification Technology – Options and Applications«, Sustainable Energy Conversion, Hochschule Offenburg, Germany, 7.12.2007

Peters, M.; Goldschmidt, J.; Loeper, P.;

Gombert, A.; Willeke, G. »Application of Photonic Structures on Fluorescent Concentrators«, 22nd European Photovoltaic Solar Energy Conference (EUPVSEC), Milan, Italy, 3.-7.9.2007

Peters, M.¹; Goldschmidt, J.; Loeper, P.;

Bläsi, B.; Gombert, A. »Photonic Crystals for the Efficiency Enhancement of Solar Cells«, EOS Topical Meeting on Diffractive Optics 2007, Barcelona, Spain, 21.-23.11.2007

(¹: University of Freiburg, Department of Physics, Freiburg, Germany)

Platzer, W.

»Optimisation and Testing of a VIP Exterior Thermal Insulation Composite System (ETICS)«, 8th International Symposium on Vacuum Insulation Systems, Würzburg, Germany, 19./20.9.2007

Pfafferott, J.

»Solares Bauen in Deutschland«, ForumPlanenBauen, Freiburg, Germany, 2.5.2007

Pfafferott, J.

»Passive Kühlung«, TAW-Seminar TGA und Bauphysik, Wuppertal, Germany, 31.2.2007

Pfafferott, J.

»Energiesparendes Bauen – Lüftungskonzepte«, Vorlesungsreihe an der Universität Stuttgart, Stuttgart, Germany, 6.11.2007

Pfanner, N.

»Anwendungen – Photovoltaik in der Beleuchtungstechnik«, Fachseminar Netzferne Stromversorgung mit Photovoltaik, OTTI Energie-Kolleg, Freiburg, Germany, 27./28.9.2006

Pfanner, N.

»Laderegler und Überwachungseinrichtungen für Batterien in photovoltaischen Energieversorgungssystemen«, Fachseminar Netzferne Stromversorgung mit Photovoltaik, OTTI Energie-Kolleg, Freiburg, Germany, 10./11.10.2007

Preu, R.

»Wafer-based Crystalline Silicon Solar Cells«, 1. PV-Investoren-Konferenz, München, Germany, 5.4.2007

Preu, R.; Rein, S.

»Do QC and in-line inspection systems enable the future mega-fabs?« 3rd Advanced Photovoltaic Manufacturing Technology Conference, International Congress Center Stuttgart, Stuttgart, 10.-11.10.2007

Reddig, K.¹; Rein, S.; Meier, M.¹; Kleineidam, G.²

»PV-EIS task force – Kick-off meeting«, Semi[®] Standards – Photovoltaic Comunity Meeting, Milan, Italy, 6.9.2007
(¹: Fraunhofer Institut für Produktion und Automatisierung IPA, Stuttgart, Deutschland)
(²: InReCon AG, Sinzing, Deutschland)

Rein, S.; Bothe, K.¹; Sattler, B.²

»Qualitätssicherung und -kontrolle in der Photovoltaikproduktion«, Jahrestagung des Forschungsverbundes Solarenergie (FVS), Hannover, 26.-27.09.2007
(¹: Institut für Solarenergieforschung Hameln/Emmerthal (ISFH), Emmerthal, Deutschland)
(²: Manz Automation AG, Reutlingen, Deutschland)

Rein, S.; Reddig, K.¹; Vonderstrass, T.²

»PV-EIS task force – Report of kick-off meeting“, Semi[®] Standards – Photovoltaic Comunity Meeting, Milan, Italy, 7.9.2007
(¹: Fraunhofer Institut für Produktion und Automatisierung IPA, Stuttgart, Deutschland)
(²: Solar World Industries USA, USA)

Rein, S.

»Basic Requirements in Equipment Communication – Customer's View«, 1st Meeting of PV-EIS Task Force, Stuttgart, 11.10.2007

Rochlitz, L.

»Design und Test eines Bioethanol Reformers Systems«, 58. Berg- und Hüttenmännischer Tag, Freiburg, Germany, 14.6.2007

Rosenits, P.

»Charakterisierung elektrisch aktiver Defekte in Silizium mittels Deep-Level Transient Spectroscopy und Lebensdauerspektroskopie«, Colloquium des Lehrstuhls für angewandte Physik, Erlangen, Germany, 14.5.2007

Roth, T.

»Analyse von elektrisch aktiven Defekten in Silizium für Solarzellen«, Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU), 77. Stipendiatenseminar, Insel Vilm, Germany, 8.-13.7.2007

Roth, T.; Rüdiger, M.; Rosenits, P.; Diez, S.¹;

Trupke, T.²; Bardos, R. A.²; Glunz, S. W. »Photoluminescence Lifetime Spectroscopy-Surface Recombination Analysis«, 22nd European Photovoltaic Solar Energy Conference (EUPVSEC), Milan, Italy, 3.-7.9.2007
(¹: Now with Q-Cells AG, Thalheim, Germany)
(²: Centre of Excellence for Advanced Silicon Photovoltaics and Photonics, University of New South Wales, Sydney, Australia)

Roth, W.

»Unternehmenskooperationen als Einstieg in Projekte der internationalen Finanzierungsorganisationen – Erfolgsbeispiele und Zukunftsperspektiven der Themengruppe Energie«, Abschlusstreffen der Bayerischen Initiative zur Konsortialbildung für internationale Entwicklungsprojekte, Munich, Germany, 18.1.2006

Roth, W.

»Netzferne Stromversorgung mit Photovoltaik – Einführung«, Grundlagenworkshop Netzferne Stromversorgung mit Photovoltaik, OTTI Energie-Kolleg, Freiburg, Germany, 26.9.2006

Roth, W.

»Nutzung der Sonnenenergie«, Grundlagenworkshop Netzferne Stromversorgung mit Photovoltaik, OTTI Energie-Kolleg, Freiburg, Germany, 26.9.2006

- Roth, W.
»Netzferne Stromversorgung mit Photovoltaik«, Fachseminar Netzferne Stromversorgung mit Photovoltaik, OTTI Energie-Kolleg, Freiburg, Germany, 27./28.9.2006
- Roth, W.
»Photovoltaische Stromversorgung von Industrieprodukten und technischen Einrichtungen«, Fachseminar Netzferne Stromversorgung mit Photovoltaik, OTTI Energie-Kolleg, Freiburg, Germany, 27./28.9.2006
- Roth, W.
»Netzferne Stromversorgung mit Photovoltaik – Einführung«, Grundlagenworkshop Netzferne Stromversorgung mit Photovoltaik, OTTI Energie-Kolleg, Freiburg, Germany, 9.10.2007
- Roth, W.
»Grundlagen zur Nutzung der Sonnenenergie«, Grundlagenworkshop Netzferne Stromversorgung mit Photovoltaik, OTTI Energie-Kolleg, Freiburg, Germany, 9.10.2007
- Roth, W.
»Netzferne Stromversorgung mit Photovoltaik«, Fachseminar Netzferne Stromversorgung mit Photovoltaik, OTTI Energie-Kolleg, Freiburg, Germany, 10./11.10.2007
- Roth, W.
»Netzwerke und Kooperationen: Erfahrung aus dem Projekt Bayerische Initiative zur Konsortialbildung für internationale Entwicklungsprojekte«, iMOVE-Konferenz 2007, Training – Made in Germany: Eine Exportbranche zwischen Dornröschenschlaf und Aufbruch, Berlin, Germany, 15./16.10.2007
- Roth, W.
»General Concepts of Photovoltaic Power Supply Systems«, Conferinta Nationala Surse Noi si Regenerabile de Energie CNSRE 2007, Bukarest, Romania, 1.-3.11.2007
- Schäffler, H.
»Smart Metering in Deutschland – Stand und Trends in der deutschen Energiewirtschaft«, VWEW-Fachkongress Smart Metering, Düsseldorf, Germany, 5./6.3.2007
- Schäffler, H.
»eEnergy – Informations- und kommunikationstechnologiebasiertes Energiesystem der Zukunft«, VDN-Fachkongress ZMP 2007, Nürnberg, Germany, 21./22.5.2007
- Schäffler, H.
»eEnergy – Informations- und kommunikationstechnologiebasiertes Energiesystem der Zukunft«, 5. ICG-Fachkonferenz Messen, Zählen, Abrechnen, Berlin, Germany, 23./24.10.2007
- Schäffler, H.
»Nachhaltige Energieversorgung – Ethische und physikalische Grundlagen für einen zukunftsfähigen Umgang mit Energie«, Studium Generale der Berufsakademie Lörrach, Lörrach, Germany, 12.11.2007
- Schäffler, H.
»Flexibilisierung der Verteilnetze durch Last- und Erzeugungsmanagement«, EUROFORUM-Konferenz »Smart Grids«, Düsseldorf, Germany, 10./11.12.2007
- Schäffler, H.
»Demand Side Management – Ein altes Thema im Lichte neuer Technologien und Marktbedingungen«, 25. Trianel-Marktworkshop, Duisburg, Germany, 12.12.2007
- Schäffler, H.
»Innovative Tarife und Dienstleistungen zur Förderung von Energieeffizienz«, 25. Trianel-Marktworkshop, Duisburg, Germany, 12.12.2007
- Schlegl, T.
»Renewable Energies – Trends and Opportunities«, European Growth Summit 2007, Barcelona, Spain, 18.5.2007
- Schlegl, T.
»Nutzung der Sonnenenergie – Technologien und Trends«, Öffentliche Vortragsreihe Erneuerbare Energien, Straubing, Germany, 21.5.2007
- Schlegl, T.
»Chancen für erneuerbare Energien«, Seminar für Promotionsstipendiaten: Stiftung der deutschen Wirtschaft, Regen, Germany, 27.4.2007
- Schmich, E.; Schillinger, N.; Reber, S.
»Silicon CVD Deposition for Low Cost Applications in Photovoltaics«, 16th European Conference on Chemical Vapor Deposition, Den Haag, The Netherlands, 16.-21.9.2007
- Schmich, E.; Frieß, T.; Lautenschlager, H.; Pysch, D.; Reber, S.
»Screen-Printed and Photographicly Defined Crystalline Silicon Thin-Film Solar Cells with Epitaxial Emitters«, 22nd European Photovoltaic Solar Energy Conference (EUPVSEC), Milan, Italy, 3.-7.9.2007
- Schmidt, H.
»Welcher Wechselrichter für welche Dünnschicht-Photovoltaikmodule«, OTTI Energie-Kolleg, Freiburg, Germany, 20.6.2006
- Schmidt, H.
»Elektromagnetische Verträglichkeit«, Fachseminar Leistungselektronik für erneuerbare Energiesysteme, OTTI Energie-Kolleg, Regenstauf, Germany, 6./7.7.2006
- Schmidt, H.
»Grundlagen zur Nutzung der Sonnenenergie - Messtechnik«, Grundlagenworkshop Netzferne Stromversorgung mit Photovoltaik, OTTI Energie-Kolleg, Freiburg, Germany, 26.9.2006
- Schmidt, H.
»Aufbau und Funktionsweise von Solarzelle, Modul und Solargenerator«, Grundlagenworkshop Netzferne Stromversorgung mit Photovoltaik, OTTI Energie-Kolleg, Freiburg, Germany, 26.9.2006
- Schmidt, H.
»Batterien in netzfernen Stromversorgungsanlagen«, Fachseminar Netzferne Stromversorgung mit Photovoltaik, OTTI Energie-Kolleg, Freiburg, Germany, 27./28.9.2006
- Schmidt, H.
»Laderegler und Überwachungseinrichtungen für Batterien in photovoltaischen Energieversorgungssystemen«, Fachseminar Netzferne Stromversorgung mit Photovoltaik, OTTI Energie-Kolleg, Freiburg, Germany, 27./28.9.2006
- Schmidt, H.
»EMV-Messverfahren für PV und EMV-gerechtes Schaltungsdesign«, Profiseminar EMV und Blitzschutz für Solaranlagen, OTTI Energie-Kolleg, Regensburg, Germany, 22./23.11.2006
- Schmidt, H.
»Elektrische Wechselwirkungen Modul – Wechselrichter«, 3. Modulworkshop Photovoltaik-Modultechnik, TÜV Rheinland, Cologne, Germany, 29./30.11.2006
- Schmidt, H.
»Wechselrichter, elektrische Auslegung von PV-Generatoren«, Fachseminar Dünnschicht-Photovoltaikmodule, OTTI Energie-Kolleg, Bad Staffelstein, Germany, 5./6.2.2007
- Schmidt, H.; Burger, B.; Häberlin, H.¹
»Überspannungsfestigkeit von Bypassdioden – Ergebnisse einer vergleichenden Untersuchung«, OTTI Energie-Kolleg, 22. Symposium Photovoltaische Solarenergie, Bad Staffelstein, Germany, 7.-9.3.2007
(¹: Berner Fachhochschule für Technik und Informatik, Burgdorf, Switzerland)
- Schmidt, H.
»Electromagnetic Compatibility EMC«, Fachseminar Power Electronics for Renewable Energies, OTTI Energie-Kolleg, Freiburg, Germany, 19./20.6.2007
- Schmidt, H.; Burger, B.
»25 Years Transformerless Inverter«, 22nd European Photovoltaic Solar Energy Conference (EUPVSEC), Milan, Italy, 3.-7.9.2007

- Schmidt, H.
»Grundlagen zur Nutzung der Sonnenenergie – Messtechnik«, Grundlagenworkshop Netzferne Stromversorgung mit Photovoltaik, OTTI Energie-Kolleg, Freiburg, Germany, 9.10.2007
- Schmidt, H.
»Aufbau und Funktionsweise von Solarzelle, Modul und Solargenerator«, Grundlagenworkshop Netzferne Stromversorgung mit Photovoltaik, OTTI Energie-Kolleg, Freiburg, Germany, 9.10.2007
- Schmidt, H.; Burger, B.
»Wechselrichter für Inselssysteme«, Fachseminar Netzferne Stromversorgung mit Photovoltaik, OTTI Energie-Kolleg, Freiburg, Germany, 10./11.10.2007
- Schmidt, H.
»EMV gerechtes Schaltungs- und Anlagen-design«, Fachseminar EMV, Blitz- und Brandschutz für Solaranlagen, OTTI Energie-Kolleg, Freiburg, Germany, 4./5.12.2007
- Schöne, J.; Spiecker, E.; Jäger, W.; Dimroth, F.; Bett, A. W.
»Dislocation Blocking by Dilute Nitride Step-Graded Buffer Structures«, Microscopy Conference MC 2007, Saarland Universität, Saarbrücken, Germany, 2.-7.9.2007
- Schossig, P.
»Thermische Energiespeicher – Baustein für eine zukunftsfähige Energieversorgung«, VDI Arbeitskreis Technische Gebäudeausrüstung, Oberhausen, Germany, 13.2.2007
- Schossig, P.; Gschwander, S.
»PCS-Emulsions as Heat Transfer and Storage Fluids for Cooling Applications«, Bordeaux, France, 29.3.2007
- Schossig, P.
»Phase Change Materials for Thermal Energy Storage«, IEA-SHC Task 32 Industry Workshop, Stuttgart, Germany, 17.4.2007
- Schossig, P.; Pfafferoth, J.
»Ausführungsbeispiel für ein LowEx-Gebäude«, Statusseminar Fernwärmenutzung für LowEx-Gebäude, Berlin, Germany, 4.10.2007
- Schossig, P.
»Phase Change Materials«, Preheat Symposium Intersolar, Freiburg, 21.-22.6.2007
- Schultz, O.; Mette, A.¹; Preu, R.; Glunz, S. W.
»Silicon Solar Cells with Screen-Printed Front Metallization Exceeding 19% Efficiency«, 22nd European Photovoltaic Solar Energy Conference (EUPVSEC), Milan, Italy, 3.-7.9.2007 (¹: Now with Q-Cells AG, Thalheim, Germany)
- Schwunk, S.; Thomas, R.; Kaiser, R.; Bopp, G.; Vetter, M.
»Optimised Battery Management System for the Extension of Life Cycles and Reliability of Storage in Autonomous Electricity Supply Systems«, 2nd International Renewable Energy Storage Conference, Bonn, Germany, 19.-21.11.2007
- Smolinka, T.
»Wasserstoff aus Elektrolyse – ein technologischer Vergleich der alkalischen und PEM-Wasserelektrolyse«, FVS-Workshop »Wasserstoff aus erneuerbaren Energien«, Ulm, Germany, 21./22.5.2007
- Spitz, M.; Belledin, U.; Rein, S.
»Fast Inductive Inline Measurement of the Emitter Sheet Resistance in Industrial Solar Cell Fabrication«, 22nd European Photovoltaic Solar Energy Conference (EUPVSEC), Milan, Italy, 3.-7.9.2007
- Steinhüser, A.; Kiefer, K.; Neuberger, F.
»Abnahmemessungen: Erfahrungen bei der Qualitätssicherung von Photovoltaik-Anlagen«, OTTI Energie-Kolleg, 22. Symposium Photovoltaische Solarenergie, Bad Staffelstein, Germany, 7.-9.3.2007
- Steinhüser, A.
»Auslegung netzferner Stromversorgungen«, Fachseminar Netzferne Stromversorgung mit Photovoltaik, OTTI Energie-Kolleg, Freiburg, Germany, 10./11.10.2007
- Thomas, R.; Schwunk, S.; Vetter, M.; Pfanner, N.; Schreiber, F.; Otto, J.; Wolf, M.¹; Ziegler, K.²
»Energy Management System for Hybrid PV Systems Supplying Autonomous Measuring Stations«, 2nd International Renewable Energy Storage Conference, Bonn, Germany, 19.-21.11.2007 (¹: Pairan Elektronik GmbH, Göttingen, Germany) (²: Landesanstalt für Umwelt und Naturschutz Baden-Württemberg (LUBW), Karlsruhe, Germany)
- Vetter, M.; Bopp, G.; Schwunk, S.; Zillgith, M.
»Operating Control Strategies for Autonomous Photovoltaic Systems and Hybrid PV Mini-Grids – Overview on Adjusted Solutions for Different Applications«, 17th International Photovoltaic Science and Engineering Conference (PVSEC), Fukuoka, Japan, 3.-7.12.2007
- Vetter, M.
»Next Hybrid PV Minigrids – Enabling of Large Scale Productive Applications«, PV Industry Forum, Freiburg, Germany, 20.6.2007
- Weber, E. R.
»Climate Change and the Role of Photovoltaics in the Energy Mix«, Deutsche Physikalische Gesellschaft DPG Jahrestagung, Regensburg, Germany, 27.3.2007
- Weber, E. R.
»Klimawandel und die Rolle der Erneuerbaren Energien«, Physikalisches Kolloquium an der Universität Ulm, Ulm, Germany, 14.5.2007
- Weber, E. R.
»Photovoltaik – Lösung der Siliziumknappheit«, Fraunhofer-Energieallianz, Moscow, Russia, 30.5.2007
- Weber, E. R.
»Solarenergie und die Herausforderung des globalen Klimawandels«, Physikalisches Kolloquium an der Universität Münster, Münster, Germany, 14.6.2007
- Weber, E. R.
»Wohin treibt die Erde? Klimawandel und Erneuerbare Energien«, Festvortrag Dies Universitatis, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Freiburg, Germany, 20.6.2007
- Weber, E. R.
»Klimawandel – wie sind die Aussichten der Photovoltaik?«, Physikalisches Kolloquium an der Universität Göttingen, Göttingen, Germany, 25.6.2007
- Weber, E. R.
»The Linear Fresnel Collector – Key Components and their Contribution to Performance«, Inauguration of Almeria Demonstration Collector, Plataforma Solar de Almeria, Tabernas, Spain, 9.7.2007
- Weber, E. R.
»Defects in Materials for Photovoltaics«, Tutorial Day – International Conference on Defects in Semiconductors (ICDS), Albuquerque, NM, USA, 21.7.2007
- Weber, E. R.
»Crystalline Wafer Based Technology: Research Applied to Industry«, 22nd European Photovoltaic Solar Energy Conference (EUPVSEC), Milan, Italy, 3.-7.9.2007
- Weber, E. R.
»Defect Issues in Silicon Photovoltaics«, International Conference on Defects-Recognition, Imaging and Physics in Semiconductors (DRIP), Berlin, Germany, 10.9.2007
- Weber, E. R.
»Solar Energy as Part of the European Renewable Energy Mix«, Fraunhofer's Energy Roadmap, Brüssel, Belgium, 11.9.2007

- Weber, E. R.
»Transition Metals in PV Silicon«, International Conference on Gettering and Defect Engineering in Semiconductor Technology (GADEST), Erice, Italy, 18.10.2007
- Weber, E. R.
»Klimawandel und die Rolle der Solarenergie«, Deutsche Physikalische Gesellschaft DPG, Hans-Magnus-Haus, Berlin, Germany, 23.10.2007
- Weber, E. R.
»Climate Change and Solar Energy«, Seminar University of Manchester, Manchester, Great Britain, 2.11.2007
- Weber, E. R.
»Klimawandel und Perspektiven der Photovoltaik«, Forschungszentrum Dresden, Dresden, Germany, 7.11.2007
- Weber, E. R.
»PV in the next 20 years – The big picture«, Fraunhofer-Venture Gruppe, München, Germany, 8.11.2007
- Weber, E. R.
»Das Klimaproblem und die zukünftige Rolle der Solarenergie«, Unimog Museum, Gaggenau, Germany, 29.11.2007
- Weber, E. R.
»Photovoltaik«, VW AutoUni, Workshop SunDay, Wolfsburg, Germany, 4.12.2007
- Weber, E. R.
»Solarthermie – Stand und Ausblick«, Studium Generale, Samstags-Uni, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Freiburg, Germany, 8.12.2007
- Welser, E.; Oliva, E.; Dimroth, F.; Volz, K.¹; Stolz, W.¹
»GaInAsN mit einer Bandlücke von 1 eV für Solarzellenanwendungen«, DGKK Workshop, Philipps-Universität Marburg, Marburg, Germany, 6./7.12.2007
(¹: Phillips-Universität Marburg, Marburg, Germany)
- Went, J.
»Wasseraufbereitung – Desinfektion und Entsalzung«, Fachseminar Netzferne Stromversorgung mit Photovoltaik, OTTI Energie-Kolleg, Freiburg, Germany, 10./11.10.2007
- Wienold, J.
»Blendschutz und Tageslichtnutzung – Nutzerakzeptanz und Präferenzen«, OTTI Energie-Kolleg, 13. Symposium Licht + Architektur, Bad Staffelstein, Germany 8./9.3.2007
- Wienold, J.
»Dynamic Simulation of Blind Control Strategies for Visual Comfort and Energy Balance Analysis«, 10th International Building Performance Simulation Association Conference and Exhibition 2007, Beijing, China, 3.-6.9.2007
- Wille-Haussmann, B.
»Optimised Management of distributed Generators in Low-Voltage Grids«, Conferinta Nationala Surse Noi si Regenerabile de Energie CNSRE 2007, Bukarest, Romania, 1.-3.11.2007
- Wilson, H. R.
»Polarisationseffekte bei winkelabhängigen Messungen von Reflexion und Transmission«, COSP – Colloquium Optische Spektroskopie 2007, Berlin, Germany, 12./13.11.2007
- Wittwer, V.
»Rationelle Gebäudetechnik – Solares Heizen und Kühlen«, Deutsch-Französische Fachtagung – Energieeffizienz in Gebäuden, Berlin, Germany, 7.12.2007
- Wittwer, V.
»Solartechnik – Technische Entwicklungen für die elektrische Energieerzeugung und Wärmeenergienutzung«, Solartechnisches Kolloquium bei der Dechema, Frankfurt, Germany, 25.10.2007
- Wittwer, V.
»Low Energy Solar Houses«, Creativity World Forum, Qingdao, China, 30.10.2007
- Würfel, U.¹; Peters, M.; Hirsch, A.
»About the Electron Transport in the Nanoporous TiO₂ of a Dye Solar Cell: Transient Measurements Employing a Three Electrode Configuration«, 22nd European Photovoltaic Solar Energy Conference (EUPVSEC), Milan, Italy, 3.-7.9.2007
(¹: Freiburger Materialforschungszentrum FMF, Freiburg, Germany)
- Ziegler, C.
»Modellierung und Simulation für Designoptimierung und Regelung von PEMFCs«, f-cell, Stuttgart, Germany, 24.-25.9.2007
- Zimmermann, B.¹; Fuchs, A.; Glatthaar, M.¹; Niggemann, M.¹; Hirsch, A.; Gombert, A.
»ITO-Free Wrap Through Organic Solar Cell Modules«, 22nd European Photovoltaic Solar Energy Conference (EUPVSEC), Milan, Italy, 3.-7.9.2007
(¹: Freiburger Materialforschungszentrum FMF, Freiburg, Germany)

Veröffentlichungen

- Alemán, M.; Streek, A.¹; Regenfuß, P.¹; Mette, A.; Ebert, R.¹; Exner, H.¹; Glunz, S. W.; Willeke, G.
 »Laser Micro-Sintering as a New Metallization Technique for Silicon Solar Cells«, in: Proceedings, 21st European Photovoltaic Solar Energy Conference & Exhibition, Dresden, Germany, 4.-8.9.2006
 (1: Laser Institut Mittelsachsen)
- Alemán, M.; Bay, N.; Fabritius, M.; Glunz, S. W.
 »Characterization of Electroless Nickel Plating on Silicon Solar Cells for the Front Side Metallization«, in: Proceedings, 22nd European Photovoltaic Solar Energy Conference (EUPVSEC), Milan, Italy, 3.-7.9.2007, pp.1590-1592
- Baumgartner, F. P.¹; Bründlinger, R.²; Burger, B.; Häberlin, H.³; Schmidt, H.; Zehner, M.⁴
 »Status and Relevance of the DC Voltage Dependency of the Inverter Efficiency«, in: Proceedings, 22nd European Photovoltaic Solar Energy Conference (EUPVSEC), Milan, Italy, 3.-7.9.2007, pp. 2499-2506
 (1: University of Applied Sciences Buchs, NTB, Switzerland)
 (2: arsenal research, Vienna, Austria)
 (3: Berner Fachhochschule für Technik und Informatik, Burgdorf, Switzerland)
 (4: University of Applied Sciences Munich, Munich, Germany)
- Becker, R.; Wittwer, C.; Wille, B.
 »Webbasiertes Einsatzmanagement für ein Energieverteilnetz mit hohem Anteil verteilter Erzeuger«, in: Tagungsband, ETG-Kongress 2007, Webbasierte Automatisierung in der elektrischen Energietechnik, Karlsruhe, Germany, 23./24.10.2007
- Benick, J.; Leimenstoll, A.; Schultz, O.
 »Comprehensive Studies of Passivation Quality on Boron Diffused Silicon Surfaces«, in: Proceedings, 22nd European Photovoltaic Solar Energy Conference (EUPVSEC), Milan, Italy, 3.-7.9.2007, pp. 1244-1246
- Bett, A. W.; Dimroth, F.; Jaus, J.; Peharz, G.; Siefer, G.
 »The Needs for Industrialization of CPV Technologies«, in: Proceedings, 4th International Conference on Solar Concentrators for the Generation of Electricity of Hydrogen (ICSC-4), El Escorial, Spain, 12.-16.3.2007
- Biro, D.; Erath, D.; Belledin, U.; Specht, J.; Stüwe, D.; Lemke, A.; Alemán, M.; Mingirulli, N.; Rentsch, J.; Preu, R.; Schlosser, R.¹; Bitnar, B.²; Neuhaus, H.²
 »Inkjet Printing for High Definition Industrial Masking Processes for Solar Cell Production«, in: Proceedings, 17th International Photovoltaic Science and Engineering Conference (PVSEC), Fukuoka, Japan, 3.-7.12.2007
 (1: Solar World Industries, Munich, Germany)
 (2: Deutsche Cell GmbH, Freiburg/Saxony, Germany)
- Bläsi, B.
 »Mikrostrukturierte Kunststoffoberflächen in Solar- und Displaytechnik«, in: Tagungsband, Konferenz Transparente Kunststoffe, Würzburg, Germany, 9./10.5.2007
- Bläsi, B.; Gronbach, A.; Mick, J.
 »Großflächige Mikro- und Nanostrukturen«, in: Inno, Vol.38, p. 10, Oktober 2007
- Bläsi, B.
 »Optical Enhancement Films«, in: Proceedings, Deutsches Fachdisplayforum (DFF), Flachdisplays: Grundlagen und Anwendungen, Pforzheim, Germany, 27./28.9.2007
- Bläsi, B.; Mick, J.; Gronbach, A.; Nitsche, M.; Hauser, H.; Pfeifer, M.; Boerner, V.¹; Kübler, V.¹
 »Surface-relief Structures Generated by Interference Lithography: an Overview«, in: Proceedings, EOS Topical Meeting on Diffractive Optics 2007, Barcelona, Spain, 21.-23.11.2007, p. 135
 (1: Holotools GmbH, Freiburg, Germany)
- Bopp, G.; Gout, J.; Werner, R.; Zillgith, M.; Wittwer, C.
 »Betriebsführungssysteme für PV-Hybrid-Insulanlagen«, in: Proceedings, OTTI Energie-Kolleg, 22. Symposium Photovoltaische Solarenergie, Bad Staffelstein, Germany, 7.-9.3.2007, CD-ROM
- Bopp, G.; Vetter, M.
 »Solar Home Systeme und Einzelhausversorgung«, in: Seminarband, Fachseminar Netzferne Stromversorgung mit Photovoltaik, OTTI Energie-Kolleg, Freiburg, Germany, 10./11.10.2007, pp. 203-224
- Bopp, G.; Laukamp, H.
 »Elektrische Sicherheit, Errichtungsbestimmungen, Blitzschutz, EMV«, in: Seminarband, Fachseminar Netzferne Stromversorgung mit Photovoltaik, OTTI Energie-Kolleg, Freiburg, Germany, 10./11.10.2007, pp. 267-296
- Bopp, G.
 »Erzeugen PV-Anlagen Elektrosmog?«, in: Seminarband, Fachseminar EMV, Blitz- und Brandschutz für Solaranlagen, OTTI Energie-Kolleg, Freiburg, Germany, 4./5.12.2007
- Bopp, G.
 »Beispielhaft ausgeführter Blitzschutz bei Kollektoranlagen und netzgekoppelten PV-Anlagen«, in: Seminarband, Fachseminar EMV, Blitz- und Brandschutz für Solaranlagen, OTTI Energie-Kolleg, Freiburg, Germany, 4./5.12.2007
- Borchert, D.; Rinio, M.
 »Interaction Between Process Technology and Material Quality during the Processing of Multicrystalline Silicon Solar Cells«, in: Proceedings, The International Conference on Optical, Optoelectronic and Photonic Materials and Applications (ICOOPMA 2007), Queen Mary University of London, London, United Kingdom, 29.7.2007
- Böttger, G.; Dreschmann, M.; Klamouris, C.; Hübner, M.; Röger, M.; Bett, A. W.; Kueng, T.; Becker, J.; Freude, W.; Leuthold, J.
 »Optically Powered Video Camera Network«, in: IEEE Photonics Technology Letters
- Böttger, G.; Dreschmann, M.; Klamouris, C.; Hübner, M.; Röger, M.; Bett, A. W.; Kueng, T.; Becker, J.; Freude, W.; Leuthold, J.
 »Optically Powered Video Camera Network«, in: Proceedings, Optical Society of America Annual Meeting (OSA '07), San Jose, CA, USA, 16.-20.9.2007
- Böttger, G.; Dreschmann, M.; Klamouris, C.; Hübner, M.; Röger, M.; Bett, A. W.; Kueng, T.; Becker, J.; Freude, W.; Leuthold, J.
 »Optically Powered Video Camera Network«, Proceedings, 33rd European Conf. Opt. Comun. (ECOC '07), Berlin, Germany, 16.-20.9.2007
- Bregulla, M.; Köhl, M.; Lampe, B.; Oreski, G.¹; Phillipp, D.; Wallner, G.¹; Weiß, K.-A.
 »Degradation Mechanisms of Ethylene-Vinyl-Acetate Copolymer – New Studies Including Ultra Fast Cure Foils«, in: Proceedings, 22nd European Photovoltaic Solar Energy Conference (EUPVSEC), Milan, Italy, 3.-7.9.2007, pp. 2704-2707
 (1: Polymer Competence Center Leoben GmbH, Leoben, Austria)
- Buchholz, B.¹; Erge, Th.; Hatzigiorgiou, N.²
 »Long Term European Field Tests for Micro-grids«, in: Proceedings, Power Conversion Conference – Nagoya, 2007, PPC '07, 2.-5.4.2007, pp. 643-645
 (1: MVV Energie, Germany)
 (2: National Technical University of Athens (NTUA), Athens, Greece)

- Buck, T.¹; Helfricht, A.¹; Kopecek, R.^{1,2}; Peter, K.^{1,2}; Hahn, G.³; Appel, W.⁴
 »Crystalline Si Thin-Film N-Type Solar Cells: A Screen Printed Rear Junction Approach«, in: Proceedings, 22nd European Photovoltaic Solar Energy Conference (EUPVSEC), Milan, Italy, 3.-7.9.2007, pp. 1898-1901
 (1: University of Konstanz, Department of Physics, Konstanz, Germany)
 (2: now with International Solar Energy Research Center (ISC), Konstanz, Germany)
 (3: University of Konstanz, Department of Physics, Konstanz, Germany und Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE, Freiburg, Germany)
 (4: IMS-Chips, Institut für Mikroelektronik Stuttgart, Stuttgart, Germany)
- Burger, B.
 »25 Jahre transformatorlose Wechselrichter«, in: Proceedings, OTTI Energie-Kolleg, 22. Symposium Photovoltaische Solarenergie, Bad Staffelstein, Germany, 7.-9.3.2007, CD-ROM
- Burger, B.
 »Power Electronics for Renewable Energies – Review«, in: Proceedings, Power Electronics for Renewable Energies, OTTI Energie-Kolleg, Freiburg, Germany, 19./20.6.2007, pp. 1-12
- Burger, B.
 »Power Electronics for Off-Grid Photovoltaics«, in: Proceedings, Power Electronics for Renewable Energies, OTTI Energie-Kolleg, Freiburg, Germany, 19./20.6.2007, pp. 161-188
- Burger, B.
 »Power Electronics for Grid-Connected Photovoltaics«, in: Proceedings, Power Electronics for Renewable Energies, OTTI Energie-Kolleg, Freiburg, Germany, 19./20.6.2007, pp. 189-230
- Burger, B.
 »Power Electronics for Variable Speed Generators and Combined Heat and Power Plants (CHP)«, in: Proceedings, Power Electronics for Renewable Energies, OTTI Energie-Kolleg, Freiburg, Germany, 19./20.6.2007, pp. 231-254
- Burger, B.; Schmidt, H.
 »Seit 25 Jahren ohne Transformator«, Sonne, Wind & Wärme, BVA Bielefelder Verlag GmbH & Co. KG, Bielefeld, Germany, Vol. 6 (2007), pp. 134-145
- Burger, B.; Schmidt, H.
 »25 Years Transformerless Inverter«, in: Proceedings, 22nd European Photovoltaic Solar Energy Conference (EUPVSEC), Milan, Italy, 3.-7.9.2007, pp. 2473-2477
- Burger, B.; Kranzer, D.; Stalter, O.; Lehrmann, S.
 »Photovoltaic Inverters with SiC MOSFETs«, in: Proceedings, 2nd SiC User Forum – Potential of SiC in Power Electronics Applications, Copenhagen, Denmark, 6./7.9.2007
- Burger, B.; Engler, A.¹; Meinhardt, M.²
 »PV-Systemtechnik – Ein Motor der Kostensenkung für die photovoltaische Stromerzeugung«, in: Proceedings, Jahrestagung 2007 des Forschungsverbunds Sonnenenergie, Leibniz Universität Hannover, Germany, 26./27.9.2007
 (1: ISET, Kassel, Germany)
 (2: SMA Technologie AG, Niestetal, Germany)
- Burger, B.; Schmidt, H.
 »Wechselrichter für Inselsysteme«, in Seminarband, Fachseminar Netzferne Stromversorgung mit Photovoltaik, OTTI Energie-Kolleg, Freiburg, Germany, 10./11.10.2007, pp. 111-156
- Burger, B.; Kranzer, D.; Stalter, O.
 »Efficiency Improvement of PV-Inverters with SiC-DMOSFETs«, in: Proceedings, ICSCRM 2007, International Conference on Silicon Carbide and Related Materials 2007, Otsu, Japan, 14.-19.10.2007
- Clement, F.; Lutsch, M.; Kubera, T.; Kasemann, M.; Kwapil, W.; Harmel, C.; Mingirulli, N.; Erath, D.; Wirth, H.; Biro, D.; Preu, R.
 »Processing and Comprehensive Characterisation of Screen-Printed MC-Si Metal Wrap through (MWT) Solar Cells«, in: Proceedings, 22nd European Photovoltaic Solar Energy Conference (EUPVSEC), Milan, Italy, 3.-7.9.2007, pp. 1399-1402
- Clement, F.; Preu, R.; Reis, I. E.; Biro, D.; Rentsch, J.; Zimme, M.; Rein, S.; Emanuel, G.; Krieg, A.; Müller, A.¹; Martin, F.¹
 »Pilot-Line Processing of Very Large (21x21 cm²) and Thin MC-Si Solar Cells«, in: Proceedings, 22nd European Photovoltaic Solar Energy Conference (EUPVSEC), Milan, Italy, 3.-7.9.2007, pp. 1411-1414
 (1: Deutsche Solar AG, Freiburg/Saxony, Germany)
- Clement, F.; Lutsch, M.; Kubera, T.; Wirth, H.; Harmel, C.; Wolke, W.; Biro, D.; Preu, R.
 »Industrially Feasible Multi Crystalline Metal Wrap Through (MWT) Silicon Solar Cells Exceeding 16% Efficiency«, in: Proceedings, 17th International Photovoltaic Science and Engineering Conference (PVSEC), Fukuoka, Japan, 3.-7.12.2007
- Döll, J.
 »Simulation of a Medium Scale Solar Cooling System for Industrial Processes«, in: Proceedings, 2nd International Conference Solar Air-Conditioning, Tarragona, Spain, 18./19.10.2007
- Drießen, M.; Mingirulli, N.; Pingel, S.; Schubert, M.; Biro, D.; Preu, R.
 »Investigation of Diffusion Barriers for Application in Back-Contacted Solar Cells«, in: Proceedings, 22nd European Photovoltaic Solar Energy Conference (EUPVSEC), Milan, Italy, 3.-7.9.2007, pp. 1543-1546
- Eccarius, S.; Krause, F.; Beard, K.¹; Manurung, T.; Agert, C.
 »Passively Operated Vapor-Fed Direct Methanol Fuel Cells For Portable Applications«, in: Proceedings, PowerMEMS, Freiburg, Germany, 28./29.11.2007
 (1: University of South Carolina, Columbia, USA)
- Fell, A.; Kray, D.; Willeke, G. P.
 »Transient 3D/2D-Simulation of Laser-Induced Ablation of Silicon«, in: Applied Physics A, 9th International Conference on Laser Ablation, Tenerife, Spain, 24.-28.9.2007
- Fell, A.; Hopman, S.; Kray, D.; Willeke, G. P.
 »Transient 3D-Simulation of Laser-Induced Ablation of Silicon«, in: Proceedings, 22nd European Photovoltaic Solar Energy Conference (EUPVSEC), Milan, Italy, 3.-7.9.2007, pp. 256-260
- Fernandez, J.; Dimroth, F.; Olivia, E.; Bett, A. W.
 »Development of Germanium TPV Cell Technology«, in: Proceedings, 22nd European Photovoltaic Solar Energy Conference (EUPVSEC), Milan, Italy, 3.-7.9.2007, pp. 773-776
- Georg, Andreas; Georg, Anneke¹; Graf, W.; Wittwer, V.
 »Switchable Windows with Tungsten Oxide«, in: Vacuum, in print
 (1: Freiburger Materialforschungszentrum FMF, Freiburg, Germany)
- Gerteisen, D.; Heilmann, T.; Ziegler, C.
 »Enhancing Liquid Water Transport by Laser Perforation of a GDL in a PEM Fuel Cell«, in: Journal of Power Sources, doi: 10.1016/j.jpowsour.2007.11.080
- Glunz, S. W.; Nekarda, J.; Mäckel, H.; Cuevas, A.
 »Analyzing Back Contacts of Silicon Solar Cells by Suns-Voc-Measurements at High Illumination Densities«, in: Proceedings, 22nd European Photovoltaic Solar Energy Conference (EUPVSEC), Milan, Italy, 3.-7.9.2007, pp. 849-853
- Gölz, S.; Schröter, A.¹; Nanthavong, S.¹; Ortiz, B.; Vetter, M.
 »PV-Hybrid-Dorfstromversorgung in Laos – Profitabel für Versorgungsunternehmen mit bezahlbaren Preisen für die ländliche Bevölkerung?«, in: Proceedings, OTTI Energie-Kolleg, 22. Symposium Photovoltaische Solarenergie, Bad Staffelstein, Germany, 7.-9.3.2007, CD-ROM
 (1: Sunlabob, Vientiane, Laos)
- Gölz, S.
 »Nichttechnische Aspekte der ländlichen Elektrifizierung«, in: Seminarband, Fachseminar Netzferne Stromversorgung mit Photovoltaik, OTTI Energie-Kolleg, Freiburg, Germany, 10./11.10.2007, pp. 413-431

- Goldschmidt, J. C.; Peters, M.; Löper, P.; Schultz, O.; Dimroth, F.; Glunz, S. W.; Gombert, A.; Willeke, G.
 »Advanced Fluorescent Concentrators System Design«, in: Proceedings, 22nd European Photovoltaic Solar Energy Conference (EUPVSEC), Milan, Italy, 3.-7.9.2007, pp. 608-612
- Gombert, A.
 »New Developments in Glazing for a Better Use of Solar Energy in Buildings«, in: Proceedings, Glass Performance Days 2007, Tampere, Finland, 15.-18.6.2007, pp. 408-410
- Granek, F.; Reichel, C.; Hermle, M.; Huljic, D. M.¹; Schultz, O.; Glunz, S. W.
 »Front Surface Passivation of N-Type High-Efficiency Back-Junction Silicon Solar Cells using Front Surface Field«, in: Proceedings, 22nd European Photovoltaic Solar Energy Conference (EUPVSEC), Milan, Italy, 3.-7.9.2007, pp. 1262-1265
 (1: Q-Cells AG, Thalheim, Germany)
- Granek, P.; Reichel, C.; Hermle, M.; Schultz, O.; Glunz, S. W.
 »Function of Front Surface Field in N-Type High-Efficiency Back-Junction Back-Contact Silicon Solar Cells«, in: Proceedings, 17th International Photovoltaic Science and Engineering Conference (PVSEC), Fukuoka, Japan, 3.-7.12.2007
- Griesser, L.; Aicher, T.
 »Katalytische Verdampfung für Ölbrenner kleiner Leistung und für Diesel-Reformer«, in: HLH, Vol. 58 (2007) 20, 87-90
- Grohe, A.; Nekarda, J.; Knorz, A.; Harmel, C.; Wütherich, T.; Mingirulli, N.; Alemán, M.; Preu, R.; Glunz, S. W.
 »Laser Processes for the Industrial Production of High Efficiency Silicon Solar Cells«, in: Proceedings, 22nd European Photovoltaic Solar Energy Conference (EUPVSEC), Milan, Italy, 3.-7.9.2007, pp. 1751-1754
- Grote, D.; Kasemann, M.¹; Hermle, M.; Warta, W.
 »Analysing Lateral Inhomogeneities of Silicon Solar Cells Using a Quasi 3D Circuit Simulation Tool Based on SPICE«, in: Proceedings, 22nd European Photovoltaic Solar Energy Conference (EUPVSEC), Milan, Italy, 3.-7.9.2007, pp. 305-309
 (1: Freiburger Materialforschungszentrum FMF, Freiburg, Germany)
- Gschwander, S.; Schossig, P.; Huang, L.¹
 »Phasenwechselflüchtigkeiten zur Wärmespeicherung auf niedrigem Temperaturniveau«, in: Tagungsband, DKV Jahrestagung 2007, Hannover, Germany, 22.11.2007
 (1: Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits-, Energietechnik UMSICHT, Oberhausen, Germany)
- Gundel, P.; Schubert, M.C.; Warta, W.
 »Systematic Analysis of Trapping as a Tool to Predict Diffusion Length in Multicrystalline Silicon Cells«, in: Proceedings, 22nd European Photovoltaic Solar Energy Conference (EUPVSEC), Milan, Italy, 3.-7.9.2007, pp. 1608-1612
- Guter, W.; Dimroth, F.; Schöne, J.; Philipps, S.; Bett, A. W.
 »Investigation and Development of III-V Triple-Junction Concentrator Solar Cells«, in: Proceedings, 22nd European Photovoltaic Solar Energy Conference (EUPVSEC), Milan, Italy, 3.-7.9.2007, pp. 122-125
- Habenicht, H.; Riepe, S.¹; Schultz, O.; Warta, W.
 »Out-Diffusion of Metal from Grain Boundaries in Multicrystalline Silicon During Thermal Processing«, in: Proceedings, 22nd European Photovoltaic Solar Energy Conference (EUPVSEC), Milan, Italy, 3.-7.9.2007, pp. 1519-1523
 (1: Freiburger Materialforschungszentrum FMF, Freiburg, Germany)
- Häberle, A.¹; Luginsland, F.¹; Zahler, C.¹; Berger, M.¹; Rommel, M.; Henning, H.-M.; Guerra, M.²; De Paoli, F.²; Motta, M.³; Aprile, M.³
 »A Linear Concentrating Fresnel Collector driving a NH₃-H₂O Absorption Chiller«, in: Proceedings, 2nd International Conference Solar Air-Conditioning, Tarragona, Spain, 18./19.10.2007
 (1: PSE GmbH Forschung Entwicklung Marketing, Freiburg, Germany)
 (2: Robur S.p.A., Verdellino/Zingonia (BG), Italy)
 (3: Politecnico di Milano, Milan, Italy)
- Häberle, A.¹; Berger, M.¹; Luginsland, F.¹; Zahler, C.¹; Rommel, M.; Siems, T.; Henning, H.-M.
 »Linear konzentrierender Fresnel-Kollektor für Prozesswärmeanwendungen«, in: Proceedings, OTTI Energie-Kolleg, 17. Symposium Thermische Solarenergie, Bad Staffelstein, Germany, 9.-11.5.2007, CD-ROM
 (1: PSE GmbH Forschung Entwicklung Marketing, Freiburg, Germany)
- Hausmann, T.; Schossig, P.
 »PCM – Grundlagen und Anwendungen«, in: Proceedings, 29. Ulmer Gespräch, Neu-Ulm, Germany, 10./11.5.2007
- Hebling, C.; Reinecke, H.¹
 »Stand-alone and Chip-Integrated Fuel Cells«, in: Proceedings, Grove Fuel Cell Symposium, London, United Kingdom, 25.-27.9.2007, in print
 (1: Institut für Mikrosystemtechnik (IMTEK), Universität Freiburg, Freiburg, Germany)
- Hebling, C.
 »Fraunhofer Signpost for Tomorrows Markets: Micro Energy Technology«, in: Proceedings, 2nd Fraunhofer Symposium on Micro Energy Technology, Freiburg, Germany, 27.11.2007
- Hebling, C.
 »Brennstoffzellen für den Portablen Einsatz«, in: Proceedings, f-cell 2007, Stuttgart, Germany, 24./25.9.2007
- Heck, M.; Köhl, M.; Philipp, D.; Schlieper, J.; Weiß, K.-A.
 »Investigation of Surface Temperatures«, in: Proceedings, 3rd European Weathering Symposium (EWS), Krakow, Poland, 12.-14.9.2007
- Henning, H.-M.
 »Solare Kühlung und Klimatisierung – technische Möglichkeiten, Stand der Umsetzung und offene Fragen«, in: Tagungsband, Deutsche Kälte-Klima-Tagung 2007, Hannover, Germany, 21.-23.11.2007
- Henning, H.-M.; Morgenstern, A.
 »Solar Air-Conditioning and Refrigeration – Collaborative Work in Task 38 of the IEA Solar Heating & Cooling Programme«, in: Proceedings, 2nd International Conference Solar Air-Conditioning, Tarragona, Spain, 18./19.10.2007
- Henning, H.-M.; Morgenstern, A.; Nunez, T.
 »Thermodynamic Analysis of Solar Thermally Driven Cold Production«, in: Proceedings, 2nd International Conference Solar Air-Conditioning, Tarragona, Spain, 18./19.10.2007
- Henning, H.-M.; Wiemken, E.; Schossig, P.
 »Solare Kühlung und Klimatisierung – Übersicht, Konzepte und Technologien«, in: Tagungsband, Solarthermie – Heizen und Kühlen mit der Sonne, Stuttgart, Germany, 17.10.2007
- Henning, H.-M.; Wiemken, E.
 »Solar Cooling«, in: Proceedings, ISES Solar World Congress 2007, Beijing, China, 16.-23.9.2007
- Henning, H.-M.
 »Mit Solarstrahlung kühlen – die sorptionsgestützte Klimatisierungsanlage der IHK Freiburg«, in: Broschüre »Leuchtturmprojekte zur Nutzung erneuerbarer Energien in Baden-Württemberg«, 17.8.2007
- Henninger, S.K.; Schmidt, F.; Henning, H.-M.
 »Experimentelle und theoretische Untersuchung neuer Adsorbentien für Wärmetransformations- und Speicheranwendungen«, in: Tagungsband, OTTI Energie-Kolleg, 17. Symposium Thermische Solarenergie, Bad Staffelstein, Germany, 9.-11.5.2007

Henze, G.¹; Felsmann, C.²; Kalz, D.; Herkel, S.
»Primary Energy and Comfort Performance of
Ventilation Assisted Thermo-Active Buildings«,
in: Energy and Building, published online
(¹: University of Nebraska-Lincoln, Omaha,
Nebraska, USA)
(²: Institut für Thermodynamik und
Gebäudetechnik, Technische Universität
Dresden, Germany)

Herguth, A.¹; Schubert, G.²; Kaes, M.¹;
Hahn, G.³
»Further Investigations on the Avoidance of
Boron-Oxygen Related Degradation by Means
of Regeneration«, in: Proceedings, 22nd
European Photovoltaic Solar Energy Conference
(EUPVSEC), Milan, Italy, 3.-7.9.2007,
pp. 893-896
(¹: University of Konstanz, Department of
Physics, Konstanz, Germany)
(²: now with Sunways AG, Konstanz, Germany)
(³: University of Konstanz, Department of
Physics, Konstanz, Germany und Fraunhofer
Institute for Solar Energy Systems ISE, Freiburg,
Germany)

Herkel, S.; Löhnert, G.¹; Voss, K.²; Wagner, A.³
»Bürogebäude mit Zukunft – Ergebnisse der
Begleitforschung EnBau:Monitor«, in:
Tagungsband, Bundesministeriums für Verkehr,
Bau und Stadtentwicklung, »Energieeffizienz
bauen!«, Munich, Germany, 15./16.1.2007
(¹: Solidar Planungswerkstatt Berlin, Berlin,
Germany)
(²: Bergische Universität Wuppertal, Bauphysik
und technische Gebäudeausrüstung,
Wuppertal, Germany)
(³: Universität Karlsruhe, Karlsruhe, Germany)

Herzog, B.¹; Raabe, B.¹; Hahn, G.²
»Bulk Hydrogenation in MC-Si by PECVD SiNx
Deposition only«, in: Proceedings, 22nd
European Photovoltaic Solar Energy Conference
(EUPVSEC), Milan, Italy, 3.-7.9.2007,
pp. 1722-1725
(¹: University of Konstanz, Department of
Physics, Konstanz, Germany)
(²: University of Konstanz, Department of
Physics, Konstanz, Germany und Fraunhofer
Institute for Solar Energy Systems ISE, Freiburg,
Germany)

Heß, S.; Rommel, M.
»Application of Medium Temperature Collectors
for Solar Air-Conditioning«, in: Proceedings,
2nd International Conference Solar Air-
Conditioning, Tarragona, Spain, 18./19.10.2007

Hinsch, A.; Putyra, P.¹; Würfel, U.²; Brandt, H.;
Skupien, K.¹; DREWITZ, A.³; Einsele, F.⁴;
Gerhard, D.⁵; Gores, H.⁶; Hemming, S.;
Himmler, S.⁵; Khelashvili, G.⁷;
Nazmutdinova, G.⁸; Opara-Krasovec, U.⁷;
Rau, U.⁴; Sensfuss, S.⁹; Walter, J.¹;
Wasserscheid, P.⁵
»Developments Towards Low-cost Dye Solar
Modules«, in: Proceedings, 22nd European
Photovoltaic Solar Energy Conference
(EUPVSEC), Milan, Italy, 3.-7.9.2007,
pp. 192-195
(¹: University of Technology, Krakow, Poland)
(²: Freiburger Materialforschungszentrum FMF,
Freiburg, Germany)
(³: Gesellschaft zur Förderung von Medizin-,
Bio- und Umwelt-Technologien e.V., Jena,
Germany)
(⁴: Institut für Physikalische Elektronik,
Universität Stuttgart, Stuttgart, Germany)
(⁵: Friedrich-Alexander-Universität, Erlangen,
Germany)
(⁶: Institut für Physikalische und Theoretische
Chemie der Universität Regensburg,
Regensburg, Germany)
(⁷: University of Ljubljana, Faculty of Electrical
Engineering, Ljubljana, Slovenia)
(⁸: Thüringisches Institut für Textil- und
Kunststoff-Forschung, Rudolstadt, Germany)
(⁹: Gesellschaft zur Förderung von Medizin-,
Bio- und Umwelt-Technologien e.V., Jena,
Germany)

Hinsch, A.; Brandt, H.; Veurman, W.;
Hemming, S.; Nittel, M.; Würfel, U.¹;
Putyra, P.¹; Lang-Koetz, C.²; Stabe, M.²;
Beucker, S.³; Fichter, K.³
»Dye Solar Modules for Façade Applications:
Recent Results from Project Colorsol«, in: Solar
Energy Materials & Solar Cells and in:
Proceedings, 17th International Photovoltaic
Science and Engineering Conference (PVSEC),
Fukuoka, Japan, 3.-7.12.2007
(¹: Freiburger Materialforschungszentrum FMF,
Freiburg, Germany)
(²: Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und
Organisation IAO, Stuttgart, Germany)
(³: Borderstep Institute for Innovation and
Sustainability, Germany)

Hofmann, M.; Janz, M.; Schmidt, C.;
Kambor, S.; Suwito, D.; Kohn, N.; Rentsch, J.;
Glunz, S. W.; Preu, R.
»Recent Developments in Rear Surface
Passivation at Fraunhofer ISE«, in: Solar Energy
Materials & Solar Cells and in: Proceedings,
17th International Photovoltaic Science and
Engineering Conference (PVSEC), Fukuoka,
Japan, 3.-7.12.2007

Hofmann, M.; Schmidt, C.; Kohn, N.;
Grambole, D.¹; Rentsch, J.; Glunz, S.; Preu, R.
»Detailed Analysis of Amorphous Silicon
Passivation Layers Deposited in Industrial In-Line
and Laboratory-Type PECVD-Reactors«, in:
Proceedings, 22nd European Photovoltaic Solar
Energy Conference (EUPVSEC), Milan, Italy,
3.-7.9.2007, pp. 1528-1531
(¹: Forschungszentrum Dresden-Rossendorf,
Dresden, Germany)

Hofmann, M.; Kambor, S.; Schmidt, C.;
Grambole, D.¹; Rentsch, J.; Glunz, S.; Preu, R.
»Firing Stable Surface Passivation Using All-
PECVD Stacks of SiO_x:H and SiN_x:H«, in:
Proceedings, 22nd European Photovoltaic Solar
Energy Conference (EUPVSEC), Milan, Italy,
3.-7.9.2007, pp. 1030-1033
(¹: Forschungszentrum Dresden-Rossendorf,
Dresden, Germany)

Hohl-Ebinger, J.; Siefer, G.; Warta, W.
»Non-Linearity of Solar Cells in Spectral
Response Measurements«, in: Proceedings,
22nd European Photovoltaic Solar Energy
Conference (EUPVSEC), Milan, Italy,
3.-7.9.2007, pp. 422-424

Hohl-Ebinger, J.; Siefer, G.; Warta, W.
»Measuring the Spectral Distribution of a Flash
Simulator«, in: Proceedings, 22nd European
Photovoltaic Solar Energy Conference
(EUPVSEC), Milan, Italy, 3.-7.9.2007,
pp. 425-428

Hopman, S.; Fell, A.; Mayer, K.; Alemán, M.;
Mesec, M.; Müller, R.; Kray, D.; Willeke, G. P.
»Characterization of Laser Doped Silicon
Wafers with Laser Chemical Processing«, in:
Proceedings, 22nd European Photovoltaic Solar
Energy Conference (EUPVSEC), Milan, Italy,
3.-7.9.2007, pp. 1257-1261

Hörteis, M.; Mette, A.¹; Richter, P. L.;
Fidorra, F.¹; Glunz, S. W.
»Further Progress in Metal Aerosol Jet Printing
for Front Side Metallization of Silicon Solar
Cells«, in: Proceedings, 22nd European
Photovoltaic Solar Energy Conference
(EUPVSEC), Milan, Italy, 3.-7.9.2007,
pp. 1039-1042
(¹: Q-Cells AG, Thalheim, Germany)

Janz, S.; Suwito, D.; Glunz, S. W.
»Passivation Mechanisms of Amorphous Si_xC_{1-x}
Layers on Highly Doped and Textured Si
Surfaces«, in: Proceedings, 22nd European
Photovoltaic Solar Energy Conference
(EUPVSEC), Milan, Italy, 3.-7.9.2007,
pp. 1454-1457

Janz, S.; Künle, M.; Peters, M.;
Lindekugel, S.; Mitchell, E. J.; Reber, S.
»Optical Confinement in Recrystallised Wafer
Equivalent Thin-Film Solar Cells«, in:
Proceedings, 22nd European Photovoltaic Solar
Energy Conference (EUPVSEC), Milan, Italy,
3.-7.9.2007, pp. 1979-1982

Jaus, J.; Bett, A. W.; Reincke, H.; Weber, E. R.
»High Precision Placement of Solar Cell
Assemblies on Large Base Plates for Concen-
trator Photovoltaics«, in: Proceedings, 3rd
International Conference Multi-Material Micro
Manufacture, Borovets, Bulgaria, 3.-5.10.2007

Kaes, M.¹; Hahn, G.²; Metz, A.³; Agostinelli, G.⁴; Ma, Y.⁴; Junge, J.¹; Zuschlag, A.¹; Groetschel, D.¹
 »Progress in High Efficiency Processing of EFG Silicon Solar Cells«, in: Proceedings, 22nd European Photovoltaic Solar Energy Conference (EUPVSEC), Milan, Italy, 3.-7.9.2007, pp. 897-902
 (¹: University of Konstanz, Department of Physics, Konstanz, Germany)
 (²: University of Konstanz, Department of Physics, Konstanz, Germany und Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE, Freiburg, Germany)
 (³: SCHOTT Solar GmbH, Alzenau, Germany)
 (⁴: IMEC, Leuven, Belgium)

Kaiser, R.
 »Batterien in netzfernen Stromversorgungsanlagen«, in: Seminarband, Fachseminar Netzferne Stromversorgung mit Photovoltaik, OTTI Energie-Kolleg, Freiburg, Germany, 10./11.10.2007, pp. 23-80

Kasemann, M.¹; Grote, D.; Walter, B.; Trupke, T.²; Augarten, Y.²; Bardos, R. A.²; Pink, E.²; Abbott, M. D.²; Warta, W.
 »Shunt Detection Capabilities of Luminescence Imaging on Silicon Solar Cells«, in: Proceedings, 22nd European Photovoltaic Solar Energy Conference (EUPVSEC), Milan, Italy, 3.-7.9.2007, pp. 394-399
 (¹: Freiburger Materialforschungszentrum FMF, Freiburg, Germany)
 (²: Centre of Excellence for Advanced Silicon Photovoltaics and Photonics, University of New South Wales, Sydney, Australia)

Kalz, D.; Pfafferot, J.; Herkel, S.
 »Querauswertung von drei Niedrigenergiegebäuden: Heizen und Kühlen mit thermoaktiven Bauteilsystemen (TABS)«, in: Proceedings, OTTI Energie-Kolleg, Seminar »Oberflächennahe Geothermie – Erdgekoppelte Wärmepumpen und unterirdische thermische Energiespeicher«, Freising, Germany, 26./27.4.2007, CD-ROM

Kalz, D.; Pfafferott, J.; Kagerer, F.
 »Monitoring and Evaluation of Night-time Ventilation and Radiant Cooling Concepts Applied to Low Energy Office Buildings«, in: Proceedings, IBPSA, 10th International Building Performance Simulation Association Conference and Exhibition, Beijing, China, 3.-6.9.2007

Kiefer, K.
 »PV-Anlage-Rendite sichern«, in: Elektropraktiker, Vol. 11 (2007), pp. 1002-1004

Kiefer, K.
 »Modulkauf: Qualität geht vor«, in: TOP AGRAR Messe-Spezial-Ausgabe für Intersolar, Vol. 6 (2007), pp. 12-15

Kiefer, K.; Neuberger, F.; Steinhüser, A.
 »Abnahmemessungen: Erfahrungen bei der Qualitätssicherung von Photovoltaik-Anlagen«, in: Proceedings, OTTI Energie-Kolleg, 22. Symposium Photovoltaische Solarenergie, Bad Staffelstein, Germany, 7.-9.3.2007, CD-ROM

Knorz, A.; Grohe, A.; Harmel, C.; Preu, R.; Luther, J.
 »Progress in Selective Laser Ablation of Dielectric Layers«, in: Proceedings, 22nd European Photovoltaic Solar Energy Conference (EUPVSEC), Milan, Italy, 3.-7.9.2007, pp. 1488-1491

Kohn, C.¹; Faber, T.¹; Kübler, R.¹; Beinert, J.¹; Kleer, G.¹; Clement, F.; Erath, D.; Reis, I.; Martin, F.²; Müller, A.²
 »Analysis of Warpage Effects Induced by Passivation and Electrode Coatings in Silicon Solar Cells«, in: Proceedings, 22nd European Photovoltaic Solar Energy Conference (EUPVSEC), Milan, Italy, 3.-7.9.2007, pp. 1270-1273
 (¹: Fraunhofer-Institut für Werkstoffmechanik IWM, Freiburg, Germany)
 (²: Deutsche Solar AG, Freiberg/Sachsen, Germany)

Konidaris, S.¹; Welsler, E.; Dimroth, F.; Polychroniadis, E.¹
 »A TEM Study of the Factors Affecting the two Types of Compositional Modulation in GaInAsSb/GaSb Films«, in: Journal of Crystal Growth, to be published in: Proceedings, The 15th International Conference on Crystal Growth, Salt Lake City, UT, USA, 13.-17.8.2007
 (¹: Department of Physics, Aristotle University of Thessaloniki, Greece)

Kontermann, S.; Grohe, A.; Erath, D.; Preu, R.; Willeke, G.
 »Investigation on the Influence of Different Annealing Steps on Silicon Solar Cells with Silver Thick Film Contacts«, in: Proceedings, 22nd European Photovoltaic Solar Energy Conference (EUPVSEC), Milan, Italy, 3.-7.9.2007, pp. 1556-1559

Köhl, M.; Franke, H.; Stricker, E.; Weiß, K.-A.
 »Polymeric Materials for Solar Thermal Collectors – a Feasibility Study«, in: Proceedings, 3rd European Solar Thermal Energy Conference – estec 2007, Freiburg, Germany, 19./20.6.2007

Köhl, M.; Philipp, D.; Weiß, K.-A.; Wirth, J.
 »Polymer Films in Photovoltaic Modules: Analysis and Modelling of Permeation Processes«, in: Proceedings, 3rd European Weathering Symposium (EWS), Krakow, Poland, 12.-14.9.2007

Kramer, K.; Rommel, M.; Mehnert, S.; Schäfer, A.
 »SolarKeymark – Experiences with the European Solar Thermal Quality Label«, in: Proceedings, 3rd European Solar Thermal Energy Conference – estec 2007, Freiburg, Germany, 19./20.6.2007

Kramer, K.; Rommel, M.; Mehnert, S.; Schäfer, A.
 »SolarKeymark – Experiences with the European solar thermal quality label«, in: Proceedings, ISES Solar World Congress 2007, Beijing, China, 16.-23.9.2007

Kray, D.; Hopman, S.; Spiegel, A.¹; Richerzhagen, B.¹; Willeke, G. P.
 »Study on the Edge Isolation of Industrial Silicon Solar Cells with Waterjet-guided Laser«, in: Solar Energy Materials & Solar Cells, Vol. 91, pp. 1638-1644, published online: 10.7.2007
 (¹: Synova S.A., Ecublens, Switzerland)

Kray, D.; Fell, A.; Hopman, S.; Mayer, K.; Glunz, S. W.; Willeke, G. P.
 »Laser Chemical Processing (LCP) – A Versatile Tool for Microstructuring Applications«, in: Proceedings, Applied Physics A, 9th International Conference on Laser Ablation, Tenerife, Spain, 24.-28.9.2007

Kray, D.; Fell, A.; Hopman, S.; Mayer, K.; Mesec, M.; Glunz, S. W.; Willeke, G. P.
 »Progress in Laser Chemical Processing (LCP) for Innovative Solar Cell Microstructuring and Wafering Applications«, in: Proceedings, 22nd European Photovoltaic Solar Energy Conference (EUPVSEC), Milan, Italy, 3.-7.9.2007, pp. 1227-1230

Krieg, A.; Weil, A.; Schäffer, E.; Hohl-Ebinger, J.; Warta, W.; Rein, S.
 »Accuracy of In-Line IV measurements under Industrial Conditions«, in: Proceedings, 22nd European Photovoltaic Solar Energy Conference (EUPVSEC), Milan, Italy, 3.-7.9.2007, pp. 368-371

Kuhn, T.
 »Innovative Fassadenkonzepte: Bestandteile und Systemen«, in: Tagungsband Zukunft Haus Kongress 2007, »Strategien für Energieeffizienz«, Berlin, 25./26.10.2007

Kuhn, T.
 »Leistungsmerkmale von Sonnenschutz – Inhalt und Hintergründe zu den Normentwürfen prEn14500 und prEN14501«, in: Tagungsband OTTI Energie-Kolleg, 13. Symposium Licht + Architektur, Innovative Lichttechnik in Gebäuden, Bad Staffelstein, Germany, 8./9.3.2007

Kuhn, T.
 »Thermischer und visueller Komfort – Leistungsmerkmale und Klassifizierung von Sonnenschutzsystemen«, in: Tagungsband OTTI Energie-Kolleg, 13. Symposium Licht + Architektur, Innovative Lichttechnik in Gebäuden, Bad Staffelstein, Germany, 8./9.3.2007

Kuhn, T.
 »Sonnenschutz: Eine neue Methode zur Bewertung von Fassaden mit Jalousien oder anderen Sonnenschutzsystemen«, in: Tagungsband OTTI Energie-Kolleg, 13. Symposium Licht + Architektur, Innovative Lichttechnik in Gebäuden, Bad Staffelstein, Germany, 8./9.3.2007

- Kuhn, T.
»Thermischer und visueller Komfort – Leistungsmerkmale und Klassifizierung von Sonnenschutzsystemen. Inhalt und Hintergründe zu den Normentwürfen prEN14500:2006 und prEN14501:2005«, in: Proceedings, OTTI Energie-Kolleg, 13. Symposium Licht und Architektur, Bad Staffelstein, 8./9.3.2007, CD-ROM
- Kwapil, W.; Kasemann, M.¹; Ebser, J.; Rein, S.; Warta, W.
»Application of Illuminated Lock-in Thermography to Industrial Silicon Solar Cells«, in: Proceedings, 22nd European Photovoltaic Solar Energy Conference (EUPVSEC), Milan, Italy, 3.-7.9.2007, pp. 1596-1599
(¹: Freiburger Materialforschungszentrum FMF, Freiburg, Germany)
- Lang, J.; Preu, R.
»PV-TEC – Forschungsfabrik für Solarzellen«, BINE Informationsdienst, Projektinfo 08/07
(¹: BINE Informationsdienst, Bonn)
- Laukamp, H.; Diaz, J.; Erge, Th.; Ebert, G.
»Grid Effects of a Large, Distributed PV Capacity in a Modern Urban Settlement«, in: Proceedings, 22nd European Photovoltaic Solar Energy Conference (EUPVSEC), Milan, Italy, 3.-7.9.2007, pp. 2880-2883
- Lemke, A.; Furtwängler, H.; Rentsch, J.; Biro, D.; Preu, R.
»Thermal Oxidation and Wet Chemical Cleaning of Silicon Wafers for Industrial Solar Cell Production«, in: Proceedings, 22nd European Photovoltaic Solar Energy Conference (EUPVSEC), Milan, Italy, 3.-7.9.2007, pp. 1450-1453
- Lindekugel, S.; Janz, S.; Schmich, E.; Reber, S.
»Plasma Texturing of Low Defect Epitaxial Layers«, in: Proceedings, 22nd European Photovoltaic Solar Energy Conference (EUPVSEC), Milan, Italy, 3.-7.9.2007, pp. 1986-1989
- Link, J.; Wittwer, C.; Wille, B.
»Operation Strategies for CHP-Plants in a Virtual Power Plant Network Making Use of the Building's Internal Thermal Capacities«, in: Proceedings, Energy Storage and the Case of Energy Autonomy Decentralization and Efficiency, Bonn, Germany, 19.-21.11.2007
- Löper, P.; Goldschmidt, J. C.; Peters, M.; Krämer, K.; Schultz, O.; Glunz, S. W.; Luther, J.
»Efficient Upconversion Systems for Silicon Solar Cells«, in: Proceedings, 22nd European Photovoltaic Solar Energy Conference (EUPVSEC), Milan, Italy, 3.-7.9.2007, pp. 589-594
- Luther, J.
»Sustainable Electricity Generation – Solar Energy and Other Renewable Energy Sources«, in: Proceedings, Energy and Environment, Villa Real, Portugal, 27.-30.9.2006
- Luther, J.
»Von der Interpretation des Photoeffektes zur photovoltaischen Stromerzeugung«, in: Freiburger Universitätsblätter. 1905 und die Folgen: Albert Einstein Ausbruch aus dem Vorstellbaren, Heft 176, Jahrg. 2007 Juni, Verlag Rombach Freiburg, pp. 37-49
- Luther, J.; Bett, A. W.
»Progress in High-Concentration Photovoltaic Systems«, in: Technical Digest, 17th International Photovoltaic Science and Engineering Conference (PVSEC), Fukuoka, Japan, 3.-7.12.2007
- Mette, A.; Filipovic, A.; Hörteis, M.; Schultz, O.; Pysch, D.; Richter, P.; Schetter, C.; Glunz, S. W.
»Advanced Metallization for Crystalline Silicon Solar Cells«, in: Proceedings, 17th Workshop on Crystalline Silicon Solar Cells & Modules: Materials and Processes, Vail Cascade Resort, Vail, CO, USA, 5.-8.8.2007
- Meusel, M.¹; Bensch, W.¹; Bergunde, T.¹; Kern, R.¹; Khorenko, V.¹; Köstler, W.¹; LaRoche, G.¹; Torunski, T.¹; Zimmermann, W.¹; Strobl, G.¹; Guter, W.; Hermle, M.; Hoheisel, R.; Siefert, G.; Welsch, E.; Dimroth, F.; Bett, A. W.; Geens, W.²; Baur, C.³; Taylor, S.³; Hey, G.⁴
»Development and Production of European III-V Multi-Junction Solar Cells«, in: Proceedings, 22nd European Photovoltaic Solar Energy Conference (EUPVSEC), Milan, Italy, 3.-7.9.2007, pp. 16-21
(¹: AZUR SPACE Solar Power GmbH, Heilbronn, Germany)
(²: Umicore, Olen, Belgium)
(³: ESA/ESTEC, Noordwijk, The Netherlands)
(⁴: Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), Bonn, Germany)
- Miara, M.; Russ, C.; Becker, R.
»Wärmepumpen im Feldtest«, in: KI Kälte Luft Klimatechnik, Ausgabe Juli/August, 26.11.2007
- Mingirulli, N.; Grohe, A.; Dohrn, A.; Hofman, M.; Schubert, M.; Roth, T.; Biro, D.; Preu, R.
»Lifetime Studies on Laser Drilled Vias for Application in Emitter-Wrap-Through-Solar Cells«, in: Proceedings, 22nd European Photovoltaic Solar Energy Conference (EUPVSEC), Milan, Italy, 3.-7.9.2007, pp. 1415-1419
- Mülhölfer, G.; Koschikowski, J.; Wieghaus, M.
»Oryx 150: a Solar-Driven Membrane Desalination System«, Symposium on Solar Desalination and Water Treatment, Intersolar 2007, Freiburg, Germany, 21.-23.6.2007
- Nitz, P.; Bläsi, B.; Walze, G.; Gombert, A.
»Verglasungen mit mikrostrukturierten optisch-funktionalen Komponenten«, OTTI Energie-Kolleg, 13. Symposium Licht und Architektur, Bad Staffelstein, Germany, 8./9.2.2007, CD-ROM
- Nitz, P.
»Adaptive, selektive und schaltbare Materialien«, Kongress »Energieeffizienz bauen«, Bau 2007, München, 15./16.1.2007, p. 21
- Nitz, P.; Heller, A.; Platzer, W.
»Indoor Characterization of Fresnel-type Concentrator Lenses«, 4th International Conference on Solar Concentrators for the Generation of Electricity of Hydrogen (ICSC-4), El Escorial, Spain, 12.-16.3.2007, pp. 289-292
- Nussbaumer, H.¹; Biro, D.; Haverkamp, H.²; Bothe, K.³
»Forschung für neue Technologien und ihre Wechselwirkung mit der Industrie – vom Mittelständler zum Global Player«, in: Tagungsband Forschungsverbund Sonnenenergie, in print
(¹: centrotherm photovoltaics technology GmbH, Konstanz, Germany)
(²: Universität Konstanz, Germany)
(³: Institut für Solarenergieforschung Hameln/Emmerthal (ISFH) GmbH, Germany)
- Oliva, E.; Dimroth, A.; Bett, A. W.
»GaAs Converters for High Power Densities of Laser Illumination«, in: Progress in Photovoltaics, in print
- Ortiz, B.; Vetter, M.; Gözl, S.; Bopp, G.
»Concepts for Hybrid PV Village Grids to make their Operation a Local Business«, in: Proceedings, 22nd European Photovoltaic Solar Energy Conference, Milan, Italy, 3.-7.9.2007, pp. 3424-3429
- Pereles, O.¹; Bett, A. W.; Löckenhoff, R.; Lüpfer, E.²; Häberle, A.³; Fernández, J.⁴; Stobl, G.⁵; Faïman, D.⁶; Soler, R.⁷; Yousif, C.⁸
»High Concentration PV System«, in: Proceedings, 4th International Conference on Solar Concentrators for the Generation of Electricity of Hydrogen (ICSC-4), El Escorial, Spain, 12.-16.3.2007
(¹: Solúcar Energía S.A., Sevilla, Spain)
(²: Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR), Köln, Germany)
(³: PSE GmbH Forschung Entwicklung Marketing, Freiburg, Germany)
(⁴: Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas, Madrid, Spain)
(⁵: AZUR Space GmbH, Heilbronn, Germany)
(⁶: Ben-Gurion University of Negev, Beer Sheva, Israel)
(⁷: Electricité de France, Paris, France)
(⁸: University of Malta, Msida, Malta)
- Peters, M.¹; Goldschmidt, J.; Loeper, P.; Gombert, A.; Willeke, G.
»Application of Photonic Structures on Fluorescent Concentrators«, in: Proceedings, 22nd European Photovoltaic Solar Energy Conference (EUPVSEC), Milan, Italy, 3.-7.9.2007, pp. 177-181
(¹: University of Freiburg, Department of Physics, Freiburg, Germany)
- Peters, M.¹; Goldschmidt, J.; Loeper, P.; Bläsi, B.; Gombert, A.
»Photonic Crystals for the Efficiency Enhancement of Solar Cells«, in: Proceedings, EOS Topical Meeting on Diffractive Optics 2007, Barcelona, Spain, 21.-23.11.2007
(¹: University of Freiburg, Department of Physics, Freiburg, Germany)

Philipps, S.; Ziegler, C.

»Transient Model of a PEMFC Stack and Model Validation«, in: Journal of the Electrochemical Society, in print

Pfafferott, J.; Kalz, D.; Wagner, A.¹; Knapp, T.¹

»Refurbishment and Monitoring of a Print Office Building in Karlsruhe, Germany«, in: Proceedings, PALENC Conference 2007, Crete, Greece, 27.-29.9.2007

(¹: Universität Karlsruhe, Karlsruhe, Germany)

Pfafferott, J.; Becker, P.¹

»Die Relevanz der Innenraumverhältnisse für Hitzewarnsysteme«, in: Proceedings: BioMet Tagung 2007, Freiburg, Germany, 15.3.2007
(¹: Deutscher Wetterdienst, Medizin-Meteorologie, Freiburg, Germany)

Pfanner, N.; Roth, W.

»Anwendungen – Photovoltaik in der Beleuchtungstechnik«, in: Tagungsband, OTTI Energie-Kolleg, Fachseminar Netzferne Stromversorgung mit Photovoltaik, Freiburg, Germany, 27./28.9.2006, pp. 317-386

Pfanner, N.; Schmidt, H.; Kaiser, R.

»Laderegler und Überwachungseinrichtungen für Batterien in photovoltaischen Energieversorgungssystemen«, in: Seminarband, Fachseminar Netzferne Stromversorgung mit Photovoltaik, OTTI Energie-Kolleg, Freiburg, Germany, 10./11.10.2007, pp. 81-110

Pink, E.¹; Trupke T.¹; Bardos, R.A.¹;

Abbott, M.D.¹; Augarten, Y.¹; Kontermann, S.
»Fast Series Resistance Imaging Using Photoluminescence«, in: Proceedings, 22nd European Photovoltaic Solar Energy Conference (EUPVSEC), Milan, Italy, 3.-7.9.2007, pp. 381-385

(¹: Centre of Excellence for Advanced Silicon Photovoltaics and Photonics, University of New South Wales, Sydney, Australia)

Platzer, W.; Pitz-Paal, R.¹

»Solarthermische Kraftwerke – Europäische Potenziale kostengünstig erschließen«, in: Tagungsband, Jahrestagung 2006 des Forschungsverbunds Sonnenenergie, Forschung und Innovation für eine nachhaltige Energieversorgung, Berlin, Germany, 21./22.9.2006
(¹: Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. DLR)

Platzer, W.

»Numerical Simulation of Vapour and Gas Transport into a VIP Panel«, in: Tagungsband, 8th International Symposium on Vacuum Insulation Systems, Würzburg, Germany, 19./20.9.2007

Platzer, W.

»Optimisation and Testing of a VIP Exterior Thermal Insulation Composite System (ETICS)«, in: Tagungsband, 8th International Symposium on Vacuum Insulation Systems, Würzburg, Germany, 19./20.9.2007

Preu, R.

»Wafer-based Crystalline Silicon Solar Cells«, in: Proceedings, 1. PV-Investoren-Konferenz, Munich, Germany, 5.4.2007, CD-ROM

Pysch, D.; Mette, A.; Filipovic, A.; Glunz, S. W.

»Detailed Analysis of Fine Line Printed and Plated Solar Cell Contact«, in: Proceedings, 22nd European Photovoltaic Solar Energy Conference (EUPVSEC), Milan, Italy, 3.-7.9.2007, pp. 1238-1243

Rentsch, J.; Decker, D.¹; Hofmann, M.;

Schlemm, H.¹; Roth, K.¹; Preu, R.
»Industrial Realization of Dry Plasma Etching for PSG Removal and Rear Side Emitter Etching«, in: Proceedings, 22nd European Photovoltaic Solar Energy Conference (EUPVSEC), Milan, Italy, 3.-7.9.2007, pp. 1340-1343
(¹: Roth&Rau AG, Hohenstein-Ernstthal, Germany)

Rochlitz, L.; Krautz, H. J.¹

»Entwicklung, Untersuchung und Modellierung eines Mikroreformers als Teil eines Systems zur netzfernen Stromversorgung mit PEM-Brennstoffzellen im Bereich einiger 100 Watt«, in: Forum der Forschung, Dezember 2007, Vol. 20, pp. 55-62
(¹: Universität Cottbus, Cottbus, Germany)

Rommel, M.; Kramer, K.; Mehnert, S.;

Schäfer, A.; Siems, T.; Thoma, C.; Striewe, W.
»Testing Unit for the Development of Process Heat Collectors up to 200 °C«, in: Proceedings, 3rd European Solar Thermal Energy Conference – estec 2007, Freiburg, Germany, 19./20.6.2007

Roth, T.; Rüdiger, M.; Rosenits, S.; Diez, S.¹;

Trupke, T.²; Bardos, R. A.²; Glunz, S. W.
»Photoluminescence Lifetime Spectroscopy-Surface Recombination Analysis«, in: Proceedings, 22nd European Photovoltaic Solar Energy Conference (EUPVSEC), Milan, Italy, 3.-7.9.2007, pp. 1002-1005
(¹: Now with Q-Cells AG, Thalheim, Germany)
(²: Centre of Excellence for Advanced Silicon Photovoltaics and Photonics, University of New South Wales, Sydney, Australia)

Roth, W.

»Netzferne Stromversorgung mit Photovoltaik – Einführung«, in: Tagungsband, OTTI Energie-Kolleg, Grundlagenworkshop Netzferne Stromversorgung mit Photovoltaik, Freiburg, Germany, 26.9.2006, pp. 9-54

Roth, W.; Reise, Ch.

»Grundlagen zur Nutzung der Sonnenenergie«, in: Tagungsband, OTTI Energie-Kolleg, Grundlagenworkshop Netzferne Stromversorgung mit Photovoltaik, Freiburg, Germany, 26.9.2006, pp. 55-83

Roth, W.

»Anwendungen – Industrieprodukte und technische Einrichtungen«, in: Tagungsband, OTTI Energie-Kolleg, Fachseminar Netzferne Stromversorgung mit Photovoltaik, Freiburg, Germany, 27./28.9.2006, pp. 387-438

Roth, W.; Kiefer, K.; Wittwer, C.; Schmidt, H.; Pfanner, N.; Bopp, G.

»Firmendarstellung Fraunhofer ISE«, in: Proceedings, Beitrag zum Messestand beim 22. Symposium Photovoltaische Solarenergie, OTTI Energie-Kolleg, 22. Symposium Photovoltaische Solarenergie, Bad Staffelstein, Germany, 7.-9.3.2007, CD-ROM

Roth, W.

»Netzferne Stromversorgung mit Photovoltaik – Einführung«, in: Seminarband, Grundlagenworkshop Netzferne Stromversorgung mit Photovoltaik, OTTI Energie-Kolleg, Freiburg, Germany, 9.10.2007, pp. 1-48

Roth, W.; Reise, Ch.

»Grundlagen zur Nutzung der Sonnenenergie«, in: Seminarband, Grundlagenworkshop Netzferne Stromversorgung mit Photovoltaik, OTTI Energie-Kolleg, Freiburg, Germany, 9.10.2007, pp. 49-80

Roth, W.

»Netzferne Stromversorgung mit Photovoltaik«, in: Seminarband, Fachseminar Netzferne Stromversorgung mit Photovoltaik, OTTI Energie-Kolleg, Freiburg, Germany, 10./11.10.2007, pp. 1-22

Rosenits, P.; Roth, T.; Diez, S.¹; Macdonald, D.²;

Glunz, S. W.
»Detailed Studies of Manganese in Silicon Using Different Characterisation Methods«, in: Proceedings, 22nd European Photovoltaic Solar Energy Conference (EUPVSEC), Milan, Italy, 3.-7.9.2007, pp. 1480-1483
(¹: Now with Q-Cells AG, Thalheim, Germany)
(²: Department of Engineering, College of Engineering and Computer Science, the Australian National University, Canberra, Australia)

Rüdiger, M.; Trupke, T.¹; Würfel, P.²;

Bardos, R. A.¹; Roth, T.
»Influence of Photon Reabsorption on Temperature Dependent Quasi-Steady-State Photoluminescence Lifetime Measurements on Crystalline Silicon«, in: Proceedings, 22nd European Photovoltaic Solar Energy Conference (EUPVSEC), Milan, Italy, 3.-7.9.2007, pp. 386-389
(¹: University of New South Wales, Sydney, Australia)
(²: Institut für Angewandte Physik, Universität Karlsruhe, Karlsruhe, Germany)

Russ, C.; Miara, M.; Salignat, R.; Hecking, B.¹

»Einsatz von Wärmepumpen im Gebäudebestand – Übersicht und erste Ergebnisse aus einem Feldtestmonitoring«, in: Tagungsband, Beitrag zum 5. Forum Wärmepumpen, Berlin, 11.-12.10.2007
(¹: E.On Energie AG, München)

- Salignat, R.
»Lange Nacht der Wissenschaften«, in: Sonderbeilage der Nürnberger Nachrichten, Kulturidee Nürnberg, 20.10.2007
- Schaadt, A.; Alhucema Arias, R.; Aicher, T.; Northrop, W.
»Wasserstofferzeugung durch autotherme Reformierung von Bioethanol«, Chemie Ingenieur Technik, Vol. 79 (2007) 9, p. 1336
- Schäffler, H.
»Smart Metering – AMM-Systeme in Deutschland«, in: Marktreport des Fraunhofer ISE, Freiburg, Germany, 2007
- Schmich, E.; Frieß, T.; Lautenschlager, H.; Pysch, D.; Reber, S.
»Crystalline Silicon Thin-Film Solar cells with Epitaxial Emitters and screen-printed or evaporated contacts«, in: Proceedings, 22nd European Photovoltaic Solar Energy Conference (EUPVSEC), Milan, Italy, 3.-7.9.2007, pp. 1902-1906
- Schmich, E.; Schillinger, N.; Reber, S.
»Silicon CVD Deposition for Low Cost Applications in Photovoltaics«, in: Proceedings, 16th European Conference on Chemical Vapor Deposition, Den Haag, The Netherlands, 16.-21.9.2007
- Schmich, E.; Schillinger, N.; Reber, S.
»Silicon CVD Deposition for Low Cost Applications in Photovoltaics«, in: Surface and Coatings Technology, Vol. 201 (2007), pp. 9325-9329
- Schmich, E.; Schillinger, N.; Reber, S.
»P-Type Emitter Epitaxy on N-Type Silicon Wafers«, in: Proceedings, 17th International Photovoltaic Science and Engineering Conference (PVSEC), Fukuoka, Japan, 3.-7.12.2007
- Schmidt, H.; Burger, B.; Kiefer, K.
»Welcher Wechselrichter für welche Modultechnologie?«, in: Tagungsband, OTTI Energie-Kolleg, 21. Symposium Photovoltaische Solarenergie, Bad Staffelstein, Germany, 8.-10.3.2006, pp. 220-225
- Schmidt, H.; Roth, W.
»Aufbau und Funktionsweise von Solarzelle, Modul und Solargenerator«, in: Tagungsband, OTTI Energie-Kolleg, Grundlagenworkshop Netzferne Stromversorgung mit Photovoltaik, Freiburg, Germany, 26.9.2006, pp. 85-137
- Schmidt, H.; Burger, B.; Kiefer, K.
»Welcher Wechselrichter für welche Dünnschichttechnologie?«, in: Tagungsband, OTTI Energie-Kolleg, Fachseminar Dünnschicht-Photovoltaikmodule, Freiburg, Germany, 20.6.2006, pp. 57-83
- Schmidt, H.; Burger, B.
»Elektromagnetische Verträglichkeit«, in: Tagungsband, OTTI Energie-Kolleg, Fachseminar Leistungselektronik für erneuerbare Energiesysteme, Regenstauf, Germany, 6./7.7.2006, pp. 199-228
- Schmidt, H.; Kaiser, R.; Sauer, D.-U.¹
»Batterien in netzfernen Stromversorgungsanlagen«, in: Tagungsband, OTTI Energie-Kolleg, Fachseminar Netzferne Stromversorgung mit Photovoltaik, Freiburg, Germany, 27./28.9.2006, pp. 59-115
(¹: RWTH Aachen, ISEA)
- Schmidt, H.
»Laderegler und Überwachungseinrichtungen für Batterien in photovoltaischen Energieversorgungssystemen«, in: Tagungsband, OTTI Energie-Kolleg, Fachseminar Netzferne Stromversorgung mit Photovoltaik, Freiburg, Germany, 27./28.9.2006, pp. 117-138
- Schmidt, H.; Burger, B.
»EMV-Messverfahren für PV und EMV-gerechtes Schaltungsdesign«, in: Tagungsband, OTTI Energie-Kolleg, Profiseminar EMV und Blitzschutz für Solaranlagen, Regensburg, Germany, 22./23.11.2006, pp. 35-64
- Schmidt, H.; Burger, B.; Häberlin, H.¹
»Überspannungsfestigkeit von Bypassdioden – Ergebnisse einer vergleichenden Untersuchung«, in: Tagungsband OTTI Energie-Kolleg, 22. Symposium Photovoltaische Solarenergie, Bad Staffelstein, Germany, 7.-9.3.2007, CD-ROM
(¹: Berner Fachhochschule für Technik und Informatik, Burgdorf, Switzerland)
- Schmidt, H.; Burger, B.; Kiefer, K.
»Wechselwirkungen zwischen Solarmodulen und Wechselrichtern«, in: Seminarband, Fachseminar Dünnschicht-Photovoltaikmodule, OTTI Energie-Kolleg, Bad Staffelstein, Germany, 5./6.2.2007, pp. 49-78
- Schmidt, H.
»Electromagnetic Compatibility EMC«, in: Proceedings, Power Electronics for Renewable Energies, OTTI Energie-Kolleg, Freiburg, Germany, 19./20.6.2007, pp. 255-272
- Schmidt, H.; Burger, B.; Kiefer, K.
»PV-Module und Wechselrichter – Wechselwirkungen«, ep Elektropraktiker, Fachzeitschrift für Handwerk und Industrie, HUSS-MEDIEN GmbH, Berlin, Germany, Ausgabe 8/2007, pp. 683-688
- Schmidt, H.; Burger, B.; Häberlin, H.¹
»A Novel Diode-less Bypass Technology for high Performance PV Modules« in: Proceedings, 22nd European Photovoltaic Solar Energy Conference (EUPVSEC), Milan, Italy, 3.-7.9.2007, pp. 2688-2694
(¹: Berner Fachhochschule für Technik und Informatik, Burgdorf, Switzerland)
- Schmidt, H.; Roth, W.
»Aufbau und Funktionsweise von Solarzelle, Modul und Solargenerator«, in: Seminarband, Grundlagenworkshop Netzferne Stromversorgung mit Photovoltaik, OTTI Energie-Kolleg, Freiburg, Germany, 9.10.2007, pp. 81-134
- Schmidt, H.
»EMV gerechtes Schaltungs- und Anlagen-design«, in: Seminarband, Fachseminar EMV, Blitz- und Brandschutz für Solaranlagen, OTTI Energie-Kolleg, Freiburg, Germany, 4./5.12.2007
- Schmidt, F. P.; Schnabel, L.; Földner, G.; Henning, H.-M.
»Novel Cycle Concept for Adsorption Chiller with Advanced Heat Recovery Utilizing a Stratified Storage«, in: Proceedings, 2nd International Conference Solar Air-Conditioning, Tarragona, Spain, 18./19.10.2007, pp. 618-623
- Sinke, W. C.¹; Ballif, C.²; Bett, A. W.; Dimmler, B.³; Dimova-Malinovska, D.⁴; Fath, P.⁵; Mason, N.⁶; Ferrazza, F.⁷; Gabler, H.⁸; Hall, M.⁹; Marti, A.¹⁰; Mellikov, E.¹¹; Milner, A.¹²; Mogensen, P.¹³; Panhuber, C.¹⁴; Pearsall, N.¹⁵; Poortmans, J.¹⁶; Protogeropoulos, C.¹⁷; Sarre, G.¹⁸; Sarti, D.¹⁹; Strauß, P.²⁰; Topic, M.²¹; van Zolingen, R.²²; Zdanowicz, T.²³
»A Strategic Research Agenda for Photovoltaic Solar Energy Technology«, in: Proceedings, 22nd European Photovoltaic Solar Energy Conference (EUPVSEC), Milan, Italy, 3.-7.9.2007, pp. 3344-3349
(¹: Energy Research Centre of the Netherlands, Petten, The Netherlands)
(²: Institut of Microtechnology University of Neuchâtel, Neuchâtel, Switzerland)
(³: Würth Solar GmbH & Co. KG, Schwäbisch Hall, Germany)
(⁴: Central Laboratory for Solar Energy and New Energy Sources – BAS, Sofia, Bulgaria)
(⁵: GP Solar, Konstanz, Germany)
(⁶: BP Solar Limited, Sunbury-on-Thames, Middlesex, Great Britain)
(⁷: EniTecnologie Responsabile Scientifico CE-SEA, Nettuno, Italy)
(⁸: Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg, Stuttgart, Germany)
(⁹: Energy Technology Department, Swedish Energy Agency, Eskilstuna, Sweden)
(¹⁰: University of Madrid, Madrid, Spain)
(¹¹: Technical University, Tallinn, Estonia)
(¹²: Q-Cells AG, Thalheim, Germany)
(¹³: AVANCIS GmbH & Co. KG, Munich, Germany)
(¹⁴: Fronius International GmbH & Co. KG, Wels-Thalheim, Austria)
(¹⁵: University of Northumbria EUREC, Newcastle upon Tyne, Great Britain)
(¹⁶: IMEC Interuniversity Microelectronics Center, Leuven, Belgium)
(¹⁷: CRES – Centre for Renewable Energy Sources, Athens, Greece)
(¹⁸: SAFT, Bordeaux Cedex, France)
(¹⁹: CEA-Grenoble, Grenoble Cedex, France)
(²⁰: ISET e. V. Institut für Solare Energieversorgungstechnik, Kassel, Germany)
(²¹: University of Ljubljana, Ljubljana, Slovenia)
(²²: Shell Solar B.V., Amsterdam, The Netherlands)
(²³: University of Technology, SolarLAB, Wrocław, Poland)

Schnabel, L.; Weigand, A.

»Water as Frigerant Comparison of Different Evaporation Structures«, in: Proceedings, 2nd International Conference Solar Air-Conditioning, Tarragona, Spain, 18./19.10.2007, pp. 476-483

Schossig, P.; Hausmann, T.; Pfafferott, J.

»Aktiv durchströmte Bauteile mit Latentwärmespeicher zur Raumkühlung«, OTTI Energie-Kolleg, 17. Symposium Thermische Solar-energie, Bad Staffelstein, Germany, 9.-11.5.2007, CD-ROM

Schossig, P.; Haussmann, T.

»Baustoffe mit Phasenwechselmaterialien als Kältespeicher für energieeffiziente Gebäude«, in: Tagungsband, DKV Jahrestagung 2007, Hannover, Germany, 22.11.2007

Schubert, M.; Pingel, S.; The, M.; Warta, W.

»Qualitative Carrier Lifetime Images Optically Measured on Rough Silicon Wafers«, in: Journal of Applied Physics, Vol. 101, Article ID 124907

Schubert, M.C.¹; The, M.; Gundel, P.; Kasemann, M.¹; Pingel, S.; Warta, W.

»Advances in Infrared Imaging Methods for Silicon Material Characterization«, in: Proceedings, 22nd European Photovoltaic Solar Energy Conference (EUPVSEC), Milan, Italy, 3.-7.9.2007, pp. 32-37
(¹: Freiburger Materialforschungszentrum FMF, Freiburg, Germany)

Schultz, O.; Mette, A.¹; Preu, R.; Glunz, S. W.

»Silicon Solar Cells with Screen-Printed Front Side Metallization Exceeding 19% Efficiency«, in: Proceedings, 22nd European Photovoltaic Solar Energy Conference (EUPVSEC), Milan, Italy, 3.-7.9.2007, pp. 980-983
(¹: Q-Cells AG, Thalheim, Germany)

Schumann, M.; Bergmann, M.; Haas, F.; Orellana, T.; Mayer, K.; Eyer, A.

»Slurries for Multi Wire Sawing – An Experimental Approach«, in: Proceedings, 17th International Photovoltaic Science and Engineering Conference (PVSEC), Fukuoka, Japan, 3.-7.12.2007

Schwunk, S.; Thomas, R.; Kaiser, R.; Bopp, G.; Vetter, M.

»Optimised Battery Management System for the Extensions of Life Cycles and Reliability of Storages in Autonomous Electricity Supply Systems«, in: Proceedings, 2nd International Renewable Energy Storage Conference, Bonn, Germany, 19.-21.11.2007

Schwaderer, D.; Riepe, S.¹; Habenicht, H.;

Schultz, O.; Warta, W.

»Investigation on Gettering of Impurities During Phosphorous Diffusion in Multicrystalline Silicon«, in: Proceedings, 22nd European Photovoltaic Solar Energy Conference (EUPVSEC), Milan, Italy, 3.-7.9.2007, pp. 1617-1621

(¹: Freiburger Materialforschungszentrum FMF, Freiburg, Germany)

Seren, S.¹; Kaes, M.¹; Hahn, G.²; Gutjahr, A.³; Burgers, A. R.³; Schönecker, A.³

»Efficiency Potential or RGS Silicon from Current R&D Production«, in: Proceedings, 22nd European Photovoltaic Solar Energy Conference (EUPVSEC), Milan, Italy, 3.-7.9.2007, pp. 854-858
(¹: University of Konstanz, Department of Physics, Konstanz, Germany)
(²: University of Konstanz, Department of Physics, Konstanz, Germany und Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE, Freiburg, Germany)
(³: ECN – Solar Energy, Petten, Netherlands)

Spitz, M.; Belledin, U.; Rein, S.

»Fast Inductive Inline Measurement of the Emitter Sheet Resistance in Industrial Solar Cell Fabrication«, in: Proceedings, 22nd European Photovoltaic Solar Energy Conference (EUPVSEC), Milan, Italy, 3.-7.9.2007, pp. 47-50

Stalter, O.; Burger, B.; Lehmann, S.

»Silicon Carbide (SiC) D-MOS for Grid-Feeding Solar Inverters«, in: Proceedings, 12th European Conference on Power Electronics and Applications – EPE2007, Aalborg, Denmark, 2.-5.9.2007

Steinhüser, A.

»Auslegung netzferner Stromversorgungen«, in: Seminarband, Fachseminar Netzferne Stromversorgung mit Photovoltaik, OTTI Energie-Kolleg, Freiburg, Germany, 10./11.10.2007, pp. 297-336

The, M.; Schubert, C.¹; Warta, W.

»Quantative Lifetime Measurements with Photoluminescence Imaging«, in: Proceedings, 22nd European Photovoltaic Solar Energy Conference (EUPVSEC), Milan, Italy, 3.-7.9.2007, pp. 354-359
(¹: Freiburger Materialforschungszentrum FMF, Freiburg, Germany)

Thomas, R.; Schwunk, S.; Vetter, M.; Pfanner, N.; Schreiber, F.; Otto, J.; Wolf, M.¹; Ziegler, K.²

»Energy Management System for Hybrid PV Systems Supplying Autonomous Measuring Stations«, in: Proceedings, 2nd International Renewable Energy Storage Conference, Bonn, Germany, 19.-21.11.2007
(¹: Pairan Elektronik GmbH, Göttingen, Germany)
(²: Landesanstalt für Umwelt und Naturschutz Baden-Württemberg (LUBW), Karlsruhe, Germany)

Trupke, T.¹; Bardos, R. A.¹; Abbott, M. D.¹; Pink, E.¹; Augarten, Y.¹; Chen, F. W.¹; Fisher, K.¹; Cotter, J. E.¹; Kasemann, M.; Rüdiger, M.; Kontermann, S.; Schubert, M. C.; The, M.; Glunz, S. W.; Warta, W.; Würfel, P.²; Macdonald, D.³; Tan, J.³; Cuevas, A.³; Bauer, J.⁴; Gupta, R.⁴; Breitenstein, O.⁴; Buonassisi, T.⁵; Tarnowski, G.⁵; Lorenz, A.⁵; Hartmann, H. P.⁶; Neuhaus, D. H.⁶; Fernandez, J. M.⁷

»Progress With Luminescence Imaging for the Characterisation of Silicon Wafers and Silicon Solar Cells«, in: Proceedings, 22nd European Photovoltaic Solar Energy Conference (EUPVSEC), Milan, Italy, 3.-7.9.2007, pp. 22-31
(¹: Centre of Excellence for Advanced Silicon Photovoltaics and Photonics, University of New South Wales, Sydney)
(²: Universität Karlsruhe, Karlsruhe, Germany)
(³: The Australian National University, Canberra, Australia)
(⁴: Max Planck Institut für Mikrostrukturphysik, Halle, Germany)
(⁵: Evergreen Solar Inc., Marlboro, USA)
(⁶: Deutsche Cell GmbH, Freiberg, Germany)
(⁷: BP Solar, Tres Cantos, Spain)

Vetter, M.; Bopp, G.; Schwunk, S.; Zillgith, M.
»Operating Control Strategies for Autonomous Photovoltaic Systems and Hybrid PV Mini-Grids – Overview on Adjusted Solutions for Different Applications«, in: Proceedings, 17th International Photovoltaic Science and Engineering Conference (PVSEC), Fukuoka, Japan, 3.-7.12.2007

Vetter, M.; Schwunk, S.; Thomas R.; Pfanner, N.; Schreiber, F.; Wolf, M.¹

»Reliable Power Supply for Measurement Stations on the Basis of Hybrid PV Systems«, in: Proceedings, 22nd European Photovoltaic Solar Energy Conference (EUPVSEC), Milan, Italy, 3.-7.9.2007, pp. 3630-3636
(¹: Pairan Elektronik GmbH, Göttingen, Germany)

Voyer, C.; Biro, D.; Buettner, T.; Preu, R.
»Phosphorous Gettering and Mult-Crystalline Silicon Solar Cells Using In-Line Diffusion and Sprayed Phosphoric Acid as the Dopant Source«, in: Proceedings, 22nd European Photovoltaic Solar Energy Conference (EUPVSEC), Milan, Italy, 3.-7.9.2007, pp. 1613-1616

Voyer, C.; Biro, D.; Buettner, T.; Preu, R.
»Mechanisms Involved in the Formation of Phosphosilicate Glass by Dehydration of Sprayed Phosphoric Acid in an In-Line Diffusion Furnace«, in: Proceedings, 22nd European Photovoltaic Solar Energy Conference (EUPVSEC), Milan, Italy, 3.-7.9.2007, pp. 1630-1633

Weber, E. R.

»The Future is Just Overhead«, in: San Francisco Chronicle, 29.8.2007, p. B9

- Weber, E. R.
»Der Wettbewerb um die besten Köpfe«, in: Nachrichten aus der Chemie, Vol. 55 (2007), p. 719
- Weber, E. R.
»Climate Change and the Role of Photovoltaics in the Energy Mix, in: Tagungsband, Deutsche Physikalische Gesellschaft – Arbeitskreis Energie: »Weltklima und Zukünftige Energieoptionen«, DPG-Tagung 2007, Regensburg, Germany, p.129
- Weiß, K.-A.; Heck, M.; Köhl, M.
»Analyzing Mechanical Stresses Caused by Temperature Gradients Using Finite Elements Simulation«, in: Proceedings, 3rd European Weathering Symposium EWS, Krakow, Poland, 12.-14.9.2007
- Weiß, K.-A.; Köhl, M.; Wirth, J.
»Modelling and Simulation of Thermo Elastic Behaviour of Composite Materials of Photovoltaic Modules«, in: Proceedings, 22nd European Photovoltaic Solar Energy Conference (EUPVSEC), Milan, Italy, 3.-7.9.2007, pp. 2701-2703
- Went, J.
»Wasseraufbereitung – Desinfektion und Entsalzung«, in: Seminarband, Fachseminar Netzferne Stromversorgung mit Photovoltaik, OTTI Energie-Kolleg, Freiburg, Germany, 10./11.10.2007, pp. 293-412
- Wiegghaus, M.; Koschikowski, J.; Rommel, M.; Fath, H. E. S.¹; Elsherbiny, S.¹; Hassan, A.¹.
»PV and Thermally Driven Small-Scale, Stand-Alone Solar Desalination System«, Proceedings, IDA World Congress on Desalination and Water Reuse – Maspalomas, Gran Canaria, Spain, 21.-26.10.2007, CD-ROM
(¹: Mech. Eng. Dept., Alexandria Univ., Alexandria, Egypt)
- Wiemken, E.; Henning, H.-M.
»Solar Thermal Air-Conditioning in the Frame of the German Funding Programme Solarthermie 2000plus«, 3rd European Solar Thermal Energy Conference – estec 2007, Freiburg, Germany, 19./20.6.2007
- Wiemken, E.; Henning, H.-M.
»Status of Solar Air-Conditioning in the German Solarthermie 2000plus Programme«, in: Proceedings, 2nd International Conference Solar Air-Conditioning, Tarragona, Spain, 18./19.10.2007
- Wiemken, E.
»Solarthermische Klimatisierung – Effizienzsteigerung und Kostenreduktion«, in: Proceedings, 8. Forum Solarpraxis, Berlin, Germany, 22.-23.11.2007
- Wienold, J.
»Dynamic Simulation of Blind Control Strategies for Visual Comfort and Energy Balance Analysis«, in: Proceedings 10th International Building Performance Simulation, Association Conference and Exhibition 2007, Beijing, China, 3.-6.9.2007
- Wienold, J.
»Blendschutz und Tageslichtnutzung – Nutzerakzeptanz und Präferenzen«, in: Tagungsband OTTI Energie-Kolleg, 13. Symposium Licht + Architektur, Bad Staffelstein, Germany, 8./9.3.2007
- Wilson, H. R.
»Polarisationseffekte bei winkelabhängigen Messungen von Reflexion und Transmission«, in: Proceedings, COSP – Colloquium Optische Spektroskopie 2007, Berlin, Germany, 12./13.11.2007
- Wille-Haussmann, B.; Erge, T.; Wittwer, C.
»Decentralised Optimisation of Cogeneration in Virtual Power Plants«, in: Proceedings, CISBAT 2007 – Renewables in a changing climate. Innovation in the built environment, Lausanne, Switzerland, 4.-5.9.2007
- Wille-Haussmann, B.
»Optimised Management of distributed Generators in Low-Voltage Grids«, in: Proceedings, National Conference new and renewable Energy Sources – CNSNRE 2007, Bukarest, Romania, 1.-3.11.2007
- Wittwer, C.; Werner, R.; Zillgith, M.; Gout, J.
»Simulation und Evaluation von Betriebsführungssoftware für netzferne Hybrid-systeme«, in: Tagungsband, OTTI Energie-Kolleg, 22. Symposium Photovoltaische Solarenergie, Bad Staffelstein, Germany, 7.-9.3.2007, CD-ROM
- Würfel, P.¹; Trupke, T.²; Rüdiger, M.; Puzzer, T.; Schäffer, E.; Warta, W.; Glunz, S. W.
»Diffusion Lengths of Silicon Solar Cells from Luminescence Images«, in: Proceedings, 22nd European Photovoltaic Solar Energy Conference (EUPVSEC), Milan, Italy, 3.-7.9.2007, pp. 390-393
(¹: University of Karlsruhe, Karlsruhe, Germany)
(²: University of New South Wales, Sydney, Australia)

Bücher und Beiträge zu Büchern

Bett, A. W.; Dimroth, F.; Siefer, G.
»Multi-Junction Concentrator Solar Cells«,
Handbook of Concentrator Photovoltaics,
Luque, A.; Andreev, V. (ed.), Springer-Verlag,
pp. 67-87, Februar 2007,
ISBN 978-3-540-68796-2

Bett, A. W.; Lerchenmüller, H.
»The FLATCON System«, Chapter 14, in:
Handbook of Concentrator Photovoltaics,
Luque, A.; Andreev, V. (ed.), Springer-Verlag,
pp. 301-319, Februar 2007,
ISBN 978-3-540-68796-2

Henning, H.-M. (Ed.)
»Solar Assisted Air-Conditioning in Buildings –
A Handbook for Planners«, Second Revised
Edition, 2007 Springer-Verlag/ Wien,
ISBN 978-3-211-73095-9

Herkel, S.; Kuhn, T.; Nitz, P.
»Solar Control«, Chapter 3, in: Advances in
Passive Cooling, Santamouris (ed.), pp. 93-135,
ISBN 978-1-84407-263-7

Pfafferott, J.
»Ground Cooling: Recent Progress«, in:
Advances in Passive Cooling, Santamouris (ed.),
Chapter 5, Earthscan, 2007,
ISBN 978-1-84407-263-7

Rommel, M.; Koschikowski, J. ; Wieghaus, M.
»Solar Driven Desalination Systems Based on
Membrane Distillation« in: Solar Desalination
for the 21st Century – A Review of Modern
Technologies and Researches on Desalination
Coupled to Renewable Energies, Rizzuti, L.;
Ettouney, H.M.; Cipollina, A. (ed.),
pp. 247-257,
ISBN 978-1-4020-5507-2

Russ, C.; Wilson, H. R.; De Boer, J.¹; Georg, A.;
Kuhn, T.; Lindauer, E.¹; Nitz, P.;
Sinnesbichler, H.¹; Wienold, J.
»Sonnenschutz – Schutz vor Überwärmung und
Blendung«, Fraunhofer Solar Building
Innovation Center SOBIC, Fraunhofer IRB
Verlag, pp. 83, 2008,
ISBN 978-3-8167-7413-6
(¹: Fraunhofer-Institut für Bauphysik (IBP),
Stuttgart, Germany)

Forschung für die Praxis ist die zentrale Aufgabe der Fraunhofer-Gesellschaft. Die 1949 gegründete Forschungsorganisation betreibt anwendungsorientierte Forschung für die Wirtschaft und zum Vorteil der Gesellschaft. Vertragspartner und Auftraggeber sind Industrie- und Dienstleistungsunternehmen sowie die öffentliche Hand. Im Auftrag von Ministerien und Behörden des Bundes und der Länder werden zukunftsrelevante Forschungsprojekte durchgeführt, die zu Innovationen im öffentlichen Nachfragebereich und in der Wirtschaft beitragen.

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 Weiterentwicklung, verbessern die Akzeptanz moderner Technik und sorgen auch für Information 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, in anderen Bereichen der Wissenschaft, in Wirtschaft und Gesellschaft. Studentinnen und Studenten an Fraunhofer-Instituten eröffnen sich wegen der praxisnahen Ausbildung und Erfahrung hervorragende Einstiegs- und Entwicklungschancen in Unternehmen.

Die Fraunhofer-Gesellschaft betreibt derzeit mehr als 80 Forschungseinrichtungen, davon 56 Institute, an 40 Standorten in ganz Deutschland. 13 000 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, überwiegend mit natur- oder ingenieurwissenschaftlicher Ausbildung, bearbeiten das jährliche Forschungsvolumen von 1,3 Milliarden Euro. Davon fallen mehr als 1 Milliarde 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.

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

Rosemarie Becker
Sabine Nebelung
Karin Schneider (Leitung)
Presse und Public Relations

Externe Fotografen

Wilhelm Breuer, Geilenkirchen
Michael Eckmann, Freiburg
Sebastian Ehret, Freiburg
Sigrid Gombert, Freiburg
Eisenhart Keimeyer, Freiburg
Guido Kirsch, Freiburg
Jens Meier, Bremen
Joscha Rammelberg, Freiburg
Claudia Seitz, Sankt Märgen

Gestaltung und Druck

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
www.ise.fraunhofer.de

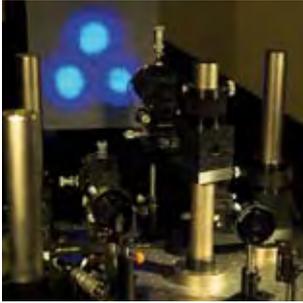
Bestellung von Publikationen

Bitte per E-Mail oder per Fax.

Bei Abdruck ist die Einwilligung der
Redaktion erforderlich.

©Fraunhofer-Institut für
Solare Energiesysteme ISE
Freiburg, 2008

Neben diesem Jahresbericht finden Sie
eine Fülle weiterer Informationen
unter www.ise.fraunhofer.de



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

