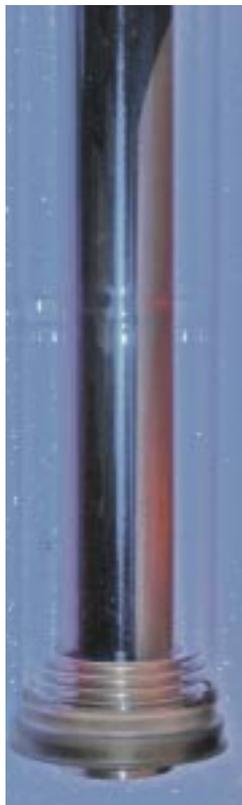




Fraunhofer Institut
Solare Energiesysteme

Jahresbericht 2005

Leistungen und Ergebnisse



links

Das Absorber-Rohr ist das Herzstück eines solarthermischen Parabolrinnen-Kraftwerks, in dem die Wärmeenergie der Sonne zur Stromerzeugung genutzt wird. Die gemeinsame Entwicklung mit der SCHOTT-Rohr Glas GmbH findet ihren ersten Einsatz in einem 64 MW Kraftwerk in Nevada, USA, das 2007 ans Netz gehen wird. Das Fraunhofer ISE verfügt über langjähriges Know-how in der Entwicklung von selektiven Absorberschichten. Zum Thema solarthermische Kraftwerke s. auch Beitrag S. 81.

Mitte

Mikro-Brennstoffzellen stellen eine Option für die Energieversorgung von mobilen elektronischen Geräten dar. Die hier gezeigte planare Brennstoffzelle ermöglicht aufgrund ihrer Form eine gute Gehäuseintegration. Zudem erlaubt sie eine rein diffuse Versorgung der Brennstoffzelle mit dem für den Betrieb notwendigen Luftsauerstoff. Das Fraunhofer ISE entwickelt sowohl wasserstoff- als auch methanolversorgte Brennstoffzellensysteme (Beitrag S. 86).

rechts

Das Prinzip der FLATCON®-Technologie: 4x4 cm² große Fresnel-Linsen lenken die Solarstrahlung 500-fach konzentriert auf hocheffiziente Stapelsolarzellen. Derzeit werden am Fraunhofer ISE bei Konzentratoren-Solarzellen aus III-V-Halbleitern 35% Wirkungsgrad erzielt. Die Technologie eignet sich für die Erstellung von Kraftwerkseinheiten von 100 kW bis mehreren MW in sonnenreichen Regionen. Mit dem Ziel der Vermarktung der FLATCON®-Technologie wurde im März 2005 als jüngste Ausgründung aus dem Fraunhofer ISE die Firma Concentrix Solar GmbH ins Leben gerufen (Beiträge S. 52 und S. 80).

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 Systeme, Komponenten, Materialien 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	4		
Organisationsstruktur	6		
Das Institut im Profil	8		
Das Institut in Zahlen	9		
Höhepunkte des Jahres 2005	10		
Kuratorium	12		
Gebäude und technische Gebäudeausrüstung	14	Solarzellen	40
- Neue Technologien in Bauprojekten optimieren Energieverbrauch und Komfort	18	- Dielektrische Schichten zur Rückseiten-Passivierung hocheffizienter Solarzellen	44
- Schaltung optischer Eigenschaften durch Färbung von Flüssigkeiten in Verglasungen	19	- Hocheffiziente Silicium-Konzentratorsolarzellen mit angepasstem optischen Konzentratorelement	45
- Faktor 4 für Wohngebäude: Sustainable Solar Housing	20	- Fertigungstechnologien für kristalline Siliciumsolarzellen	46
- Bauteilkühlung verbessert die thermische Behaglichkeit in Bürogebäuden	21	- Verhalten von Rekombinationszentren im Solarzellenprozess	48
- Messungen zur Adsorptionskinetik von Wasserdampf an Adsorbentien	22	- Massenfertigungstaugliche Kathodenzerstäubung für Solarzellen-Beschichtung	49
- Solarthermie 2000plus: Begleitforschung im Bereich Solare Klimatisierung	22	- Defektarmes Mikrostrukturieren von kristallinem Silicium	50
- Phasenwechselmaterialien in Wärmeträgerfluiden und Bauteilen	23	- Haftstelleneinfluss bei Messungen der Lebensdauer von Minoritätsladungsträgern in kristallinem Silicium	51
- Wärmepumpen für energieeffiziente Wohngebäude	24	- Die FLATCON®-Konzentratorstechnologie auf dem Weg in den Markt	52
- Mit Holzpellets betriebener Stirlingmotor zur Wärme- und Stromversorgung	25	- Rekristallisierte Waferäquivalente – Ressourcen schonende Photovoltaik	54
- <i>FracTherm</i> – Entwicklung eines Solarabsorbers nach bionischem Ansatz	26	- GaSb-Module für thermo-photovoltaische Anwendungen	55
- Untersuchungen zum Stillstandsverhalten von thermischen Solaranlagen	27	- Organische Solarzellen	56
- Gebrauchsdauermanalyse von PV-Modulen und Fassadenkomponenten	28	- Zuverlässigkeit von PV-Modulen	57
Optische Komponenten und Systeme	30	Netzunabhängige Stromversorgungen	58
- Herstellung von refraktiv-diffraktiven Mikrostrukturen	34	- Monitoring von Dorfstromversorgungsanlagen in China	62
- Bewertung und Qualitätssicherung für die Optik von Photovoltaik-Konzentratorsystemen	37	- Charakterisierung und Qualifizierung von Solar Home Systemen	63
- Organisches, opto-elektronisches Bauelement mit interdigitalen Nanoelektroden	38	- Optimiertes Batteriemanagementsystem für autonome Stromversorgungssysteme	64
- Durchstimmbare organische Laser auf der Basis Photonischer Kristalle (PK-Laser)	39	- Parallel schaltbarer Inselwechselrichter für Anlagen kleiner und mittlerer Leistung	66
		- Meerwasserentsalzung mit Prozesswärme aus thermischen Solarkollektoren	68
		- Ultraschall zur Membran-Reinigung in dezentralen Wasseraufbereitungsanlagen	69

Fakten im Überblick

Regenerative Stromerzeugung im Netzverbund	70	Gastwissenschaftler	106
- Optimierung der Leistungsmessung von Siliciumsolarmodulen	74	Mitarbeit in Gremien	106
- Betriebsführung von Niederspannungsnetzen mit dezentraler Stromspeisung	75	Kongresse, Tagungen und Seminare	107
- Last- und Netzmanagement mit ökonomischen Anreizstrukturen	76	Vorlesungen und Seminare	108
- Betriebsführungskonzepte für stromgeführte Blockheizkraftwerks-Anlagen	78	Messebeteiligungen	108
- Neuartige Simulationsumgebung für das Design verteilter Erzeugungsstrukturen	79	Patente	109
- Concentrix Solar GmbH – jüngste Ausgründung aus dem Fraunhofer ISE	80	Habilitation/Promotionen	110
- Solarthermische Kraftwerke – Strategieberatung für die Weltbank	81	Pressearbeit	110
Wasserstofftechnologie	82	Unternehmensgründungen	110
- Stromversorgung auf Basis planarer serienverschalteter Brennstoffzellen	86	Vorträge	111
- Reversible Brennstoffzellensysteme	88	Veröffentlichungen	117
- Optimale Betriebsführung von Brennstoffzellensystemen	89	Impressum	128
- Langzeituntersuchungen zur Degradation von PEM-Brennstoffzellen	90		
- Miniatur-Elektrolyseur für die Befüllung von Metallhydridspeichern	91		
- Mikroreformer für PEM-Brennstoffzellen mit einer Leistung bis 300 W	92		
- Kerosinreformer für Brennstoffzellen-Anwendung in Flugzeugen	93		
Servicebereiche	94		
- ISE Callab: Kalibrieren von Solarzellen und Modulen	98		
- Testzentrum für Photovoltaik (TZPV)	99		
- Charakterisierung und Qualifizierung von elektrischen Komponenten	100		
- Prüfzentrum für Thermische Solaranlagen (PZTS)	101		
- Messen und Prüfen von Lüftungsgeräten	102		
- Vermessung von Fassaden und transparenten Bauteilen	103		
- Fraunhofer Solar Building Innovation Center SOBIC	104		

Forschung, Technologieentwicklung und industrielle Aktivitäten im Bereich der technischen Nutzung der Sonnenenergie entwickeln sich seit einigen Jahren rasant. Das Fraunhofer ISE konnte daher auch 2005 um etwa 10 Prozent wachsen. Eine natürliche Folge unseres kontinuierlichen Wachstums ist es, dass wir unsere Strukturen permanent optimieren müssen. In diesem Zusammenhang haben wir 2005 die bisher größte Abteilung des Fraunhofer ISE, die Abteilung »Thermische und Optische Systeme« (TOS) in zwei Einheiten aufgeteilt: Die Abteilungen »Thermische Anlagen und Gebäudetechnik«, Leitung Dr. Hans-Martin Henning sowie »Materialforschung und Angewandte Optik«, Leitung Priv. Doz. Andreas Gombert. Auf diese Weise haben wir im Fraunhofer ISE zwei neue, fachlich gut fokussierte und von der Größe her überschaubare Abteilungen geschaffen.

Herr Priv. Doz. Volker Wittwer, bisheriger Leiter der Abteilung TOS und gleichzeitig stellvertretender Institutsleiter, hat wesentlich stärker als in der Vergangenheit Aufgaben in der Institutsleitung übernommen. Insbesondere sind dies die Strategieplanung und der gesamte Patentbereich des Fraunhofer ISE.

Im Zusammenhang mit dieser Umstrukturierung haben wir für unser Institut ein 6. Geschäftsfeld definiert: »Optische Komponenten und Systeme«. Hier wollen wir die neueren Bereiche »Lichttechnik« (Sonnen- und Blendschutz, Leuchtenentwicklung), »Solare Kraftwerke« (hoch konzentrierende Optiken für photovoltaische und thermische Kraftwerke) und »Displaytechnik« (Verbesserung von Kontrast, Auflösung und Systemeffizienz) zielgerichtet ansprechen und weiterentwickeln. Aus den angegebenen Beispielen wird klar, dass wir unsere Expertise im Bereich der solaren Energiekonversion auch anderen Technologiefeldern verstärkt zugänglich machen werden.

Auf dem Gebiet der photovoltaischen Energiekonversion verlief die Entwicklung am Fraunhofer ISE 2005 besonders stürmisch: Anfang des Jahres gründeten wir in Freiberg, Sachsen, zusammen mit dem Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen und Bauelementetechnologie

IISB das »Technologiezentrum Halbleitermaterialien Freiberg THM«, ebenfalls im Frühjahr erfolgte die Gründung der Firma Concentrix Solar GmbH. Der Aufbau des »Photovoltaik Technologie Evaluationscenter PV-TEC« verlangte das ganze Jahr hindurch höchste Anstrengungen. Herrn Priv. Doz. Willeke und seinem Team gilt meine höchste Anerkennung für das Geleistete.

- ♦ Die Gründung des THM erfolgte auf Anregung der in Freiberg ansässigen einschlägigen Industrie. IISB und ISE sehen in einer engen Kooperation ein beträchtliches Synergiepotenzial und die Möglichkeit, ihre bisherigen F&E-Felder strategisch zu erweitern. Schwerpunkte der F&E-Arbeiten werden zunächst die Silicium-Materialforschung und die zugehörige Materialbearbeitung sein. Herrn Prof. Schindler möchte ich an dieser Stelle für seine Verdienste um den Aufbau des THM besonders danken.

- ♦ Die Firma Concentrix Solar wird unsere hocheffizienten Photovoltaik-Konverter mit optischer Konzentration und GaAs-Solarzellen in den Markt bringen. Zielmärkte sind zunächst Kraftwerke im 100 kW bis 10 MW Bereich für Regionen mit einem hohen Anteil an direkter solarer Einstrahlung. Herr Hansjörg Lerchenmüller hat mit höchstem Elan und Professionalität die Geschäftsleitung unserer neuesten Ausgründung übernommen.

- ♦ PV-TEC wurde durch eine beträchtliche finanzielle Unterstützung (11,7 Mio €) des Bundesministeriums für Umwelt möglich. Wir haben im Berichtsjahr eine komplette, sehr flexible Silicium-Wafer-Solarzellenlinie für die Technologieentwicklung (Optimierung von Prozessen, Materialien und Anlagen) realisiert. PV-TEC wird im März 2006 in Anwesenheit von Bundesminister Gabriel eingeweiht. Herrn Dr. Ralf Preu und Herrn Dr. Daniel Biro und ihrer Mannschaft gilt mein besonderer Dank für das in extrem kurzer Zeit perfekt Realisierte.

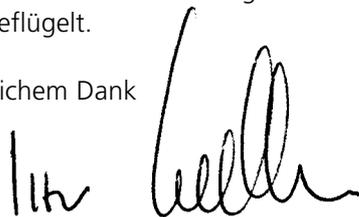
Weitere ausgewählte F&E-Höhepunkte des Jahres 2005 finden Sie auf Seite 10 dieses Berichts. Besonders hervorheben möchte ich aber noch den Bereich der »Mikroenergietechnik«. Dieses Gebiet, das kleine Brennstoffzellen, geräteintegrierte Solarzellen oder thermoelektrische Energiewandler mit geeigneten Speicher-

technologien und einem optimierten Energiemanagement verknüpft, wurde als eine von zwölf »Perspektiven für Zukunftsmärkte« von der Fraunhofer-Gesellschaft hervorgehoben. Herr Dr. Christopher Hebling koordiniert dieses Fraunhofer-Innovationsthema an unserem Institut und mit meiner Unterstützung in der gesamten Fraunhofer-Gesellschaft.

Über zwei Ereignisse im personellen Bereich soll an dieser Stelle besonders berichtet werden: Herr Andreas Gombert konnte seine Habilitation an der »Fakultät für Angewandte Wissenschaften« im Frühjahr 2005 abschließen. Herzlichen Glückwunsch nochmals im Namen des gesamten ISE. Zusammen mit Herrn Wittwer und mir haben nun drei Wissenschaftler eine formale Anbindung an eine Fakultät der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg. Herr Dr. Tim Meyer, bisheriger Leiter unserer Abteilung »Elektrische Energiesysteme«, hat unser Institut im Oktober leider verlassen, um in der Industrie eine sehr verantwortungsvolle Aufgabe zu übernehmen. Für eine Übergangszeit hat Herr Wittwer die Abteilungsleitung dankenswerterweise übernommen. Herrn Meyer möchte ich auch an dieser Stelle im Namen des gesamten Instituts für seine hervorragende langjährige Arbeit am ISE von Herzen danken.

Wie jedes Jahr möchte ich an dieser Stelle allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern unseres Instituts für das Geleistete nachdrücklich danken. Mein Dank gilt ebenso unseren Kuratoren sowie unseren Auftraggebern aus der Wirtschaft, den Ministerien und der Europäischen Union. Dieser Jahresbericht des Fraunhofer ISE ist der letzte, der unter meiner Institutsleitung entsteht. Es war mir stets eine große Freude und Genugtuung, zusammen mit Ihnen allen für eine nachhaltige Energieversorgung und eine zukunftsfähige Technologie-Entwicklung zu arbeiten. Ihr Vertrauen und Ihre hoch motivierte und kreative Arbeit an den gemeinsamen Zielen habe ich nicht nur uneingeschränkt bewundert, beides hat mich auch stets begeistert und immer wieder beflügelt.

Mit herzlichem Dank



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

Die fünf 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.

Institutsleitung	Prof. Joachim Luther	
Stellvertretende Institutsleitung	Priv. Doz. Dr. Volker Wittwer	
Abteilungen	Elektrische Energiesysteme Dr. Tim Meyer (bis 30.10.2005) (ab 1.11.2005) Priv. Doz. Dr. Volker Wittwer	+49 (0) 7 61/45 88-51 40
	Energietechnik Dr. Christopher Hebling	+49 (0) 7 61/45 88-51 95
	Materialforschung und Angewandte Optik (ab 1.4.2005) Priv. Doz. Dr. Andreas Gombert	+49 (0) 7 61/45 88-59 83
	Solarzellen – Werkstoffe und Technologie Priv. Doz. Dr. Gerhard Willeke	+49 (0) 7 61/45 88-52 66
	Thermische Anlagen und Gebäudetechnik (ab 1.4.2005) Dr. Hans-Martin Henning	+49 (0) 7 61/45 88-51 34
	Kaufmännische und Technische Dienste	Dipl.-Kaufm. Wolfgang Wissler
Presse und Public Relations	Karin Schneider M.A.	+49 (0) 7 61/45 88-51 47
Strategieplanung	Thomas Schlegl	+49 (0) 7 61/45 88-54 73





Die Bilder zeigen den Institutsleiter und den stellvertretenden Institutsleiter des Fraunhofer ISE sowie die Leiter der wissenschaftlichen Abteilungen und den Kaufmännischen Leiter.

Joachim Luther, Volker Wittwer
Christopher Hebling, Hans-Martin Henning, Andreas Gombert
Gerhard Willeke, Tim Meyer (bis 30.10.2005), Wolfgang Wissler

Kurzportrait

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. 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.

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.

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.

Vernetzung des Fraunhofer ISE innerhalb der Fraunhofer-Gesellschaft

Fachlich verwandte Fraunhofer-Institute oder Abteilungen von Instituten arbeiten in Verbänden oder Allianzen zusammen und treten gemeinsam am F&E-Markt auf.

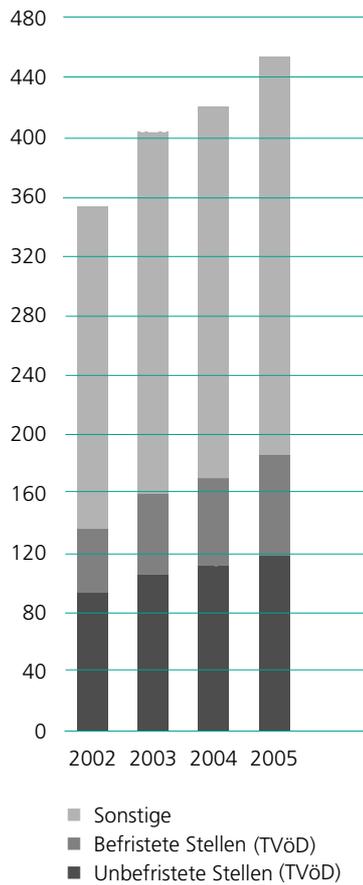
Die Mitgliedschaften des Fraunhofer ISE

- Mitglied im Institutsverbund »Werkstoffe, Bauteile« (Materialforschung)
- Gastmitglied im Institutsverbund »Oberflächentechnik und Photonik«
- Mitglied im Themenverbund »Energie«
- Mitglied im Themenverbund »Nanotechnologie«
- Mitglied der Allianz »Optisch funktionale Oberflächen«

Internationale Kunden, Auftraggeber und Kooperationspartner

Das Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE arbeitet seit Jahren mit internationalen Kooperationspartnern und Auftraggebern vieler Branchen und Unternehmensgrößen erfolgreich zusammen. Eine Auflistung unserer Partner finden Sie unter www.ise.fraunhofer.de/german/profile/index.html

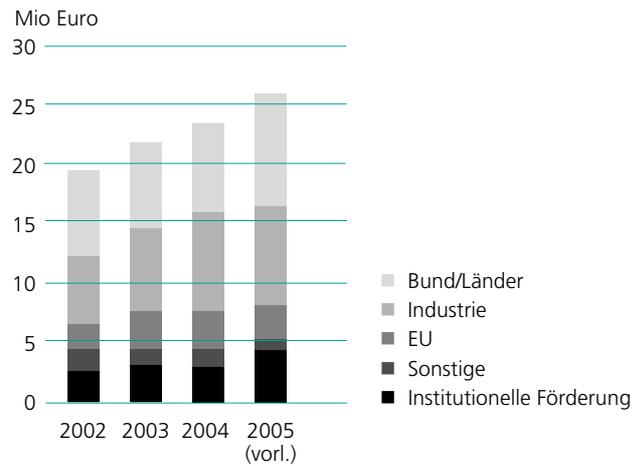
Personal



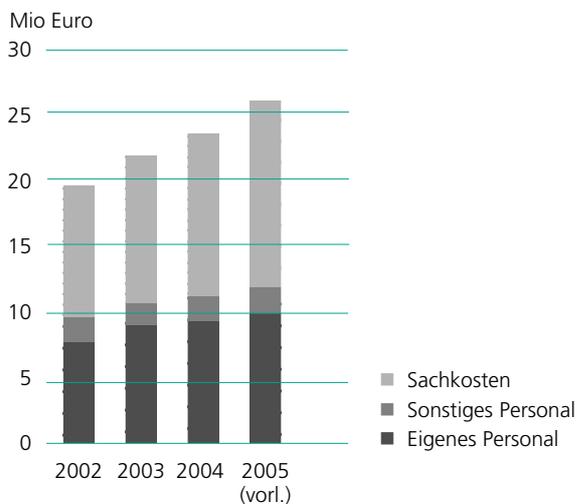
Eine wichtige Stütze des Instituts bilden die »sonstigen« Mitarbeiter, welche die Arbeit in den Forschungsprojekten unterstützen und so wesentlich zu den erzielten wissenschaftlichen Ergebnissen beitragen. Im Dezember 2005 waren dies 55 Doktoranden, 52 Diplomanden, 29 Praktikanten, 5 Auszubildende sowie 127 wissenschaftliche Hilfskräfte. Das Fraunhofer ISE leistet auf diese Weise einen wichtigen Beitrag zur Ausbildung.

Finanzen

Erträge



Kosten



Zusätzlich zu den in der Grafik angegebenen Ausgaben tätigte das Institut im Jahr 2005 Investitionen in Höhe von 4,5 Mio Euro (dazu kommen 10,7 Mio Euro Investitionsmittel aus dem BMU-Projekt PV-TEC).

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

- Silicium-Wafer-Solarzelle mit einem Wirkungsgrad von 20,2% auf der Basis einer Siliciumkarbid-Passivierungsschicht und Laser-Fired Contacts realisiert
- Monokristalline Silicium-Wafer-Solarzelle (CZ) mit einer Fläche von 12,5x12,5 cm² erreicht mit Industrieprozess unter Verwendung einer Hot-Melt-Siebdruckpaste und bei einem Füllfaktor von 80% einen Wirkungsgrad von 18%
- Kristalline Silicium-Solarzelle (4 cm²) mit a-Si Rückseitenpassivierung und Laser-Fired Contacts erreicht einen Wirkungsgrad von 21,3%
- Kristalline Si-Rückseitenkontakt-Solarzellen mit Sekundärkonzentrator erreichen einen Gesamtwirkungsgrad von 21%
- Erstmals wurden am Fraunhofer ISE Silicium-Wafer mit einem Sägeverlust von nur 170 µm mit einer industriellen Vierspalt-Drahtsäge hergestellt
- Epitaktische Silicium-Schichten aus der kontinuierlichen CVD-Anlage (Chemical Vapor Deposition) des Fraunhofer ISE liefern Solarzellen mit 12,5% Wirkungsgrad auf einer Fläche von 21 cm²
- Modul aus sechs Solarzellen auf rekristallisiertem Waferäquivalent à 92x92 mm² erzielt Leerlaufspannung von 3,2 V
- Tripel-Solarzelle aus GaInP/GaInAs/Ge erreicht bei 600-facher Sonnenbestrahlung einen Wirkungsgrad von 35,2%
- Die Firma Concentrix Solar GmbH wurde aus dem Fraunhofer ISE heraus gegründet
- Das erste FLATCON®-basierende PV-Konzentratorsystem (1 kW) speist Strom in das öffentliche Netz ein
- Invertierter Aufbau einer organischen Solarzelle mit 3% Wirkungsgrad stellt wesentlichen Schritt zur produzierbaren durchkontaktierten (wrap through) Solarzelle im Rolle-zu-Rolle Verfahren dar
- Vakuumdichte Glaslotversiegelungsmethode für Farbstoffsolarzellen auf einer Fläche von 60x100 cm² erfolgreich entwickelt
- Optimiertes Betriebsführungssystem für Niederspannungsnetz mit verteilten Erzeugern entwickelt
- 3-phasiger, transformatorloser Wechselrichter für den Kleinleistungsbereich (5 kW) mit hohem Wirkungsgrad entwickelt
- Hochpräzise Leistungsmessung von Si-PV-Modulen (2x2 m²) genauer als ± 2,5% realisiert
- Außentaugliches Brennstoffzellensystem (30 W, incl. Leistungselektronik und elektronischem Regelsystem) 1 000 Stunden an einer dynamischen Last in einem Temperaturbereich von -20 °C und +40 °C betrieben
- Vollautomatischer Kerosinreformer zur Versorgung einer SOFC-Brennstoffzelle im Kleinleistungsbereich (500 W bis 1,0 kW) realisiert und im Dauertest 300 Stunden betrieben
- Produktionstaugliches Konzept einer planaren Direktmethanolbrennstoffzelle entwickelt. Diese nutzt eine rein diffusive Luftversorgung sowie mikrofluidisch optimierte Kohlendioxid-Entgasung.
- Verfahren zur rußfreien Katalytischen Partiellen Oxidation von Diesel entwickelt
- Aktive Phasenstabilisierung der Interferenzlithographie erlaubt jetzt tiefere Strukturen für ein breiteres Anwendungsspektrum mikrostrukturierter Oberflächen
- Wärmeübertragung zwischen anorganischen Sorbienten und metallischen Wärmetransportsystemen konnte durch neue Beschichtungstechnik signifikant gesteigert werden (Anwendung: Wärmespeicher und Wärmetransformatoren)
- Algorithmus zur Optimierung biomimetischer Strukturen in hydraulischen Netzen, speziell Solarkollektoren, entwickelt
- Standardmessverfahren für Dampfproduktionsleistungen von thermischen Kollektoren im Stillstandsfall entwickelt

Preise

Institutsleiter Prof. Joachim Luther erhielt 2005 mehrere bedeutende nationale und internationale Auszeichnungen

Umweltpreis 2005 der Deutschen Bundesstiftung Umwelt

Für seine Leistungen bei der Erforschung und Markteinführung solarer Energiesysteme zeichnete die Deutsche Bundesstiftung Umwelt Prof. Joachim Luther als Leiter des Fraunhofer ISE mit dem Umweltpreis 2005 aus. Dieser höchst dotierte Umweltpreis Europas ging jeweils zur Hälfte an Prof. Luther und den Wissenschaftler Prof. Dr. Berndt Heydemann. Der Preis wurde von Bundespräsident Horst Köhler in Lübeck überreicht.

»Wenn Deutschland heute weltweit eine der führenden Nationen in der Nutzung der Sonnenenergie ist, dann ist das seinem Wirken entscheidend zuzuschreiben«, würdigte der Generalsekretär der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU), Dr. Fritz Brickwedde, das Schaffen des Solarexperten.

Becquerel-Preis

Anlässlich der 20sten »European Photovoltaic Solar Energy Conference« in Barcelona verlieh die EU-Kommission Prof. Joachim Luther die höchste Auszeichnung der EU im Bereich der Solarenergie, den Becquerel-Preis. Benannt ist der Preis nach dem französischen Wissenschaftler Edmond Becquerel, der 1839 den Photovoltaischen Effekt entdeckte.

ISES Special Service Award

In Anerkennung seiner herausragenden Verdienste um die Solarenergie ehrte die International Solar Energy Society (ISES) Prof. Luther mit dem »ISES Special Service Award«. Der Preis wurde ihm auf dem diesjährigen ISES Solar World Congress in Orlando, Florida verliehen.



Prof. Luther bei der Preisverleihung des Deutschen Umweltpreises am 16. Oktober 2005 in Lübeck.
Foto: DBU Deutsche Bundesstiftung Umwelt

16. Internationaler Rheinland-Preis für Umweltschutz

Als »einen Wissenschaftler, der in den vergangenen Jahren Grundlegendes erarbeitete, um der Solarenergie zu einem wirtschaftlichen Durchbruch zu verhelfen« würdigte der Vorstandsvorsitzende der TÜV Rheinland Group, Prof. Bruno O. Braun den diesjährigen Preisträger des 16. Internationalen Rheinland-Preises für Umweltschutz, Joachim Luther. Mit seiner auf Anwendungsfragen fokussierten Arbeit habe Prof. Luther auf diesem Gebiet einen wichtigen Beitrag zum technologischen Vorsprung Deutschlands geleistet.

Der VDI Hamburg und Schleswig-Holstein verlieh **Jan Schöne** für seine Diplomarbeit: »GaInP/GaInAs/Ge-Heterostrukturen für Tripel-solarzellen: Mikrostrukturuntersuchungen mittels Transmissionselektronenmikroskopie und hochauflösender Röntgenbeugung« den »Prof. Dr. Werner Petersen-Preis für hervorragende Diplomarbeiten«.

Das Kuratorium begutachtet die Forschungsprojekte und berät die Institutsleitung und den Vorstand der Fraunhofer-Gesellschaft bezüglich des Arbeitsprogramms des Fraunhofer ISE.
Stand: 7.10.2005

Vorsitzender

Prof. Peter Woditsch
Deutsche Solar AG, Freiberg

Stellvertretender Vorsitzender

Dipl.-Ing. Helmut Jäger
Solvis Energiesysteme GmbH & Co. KG,
Braunschweig

Mitglieder

Dr. Hubert Aulich
PV Silicon AG, Erfurt

Dipl.-Phys. Jürgen Berger
VDI/VDE Technologiezentrum
Informationstechnik GmbH, Teltow

Dipl.-Ing. Heinz Bergmann
RWE Fuel Cells GmbH, Essen

Dr. Robert Brunner
Carl Zeiss Jena GmbH, Jena

Dr. Gerd Eisenbeiß
Forschungszentrum Jülich GmbH, Jülich

Dr. Frank Güntert
Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg,
Stuttgart

Dr. Peter Hertel
W.L. Gore & Associates GmbH,
Putzbrunn/München

Prof. Thomas Herzog
Technische Universität München, München

Dr. Winfried Hoffmann
RWE SCHOTT Solar GmbH, Alzenau

Dr. Holger Jürgensen
Aixtron AG, Aachen

Dr. Franz Karg
Shell Solar GmbH, München

Prof. Werner Kleinkauf
Gesamthochschule Kassel, Kassel

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 Oberflächentechnik GmbH,
Hohenstein-Ernstthal

Ministerialrat Hanno Schnarrenberger
Ministerium für Wissenschaft, Forschung
und Kunst Baden-Württemberg, Stuttgart

Dr. Thomas Schott
Zentrum für Sonnenenergie- und
Wasserstoff-Forschung ZSW, Stuttgart

Prof. Paul Siffert
Laboratoire de Physique et Applications
des Semiconducteurs CNRS, Straßburg

Dipl.-Volkswirt Christof Stein
Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz
und Reaktorsicherheit (BMU), Berlin

Gerhard Warnke
MAICO Ventilatoren, Villingen-Schwenningen

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 geplante 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 das Bauen im Bestand, für gewerbliche Bauwerke ebenso wie für das Einfamilienhaus. Gleichzeitig bieten nachhaltige Gebäude mehr Nutzungskomfort: viel natürliches Licht ohne Blendung, angenehme Temperaturen das ganze Jahr hindurch und frische Luft ohne Zugscheinungen.

Wie wichtig das Thema Energieeffizienz in Gebäuden ist, zeigt folgende Zahl: Wir verbrauchen heute für den Betrieb von Gebäuden über 40 Prozent der deutschen Endenergie. Damit wird

geheizt, gekühlt, gelüftet, beleuchtet und vieles mehr. Rationelle Energienutzung reduziert den Energieeinsatz für diese Dienstleistungen und verbessert dabei oft den Nutzungskomfort. In jedem Fall 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 ganz neue Lösungen gesucht werden oder besonders hohe Anforderungen zu erfüllen sind. So entwickeln wir Ideen, 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 dabei von der Grundlagenentwicklung bis zur Markteinführung von Materialien, Komponenten und Systemen. Für diese Aufgaben arbeiten viele Disziplinen zusammen – von der Materialforschung und Schichtentwicklung bis zur Komponenten- und Systementwicklung einschließlich der erforderlichen Tests. Bei der Umsetzung von Bauprojekten bieten wir die Planung, Beratung und Konzeptentwicklung zu allen Fragen im Bereich Energie und Nutzerkomfort ebenso an wie die Implementierung neuer Verfahren zur energieeffizienten Betriebsführung und Regelung. Darüber hinaus begleiten wir ausgeführte Projekte mit wissenschaftlichem Monitoring.

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 Versorgungstechniken nehmen Wärmepumpen für Gebäude mit niedrigem Energieverbrauch sowie Systeme der Kraft-Wärme-Kopplung – und im weiteren auch der Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung – sowie der Einsatz der

Solarenergie einen zunehmenden Stellenwert ein. Neben der solaren Brauchwassererwärmung und der Heizungsunterstützung mit Solarenergie stellen die Integration von Photovoltaik in Gebäuden 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.

Mit umfassender Messtechnik charakterisieren wir Materialien und Systeme. In Monitoring-Projekten werten wir die Betriebserfahrungen an ausgewählten Gebäuden aus und verbessern so unsere und unserer Kunden Konzepte. Nationale Demonstrationsprogramme begleiten wir mit umfangreichen Analysen.

Im Team mit Architekten, Fachplanern und der Industrie planen wir Gebäude von heute und entwickeln 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 durch unsere Mitarbeit in Projekten der Internationalen Energieagentur IEA mit.

Eine wachsende Bedeutung kommt der Langzeitbeständigkeit neuer Materialien und Komponenten zu. Deshalb haben wir diese Thematik zu einem neuen Schwerpunkt ausgebaut und bieten Dienstleistungen an, die neben der messtechnischen Charakterisierung auch die modellbasierte Prognose des Alterungsprozesses umfassen.

Unsere Apparaturen und Messverfahren umfassen ein weites Spektrum zur Untersuchung und Entwicklung von Materialien, Komponenten und Systemen für Gebäude und die technische Gebäudeausrüstung.



Biomimetischer Ansatz optimiert Energieeffizienz von Absorbern für Solarkollektoren. Konventionelle Solarabsorber weisen in der Regel eine serielle oder parallele Kanalanordnung auf (Mäander- bzw. Harfenabsorber). Natürliche Kanalstrukturen hingegen – beispielsweise bei Blättern oder Blutgefäßen – bestehen oft aus mehrfach verzweigten Netzwerken. Diese Strukturen optimieren die Durchströmung und mindern die Druckverluste. Im Rahmen einer Doktorarbeit haben wir dieses Prinzip auf die Technik übertragen. Die Ergebnisse dienen der Entwicklung energieeffizienter Absorber (Beitrag S. 26).

Ansprechpartner

Gebäudekonzepte und Simulation	Dipl.-Ing. Sebastian Herkel	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-51 17 E-Mail: Sebastian.Herkel@ise.fraunhofer.de
Solare Fassaden und Gebrauchsdaueranalysen	Dipl.-Phys. Tilmann Kuhn	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-52 97 E-Mail: Tilmann.Kuhn@ise.fraunhofer.de
	Dipl.-Phys. Michael Köhl	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-51 24 E-Mail: Michael.Koehl@ise.fraunhofer.de
Lichttechnik	Dipl.-Ing. Jan Wienold	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-51 33 E-Mail: Jan.Wienold@ise.fraunhofer.de
	Dr. Werner Platzer	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-51 31 E-Mail: Werner.Platzer@ise.fraunhofer.de
Heizungs-, Lüftungs- und Klimatechnik	Dr. Andreas Bühring	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-52 88 E-Mail: Andreas.Buehring@ise.fraunhofer.de
	Dr. Hans-Martin Henning	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-51 34 E-Mail: Hans-Martin.Henning@ise.fraunhofer.de
Sorptive und Phasenwechsel- Materialien	Dipl.-Phys. Peter Schossig	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-51 30 E-Mail: Peter.Schossig@ise.fraunhofer.de
Thermische Solaranlagen	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	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-51 17 E-Mail: Sebastian.Herkel@ise.fraunhofer.de
	Dipl.-Ing. Klaus Kiefer	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
Wasserstofftechnologie	Dr. Christopher Hebling	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-51 95 E-Mail: Christopher.Hebling@ise.fraunhofer.de

Neue Technologien in Bauprojekten optimieren Energieverbrauch und Komfort

Ein hoher thermischer, visueller und akustischer Komfort ist bei der Gebäudeplanung ebenso ein zentrales Ziel wie die Vermeidung oder Reduzierung des Kühlenergiebedarfs. Neue Bewertungsverfahren für Sonnen- und Blendschutzeinrichtungen sowie validierte Gebäudesimulationsprogramme finden dabei Eingang in die Planungspraxis. Wir setzen unsere Forschungsergebnisse in Bauvorhaben um und zeigen, dass Wirtschaftlichkeit, Energieeinsparung und Behaglichkeit kein Widerspruch sind.

Sebastian Herkel, Tilmann Kuhn,
Jens Pfafferott, Jan Wienold

Bei der in der Tabelle genannten Auswahl an Projekten haben wir im vergangenen Jahr die Planung durch Leistungen im Bereich der Bauphysik, der Gebäudetechnik und der Fassadenentwicklung unterstützt.



Abb. 1: Nullheizenergiehaus Voggenthal



Abb. 2: Neubau des BMGS in Bonn.



Abb. 3: Bauvorhaben FrankfurtHochVier

	Bauphysik	Gebäudetechnik	Energieversorgung	Fassade
Max-Planck-Institut für Züchtungsbiologie, Köln	•			•
Max-Planck-Institut für Immunbiologie, Freiburg	•	•		•
Fraunhofer ICT, Pfinztal	•			•
Niedrigenergiehaus mit Phasenwechselmaterial, Rom	•			
Engelhardt & Bauer Druck GmbH, Karlsruhe	•	•	•	•
Bundesministerium für Gesundheit und Soziale Sicherung, Bonn	•			•
Bundesministerium für Bildung und Forschung (Anbauten A4-A6), Bonn	•			
Werner-von-Siemens Gymnasium, Regensburg	•			•
Prime Tower, Zürich				•
FrankfurtHochVier, Frankfurt (Main)				•
Forschungsgebäude für biochemische Grundlagenforschung, Universität Ulm				•
Kreditanstalt für Wiederaufbau, Frankfurt (Main)				•

Abb. 1: Das Nullheizenergiehaus Voggenthal der VARIO-TEC GmbH ist das erste Passivhaus aus Fertigteilen mit integrierter Vakuumdämmung. Das Fraunhofer ISE unterstützte die Entwicklung der konstruktiven Details und die Reduzierung der Wärmebrückenverluste. Im Sommer ist das Gebäude angenehm kühl durch Nutzung der in der Regenwasserzisterne gespeicherten Kälte. Architektur: Forstner, Foto Variotec

Abb. 2: Neubau des Bundesministeriums für Gesundheit und Soziale Sicherung BMGS in Bonn. Das natürlich belüftete Hochhaus bietet aufgrund eines optimierten Fassadenkonzeptes und einer Bauteilkühlung eine hohe thermische Behaglichkeit ohne Einsatz einer Klimaanlage. Das Fraunhofer ISE unterstützte durch Simulation die Optimierung der Fassade und die Entwicklung des passiven Kühlkonzeptes. Auftraggeber: Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung BBR. Architektur + Visualisierung: Petzinka Pink Technologische Architektur. Technische Gebäudeausrüstung: DS-Plan.

Abb. 3: Auch im Jahr 2005 konnte das Fraunhofer ISE beratend und prüfend bei der Entwicklung der Fassaden von mehreren Großprojekten mitwirken. Schwerpunkt der Arbeiten war die Ermittlung der Sonnenschutzwirkung verschiedener Fassadenvarianten. Als Beispiel ist im Bild links das Bauvorhaben FrankfurtHochVier dargestellt. Architekten und Foto: KSP Engel und Zimmermann, Frankfurt (Main)

Schaltung optischer Eigenschaften durch Färbung von Flüssigkeiten in Verglasungen

Eine technisch und optisch zufrieden stellende Durchströmung eines Verbundglases mit einer Flüssigkeit eröffnet die Möglichkeit, in einer adaptierbaren Sonnenschutzverglasung gleichzeitig auch Heiz- und Kühlflächen zu integrieren. Hierfür haben wir Varianten des Flüssigkeitskreislaufs, der Ein- und Entfärbetechnik sowie geeigneter Farbstoffe untersucht und einen Prototyp entwickelt. Dieser wurde mit positivem Ergebnis auf hydrostatische und dynamische Belastbarkeit getestet.

Winfried Adelman, Werner Hube*,
Werner Platzer

* PSE Projektgesellschaft Solare Energiesysteme mbH,
Freiburg



Abb. 1: Durchsicht auf das besonnte Winterdach des Instituts durch den eingefärbten Prototypen eines mit Flüssigkeit durchströmten Verbundglases. Im Hinblick auf hydrostatische und dynamische Belastbarkeit erbrachte dieser Prototyp positive Testergebnisse. Ziel ist der Einsatz als adaptierbare, farbneutrale Sonnenschutzverglasung unter gleichzeitiger Integration von Heiz- und Kühlflächen.

Befüllt man den Zwischenraum zweier planer Glasscheiben mit einer Flüssigkeit, z. B. Wasser, so verformen sich wegen des hydrostatischen Drucks die Gläser deutlich. In dem von uns entwickelten hydraulischen Schema des Flüssigkeitskreislaufes wird dies vermieden. Die Scheiben werden im Betriebszustand nur auf Sog belastet und müssen lediglich mit internen Abstandhaltern auf Distanz gehalten werden. Ein Prototyp von 1 m² Größe eines befüllbaren Glasverbundes mit Anschlussöffnungen und Glaskugeln als Abstandhalter hielt den Druckbelastungen während des Betriebs und des Befüllvorgangs stand (Prüfung durch EPFL Lausanne).

Wir haben unterschiedliche Varianten zur Ein- bzw. Entfärbung sowie des Flüssigkeitskreislaufes untersucht. Dabei schied eine Pigmentierung wegen des apparativ und energetisch hohen Aufwandes für Filtersysteme aus. Ein Kreislauf mit zwei nicht-mischbaren Fluiden (Wasser und Öl) musste wegen der Brennbarkeit von Ölen ebenfalls ausgeschlossen werden. Die dritte Variante ist die sequentielle Befüllung mit gefärbtem und ungefärbtem Wasser bei zwischenzeitlicher Entleerung.

Die Bauteileigenschaften eines befüllbaren Glasverbunds als Außenscheibe einer Wärmeschutzverglasung zeigen einen hervorragenden Schaltdruck des Gesamtenergiedurchlassgrades besser 1:8 (eingefärbt: $g=6\%$, unbefüllt:

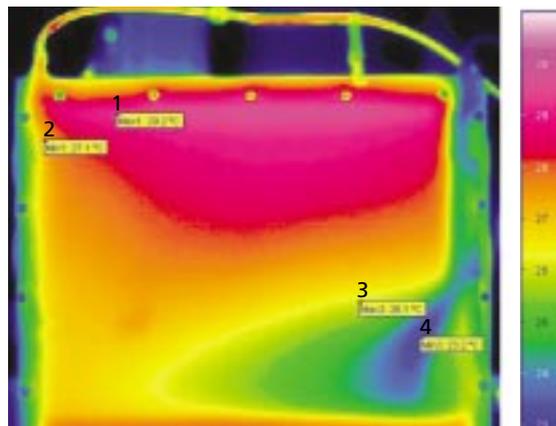


Abb. 2: Thermographiebild des Befüllvorgangs einer Verbund-scheibe mit kalter Flüssigkeit (blau) unter Bestrahlung mit dem Solarsimulator. Die gefärbte Flüssigkeit wird erwärmt (gelb/rot) und steigt nach oben, wo sie wieder abgesaugt wird.

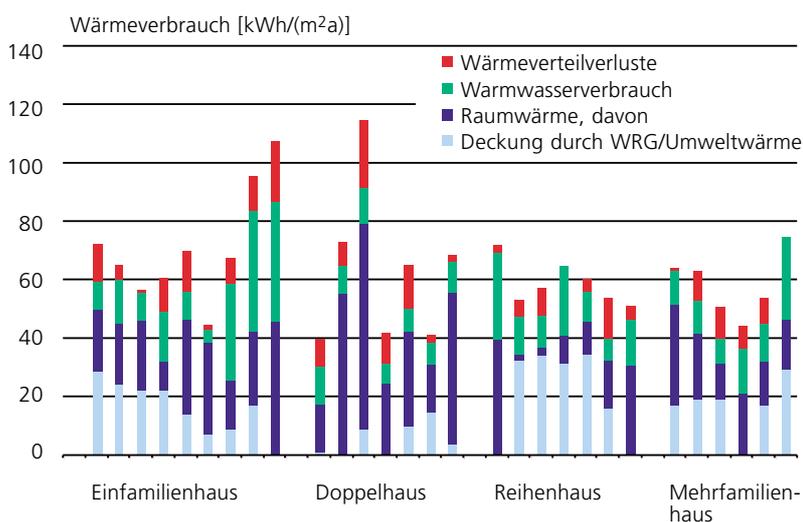
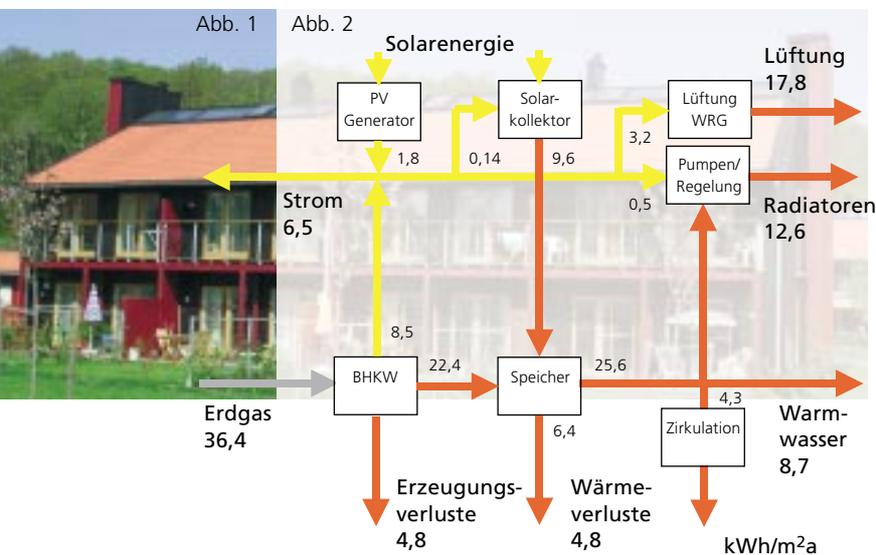
(1: Min1: 27,1 °C; 2: Max1: 29,2 °C; 3: Max3: 26,1 °C; 4: Min3: 23,2 °C).

$g=50\%$). Durch Veränderungen der Konzentration kann er den konkreten Anforderungen angepasst werden. Noch nicht zufrieden stellend ist die Stabilität der Farbstoffe. Hierfür sind weitere Entwicklungsarbeiten notwendig.

Faktor 4 für Wohngebäude: Sustainable Solar Housing

Im Rahmen der Task 28/38 »Sustainable Solar Housing« der International Energy Agency IEA hat das Fraunhofer ISE als Leiter der Arbeitsgruppe »Monitoring and Evaluation« rund 50 Demonstrationsprojekte aus zehn Ländern hinsichtlich ihrer Konzepte und ihres Energieverbrauchs untersucht und bewertet. Zu den evaluierten Wohngebäuden gehören Ein- und Mehrfamilienhäuser mit hochwärmedämmter Gebäudehülle und Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung.

Andreas Bühring, Sebastian Herkel,
Christel Russ



Die im Kontext der IEA SHC Task 28/38 energetisch bewerteten Projekte zeigen, dass mit den gegenwärtig am Markt verfügbaren Baumaterialien und Versorgungssystemen sowie einer optimierten baukonstruktiven Ausführung hocheffiziente Wohngebäude mit geringem Primärenergieverbrauch für die Wärmeversorgung machbar sind. Für diese quantitative Analyse haben wir am Fraunhofer ISE im Rahmen der IEA Task 28/38 eine Methodik zur Energieflussanalyse entwickelt, die eine detaillierte und vergleichende Analyse der Versorgungssysteme sowie ihrer Effizienz ermöglicht.

Der mittlere Endenergieverbrauch für Heizwärme aller gemessenen Gebäude liegt bei 25 kWh/m²a Wohnfläche, bei den als Passivhaus ausgeführten Gebäuden ist der Mittelwert < 15 kWh/m²a. Der Warmwasserverbrauch beträgt durchschnittlich 15 kWh/m²a.

Abb. 1 (Foto): Innerhalb der IEA Task 28/38 »Sustainable Solar Housing« untersuchtes Gebäude in Göteborg (Schweden). Für 50 Niedrigenergiegebäude aus zehn Ländern wurde erstmalig eine konsistente Analyse der baukonstruktiven Merkmale sowie der Energieverbrauchswerte sowie deren Ursachen erstellt.

Abb. 2 (Grafik): Energieflussanalyse der Wärmeversorgung des Mehrfamilienpassivhauses »Wohnen und Arbeiten« in Freiburg. Die Zahlenwerte geben die spezifischen Endenergieflüsse der Energiebereitstellung (Strom und Gas), der Solarenergie sowie der Verluste und der Nutzenergieübergabe an das Gebäude wieder.

Die Wärmeverluste durch Verteilung, Zirkulation, Speicher und Übergabe liegen mit 9 kWh/m²a ebenfalls in der Größe des Heizwärme- oder Warmwasserverbrauches. Hier liegen in Zukunft noch weitere Optimierungspotenziale.

Wesentliches Kriterium für die Beurteilung der Effizienz der Versorgungssysteme im Gebäude ist die Primärenergie. Die im Rahmen des Projekts evaluierten Häuser verbrauchten für Heizen, Lüften, Brauchwasser und Hilfsantriebe gemäß Energieeinsparverordnung EnEV im Mittel 48 kWh/m²a Primärenergie, Passivhäuser weniger als 40 kWh/m²a. Rund ein Drittel der Gebäude liegen um mehr als den Faktor 4 unter dem nach EnEV zulässigen Primärenergiebedarf.

Das Projekt wurde vom Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit BMWa (bzw. Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie BMWi) gefördert.

Bauteilkühlung verbessert die thermische Behaglichkeit in Bürogebäuden

Zukunftsfähige Bürogebäude bieten eine hohe Arbeitsplatzqualität bei geringem Energieeinsatz. Wir bewerten den thermischen Komfort in Niedrigenergie-Bürogebäuden, um auf Basis der Ergebnisse neue Konzepte zur Verbesserung der thermischen Behaglichkeit und zur Erhöhung der Luftqualität zu entwickeln. Im Kontext der thermischen Behaglichkeit stellt die Bauteilkühlung eine wirtschaftliche Technologie dar. Messungen in Gebäuden unter typischen Betriebsbedingungen zeigen, dass die thermische Behaglichkeit im Sommer bei geringem Primärenergieeinsatz deutlich verbessert werden kann.

Elke Gossauer, Sebastian Herkel,
Jens Pfafferott, Jan Wienold

Im Rahmen einer Analyse von Daten aus der Messung in zwölf Niedrigenergie-Bürogebäuden mit passiver Kühlung haben wir die für die thermische Behaglichkeit verantwortlichen Faktoren identifiziert. Das Ergebnis zeigt, dass neben der Baukonstruktion und dem sommerlichen Wärmeschutz die genutzte Wärmesenke die Temperatur im Gebäude bestimmt. Kann das Erdreich beispielsweise über Erdsonden als natürliche Wärmesenke genutzt werden, bietet eine wassergeführte Bauteilkühlung gegenüber der Nachtlüftung den Vorteil, dass die Wärmeabfuhr kaum von der Außentemperatur abhängt. Die Raumtemperatur verbleibt so länger auf einem niedrigeren Niveau (Abb. 1).

Neben eingeführten Modellen zur Beschreibung des Nutzerkomforts berücksichtigen wir auch neue Ansätze, die die thermische Adaption der Nutzer mit in Betracht ziehen.

Am Fraunhofer Solar Building Innovation Center, kurz Fraunhofer SOBIC, vergleichen wir für unsere Kunden Komponenten der passiven Kühlung: Nachtlüftung und Bauteilkühlung in Verbindung mit einem Rückkühlwerk. Die Bauteilkühlung wird über eine spezielle Akustik-Kühldecke (Abb. 2) mit großflächiger Anbindung an die Betondecke realisiert. Die Betriebserfahrungen aus diesem Projekt fließen in neue Planungswerkzeuge und Simulationsmodelle (Abb. 3) ein.

Die Arbeiten wurden durch mehrere mittelständische Unternehmen sowie den Projektträger VDI/DE/IT finanziert. Die Ergebnisse setzen wir in aktuellen Bauprojekten um.

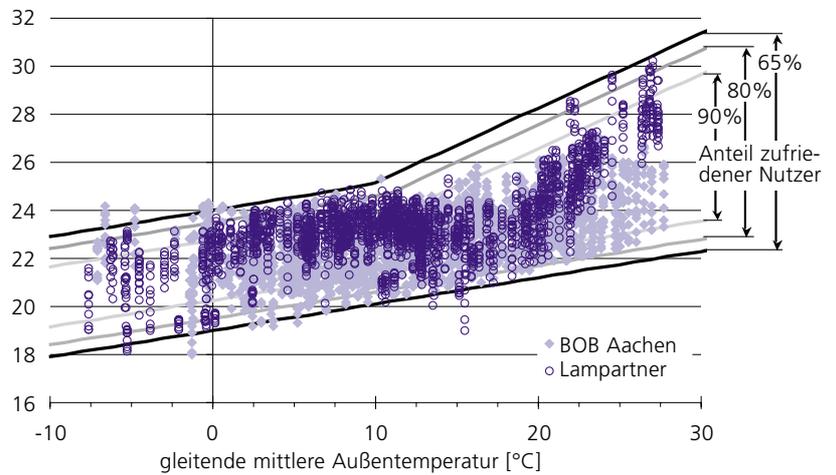


Abb. 1: Das Balanced Office Building Aachen (Bauteilkühlung über Erdsonden) und das Bürohaus Lamparter (Nachtlüftung und Erd-Luftregister) sind als Passivhäuser konzipiert und erreichen einen Primärenergieeinsatz von rund 82 bzw. 53 kWh/(m² a) für den Gebäudebetrieb. Das Gebäude mit Bauteilkühlung (hellblaue Punkte = gemessene Raumtemperatur) wird bei hohen Außentemperaturen von 90% der Nutzer als thermisch behaglich empfunden, das Gebäude mit luftgeführter Kühlung (dunkellila) von 65 bis 80% der Nutzer (Messung: FH Köln und FHT Stuttgart).

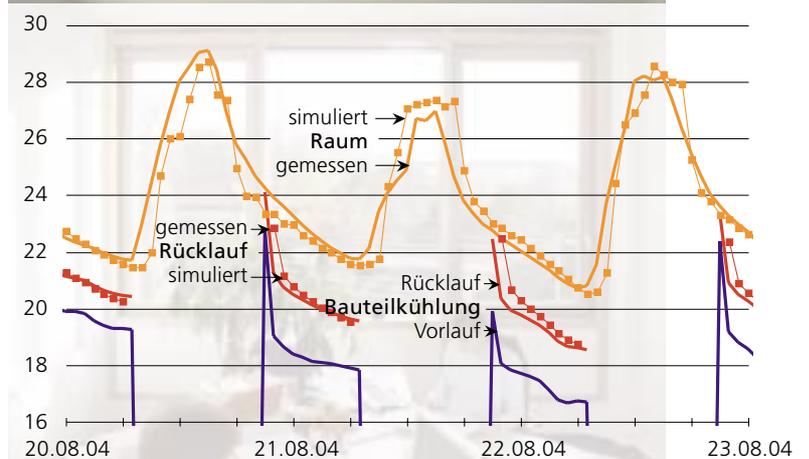


Abb. 2 (Hintergrundfoto): Am Fraunhofer Solar Building Innovation Center SOBIC wird eine Akustikdecke mit wasserdurchströmten Kühlelementen im praxisnahen Einsatz bewertet. Als Wärmesenke wird ausschließlich ein Rückkühlwerk im Nachtbetrieb eingesetzt. Diese Kühldecke kann auch nachträglich installiert werden und bietet sich damit alternativ zur Betonkernkühlung in Sanierungsvorhaben an.

Abb. 3 (Grafik): Rohrschlangen in der Kühldecke führen nachts Wärme aus dem Raum ab. An einem typischen Sommertag werden so rund 300 Wh/(m²d) Kühlenergie ohne Einsatz einer Kältemaschine bereitgestellt. Die gemessene Raum- und Rücklauf-temperatur (durchgehende Linien orange und rot) wird durch unser Simulationsmodell (Linien mit Quadraten) gut abgebildet. Die Randbedingungen (z. B. Vorlauftemperatur, dunkellila Linie) für die Simulation liefert ein Experiment mit hohen internen Wärmelasten unter realen Betriebsbedingungen.

Messungen zur Adsorptionskinetik von Wasserdampf an Adsorbentien

Die Sorptionskinetik spielt für die Effizienzsteigerung von Adsorptionskältemaschinen und -wärmepumpen eine wichtige Rolle. Seit 2004 können wir an einem Versuchsstand unterschiedliche Verbundproben aus Adsorbens und Wärmeübertrageroberfläche hinsichtlich ihrer Adsorptionsrate charakterisieren. Die Auswertung der erreichbaren Wasserdampfbeladung sowie der Adsorptionskinetik zeigt Optimierungspotenziale der Materialeigenschaften und der Materialankopplung an die Wärmeübertrageroberfläche auf. Gleichzeitig liefert sie wichtige Hinweise für die Regelung von Adsorptionswärmepumpen.

Hans-Martin Henning, Lena Schnabel

Mit der Kinetikapparatur sind sowohl kanonische (Messung bei konstanter Teilchenzahl) als auch isobare Messungen möglich. Die trockene Probe wird auf eine thermostatisierte Platte aufgebracht und dann einer definierten Wasserdampfmenge ausgesetzt. In einer kanonischen Messung wird aus der Druckabnahme auf die adsorbierte Wassermenge geschlossen, bei einer isobaren Messung wird das Wärmeflussignal ausgewertet. Abb. 1 und 2 zeigen Ergebnisse einer Vermessung des gleichen Materials mit unterschiedlichen Partikelgrößen. Es wird deutlich, dass eine Verringerung der Partikelgröße und eine Vergrößerung der Kontaktfläche zwischen den Partikeln zu deutlich kürzeren Adsorptionszeiten führt.

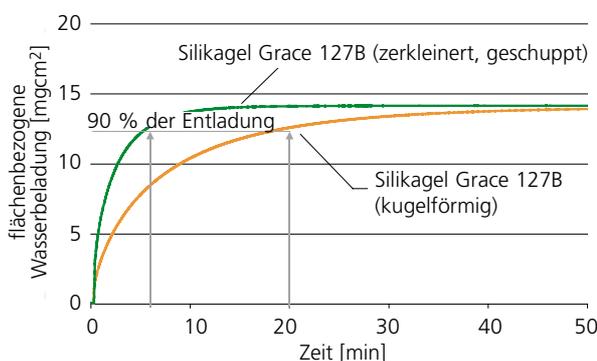


Abb. 1 zeigt zwei Beladungsverläufe des gleichen Materials (Silikagel 127 B der Fa. Grace) bei unterschiedlichen Partikelgrößen in einer kanonischen Messung. Die kugelförmigen Partikel haben einen Durchmesser von 2,5–4 mm, die geschredderten von 1–1,5 mm. Der Vergleich zeigt, dass die kleineren, schuppenförmigen Partikel bereits nach 6 Minuten 90% ihrer Endbeladung erreicht haben, die großen Partikel hingegen erst nach 20 Minuten.

Solarthermie 2000plus: Begleitforschung im Bereich Solare Klimatisierung

Im Förderprogramm des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit BMU »Solarthermie 2000plus« führen wir am Fraunhofer ISE die Begleitforschung für den Bereich solare Klimatisierung durch. Durch eine Optimierung der geförderten Anlagen hinsichtlich des Anlagendesigns und der Leistungsfähigkeit wird der Weg für eine Markteinführung geebnet.

Hans-Martin Henning, Edo Wiemken

Die Begleitforschung umfasst im Wesentlichen:

- Erstellung von Konzepten zur einheitlichen energetischen und ökonomischen Systembewertung und zum Monitoring
- Unterstützung des Projektträgers Jülich in der Auswahl der geförderten Projekte; dazu zählen auch Simulationsrechnungen zur Bewertung der eingereichten Konzepte
- Vergleichende Bewertung der Messergebnisse aus den errichteten Anlagen
- Aufbereitung der Erfahrungen in Form von Dokumentationen und Planungsrichtlinien sowie Informationsveranstaltungen
- Beteiligung an neuen Aktivitäten zur solaren Kühlung auf internationaler Basis (z. B. im Rahmen eines neuen IEA-Tasks im Solar Heating & Cooling Programme).

Das Projekt wird gefördert durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit BMU.

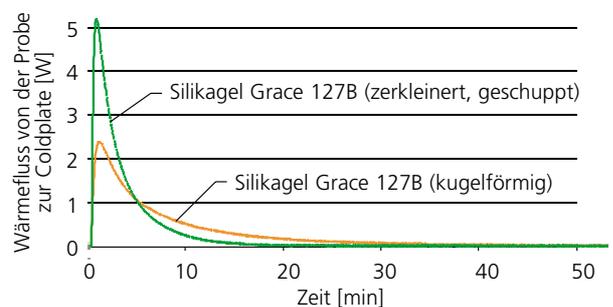


Abb. 2 zeigt das Wärmeflussignal, das zwischen der Probe und der thermostatisierten Platte vermessen wird. Bei beiden Proben wird integral die gleiche Wärmemenge umgesetzt. Dennoch ist deutlich zu erkennen, dass die kleineren Partikel einen deutlich höheren Spitzenwert realisieren, was auf eine bessere Dampfzugänglichkeit und einen verbesserten Wärmetransport zurückzuführen ist.

Phasenwechselmaterialien in Wärmeträgerfluiden und Bauteilen

Im Rahmen eines internationalen Forschungsprojektes entwickelten und untersuchten wir Phase Change Slurries (PCS). Diese Wärmeträgerfluide enthalten mikroverkapselte Phase Change Materials (PCM) und zeichnen sich damit durch eine sehr hohe spezifische Wärmekapazität innerhalb ihres Schmelzbereichs aus. Sie ermöglichen somit einen erhöhten Wärme- oder Kältetransport bei verringerter Pumpenenergie, bzw. die Speicherung bei sehr geringem Volumenbedarf und geringer Temperatursteigerung.

In einem zweiten Forschungsvorhaben entwickeln wir auf der Basis der seit 2004 auf dem Markt befindlichen Baustoffe mit Phasenwechselmaterialien Systeme, die auch eine geregelte Raumkühlung erlauben.

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

Das rheologische Verhalten neuer Wärmeträgerflüssigkeiten hat für die Anwendung in der Praxis eine große Bedeutung. Zur Charakterisierung des Fließverhaltens bauten wir deshalb im Jahr 2005 mit Fraunhofer-Investitionsmitteln ein neues Labor auf. Zentrales Messgerät ist hierbei ein Rotationsrheometer zur Bestimmung der Viskosität der Wärmeträgersuspensionen. Da die rheologischen Eigenschaften u. a. auch von der Größe der suspendierten Mikro kapseln abhängt, haben wir unsere Messeinrichtung um ein Gerät ergänzt, das eine Messung der Partikelgröße vom Nanometer- bis in den Millimeterbereich zulässt.

Diese neuen Messmöglichkeiten erlauben uns, bei der Entwicklung neuer PCS (z. B. Emulsionen) gezielt und schnell Aussagen über ihre Anwendbarkeit zu treffen. Hierdurch kann die Entwicklungszeit neuer PCS verkürzt werden. Die ermittelte Viskosität ermöglicht es – z. B. als zusätzlicher Parameter in Simulationen – auch Aussagen über die erforderliche Pumpleistung zur Förderung der PCS zu treffen. So können wir die sinnvollsten Anwendungen schon vor der eigentlichen Anlagenplanung identifizieren.

Während in den oben genannten PCS die mikroverkapselten PCM einer Flüssigkeit zugegeben werden, untersuchen wir in einem weiteren Forschungsvorhaben aktiv durchströmte Baustoffe mit integrierten PCM. Diese seit 2004 auf dem Markt erhältlichen PCM-Baustoffe durch-

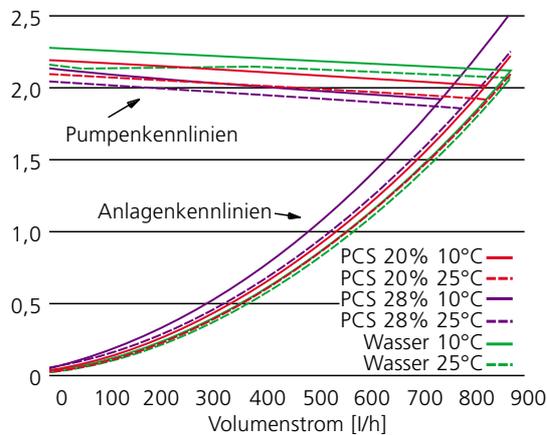


Abb. 1: Die Viskosität der PCS hat direkten Einfluss auf die Pumpbarkeit dieser Wärmeträgerflüssigkeiten. Die Kurven zeigen den Druckverlust von reinem Wasser (grün) und PCS (rot: mit einem Kapselanteil von 20% und lila: 28%) in einer Versuchsanlage. Wie zu sehen ist, hat die Temperatur bei den PCS einen wesentlich stärkeren Einfluss auf den Anlagendruckverlust als bei reinem Wasser. Während der Druckverlust für ein 28%iges PCS im Vergleich zu Wasser um etwa 20% steigt, erhöht sich die transportierte Wärmemenge um 400%. Die von der Pumpe erreichbare Förderhöhe (1 bar entspricht 10 m) nimmt mit steigender Viskosität ab. Die Pumpenkennlinie zeigt eine Verringerung um etwa 20% für ein PCS mit einem Anteil von 28% Mikro kapseln.

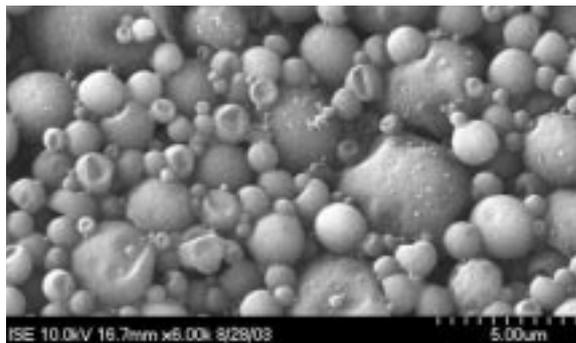


Abb. 2: Die Größenverteilung der Paraffin-Mikro kapseln wird qualitativ in der REM-Aufnahme sichtbar. Es sind große Kapseln (ca. 5 µm) und viele kleine Kapseln zu erkennen. Während die Anzahl der kleinen Kapseln die der großen weit übersteigt, ist ihr Volumenanteil gering.

strömen wir in Testaufbauten mit einer Kühlflüssigkeit, um damit Räume auch geregelt kühlen zu können. Durch die Anbindung an wasserführende Systeme können beliebige Kältequellen angeschlossen und enge Temperaturgrenzen garantiert werden. Die hohe Wärmespeicherkapazität der PCM ermöglicht dabei, die Kälteerzeugung in die Nacht zu verschieben und hohe Spitzenlasten tagsüber zu vermeiden.

Diese Arbeiten werden gefördert vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie BMWi und erfolgen in Kooperation mit Fraunhofer UMSICHT sowie Industriepartnern.

Wärmepumpen für energieeffiziente Wohngebäude

In den vergangenen Jahren konnten wir mehrere Industriepartner erfolgreich bei der Weiterentwicklung von Wärmepumpensystemen für Passivhäuser unterstützen. Im Zentrum standen dabei insbesondere Lüftungs-Kompaktgeräte mit Abluftwärmepumpe. Auf der Basis dieser Erfahrungen entwickeln wir gegenwärtig weitere Systeme, die sich auch für die Versorgung guter Niedrigenergiehäuser eignen. Ein Schwerpunkt ist die Erschließung zusätzlicher und kostengünstiger Wärmequellen.

Andreas Bühring, Christian Bichler, Christel Russ, Jeannette Wapler*, Martina Jäschke**, Marek Miara*, Matthias Schubert, Daniel Kühn, Michael Schossow, Jan van Wersch

* PSE GmbH Forschung Entwicklung Marketing, Freiburg

** PSE Projektgesellschaft Solare Energiesysteme mbH, Freiburg



Abb. 1: Auf unserem Teststand messen wir die Energieeffizienz der Gesamtgeräte und ihrer Komponenten. Einerseits können wir stationäre Prüfbedingungen in einer großen Bandbreite wählen. Durch die Automatisierung des Teststands lassen sich andererseits dynamisch veränderliche Bedingungen einstellen, z. B. entsprechend der Norm EN 255-3. Aus den Messungen leiten wir Empfehlungen für das Optimieren der Komponenten und ihres Zusammenwirkens ab.



In einem Lüftungs-Kompaktgerät mit integrierter Abluftwärmepumpe wird mit Hilfe eines Luft-Luft-Wärmeübertragers und einer nachgeschalteten Wärmepumpe der Abluft soviel Energie entzogen, dass der Wärmebedarf eines Wohngebäudes gedeckt werden kann. Diese Geräte dienen der Lüftung, der Beheizung und der Trinkwassererwärmung in hocheffizienten Wohngebäuden, wie den Passivhäusern. Die Weiterentwicklung der Technik der Lüftungs-Kompaktgeräte steht im Mittelpunkt unserer aktuellen Arbeiten.

Gemeinsam mit unseren Industriepartnern entwickeln wir hocheffiziente Wärmepumpen für sehr gut wärmedämmte Wohngebäude. Für die Entwicklung eines optimierten Gerätes bieten wir zahlreiche F&E Dienstleistungen an. Hierzu zählen thermische Simulationsstudien und die Strömungssimulation (z. B. mit Fluent) ebenso wie die Beratung bei der Komponentenauswahl und die Erstellung von Baugruppenanordnungen und Versuchsmustern. Darüber hinaus unterstützen wir unsere Kunden bei der Entwicklung der Regelung. Auf unserem Teststand und in Feldversuchen vermessen wir erste Geräte. Ein besonderes Augenmerk legen wir auf eine hohe Energieeffizienz, geringe Produktionskosten und die Möglichkeit der Integration solarer Technologien.

Für Wärmepumpensysteme, die in weiteren Wohngebäudetypen, wie z. B. KfW-60-Häusern oder 3-Liter-Häusern eingesetzt werden können, muss vor allem eine zusätzliche, kostengünstige Wärmequelle erschlossen werden. Hierfür entwickeln wir neue Komponenten wie einen Kombidampfer zur gleichzeitigen Nutzung der Abluftwärme sowie der Wärme eines Flüssigkeitsstromes. Als Flüssigkeit wird hierbei ein im Erdreich oder in einer Solaranlage erwärmtes Glykol-Wasser-Gemisch verwendet. Zu den vorgestellten Arbeiten hat das Institut Patente angemeldet.

Abb. 2: Ein Werkzeug zur Verbesserung von Lüftungsgeräten mit integrierter Wärmepumpe ist die Strömungssimulation, z. B. mit dem Programm Fluent. Zur Validierung der Simulationsergebnisse dienen räumlich verteilte Temperatur- und Geschwindigkeitsmessungen, ebenso wie die im Bild gezeigte Visualisierung mittels Rauch im Gerät.

Mit Holzpellets betriebener Stirlingmotor zur Wärme- und Stromversorgung

Das Fraunhofer ISE hat in diesem Jahr mit der Entwicklung sehr kleiner Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen (Mikro-KWK) auf der Basis des nachwachsenden Rohstoffes Holz begonnen. Mit Holzpellets wird ein kleiner Stirlingmotor angetrieben, der mit einem Generator Strom erzeugt. Gleichzeitig werden mit der Abwärme die Heizung und die Trinkwassererwärmung eines Wohngebäudes betrieben. Diese Mikro-KWK entwickeln wir im Verbund mit sieben Industrieunternehmen und weiteren Forschungspartnern.

Andreas Bühring, Benoit Sicre, Jörg Dengler, Marek Miara**, Jeannette Wapler**, Martina Jäschke*

* PSE Projektgesellschaft Solare Energiesysteme mbH, Freiburg

** PSE GmbH Forschung Entwicklung Marketing, Freiburg

Die energetische Verwertung von Holz erlangt zunehmende Bedeutung. Wir haben deshalb in einem Forschungsverbund mit mehreren Industriepartnern, dem Fraunhofer ISC und der FH Wolfenbüttel ein Projekt begonnen, in dem ein neuartiges Energiesystem auf der Basis des nachwachsenden Energieträgers Holz entwickelt wird. Vorangegangen waren zwei Studien für das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit BMU sowie den Energieversorger Badenova. Diese Untersuchungen führten zum Konzept eines sehr kleinen Kraftwerks zur Wärme- und Stromversorgung (Mikro-KWK-Anlage), das mit den gut handhabbaren Holzpellets versorgt wird (Abb. 1). Gleichzeitig konnten wir in Simulationsstudien die Betriebsweise des Gerätes aufzeigen.

Demnach erzeugt der Stirlingmotor so viel Strom, dass der Jahresverbrauch eines mittleren deutschen Haushaltes bilanziell abgedeckt wird. Zukünftige Entwicklungsziele sind eine hohe Stromausbeute und eine hohe Gesamteffizienz durch eine gute Wärmekopplung an einen Pufferspeicher sowie Kompaktheit und einfache Bedienbarkeit. Darüber hinaus sollen ein optimierter Verbrennungsvorgang und eine nachgeschaltete Abgasreinigung zu sehr niedrigen Emissionsraten führen.

Neben der Entwicklung der Teilkomponenten liegt der Projektschwerpunkt auf der Optimierung des Gesamtsystems und der Fertigung von Prototypen zu Demonstrationszwecken.

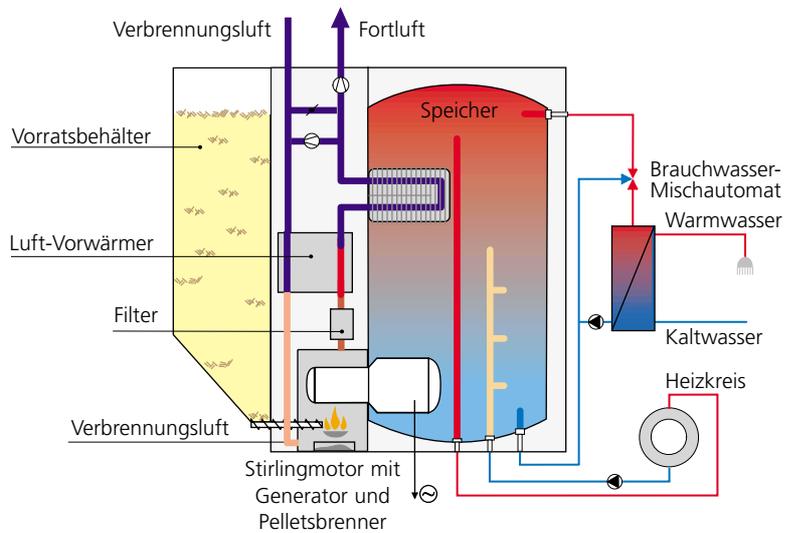


Abb. 1: Die besonderen Möglichkeiten eines Stirlingmotors zur Stromerzeugung sind durch die äußere Verbrennung gegeben. Dadurch kann Biomasse, hier Holzpellets, zum Antrieb des Motors verwendet werden. Die weitgehende Integration aller Komponenten führt zu einem hohen Nutzungsgrad der dabei frei werdenden Wärme. Dem Abgas wird ein möglichst großer Teil der Verbrennungswärme entzogen und in den Pufferspeicher eingelagert. Erste Simulationsergebnisse zeigen, dass mit einem Stirlingmotor mit einer elektrischen Leistung von rund 1,5 kW und hoher Stromkennzahl in Teillast der jährliche Strombedarf eines mittleren deutschen Haushalts im Jahresmittel gedeckt werden kann.



Abb. 2: Holzpellets sind zylinderförmige Stäbchen mit einem Durchmesser von 6 bis 8 mm und einer Länge von 20 bis 40 mm. Sie werden aus Holzabfällen (Sägemehl) durch Pressen hergestellt. Im Gegensatz zu fossilen Energieträgern sind Pellets CO₂-neutral, weil bei der Verbrennung nur die Menge an Kohlenstoffdioxid freigesetzt wird, die der Baum zuvor beim Wachsen aufgenommen hat.

Die Arbeiten werden als InnoNet-Projekt aus Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie BMWi gefördert und von den sieben beteiligten Industrieunternehmen ko-finanziert.

FracTherm – Entwicklung eines Solarabsorbers nach bionischem Ansatz

Konventionelle Solarabsorber weisen in der Regel eine serielle oder parallele Kanalordnung auf (Mäander- bzw. Harfenabsorber). Diese führen jedoch mitunter zu hohen Druckverlusten bzw. einer ungleichmäßigen Durchströmung, was sich negativ auf ihre Effizienz auswirken kann. Natürliche Kanalstrukturen, beispielsweise bei Blättern oder Blutgefäßen, bestehen dagegen oft aus mehrfach verzweigten Netzwerken. Wir haben mit einem bionischen Ansatz versucht, dieses Prinzip auf die Technik zu übertragen, um damit energieeffiziente Absorber zu entwickeln.

Markus Arntzen, Wolfgang Graf,
Michael Hermann, Matthias Rommel,
Arim Schäfer, Kurt Schüle, Thorsten Siems*,
Christoph Thoma

*PSE GmbH Forschung Entwicklung Marketing, Freiburg

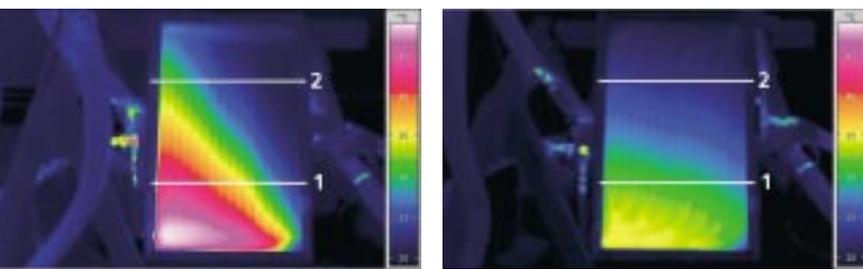


Abb. 1: Thermographiaufnahmen eines Harfen- (links) und eines *FracTherm*-Absorbers (rechts) während des Einströmens von warmem Wasser in die jeweils kalten Absorber. Die Auswertung der Thermographiesequenzen zeigt eine deutlich gleichmäßigere Durchströmung des *FracTherm*-Absorbers (Temperaturskala: 19-49 °C).



Im Rahmen einer Promotion haben wir einen Algorithmus entwickelt und zum Patent angemeldet, mit dem eine vorgegebene Fläche nach Festlegung des Ein- und Austrittspunktes mit einer geeigneten quasi fraktalen Hydraulikstruktur versehen werden kann.

Dieser so genannte *FracTherm*-Algorithmus ist hinsichtlich der Kontur der zu vernetzenden Fläche äußerst flexibel. So passt sich die Hydraulikstruktur sehr gut an die vorgegebene Geometrie an; bei der Anordnung der Verzweigungspunkte werden beispielsweise auch Verengungen innerhalb der Kontur berücksichtigt.

Mit Hilfe eines auf dem *FracTherm*-Algorithmus basierenden gleichnamigen Computerprogramms lassen sich hydraulische sowie thermische Simulationen zur Beurteilung der einzelnen Varianten durchführen. Die erzeugten Strukturen können problemlos als DXF-Dateien exportiert werden und stehen damit üblichen CAD- und CAM-Programmen für die weitere Verwendung zur Verfügung. Somit lassen sich Prototypen und Serienprodukte durch Fräsen, Gießen, Prägen, Rollbonding oder ähnliche Verfahren herstellen.

Ein mittels Rollbonding hergestellter Solarabsorber zeigte in Experimenten eine hohe thermische Effizienz, eine gleichmäßige Durchströmung und bei großen Massenströmen einen deutlich reduzierten Druckverlust gegenüber Kanalordnungen nach dem Stand der Technik.

Mit *FracTherm* lassen sich individuelle Lösungsvorschläge für Wärmetauscherstrukturen nach Kundenwunsch realisieren.

Die Promotionsarbeit wurde durch das Stipendienprogramm der Deutschen Bundesstiftung Umwelt DBU gefördert.

Abb. 2: Ausschnitt eines Solarabsorbers, dessen Strömungskanäle nach biologischem Vorbild mit dem von uns entwickelten *FracTherm*-Algorithmus gestaltet wurden. Der Absorber besteht aus Aluminium und wurde von der Firma Alcan Rollbond mit Hilfe des Rollbonding-Verfahrens gefertigt.



Untersuchungen zum Stillstandsverhalten von thermischen Solaranlagen

Das Beherrschen der Stillstandssituation ist eine wichtige Voraussetzung, um die Betriebssicherheit und Zuverlässigkeit von thermischen Solaranlagen sicherzustellen. Im Stillstandsfall besteht die Gefahr, dass das Fluid im Kollektorfeld verdampft und der Dampf in die Verrohrung des Solarkreises vordringt. Wie weit er vordringt hängt einerseits von der Dampfproduktionsleistung des Kollektorfeldes ab, andererseits von der Dissipationsleistung der Solarkreis Komponenten. Für die Bestimmung der Dampfproduktionsleistung von Kollektoren haben wir ein standardisiertes Verfahren entwickelt.

Matthias Rommel, Thorsten Siems*, Kurt Schüle, Jan Steinmetz, Korbinian Kramer, Christof Thoma, Stefan Mehnert

* PSE GmbH Forschung Entwicklung Marketing, Freiburg

Die Dampfproduktionsleistung von Kollektoren ist die Leistung, die in einem Stillstandsfall des Kollektorfeldes in Form von Dampf an die Solarkreisverrohrung, also die externe Verrohrung des Kollektorfeldes, abgegeben wird. Stillstand tritt dann ein, wenn die im Kollektorfeld produzierte Wärme nicht abgeführt werden kann, weil der Speicher vollständig beladen ist und kein Wärmeabnehmer zur Verfügung steht. Messungen zur Bestimmung der Dampfproduktionsleistung von Kollektoren führen wir unter unserem Solar-Simulator durch, in einem geschlossenen Solarkreis unter Verwendung des im realen Einsatz verwendeten Wasser-Glykol-Gemisches als Fluid. Der Messvorgang ist in Abb. 1 erklärt. Abb. 2 zeigt ein Beispiel für die gemessenen Dampfproduktionsleistungen in Abhängigkeit vom Systemdruck. Aus den Ergebnissen können Kollektorhersteller und Systemanbieter ableiten, wie weit der Dampf vordringt, ob temperaturempfindliche Komponenten beschädigt werden können und wie das Membrandruckausgleichsgefäß ausgelegt werden muss.

Liegt ein solcher Fall der Beschädigungsgefahr vor, müssen Maßnahmen ergriffen werden, damit Dampf in bereits vorhandenen oder zusätzlich einzubauenden Solarkreis Komponenten gezielt kondensiert und die Energie dissipiert werden kann. Derartige Komponenten können beispielsweise Vorschaltgefäße sein, die zusätzlich die Funktion des Abführens von Dampfenergie übernehmen. Denkbar sind auch wärmetauscherähnliche neue Komponenten, die speziell zur Dampfdisipation entwickelt werden.



Abb. 1: Solarkollektor während der Stillstandsmessung mit dem von uns entwickelten Verfahren unter dem Solarsimulator unseres Innenteststands. Links und rechts sieht man die Prüfröhre des Solarkreises, mit denen die Dampfeindringtiefe gemessen wird. Mit Temperatursensoren, die im Abstand von einem Meter entlang der Prüfröhre angebracht sind, wird gemessen, ob der Dampf einen Sensor erreicht hat. Aus dem bekannten Wärmeverlust der Prüfröhre kann die thermische Leistung bestimmt werden, die in Form von Dampf in die Solarkreisverrohrung eingebracht wird und von dieser an die Umgebung abgegeben werden muss.

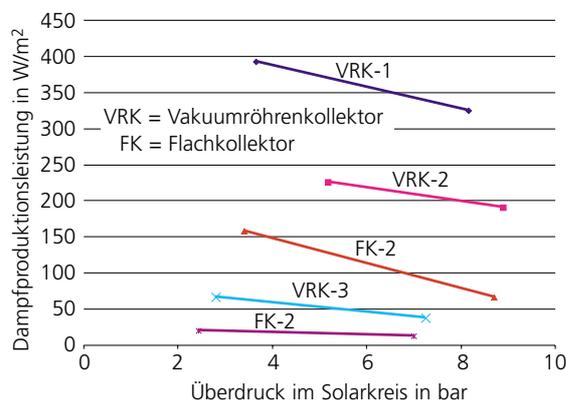


Abb. 2: Mit dem von uns entwickelten standardisierten Messverfahren können die Dampfproduktionsleistungen von Kollektoren quantifiziert werden. Die Grafik zeigt die Ergebnisse für fünf unterschiedliche Kollektoren. Bei dem Experiment betrug die Einstrahlung einheitlich 1000 W/m^2 . Die Ergebnisse zeigen eine große Bandbreite der ausgetretenen Dampfproduktionsleistung. Diese hängt wesentlich vom internen Aufbau der Absorbierverrohrung ab. Ob Flach- oder Vakuumröhrenkollektor ist nicht entscheidend. Kollektorfelder mit höherer Dampfproduktionsleistung verdrängen mehr Fluid und benötigen deshalb größer dimensionierte Membrandruckausgleichsgefäße.

Um Untersuchungen hierzu durchführen zu können, haben wir einen speziellen Teststand zur Messung der Dampfdisipationsleistung von Solarkreis Komponenten aufgebaut und bieten in Zukunft solche Untersuchungen als Dienstleistung an.

Diese Arbeiten werden im Rahmen eines vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit BMU geförderten Verbundprojektes des Programms »Solarthermie 2000plus« durchgeführt, bei dem wir mit weiteren Forschungseinrichtungen sowie mehreren Industriepartnern zusammenarbeiten.

Weitere Informationen:
www.solarkombianlagen-xl.info

Gebrauchsdaueranalyse von PV-Modulen und Fassadenkomponenten

Die Gebrauchsdaueranalyse stellt nicht nur im stark expandierenden Solarmarkt, sondern auch im Bausektor eine Schlüsselkompetenz für die Entwicklung neuer und die Verbesserung bestehender Produkte dar. Es gibt derzeit eine hohe Innovationsrate, bei Photovoltaik-Systemen ebenso wie in der Solarthermie und beim Solaren Bauen. Mit der Gebrauchsdaueranalyse können wir die Qualität – oder die Zuverlässigkeit – von neuen Komponenten und Produkten überprüfen

Tilmann Kuhn, Michael Köhl, Odon Angeles, Markus Heck, Stefan Brachmann

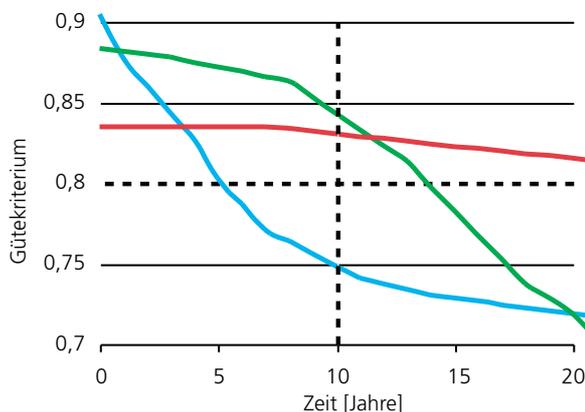


Abb. 1: Hypothetischer Verlauf der Degradation von drei Produkten (rot, grün, blau). Das Gütekriterium kann zum Beispiel der Absorptionsgrad eines Fassadenkollektors sein. Die untere Grenze für das Gütekriterium beträgt 0,81. Daraus ergibt sich eine Lebensdauer von >20/14/5 Jahren für rot/grün/blau. Nur Blau erreicht die geforderte Gebrauchsdauer von 10 Jahren nicht.

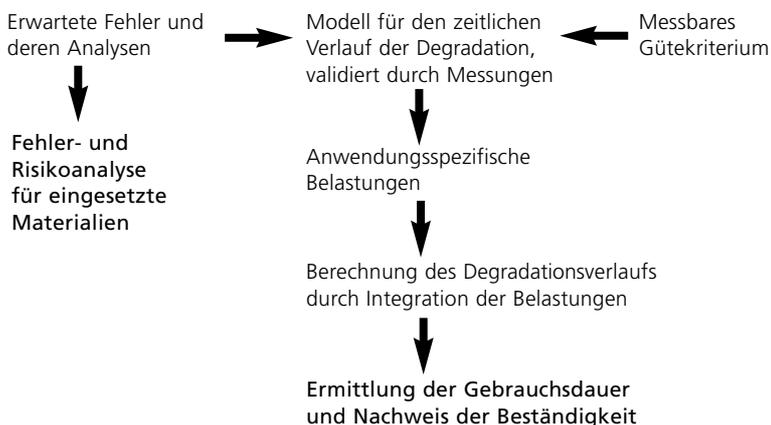


Abb. 2: Prinzipielle Vorgehensweise bei der Gebrauchsdaueranalyse. Das Ziel ist die Ermittlung der Gebrauchsdauer für den jeweiligen Anwendungsfall. Bereits die Fehler- und Risikoanalyse gibt Hinweise auf Optimierungsmöglichkeiten.

Beständigkeit ist neben dem Preis-Leistungs-Verhältnis ein zentrales Qualitätskriterium von neuen Produkten. Sie ist aus Herstellersicht wichtig zur Absicherung von Gewährleistungsverprechen und zur Identifikation von Schwachstellen. Investoren wollen Sicherheit für Ihre Geldanlage. Erst mit der Kenntnis der Gebrauchsdauer lässt sich eine vollständige Rentabilitätsbetrachtung anstellen. Wir haben aufgrund der Bedeutung des Themas mit einem starken Ausbau unserer Aktivitäten in diesem Bereich begonnen.

Beständigkeit ist die Fähigkeit eines Produktes oder Systems, seine Leistungsfähigkeit für eine bestimmte Zeit aufrecht erhalten zu können. Um zu einer Aussage über die Beständigkeit zu kommen muss zuerst ein Gütekriterium definiert werden (z. B. Absorptionsgrad eines Fassadenkollektors). Durch die Festlegung einer unteren Grenze für das Gütekriterium und der geforderten Lebensdauer werden die Anforderungen an die Beständigkeit definiert. In Abb. 1 wird verdeutlicht, dass es bei der Beurteilung der Qualität von Produkten nicht nur auf die Leistungsfähigkeit im Neuzustand ankommt, sondern auch auf die Gebrauchsdauer und den Ertrag, der über die Lebensdauer des Produktes erbracht wird.



Abb. 3: Permeations-Messung von Hoch-Barrieriefolien mittels Massenspektrometrie. Diese Folien werden beispielsweise als Rückseitenfolie für Photovoltaik-Module oder als Außenhülle für Vakuum-Isolationspaneele verwendet.

An der Grafik lässt sich auch das Dilemma erklären, in dem sich viele Investoren bei der Auftragsvergabe befinden: Bei qualitativ hochwertigen Produkten überschreitet die Lebensdauer die Gewährleistungsfrist deutlich. Dies ist bei Billig-Produkten oft nicht der Fall. Eine höhere Lebensdauer kann aber erst in die Entscheidung einbezogen werden, wenn sie quantifizierbar ist. Unser Ziel ist es, die Gebrauchsdauer bestimmter Produkte individuell für unterschiedliche Einsatzbedingungen (Wüste, Meeresklima, Gebirge) vorhersagbar zu machen.

Abb. 2 zeigt die prinzipielle Vorgehensweise bei der Gebrauchsdaueranalyse. Ausgangspunkt ist die Analyse der erwarteten Fehler/Degradationsmechanismen. Labormessungen, bei denen Stressfaktoren kontrolliert variiert werden, ermöglichen die Bestimmung der Kinetik der Degradationsprozesse. Mit Hilfe eines Modells für den zeitlichen Verlauf der Degradation der Leistungsfähigkeit ergibt sich dann aus den anwendungsspezifischen Belastungen die Gebrauchsdauer für den jeweiligen Anwendungsfall.

Parallel zur Entwicklung der Prüfmethode setzen wir gleiche Prüfmuster anwendungsnah mindestens ein Jahr lang der Freibewitterung aus. Dabei messen wir zeitaufgelöst die Probeneigen-

schaften, die Klimadaten sowie weitere Stressfaktoren, wie z. B. Probentemperaturen. Der Vergleich der Degradation bei Freibewitterung mit den Laborergebnissen ermöglicht die Validierung der Modelle für die Lebensdauerabschätzung.

Unser Schwerpunkt liegt derzeit auf Arbeiten zur Vorhersage der Gebrauchsdauer für PV-Module (Beitrag Seite 57), farbige Beschichtungen für Fassadenkollektoren sowie Vakuum-Isolations-Paneele (VIP). Im Rahmen eines VIP-Entwicklungsprojektes haben wir eine schnelle, aber hochempfindliche Messeinrichtung für die temperaturabhängige Permeation von Gasen durch Hoch-Barriere-Folien aufgebaut (siehe Abb. 3) und die temperaturabhängige Wasserdampfpermeation für ein von unseren Projektpartnern entwickeltes Folienlaminat gemessen (siehe Abb. 4). Daraus lässt sich für gegebene Außenbedingungen die Wirksamkeit der Foliendichtheit über die geforderte Lebensdauer ermitteln. Der vom Fraunhofer Institut für Mikroelektronische Schaltungen und Systeme IMS im Rahmen des Projektes entwickelte Drucksensor erlaubt es uns, den Verlauf des Innendrucks im VIP zu überwachen (Abb. 5).

Die Arbeiten werden durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie BMWi gefördert.

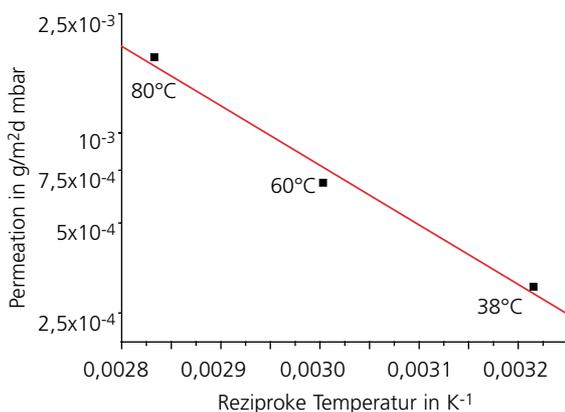


Abb. 4: Temperaturabhängige Wasserdampf-Permeation eines Hoch-Barriere-Folien-Laminates für Vakuum-Isolationspaneelen. Das Laminat besteht aus PE / PET / Al / Ormocer / Al / PE und wurde von den Projektpartnern Fraunhofer FEP, ISC, IVV hergestellt. Die als schwarze Quadrate eingetragenen Messwerte der Permeation zeigen den in logarithmischer Darstellung über der reziproken Temperatur linearen Verlauf, der typisch für eine Temperaturabhängigkeit gemäß der Arrhenius-Relation ist.

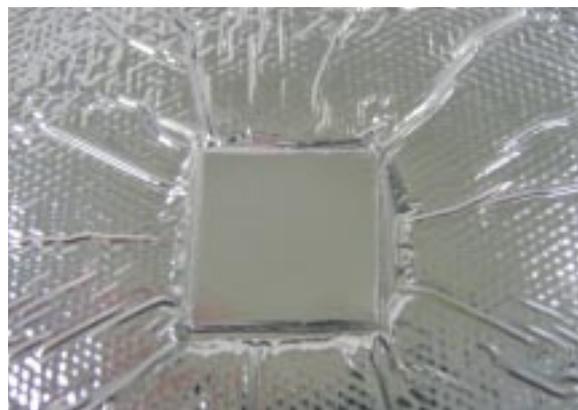
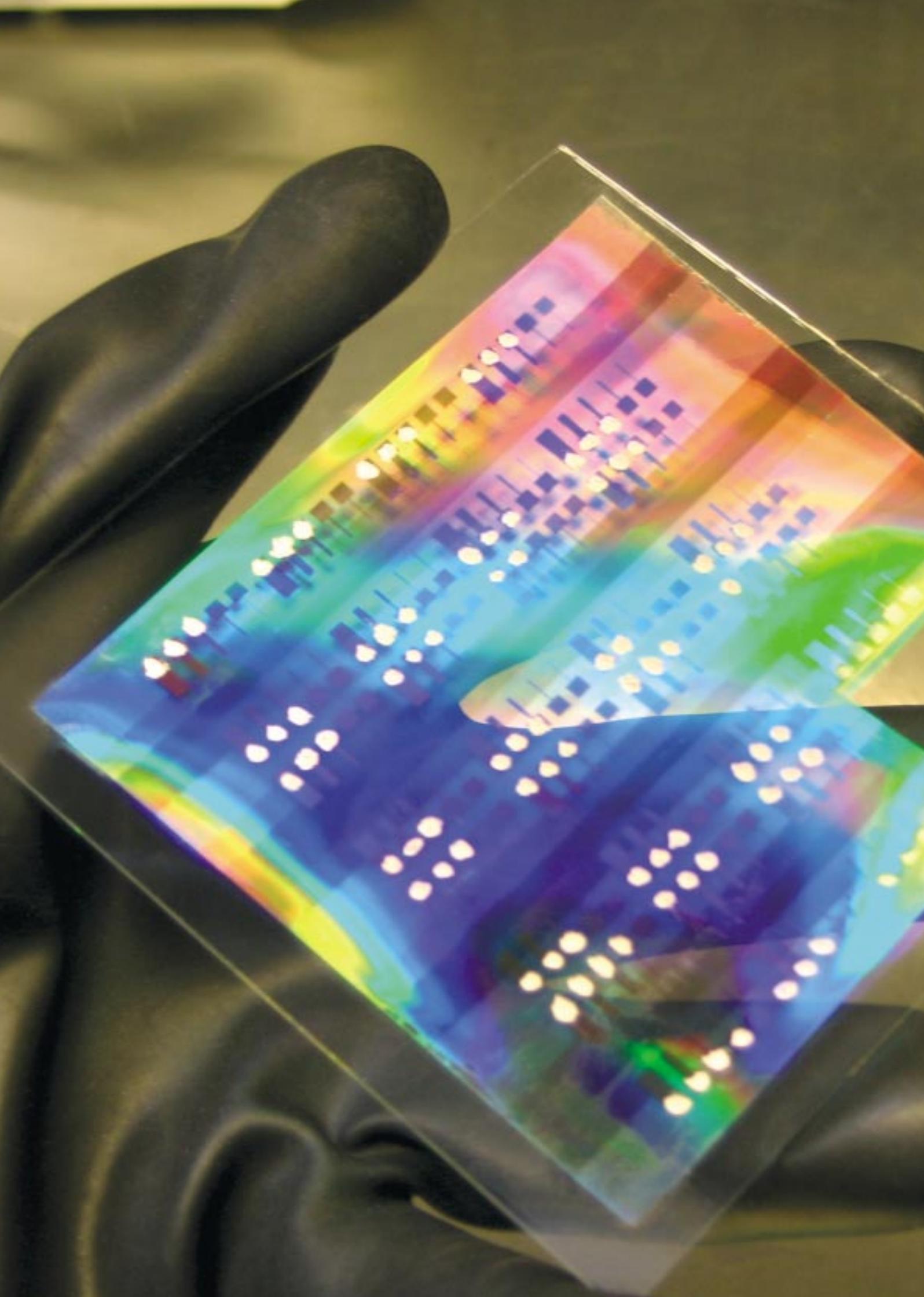


Abb. 5: Messung des Innendrucks in Vakuum-Isolationspaneelen mit mikroelektronischen Drucksensoren. Die Sensoren bestehen aus einem Chip, einer Antennenspule und einigen passiven elektronischen Bauelementen. Als Chip wird ein vom Fraunhofer-Institut für Mikroelektronische Schaltungen und Systeme IMS hergestellter Sensortransponder-ASIC (ASIC = anwendungsspezifisches IC) verwendet. Dieser hat laterale Abmessungen von 17x17 mm².



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 0,3–2,5 μm sowie die Notwendigkeit der großflächigen und kostengünstigen Herstellbarkeit von optischen Komponenten und Systemen eine Herausforderung dar. Um dieser zu begegnen, verfolgen wir oft 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 die umfassende Kenntnis solarer Energiesysteme die Voraussetzung, die am Fraunhofer ISE in Synergie besonders gut erfüllt wird.

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 sehr vielversprechend. Die Klärung grundlegender Mechanismen schaltbarer Spiegel erlaubt jetzt deren gezielte Weiterentwicklung. 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.

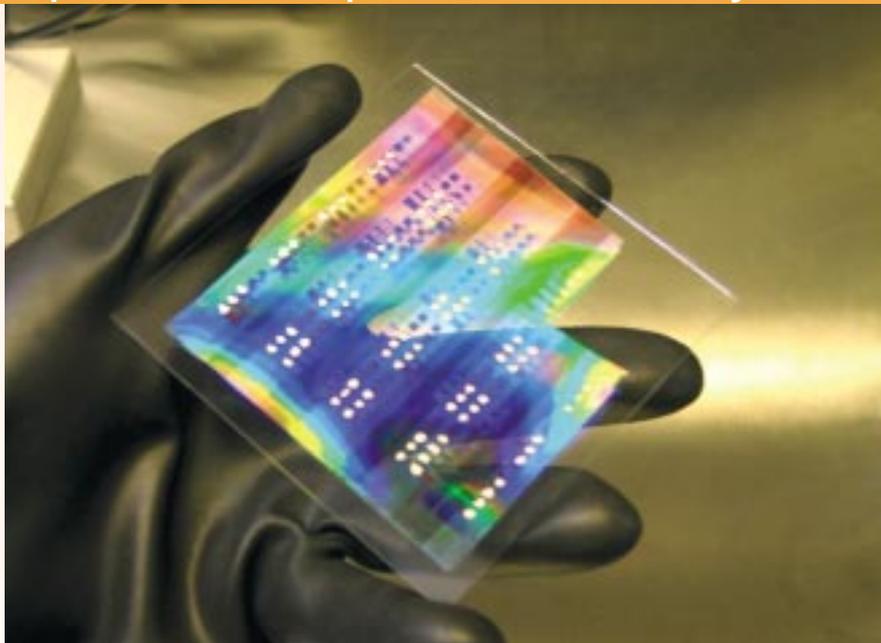
Selektive Absorberschichten solarthermischer Kollektoren (Temperaturen bis 230 °C) werden von uns seit Jahren entwickelt und in die Industrie transferiert. Als Beschichtungen in Absorberrohren von solarthermischen Kraftwerken

müssen solche Schichtsysteme aber wesentlich höhere Temperaturen von mehr als 400 °C dauerhaft aushalten. Dafür werden abhängig von der Absorberrohr-Variante zusätzliche Schichten als Diffusionsbarrieren in das Schichtsystem integriert. In photovoltaischen Konzentrator-Modulen wird die Solarstrahlung auf kleinflächige Hochleistungssolarzellen konzentriert. Wir optimieren Konzentratoroptiken hinsichtlich Wirkungsgrad und Kosten.

In den vergangenen Jahren haben wir unsere Modellierungsverfahren kontinuierlich erweitert. Sie umfassen grundlegende physikalische Modelle wie z. B. 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 industriellen 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



Neuartige opto-elektronische Bauelemente wie organische Leuchtdioden (OLED) oder organische Photodioden (OPD) werden durch die Verwendung halbleitender organischer Materialien ermöglicht. Um die Aufbauten dieser Bauelemente zu optimieren, entwickeln wir vertikal orientierte interdigitale Nanoelektroden. Im Bild zu sehen ist ein nanostrukturiertes Testsubstrat für organische Photodetektoren mit interdigitalen Titan- und Gold-Elektroden. Der Abstand der Elektroden beträgt 400 nm. In dem nachfolgenden Prozessschritt wird der organische Halbleiter aufgebracht (Beitrag S. 38).

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, Lichtlenkung und solare Konzentration	Dr. Werner Platzer	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-51 31 E-Mail: Werner.Platzer@ise.fraunhofer.de
Solare Kraftwerke Lichtlenkung und solare Konzentration	Dr. Werner Platzer	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-51 31 E-Mail: Werner.Platzer@ise.fraunhofer.de
Lichttechnik	Dipl.-Ing. Jan Wienold	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-51 33 E-Mail: Jan.Wienold@ise.fraunhofer.de
	Dr. Werner Platzer	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-51 31 E-Mail: Werner.Platzer@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
Solarzellen	Priv. Doz. Dr. Gerhard Willeke	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-52 66 E-Mail: Gerhard.Willeke@ise.fraunhofer.de

Herstellung von refraktiv-diffraktiven Mikrostrukturen

Die Strukturierung von Oberflächen eröffnet uns die Möglichkeit, gezielt deren optische Eigenschaften zu beeinflussen. Das eingesetzte interferenzlithographische Herstellungsverfahren ist auf Flächen von über einem Quadratmeter anwendbar, beschränkte sich in der Vergangenheit jedoch auf Strukturdimensionen im Bereich von 0,2 bis 10 Mikrometern. Wir untersuchten neue photoempfindliche Materialien, die es uns nun erlauben, dreidimensionale Mikrostrukturen mit Abmessungen bis 100 Mikrometern herzustellen.

Benedikt Bläsi, Andreas Gombert, Jörg Mick*

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

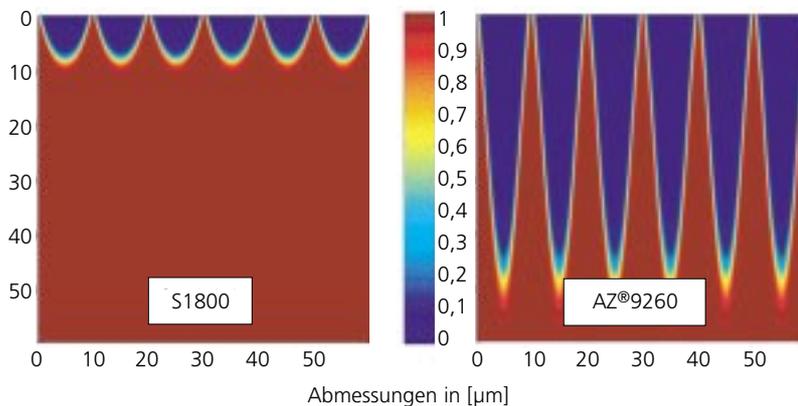


Abb. 1: Photoresistsimulation zum Vergleich von konventionellen mit neuartigen Materialien. Das Modell zeigt, dass in herkömmlichen Photoresists selbst bei einer sehr großen Belichtungs-dosis von 1 000 mJ/cm² keine Struktur-tiefen größer 10 μm erzielbar sind. Neuartige Materialien wie AZ®9260 dagegen erlauben die Herstellung großer Strukturen mit Abmessungen zwischen 10 und 100 μm .

Interferenzlithographie ist ein Verfahren zur Herstellung von mikrostrukturierten Oberflächen. Im Vergleich zu alternativen Strukturierungsverfahren ist die Interferenzlithographie im wesentlichen durch zwei Merkmale gekennzeichnet: zum einen lassen sich mit einer einzelnen Belichtung eines photoempfindlichen Materials (Photoresist) Flächen bis 1,2x1,2 m² strukturieren, zum anderen können diese periodischen Gitterstrukturen mit Abmessungen deutlich kleiner als ein Mikrometer gefertigt werden.

Die Prozessierung derart großer Flächen hat zur Folge, dass sehr geringe Belichtungsintensitäten zur Verfügung stehen. Die damit erzielbaren Struktur-tiefen sind also mit konventionellen Photoresistmaterialien auf wenige Mikrometer limitiert. Typische Anwendungen solcher Gitterstrukturen basieren somit auf diffraktiven optischen Effekten.

Der Einsatz neuartiger Photoresistmaterialien eröffnet uns die Möglichkeit, wesentlich tiefere Mikrostrukturen herzustellen. Diese Photoresists zeichnen sich durch eine äußerst geringe Eigenabsorption sowie durch eine große Empfindlichkeit im Bereich der Belichtungs-wellenlänge

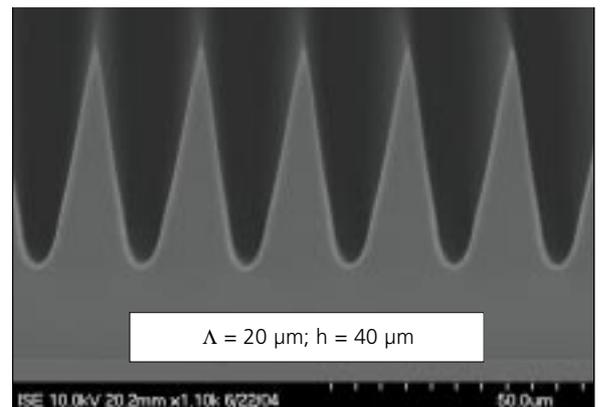


Abb. 2: Interferenzlithographisch hergestellte, symmetrische Mikrostruktur im Positivresist AZ®9260. Die Gitterperiode beträgt 20 μm bei einer Struktur-tiefe von 40 μm .

aus. Dadurch wird die begrenzt zur Verfügung stehende Belichtungsenergie ideal umgesetzt. Mit den neuen Resisttypen ist es uns erstmalig gelungen, dreidimensionale Mikrostrukturen mit Abmessungen im Bereich zwischen 10 und 100 μm mittels Interferenzlithographie herzustellen.

Untersucht wurden ein Diazonaphthochinon-Positivresist und ein chemisch verstärkter Negativresist, die sich sowohl in ihrer chemischen Wirkweise als auch in ihrer Antwortfunktion auf die einfallende Lichtstrahlung unterscheiden. Dies eröffnet ein breites Spektrum an herstellbaren Strukturprofilen. Neben den aus der Interferenzlithographie bekannten, verrundeten Mikrostrukturen sind im Negativresist NANOTMSU-8 auch binäre Strukturformen mit großen Aspektverhältnissen (Verhältnis der Strukturtiefe zur Strukturperiode) möglich.

Die Erweiterung klassischer Interferenzlithographie in Bereiche neuer Strukturdimensionen und -formen eröffnet zusätzliche Anwendungsfelder. Neben diffraktiven Effekten können nun auch refraktive optische Eigenschaften zur Funktionalisierung von Oberflächen eingesetzt

werden. Lichtlenkstrukturen spielen hierbei eine zentrale Rolle. Die in Abb. 3 dargestellten prismatischen Mikrostrukturen, die wir im Rahmen des vom Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit BMWA (bzw. Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie BMWi) geförderten Projekts MIKROFUN II entwickelten, können als Sonnenschutz und zur energieeffizienten Nutzung von Tageslicht in Gebäuden eingesetzt werden. Die Replikation der Photoresiststrukturen zu metallischen Werkzeugen, welche als Prägestempel dienen, eröffnet zudem eine kostengünstige, großtechnische Abformung der Mikrostrukturen in Folienmaterialien oder Kunststoffplatten.

Neben solaren Einsatzgebieten können Lichtlenkstrukturen auch zur Optimierung von Beleuchtungssystemen eingesetzt werden. Insbesondere in der Displayindustrie spielen solche Strukturen eine große Rolle, sowohl zur effizienten Leitung des Lichtstromes innerhalb des Displays als auch zur Auskopplung aus dem System. Hierbei stellt die interferenzlithographische Fertigung durch die neuen Strukturformen ein geeignetes Herstellungsverfahren dar, zumal nahtlose, großflächige Komponenten mit einem geringen Gewicht gefordert werden.

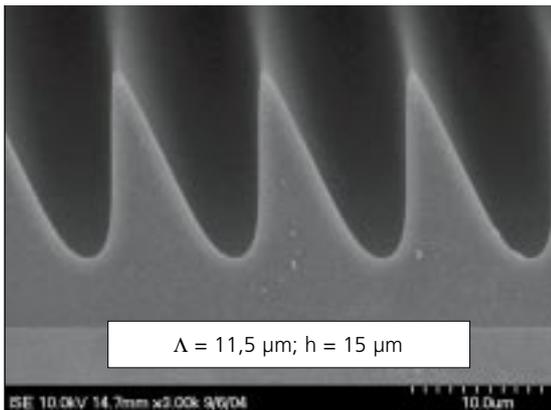


Abb. 3: Verkippte parabolische Mikrostruktur, hergestellt mittels Interferenzlithographie in AZ[®]9260. Solche Strukturen können z. B. als Compound Parabolic Concentrators mit einer selektiven Verspiegelung als winkelselektive Reflektoren eingesetzt werden. Eine weitere Anwendung ist Einfang und Umlenkung von Licht, das aus großen Winkeln auf Projektionschirme einfällt.

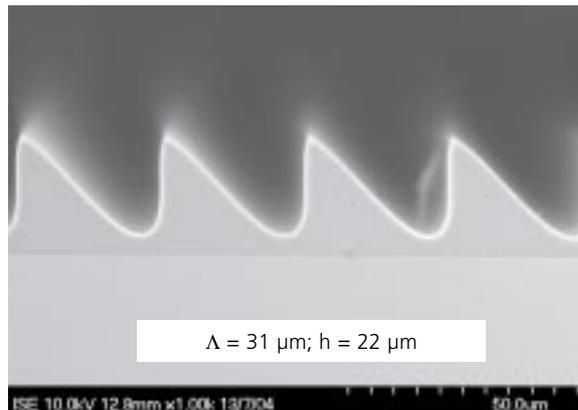


Abb. 4: Interferenzlithographisch hergestellte prismatische Mikrostruktur in AZ[®]9260. Durch die Integration derartiger Profilformen in eine Verglasung kann die Nutzung von Tageslicht optimiert werden. Zusätzliche Anwendungen liegen in Beleuchtungssystemen oder Displays.

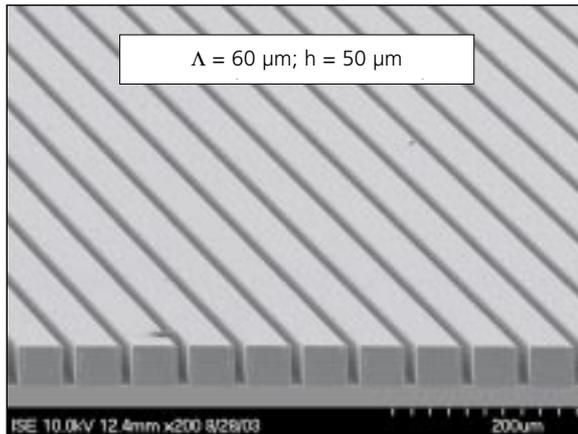


Abb. 5: Mikrostrukturen im chemisch verstärkten Photoresist NANOTMSU-8. Die Wirkweise dieses Resists ermöglicht eine starke Reduzierung der zur Strukturierung notwendigen Belichtungsenergie, wodurch Strukturiefen größer 100 μm erzielt werden können. Zudem handelt es sich um ein sehr kontrastreiches Photomaterial, womit binäre Strukturen herstellbar sind.

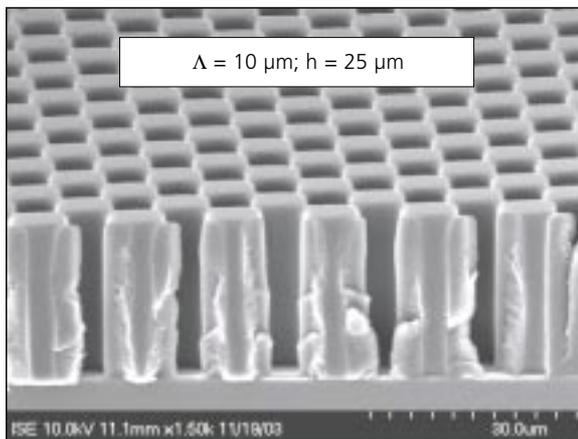


Abb. 6: Durch die Kombination zweier Belichtungen mit einem linearen Interferenzmuster können dreidimensionale Mikrostrukturen mit großem Aspektverhältnis in NANOTMSU-8 hergestellt werden. Wie im linearen Fall ermöglicht der hohe Kontrast des Photoresists nahezu senkrechte Strukturflanken.

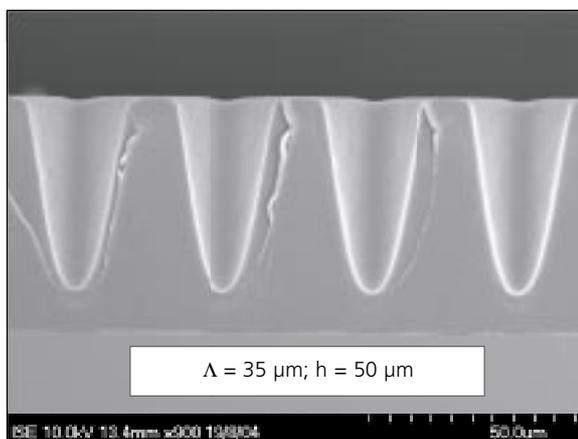


Abb. 7: Prozesstechnische Erweiterungen und eine Modifikation des Photoresists NANOTMSU-8 ermöglichen uns optional die Fertigung verrundeter Strukturanteile. Als Beispiel ist der Schnitt durch ein zweidimensionales Raster parabolischer Mikrokavitäten dargestellt. Die Herstellung erfolgt wie in Abb. 6 durch eine zweifache interferenzlithographische Belichtung.

Bewertung und Qualitätssicherung für die Optik von Photovoltaik-Konzentratorsystemen

Die Abformqualität beim Prägen von Fresnel-Linsen und die durch das Linsensystem entstehenden optischen Verluste haben entscheidenden Einfluss auf den Wirkungsgrad von Konzentrador-Photovoltaik-Modulen. Um die Qualitätssicherung für die Produktion von Fresnel-Linsen sicherstellen und zukünftige Fertigungsalternativen für Fresnel-Linsen bewerten zu können, haben wir einen optischen Messplatz für diese Aufgaben realisiert.

Johannes Herzog*, Hansjörg Lerchenmüller, **Werner Platzer**, Günter Walze, Stefan Wendlandt

* PSE GmbH Forschung Entwicklung Marketing, Freiburg

Bei den im Fraunhofer ISE entwickelten FLATCON® Konzentrador-Photovoltaik-Modulen bündeln Fresnel-Linsen direktes Sonnenlicht auf einen Brennpunkt von 2 mm Durchmesser. Durch die 500-fache Konzentration lässt sich in Konzentrador-Modulen die aktive Fläche der Solarzellen im Vergleich zu herkömmlichen Solarmodulen auf einen Bruchteil reduzieren.

Derzeit stellen wir die Fresnel-Linsen in Kooperation mit der Firma Concentrix Solar GmbH, der jüngsten Ausgründung aus dem Fraunhofer ISE, in einem manuellen Prägeprozess her. Zur Überführung der FLATCON®-Technologie in die Serienproduktion arbeiten wir an der Realisierung eines industriellen Produktionsprozesses zur Fertigung der Linsen.

Eine in FLATCON®-Modulen zum Einsatz kommende Linsenplatte besteht aus 48 Fresnel-Linsen mit einer Größe von 40x40 mm². In unserer Labor-Messeinrichtung positionieren wir die jeweils zu vermessende Fresnel-Linse durch eine Verfahreinheit unter einer parallelen Lichtquelle. Mittels eines CMOS-Sensors wird die Strahlungsverteilung der Fresnel-Linse digitalisiert und mit einer Analysesoftware ausgewertet. Mit Hilfe dieser Labor-Messeinrichtung können wir verschiedene, optionale Herstellungsverfahren bewerten. Im Produktionsprozess wird die Messeinrichtung zur Qualitätssicherung eingesetzt, um die Änderung von Prozessparametern erkennen zu können. Dieses Qualitätssicherungsverfahren ermöglicht uns die Entwicklung eines technologisch und ökonomisch optimalen Herstellungsprozesses sowie einer hochwertigen Fertigung der Fresnel-Linsen.

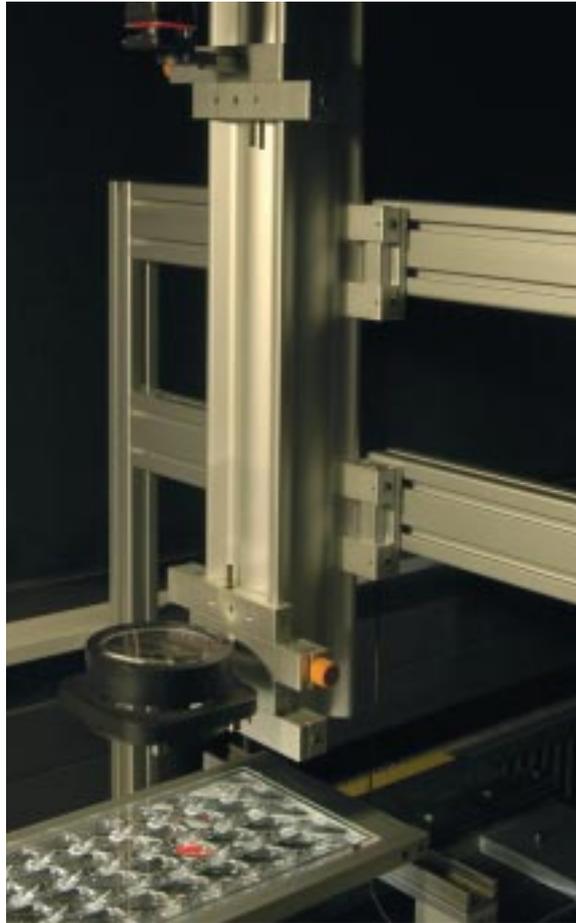


Abb. 1: Labor-Messeinrichtung zur Ermittlung der Strahlungsverteilung im Brennpunkt einer Fresnel-Linse. Die Fresnel-Linsen werden über die Verfahreinheit nacheinander mit parallelem Licht beleuchtet. Die unter der Linsenplatte befindliche CMOS-Kamera digitalisiert den dabei entstehenden Brennpunkt der jeweiligen Linse und ermittelt damit die Strahlungsverteilung.

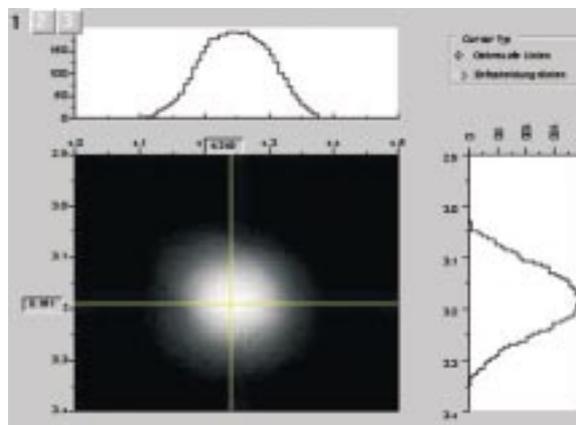


Abb. 2: Darstellung der Strahlungsverteilung einer vermessenen Fresnel-Linse im Brennpunkt. Die Qualität einer Linse wird über den sogenannten Interceptfaktor bestimmt. Dieser gibt an, welcher kumulierte Anteil der eingehenden Strahlung durch die Fresnel-Linse innerhalb eines vorgegebenen Radius konzentriert wird.

Organisches, opto-elektronisches Bauelement mit interdigitalen Nanoelektroden

Die Verwendung halbleitender organischer Materialien ermöglicht die Entwicklung neuartiger opto-elektronischer Bauelemente wie organische Leuchtdioden (OLED) oder organische Photodioden (OPD). Wir entwickeln vertikal orientierte interdigitale Nanoelektroden, die vielfältige Möglichkeiten für neuartige Aufbauten dieser Bauelemente eröffnen. So lassen sich z. B. teiltransparente Bauteile mit metallischen Elektroden als auch miteinander kombinierte organisch-elektronische Bauelemente herstellen. Die Kombination aus OLED und OPD erlaubt die Realisierung hoch integrierter Bauelemente z. B. für sensorische Anwendungen.

Benedikt Bläsi, Michael Niggemann, Andreas Gombert, Claas Müller*

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

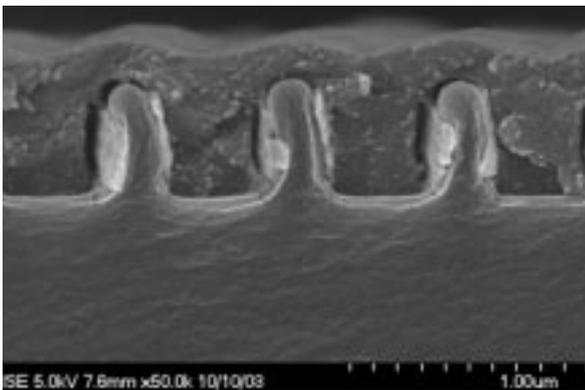


Abb. 1: Querschnitt durch eine organische Photodiode mit interdigital angeordneten Nanoelektroden aus Titan und Gold. Das strukturierte Substrat besteht aus lichttransparentem Kunststoff, der Absorber aus einem Gemisch organischer Halbleiter. Der Elektrodenabstand beträgt ca. 400 nm (Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme).

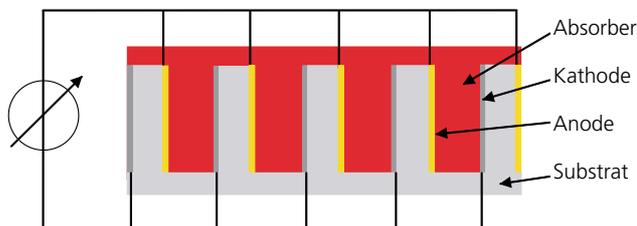


Abb. 2: Querschnittsskizze durch ein organisch opto-elektronisches Bauelement (Photodiode) mit interdigital angeordneten Nanoelektroden. Die Elektroden werden auf den Flanken des nanostrukturierten Kunststoffsubstrats (grau) abgeschieden. Abschließend wird das organische Halbleitergemisch (rot) aufgebracht.

Interdigitale Elektroden sind in der Sensorik weit verbreitet. Typische Abstände der planar angeordneten Elektroden liegen im Bereich zwischen einem und mehreren Mikrometern. Die kleinsten Abmessungen werden mit Hilfe von photolithographischen Verfahren hergestellt.

Wir haben interdigitale Nanoelektroden entwickelt, die kammartig angeordnet und vertikal orientiert sind (Abb. 2). Diese Geometrie ermöglicht sehr kleine Elektrodenabstände, die aufgrund der relativ geringen Mobilität der Ladungsträger in organischen Halbleitern erforderlich sind.

Die Nanoelektroden werden selbstjustierend auf einem vorstrukturierten Kunststoffsubstrat durch einen Beschichtungsprozess aufgebaut. Zur Substratherstellung setzen wir Interferenzlithographie und Mikroreplikationstechniken ein. Je nach Typ des organischen opto-elektronischen Bauteils können verschiedene Metallelektroden abgeschieden werden.

Basierend auf dieser Architektur haben wir eine organische Photodiode mit Elektrodenabständen von 400 nm aufgebaut (Abb. 1). Als Elektrodenmaterialien wählten wir Gold und Titan. Die Elektroden sind in die photoaktive Schicht der Photodiode eingebettet. Damit kann ein effizienter Ladungstransport erreicht werden. Die Stromdichte/Spannungs Charakteristik unter Beleuchtung ist in Abb. 3 dargestellt.

Das vielseitige Konzept interdigitaler vertikaler Nanoelektroden hat ein hohes Anwendungspotenzial für eine Fülle weiterer Bauelemente wie organische Leuchtdioden, organische Transistoren und Sensoren.

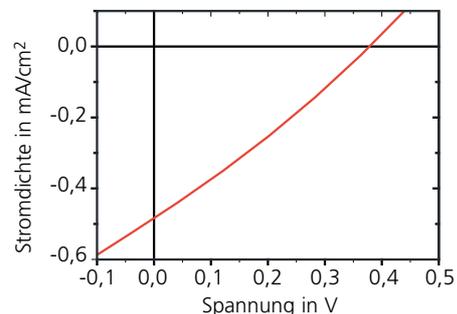


Abb. 3: Stromdichte/Spannungs-Charakteristik einer organischen Photodiode basierend auf interdigital angeordneten Nanoelektroden unter der Beleuchtung mit einer Sonne.

Durchstimmbare organische Laser auf der Basis Photonischer Kristalle (PK-Laser).

Durchstimmbare PK-Laser auf Kunststoffbasis entwickeln wir in Zusammenarbeit mit Arbeitsgruppen an den Universitäten Karlsruhe und Kassel. Am Fraunhofer ISE modellieren wir die optischen Eigenschaften der Laser und erzeugen interferenzlithographisch mikrostrukturierte Kunststoffsubstrate, die als Grundlage für die organischen Laser dienen.

Karen Forberich, **Andreas Gombert**

Organische PK-Laser werden durch Aufbringen eines organischen Halbleiters auf ein mikrostrukturiertes Kunststoffsubstrat hergestellt. Wird der Farbstoff optisch gepumpt, streuen die Mikrostrukturen einen Teil des vom Halbleiter emittierten Lichtes in Phase zurück. Es kommt zu der für die Lasertätigkeit notwendigen Rückkopplung und Verstärkung (Abb. 1). Die Moden eines solchen Lasers konnten wir durch Bandstrukturrechnungen bestimmen. Die Berechnung der effektiven Verstärkung, d. h. des Überlappens zwischen dem aktiven Lasermaterial und der Intensität sowie der aktiven Verluste ermöglichte es uns, die Mode mit den geringsten Verlusten als die Lasermode zu identifizieren.

Die Laserwellenlänge wird durch die Periode der Mikrostruktur, den Brechungsindex des Halbleiters und die Schichtdicke der aufgetragenen Farbstoffschicht bestimmt. Durch eine lokale Variation der Periode können daher auf einem mikrostrukturierten Substrat verschiedene Laserwellenlängen und somit durchstimmbare Laser erzeugt werden. Wir stellen die mikrostrukturierten Substrate durch Interferenzlithographie und Mikroreplikation her. Unter anderem wurde ein automatisierter Belichtungsaufbau konstruiert

und gebaut, mit dem auf einem Substrat einzelne Felder mit kontinuierlich variierenden Perioden erzeugt werden können (Abb. 2). Dieser Belichtungsautomat erlaubt eine schnelle Optimierung von interferenzlithographisch hergestellten Gitterstrukturen.

Die Arbeiten zu durchstimmbaren PK-Lasern wurden durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung BMBF gefördert.

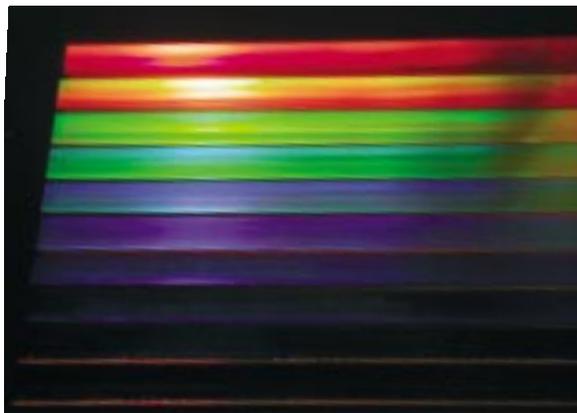


Abb. 2: Mittels eines Belichtungsautomaten hergestellte Felder mit Gittern kontinuierlich variierender Periode. Mit Substraten, die hiervon abgeformt werden, lassen sich durchstimmbare Laser herstellen.

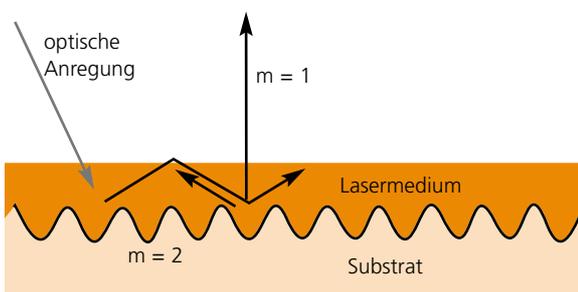


Abb. 1: Funktionsprinzip eines organischen Lasers auf der Basis Photonischer Kristalle. Ein organischer Laserfarbstoff wird auf ein repliziertes mikrostrukturiertes Substrat aufgebracht. Aufgrund der Beugung am Substrat kommt es zu verteilter Rückkopplung, wodurch das Substrat die Rolle eines Laserresonators übernimmt.

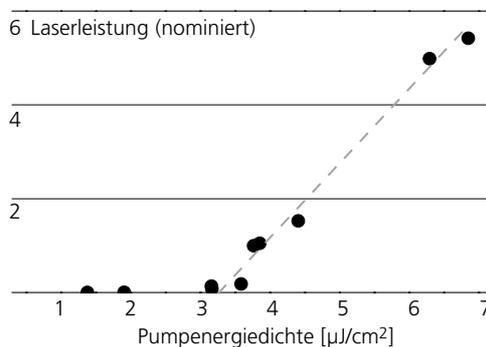


Abb. 3: Laserschwelle eines organischen PK-Lasers, hergestellt durch Beschichten eines mikroreplizierten, zweidimensionalen Oberflächenrelief-Gitters mit dem Laserfarbstoff $\text{Alq}_3\text{:DCM}$.



Solarzellen

Die Photovoltaik erlebt seit zehn Jahren insbesondere durch die gezielten Markteinführungsprogramme in Japan und Deutschland einen Boom: die weltweit installierte Spitzenleistung ist in diesem Zeitraum von wenigen hundert MW auf nahezu 4 GW angewachsen.

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

Finanziert durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit BMU (ca. 12 Mio Euro) und die Fraunhofer-Gesellschaft (2 Mio Euro) richten wir derzeit ein Photovoltaik Technologie Evaluationscenter PV-TEC ein. Auf 1 200 m² Laborfläche wird der Photovoltaik-Industrie Forschung, Entwicklung und Service in einer neuen Dimension angeboten, nämlich im Produktionsmaßstab. Flexible Automatisierung von Prozessinseln erlaubt Experimente mit hoher statistischer Relevanz, bei Durchsätzen bis 1 000 Wafern/Stunde sowie bei Wafergrößen bis 210 mm Kantenlänge und Waferdicken deutlich unter 200 µm.

Um den Einsatz des relativ teuren und in den nächsten zwei Jahren relativ knappen Ausgangsmaterials (weitere Produktionskapazitäten werden gerade erst aufgebaut) zu reduzieren, werden die Siliciumscheiben immer dünner. Durch angepasste Zellstrukturen erreichen wir dennoch konstant hohe, ja selbst steigende Wirkungsgrade mit abnehmender Waferdicke. Wir sind Vorreiter bei Hochleistungs-Solarzellen aus ultradünnen flexiblen 40 µm-Wafern, die in unserem Technikum bereits komplett prozessiert werden. Wir arbeiten bereits an Verfahren zur direkten Herstellung dieser dünnen Folien aus Kristallen.

Bei der kristallinen Silicium-Dünnschicht-Solarzelle forschen wir verstärkt am Konzept des Waferäquivalents. Dabei wird aus siliciumhaltigem Gas eine hochwertige Dünnschicht auf kostengünstigen Substraten abgeschieden. Das Resultat sieht aus wie ein Wafer und lässt sich in einer konventionellen Fertigungsstraße entsprechend zu Solarzellen verarbeiten. Das siliciumhaltige Gas ist praktisch unbegrenzt verfügbar. Die experimentellen Ergebnisse sind vielversprechend.

Als zweites Materialsegment bearbeiten wir III-V Halbleiter wie Galliumarsenid. Es steht derzeit noch für einen Spezialmarkt, der mit den Stichworten Weltraum, optische Konzentration, Sonderanwendungen beschrieben werden kann. Für die extraterrestrische Anwendung arbeiten wir an strahlungsresistenten Tandem- und Tripelzellen. Für den terrestrischen Einsatz entwickeln wir Konzentratorzellen für höchste optische Konzentrationsfaktoren. Mit unserer jüngsten Spin-off-Firma Concentrix Solar GmbH bringen wir in den nächsten zwei Jahren unsere höchsteffiziente FLATCON®-Konzentrator-technologie in den Markt.

Ein drittes Materialsegment sind Farbstoff- und Organische Solarzellen. Insbesondere 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. Neben der Langzeitstabilität muss aber auch die Skalierbarkeit dieser Technologie auf Modulflächen > 0,5 m² noch gezeigt werden. Die im Stadium der Grundlagenforschung befindlichen Organischen Solarzellen eröffnen unter anderem durch ihre mechanische Flexibilität neue Einsatzgebiete. Aufgrund ihrer prinzipiell niedrigen Herstellungskosten eignen sie sich als Spannungsquelle für kurzlebige Produkte. In Kombination mit gedruckter organischer Elektronik bieten sie interessante Integrationsmöglichkeiten in Verpackungsmaterialien und Textilien. Mit erweitertem theoretischen Verständnis und einer automatisierten Charakterisierungslinie können wir jetzt diese neuartigen Solarzellen hinsichtlich Effizienz und kostengünstiger Herstellung optimieren.

Solarzellen müssen zum Schutz vor Umwelteinflüssen langfristig stabil gekapselt werden, ein Bereich, in dem deutliche Qualitätserhöhungs- und Kostensenkungspotenziale vorhanden sind. Wir arbeiten an neuen Modulkonzepten, Verarbeitungsverfahren und Materialkombinationen auch für dünnere und 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.



Photovoltaik Technologie Evaluationscenter PV-TEC. Die mit 11,7 Millionen Euro aus dem Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit BMU unterstützte Evaluationslinie für die Solarzellenproduktion wird im März 2006 eingeweiht werden. Zu den vom Bund bereitgestellten Mitteln kommen weitere zwei Millionen Euro, die das Fraunhofer ISE mit Unterstützung der Fraunhofer-Gesellschaft selbst aufbringt. Solarzellenhersteller sowie Hersteller von Anlagen werden in dieser Service-Einrichtung die Möglichkeit haben, neuartige Produktionstechnologien für Silicium-Solarzellen auf hoher statistischer Basis zu testen, ohne den Betrieb ihrer eigenen Produktionslinie unterbrechen zu müssen. Somit dient PV-TEC dem sehr schnellen Technologietransfer in der Solarzellenindustrie und untermauert die führende Stellung der deutschen Industrie und Forschung in diesem wichtigen Bereich (s. auch Beitrag S. 46/47).

Ansprechpartner

Wafertechnologie	Dr. Achim Eyer	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-52 61 E-Mail: Achim.Eyer@ise.fraunhofer.de
	Dr. Daniel Kray	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-53 55 E-Mail: Daniel.Kray@ise.fraunhofer.de
Kristalline Silicium-Hocheffizienz solarzellen	Dr. Stefan Glunz	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-51 91 E-Mail: Stefan.Glunz@ise.fraunhofer.de
Kristalline Silicium-Dünnschicht solarzellen	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
III-V-Solarzellen und Epitaxie	Dr. Andreas Bett	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-52 57 E-Mail: Andreas.Bett@ise.fraunhofer.de
	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	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

Übergreifende Koordination

Solarzellen	Priv. Doz. 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

Dielektrische Schichten zur Rückseiten-Passivierung hocheffizienter Solarzellen

Siliciumsolarzellen mit einer dielektrisch passivierten Rückseite bieten ein sehr hohes Wirkungsgradpotenzial. Unser Ziel ist die Optimierung dieser isolierenden Schichten im Hinblick auf ihre elektrische und optische Qualität, aber auch auf ihre Kompatibilität mit einem industriellen Fertigungsprozess und mit niedrigeren Materialqualitäten. Dabei konnten wir mit Schichtmaterialien wie amorphem Silicium, Siliciumnitrid und Siliciumkarbid internationale Bestwerte erreichen.

Stefan Glunz, Andreas Grohe, Marc Hofmann, Stefan Janz, Franz-Josef Kamerewerd, Antonio Leimenstoll, Ralf Preu, Thomas Roth, Oliver Schultz, Sonja Seitz, Siwita Wassie, Gerhard Willeke

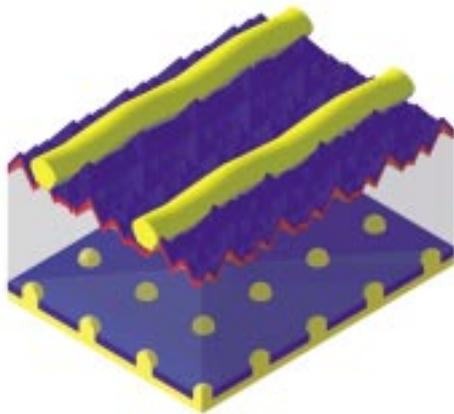


Abb. 1: Struktur einer rückseitig passivierten Siliciumsolarzelle. Die rückseitigen Punktkontakte wurden mit einem Laser durch die neu entwickelten Passivierungsschichten ge feuert (LFC-Prozess).

Rückseitenschicht	V_{oc} [mV]	J_{sc} [mA/cm ²]	FF [%]	η [%]
Siliciumnitrid	672	38,8	79,0	20,6
Amorphes Silicium	675	39,2	80,6	21,3 ¹
Siliciumkarbid	665	37,5	80,3	20,2 ¹

Tabelle 1: Ergebnisse von LFC-kontaktierten Solarzellen mit unterschiedlichen Rückseitenpassivierungen. (¹ = unabhängig bestätigte Ergebnisse)

In der industriellen Massenfertigung wird die Rückseite von Siliciumsolarzellen ganzflächig mit Metall kontaktiert. Forschungsergebnisse zeigen, dass sich das Wirkungsgradpotenzial erhöht, wenn die Zellrückseite nur punktwise kontaktiert wird, während die restliche Fläche mit einer isolierenden Schicht elektrisch passiviert wird. Eine solche Rückseite verringert die Rekombination von Ladungsträgern und dient gleichzeitig als sehr guter optischer Spiegel, so dass tief eindringendes Licht in die Zelle zurückgeworfen wird.

Einer unserer Forschungsschwerpunkte ist die Optimierung der dafür benötigten dielektrischen Schichten. Bei den besten Rekordzellen auf monokristallinem Silicium wird thermisch gewachsenes Siliciumdioxid verwendet. Das kann allerdings bei Prozesstemperaturen von über 1 000 °C bei multikristallinem Silicium zu einer starken Reduzierung der Materialqualität führen. Unser Ziel ist daher die Reduktion der Prozess-temperaturen. Mit plasmaunterstützten Gasphasen-Abscheidungen (PECVD) im Temperaturbereich zwischen 200 °C und 400 °C haben wir unterschiedliche Schichtmaterialien wie Siliciumnitrid, Siliciumkarbid oder amorphes Silicium auf der Rückseite von Zellen abgeschieden. Danach wurde mit dem am Fraunhofer ISE entwickelten und patentierten Laser-Fired Contact (LFC) Prozess die Punktkontaktierung auf der Rückseite hergestellt. Mit dem in der industriellen Massenfertigung bereits für die Solarzellenvorderseite verwendeten Siliciumnitridschichten konnten wir so einen Wirkungsgrad von 20,6% erreichen. Die Qualität dieser Rückseite liegt zwar schon weit über der einer industriellen Solarzelle, aber verglichen mit dem Referenzwert von 21,9% von Zellen mit einer Passivierungsschicht aus thermisch gewachsenen Siliciumdioxid zeigte sich weiterer Optimierungsbedarf. Reduzierten wir den Stickstoffgehalt so stark, dass sich eine amorphe Siliciumschicht ergab, so steigt der Wirkungsgrad bis auf Werte von 21,3%, einem Rekordwert für »kalt« passivierte Solarzellen. Ein weiteres interessantes Schichtmaterial, mit dem wir weltweit erstmals einen Wirkungsgrad von über 20% erreichen konnten, ist Siliciumkarbid. Diese Schichten zeichnen sich durch eine höhere thermische Stabilität aus, was die Integration in eine industrielle Prozessfolge vereinfachen sollte.

Hocheffiziente Silicium-Konzentratorsolarzellen mit angepasstem optischen Konzentratorelement

In photovoltaischen Konzentratorsystemen wird durch den Einsatz von kostengünstigen Optiken wie Spiegeln und Linsen das Sonnenlicht auf die Solarzellen fokussiert, um die Solarzellenfläche stark reduzieren zu können. Will man in einachsigen nachgeführten Systemen hohe Konzentrationen erreichen, muss mit einer zweiten Konzentratorstufe gearbeitet werden. Am Fraunhofer ISE entwickeln wir trichterförmige optische Elemente als Nachkonzentrator zusammen mit den angekoppelten hocheffizienten Siliciumsolarzellen.

Armin Bösch, **Stefan Glunz**,
Antonio Leimenstoll, Franz-Josef Kamerewerd,
Andreas Mohr, Thomas Roth, Gerald Siefer,
Gerhard Willeke

In Photovoltaik-Konzentratorsystemen wird das direkte Sonnenlicht mit Hilfe von Optiken auf die Solarzelle fokussiert. Dazu müssen diese Systeme der Sonne nachgeführt werden. Zur Erzielung eines hohen Konzentrationsfaktors wird in der Regel um zwei Achsen nachgeführt. Eine mögliche Variante hierfür sind Systeme, die aus Vor- und Nachkonzentratoren bestehen. Damit können trotz einachsiger Nachführung hohe Konzentrationen von 300 erreicht werden. Allerdings muss die zweite Konzentratorstufe einen Akzeptanzwinkel von $\pm 23,5^\circ$ aufweisen, damit der unterschiedliche Sonnenstand vom Winter zum Sommer ausgeglichen werden kann.

Am Fraunhofer ISE entwickeln wir trichterförmige optische Elemente als zweite Konzentratorstufe zusammen mit den zugehörigen Siliciumsolarzellen. Die optischen Elemente – sogenannte Compound Parabolic Concentrators (CPCs) – sind so gestaltet, dass sie die Lichtkonzentration des Vorkonzentrators um einen Faktor 7,7 erhöhen.

Am Ausgang der CPCs sitzen die speziell für hohe Konzentrationen von 300 entwickelten $4,5 \times 4,5 \text{ mm}^2$ großen RLCC Silicium-Konzentratorsolarzellen (Rear Line Contacted Concentrator Cells), welche einen Spitzenwirkungsgrad von 25% bei 100facher Lichtkonzentration erreichen. Da die Solarzellen direkt an die Rückseite der CPCs montiert werden, ist es zweckmäßig, beide elektrischen Kontakte auf die Rückseite der Zelle zu legen. Dies hat den Vorteil, dass keine Abschattung durch die Kontakte erzeugt wird und die CPCs einfach auf die Zelle montiert

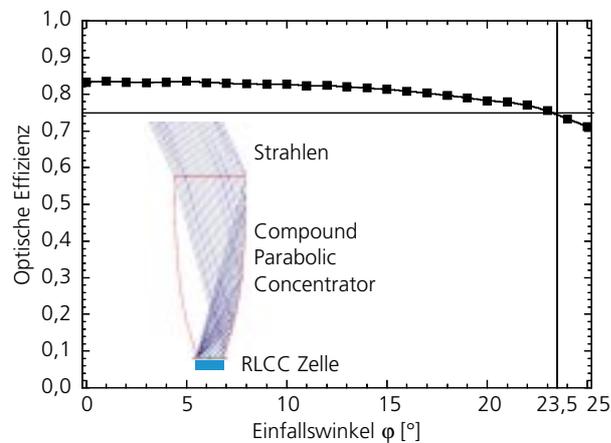


Abb. 1: Die zweite Konzentratorstufe – Compound Parabolic Concentrator (CPC) – wird direkt auf die Silicium-Konzentratorsolarzelle mit einem optisch transparenten Kleber montiert und konzentriert das Sonnenlicht über interne Totalreflexion auf die Solarzelle. Die CPCs besitzen einen optischen Akzeptanzwinkel von $\pm 23,5^\circ$, um das einachsigen nachgeführte System der Ekliptik der Sonne anzupassen. Mittels winkelabhängiger optischer Messungen konnte sicher gestellt werden, dass die CPCs die gewünschte Akzeptanzwinkel-Bedingung von $\pm 23,5^\circ$ erfüllen.

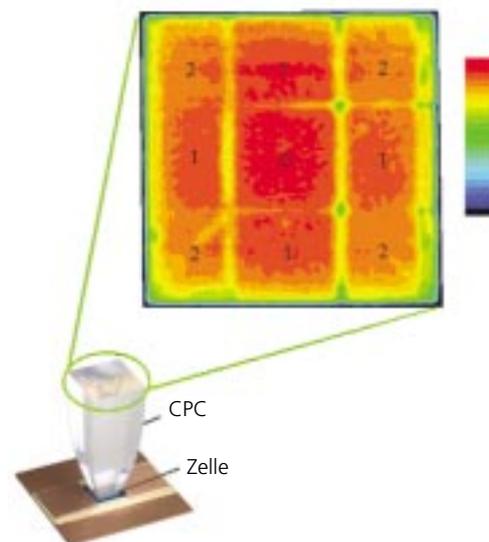


Abb. 2: Der Einsatz eines rasternden Lasersystems erlaubt die Darstellung aller optischen Verluste des trichterförmigen Kunststoffelements. Hierzu gehören Reflexionen an der Vorderseite des Compound Parabolic Concentrator (CPC), Absorptionsverluste im CPC, Reflexionsverluste im CPC und Auskopplungsverluste zwischen Zelle und CPC. Wichtig ist insbesondere die Unterscheidung der Bereiche mit direktem Strahlendurchgang (0), ein- (1) und zweifacher (2) interner Reflexion. Die gelben Linien zwischen diesen Bereichen zeigen die größten optischen Verluste durch Auskopplung des Lichts. Diese entstehen an den Randzonen im Übergangsbereich vom CPC zur Solarzelle.

werden können. Die von uns entwickelten RLCC Zellen in Kombination mit der zweiten Konzentratorstufe weisen Wirkungsgrade von 21% auf. Die Entwicklung wurde von der Europäischen Union gefördert.

Fertigungstechnologien für kristalline Siliciumsolarzellen

Wir entwickeln Produktionstechnologien für kristalline Siliciumsolarzellen. Unser Fokus liegt hierbei auf dem Material schonenden Umgang mit den Siliciumscheiben sowie der Umsetzung hocheffizienter Solarzellenstrukturen und auf dem Einsatz von hochproduktiven und kostengünstigen Verfahren. Unsere Entwicklungen führen zu hohen Wirkungsgraden mit industrietauglichen Prozessen und können kurz- bis mittelfristig in die Fertigung übertragen werden.

Jan Benick, Daniel Biro, Gernot Emanuel, Denis Erath, Ansgar Mette, Alexander Pohl, Jochen Rentsch, Ricardo Ruiz, Catherine Voyer, Kai Wagner, Ralf Preu*

* PSE Projektgesellschaft Solare Energiesysteme mbH, Freiburg

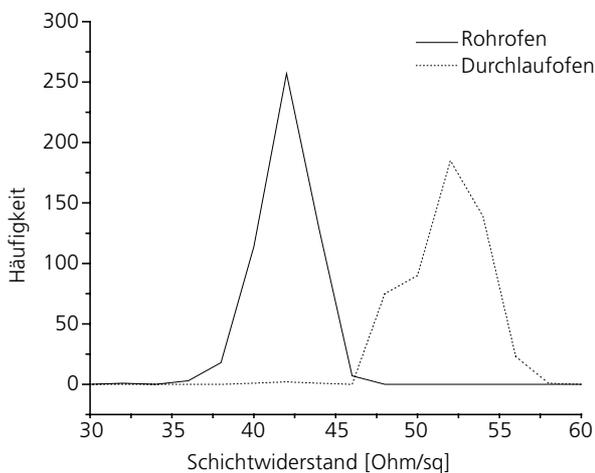
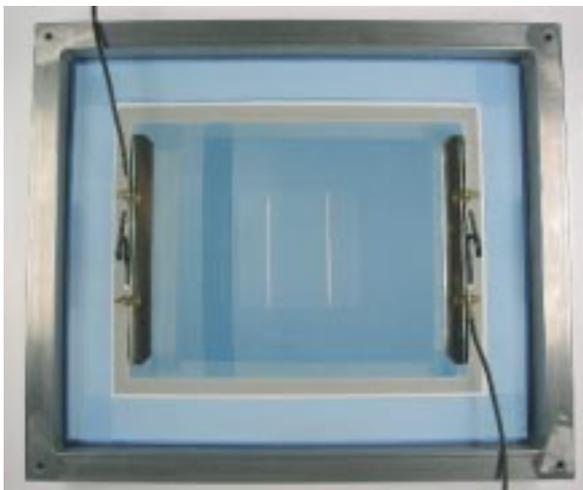


Abb. 1: Vergleich der Schichtwiderstandsverteilung eines Wafers, der einmal im Durchlaufofen gepunktete Linie) und einmal im Rohrofen (durchgängige Linie) diffundiert wurde. Auch mit dem Sprühverfahren lassen sich hinreichend homogene Schichtwiderstandswerte erreichen.



Im Bereich der Technologieentwicklung von kristallinen Silicium-Wafersolarzellen setzen wir deshalb unseren Fokus auf eine bruchmindernde Handhabung und Prozessierung sowie die Umsetzung hocheffizienter Strukturen und den Einsatz von hochproduktiven und kostengünstigen Verfahren. Zwei Beispiele:

Für das in der Photovoltaik überwiegend eingesetzte bor-basisdotierte Siliciummaterial stellt die emittererzeugende Phosphordiffusion den zentralen Prozessschritt dar. Das am weitesten verbreitete Verfahren ist die Rohrofendiffusion, bei der mehrere hundert Siliciumscheiben zeitgleich in einem Quarzrohr prozessiert werden. Die Scheiben werden durch Einbringen eines phosphorhaltigen Prozessgases mit einem phosphorhaltigen Glas belegt, aus dem dann Phosphor oberflächennah (ca. 1 μm tief) eindiffundiert. Durch die zeitgleiche Prozessierung und die besondere Anordnung der Scheiben zur Erzielung hoher Packungsdichten ist die Handhabung zur Beschickung des Ofens extrem aufwendig. Als Alternative haben wir ein Durchlaufverfahren entwickelt, in dem die Scheiben zuerst mit einem kostengünstigen Dotierstoff besprüht werden. Es ist uns gelungen, mit geringen Zusätzen Phosphorsäure so zu modifizieren, dass ein sehr homogenes Phosphorglas gebildet werden kann. Auch die Transporteinheit des Durchlaufdiffusionsofens beruht auf einer unserer Entwicklungen. Anstelle des üblichen metallischen Kettenbandes setzen wir über die gesamte Ofenlänge gespannte Schnüre aus keramischen Fasern ein. Das jeweils obere Schnurpaar bewegt sich in Transportrichtung. Mit diesem Ofensystem vermeiden wir nicht nur metallische Kontamination, sondern verringern auch signifikant die zum Erhitzen und Abkühlen notwendige Energie. Auf die Herstellung von Solarzellen aus texturiertem Cz-Silicium angewendet, erreichen wir einen sehr guten Wirkungsgrad von 17,5 Prozent, entsprechend dem hohen Niveau bei herkömmlicher Rohrdiffusion.

Abb. 2: Für die Verwendung von hochschmelzenden Pasten muss die Druckumgebung auf das Drucken bei erhöhten Temperaturen im Bereich 50-80 °C angepasst werden. Hier ist ein beheizbares Trampolinsieb zu sehen.

Ein wichtiger Ansatzpunkt zur Steigerung des Wirkungsgrades ist die Reduktion der Abschattung durch die Vorderseitenkontakte und des Widerstandes in der Kontaktstruktur. Die in der Industrie vorherrschende Methode zur Kontaktierung der Solarzellenvorderseite ist der selektive Siebdruck einer hochviskosen Silberleitpaste. In einem nachfolgenden Sinterschritt wird der spezifische Leitwert der Paste erhöht und ein guter elektrischer Kontakt zum Silicium hergestellt. Dieses Verfahren ergibt Kontaktstrukturen, die üblicherweise 120–140 μm breit und 8–10 μm hoch sind. Am Fraunhofer ISE haben wir ein Verfahren entwickelt, mit dem wir Kontaktfingerhöhe und -leitwert vervierfachen konnten. Basis dieser Entwicklung ist der Einsatz von hochschmelzenden Pasten in Zusammenhang mit entsprechenden Modifikationen der Druckumgebung. Auf Solarzellen angewendet, konnten wir mit dem von uns entwickelten Verfahren einen Spitzen-Wirkungsgrad von 18,0 Prozent auf industrieeüblichen Solarzellen aus texturiertem Cz-gezogenem und 15,8 Prozent auf untexturiertem multikristallinem Silicium erreichen. Dieser Wert liegt 2% relativ über jenem unter Verwendung des herkömmlichen Siebdruckpasten-Verfahrens. Die Verfahren sollen kurz- bis mittelfristig in die Produktion umgesetzt werden. Hierfür werden wir zukünftig auf unser neues Großlabor PV-TEC mit über 1 200 m^2 Nutzfläche zurückgreifen können, das wir derzeit mit finanzieller Unterstützung des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit BMU und von FhG-Eigenmitteln in der Nähe des Fraunhofer ISE aufbauen.

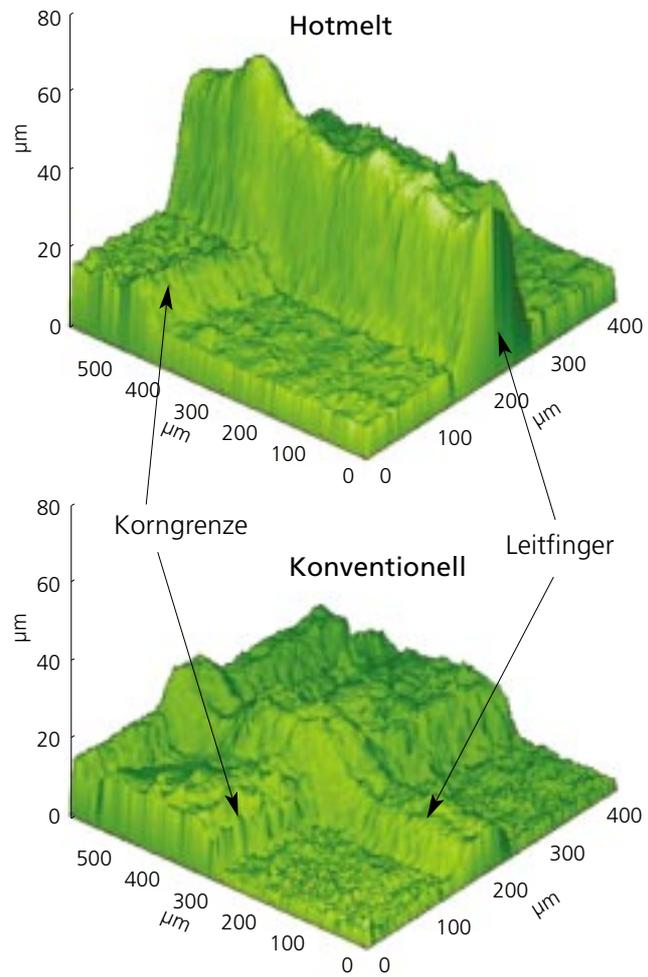


Abb. 3: Durch die Verwendung hochschmelzender Pasten kann der Auftrag deutlich gesteigert werden. Die Abbildung zeigt Topographien von je einem mit einer hochschmelzenden und einer normalen silberhaltigen Paste gedruckten Kontaktfingerausschnitts auf multikristallinem Silicium.

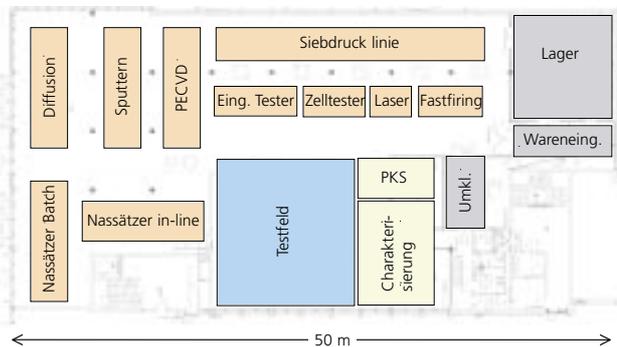


Abb. 4: Das Layout des neuen Photovoltaik Technologie Evaluationscenters PV-TEC. Es stehen 1 200 m^2 sehr gut ausgerüsteter Laborfläche zur Verfügung. Alle Prozessanlagen haben eine Kapazität von mindestens 200 Wafer/ Stunde. Räumlich direkt neben der Basiseinrichtung können auf einem Testfeld neue Technologien evaluiert werden.

Verhalten von Rekombinationszentren im Solarzellenprozess

Der Wirkungsgrad von multikristallinen Silicium-Solarzellen wird durch Rekombination begrenzt. Dabei wirken sowohl Verunreinigungen des Materials als auch ausgedehnte Defekte als Rekombinationszentren. Wir haben eine neue Untersuchungsmethode entwickelt, die es ermöglicht, das Verhalten dieser Rekombinationszentren im Prozess zu verfolgen.

Dietmar Borchert, Markus Rinio, Stefan Müller, Elmar Zippel, Mark Scholz

Multikristallines Silicium ist das dominierende Halbleitermaterial in der Photovoltaikindustrie. Die Wirkungsgrade multikristalliner Solarzellen werden im Wesentlichen durch Rekombination von Ladungsträgern im Volumen der Zelle limitiert. Im Material wirken sowohl lokalisierte Verunreinigungen als auch ausgedehnte Defekte wie Versetzungen oder Korngrenzen als Rekombinationszentren. Das Verhalten dieser Rekombinationszentren ändert sich im Herstellungsprozess.

Zur Untersuchung des Einflusses von Defekten auf den Wirkungsgrad setzen wir die LBIC (Light Beam Induced Current)-Methode an der fertigen Zelle ein. Sie ermöglicht eine hohe Ortsauflösung und erlaubt dadurch die gezielte Beobachtung der einzelnen Defekttypen.

So lassen sich zum Beispiel im Vergleich mit Ätzbildern Versetzungscluster im LBIC-Bild leicht identifizieren und ihr Einfluss auf die Solarzellenqualität kann bestimmt werden (Abb. 1).

Die Anwendung des LBIC-Verfahrens setzt aber immer voraus, dass eine fertige Solarzelle vorliegt. So ist es nicht möglich, mit diesem Verfahren zum Beispiel das Ausgangsmaterial zu charakterisieren. Wir sind diesem Nachteil mit der Entwicklung eines speziellen Präparationsverfahrens begegnet, das es uns erlaubt, Solarzellen zu fertigen, ohne das Material zu verändern. So können wir jetzt mit unserem hochauflösenden LBIC-Messplatz Untersuchungen an unterschiedlichen Stellen in einem Solarzellenprozess durchführen (Abb. 2). Unser Verfahren gibt somit Zellherstellern die Möglichkeit, detailliert den Einfluss einzelner Prozessschritte auf die Materialqualität zu analysieren.

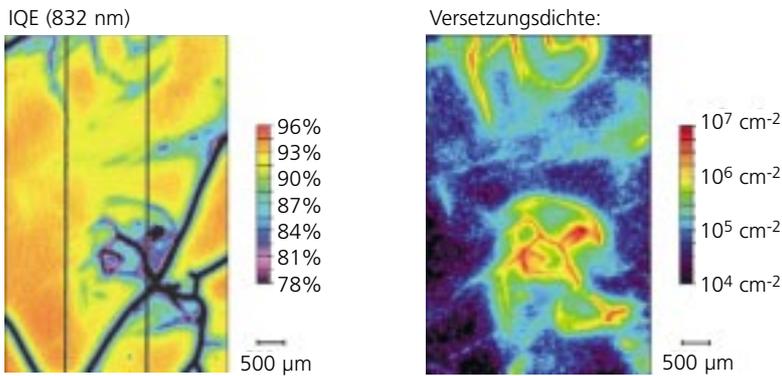


Abb. 1: LBIC- und Versetzungsdichtetopogramm desselben Probenausschnitts. Das LBIC-Topogramm zeigt den Anteil im Volumen genutzter Photonen (interne Quanteneffizienz, IQE) bei einer Wellenlänge von 832 nm. Die IQE wird in großen Teilen von der Versetzungsdichte limitiert. Hohe Versetzungsdichten reduzieren die IQE und damit die Solarzellenqualität. Durch Korrelation beider Topogramme lässt sich die negative Auswirkung einzelner Versetzungscluster messen. Im IQE-Topogramm sind außerdem Korngrenzen (breite schwarze Linien) und Kontaktfinger (dünne gerade Linien) zu sehen.

IQE (832 nm):

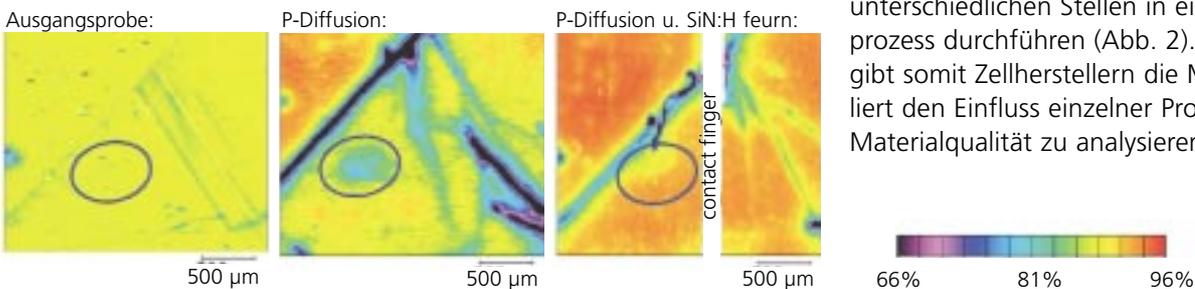


Abb. 2: LBIC-Topogramme an drei Siliciumscheiben, welche benachbart aus dem selben Block geschnitten wurden. Alle Scheiben enthalten dieselbe Verteilung ausgedehnter Defekte (Korngrenzen und Versetzungen). Links: Speziell präparierte Ausgangsprobe. Mitte: Konventionelle phosphordiffundierte Solarzelle mit MgF-Antireflexschicht. Rechts: Konventionell phosphordiffundierte Solarzelle mit Siliciumnitridschicht (SiN:H) nach Hochtemperaturbehandlung (Feuern). Der Vergleich zeigt deutlich, dass Korngrenzen (dunkle, schwarze Linien im mittleren Bild) und Versetzungscluster (blau umrandet) erst durch die Phosphordiffusion verschlechtert werden (Anlagerung von Verunreinigungen). In den restlichen Gebieten wird die Materialqualität jedoch verbessert. Hier wandern Verunreinigungen zur Probenoberfläche, wenn keine ausgedehnten Defekte in der Nähe sind. Durch das Feuern der SiN:H-Schicht wird die Verschlechterung ausgedehnter Defekte teilweise wieder behoben (Wasserstoffpassivierung).

Massenfertigungstaugliche Kathodenzerstäubung für Solarzellen-Beschichtung

Eine Methode zur Verbesserung des Wirkungsgrades industrieller Solarzellen ist die Aufbringung von Silicium-Nitrid (SiN) auf die Oberfläche der Solarzellen. Die Entwicklung der Kathodenzerstäubung als neuem Verfahren für die SiN-Abscheidung ergab verfahrenstechnische Vorteile wie eine hohe Abscheiderate und eine ausgezeichnete Skalierbarkeit des Durchsatzes. Zusätzlich ist ein entscheidendes Ergebnis, dass die Qualität der Schichten in jeder Hinsicht der Qualität in bisher eingesetzten industriellen Abscheidungsverfahren ebenbürtig ist.

Winfried Wolke, Ralph Bystricki, Jan Catoir, Gernot Emanuel, Denis Erath, Marc Hofmann, Alexander Jäckle, Ansgar Mette*, Alexander Pohl, Jochen Rentsch, **Ralf Preu**

* Freiburger Materialforschungszentrum FMF, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg

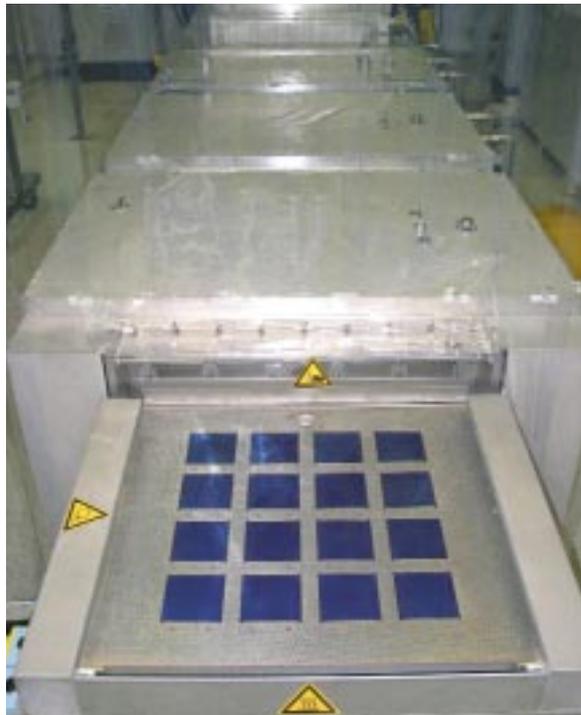


Abb. 1: Beladestation der Prototypenanlage zur SiN-Beschichtung von kristallinen Siliciumsolarzellen. Bis zu 16 Solarzellen können auf einem Träger gleichzeitig prozessiert werden.

Die bisher am weitesten verbreitete Technologie zur Abscheidung von Siliciumnitrid (SiN:H) als Antireflex- und Passivierungsschicht ist die plasma-unterstützte chemische Gasphasenabscheidung (PECVD) in Rohrofentechnologie. Die bekannten Schwierigkeiten bei der Handhabung der Silicium-Scheiben, die geringen Abscheideraten sowie die Verwendung von explosionsgefährlichen Gasen und die teilweise unzureichende Dickenhomogenität der SiN:H-Schichten verlangten nach alternativen Methoden. Wir entschieden uns für die Kathodenzerstäubung, die in anderen Industriebereichen schon seit vielen Jahren mit Erfolg eingesetzt wird.

An einem im Fraunhofer ISE installierten Prototypen einer massenfertigungstauglichen Kathodenzerstäubungsanlage untersuchten wir, inwiefern sich diese Schichten für die sensiblen Solarzellenoberflächen eignen. Wir konnten zeigen, dass die Vermutung, die Kathodenzerstäubung führe zu einer Schädigung der Oberflächen, nicht zutreffend ist. Vielmehr wird die Anzahl der vorhandenen Defekte auf den Oberflächen und im Silicium in gleichem Maße wie bei der PECVD-Abscheidung reduziert. Die elektrische Qualität von dünnen Wafern oder weniger reinem Material kann also deutlich verbessert werden. Zusammen mit den guten optischen Eigenschaften führt dies zu ausgezeichneten Wirkungsgraden der hergestellten Solarzellen.

Wir haben somit ein Verfahren entwickelt, das bei gleicher Qualität der abgeschiedenen Schichten aufgrund der hohen Abscheideraten, der ausgezeichneten Schichtdickenhomogenität sowie der sehr guten Skalierbarkeit deutliche Vorteile gegenüber dem Standardverfahren PECVD aufweist.

Die gemeinsam mit einem Industriepartner durchgeführte Entwicklung wurde vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit BMU gefördert.

Silicium Material	Solarzellentyp	Beschichtung auf	Größe [mm ²]	V _{oc} [mV]	J _{sc} [mA/cm ²]	FF [%]	η [%]
Mc	SD plan	Vorderseite	125 ²	616,8	31,6	80,0	15,6
Cz	SD text.	Vorderseite	125 ²	624,8	36,0	80,2	18,0
FZ	LFC	Rückseite	20 ²	669,4	38,6	80,0	20,6

Abb. 2: Hellparameter von vollständig am Fraunhofer ISE prozessierten Solarzellen, die mittels Kathodenzerstäubung SiN beschichtet wurden (Mc: multikristallin, Cz: Czochralski, FZ: Float Zone gezogen, SD: industrienaher Siebdruck-Solarzelle, LFC: hocheffiziente Solarzelle mit passivierter Rückseite und laserlegierten Punktkontakten). Die gute Passivierungswirkung sowie die guten optischen Eigenschaften führen zu sehr guten, mit PECVD vergleichbaren Ergebnissen – auch auf den schwer zu passivierenden Rückseiten von Hocheffizienzzellen.

Defektarmes Mikrostrukturieren von kristallinem Silicium

Eine Mikrostrukturierung von kristallinem Silicium z. B. zur Kantenisolation oder zum Wafertrennen (Dicing), ohne damit verbundene Einbringung von Kristalldefekten, ist bisher nur in aufwändigen mehrstufigen Verfahren möglich. Auf die Mikrostrukturierung muss ein Prozessschritt zur Entfernung der eingebrachten Defekte folgen. Unser LCE-Verfahren (Laser Chemical Etching) vermeidet dies und eröffnet damit große Chancen zur Prozessvereinfachung. Das Verfahren ist dabei so flexibel, dass neben Silicium auch viele andere Materialien (Metalle, andere Halbleiter, etc.) bearbeitet werden können.

Sybillе Baumann, Achim Eyer, Fridolin Haas, **Daniel Kray**, Kuno Mayer, Mark Schumann, Gerhard Willeke

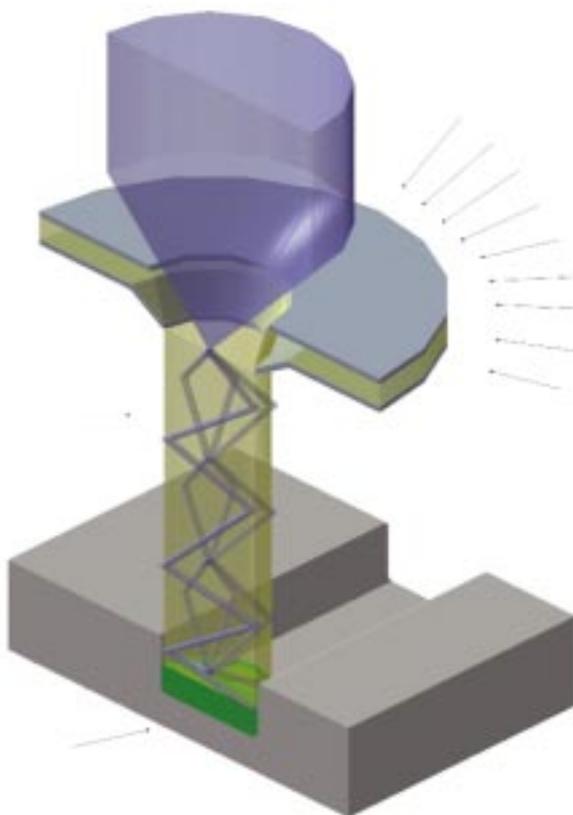


Abb. 1: Prinzip des Laser Chemical Etching (LCE)-Verfahrens. Eine Ätzlösung strömt radial unter hohem Druck in eine Düse ein, so dass ein laminarer Strahl entsteht. Über ein Fenster an der Oberseite der Düse wird ein Laserstrahl in den Flüssigkeitsstrahl eingekoppelt. Dadurch wird lokalisiertes und laserunterstütztes nass-chemisches Ätzen möglich. Laserparameter und Chemiesysteme können an viele Materialien angepasst werden.

Das LCE-Verfahren, dessen Prinzip in Abb. 1 gezeigt ist, wird gegenwärtig am Fraunhofer ISE grundlegend erforscht und entwickelt. Das erste Ziel ist die defektfreie Mikrostrukturierung von Silicium, z. B. für die Kantenisolation oder das Durchtrennen von kristallinen Silicium-Solarzellen. In ersten Versuchen haben wir das Ausmaß der Kristallschädigung vom trockenen Standard-Laserverfahren, vom wasserstrahlgeführten Laser sowie von LCE mit Kalilauge als Medium verglichen. Die Ergebnisse der Röntgen-Rocking-Messungen in Abb. 2 zeigen, dass durch LCE die geringsten Schädigungen in das Material eingebracht werden. Durch den Einsatz von Chemikaliensystemen mit noch günstigerem Ätzverhalten streben wir eine sehr schnelle Mikrostrukturierung von Silicium ohne elektrisch aktive Schädigung der Kristallstruktur an. Langfristig bietet sich das LCE-Verfahren auch als Ersatz für die Drahtsägetechnologie zur Waferherstellung an. Es besteht die Aussicht, dass sehr dünne Wafer (<50 µm) mit sehr geringen Schneidkerben (<100 µm) geschnitten werden können, die keinen anschließenden Nachätzschritt zur Entfernung des Schneideschadens benötigen. Neben der Bearbeitung von Silicium für Photovoltaik und Mikroelektronik werden auch Anwendungen für andere Materialien angestrebt. Die einzige Voraussetzung für die LCE-Bearbeitung ist dabei die Existenz von nass-chemischen Ätzsystemen für diese Materialien. Die bisherigen Arbeiten wurden teilweise von der Europäischen Union gefördert.

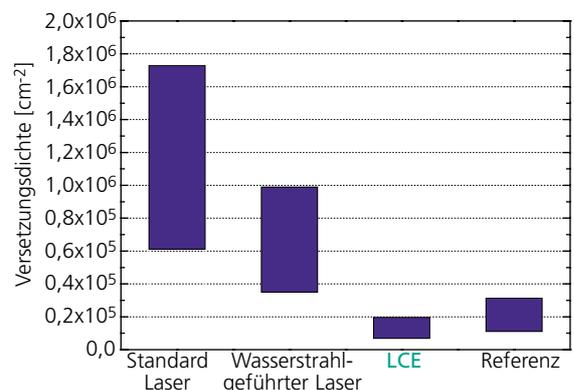


Abb. 2: Röntgen-Rocking-Messungen an Silicium für drei verschiedene Mikrostrukturierungsverfahren. Standard-Laser erzeugen trotz einer im Vergleich zu den anderen Verfahren etwa 50% geringeren Spurbreite die höchsten Versetzungsdichten. Die Verwendung von KOH als Medium für LCE verringert die Versetzungsdichten deutlich gegenüber dem wasserstrahl-geführten Laser auf Werte, wie sie an unstrukturierten Referenzwafern gemessen werden.

Haftstelleneinfluss bei Messungen der Lebensdauer von Minoritätsladungsträgern in kristallinem Silicium

Entscheidender Parameter für die Qualität des Siliciummaterials für Solarzellen ist die Lebensdauer der Überschussladungsträger. Die wichtigsten Messmethoden für diesen Parameter wurden bisher durch ein Messartefakt beeinträchtigt, das z. B. durch den Einfang von Überschussladungsträgern in Haftstellen hervorgerufen wird und die Messung gerade in kritischen Bereichen wesentlich verfälschen kann. Durch zusätzliche Einstrahlung von Licht mit einer Energie kleiner als die Energiebandlücke ist es uns gelungen, den Haftstelleneinfluss zu beseitigen.

Martin Schubert*, Sandra Bermejo*, Jörg Isenberg*, Stephan Riepe, **Wilhelm Warta**

* Freiburger Materialforschungszentrum FMF, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg

Die Lebensdauer von Überschussladungsträgern ist ein wesentliches Qualitätskriterium für Siliciummaterial. Vor allem für multikristallines Silicium spielen Messungen der Lebensdauer von Minoritätsladungsträgern eine zentrale Rolle bei der Optimierung von Solarzellenwirkungsgraden. Zur Beurteilung des Einflusses der Materialqualität auf das Solarzellenergebnis ist das Verhalten bei Betriebsbedingungen, d. h. insbesondere bei Niederinjektion wichtig. Aus diesem Grund, aber auch für Grundlagenuntersuchungen zur

Lebensdauer von Überschussladungsträgern müssen Messungen bei entsprechend niedriger Überschussladungsträgerdichte durchgeführt werden. Hier tritt aber bisher bei allen Messmethoden, die die Leitfähigkeit der Überschussladungsträger nutzen, ein Messartefakt auf, ein scheinbarer Anstieg der Lebensdauer, teilweise zu sehr hohen Werten. Gerade für die kritischen Gebiete niedriger Lebensdauer kann sich dadurch eine völlige Fehleinschätzung der Materialqualität ergeben.

In Zusammenarbeit mit dem Freiburger Materialforschungszentrum (FMF) ist es uns gelungen, das theoretische Verständnis dieser Haftstelleneffekte entscheidend weiterzuentwickeln. Mit der CDI (Carrier Density Imaging) Methode konnten aus injektionsabhängigen Messungen Darstellungen von Verteilungen der Haftstellenparameter gewonnen werden. Indem wir zusätzlich Licht mit einer Energieverteilung unterhalb der Bandkante des Siliciums (Sub-Bandgap-Licht) einstrahlen, haben wir ein Verfahren entwickelt, das den Haftstelleneinfluss ganz unterdrückt oder zumindest wesentlich reduziert und damit den uns bisher zugänglichen Messbereich wesentlich vergrößert.

Die Arbeiten werden im Rahmen des Netzwerks »Diagnostik« vom Bundesministerium für Bildung und Forschung BMBF gefördert.

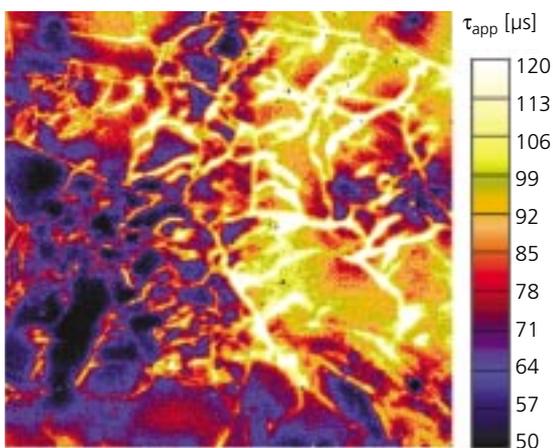


Abb. 1: Messung der (scheinbaren) Ladungsträgerlebensdauer mit der CDI-Methode an einer multikristallinen Siliciumscheibe (Ausschnitt 13x13 mm²) bei kleiner Dichte der optisch generierten Ladungen. Die hellen Gebiete zeigen hohe scheinbare Lebensdauern. Diese sind jedoch durch Einfang von Ladungen in Haftstellen hervorgerufen und verfälschen die Beurteilung der Materialqualität.

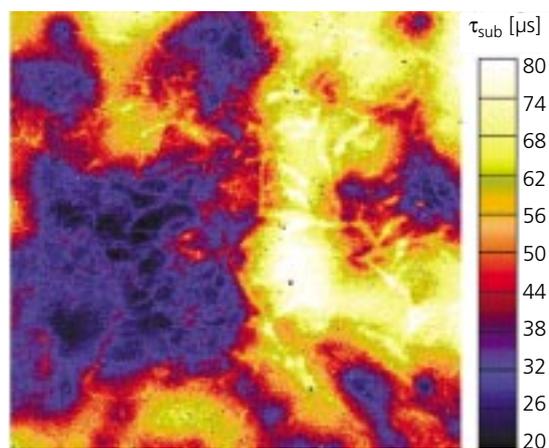


Abb. 2: Die gleiche Siliciumscheibe wie im linken Bild, gemessen bei gleichen Generationsbedingungen, aber zusätzlicher Einstrahlung von Sub-bandgap-Licht: Die Gebiete mit scheinbar sehr hoher Lebensdauer sind fast vollständig verschwunden, die tatsächliche, wesentlich niedrigere Lebensdauer der freien Überschussladungsträger kann bestimmt werden.

Die FLATCON®-Konzentrorttechnologie auf dem Weg in den Markt

Das Fraunhofer ISE verfügt über umfangreiche Kompetenzen auf dem Gebiet der hochkonzentrierenden Photovoltaik, einer Technologie, die zunehmend Beachtung findet. Im Sommer 2005 haben wir das erste hochkonzentrierende, netzgekoppelte FLATCON®-Konzentratorsystem implementiert. Alle Komponenten, von der III-V-basierenden Mehrfachsolarzelle über die Konzentratoroptik und den Modulbau bis hin zur Steuerung der Nachführung, wurden am Fraunhofer ISE entwickelt und im Konzentratorsystem optimal aufeinander abgestimmt.

Martin Arnold, Carsten Baur, **Andreas Bett**, Armin Bösch, Bruno Burger, Frank Dimroth, Inka Heile, Joachim Jaus, Wolfgang Guter, Martin Hermle, Hansjörg Lerchenmüller, Rüdiger Löckenhoff, Astrid Ohm, Sascha van Riesen*, Gerald Siefer, Johannes Seiz, Sivita Wassie

* Freiburger Materialforschungszentrum FMF, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg

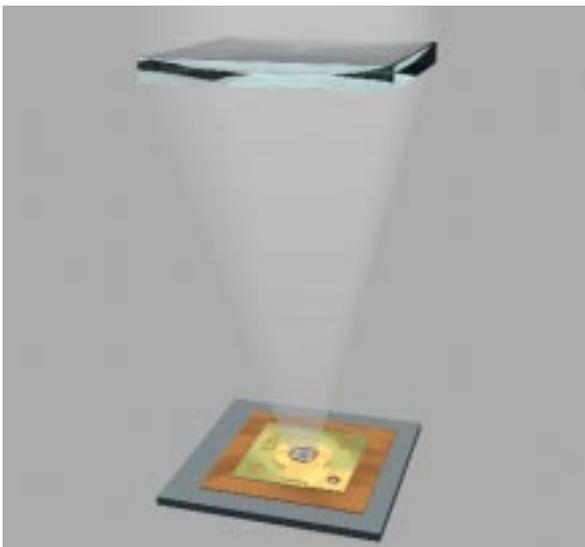


Abb. 1 : Das Sonnenlicht wird mittels einer Linse 500-fach auf eine kleine Zelle mit 2 mm Durchmesser gebündelt. So kann teures Halbleitermaterial eingespart werden. Da jedoch nur direktes Sonnenlicht konzentriert werden kann, muss das PV-System der Sonne nachgeführt werden.

Im boomenden Photovoltaikmarkt lässt sich eine verstärkte Nachfrage nach Konzentrorttechnologie beobachten. Das starke Photovoltaik-Marktwachstum der jüngeren Zeit fand nicht nur im Bereich von individuellen Dachanlagen statt, es wurden auch zahlreiche große Einheiten im MW-Bereich realisiert. In diesen Anwendungen sehen wir in Gebieten mit hoher Direktstrahlung einen Zielmarkt für die von uns entwickelte FLATCON®-Konzentrorttechnologie.

Die Besonderheit der Entwicklung eines Konzentratorsystems liegt darin, dass mehrere Komponenten zunächst einzeln optimiert werden müssen, um schließlich so modifiziert zu werden, dass sie ein optimales Systemergebnis aufweisen. Zur Komponentenentwicklung für unser FLATCON®-System gehören III-V-Mehrfachsolarzellen, Punktfokus-Fresnellinsen, der Modulbau sowie der Aufbau und die Steuerung einer Nachführeinheit und schließlich die Anbindung an das Netz über einen Wechselrichter.

Unsere Entscheidung für ein hochkonzentrierendes Photovoltaiksystem basiert auf einer sorgfältigen Technologieanalyse. Bei der FLATCON®-Technologie bündeln wir mit Hilfe einer 4x4 cm² Fresnellinse das Sonnenlicht um den Faktor 500 und fokussieren es auf eine im Durchmesser 2 mm runde Zelle (Abb. 1). Dadurch reduziert sich der Einsatz an teurem Halbleitermaterial und es können sehr effiziente Zellen eingesetzt werden. Diese hocheffizienten Zellen werden auf Kupferplättchen montiert, die als Wärmesenke dienen. Im nächsten Schritt positionieren wir die Solarzelleneinheiten sehr exakt auf eine Glasplatte, die als Bodenplatte für unser FLATCON®-Konzentratormodul dient (Abb. 2).

Seit mehreren Jahren testen wir mit $\text{Ga}_{0.35}\text{In}_{0.65}\text{P}/\text{Ga}_{0.83}\text{In}_{0.17}\text{As}$ Zweifachsolarmodule auf unserem Außenmessstand im Hinblick auf die Langzeitverlässlichkeit. Zeitgleich führen wir beschleunigte Alterungstest im Labor durch. In Kooperation mit internationalen Partnern arbeiten wir an der Erstellung einer IEC-Norm für Konzentratorsysteme.

Bei der Zellentwicklung gelang uns 2005 ein wesentlicher Erfolgsschritt: mit unserer Tripel-Konzentratorsolarzelle aus $\text{Ga}_{0.35}\text{In}_{0.65}\text{P}/\text{Ga}_{0.83}\text{In}_{0.17}\text{As}/\text{Ge}$ erzielten wir bei einer 600-fachen Sonnenkonzentration den europäischen Rekordwirkungsgrad von über 35 Prozent (Abb. 3). Im Anschluss stellten wir ein erstes FLATCON[®]-Testmodul mit Tripel-Konzentratorsolarzellen her, das im Messstand auf dem Institutsdach einen Wirkungsgrad von 25,9 Prozent erbrachte.

Um die für den Photovoltaikmarkt attraktive FLATCON[®]-Technologie in die Fertigung und in den Markt zu bringen, gründeten wir im März 2005 als jüngstes Spin Off des Fraunhofer ISE die Firma Concentrix Solar GmbH (Beitrag S. 80). Drei Monate später realisierten wir gemeinsam mit Concentrix Solar GmbH das erste voll funktionstüchtige und netzgekoppelte Konzentratorsystem, basierend auf der oben beschriebenen FLATCON[®]-Modultechnologie.

Unsere Projekte zu allen Aspekten des FLATCON[®]-Konzentratorsystems werden durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit BMU, die Europäische Union und das Land Baden-Württemberg gefördert.



Abb. 2: Photo eines FLATCON[®]-Moduls. Durch das Einbringen von Rauch wird hier die Bündelung der Lichtstrahlen visualisiert. Die Aperturfläche eines Moduls beträgt 768 cm² und besteht aus 48 Fresnellinsen mit je 16 cm² Fläche. Im Fokus der Linse sitzt eine Konzentratorsolarzelle aus III-V-Halbleitermaterialien.

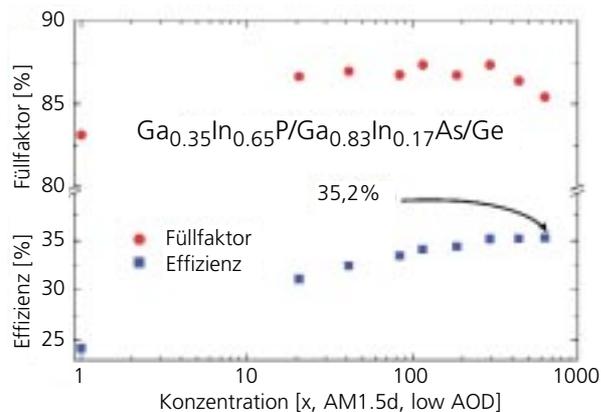


Abb. 3: Gezeigt sind die Kennlinien des Füllfaktors (in rot) und des Wirkungsgrades (in blau) in Abhängigkeit vom Konzentrationsfaktor des Sonnenlichtes. Bei ca. 400–600 facher Konzentration wird für diese Tripelzelle aus $\text{Ga}_{0.35}\text{In}_{0.65}\text{P}/\text{Ga}_{0.83}\text{In}_{0.17}\text{As}/\text{Ge}$ ein Wirkungsgrad von 35,2% erzielt.

Rekristallisierte Waferäquivalente – Ressourcen schonende Photovoltaik

Unser Konzept des »Rekristallisierten Waferäquivalents« stellt einen Lösungsansatz für das allgemeine Problem des Verbrauchs an hochreinem Rohstoff in der Photovoltaik dar. Indem man eine billige Keramikplatte als Träger verwendet und darauf nur die für die Solarzelle notwendige Schicht aus hochwertigem Silicium erzeugt, lassen sich wertvolles Material und damit auch Kosten einsparen. Wir konnten zeigen, dass solche Schichten auf großen Flächen realisierbar sind und dass Träger und Schicht einen herkömmlichen Wafer im Prinzip ersetzen können.

Stefan Reber, Albert Hurrle, Achim Eyer, Friedrich Lutz, Stefan Janz*, Evelyn Schmich, Norbert Schillinger, Mira Kwiatkowska, Harald Lautenschlager, Holger Habenicht, Fridolin Haas

* Freiburger Materialforschungszentrum FMF, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg

Ein »Rekristallisiertes Waferäquivalent« (RexWE) besteht aus einer kostengünstigen Trägerplatte, auf die nacheinander Schichten aus elektrisch leitfähigem Siliciumcarbid (SiC) und Silicium abgeschieden werden. Die Qualität der Siliciumschicht wird nach der Abscheidung mittels »Zonenschmelz-Rekristallisierung« nochmals verbessert, um beste Wirkungsgrade der daraus hergestellten Solarzelle zu ermöglichen. Unsere

erste Aufgabe bestand darin, ein RexWE in industrierelevanter Größe auf einer innovativen kostengünstigen Keramik herzustellen. Wir beschichteten dafür bis zu $210 \times 210 \times 0,8 \text{ mm}^3$ große Keramikplatten mit einer nur $1 \text{ }\mu\text{m}$ dicken SiC-Schicht und schieden auf diese mit einem Hochdurchsatz-Verfahren ca. $10 \text{ }\mu\text{m}$ Silicium ab. Das Ergebnis nach dem anschließenden Zonenschmelzen im Hochdurchsatz-Reaktor zeigt Abb. 1.

Das Wort »Waferäquivalent« impliziert, dass solche Substrat/Schichtsysteme einen herkömmlichen Wafer ersetzen können. Dies testeten wir für das RexWE mit Hilfe von idealen, SiO_2 -beschichteten Siliciumwafern als Substrat. Der Aufbau der Siliciumschicht verlief naturgemäß reibungsloser als für das RexWE auf Keramik. Ebenso reibungslos konnten wir die $100 \times 100 \text{ mm}^2$ großen RexWE zu Solarzellen mit bis zu 8,4 Prozent Wirkungsgrad prozessieren. Sogar die Einkapselung in ein Kleinmodul, welches Abb. 2 zeigt, war problemlos möglich. Der erste Einstieg des RexWE in große Flächen zeigt, dass noch viel Potenzial in diesem Zukunftskonzept steckt.

Die Arbeiten werden im Rahmen zweier Projekte durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit BMU sowie durch die Europäische Kommission unterstützt.



Abb. 1: Rekristallisiertes Waferäquivalent auf »Reaction-bonded Siliciumcarbid«-Keramiksubstrat. Zu sehen sind die in vertikaler Richtung verlaufenden hochwertigen Kristallite der Siliciumschicht, die bis über 10 cm lang und bis zu 5 mm breit sind. Das abgebildete Waferäquivalent hat eine Größe von $180 \times 180 \text{ mm}^2$. Das Ergebnis zeigt, dass bei Verwendung produktionsnaher Materialien und Prozesse RexWE mit hervorragenden Eigenschaften hergestellt werden können.

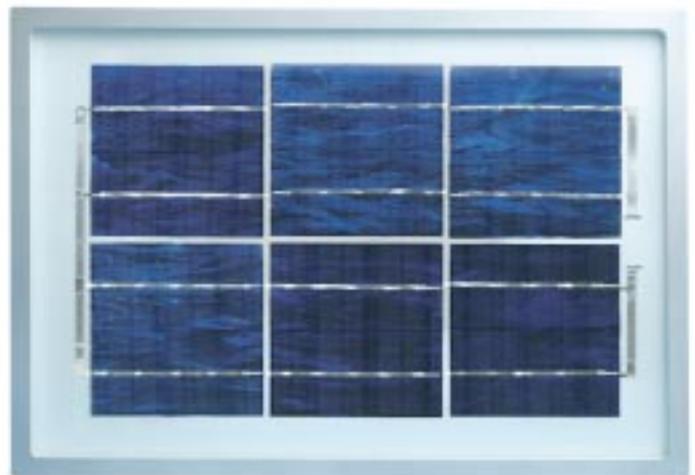


Abb. 2: Kleinmodul mit Solarzellen aus rekristallisierten Waferäquivalenten. Sehr schön ist die durch das Zonenschmelz-Rekristallisieren entstandene Kristallstruktur der Siliciumschicht zu sehen. Die Serienschaltung der sechs $10 \times 10 \text{ cm}^2$ großen Solarzellen liefert eine Leerlaufspannung des Moduls von $3,2 \text{ V}$.

GaSb-Module für thermo-photovoltaische Anwendungen

Für den Einsatz in einem Thermophotovoltaik-(TPV-) Generator haben wir Module mit GaSb-basierten Photovoltaikzellen hergestellt. Wir haben Experimente zur beschleunigten Alterung durchgeführt, da diese für die Anwendung von besonderer Bedeutung sind. Schließlich haben wir die Module in dem am Fraunhofer ISE vorhandenen Testaufbau eines TPV-Generators erfolgreich eingesetzt. Es stehen damit GaSb TPV-Module für unsere Kunden zur Verfügung.

Paul Abbott, Thomas Aicher, **Andreas Bett**, Frank Dimroth, Astrid Ohm, Sascha van Riesen*, Thomas Schlegl, Johannes Seiz, Gerald Siefer, Robert Szolak **

* Freiburger Materialforschungszentrum FMF, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg

** PSE Projektgesellschaft Solare Energiesysteme mbH, Freiburg

Seit mehreren Jahren entwickeln wir am Fraunhofer ISE Photovoltaikzellen, die Wärmestrahlung im infraroten Spektralbereich in elektrische Energie umwandeln. Dafür eignen sich Halbleitermaterialien, die Antimon enthalten, z. B. Galliumantimonid (GaSb) oder Indiumgalliumarsenidantimonid (GaInAsSb). Der pn-Übergang in den Photovoltaikzellen kann dabei auf verschiedene Weise hergestellt werden: Entweder durch eine Zink-Diffusionstechnologie in ein n-dotiertes GaSb-Substrat oder durch epitakti-

sches Schichtwachstum mittels metallorganischer Gasphasenepitaxie (MOVPE). Die beiden Technologien führen zu unterschiedlichen Zelltypen. Wir haben nachgewiesen, dass die Wirkungsgrade der beiden Zellen in der Anwendung in einem realen TPV-Generator in etwa gleich sind. In unseren Untersuchungen zur beschleunigten Alterung zeigten beide Zelltypen eine ausgezeichnete Beständigkeit beim Einsatz unter hohen Stromdichten von $1,5 \text{ A/cm}^2$, aber ein unterschiedliches Verhalten unter dem Einfluss einer aggressiv oxidierenden Umgebung.

Um die Zellen in unserem TPV-Prototypen einzusetzen (Abb. 1), bauten wir Module, indem wir fünf GaSb-Zellen seriell auf einem Aluminiumnitrid-Substrat verschalteten. Die Charakterisierung der Module im TPV-Generator erlaubte es uns, die Temperaturkoeffizienten zu bestimmen. Somit konnten die Messungen an den Zellen in Übereinstimmung mit den Messungen im Generator gebracht werden (Abb. 2).

Unter der Annahme des Spektrums eines Wolfram-Strahlungsemitters, der bei $1\,200 \text{ °C}$ betrieben wird, lässt sich ein Modulwirkungsgrad von 15,4 Prozent bestimmen.

Die Arbeiten erfolgten im Rahmen eines Eigenforschungsprojekts sowie eines Promotionsstipendiums der Deutschen Bundesstiftung Umwelt DBU.



Abb. 1: TPV-Testgenerator am Fraunhofer ISE bei $1\,200 \text{ °C}$. Acht GaSb-Module, welche auf Wasserkühlkörper montiert sind, werden konzentrisch um den Strahlungsemitter platziert. Ein GaSb-Modul mit Kühlkörper wurde entfernt, um den glühenden Strahlungsemitter zu zeigen. Die Öffnung beträgt ca. $5 \times 5 \text{ cm}^2$.

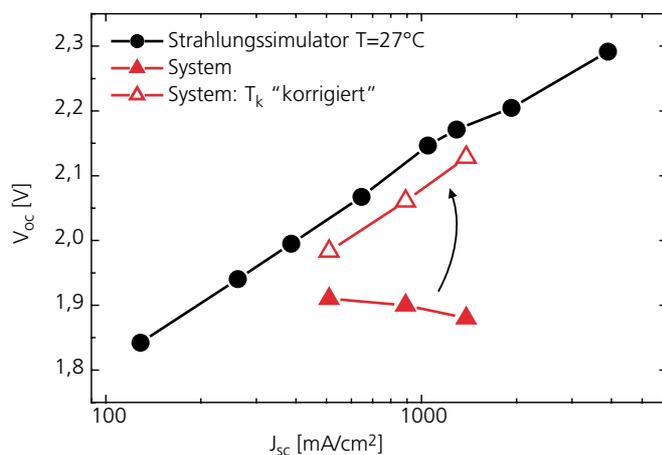


Abb. 2: Gezeigt ist die Messung der offenen Klemmspannung eines GaSb-Moduls in Abhängigkeit der Kurzschlussstromdichte, welche direkt mit der Temperatur des Strahlungsemitters korreliert. Das Modul wurde unter einen Simulator und im Testsystem (Abb. 1) vermessen. Wird die unterschiedliche Betriebstemperatur mittels des experimentell bestimmten Temperaturkoeffizienten T_k berücksichtigt, sind die Ergebnisse nahezu deckungsgleich.

Organische Solarzellen

Organische Solarzellen sind neben organischen Leuchtdioden und organischen Feldeffekttransistoren ein wesentliches funktionales Bauelement der sich derzeit rasch entwickelnden polymeren Elektronik. Die drei Schwerpunkte unserer Arbeiten sind die Entwicklung kostengünstig herstellbarer Solarzellenarchitekturen, die systematische Untersuchung und Optimierung vielversprechender Materialkombinationen sowie die Untersuchung der Langzeitstabilität von Solarzellen.

Markus Glatthaar*, Moritz Riede,
Birger Zimmermann*, Tobias Ziegler,
Michael Niggemann, Andreas Gombert

* Freiburger Materialforschungszentrum FMF,
Albert-Ludwigs-Universität Freiburg

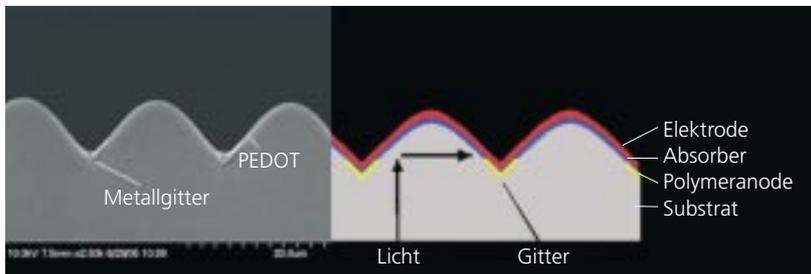


Abb. 1: Querschnitt durch ein mikrostrukturiertes Substrat einer organischen Solarzelle mit Metall-Leiterbahnen und einer polymeren Anode. Die Mikrostruktur erlaubt eine bessere Absorption der Solarstrahlung und den Verzicht auf eine ITO-Elektrode. (Links: Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme)



Die rasche Entwicklung organischer Solarzellen spiegelt sich in der Verdopplung der solaren Effizienz auf nahezu 5 Prozent in den vergangenen drei Jahren wieder. Niedrige Materialkosten in Verbindung mit effizienten Rolle-zu-Rolle Prozessierungstechnologien sind eine notwendige Voraussetzung für eine Kommerzialisierung organischer Solarzellen.

Wichtige Schritte auf diesem Weg sind die weitere Steigerung der solaren Effizienz und die Entwicklung von Solarzellenaufbauten auf der Basis kostengünstiger Materialien. Unter anderem wollen wir die teure transparente Elektrode aus Indium-Zinn-Oxid (ITO) ersetzen. Dafür untersuchen wir gesputterte transparente Silberschichten sowie polymere Elektroden auf mikrostrukturierten Substraten (Abb. 1). Wir konnten Solarzellen mit transparenten Silberschichten mit vergleichbarer Effizienz wie Standardsolarzellen mit ITO-Elektrode herstellen. Polymere Elektroden auf mikrostrukturierten Substraten werden durch 2 Mikrometer breite Metall-Leiterbahnen unterstützt. Diese konnten wir mittels Aufdampftechniken auf einer Fläche von 6x6 cm² mit großer Homogenität herstellen.

Für die systematische Optimierung neuartiger Solarzellenarchitekturen und die Untersuchung vielversprechender Absorbermaterialien haben wir eine hoch automatisierte Charakterisierung der Solarzellen aufgebaut (Abb. 2). Die Erfassung der relevanten Prozessparameter sowie deren Verknüpfung mit den experimentellen Ergebnissen in einer Datenbank ermöglichen eine effiziente Untersuchung und Optimierung organischer Solarzellen.

Abb. 2: Experimenteller Aufbau zur automatisierten Erfassung der relevanten Solarzellenparameter. Wesentliche charakteristische Messgrößen sind u. a. die Solarzellenkennlinie, die spektrale Empfindlichkeit, die Absorption, die Linearität der Solarzelle bezogen auf Bestrahlung sowie die Mobilität der Ladungsträger. Mit diesem Aufbau können z. B. die Kennlinien von 90 Solarzellen innerhalb von ca. einer Stunde gemessen werden.

Zuverlässigkeit von PV-Modulen

Hersteller von Solarmodulen geben derzeit eine Leistungsgarantie von 20 Jahren und mehr. Dies ist nur möglich, weil für die momentan verwendeten Materialien entsprechende Erfahrungen zur technischen Lebensdauer vorliegen. Wer alternative, preiswertere Materialien in der Modulfertigung einsetzen möchte, kann ihre Zuverlässigkeit nur schwer einschätzen. Im Cluster-Projekt »Zuverlässigkeit von PV-Modulen« entwickeln wir mit unseren Partnern einen beschleunigten Lebensdauer-test für Solarmodule.

Michael Köhl, Tilmann Kuhn, Marco Tranitz*, Harry Wirth, Markus Heck, Helge Schmidhuber

* PSE GmbH Forschung Entwicklung Marketing, Freiburg



Abb. 1: Permeationsmessstand zur Bestimmung der Durchgangskoeffizienten von verschiedenen Gasen und Wasserdampf durch Folien. Auf einer Seite wird die Konzentration des zu prüfenden Gases eingestellt. Auf der anderen Seite misst ein Massenspektrometer die sich verändernde Gaskonzentration im Probenhalter (Höhe 2 mm). Die Apparatur befindet sich zur Temperierung in einem Klimaschrank.

Alterungsvorgänge im Modul werden durch die Diffusion von Wasser und Sauerstoff wesentlich beeinflusst. Standardprüfverfahren eignen sich nur bedingt zur Bewertung von Hochbarriere-Folien unter modultypischen Einsatzbedingungen. Deshalb haben wir einen hochempfindlichen Permeationsmessstand konzipiert und gebaut (Abb. 1). Der Messstand erlaubt eine temperaturabhängige Bestimmung der Wasserdampf-Diffusion. Abb. 2 zeigt das gemessene Permeationsverhalten eines der in der PV-Modultechnik als Rückseitenfolie vorwiegend eingesetzten Folienlaminats bei 38 °C und für eine Hochbarrierefolie bei 60 °C. Die Standardfolie erreicht für Wasserdampf einen Permeationswert von $1,1 \times 10^{-2} \text{ g}/(\text{m}^2 \text{d mbar})$, die Hochbarrierefolie zeigt lediglich $4,0 \times 10^{-5} \text{ g}/(\text{m}^2 \text{d})$, obwohl eine höhere Temperatur gewählt wurde. Ein weiterer, wesentlicher Faktor für die Alterung ist die Einstrahlungsdosis. Für eine beschleunigte Alterung im Freiland haben wir einen Messaufbau konzipiert, der die Sonne zehnfach auf die Proben konzentriert.

Die Alterungsvorgänge im Labor und im Freiland werden anhand von physikalisch-chemischen Modellen nachvollzogen.

Die Projektzielsetzung ist es, gemeinsam mit sechs deutschen Modulherstellern sowie dem TÜV Immissionsschutz bis 2008 einen Test zur Bestimmung der Lebensdauer von Solarmodulen

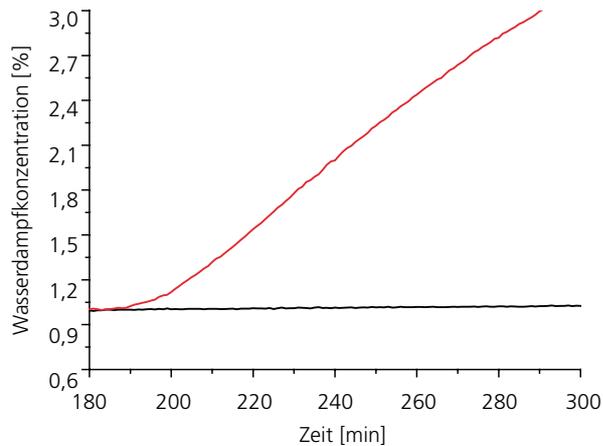


Abb. 2: Verlauf der Wasserdampfkonzentration in der Nachweis-Kammer für eine Hochbarriere-Folie (schwarz) bei 60 °C Umgebungstemperatur und eine in der PV-Modultechnik eingesetzten Rückseitenfolie bei 38 °C (rot) als Sprungantwort auf eine veränderte Wasserdampfkonzentration in der Klimaprüfkammer.

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



Netzunabhängige Stromversorgungen

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 andere innovative Energiewandler eingesetzt. Etwa 25 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, 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 bekommen einen zunehmenden Stellenwert bei der ländlichen Elektrifizierung. 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 getestet 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 haben insbesondere Mikrobrennstoffzellen ein großes Potenzial. Hierfür entwickeln wir die Technologie einschließlich der

zugehörigen 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
- Pumpenteststand
- Test- und Entwicklungslabor für Trinkwasseraufbereitungssysteme.



Im Rahmen der ländlichen Elektrifizierung nehmen Dorfstromversorgungsanlagen einen zunehmenden Stellenwert ein. Das Fraunhofer ISE führt hierzu Monitoring durch und entwickelt gemeinsam mit weiteren Forschungspartnern teilautomatisierte Datenauswertungsprogramme. Die Schulung von Fachpersonal vor Ort zählt zum Aufgabenspektrum. Im Mittelpunkt der Arbeiten steht das Ziel der Optimierung des Anlagenbetriebs.
(Quelle: Jörg Böhling/agenda)

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	Dr. Matthias Vetter	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-56 00 E-Mail: Matthias.Vetter@ise.fraunhofer.de
Brennstoffzellensysteme	Dr. Carsten Agert Dr. Thomas Aicher	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-53 46 E-Mail: Carsten.Agert@ise.fraunhofer.de 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
Monokristalline Silicium-Solarzellen	Dr. Stefan Glunz	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-51 91 E-Mail: Stefan.Glunz@ise.fraunhofer.de
Photovoltaische Module	Dr. Harry Wirth	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-51 93 E-Mail: Harry.Wirth@ise.fraunhofer.de
Marketing	Dr. Harald Schäffler	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-54 27 E-Mail: Harald.Schaeffler@ise.fraunhofer.de

Übergreifende Koordination

Netzunabhängige Stromversorgungen	Priv. Doz. Dr. Volker Wittwer	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-51 40 E-Mail: Volker.Wittwer@ise.fraunhofer.de
Wasserstofftechnologie	Dr. Christopher Hebling	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-51 95 E-Mail: Christopher.Hebling@ise.fraunhofer.de
Solarzellen	Priv. Doz. Dr. Gerhard Willeke	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-52 66 E-Mail: Gerhard.Willeke@ise.fraunhofer.de

Monitoring von Dorfstromversorgungsanlagen in China

Im Rahmen der technischen Zusammenarbeit zwischen China und Deutschland plant und begleitet das Fraunhofer ISE das technische Monitoring für 112 Dorfstromversorgungsanlagen in der chinesischen Provinz Qinghai. Erste Analysen der Messdaten zeigen, dass der Betrieb der Anlagen noch optimiert werden kann. Die Ergebnisse fließen in die Beratung weiterer Programme zur Dorfstromversorgung ein.

Georg Bopp, Andreas Steinhüser

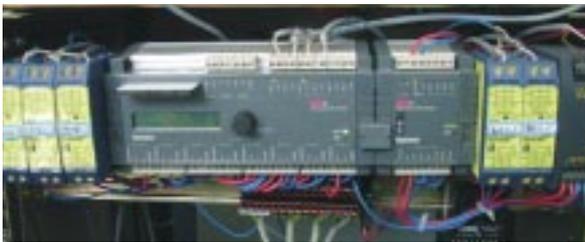


Abb. 1: Das Messwerterfassungssystem im Dorf Kesheng – 450 km von der Provinzhauptstadt Xining entfernt – zeichnet Zehnminuten-Mittelwerte von 15 Messpunkten auf. Die Daten werden entweder über ein Telefonmodem oder über eine wechselbare Speicherkarte in die Provinzhauptstadt zur Auswertung übertragen.

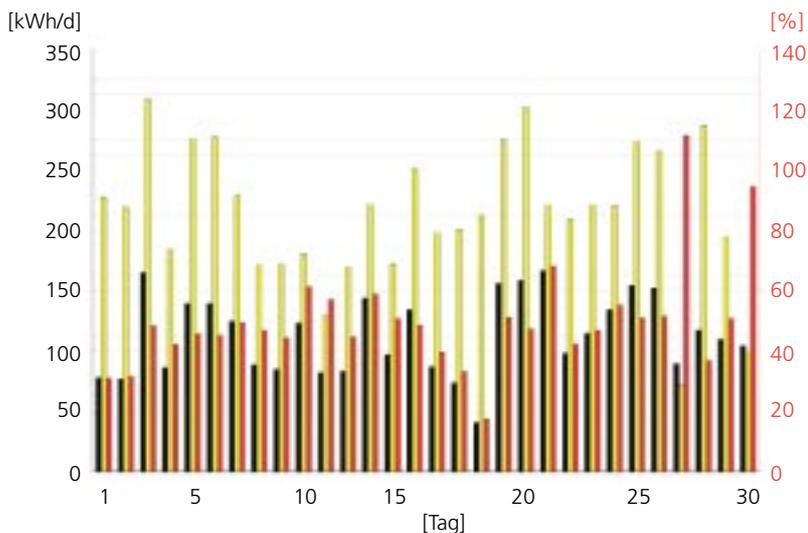


Abb. 2: Ein Vergleich des tatsächlich genutzten Solarstroms (schwarze Balken) mit dem theoretisch verfügbaren Solarstrom (gelbe Balken) zeigt, dass in der PV-Anlage im Dorf Kesheng im Monat April rund die Hälfte des unter idealisierten Bedingungen erzeugbaren Solarstroms nicht genutzt wurde. Würde die manuell vorgegebene tägliche Stromversorgungszeit verlängert, könnte die »Performance Ratio« der Anlage (roter Balken) von derzeit rund 50% deutlich gesteigert werden. An Tagen, an denen die »Performance Ratio« nahezu 100% erreicht oder überschreitet wird Energie von Vortagen aus der Batterie entnommen. Der Ladezustand der Batterie wird beim derzeitigen Management nicht berücksichtigt.

Im Rahmen des »Brightness Program« stattete die chinesische Regierung während der letzten zwei Jahre rund 700 abgelegene Dörfer in den Westprovinzen mit einer zentralen Photovoltaikanlage im Leistungsbereich von zehn bis 40 Kilowatt aus. Das Fraunhofer ISE wurde von der Gesellschaft zur technischen Zusammenarbeit (GTZ) beauftragt, ein Monitoring-Programm zu entwickeln, mit dem sowohl der Betrieb als auch die Leistungsfähigkeit von 112 photovoltaischen Dorfstromversorgungsanlagen in der Provinz Qinghai verfolgt und nachhaltig gesichert werden sollen.

Nach der Konzepterstellung und der Auswahl zuverlässiger Messwerterfassungssysteme für einen automatisierten und manuellen Datenabruf schulten wir im Frühjahr 2005 die chinesischen Partner in zwei Dorfstromversorgungsanlagen in der Installation und Inbetriebnahme der Messwerterfassungssysteme. Zehn weitere Systeme richteten unsere Partner im Anschluss an die Schulung selbstständig ein.

Seit Herbst 2005 entwickeln wir in Zusammenarbeit mit dem Zentrum für Sonnenenergie und Wasserstoffforschung (ZSW) in Stuttgart teilautomatisierte Datenauswertungsprogramme und weisen die chinesischen Partner in deren Anwendung vor Ort ein.

Eine Analyse der ersten Betriebsdaten zeigt, dass die verfügbare Solarenergie nicht vollständig genutzt wird. Durch das manuelle Ein- und Ausschalten des Stromnetzes durch den lokalen Betreiber wird im Durchschnitt weniger Energie genutzt als durch die Solaranlage geliefert werden könnte. Durch eine intelligente Betriebsführung, die das solare Angebot, den Energieverbrauch und den Batterieladezustand berücksichtigt, wäre es also möglich, den Nutzern ohne großen Kostenaufwand mehr Solarstrom zur Verfügung zu stellen.

Charakterisierung und Qualifizierung von Solar Home Systemen

In der Praxis eingesetzte Solar Home Systeme weisen zum Teil noch gravierende Qualitätsmängel auf. Dies zeigen Labortests zur Qualitätssicherung, die wir am Fraunhofer ISE im Rahmen eines Projekts zur ländlichen Elektrifizierung in Marokko durchgeführt haben. Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit der Solar Home Systeme sind nicht durchgängig gewährleistet und die Betriebskosten der Systeme werden dadurch unnötig erhöht. Mit einer kontinuierlichen und umfassenden Qualitätssicherung vor allem auch im Vorfeld können solche Mängel vermieden werden.

Norbert Pfanner, Rudi Kaiser,
Frank Neuberger, Andreas Steinhüser,
Voitech Svoboda

Technische Zuverlässigkeit und niedrige Systemkosten sind der Schlüssel für den dauerhaften Erfolg photovoltaisch versorgter Systeme wie z. B. Solar Home Systeme (SHS). Im Rahmen eines Projekts zur ländlichen Elektrifizierung in Marokko war das Fraunhofer ISE beauftragt, drei unterschiedliche SHS zu untersuchen und zu bewerten. Dabei sollten sowohl die Solarmodule, Laderegler, Bleibatterien, Gleichstrom-Energiesparlampen und das Elektroinstallationsmaterial untersucht als auch die Gesamtsysteme in ihrer Leistungsfähigkeit getestet werden.

Hierfür entwickelten wir ein abgestimmtes Bündel von Labortestverfahren mit anwendungsspezifischen Prüfalgorithmen für die Komponenten der Systeme sowie einen Freiluftteststand, auf dem die SHS über mehrere Monate unter realitätsnahen Bedingungen untersucht wurden. Nach den Vorgaben des Auftraggebers wurde ein Lastprofil generiert, das dem Verhalten der Nutzer der SHS entspricht.

Die Labortests an den Komponenten zeigten dabei zum Teil erhebliche Qualitätsmängel der Batterien, Solarmodule und DC-Energiesparlampen auf. Lediglich die Laderegler wiesen eine hohe Qualität auf. Die langfristige Untersuchung unter realitätsnahen Testbedingungen im Freiluftteststand deckten Mängel in der Dimensionierung der Systeme auf.

Die Untersuchungen zeigten, dass eine Qualitätssicherung erforderlich ist, um einen zuverlässigen und ökonomischen Betrieb zu gewährleisten.

Verweildauer der Batteriespannung bezogen auf den Testzeitraum [%]

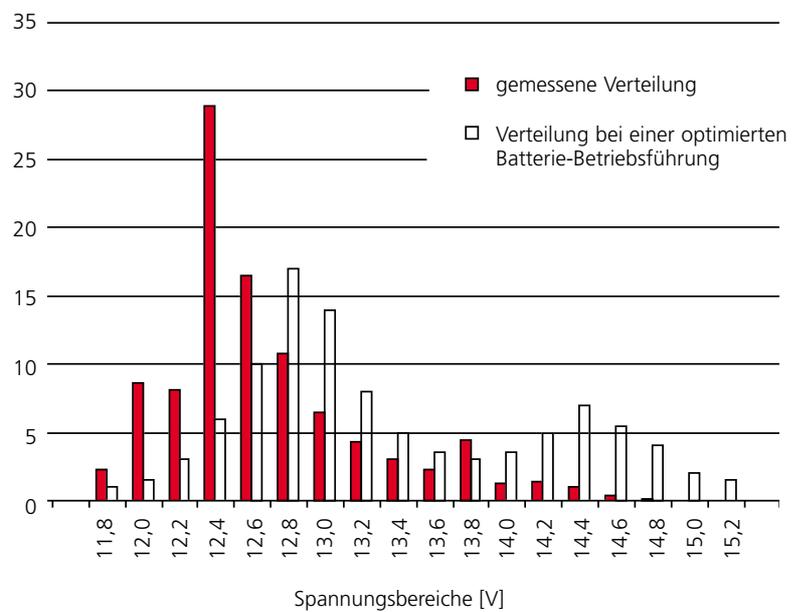


Abb. 1: Durch Unterdimensionierung und falsche Betriebsführung wird die Batterie häufig bei zu niedrigen Spannungen betrieben. Dies wirkt sich besonders nachteilig auf die Lebensdauer aus.



Abb. 2: Photovoltaik-Modul für ein Solar Home System auf dem Dach einer Rundhütte in einem Dorf in Afrika.

ten. Schwerpunkte der Arbeiten des Fraunhofer ISE sind die Entwicklung von Ladestrategien sowie Verfahren zur Erfassung des Ladezustands von Batterien. Zur Anpassung der Beleuchtungssysteme werden sowohl neue hocheffiziente elektronische Komponenten als auch optische Systeme zur effizienten Lichtlenkung entwickelt. Alle erarbeiteten Simulationswerkzeuge, Verfahren und Komponenten stehen unseren Kunden für die korrekte Dimensionierung und den Betrieb von SHS zur Verfügung.

Optimiertes Batteriemanagementsystem für autonome Stromversorgungssysteme

Bleibatterien haben in autarken regenerativen Energiesystemen im Verhältnis zu den anderen Komponenten eine relativ geringe Lebensdauer. Sie stellen dadurch einen hohen Kostenfaktor dar. Wir haben ein Batteriemangement entwickelt, das es ermöglicht, die Lebensdauer des Batteriespeichers entscheidend zu erhöhen. Dadurch wird eine deutliche Senkung der Lebensdauerkosten erreicht.

Rudi Kaiser

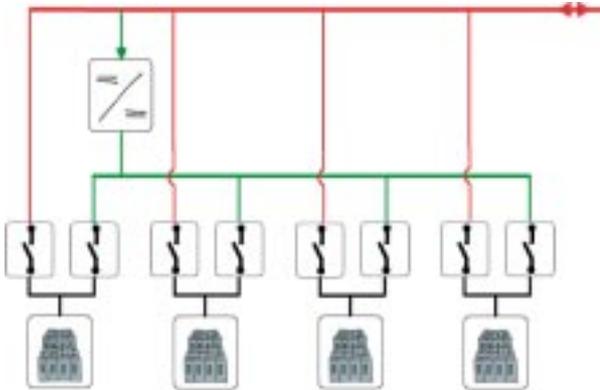


Abb. 1: Das Batteriemanagementsystem steuert in diesem Beispiel vier einzelne Batteriestränge. Die Stränge sind unabhängig voneinander schaltbar und Batterien können durch den integrierten DC/DC-Wandler vollgeladen werden. Das Batteriesystem kann einen konventionellen Batteriespeicher ohne zusätzlichen Installationsaufwand ersetzen.

Bleibatterien spielen aufgrund ihrer weltweit hohen Verfügbarkeit und ihrer relativ geringen Investitionskosten weiterhin eine zentrale Rolle in autonomen regenerativen Stromversorgungssystemen. Auch die Verfügbarkeit neuer Batteriespeichertechnologien änderte daran nichts.

Bei der autarken Stromversorgung schwankt das Energieangebot je nach klimatischen und meteorologischen Verhältnissen stark. Die Batterien werden dadurch häufig lange Zeiten bei tiefen Ladezuständen betrieben, oft im teilgeladenen Bereich zyklisiert und nur mit kleinen Strömen geladen. Dies wirkt sich sehr ungünstig auf die Lebensdauer von Bleibatterien aus.

Am Fraunhofer ISE haben wir daher ein Batteriemanagementsystem (BMS) entwickelt, das die Lebensdauer und Zuverlässigkeit des Batteriespeichers erhöht und damit Wartungsaufwand und Lebensdauerkosten stark reduzieren hilft. Basis ist ein innovatives Schaltungskonzept, das neue Betriebsführungsstrategien ermöglicht. Hierfür wird der Batteriespeicher in mehrere parallele Einzelstränge aufgeteilt, die individuell geschaltet werden können. Die jeweils aktuellen Zustände der Batterien in einem Strang, wie Lade- und Alterungszustand, werden kontinuierlich bestimmt. Somit können kontrollierte Entladungen, geringere Zyklisierung in tiefen Ladezuständen, höhere Betriebsströme der Einzelstränge und – mit Hilfe eines integrierten DC/DC-Wandlers – intensive Vollladungen durchgeführt werden. Das BMS berücksichtigt dabei sowohl das Alterungsverhalten der einzelnen Stränge wie auch den jeweiligen Batterietypus oder die Batterietechnologie. Dadurch ist das BMS in der Lage, unterschiedliche Stränge individuell zu betreiben und die Vorteile der unterschiedlichen Batteriestränge miteinander zu kombinieren.

In einem autarken Energiesystem könnte das BMS aus einem robusten, zyklenfesten Batteriestrang und weiteren Batteriesträngen mit geringer Selbstentladung bestehen. Der zyklenfeste Strang übernimmt den täglichen Ladungsumsatz und könnte relativ klein ausgelegt werden, was neuere teurere Technologien (z. B. NiCd) attraktiv macht. Die anderen Stränge übernehmen die längerfristige Energiespeicherung. Hierfür sind preisgünstige Bleibatterien vorteilhaft. Durch diese Aufteilung würden die Investitionskosten nur leicht ansteigen, wohingegen die Betriebskosten auf Grund der doppelt so langen Lebensdauer stark sinken.

Ein weiterer entscheidender Vorteil des BMS ist die Erhöhung der Zuverlässigkeit des gesamten Batteriespeichers. Durch die Parallelschaltung mehrerer Stränge bietet das Schaltungskonzept eine mehrfache Redundanz. Kommt es zu einem spontanen Ausfall eines einzelnen Strangs, so führt dies nicht gleichzeitig zu einem Totalausfall des gesamten Systems. In solch einem Fall schaltet das BMS den defekten Strang permanent ab und arbeitet mit den restlichen Strängen weiter. Darüber hinaus kann der defekte Strang während des normalen Betriebs gewechselt werden.

Das Batteriesystem kann von Systemintegratoren oder Planern wie ein konventioneller Batteriespeicher als Zweipol angeschlossen werden, so dass die Installation des Gesamtsystems nicht wesentlich geändert werden muss.

Die Entwicklung des BMS wird im Rahmen des Projektes UESP vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie BMWi gefördert.

Abb. 3: Das Batteriemanagementsystem ist hier im Labormaßstab für vier Einzelstränge aufgebaut. Geschaltet werden die Stränge über Leistungshalbleiter (MOSFET), die nahezu leistungslos angesteuert werden können. Für die Betriebsführung des BMS wird ein energieeffizienter Mikrocontroller eingesetzt, der sich aus den Strängen mit Energie versorgt.

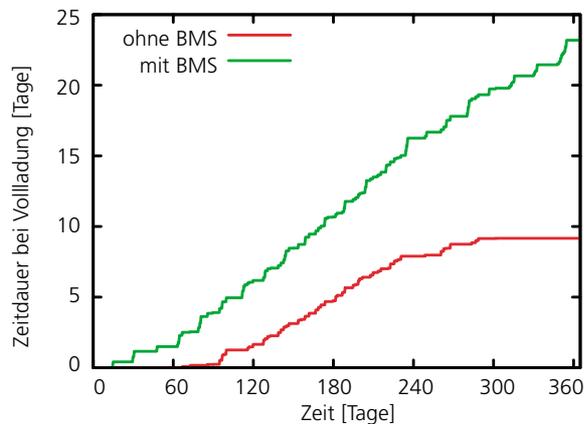
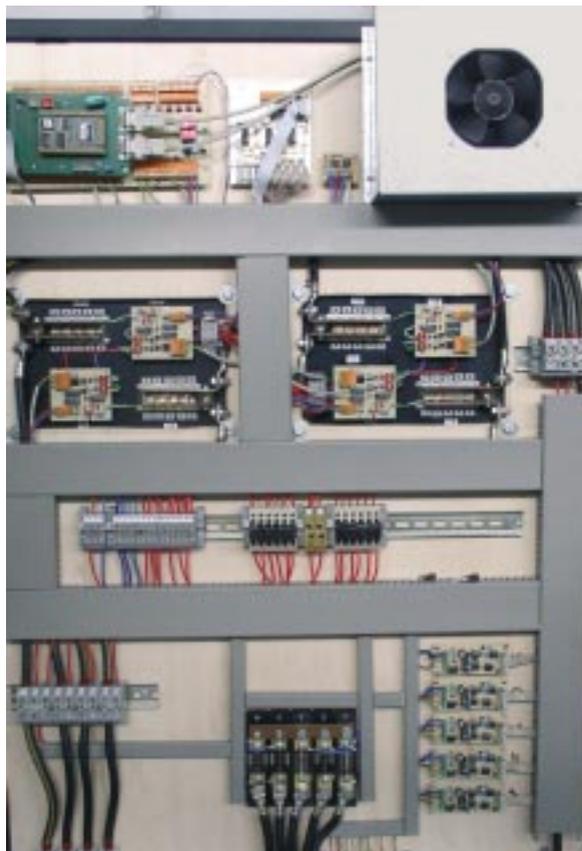


Abb. 2: Die Abbildung zeigt für den Verlauf eines Jahres (365 Tage) die kumulierten Tage, an denen ein Batteriesystem vollgeladen ist. Für einen Standort bei Freiburg erreicht die Batterie ohne BMS (rote Linie) im Jahresverlauf aufgrund der geringen Wintereinstrahlung erst nach ca. 90 Tagen erstmalig einen Vollladungszustand. Nach 300 Tagen, also ab Ende Oktober, kommen keine weiteren Tage mit Vollladung hinzu – die Batterie wird also nur noch im teilgeladenen Zustand betrieben. Das BMS (grüne Linie) erreicht hingegen, dass bereits nach ca. 30 Tagen die Batterie einen Vollladungszustand erreicht. Ebenso wird auch im Herbst und im Winter die Batterie immer wieder vollgeladen. Insgesamt werden mit dem BMS regelmäßig Vollladungen (insgesamt 24 Tage) erreicht, ohne BMS hingegen treten seltener Vollladungen (9 Tage) auf.



Parallel schaltbarer Inselwechselrichter für Anlagen kleiner und mittlerer Leistung

Die Bereitstellung elektrischer Energie in netzfernen Gebieten erfolgt zunehmend durch Photovoltaik. Während das »Solar Home System« als einfachste Anlage ausschließlich Gleichstromverbraucher versorgt, können mit einem Wechselrichter als Erweiterung auch handelsübliche Wechselstromgeräte betrieben werden. Am Fraunhofer ISE entwickelten wir einen robusten und kompakten Wechselrichter, mit dessen Fähigkeit zur Parallelschaltung kleine und mittlere Hausstromversorgungen realisiert werden können, die einfach und flexibel erweiterbar sind.

Daniel Aschoff, Christoph Siedle

Inselwechselrichter stellen ein eigenes Stromnetz bereit, das sich hinsichtlich Versorgungssicherheit und Störunempfindlichkeit möglichst wenig von einem öffentlichen Netz unterscheiden soll. Daraus ergibt sich eine Reihe von Anforderungen an die Leistungsstufe, an die Regelung und an den Eigenverbrauch des Geräts. Zudem werden die Geräte meist unter widrigen Umständen transportiert und häufig unter extremen klimatischen Verhältnissen betrieben, so dass eine mechanische Robustheit unerlässlich ist. Darüber hinaus werden sie im Allgemeinen nicht von technischem Fachpersonal installiert und betrieben, weshalb eine möglichst hohe Immunität gegen elektrische Fehler angestrebt wird. Der Einsatz vorwiegend in Entwicklungsländern verlangt zudem nach einer kostengünstigen Lösung.

Zusammen mit einem Industriepartner entwickeln wir einen 500-Watt-Wechselrichter mit 50-Hz-Transformator, der aus der 12-V-Batterie einer kleinen Solaranlage gespeist wird. Das Gerät betreibt ein 230-Volt-Netz mit wahlweise 50 oder 60 Hz. Durch Umschaltung der Transformatorwicklung kann auch ein 115-V-Netz aufgebaut werden. Eine 1000-Watt-Gerätevariante wird ebenfalls realisiert.

Da Inselwechselrichter im Gegensatz zu netzgekoppelten Wechselrichtern eine 24-stündige Versorgung garantieren müssen, legten wir beim Design besonderes Augenmerk auf einen geringen Eigenverbrauch. Der Wechselrichter kann zudem selbsttätig erkennen, ob ein Verbraucher angeschlossen ist und sich entsprechend ein- und ausschalten.

Größere Systeme können durch die Parallelschaltung von bis zu vier Wechselrichtern konfiguriert werden. Je nach Lastsituation werden im Hinblick auf einen günstigen Gesamtwirkungsgrad einzelne Geräte automatisch hinzu- bzw. weggeschaltet. Die hierfür notwendige Kommunikation und komplexe Betriebsführung haben wir in einem digitalen Signalprozessor realisiert.

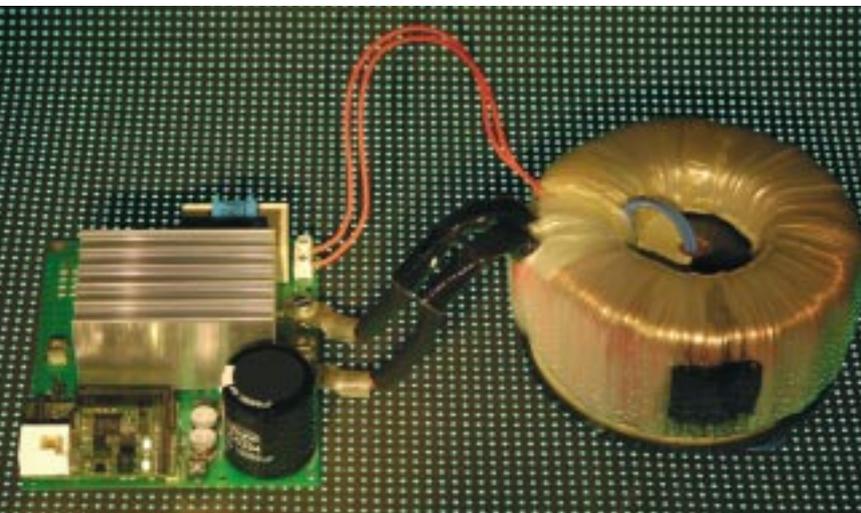


Abb. 1: Der Wechselrichter besteht aus einer MOSFET-Leistungsstufe, einem 50-Hz-Transformator und einer digitalen Regelung mit einem Signalprozessor, der auch die Kommunikation zur Synchronisation mit weiteren Geräten übernimmt.

Im Inselssystem werden an die Dynamik der Wechselrichterregelung hohe Anforderungen gestellt. Lastsprünge von Leerlauf auf die doppelte Nennleistung innerhalb von Millisekunden, wie sie typisch beim Anlaufen elektrischer Maschinen oder Kühlgerätekompressoren sind, werden von der ebenfalls im digitalen Signalprozessor implementierten Regelung sicher beherrscht.

Wir haben beim Reglerentwurf auch Verbraucher mit sprunghafter oder unsymmetrischer Belastung der beiden Sinushalbwellen berücksichtigt. Hierzu zählen beispielsweise die häufig eingesetzten Phasenanschnittsteuerungen in Lampendimmern und Bohrmaschinen oder Leistungssteuerungen von Elektrogeräten mittels Halbwellenbetrieb. Die unsymmetrische Belastung führt zu einer Sättigung des Transformatorkerns und einer Überlastung der Wechselrichtertransistoren. Ein speziell entwickelter Antisättigungsregler verhindert in Kombination mit einer schnellen Stromregelung die für den Wechselrichter gefährlichen Betriebszustände einer Sättigung und Überlastung.

Die verpolungssicher aufgebaute Leistungsstufe kann kurzzeitig dreifach überlastet werden, wodurch z.B. auch Kühlschrankschrankkompressoren sicher anlaufen. Um eine Überhitzung der Leistungsstufe zu verhindern, wird die Temperatur überwacht und bei Bedarf ein Lüfter zugeschaltet.

Ende 2005 nahmen wir die von unserem Industriepartner im Hinblick auf Serienproduktion und elektromagnetische Verträglichkeit überarbeiteten Prototypen in Betrieb. Das Gerät soll Mitte 2006 auf den Markt kommen.

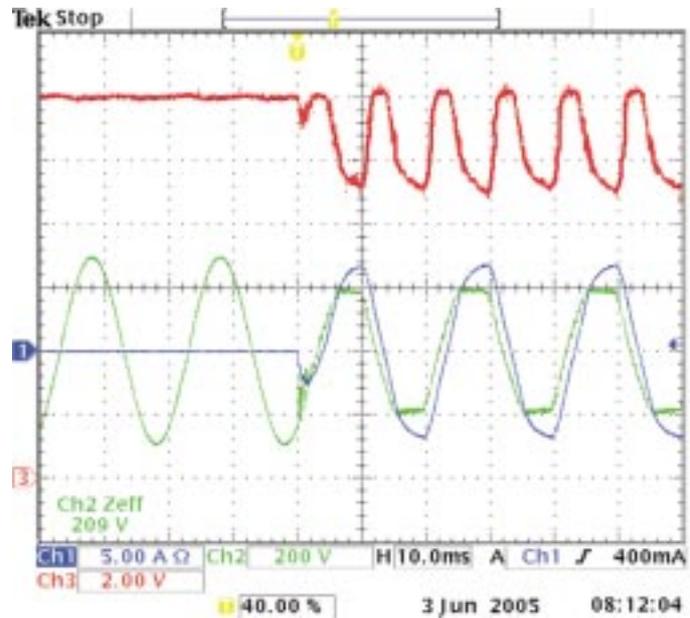


Abb. 2: Der Wechselrichter kann die zum Start eines Kühlschranks erforderlichen Ströme (blau) bereitstellen, auch wenn die Eingangsspannung (rot) aufgrund von Leitungs- und Batterieinnenwiderständen periodisch einbricht. Die Ausgangsspannung (grün) wird für einige Netzperioden abgesenkt.

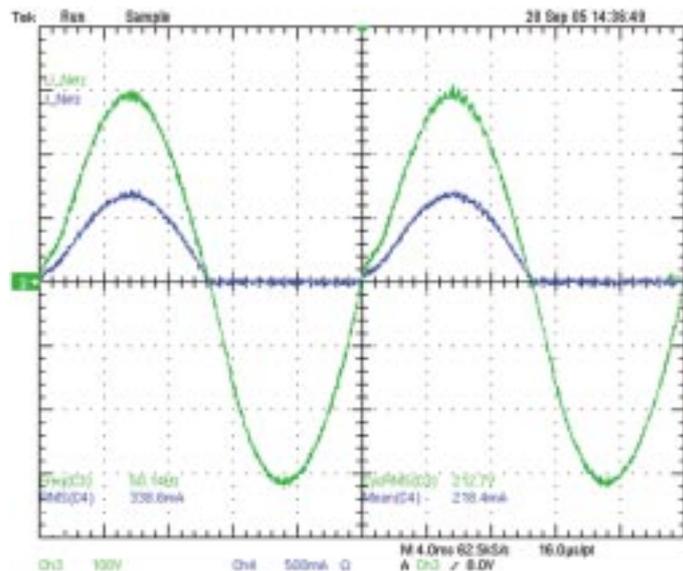


Abb. 3: Ein Antisättigungsregler ermöglicht trotz 50-Hz-Transformators den Betrieb von Halbwellenlasten. Der Laststrom (blau) fließt nur während der positiven Halbwelle. Der Trafokern gerät im Bereich des positiven Spannungsnulldurchgangs an seine Aussteuergrenze, die Reaktion der Regelung verformt die Spannungskurve (grün) geringfügig.

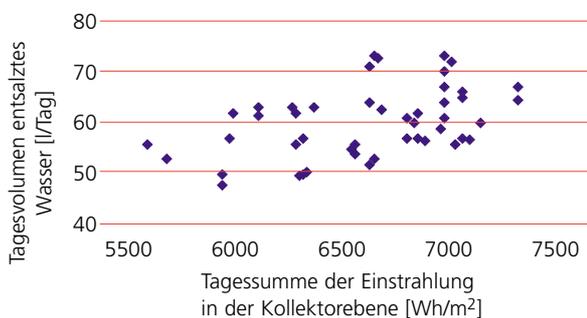
Meerwasserentsalzung mit Prozesswärme aus thermischen Solarkollektoren

Gemeinsam mit der Solarindustrie erschließt das Fraunhofer ISE neue Anwendungs- und Marktbereiche für Solarkollektoren, wie zum Beispiel die Meerwasserentsalzung. Hierfür werden kompakte Entsorgungssysteme entwickelt, die energieautark mit solarer Prozesswärme und mit Solarstrom betrieben werden können.

Sebastian Basel, Michael Ebermeyer, Joachim Koschikowski*, Heiko Rebmann, **Matthias Rommel**, Sarah Schiel, Marcel Wieghaus*

* PSE GmbH Forschung Entwicklung Marketing, Freiburg

Abb. 1: Die am Fraunhofer ISE entwickelten Kompaktanlagen werden nur durch Solarenergie angetrieben. Wie hier im Dorf Kelaa in Marokko liefern Solarkollektoren mit einer Fläche von 5,79 m² die thermische Energie für die Membrandestillation und Photovoltaik-Module mit einer Leistung von 106 Wp (oberes Modul) bzw. 70 Wp (unteres Modul) den Strom für den Betrieb der Pumpen. Die Anlagen sind dadurch vollständig energieautark und können deshalb auch an Orten ohne externe Energieversorgung eingesetzt werden.



Konventionelle Entsalzungsverfahren müssen in der Regel 24 Stunden am Tag mit konstanten Betriebsparametern betrieben werden. Das am Fraunhofer ISE entwickelte Verfahren der Membrandestillation hingegen ist auch für einen diskontinuierlichen Betrieb geeignet.

Es erfordert nur wenige Systemkomponenten und kann in besonders einfachen, kompakten und energieautarken Entsorgungssystemen eingesetzt werden.

2005 wurden erstmalig vier Kompaktanlagen auf Gran Canaria, in Ägypten, Jordanien und Marokko auf den Testgeländen unserer Projektpartner aufgebaut. Diese Kompaktanlagen erzeugen mit der Prozesswärme aus 6 m² Kollektorfläche täglich etwa 80 bis 100 Liter entsalztes Wasser mit einem spezifischen Energiebedarf von etwa 100 kWh_{th} pro m³ – etwa einem Siebtel der Verdampfungsenergie.

Anfang 2006 bauen wir zwei weitere, etwa zehnmal größere Anlagen mit einer Tageskapazität von etwa 1 000 Litern und einem Kollektorfeld von 80 m² auf. Dabei kommen auch neue Prozesswärmekollektoren zum Einsatz, die mit einer Zweifachabdeckung aus antireflex beschichtetem Glas Prozesswärme bis zu 120 °C erzeugen können. Für die Entwicklung von Prozesswärmekollektoren erweitern wir am Fraunhofer ISE derzeit Kollektortestanlagen, um Wirkungsgradkennlinien bis 200 °C vermessen zu können. Unser Ziel ist es, zusammen mit der Industrie neue Anwendungsbereiche für solare Prozesswärme bis 200 °C zu erschließen.

Das Projekt wird von der Europäischen Union gefördert.

Abb. 2: Die Grafik zeigt Messwerte eines zu dem im Bild gezeigten baugleichen Kompaktsystems, das nicht in einer Feldanwendung wie in Kelaa, Marokko, sondern in der Universität von Alexandria in Ägypten installiert wurde. Die Messergebnisse von August bis Oktober 2005 zeigen, dass mit steigender Einstrahlung auf die Kollektorfläche die Gesamtmenge entsalzten Wassers im Mittel etwa linear steigt. Betriebserfahrungen für Tage mit niedriger Einstrahlung liegen noch nicht vor. Pro Tag werden etwa 50 bis 75 Liter entsalztes Wasser unter den Betriebsbedingungen in Alexandria produziert.

Ultraschall zur Membran-Reinigung in dezentralen Wasseraufbereitungsanlagen

Weltweit sind immer mehr Menschen in ländlichen Gebieten auf eine dezentrale Trinkwasserversorgung angewiesen. Das Fraunhofer ISE entwickelt hierfür neue Aufbereitungsverfahren, die autark mit Solarenergie betrieben werden können. Dabei werden keine chemischen Reinigungsmittel benötigt. Die Reinigung der Filtermembran mit Ultraschall ist hierbei eine einsetztaugliche und wirtschaftliche Lösung.

Ulrike Seibert, Gisela Vogt, Joachim Went, Felix Holz

Ländlichen Regionen, die keinen Anschluss an eine zentrale Wasserversorgung haben, fehlt häufig auch die Infrastruktur für eine zentrale Stromversorgung sowie für die Ver- und Entsorgung mit chemischen Betriebsstoffen. Für die Wasseraufbereitung unter solchen Rahmenbedingungen entwickeln wir solar betriebene Verfahren. Wir verwenden dabei keine Chemikalien. Im Mittelpunkt steht die Einsatzfähigkeit in dezentralen kleinen Anlagen. Weitere Entwicklungsziele sind ein geringer Wartungsaufwand, hohe Standzeiten und ein niedriger Energieeinsatz. Die Anlagen sollen für die Filtration von Oberflächenwasser oder hygienisch belastetem Brunnen- und Quellwasser einsetzbar sein und schwankende Rohwasserqualitäten zuverlässig verarbeiten können.

In dem Projekt ISUS (In-situ Ultraschallabreinigung für Kleinmembransysteme in der Trinkwasseraufbereitung) untersuchen wir den Einsatz von Ultraschall zur Reinigung von Membranen in Wasseraufbereitungsanlagen. Dabei konnten wir in Experimenten die wirkungsvollste Beschallungsmethode ermitteln. Die Beschallung mit hohen Frequenzen weist bei der direkten Anregung von schwingungsfähigen Membranen zwei entscheidende Vorteile auf: starke Abreinigungsleistung bei niedrigem Energieeinsatz. So erreichten wir mit einer Frequenz von 40 kHz und einer Amplitude von $1 \mu\text{m}$ die für die Abreinigung nötigen Scherraten von $90 \times 10^3 \text{ s}^{-1}$. Mit dieser Methode liegen wir um den Faktor 3 höher als bei bekannten Verfahren. Die im Experiment gewonnenen Ergebnisse konnten wir erfolgreich aus dem Labormaßstab mit Membranflächen von 170 cm^2 auf marktgängige

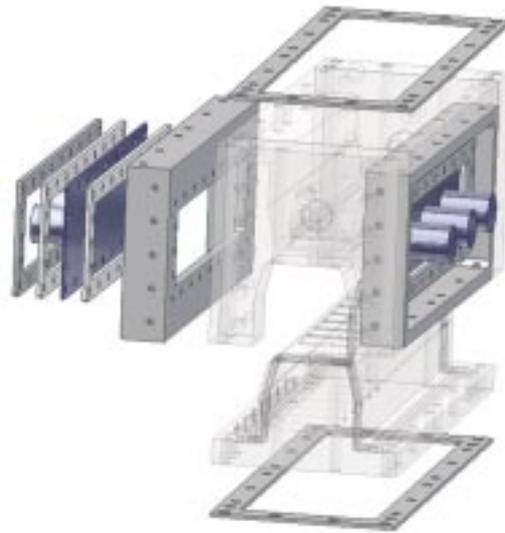


Abb. 1: Mit einer speziellen transparenten Testzelle können wir systematisch den Einfluss von Ultraschallintensität, Frequenz und Beschallungsart auf die Reinigungsmechanismen von unerwünschten Deckschichten auf den Membranen untersuchen.



Abb. 2: Durch ein Einfärbeverfahren wird die Wirkungsweise verschiedener Reinigungsverfahren auch optisch analysiert. Dargestellt sind hier drei Phasen des Reinigungsvorgangs an einem keramischen Membranplättchen mit Ultraschall bei einer Frequenz von 1 MHz, die in Abständen von 60 s aufgenommen wurden. Die eingefärbten Deckschichten lösen sich ab und werden von der akustischen Strömung, einer durch die Beschallung entstandenen Fließbewegung, weggespült.

Membranmodule mit $0,5 \text{ m}^2$ Membranfläche übertragen. In einem handelsüblichen Ultrafiltrationsmodul konnten wir die reinigende Wirkung auch an Kapillarmembranen nachweisen.

Das Projekt wird im Rahmen des Programms InnoNet vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie BMWi und den Firmen Dr. Hielscher GmbH, ITN-Nanovation GmbH und Grünbeck Wasseraufbereitung GmbH gefördert.



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 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 bieten jedoch weitere 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 Ertragsicherung 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. Hierfür forschen wir an der Verbesserung von optischen Komponenten wie den Absorberschichten in Parabolinnenkraftwerken zur Erreichung höherer Dampftemperaturen. Ebenso erarbeiten wir neue Konzepte zur Steuerung der Spiegel für Fresnelspiegelsysteme und führen Simulationen zur Auslegung von Gesamtsystemen durch.

Optisch konzentrierende PV-Systeme haben das Potenzial, die Stromgestehungskosten für große Kraftwerkseinheiten an sonnenreichen Standorten erheblich zu senken. Für zweiachsige der Sonne nachgeführte Konzentratormodule entwickeln wir Hochleistungssolarzellen, die in Kombination mit preisgünstig hergestellten Fresnellinsen Modulwirkungsgrade von bis zu 25% erzielen. Mit dem Ziel der Vermarktung der FLATCON®-Technologie wurde im März 2005 als jüngste Ausgründung aus dem Fraunhofer ISE die Firma Concentrix Solar GmbH ins Leben gerufen. (s. auch Seite 110: Unternehmensgründungen).

Wegen der Liberalisierung der Strommärkte und der Markteinführung klimaschonender Energietechnologien steigt der Anteil von PV-Anlagen und anderer dezentraler Stromerzeuger wie Blockheizkraftwerke an der Stromerzeugung 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 Bauelementen
- 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 Solar-komponenten
- 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



Leistungsvermessung einer Photovoltaik-Anlage durch Experten des Fraunhofer ISE. Vergleiche zeigen, dass die tatsächliche Leistung des Produkts häufig die angegebenen Toleranzen überschreitet. In Kooperation mit acht Herstellern und drei Prüflaboren entwickelt das Fraunhofer ISE jetzt ein Verfahren für die Verbesserung der Genauigkeit und Vergleichbarkeit der Leistungsmessung von mono- und multikristallinen Silicium-Solarmodulen (Beitrag S. 74).

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	Dr. Matthias Vetter	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-56 00 E-Mail: Matthias.Vetter@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
Marketing	Dr. Harald Schäffler	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-54 27 E-Mail: Harald.Schaeffler@ise.fraunhofer.de

Übergreifende Koordination

Regenerative Stromerzeugung im Netzverbund	Priv. Doz. Dr. Volker Wittwer	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-51 40 E-Mail: Volker.Wittwer@ise.fraunhofer.de
Solarzellen	Priv. Doz. 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



Optimierung der Leistungsmessung von Siliciumsolarmodulen

Vergleiche der Modulleistungsmessungen von Herstellern mit jenen unabhängiger Messlabore zeigen Abweichungen, die – gemessen unter Standard-Testbedingungen, unter Einhaltung aller relevanten Normen – über den angegebenen Toleranzen liegen. Zusammen mit acht Herstellern und drei Prüflaboren entwickeln wir jetzt Verfahren für eine deutliche Verbesserung der Genauigkeit und Vergleichbarkeit der Leistungsmessung von mono- und multikristallinen Siliciumsolarmodulen.

Thomas Erge, Jochen Hohl-Ebinger, Britta Hund, **Klaus Kiefer**, Jürgen Ketterer, Frank Neuberger, Peter Raimann, Wilhelm Warta

Die meisten Hersteller garantieren für die Leistungsangaben ihrer Module eine Toleranz in Höhe von ± 5 Prozent, einige Hersteller von ± 3 Prozent. Wird ein und dasselbe Modul bei verschiedenen Herstellern und bei verschiedenen Prüflaboren vermessen, zeigen sich jedoch Abweichungen, die über den angegebenen Toleranzen liegen. Dabei unterscheiden sich die Werte sowohl beim Vergleich der jeweiligen Herstellermessungen miteinander als auch beim Vergleich von Hersteller- mit Prüflabormessungen sowie bei Messungen unterschiedlicher Prüflabore. Die Leistungsangaben auf Photovoltaik-Modulen sind also nicht immer vergleichbar. Verunsicherung, insbesondere bei Projektierern großer PV-Kraftwerke, ist die Folge.

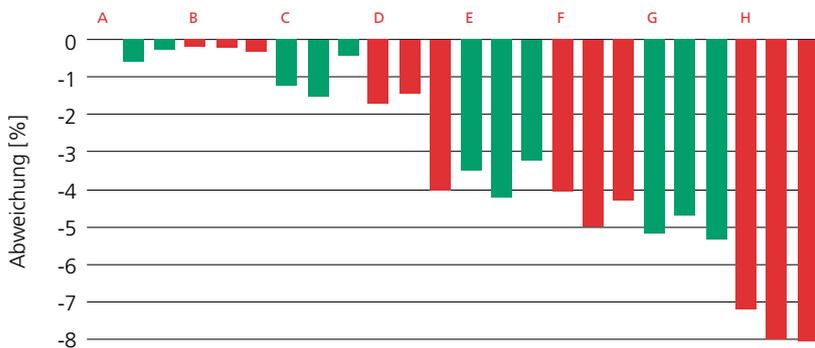


Abb. 1: Von acht Herstellern (A bis H) wurden jeweils drei Module eines Typs vermessen. Ein Vergleich der gemessenen Leistungswerte der Hersteller (0%-Linie) mit den Messwerten des Fraunhofer ISE (rote bzw. grüne Balken) zeigt Abweichungen von bis zu 8 %. Die Messunsicherheit beim Fraunhofer ISE liegt dabei bei ± 2 %, die Messunsicherheit bei der Industrie liegt den ersten Analysen zufolge mindestens bei $\pm 4,5$ %.



Abb. 2: Wesentliche Fortschritte bei der Modulkalibrierung am Fraunhofer ISE wurden durch die Erneuerung der Messtechnik-Hardware und Software erzielt. Durch die deutliche Verbesserung bei der Homogenität der Beleuchtung können jetzt von der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt kalibrierte Referenzzellen direkt zur Modulummessung verwendet werden. Für Standardmessung ohne Abgleich der spektralen Empfindlichkeit wird eine Messunsicherheit kleiner ± 4 % und für die Präzisionsmessung eine Genauigkeit im Bereich von $\pm 2,5$ % erwartet.

In einem Projekt mit acht Modulherstellern und zwei Messlaboren entwickeln wir daher Verfahren, um die Belastbarkeit und Genauigkeit der Leistungsmessung von mono- und multikristallinen Siliciumsolarmodulen bei den Modulherstellern und die Vergleichbarkeit mit den Labormessungen der Prüfinstitute deutlich zu verbessern. Ziel ist es, die Fehlertoleranz der Leistungsmessung in der Industrie auf ± 3 Prozent zu begrenzen. Hierfür analysieren wir die Messketten und entwickeln eine transparente Verfahrensbeschreibung für die Verbesserung und Vereinheitlichung der Modulummessungen.

Erste Projektergebnisse zeigen teilweise sehr starke Abweichungen zwischen den Leistungsmessungen bei der Industrie und den Messlabors. Gründe hierfür sind u.a. die inhomogene Bestrahlung der Modulfläche und die Differenzen in der spektralen Verteilung bei den Herstellern. Verbesserungsmöglichkeiten bestehen auch bei den Verfahren für die regelmäßige Kalibrierung der verwendeten Referenzmodule.

Das Projekt wird vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit BMU finanziell unterstützt.

Betriebsführung von Niederspannungsnetzen mit dezentraler Stromeinspeisung

Im Rahmen des EU-Projekts DISPOWER entwickelte das Fraunhofer ISE das Energiemanagementsystem PoMS («Power Flow and Power Quality Management System») für Niederspannungsnetze, mit dem der Betrieb dezentraler Erzeuger technisch und ökonomisch optimiert werden kann. Einen ersten Feldtest des Systems führten wir in der ökologischen Pilotsiedlung »Am Steinweg« in Stutensee durch. Dabei konnten wir nachweisen, dass durch das Energiemanagement erhebliche Betriebskosten eingespart werden können.

Rainer Becker, Thomas Erge, Elena Franzen, Anselm Kröger-Vodde*, Hermann Laukamp, Hans-Georg Puls, Malte Thoma, Rico Werner, Christof Wittwer

* PSE Projektgesellschaft Solare Energiesysteme mbH, Freiburg



Abb. 1: Für die Strom- und Wärmeversorgung der ökologischen Solar-siedlung »Am Steinweg« in Stutensee (bei Karlsruhe) wurde von der MVV Energie AG eine BHKW-Anlage (hinten rechts im Bild) mit Spitzenlastkesseln und thermischem Pufferspeicher installiert. Die Anlage wird ergänzt um eine Photovoltaikanlage und eine Batteriebank. Das Fraunhofer ISE optimierte die Betriebsführung mit dem Energiemanagementsystem PoMS. Bildrechte: MVV Energie AG

Netze mit einem hohen Anteil an dezentralen Stromerzeugern stellen höhere Anforderungen an die Netzplanung und -betriebsführung als herkömmliche Netze, insbesondere wenn fluktuierende Einträge aus Wind- und Photovoltaikanlagen dominieren. Die dezentrale Einspeisung bietet aber auch Chancen für eine primärenergetische oder betriebswirtschaftliche Optimierung. Im Rahmen des Forschungsprojekts DISPOWER entwickelten wir das Energiemanagementsystem PoMS, mit dem eine Vielzahl von dezentralen Erzeugern, Speichern und Lasten in Niederspannungsnetzen gesteuert werden können. Grundlage der Steuerung sind optimierte Einsatzfahrpläne, die auf der Basis von Last- und Erzeugungsprognosen erstellt werden. Ein erster Feldversuch mit dem PoMS-System wurde in einer von der MVV Energie AG versorgten Solar-siedlung in Stutensee bei Karlsruhe durchgeführt. Neben dem Mittelspannungsnetz liefern hier ein 30 kW BHKW, eine 28 kW_p Photovoltaikanlage sowie eine Batterieanlage mit einer Kapazität von 100 kWh den Strom für die Siedlung. Der Netzbetrieb wurde nach folgenden alternativen Zielkriterien optimiert:

- Begrenzung des Spitzenlastbezugs vom Mittelspannungsnetz
- Balancierung des momentanen Verbrauchs und der momentanen Erzeugung («virtueller Inselbetrieb«)
- Einhaltung vorgegebener Spannungsbänder in definierten Netzsegmenten.

Wir konnten nachweisen, dass durch das Energiemanagement Kosten in Höhe von ca. 4 000 Euro pro Jahr für eine Siedlung mit ca. 100 Haushalten eingespart werden können. Auch die Strom- und Wärmeerzeugung für die Siedlung konnte durch eine verbesserte Fahrweise des BHKW und mit Hilfe eines thermischen Speichers kostengünstiger gestaltet werden. Die Arbeiten werden im Rahmen des Projekts DISPOWER von der Europäischen Union gefördert.

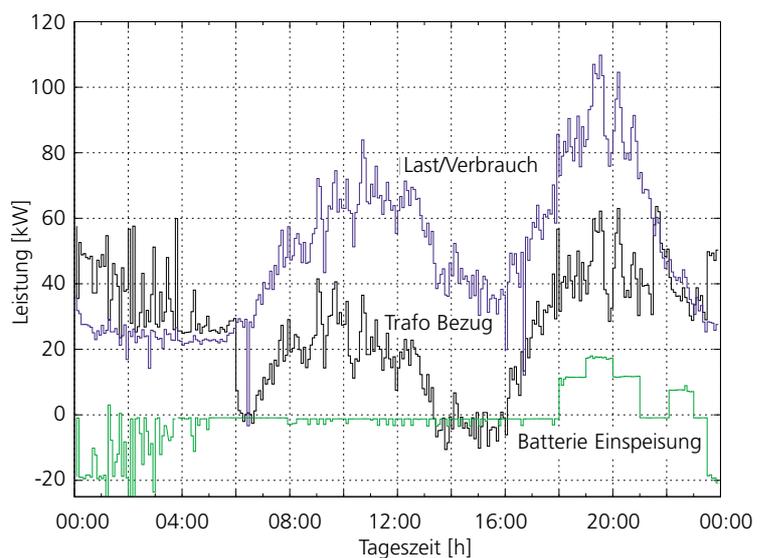


Abb. 2: Die Graphik zeigt den Stromlastverlauf der Siedlung (lila Linie) und den Bezug am Mittelspannungstrafo (schwarze Linie). Durch die Einspeisung der Photovoltaikanlagen und des BHKW, die in dieser Graphik nicht dargestellt sind, wird der Strombezug tagsüber abgesenkt. Der Batteriespeicher (grüne Linie) wird in der Nacht aufgeladen (negative Werte) und in den Abendstunden (positive Werte) entladen.



Last- und Netzmanagement mit ökonomischen Anreizstrukturen

Immer mehr Photovoltaik-, Wind- und Blockheizkraftwerk (BHKW)-Anlagen speisen ihre Leistung fluktuierend und unregelmäßig in Niederspannungsnetze ein. Das Netzmanagement wird dadurch tendenziell aufwändiger. Zusammen mit Energieversorgungsunternehmen entwickeln wir neue Möglichkeiten, um durch ökonomische Anreize und Tarifmodelle Einspeisung und Verbrauch in Niederspannungsnetzen besser steuern und ausgleichen zu können.

Georg Bopp, Sebastian Gözl,
Harald Schäffler

Im Sommer 2005 führte das Fraunhofer ISE zusammen mit der MVV Energie AG in der Siedlung »Am Steinweg« in Stutensee bei Karlsruhe das Modellprojekt »Waschen mit der Sonne« durch. Dabei sollte ermittelt werden, welche Art der Kommunikation und welche Anreize für die Bewohner eine zeitlich ideale Ausnutzung des vorhandenen Solarstromangebots ermöglichen. In der Siedlung wird der Verbrauch von 100 Haushalten u. a. durch mehrere dezentrale Erzeuger (Blockheizkraftwerk mit 30 kW, eine PV-Anlage mit 28 kWp, mehrere kleine PV-Anlagen, sowie ein 100 kWh Batteriespeicher) bereitgestellt. Langfristiges Ziel ist es, eine Balance zwischen lokaler Erzeugung und Verbrauch zu erreichen und die lokal erzeugte Energie möglichst optimal zu nutzen. Hierzu erhielten die Teilnehmer während des Monats Juli morgens eine Nachricht über E-Mail, SMS oder Pager-Dienst, wenn an diesem Tag mit einer hohen Stromerzeugung von der PV-Anlage gerechnet wurde. Gleichzeitig wurden die Teilnehmer informiert, in welchem Zeitraum sie z. B. durch Einschalten der Wasch- oder Spülmaschinen den Solarstrom optimal nutzen konnten. Jedem, der diese Option nutzte, wurde ein finanzieller Bonus gutgeschrieben, der am Ende des Versuchszeitraums ausgezahlt wurde.

Abb 1: In einem Pilotversuch in Stutensee wurden die Teilnehmer durch SMS, Pager und E-Mail informiert, wann sie am besten »mit der Sonne waschen« konnten.



Unsere Auswertungen zeigen, dass ein sehr großer Teil der Nutzer der Tagesempfehlung folgte. Anhand der aufgezeichneten Verbrauchsdaten und begleitenden Befragungen werden die Auswirkungen auf die Gesamtversorgung untersucht und extrapoliert. Mit Hilfe dieser Ergebnisse können dann innovative Anreizsysteme entwickelt und getestet werden. Denkbar ist neben der gezielten Steuerung von Lasten (z. B. Waschmaschinen) die Anpassung der Tarifstrukturen an die Anforderungen in dezentralen Netzen.

Wir entwickeln zusammen mit den Partnerinstituten des »Fraunhofer-Verbunds Energie« Konzepte für flexible Stromtarife. Die Strompreise können dabei in vielfältiger Weise geführt werden: z. B. in dynamisch angepassten Stundenwerten, im Rahmen von Tages- oder Wochenprognosen oder als saisonale Abstufung – sowohl für Verbraucher als auch für Einspeiser. Durch die daraus resultierenden Last- bzw. Einspeiseverschiebungen können z. B. Netzlastspitzen begrenzt, fluktuierende dezentrale Einspeisung optimal genutzt oder der Bezug von Regelenergie minimiert werden. Durch die Fortschritte in der Zählertechnologie für Haushaltskunden bieten sich auch vielfältige Möglichkeiten für die Lastgangaufzeichnung und Zählerfernauslesung, die entsprechende Pilotversuche der 90er Jahren noch nicht aufweisen konnten. Im Vergleich zu herkömmlichen Ansätzen des Demand-Side-Managements (DSM), in denen dezentrale Anlagen unmittelbar gesteuert werden, liefern flexible Stromtarife jedoch nur einen Handlungsanreiz. Der Kunde entscheidet autonom, in welchem Umfang er von dem Angebot profitieren will. Der Nachteil der indirekten Laststeuerung wird jedoch in zweifacher Hinsicht ausgeglichen. Erstens können mit flexiblen Stromtarifen auch Kunden in das DSM einbezogen werden, deren Anlagen oder Stromverbräuche für sich genommen zu klein wären für eine unmittelbare Steuerung. Und zweitens ergibt sich bei einer genügend großen Anzahl von Teilnehmern ein statistisch gemittelt Reaktionsverhalten, das prognostiziert werden kann.

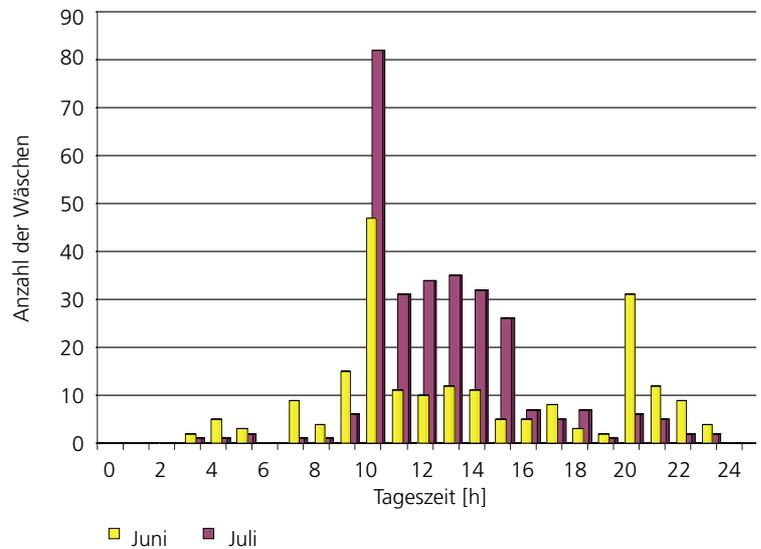


Abb. 2: Im Juli wurde den Teilnehmern an sonnenreichen Tagen empfohlen, Wasch- oder Spülmaschinen zwischen 10 und 16 Uhr anzuschalten. Ein Vergleich der Waschzeiten mit den Werten im Juni (ohne Empfehlung) zeigt, dass viele Teilnehmer diese Empfehlung nutzten und ihre Waschzeiten verlagerten.

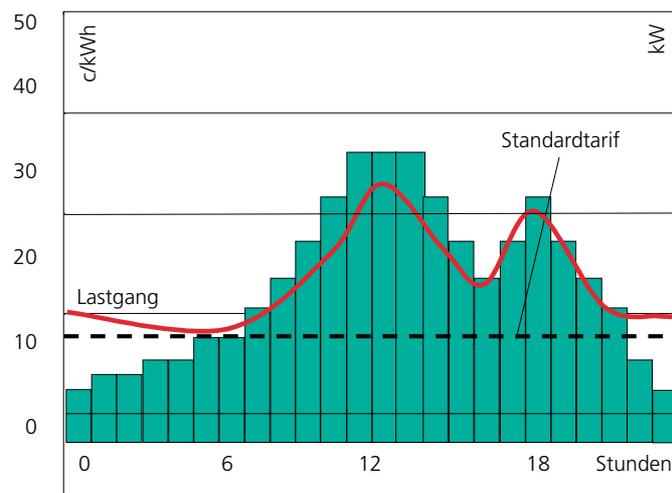


Abb. 3: Entsprechend der regionalen Versorgungsstruktur und den Optimierungszielen eines Energieversorgers können flexible Stromtarife sehr unterschiedlich gestaltet werden. Eine Möglichkeit ist, wie in der Graphik dargestellt, dass die Tarifstufe stündlich dem Lastgang angepasst wird.

Betriebsführungskonzepte für stromgeführte Blockheizkraftwerks-Anlagen

Für die BHKW-Anlage der Solarsiedlung »Am Steinweg« in Stutensee bei Karlsruhe entwickelte das Fraunhofer ISE ein Betriebsführungskonzept, das mit Hilfe eines thermischen Speichers einen stromgeführten Betrieb des BHKW optimiert, die bedarfsgerechte Bereitstellung thermischer Energie garantiert und dabei gleichzeitig die Wirtschaftlichkeit der BHKW-Anlage erhöht.

Christof Wittwer, Rainer Becker, Thomas Erge

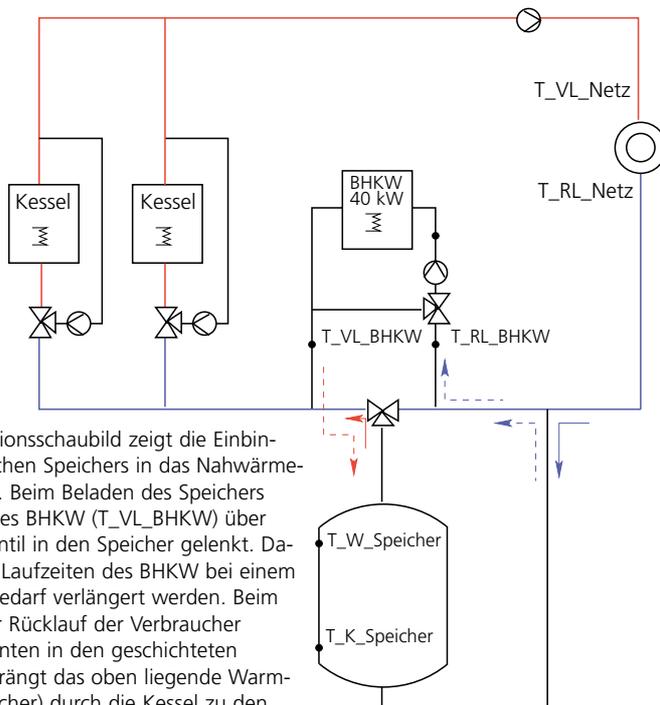
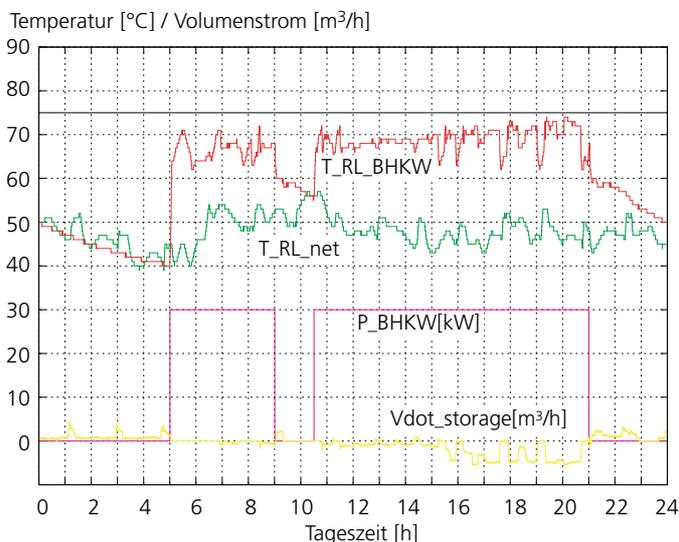


Abb. 1: Das Funktionsschaubild zeigt die Einbindung des thermischen Speichers in das Nahwärmeverversorgungssystem. Beim Beladen des Speichers wird der Vorlauf des BHKW (T_{VL_BHKW}) über das Drei-Wege-Ventil in den Speicher gelenkt. Dadurch können die Laufzeiten des BHKW bei einem geringen Wärmebedarf verlängert werden. Beim Entladen fließt der Rücklauf der Verbraucher (T_{RL_Netz}) von unten in den geschichteten Speicher und verdrängt das oben liegende Warmwasser ($T_{W_Speicher}$) durch die Kessel zu den Verbrauchern. Die Kessel werden im Bedarfsfall zur Nachheizung verwendet.



Die Nahwärmeversorgungsanlage der Solarsiedlung »Am Steinweg« in Stutensee wird von dem Energieversorger MVV Energie AG betrieben und besteht u. a. aus einem Blockheizkraftwerk, zwei Heizkesseln und einem thermischen Speicher. Durch den thermischen Speicher ist es möglich, die thermische und die elektrische Energieerzeugung in hohem Umfang voneinander zu entkoppeln. Das BHKW kann unabhängig vom aktuellen Wärmebedarf stromgeführt werden und z. B. zur Abdeckung der elektrischen Spitzenlast der Siedlung beitragen. Gleichzeitig lassen sich durch die Speicherung von der über den momentanen Bedarf hinaus erzeugten Wärme auch die Einschalthäufigkeit des BHKW verringern und damit auch der Wartungsaufwand und die Energieverluste.

Das Fraunhofer ISE entwickelte für die BHKW-Anlage ein kundenspezifisches Betriebsführungssystem. Auf der Basis von dynamischen Simulationsmodellen bewerteten wir unterschiedliche Betriebsführungsstrategien von BHKW, Kessel und Speicher. Auf der Grundlage der Ergebnisse entwickelten und optimierten wir Regelalgorithmen. Für die BHKW-Anlage der Siedlung Stutensee führte die Optimierung zu einer um ca. 20 Prozent erhöhten Einsatzzeit.

Nach dem Optimierungsprozess wurden die Algorithmen direkt auf die Regelhardware des BHKW übertragen. Die Komponenten erhielten jeweils eigene Schnittstellen, die mit Hilfe von »embedded systems« dezentrale Kommunikations- und Regelungsfunktionen übernehmen und über ein Netzwerk verbunden sind. Dadurch hat der Betreiber jederzeit einen internetbasierten Zugriff auf alle Anlagendaten und kann auch Fernwartungen durchführen.

Abb. 2: Das Schaubild zeigt über den Tagesverlauf die Be- und Entladezeiten des Speichers. Von 21 Uhr bis 5 Uhr morgens wird der Speicher entladen (gelbe Linie, positiver Volumenstrom), tagsüber während der Betriebszeiten des BHKW vorwiegend geladen (negativer Volumenstrom, grüne Linie). Die Betriebsführung gewährleistet, dass die Rücklauftemperatur des BHKW (rote Linie) nicht über 75 Grad Celsius steigt, um die Heizleistung des BHKW möglichst gut auszunutzen.

Neuartige Simulationsumgebung für das Design verteilter Erzeugungsstrukturen

Zur Beschreibung und Simulation heterogener technischer Systeme mit ausgeprägter Struktur- und Systemdynamik entwickeln wir zusammen mit fünf weiteren Fraunhofer-Instituten das generische Simulationswerkzeug MOSILAB. Anhand von Anwendungen in den Bereichen verteilte Energieerzeugung, hygrothermische Gebäudesimulation und Werkzeugsysteme zur spannenden Bearbeitung wird der Simulator erprobt und evaluiert.

Matthias Vetter, Christof Wittwer, Simon Schwunk

Bei der Simulation von komplexen Energieversorgungssystemen mit vielen verschiedenen Komponenten und Energieflüssen (Strom, Gas, Kälte, Wärme) muss abgewogen werden zwischen aufwändigen Modellen, die das Verhalten der jeweiligen Komponenten detailliert beschreiben können, aber viel Zeit benötigen und einfachen Modellen, die ungenauer, aber dafür praktikabler sind. Mit dem Simulationswerkzeug MOSILAB (Modeling and Simulation Laboratory) können solche heterogenen Systeme zugleich effizient und genau modelliert und analysiert werden. Hierzu werden Gleichungen und Modellstruktur während der Simulation dynamisch geändert. Beispielsweise kann eine Brennstoffzelle im stationären Zustand mit einfachen Kennlinien beschrieben werden. Beim Anfahren wird jedoch ein detailliertes Modell eingesetzt, um das dynamische Verhalten abzubilden.

Für die Modellbeschreibung entwickeln die Projektpartner die objekt- und gleichungsorientierte Sprache MOSILA (Modeling and Simulation Language), die auf dem weit verbreiteten Sprachstandard MODELICA® aufbaut und sämtliche MODELICA®-Sprachelemente unterstützt. Wie andere generische Simulatoren kann MOSILAB dabei auf spezielle Anwendungen zugeschnitten werden (Generierung von Spezialsimulatoren). Es unterscheidet sich aber durch die Abbildung der zustandsabhängigen Änderung der Modellstruktur (Modellstrukturdynamik). Schnittstellen ermöglichen die Einbindung von externen C/C++-Modellen und die Kopplung mit Fremdsimulatoren, wie beispielsweise MATLAB/SIMULINK® und FEMLAB®.



Abb. 1: Das Simulationswerkzeug MOSILAB wird vom Fraunhofer ISE zusammen mit den Fraunhofer-Instituten FIRST, IIS/EAS, IBP, IWU und IPK entwickelt. Neben der Beteiligung am Simulator-Design entwickelt das Fraunhofer ISE Modellbibliotheken für netzgekoppelte Brennstoffzellensysteme in dezentralen Energieversorgungsstrukturen.

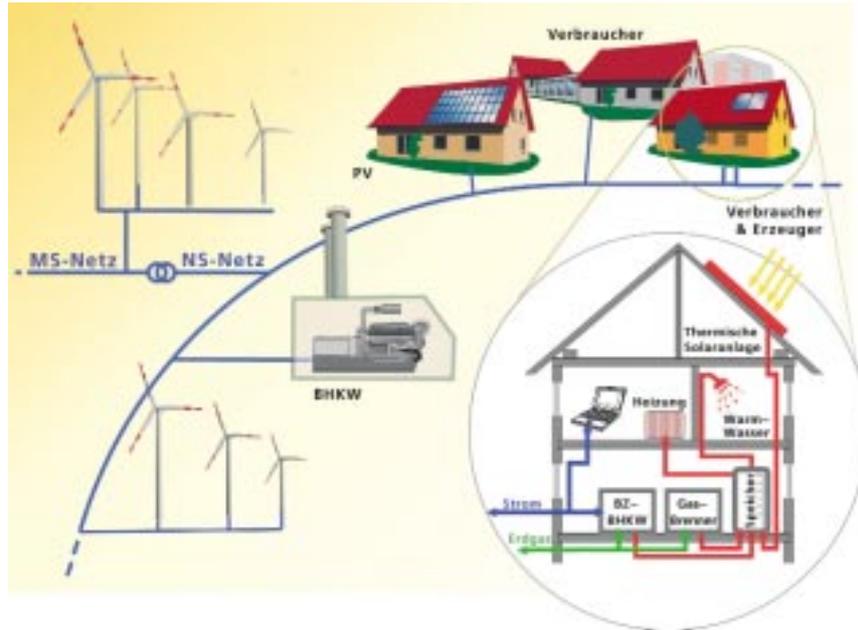


Abb. 2: Bei der Simulation von heterogenen Energiesystemen müssen manche Komponenten in Abhängigkeit vom Zustand sehr detailliert (z. B. die Brennstoffzelle) beschrieben werden, für andere wiederum genügen einfache Modelle. Mit dem Simulationswerkzeug MOSILAB kann die Modelltiefe während der Simulationslaufzeit entsprechend den Randbedingungen (stationärer Zustand, Lastwechsel, etc.) geändert werden.

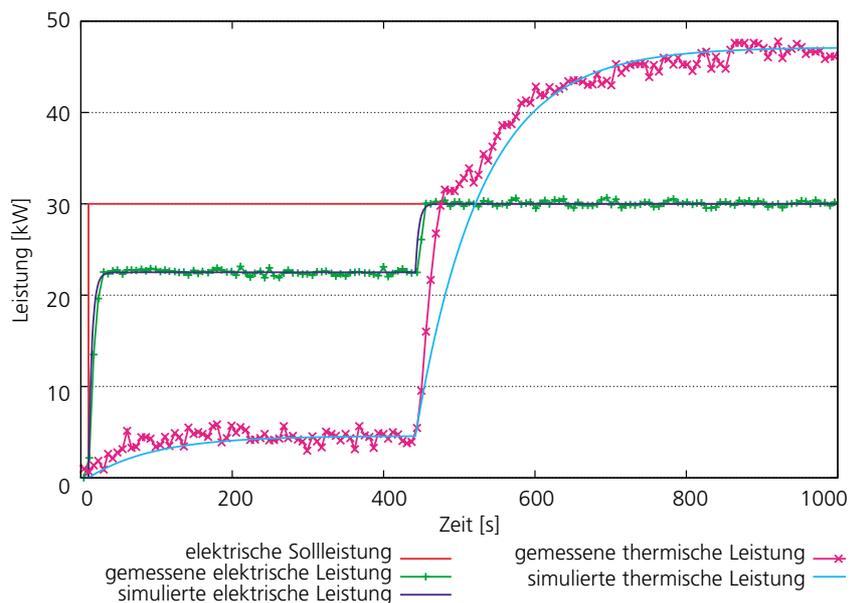


Abb. 3: Simuliertes und gemessenes Anfahrverhalten des Motor-Blockheizkraftwerks mit einer elektrischen Leistung von 30 kW und einer nominalen thermischen Leistung von 50 kW. Die gemessenen und simulierten elektrischen Leistungen beziehungsweise thermischen Leistungen decken sich in erster Näherung.



Concentrix Solar GmbH – jüngste Ausgründung aus dem Fraunhofer ISE

Concentrix Solar GmbH ist die jüngste Ausgründung aus dem Fraunhofer ISE. Zielsetzung des Unternehmens ist die Herstellung und Vermarktung von Modulen und Systemen der im Institut entwickelten Konzentratoren-Photovoltaik-Technologie FLATCON®. Zielmarkt sind große Photovoltaik-Kraftwerke in sonnenreichen Ländern, ein Marktsegment, das seit kurzem in Spanien und Italien zu wachsen beginnt.

Andreas Bett, Frank Dimroth,
Hansjörg Lerchenmüller



Abb. 1: Photovoltaik-Konzentratorsystem mit 50 FLATCON®-Modulen auf einer Nachführeinheit. Die optimierte Steuerung gewährleistet eine Nachführgenauigkeit von 0,1°. Das System speist die produzierte Energie in das Netz ein. Das hier abgebildete System befindet sich auf dem Dach des Fraunhofer ISE.



Abb. 2: Visualisierung eines Photovoltaik-Kraftwerks bestehend aus einer Vielzahl von Nachführsystemen, die jeweils mit mehreren hundert Modulen ausgerüstet sind.

Konzentrator-Photovoltaiksysteme fokussieren das Sonnenlicht mit Hilfe von Linsen auf winzig kleine Solarzellen. Bereits seit vielen Jahren gibt es technische Ansätze, mit konzentrierter Solarstrahlung zu arbeiten, um Solarzellenmaterial einzusparen. Das Fraunhofer ISE verfügt über langjährige Erfahrungen in der Entwicklung und Charakterisierung von Konzentratoren-Photovoltaikzellen und -modulen. Nun steht die Konzentratorteknologie vor einem entscheidenden Durchbruch, weil der Wirkungsgrad von hocheffizienten Solarzellen auf der Basis von III-V-Halbleitern erheblich gesteigert werden konnte. Die in den FLATCON®-Modulen eingesetzten und am Fraunhofer ISE entwickelten Konzentratoren-Solarzellen ermöglichen jetzt Wirkungsgrade von über 35 Prozent. Mittelfristig können damit Modulwirkungsgrade von bis zu 30 Prozent erreicht werden (Beitrag S. 52). Im Februar 2005 wurde die Concentrix Solar GmbH aus dem Fraunhofer ISE ausgegründet mit dem Ziel, die FLATCON®-Konzentrator-technologie in die industrielle Massenfertigung zu führen.

Concentrix will vor allem den Markt für größere Kraftwerkseinheiten von 100 kW bis mehrere MW in sonnenreichen Regionen bedienen. Denn dort lassen Konzentratoren-Kraftwerke aufgrund des hohen Direktstrahlungsanteils einen deutlichen Kostenvorteil gegenüber herkömmlicher Siliciumtechnologie erwarten.

Derzeit ist eine Pilotfertigungsline in Planung, die die Module für Demonstrationsprojekte liefern soll. Mit den ersten marktreifen Systemen ist Ende 2006 zu rechnen.

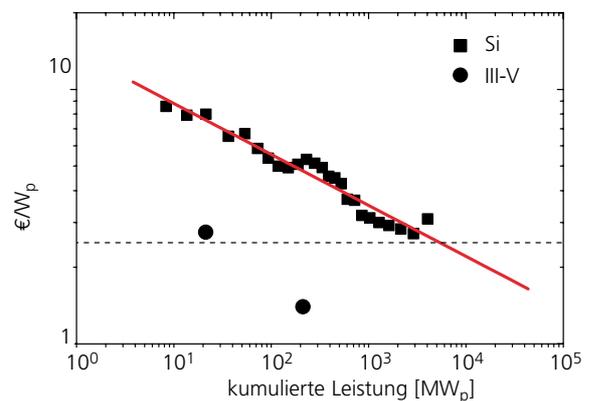


Abb. 3: Um das Kostensenkungspotenzial zu verdeutlichen, das in der Konzentratoren-Photovoltaik liegt, wurden in die Preis-Erfahrungskurve für Silicium-Flachmodule zwei Wertepunkte für Konzentratoren-PV eingezeichnet. Die Werte beruhen auf einer Produktionskostenanalyse für FLATCON®-Module inklusive Nachführeinheit für eine Produktionskapazität von 20 MW und 200 MW (Annahme: Faktor 1,5 zwischen Kosten und Preisen). Die gestrichelte Linie zeigt das 2,5 €/W_p Niveau an.

Solarthermische Kraftwerke – Strategieberatung für die Weltbank

Die Global Environment Facility (GEF) und die Weltbank unterstützen gemeinsam die Markteinführung von solarthermischen Kraftwerken. Das Fraunhofer ISE führte mit Partner-Instituten der »Global Research Alliance« (GRA) ein Beratungsprojekt durch, um Strategieempfehlungen an GEF/Weltbank bezüglich des Engagements im Markt für solarthermische Kraftwerke zu entwickeln.

Gabriel Morin, Hansjörg Lerchenmüller

In den Jahren 1996 bis 1999 beschloss die Global Environment Facility (GEF), vier solarthermische Kraftwerksprojekte in Ägypten, Indien, Marokko und Mexiko mit jeweils ca. 50 Mio. US\$ zu fördern und beauftragte die Weltbank, die Projektentwicklungen hierfür zu begleiten. Gefördert werden sollen Hybridkraftwerke mit einer solarelektrischen Leistung von jeweils ca. 30 MW. Diese sollen solar erzeugte Wärme aus Parabolrinnen- oder Solarturm-Kollektoren in ein erdgasbefeuertes Gas- und Dampfkraftwerk eingekoppeln. Die solar bedingten Mehrkosten der Stromerzeugung sollen über die Förderung gedeckt werden. Im Auftrag der Weltbank führte ein Konsortium der Global Research Alliance, bestehend aus dem Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI, dem Fraunhofer ISE, der Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation CSIRO (Australien) und dem Council for Scientific and Industrial Research CSIR (Südafrika) eine Studie durch.



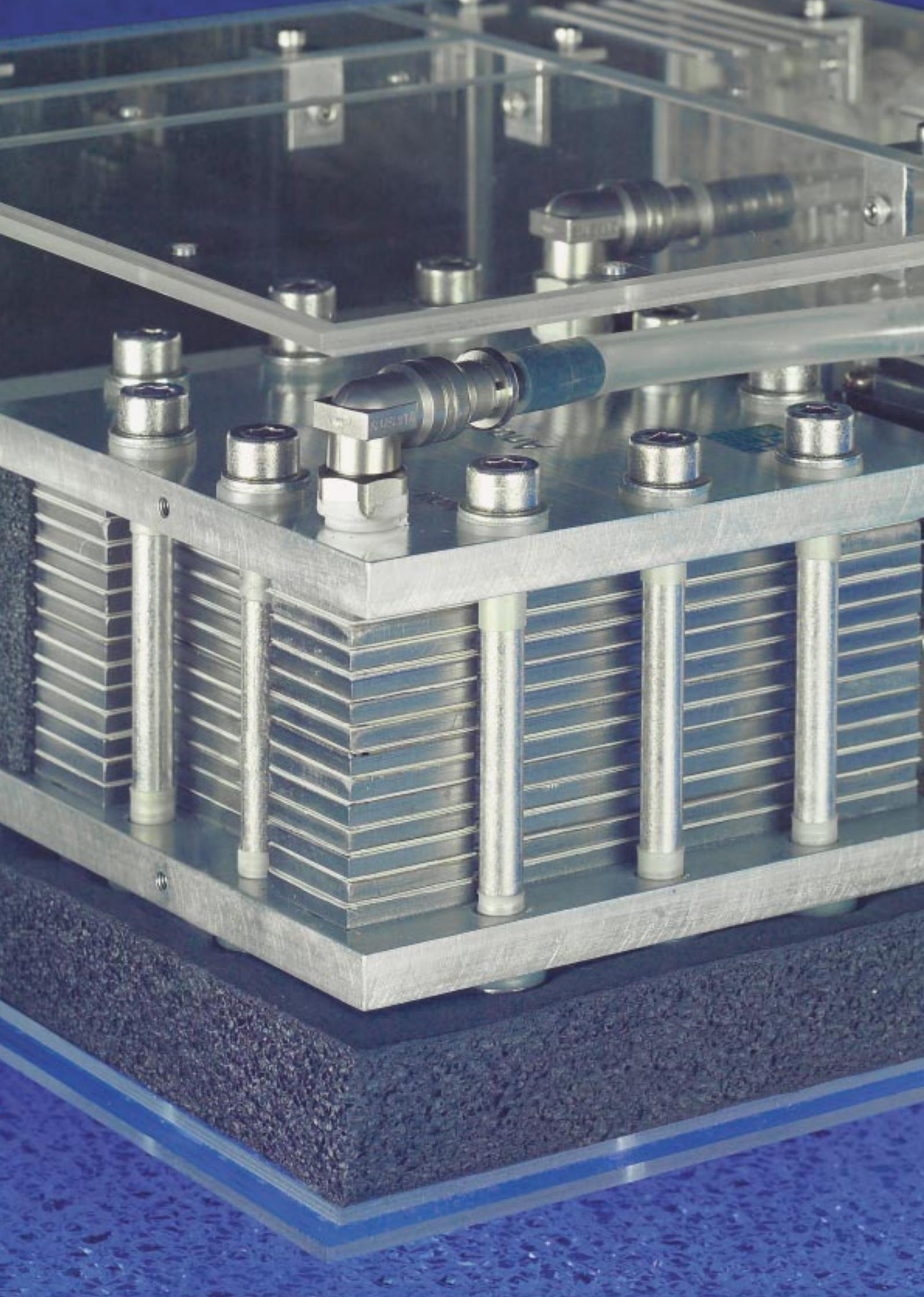
Das Fraunhofer ISE war im Rahmen der Studie mit der Technologiedarstellung und Kostenanalyse von solarthermischen Kraftwerken beauftragt. Dabei konnten wir auf Erfahrungen in der Systembetrachtung solarthermischer Kraftwerke zurückgreifen, die wir in den vergangenen Jahren im Zusammenhang mit der Modellierung von Kraftwerken auf der Basis von linearen Fresnel-Kollektoren machen konnten. Darüber hinaus war das ISE für die Analyse und die Erarbeitung von Empfehlungen zum Mexiko-Projekt verantwortlich.

Die Studie erörtert verschiedene Strategieszenerarien für GEF/Weltbank hinsichtlich der Unterstützung der Markteinführung solarthermischer Kraftwerke. Sie empfiehlt den Auftraggebern GEF/Weltbank die zügige Umsetzung mindestens eines Teils des Kraftwerkportfolios, zusammen mit den übrigen aktuellen globalen Markteinführungsaktivitäten zu solarthermischen Kraftwerken.

Für diese Empfehlung nennt die Studie drei Gründe: einem geringen technischen Risiko steht ein großes wirtschaftliches Potenzial gegenüber; die junge Branche könnte durch Wegfall der vier in Aussicht stehenden Kraftwerksaufträge erheblich erschüttert werden; Entwicklungs- und Schwellenländer als Zielregionen der Weltbank liegen in sonnenreichen und damit langfristig idealen Standorten für solarthermische Kraftwerke.

Für die am weitesten entwickelten Projekte in Marokko und Ägypten ist seit Abschluss der Studie die Ausschreibung zum Bau eines Kraftwerks bzw. die Aufforderung an Industriekonsortien zur Präqualifikation (Vorstufe zur Ausschreibung) erfolgt.

Abb. 1: Solarthermisches Kraftwerk auf der Basis von Parabolrinnenkollektoren in Kalifornien. Parabolrinnenkraftwerke sind dort mit einer kumulierten el. Leistung von 354 MW installiert und stellen seit über 15 Jahren des kontinuierlichen Betriebs ihre kommerzielle Reife unter Beweis. (Quelle: US Department of Energy).



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 zweiter Weg ist die Reformierung von gasförmigen oder flüssigen Brennstoffen, so genannten Kohlenwasserstoffen.

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 Elektromoto-



ren als schadstofffreie Antriebsaggregate für Automobile, LKWs und Busse. Außerdem können Brennstoffzellen in Auxiliary Power Units (APU) für die Bordnetz-Stromversorgung sorgen. Schließlich eignen sich Mikrobrennstoffzellen-Systeme wegen der hohen Energiedichte von Wasserstoff oder Methanol hervorragend als Ergänzung oder Alternative zu wiederaufladbaren Batterien in der netzfernen Stromversorgung oder in Elektrogeräten. Auch wenn diese Anwendung im Kontext unserer Gesamtenergieversorgung wenig unmittelbares Gewicht hat, so ist sie doch für die Einführung von Wasserstoffsystemen wegweisend.

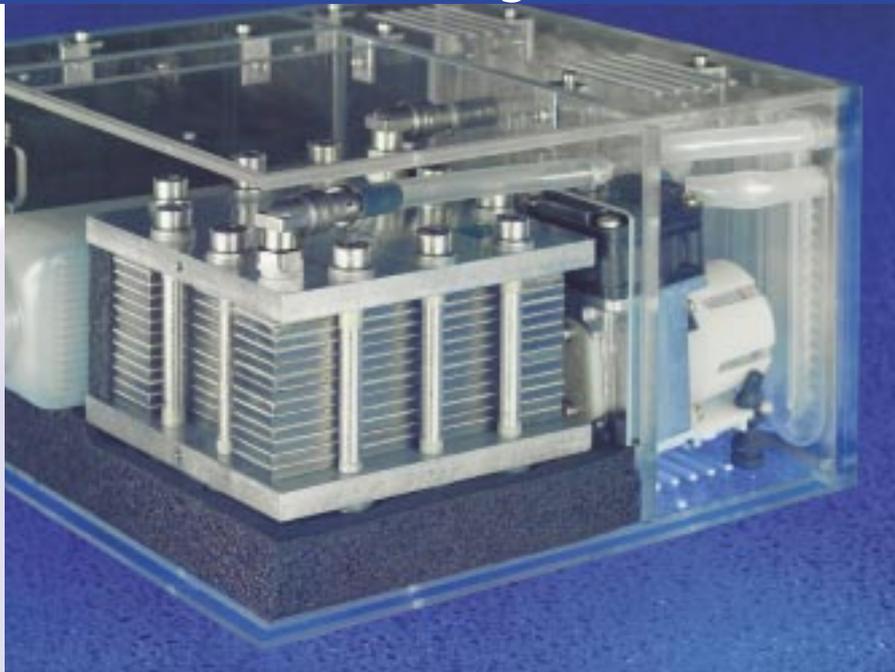
Im Geschäftsfeld Wasserstofftechnologie erforschen wir innovative Technologien zur Gewinnung und hocheffizienten Umwandlung von Wasserstoff in Strom und Wärme. Zusammen mit unseren Partnern aus Industrie und Wissenschaft entwickeln wir Komponenten bis hin zu kompletten Brennstoffzellensystemen, überwiegend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

Wir entwickeln Reformersysteme zur Umwandlung flüssiger Kohlenwasserstoffe. Die Anlagen umfassen den eigentlichen Reformierreaktor und, abhängig vom Typ der nachgeschalteten Brennstoffzelle, auch die Gasaufbereitung zur Erhöhung des Wasserstoffanteils und Reduzierung schädlicher Verbindungen 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 etwa 2 kW, die einer Produktion von mehreren hundert Litern Wasserstoff pro Stunde entsprechen. Zum vertieften Verständnis der Vorgänge an den Elektroden setzen wir unterschiedliche Charakterisierungsmethoden wie Rasterelektrodenmikroskopie oder Zyklovoltammetrie ein.

Als effiziente, umweltfreundliche, geräusch- und wartungsarme Energiewandler im Leistungsbe- reich von mW bis mehreren hundert W setzen wir auf Membranbrennstoffzellen für den Be- trieb mit Wasserstoff oder Methanol. Neben der bekannten Systemarchitektur basierend auf Brennstoffzellenstapeln setzen wir einen weite- ren Schwerpunkt auf planare, serienverschaltete Brennstoffzellen in einer Ebene. Dieses Design eignet sich in hervorragender Weise zur flächigen Gehäuseintegration sowie als Teil eines Hybridsystems in Kombination mit der Batterie.

Neben der Komponenten- und Anlagenentwick- lung arbeiten wir an der Integration von Brenn- stoffzellen-Systemen in übergeordnete Systeme. Wir konzipieren und realisieren die elektrische Systemauslegung inklusive Spannungsaufberei- tung und Sicherheitstechnik. Damit schaffen wir die Grundlagen für marktfähige Brennstoffzel- lensysteme. Unser Angebot umfasst insbesonde- re Brennstoffzellen-Systeme zur Bordnetzversor- gung in Automobilen, Lastkraftwagen, auf Schif- fen oder in Flugzeugen sowie autonomen Strom- versorgungen für netzferne Anwendungen und Kleinsysteme zur portablen Energieversorgung.



Direktmethanol-Brennstoffzellensystem (DMFC) für einen Leistungsbereich bis 35 W_{el}. Die Befüllung erfolgt mit reinem Methanol; die für den Brennstoffzellenbetrieb erforderliche Verdünnung des Methanols wird intern mit dem Reaktionswasser vorgenommen. Methanol-brennstoffzellen sind insbesondere im Kleinleistungsbereich in Ergänzung zu Batterien eine exzellente Möglichkeit, die Betriebszeit von netzfernen und portablen elektrischen Geräten erheblich zu verlängern (Beitrag S. 86/87).

Ansprechpartner

Brennstoffzellensysteme	Dr. Carsten Agert	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-53 46 E-Mail: Carsten.Agert@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	Priv. Doz. Dr. Volker Wittwer	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-51 40 E-Mail: Volker.Wittwer@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

Stromversorgung auf Basis planarer serienverschalteter Brennstoffzellen

Planare Mikro-Brennstoffzellen ermöglichen eine einfache Gehäuseintegration entsprechender Stromversorgungssysteme. Zudem erlauben sie eine rein diffusive Versorgung der Brennstoffzelle mit Luftsauerstoff. Wir erweitern derzeit unsere Entwicklungen von wasserstoff- auf methanolversorgte Brennstoffzellensysteme. Ziel ist es, letztere unter weitgehendem Verzicht auf aktive Systemkomponenten zu betreiben. Schwerpunkte unserer Arbeiten lagen 2005 auf der Entwicklung von mikrofluidischen Konzepten sowie auf der Fertigungstechnik.

Carsten Agert, Ulf Groos, Steffen Eccarius,
Timbul Hapataran Manurung, Julia Melke,
Andreas Wolff*

* PSE GmbH Forschung Entwicklung Marketing, Freiburg

Der Energiebedarf elektrischer Kleinverbraucher (PDA, Handy, etc.) steigt stetig. Doch während Mikroprozessoren in den vergangenen zehn Jahren rund 30fach schneller geworden sind, hat sich die Energiedichte von Batterien gerade einmal verdoppelt. Die Mikro-Brennstoffzelle wird in diesem Zusammenhang als möglicher Ersatz bzw. als Ergänzung für herkömmliche Batterien und Akkumulatoren gesehen. Insbesondere gilt die Direktmethanolbrennstoffzelle als ein besonders aussichtsreicher Kandidat, da flüssiges Methanol als Brennstoff vergleichsweise leicht handhabbar ist und eine vielfach höhere Energiedichte als Batterien oder Akkus aufweist.

Für die entsprechenden Anwendungen entwickeln wir planare und in einer Ebene serienverschaltbare Einzelzellen, welche auf der Kathodenseite selbstatmend betrieben werden. Im Vergleich zur klassischen Stapel-Bauweise wird dadurch eine einfachere Systemintegration, z. B. in einen Gehäusedeckel, ermöglicht (Abb. 1).

Um in einer Massenfertigung kostengünstig großflächige Membran-Elektroden-Einheiten (MEA) verwenden zu können, müssen definierte Regionen der Elektroden elektrisch gegeneinander isoliert werden. Hierzu haben wir das Konzept der Laserablation entwickelt, mit dem eine Mikrostrukturierung der MEA auf besonders einfache und schnelle Weise zu realisieren ist.



Abb. 1: Mikrobrennstoffzellen haben das Potenzial, die Laufzeiten elektronischer Geräte aufgrund verbesserter Energiespeicherdichten erheblich zu verlängern. Als eines der vielversprechendsten Miniaturisierungsziele wird die Vision einer Integration in Mobiltelefone angesehen.

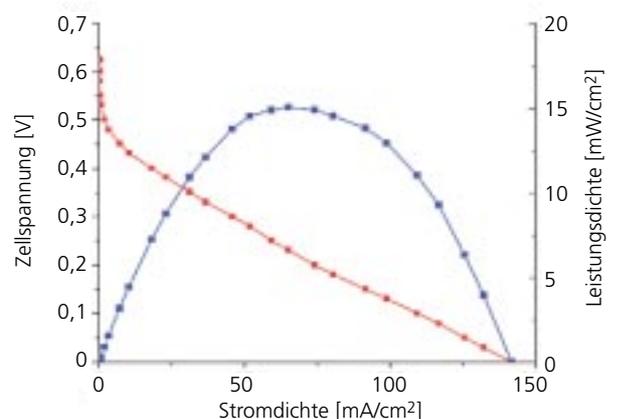


Abb. 2 Strom-/Spannungskennlinie einer planaren Brennstoffzelle, die auf der Kathodenseite selbstatmend betrieben wurde. Für den gezeigten Fall wurde die Zelle bei einer Pumprate von 1,5 ml/min mit einer 4M/l-Lösung von Methanol in Wasser betrieben. (Rot = Zellspannung)

Ein Vorteil, den die planaren Mikro-Brennstoffzellen aufweisen, liegt in der Möglichkeit zur Verwendung von Gasverteiler-Strukturen aus Metallfolien, Polymermaterialien oder Keramiken, die durch massenproduktionsaugliche Verfahren niedrige Produktionskosten versprechen. Die meist hohe Steifigkeit und das geringe Gewicht der Materialien begünstigen zudem einen gleichzeitigen Einsatz der flachen Brennstoffzellen als Gehäuseteile elektronischer Geräte. Hierzu haben wir Mikro-Brennstoffzellen auf der Basis von Leiterplattenmaterial, Metallfolien, Keramik und Kunststoff entwickelt und hinsichtlich ihrer elektrischen Eigenschaften charakterisiert (Abb. 2).

Eine der wesentlichen Herausforderungen für den Betrieb einer Direktmethanolbrennstoffzelle liegt in der Entstehung von Kohlenstoffdioxid-Blasen bei der Oxidation von Methanol auf der Anodenseite. Diese Blasen können sich innerhalb der Gasdiffusionsschicht oder in der Gasverteiler-Struktur festsetzen und so die aktive Zellfläche und die Leistung der Brennstoffzelle verkleinern.

In Zusammenarbeit mit dem Institut für Mikrosystemtechnik IMTEK der Universität Freiburg haben wir daher eine Mikrostruktur simuliert, konstruiert und evaluiert, welche einen rein passiven Austrag der Gasblasen ermöglicht (Abb. 3).

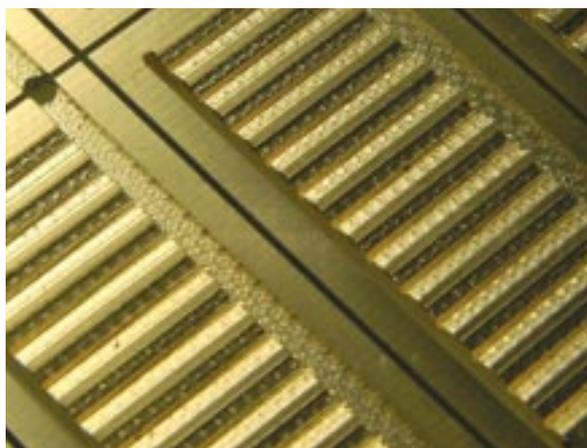


Abb. 3: Anoden-Gasverteilerstruktur einer mit Methanol betriebenen Mikro-Brennstoffzelle. Die mikrofluidischen Strukturen ermöglichen eine Bewegung der Gasblasen in eine Vorzugsrichtung und verhindern somit deren Festsetzen.

Aufgrund der Geometrie und Oberflächenbeschaffenheit der mikrofluidischen Strukturen bewegen sich Gasblasen – angetrieben durch Kapillarkräfte – in eine Vorzugsrichtung. Da der Transport der Blasen ausschließlich passiv erfolgt, ist eine weitere Vereinfachung des Systems bis hin zum komplett passiven Betrieb möglich.

Die entsprechenden Strukturen werden schließlich in verschiedenen Materialien abgebildet, die für einen Massenfertigungsprozess in Frage kommen. Leitfähige Graphit-Verbundmaterialien können beispielsweise durch Heißprägen oder im Spritzguss hergestellt werden, dünne Metallfolien hingegen durch Ätzen oder Tiefziehen (Abb. 4). Um einen besseren Kontakt zu gewährleisten und Korrosion zu vermeiden, passivieren wir die Oberflächen mit einer dünnen Goldschicht.

Die beschriebenen Arbeiten sind eingebettet in das InnoNet-Vorhaben PlanarFC.

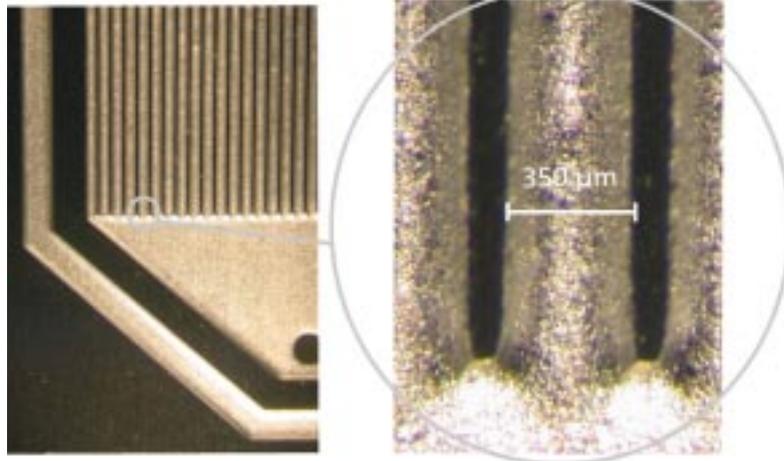


Abb. 4: Geätzte Metallfolien mit parallelen Kanälen, die als Anoden-Gasverteilerstruktur einer Mikro-Brennstoffzelle eingesetzt werden. Der Ätzprozess erlaubt feinste geometrische Strukturen, so dass auf eine Gasdiffusionsschicht verzichtet werden kann.

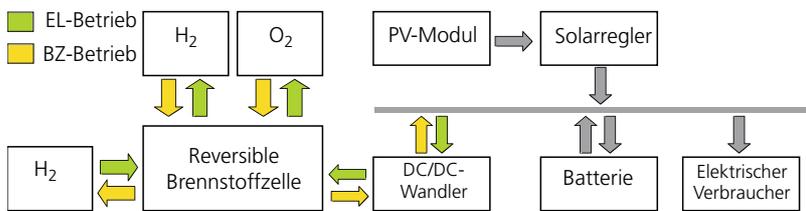
Reversible Brennstoffzellensysteme

Für die Anwendung in einer autonomen sowie in einer unterbrechungsfreien Stromversorgung haben wir ein reversibles Brennstoffzellensystem entwickelt. Reversible Brennstoffzellen können sowohl als Elektrolyseur als auch als Brennstoffzelle betrieben werden und bieten somit ein hohes Einsparpotenzial an Bau- raum, Material und damit Kosten. Für einen Feldtest in Spanien haben wir zwei Prototypen entwickelt und aufgebaut. Das erste System soll als autonome Stromversorgung eingesetzt werden, das zweite System als unterbrechungsfreie Stromversorgung dienen.

Jan Hesselmann, Thomas Jungmann,
Werner Roth, Stephan Scherer,
Tom Smolinka, Ursula Wittstadt



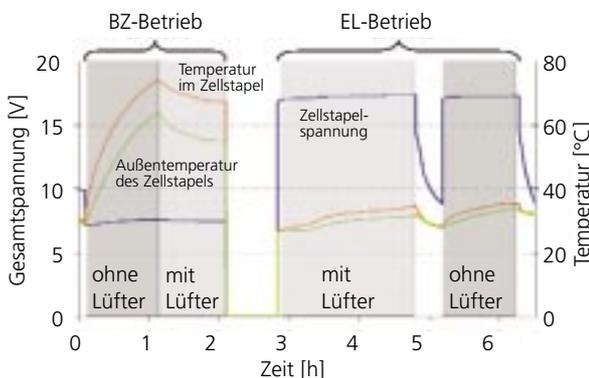
Abb. 1: Ausschnitt eines Systems zur Langzeitenergiespeicherung mit Hilfe einer reversiblen Brennstoffzelle. Im Vordergrund ist der Brennstoffzellen-Prototyp des Projektpartners Energy Research Centre of the Netherlands (ECN) zu sehen. Das Fraunhofer ISE entwickelt das Gesamtsystem aus Zellstapel, Gasaufbereitung und -speicherung sowie Regelung und Spannungswandlung.



Das Prinzip einer autonomen Stromversorgung auf Basis eines reversiblen Brennstoffzellensystems ist in Abb. 2 dargestellt. Im Elektrolysebetrieb wird Wasser bei 9 bar in Wassertoff (H_2) und Sauerstoff (O_2) gespalten, die dann in einem Metallhydridspeicher bzw. in einem mit Zeolith gefüllten Druckspeicher zwischengespeichert werden. Im Brennstoffzellenbetrieb werden die Gase bei 2 bar wieder in den Zellstapel geleitet und reagieren dort unter Abgabe von elektrischer Energie (und Wärme) zu Wasser. Die Batterie dient im Elektrolysebetrieb als Zwischenspeicher zum Ausgleich der Schwankungen in der Stromgenerierung durch den PV-Generator. Im Brennstoffzellenbetrieb wird der elektrische Verbraucher direkt über die DC-Schiene versorgt. Lastspitzen werden durch die Batterie abgedeckt. Wird die Anlage für die unterbrechungsfreie Stromversorgung genutzt, ist die Energiequelle nicht die Sonne, sondern das elektrische Netz. In diesem Fall überbrückt die Batterie die benötigte Zeit zum Starten des Systems im Brennstoffzellenbetrieb.

Mit Hilfe eines neu entwickelten, hocheffizienten und bidirektionalen Gleichstromwandlers werden die Zellstapelspannung und die Spannung der Batterie aneinander angepasst. Da der Strom in beide Richtungen konvertiert werden kann, ist ein DC/DC-Wandler ausreichend. Durch den Einsatz eines reversiblen Brennstoffzellenstapels können Materialkosten, Platzbedarf und Gewicht gegenüber einem System mit zwei separaten Zellstapeln eingespart werden. Die Prototypen sind mit digitalen Signalprozessoren (DSP) ausgestattet und arbeiten vollautomatisiert.

Abb.2: Funktionsschema einer autonomen Stromversorgung mit einer reversiblen Brennstoffzelle. Die Pfeile geben die Energieflüsse im Elektrolyse- (EL) bzw. im Brennstoffzellenbetrieb (BZ) wieder. Der DC/DC-Wandler arbeitet bidirektional.



In diesem von der Europäischen Union unterstützten Projekt arbeiten wir mit sechs Partnern aus Spanien, den Niederlanden, Deutschland und Schweden zusammen.

Abb. 3: Thermisches Verhalten des Zellstapels im Gesamtsystem. Im Brennstoffzellenbetrieb muss der Zellstapel durch einen Lüfter aktiv gekühlt werden. Im Elektrolysebetrieb ist eine aktive Kühlung nicht notwendig.

Optimale Betriebsführung von Brennstoffzellensystemen

Mit dem Ziel, die sichere und effiziente Betriebsführung von Brennstoffzellensystemen zu optimieren, untersuchen wir deren dynamisches Verhalten anhand mathematischer Modelle. Hierfür konstruieren wir ein Brennstoffzellensystem mit einer modellbasierten Regelung in einem Service-Roboter. Unsere Untersuchungen gelten speziell dem dynamischen Verhalten des Gesamtsystems von PEM-Brennstoffzellenstapel und Peripherie, im Kontext der je nach Arbeitssituation schwankenden Leistungsaufnahme des Verbrauchers.

Jens Niemeyer*, Volker Krebs*,
Jürgen O. Schumacher, Simon Philipps,
 Christoph Ziegler, Marco Zobel

* Universität Karlsruhe, Institut für Regelungs- und Steuerungssysteme

Der zeitlich veränderliche Leistungsbedarf eines elektrischen Verbrauchers stellt besondere Anforderungen an die Regelung eines Brennstoffzellensystems. Unsere jüngsten Arbeiten befassen sich daher mit der Untersuchung des dynamischen Verhaltens von PEM-Brennstoffzellenstapeln im kleinen und mittleren Leistungsbereich. Wir entwickeln effiziente mathematische Modelle, um das zeitliche Verhalten von Brennstoffzellenstapel und von Brennstoffzellensystemen zu beschreiben und vorherzusagen. Die Modellparameter identifizieren wir durch zeitabhängige Messungen an Brennstoffzellentestständen, anschließend validieren wir die mathematischen Modelle durch einen Vergleich von Simulation und Experiment.

Mit Hilfe der Modelle entwickeln wir Regelungsstrategien für eine sichere und optimale Betriebsführung der Brennstoffzellenstapel. Derzeit konstruieren wir ein Brennstoffzellensystem mit einem modellbasierten Regelungsverfahren in einem Staubsauger-Roboter. Ein Navigationsverfahren im Roboter kartiert den zu reinigenden Raum und erlaubt damit die Vorhersage des zeitlichen Lastbedarfs und die Planung der Betriebsführung des Brennstoffzellensystems. Auf diese Weise können wir verschiedene Systemauslegungen untersuchen; durch Simulationen mit einem Gesamtmodell des Brennstoffzellensystems ermitteln wir eine optimale Abstimmung der Komponenten des Systems.

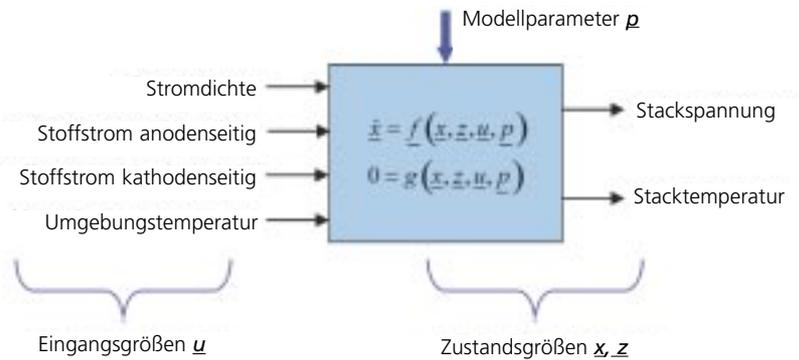


Abb. 1: Die Modellgleichungen f haben wir als differentiell-algebraisches System formuliert, d. h. aus einem System gewöhnlicher Differentialgleichungen und zusätzlich aus algebraischen Gleichungen g , die ebenfalls erfüllt werden müssen. Differentielle Größen sind hier mit x bezeichnet; z steht für Größen, die durch algebraische Gleichungen bestimmbar sind.

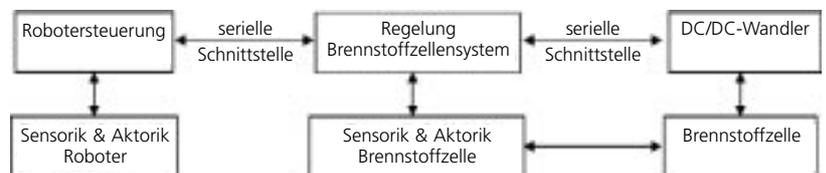


Abb. 2: Die Grafik zeigt eine schematische Darstellung der Komponenten des Service-Roboters. Die Robotersteuerung, die Regelung des Brennstoffzellensystems und der DC/DC-Wandler kommunizieren über serielle Schnittstellen miteinander.



Abb. 3: Das Brennstoffzellensystem wird in den auf dem Photo gezeigten kommerziell erhältlichen Staubsauger-Roboter implementiert. Ein flächendeckendes Navigationsverfahren kartiert den Raum und erlaubt somit die Planung des Lastbedarfs, der vom Brennstoffzellensystem zur Verfügung gestellt werden muss. Beim Überfahren schon gereinigter Gebiete kann die Saugturbine abgeschaltet werden. Durch Einsatz eines Staubsensors wird die benötigte Leistung der Saugturbine ermittelt.

Dieses Forschungsprojekt wird von der Landesstiftung Baden-Württemberg gefördert.

Langzeituntersuchungen zur Degradation von PEM-Brennstoffzellen

Ein begrenzender Faktor für die wirtschaftliche Konkurrenzfähigkeit von Brennstoffzellensystemen als Energieversorgung ist die Lebensdauer der Brennstoffzelle. Sie zeigt im realen Betrieb einen Leistungsverlust über die Laufzeit. Die Ursachen dieser Degradationserscheinungen sind vielfältig und bislang noch nicht eindeutig identifiziert. Um Brennstoffzellen wirtschaftlich attraktiv zu machen, untersuchen wir in Laborversuchen mit kommerziell verfügbaren Materialien das Verhalten von PEM-Brennstoffzellen in Langzeitversuchen mit dem Ziel, wichtige Alterungseffekte aufzudecken.

Tom Smolinka, Ralf Thomann*,
Ursula Wittstadt

* Freiburger Materialforschungszentrum FMF,
Albert-Ludwigs-Universität Freiburg

Für den kostenoptimalen Einsatz als Energieversorgung muss die Lebensdauer einer PEM-Brennstoffzelle von einigen tausend bis zu 40 000 Stunden reichen. Will man hohe Energiedichten über die gesamte Lebensdauer gewährleisten ist es wichtig, die Alterungsvorgänge in den Zellen identifizieren zu können.

Mit unseren voll automatisierten Testständen führen wir Langzeituntersuchungen von kommerziellen Materialien für PEM-Brennstoffzellen durch. Unsere Untersuchungen konzentrieren sich dabei auf die Membran-Elektroden-Anordnung (MEA) der Brennstoffzelle. Wichtige Parameter wie die Betriebstemperatur der Zelle, die Feuchte der Brenngase und die Zusammensetzung des Reformatgases variieren wir, um deren Einfluss auf das Degradationsverhalten der Zelle genauer zu untersuchen. Bei Betrieb mit konstanter Stromdichte bestimmen wir zu verschiedenen Zeitpunkten die Alterungsrate der Zelle in Form des Spannungsverlusts pro Betriebsstunde.

Eine eingehende in-situ Charakterisierung erfolgt jeweils nach 500 Stunden. In impedanzspektroskopischen Messungen beobachten wir dabei einen Anstieg des Durchtrittswiderstands (Abb. 2). Mit Hilfe der Zyklovoltammetrie bestimmen wir den Verlust an aktiver Elektrodenoberfläche. Nach Beendigung eines Langzeittests wird die MEA im Transmissions-Elektronen-Mikroskop (TEM) analysiert (Abb. 1). Wir erkennen hier immer eine deutliche Agglomeration der Katalysatorpartikel, was einen möglichen Grund für den Verlust der elektrochemisch aktiven Fläche darstellt.

Die Arbeiten werden im Rahmen eines Verbundprojekts vom Bundesministerium für Bildung und Forschung BMBF gefördert.

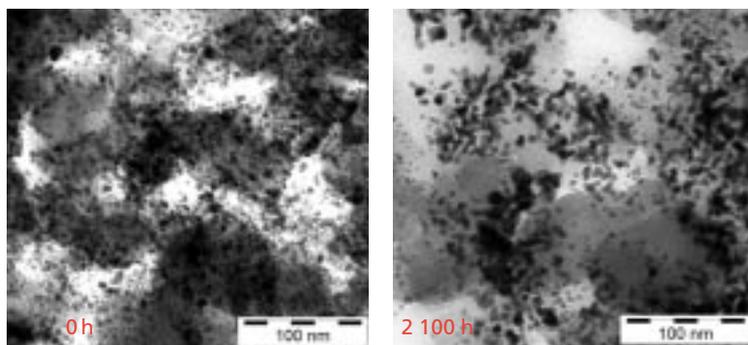


Abb. 1: Transmissions-Elektronen-Mikroskop (TEM)-Aufnahmen der Kathodenseite einer neuen Membran-Elektroden-Anordnung (MEA) links und einer MEA nach 2 100 Betriebsstunden rechts. Es ist eine deutliche Agglomeration der schwarzen Katalysatorpartikel zu erkennen. Dies ist eine mögliche Ursache für den Leistungsverlust der Zelle über die Betriebszeit.

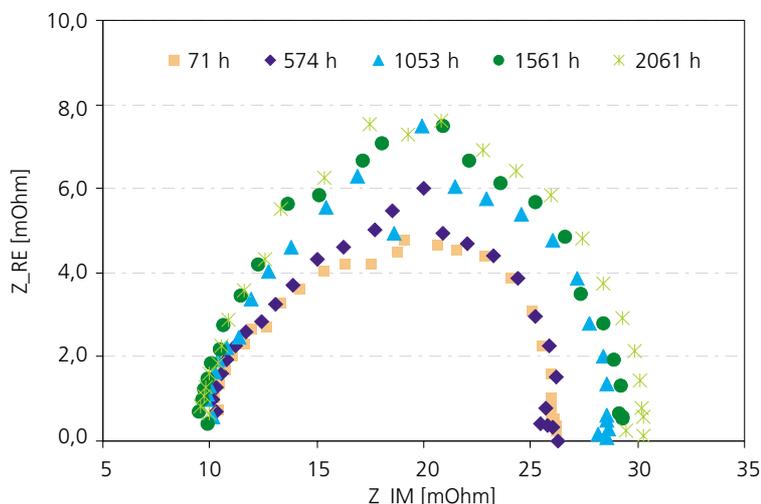


Abb. 2: Nyquist-Darstellung impedanzspektroskopischer Messungen, in der der Realteil über dem Imaginärteil der Impedanz für Frequenzen von 50 mHz bis 2 kHz aufgetragen wird. Die Bögen vergrößern sich mit zunehmender Betriebsdauer der Zelle. Dies lässt auf einen Anstieg des Durchtrittswiderstands der Elektrode schließen.

Miniatur-Elektrolyseur für die Befüllung von Metallhydridspeichern

In den meisten portablen Brennstoffzellen-Anwendungen werden Metallhydride zur Speicherung von Wasserstoff verwendet. Für die dezentrale und schnelle Befüllung eines Metallhydridspeichers mit hochreinem Wasserstoff haben wir ein Miniatur-Elektrolysesystem entwickelt, welches in nur zwölf Minuten aus Wasser genügend Wasserstoff erzeugt, um beispielsweise einen Camcorder für zwei Stunden mit Energie zu versorgen.

Beatrice Hacker, Jan Hesselmann,
Thomas Jungmann, Holger Loew,
 Ursula Wittstadt

Der Einsatz von Mikro-Brennstoffzellen als Ergänzung zu konventionellen Akkus oder Batterien wird mit steigender Leistungsanforderung portabler elektronischer Geräte immer interessanter. Damit einher geht die Frage der Speichertechnologie. Metallhydridspeicher, die von einem Elektrolyseur mit Wasserstoff beladen werden können, stellen hierfür eine interessante Option dar. Um mit unserem Elektrolysesystem eine kurze Beladungszeit zu realisieren, fassen wir 15 Elektrolysezellen zu einem Stapel zusammen. Die einzelnen Zellen werden in einem serientauglichen Spritzgussverfahren aus einem speziellen Kunststoff gefertigt. Dadurch können wir nicht nur die Kosten für die bipolaren Platten um circa 90 Prozent reduzieren, zusammen mit den flexiblen Endplatten halbieren wir gleichzeitig das Volumen des Elektrolysestapels.

Für die Beladung der Metallhydridspeicher wird der Wasserstoff bei einem Druck von 10 bar bereitgestellt und in einem Membranmodul wartungsfrei getrocknet. So stellen wir sicher, dass der durch Verunreinigungen wie Wasser verursachte Kapazitätsverlust im Metallhydrid nach rund 2000 Beladezyklen unter 20 Prozent liegt. Durch eine nachgeschaltete zweite Trocknungsstufe können wir die Gebrauchsdauer nochmals um das achtfache verlängern.

Ein ebenfalls am Fraunhofer ISE entwickeltes, auf Mikro-Kontrollern basiertes Regelkonzept, gewährleistet einen zuverlässigen Betrieb des Systems auf Knopfdruck. Unsere auf Hardware-Komponenten aufgebaute Sicherheitsstrategie basiert auf einer umfassenden Sicherheitsanalyse. Die Arbeiten werden vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie BMWi unterstützt und in Zusammenarbeit mit sieben Partnern aus Industrie und Forschung durchgeführt.

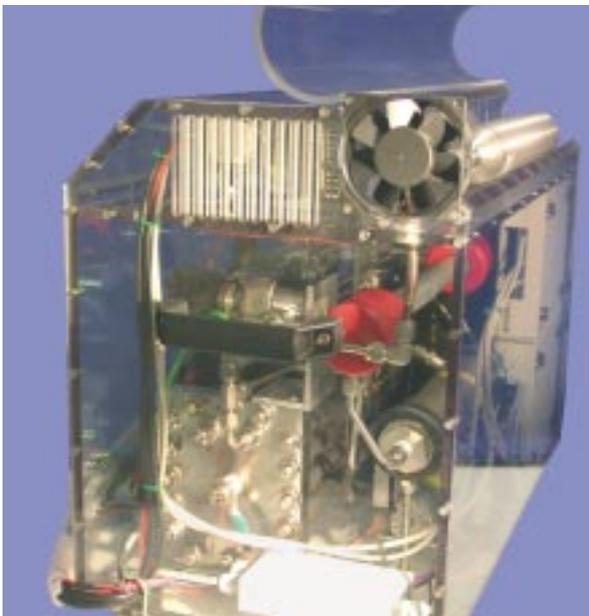


Abb. 1: Elektrolysesystem (280x550x380 mm³) zur dezentralen Befüllung von Metallhydridspeichern mit Wasserstoff bei einem Druck von 10 bar. Die Gasproduktion von 100 Litern pro Stunde haben wir bei einer Spannung von 27 V durch 15 in Reihe geschaltete Elektrolysezellen realisiert.



Abb. 2: Der Einsatz von Kunststoff-Bipolarplatten ermöglicht die kostengünstige und montagefreundliche Herstellung von Elektrolysestapeln.

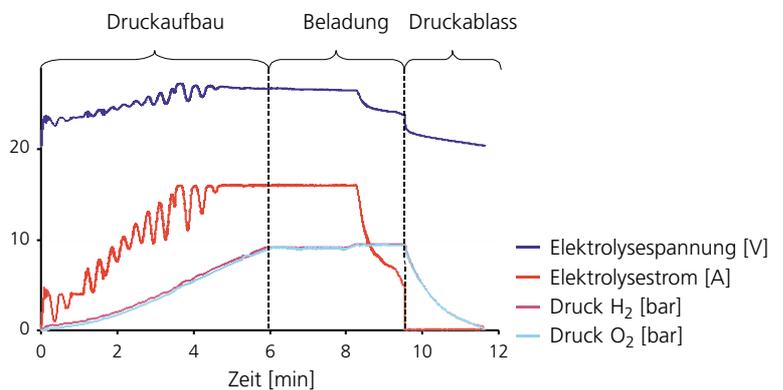


Abb. 3: Im Teststand entwickeln wir Regelstrategien für die Befüllung der Metallhydridspeicher. Deutlich zu unterscheiden sind die Bereiche »Druckaufbau« und »Beladung«. Wird kein weiterer Speicher beladen, wird der Druck abgelassen.

Mikroreformer für PEM-Brennstoffzellen mit einer Leistung bis 300 W

Für die Integration in ein sehr kompaktes Reformer-Brennstoffzellensystem haben wir einen Mikroreformer entwickelt. Dieser Multi-Fuel-Reaktor wird mit Ethanol oder auch Benzin betrieben, das er in ein wasserstoffreiches Gas umwandelt. Das Gas kann nach Entfernen des Kohlenmonoxids als Brennstoff für eine Polymerelektrolyt-Brennstoffzelle (PEM) mit 300 W_{el} eingesetzt werden. Im Zentrum des Reformers ist ein katalytischer Brenner angeordnet, der die Reaktionswärme für die Dampfreformierung zur Verfügung stellt.

Thomas Aicher, Lisbeth Rochlitz,
Achim Schaadt

Unter Bündelung unserer Kompetenzen in der Wasserstofftechnologie haben wir einen Mikroreformer entwickelt, der aus Ethanol und Benzin wasserstoffreiches Gas für die ebenfalls am Fraunhofer ISE entwickelten PEM-Brennstoffzellen erzeugt. Anwendungen für ein portables Reformer-Brennstoffzellensystem sind z. B. Messstationen an Pipelines, Umwelt- und Verkehrsmessungen, kleine Hilfsmotoren und medizinische autonome Geräte. Die für die Dampfreformierung benötigte Energie wird von einem katalytischen Anodenoffgas-Brenner mit keramischem Porenkörper bereitgestellt. Dieser befindet sich zwischen den beiden Reformerreaktoren und wird im Gleichstrom zu diesen betrieben. So kann die im Brenner freigesetzte Wärme durch Wärmeleitung direkt an den Reformerkatalysator übertragen werden. Dies minimiert die Wärmeverluste. Für die Eduktvorwärmung und Verdampfung entwickelten wir ein Konzept, das uns die vollständige Nutzung der Wärme des Abgases und des heißen Reformatstroms erlaubt, siehe Abb.1. Dies führt zu einer kompakten Bauweise des Gesamtsystems und ermöglicht einen theoretischen Reformer-Wirkungsgrad von über 79 Prozent (Heizwert H_U des erzeugten Wasserstoffs / H_U des Brennstoffs). Unter Annahme eines Brennstoffzellen-Wirkungsgrades von 40 Prozent (elektrische Leistung / H_U zugeführter Wasserstoff) liegt der Gesamtwirkungsgrad des Systems bei 35 Prozent.

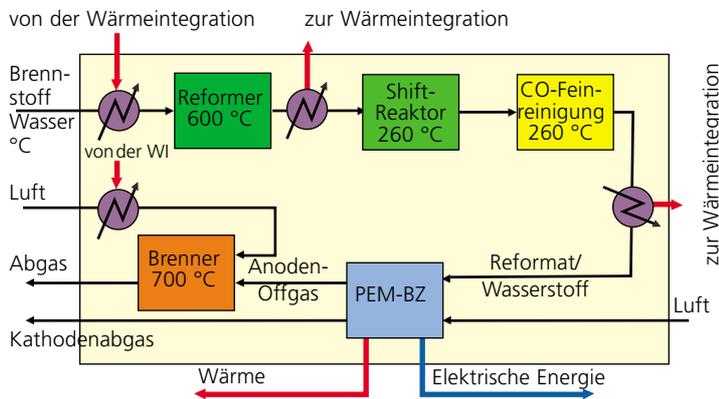


Abb. 1: Dieses Bild zeigt ein Schema des vollständigen Mikroreformer-Brennstoffzellensystems, einschließlich der Nutzung der entstehenden Wärme (Wärmeintegration). Das gesamte System soll die Maße von 30x40x60 cm³ und ein Gewicht von 20 kg nicht überschreiten, sodass es von einer Person leicht transportiert werden kann.

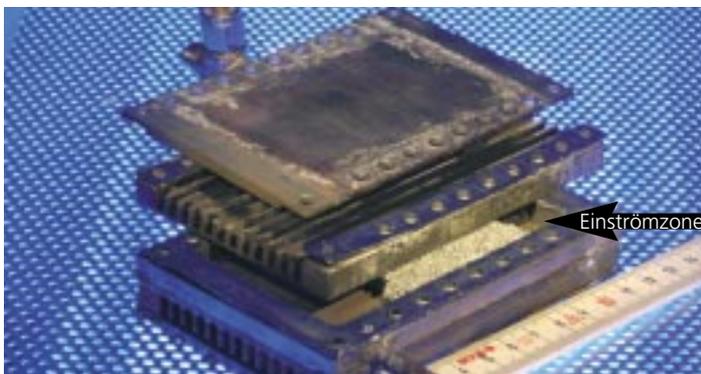


Abb. 2: Der keramische Porenkörper im katalytischen Anodenoffgas-Brenner sorgt für einen Druckabfall nach der Einströmzone und verteilt so die Brenngase gleichmäßig über den gesamten Querschnitt. Direkt darüber und darunter liegt der Reformer, dessen Kanäle katalytisch beschichtet sind.

In ersten Messungen erhielten wir beim Reformieren von Ethanol bei Temperaturen von 600 °C einen Reformerproduktgasstrom mit 68 Vol.-%_{tr} Wasserstoff. Durch eine angeschlossene Wasser-Gas-Shift-Reaktion kann dieser Anteil noch gesteigert werden.

Das Eigenforschungsprojekt wird durch ein Promotionsstipendium der Deutschen Bundesstiftung Umwelt DBU unterstützt.

Kerosinreformer für Brennstoffzellen-Anwendung in Flugzeugen

Mit dem Ziel, die Einbindung eines Brennstoffzellensystems in die Energieversorgung eines Flugzeugs im kleinen Maßstab abzubilden, entwickelten wir einen vollautomatisierten autothermen Kerosinreformer und betrieben ihn in einem 300-Stunden-Dauerversuch. Dabei untersuchten wir das Langzeitverhalten des Katalysators sowie den Reformerwirkungsgrad bei unterschiedlichen Lastzuständen. Parallel dazu entwickelten wir ein Reformer-Brennstoffzellenmodell auf der Basis von Matlab/Simulink, das wir mit Hilfe der experimentellen Ergebnisse validierten.

Johannes Full, Christian Siewek,
Bettina Lenz

Ständig wachsende Passagierzahlen und verschärfte Auflagen seitens des Gesetzgebers zwingen die Luftfahrt dazu, permanent über Energieeinsparung an Bord von Passagierflugzeugen nachzudenken. Mit deutlich höherem Wirkungsgrad als konventionelle Systeme zur Bordstromversorgung könnten Reformer-Brennstoffzellensysteme die Stromversorgung von Flugzeugen während ihres Aufenthalts am Boden und anteilig während des Fluges übernehmen. Für diese Anwendung entwickelten wir einen Kerosinreformer, der eine oxidkeramische Festelektrolytbrennstoffzelle (SOFC) eines Projektpartners mit Synthesegas (Wasserstoff und Kohlenmonoxid) versorgt.

Das gesamte Brennstoffzellensystem legten wir mit einer kommerziellen Prozesssoftware aus. Auf Basis dieser Simulation erstellten wir ein theoretisches Modell der Anlage in Matlab/Simulink, welches in die Gesamtsimulation der Energie- und Stoffströme in einem Flugzeug eingebettet wurde. Damit können jetzt ohne großen Aufwand die Schnittstellen zum Brennstoffzellensystem variiert und die effizientesten Betriebs-szenarien ermittelt werden. Bei Variation der elektrischen Last von 70 kW bis 120 kW an der SOFC errechnete sich ein Systemwirkungsgrad (el. Leistung/Heizwert des zugeführten Kerosins) von max. 40,2 Prozent bei 70 kW und 28,5 Prozent bei 120 kW. Zur Überprüfung der theoretisch errechneten Werte wurde eine vollautomatisierte Anlage (Abb. 1) aufgebaut, die Aufschluss über das Verhalten der Wärmeüber-träger, des Brenners, des Reformers und der Brennstoffzelle lieferte.



Abb. 1: Vollautomatisierte Anlage zur autothermen Reformierung von entschwefeltem Kerosin Jet A-1 zur Versorgung einer SOFC (im Photo ohne SOFC). Die Anlage ist wärmeintegriert, d. h. die Abwärme der Brennstoffzelle wird in den Reformer zurückgeführt. Die Reformeranlage kann der Last der Brennstoffzelle nachgeführt werden und stufenlos einen Volumenstrom von 10 bis 45 NI/min Synthesegas erzeugen.

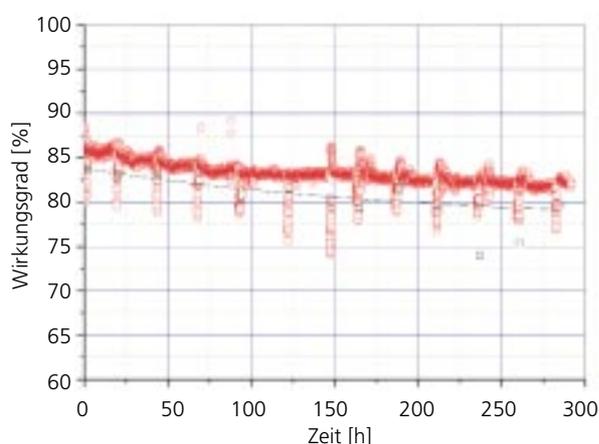
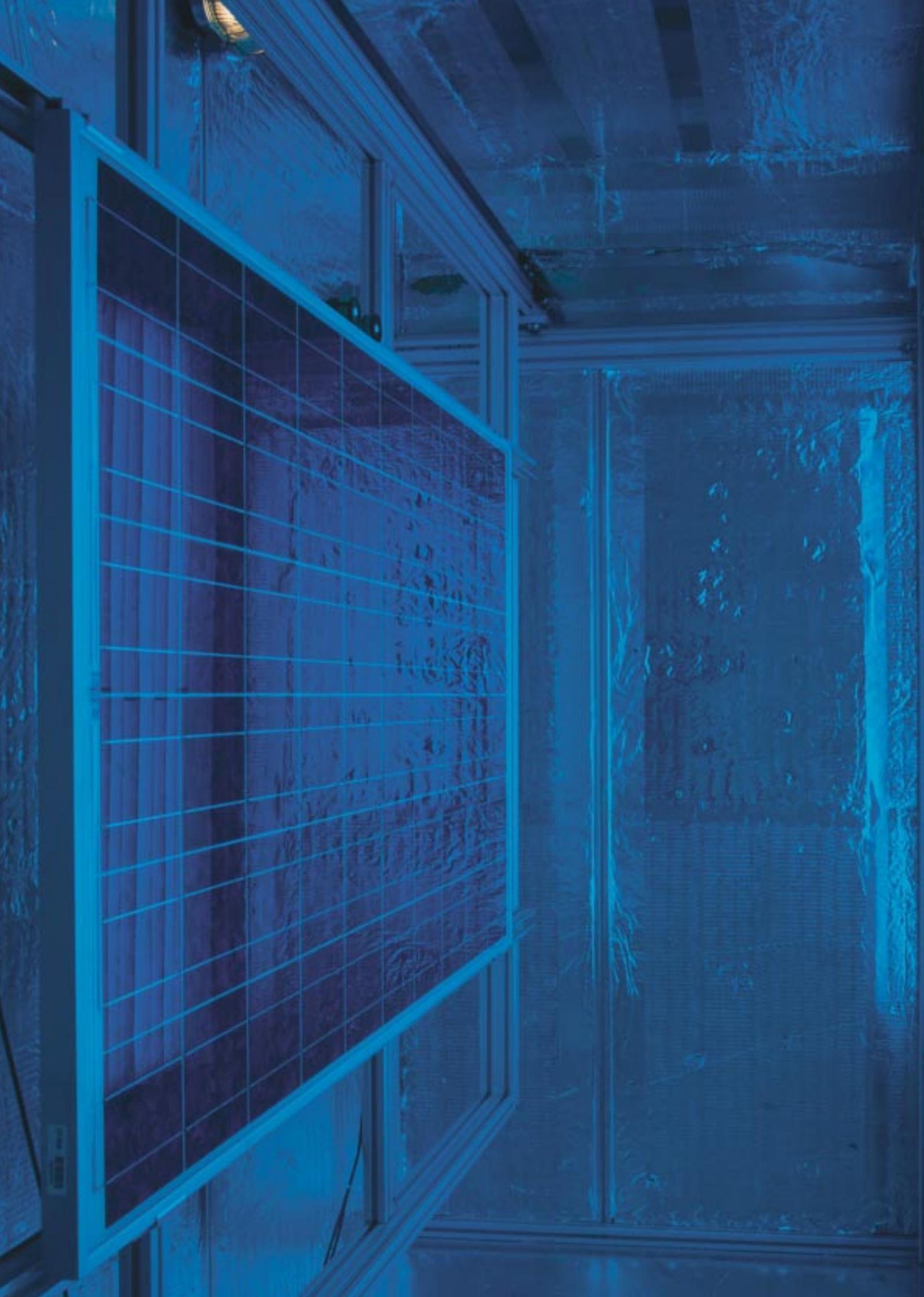


Abb. 2: Verlauf des Reformerwirkungsgrads als Funktion der Zeit. Der Wirkungsgrad wird aus dem Volumenstrom und der gemessenen Zusammensetzung des Produktgases berechnet. Die dazu erforderliche Gaszusammensetzung wurde sowohl mit Hilfe einer IR-Gasanalyse als auch eines Gaschromatographen bestimmt und daraus dann jeweils der Wirkungsgrad (rote Kreise bzw. schwarze Quadrate) berechnet. Die schwarze Linie ist eine Ausgleichsgerade durch den mit den GC-Messwerten berechneten Wirkungsgrad. Die hiervon stark abweichenden Einzelwerte liegen im An- und Abschalten der Anlage begründet.

Die Katalysatoralterung untersuchten wir in einem Dauerversuch von 300 Stunden. Dabei betrug die thermische Leistung des Reformers 3 kW (bezogen auf den unteren Heizwert des Kerosins). Aus Messungen der Gaszusammensetzung und des Volumenstroms ließ sich der Reformerwirkungsgrad berechnen, dessen zeitlicher Verlauf in Abb. 2 dargestellt ist.

Diese Arbeiten führten wir innerhalb des von der Europäischen Union geförderten Projekts »Power Optimized Aircraft« (POA) durch.



Servicebereiche

Klimatisierungskonzepte sowie Tageslicht und Sonnenschutz für Bürogebäude mit Zukunft – diese und andere Aspekte der Gebäudetechnologie vermittelt das Fraunhofer Solar Building Innovation Center. Fraunhofer SOBIC ist ein gemeinsam von Fraunhofer ISE und dem Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP betriebenes Demonstrationszentrum für solares Bauen. Es versteht sich als Informations- und Vermittlungsplattform für Architekten, Planer, Gebäudetechniker und Hersteller von Gebäudekomponenten. Ziel ist die Beschleunigung von Technologietransfer.

Eine wachsende Bedeutung kommt der Langzeitbeständigkeit neuer Materialien und Komponenten für solares Bauen und der Integration von Solarenergie zu. Deshalb haben wir diese Thematik zu einem neuen Schwerpunkt ausgebaut und bieten Dienstleistungen an, die neben der messtechnischen Charakterisierung auch die modellbasierte Prognose des Alterungsprozesses z. B. von Solarkollektoren, Gebäudekomponenten oder PV-Modulen umfassen.

Ansprechpartner

ISE CalLab

Zellkalibrierung

Dr. Wilhelm Warta

Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-51 92

E-Mail: Wilhelm.Warta@ise.fraunhofer.de

Dipl.-Ing. Britta Hund

Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-51 46

E-Mail: Britta.Hund@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-Test-
stand für Solarkollektoren

Dipl.-Phys. Matthias Rommel

Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-51 41

E-Mail: Matthias.Rommel@ise.fraunhofer.de

Dipl.-Ing. Arim Schäfer

Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-53 54

E-Mail: Arim.Schaefer@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

Tageslicht-
messräume

Dipl.-Ing. Jan Wienold

Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-51 33

E-Mail: Jan.Wienold@ise.fraunhofer.de

Fassadenprüfstand
(FASTEST)

Dipl.-Phys. Tilmann Kuhn

Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-52 97

E-Mail: Tilmann.Kuhn@ise.fraunhofer.de

Lüftungsgeräte und Wärmepumpen

Prüfstand

Dr. Andreas Bühring

Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-52 88

E-Mail: Andreas.Buehring@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

Dr. Rudi Kaiser

Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-52 28

E-Mail: Rudi.Kaiser@ise.fraunhofer.de

Fraunhofer Solar Building Innovation Center SOBIC

Dr. Christel Russ

Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-85 01

E-Mail: Christel.Russ@ise.fraunhofer.de



UV-Prüfstand für Photovoltaik-Module. Die Intensität der UV-Strahlung ist 50 mal höher als die natürliche UV-B Strahlung und 7 mal höher als die natürliche UV-A Strahlung. Es können Module bis zu einer Abmessung 1,4x2,4 m² geprüft werden. Das Fraunhofer ISE baut derzeit ein neues Testzentrum für die Prüfung der Zuverlässigkeit von Photovoltaik-Modulen. Nach Abschluss der angestrebten Akkreditierung wird dieses gemäß ISO 17025 und IEC EE als so genanntes »Testing Laboratory« für den »Certification Body« VDE Prüfungen für die Bauartzulassung gemäß IEC 61615 und 61646 durchführen (Beitrag S. 99).

Mehrere unserer Labore sind auf dem Weg zur Akkreditierung nach DIN EN ISO/IEC 17025. Bereits akkreditiert ist unser Prüfzentrum für thermische Solaranlagen (PZTS), im Akkreditierungsverfahren befinden sich unser Kalibrierlabor für PV-Module (CalLab Module), unser Thermisch-Optisches Prüflabor (TOPLAB) sowie das neu aufgebaute Testzentrum Photovoltaik (TZPV). Darüber hinaus umfasst unser Service das Kalibrierlabor für Solarzellen ISE CalLab (CalLab Zellen), einen Prüfstand für Lüftungs-Kompaktgeräte, einen Fassadenprüfstand und Tageslichtmessräume.

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.

Jochen Hohl-Ebinger, Britta Hund,
Jürgen Ketterer, Klaus Kiefer, Frank Neuberger,
Peter Raimann, Wilhelm Warta

Das ISE Callab zählt zu den weltweit führenden Photovoltaik-Kalibrierlabors. 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 15x15 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
- Messung der Winkel- und Temperaturabhängigkeit der Modulparameter
- Messung der Einstrahlungsabhängigkeit der Modulparameter.

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

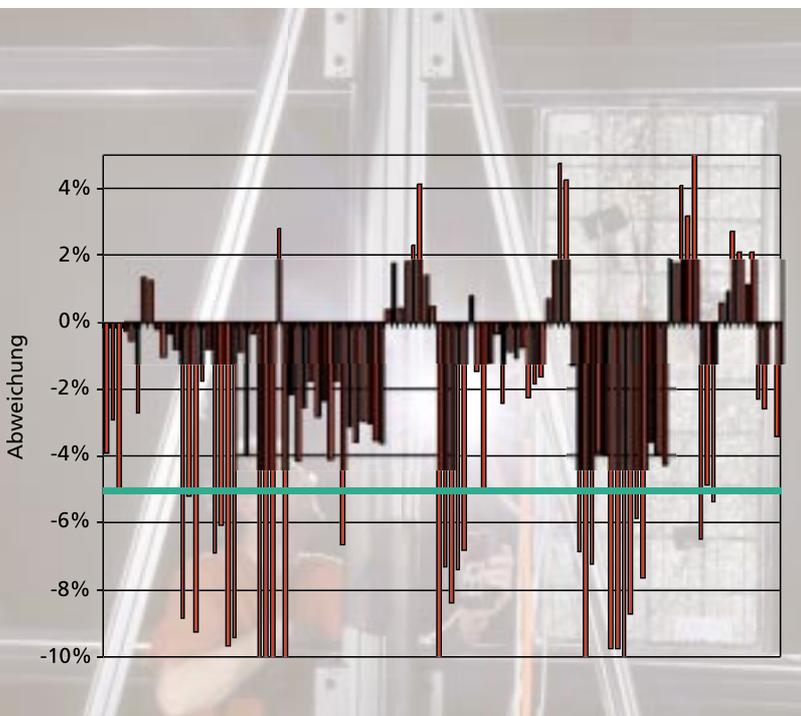


Abb. 1: Am Fraunhofer ISE kann die Leistung von Photovoltaik-Modulen mit einem neuen Präzisionsflasher auf einer Fläche von 4 m² vermessen werden. Die Messgenauigkeit ist besser als $\pm 2,5\%$ für Präzisionsmessungen und besser als $\pm 4\%$ für Standardmessungen. Eine Reihenmessung über 100 PV-Module 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.

Testzentrum für Photovoltaik (TZPV)

Für die Prüfung der Zuverlässigkeit von Photovoltaik-Modulen wird ein neues Testzentrum aufgebaut. Dieses wird nach Abschluss der angestrebten Akkreditierung gemäß ISO 17025 und IEC EE als sogenanntes »Testing Laboratory« für den »Certification Body« VDE Prüfungen für die Bauartzulassung gemäß IEC 61615 und 61646 durchführen.

**Michael Köhl, Stefan Brachmann,
Markus Heck, Tilmann Kuhn**

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 sich das Fraunhofer ISE entschlossen, entsprechende Prüfkapazitäten aufzubauen und diese im Rahmen einer Kooperation mit dem VDE, der »Certification Body« der IEC-EE ist, den Modulherstellern anzubieten.

Folgende Modul-Prüfungen werden im Testzentrum durchgeführt:

- Spannungsfestigkeit
- Kriechstrom unter Benässung
- mechanische Belastung
- Temperaturwechsel
- Feuchte-Wärme
- Frost-Tau-Wechsel
- UV-Belastung (Abb. 1)
- Nominale Zelltemperatur (Abb. 2)
- Hot-Spots unter Bestrahlung
- Thermische Stabilität der Bypass-Dioden
- Robustheit der Anschlussdose
- Freibewitterung

Das ISE Callab (Beitrag S. 98) – eines der führenden Labore für Leistungsmessung von Modulen – führt die STC-Leistungsmessungen nach den einzelnen Prüfungen durch.

Beim Aufbau der Modul-Tests haben wir darauf geachtet, dass die Standardprüfabläufe reproduzierbar, einfach und sicher durchgeführt werden können. Gleichzeitig haben wir uns einen ausreichenden Spielraum für die Variation der Prüfparameter gelassen, um aktiv an der Weiterentwicklung der Prüfungen im Rahmen von einschlägigen Forschungsvorhaben arbeiten zu können bzw. an firmenspezifischen F&E -Vorhaben zur Entwicklung von innovativen Modulkonzepten mitwirken zu können.



Abb. 1: UV-Prüfstand für Photovoltaik-Module bis zu einer Abmessung von 1,4x2,4 m²: Die Intensität der UV-Strahlung ist 50 mal höher als die natürliche UV-B Strahlung und 7 mal höher als die natürliche UV-A Strahlung.



Abb. 2: 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.

Rudi Kaiser, Bruno Burger, Heribert Schmidt

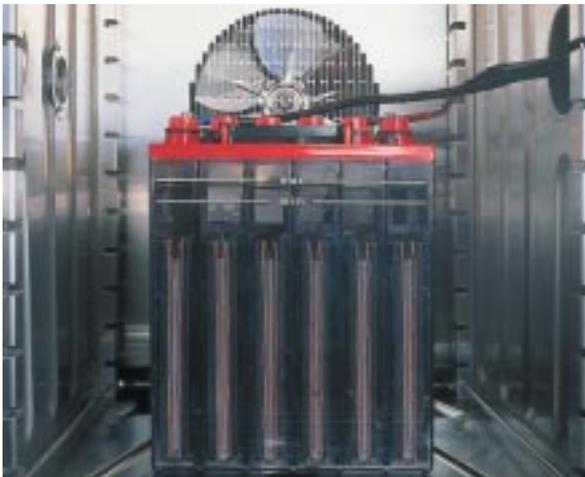


Abb. 1: Neben Wirkungsgrad und Kapazität kann auch die Temperaturabhängigkeit der Eigenschaften wie Alterungs- und Ladeverhalten von Batteriespeichern untersucht werden – hier im Bild die Klimakammer des Batterie-Prüflabors am Fraunhofer ISE.



Abb. 2: Das Bild zeigt ein hochpräzises Leistungsmessgerät zur exakten Bestimmung des Wirkungsgrads von Wechselrichtern.

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.

Wechselrichterlabor

Wir charakterisieren Wechselrichter bezüglich Wirkungsgrad, MPP-Regelverhalten, elektromagnetischer Verträglichkeit (EMV), Burst- und Surge-Störungen, Einhaltung der relevanten Normen sowie Benutzerfreundlichkeit. Zur Charakterisierung des EMV-Verhaltens steht eine EMV-Messkammer zur Verfügung. Unsere Mitarbeiter, die selbst in Normungsgremien mitwirken, beraten bei technischen Fragen und bei Unsicherheiten bezüglich der einzuhaltenden Normen.

Prüfzentrum für Thermische Solaranlagen (PZTS)

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

Joachim Koschikowski*, Matthias Rommel, Arim Schäfer, Thorsten Siems*

* PSE GmbH Forschung Entwicklung Marketing, Freiburg

Zertifizierung von Sonnenkollektoren

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

- SOLARKEYMARK Label
- Kollektorprüfung nach DIN EN 12975 Teil 1 und 2
- alle relevanten Funktionsprüfungen
- Bestimmung der Wärmeleistung
- Berechnung des Jahresenergieertrags
- direkte Messung des Einstrahlwinkel-Korrekturfaktors (IAM) mit einem Tracker.
- DIN geprüft Label
- Systemprüfung nach DIN EN 12976 Teil 1 und 2

Kollektor- und Systementwicklung

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

- Thermographische Detailuntersuchungen (z. B. Wärmebrücken)
- Bestimmung des Kollektorwirkungsgradfaktors F' von Absorbern
- Optimierung und Berechnung der Spiegelgeometrie von Kollektoren mit Reflektoren
- Identifikation von Kollektor-Wärmekapazitäten durch Messung von Sprungantworten
- Charakterisierung des dynamischen Verhaltens von Kollektoren (low-flow, high-flow, matched-flow)
- Parameteridentifikationen mit dem von uns entwickelten Simulationsprogramm ColSim.

Innen-Teststand für Kollektoren

Wir betreiben einen Innen-Teststand mit Solarsimulator. Wir haben ihn so konstruiert, dass er den Freilandbedingungen so nahe wie



Innen-Teststand mit Solarsimulator.

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 1 200 W/m² ohne künstlichen Himmel, 1 000 W/m² mit künstlichem Himmel
- Homogenität dabei $\pm 10\%$
- Neigungswinkel des Lampenfeldes 0° bis 90°

Solarluftkollektor-Teststand

Wir betreiben einen Teststand für Solarluftkollektoren. Er ist in den Innen-Teststand Solarsimulator integriert. Daher können wir wetterunabhängig kurze Messzeiten garantieren. Die Solarluftkollektoren werden in Anlehnung an DIN EN 12975 geprüft. Es können Luftvolumenströme von 50 m³/h bis 1 000 m³/h mit einer Messunsicherheit von maximal $\pm 1\%$ bestimmt werden.

Unsere Dienstleistungen:

- Messung des Druckverlustes von Solarluftkollektoren als Funktion der Durchflussmenge
- Bestimmung von Leckluftratzen
- Unterstützung von Herstellern bei der Produktneu- und Weiterentwicklung
- Berechnung von Jahresenergieerträgen für unterschiedliche Solarluftkollektor-Systeme
- Entwicklung von kundenspezifischer Auslegungsoftware für Solarluftkollektor-Systeme.

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.

Andreas Bühring, Martina Jäschke*,
Christian Bichler, Matthias Schubert,
Sebastian Herkel

* PSE Projektgesellschaft Solare Energiesysteme mbH,
Freiburg

Abb. 1: Automatisierter Teststand mit zwei Testplätzen zur Messung von Lüftungsgeräten mit Abluftwärmepumpe.



Abb. 2: Konditionierungseinheit für die Außenluft (Dämmung teilweise entfernt): Die Außenluft strömt von unten links durch den Vorkühler/Entfeuchter und den Tiefkühler nach oben zum Ultraschallbefeuchter und Lufterhitzer. Zwei Luftströme können getrennt koordiniert werden als Zuluft und als zweite Wärmequelle.



Abb. 3: Auf dem Teststand vermessenes Lüftungs-Kompaktgerät. Das Gerät ist speziell für den Einsatz im Mehrfamilien-Passivhaus entwickelt worden und hat einen kleinen, integrierten Speicher von 240 Litern.



Prüfstand für Lüftungs-Kompaktgeräte

Im Kundenauftrag unterstützen wir bei der Entwicklung von Lüftungs-Kompaktgeräten mit integrierter Abluftwärmepumpe. Auf unserem Teststand messen wir die Energieeffizienz sowohl der Gesamtgeräte als auch ihrer Komponenten. Dabei können wir die Prüfbedingungen in einer großen Bandbreite stationär wählen. Der automatisierte Teststand erlaubt zusätzlich das Einstellen dynamisch veränderlicher Bedingungen, z. B. entsprechend der Norm EN 255-3. Aus den Messungen leiten wir Empfehlungen ab für das Optimieren der Komponenten und ihres Zusammenwirkens. Wir unterstützen unsere Kunden bei der Umsetzung von Neuentwicklungen, z. B. durch den Austausch von Komponenten. Geschultes Personal mit Know-how in der Kältetechnik sowie notwendige technische Hilfsmittel stehen zur Verfügung.

Monitoring

In zahlreichen bewohnten Solar-Passivhäusern messen wir die Leistungsfähigkeit von Lüftungs-Kompaktgeräten unterschiedlicher Hersteller im Praxistest. Über tägliche Datenauswertungen geben wir unmittelbar Empfehlungen, um ihren Betrieb zu optimieren. Mögliche Störursachen werden identifiziert und behoben. Aus den Messungen erarbeiten wir Vorschläge für die Optimierung von Geräten und Regelung.

Luftdichtigkeitsmessungen und Luftwechselbestimmung

Die Luftdichtigkeit von Lüftungsgeräten messen wir mit Hilfe eines Tracergas-Chromatographen nach der Konstant-Injektionsmethode im realen Betriebszustand. Dies kann sowohl auf dem Teststand durchgeführt werden als auch – bei großen Zentralanlagen – im Betrieb vor Ort. Mit der gleichen Apparatur bestimmen wir die Luftwechselrate im Gebäude nach der Konzentrationsabfallmethode. Unsere Messmethode erfüllt die Bedingungen nach VDI 4300, Blatt 7. Sie gestattet SF₆ als Tracergas auch in bewohnten Gebäuden, bei Analyse mit einem Gaschromatographen mit Electron Capture Detektor.

Vermessung von Fassaden und transparenten Bauteilen

Entwicklern und Planern bieten wir ein umfassendes Angebot zur detaillierten und präzisen Charakterisierung von innovativen Bauteilen oder Materialien. Für transparente Bauteile und Sonnenschutzsysteme stehen Speziallabore zur Bestimmung der optischen und thermischen Eigenschaften zur Verfügung. Außerdem verfügen wir über einen Tageslicht-Container und einen Außenprüfstand.

Ulrich Amann, Angelika Helde, Tilmann Kuhn, Werner Platzer, Jan Wienold

Thermisch-Optisches Prüflabor und Lichtlabor

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

- Lichtstreuung und Lichtumlenkung
- makroskopischer Strukturierung und Mustern
- winkelselektiven Eigenschaften
- zeitveränderlichen Eigenschaften z. B. Photochromie, Thermotropie oder Elektrochromie
- Luftführung in der Fassade
- integrierter Photovoltaik.

Beispiele der Apparaturen:

- Solarkalorimeter zur Bestimmung des Gesamtenergiedurchlassgrads von transparenten Bauteilen und Sonnenschutz
- Wärmewiderstandmessungen an Verglasungen nach DIN 52612
- winkelabhängige Transmissions- und Reflexionsmessungen mit großen Ulbrichtkugeln
- Messung der Winkelverteilung des transmittierten und reflektierten Lichts mit dem Photogoniometer.

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

Im Rahmen der ISO 9001:2000 Zertifizierung warten und kalibrieren wir unsere Messgeräte regelmäßig und stellen so die hohe Genauigkeit sicher.

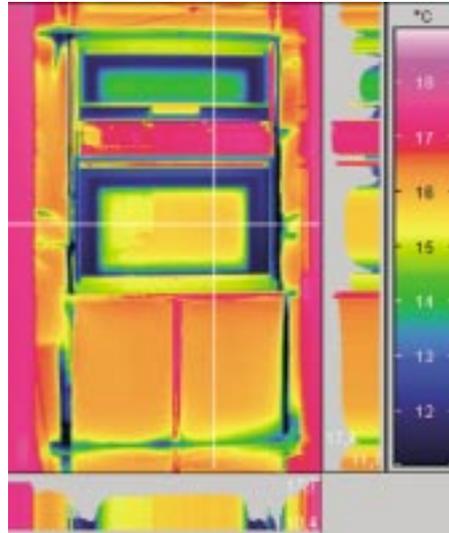


Abb. 1: Thermographische Aufnahme eines raumhohen Fassadenmoduls in einem Testraum (Aufnahme von innen).

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 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 Kennwerten bei definierten Randbedingungen im Labor vermessen wir komplette Fassaden unter realen Klimabedingungen. Dafür stehen uns Testräume mit Südorientierung zur Verfügung. Dort untersuchen wir das dynamische Verhalten der Testfassaden und erfassen dazu Temperaturen im Innenraum, am Bauteil, Komforttemperatur, solare und visuelle Transmission, Heizverbrauch der Testräume und andere bauphysikalische Daten in minütlichem Zeitraster.

Langzeituntersuchungen ermöglichen Aussagen über Stabilität, Schaltverhalten und Belastungen der Fassade. Die Optimierung von Reglern kann experimentell validiert werden. Im Zusammenhang mit der Gebäudesimulation dienen die Messdaten zur Validierung von Fassadenmodellen in Programmen wie ESP-r und TRNSYS.

Fraunhofer Solar Building Innovation Center SOBIC

Das Fraunhofer SOBIC demonstriert energieeffizientes und solar unterstütztes Bauen. Es fördert die Markteinführung der Ergebnisse aus Wissenschaft und Technik der Fraunhofer-Institute für Solare Energiesysteme ISE und für Bauphysik IBP. Architekten und Planern, Gebäudetechnikern und Herstellern der Baubranche sowie Vertretern aus Wirtschaft und Politik dient es als Informations- und Vermittlungsplattform. Kleinen und mittleren Betrieben bietet das Fraunhofer SOBIC Forschungsdienstleistungen sowie Marketingunterstützung an.

**Hans-Martin Henning, Christel Russ,
Tilman Kuhn, Sebastian Herkel**



Abb. 1: Die Ausstellung »Sommerlicher Wärmeschutz« in den Räumen des Fraunhofer SOBIC in Freiburg, Emmy-Noether-Straße 2, zeigt Sonnen- und Blendschutzsysteme unterschiedlicher Hersteller. Ebenso werden Fassadensysteme, Systeme zur passiven und aktiven Kühlung sowie Komponenten und Gebäudekonzepte vorgestellt.



Abb. 2: Seminare, Workshops, Symposien und Arbeitstreffen dienen der Weiterbildung auf Basis der Ergebnisse aus Forschung und Entwicklung. Gleichzeitig werden aktuelle Marktanforderungen mit berücksichtigt. Gut ausgestattete Seminar- und Besprechungsräume in angenehmer Atmosphäre unterstützen eine erfolgreiche Wissensvermittlung.

Das Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE in Freiburg und das Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP in Stuttgart bündeln ihre Kompetenzen auf dem Gebiet des energieeffizienten und solaren Bauens im Fraunhofer Solar Building Innovation Center SOBIC. Interessenten aus allen Bereichen der europäischen Bauwirtschaft und Versorgungstechnik finden hier kompetente Ansprechpartner sowie ein breit gefächertes Dienstleistungsangebot zu neuesten technologischen Entwicklungen. Zwei Ausstellungen dienen als innovative Beratungszentren: in Fellbach im Ausstellungszentrum »Eigenheim und Garten« werden Neuheiten zum »Energieeffizienten Bauen und Wohnen« gezeigt, Fraunhofer SOBIC in Freiburg präsentiert »Energieeffizienz im Nichtwohnungsbau«. Beide Ausstellungen zeigen innovative Produkte, Komponenten und Systeme sowie Versorgungstechnologien und unterstützen damit den Arbeitsschwerpunkt des Fraunhofer SOBIC, die Entwicklung von Produkt- und Systemstrategien. Die thematische Gestaltung der Ausstellungen entspricht den aktuellen Marktanforderungen und widmet sich z. B. im Fraunhofer SOBIC Freiburg dem Thema »Sommerlicher Wärmeschutz«.

Schulungen und Weiterbildung in den Fachseminaren informieren über:

- nachhaltige Energieversorgung in Gebäuden, wie Krankenhäusern, Passiv-Wohnhäusern oder Passiv-Bürogebäuden
- Fassadensysteme für Sonnen- und Blendschutz, Phasenwechselmaterialien oder IR-reflektierende Schichten
- innovative Gebäudetechnik für den Nichtwohnungsbau, wie passive Kühlung, solar unterstützte Klimatisierung und Sonnenschutzstrategien
- Umsetzung neuer Normen und Regelwerke, Beispiel EU-Gebäudeeffizienzrichtlinie.

In enger Zusammenarbeit mit den Instituten bietet das Fraunhofer SOBIC kundenspezifische Problemlösungen zu folgenden Themenbereichen an:

- Produkt-Zulassungen
- integraler Planung von Gebäuden
- Entwicklungen und Bewertungen von Fassadensystemen
- innovativen Gebäudetechniken, z. B. solare Klimatisierung
- Monitoring und Evaluierung, einschließlich Visualisierung.

Faktoren im Überblick

Gastwissenschaftler

Mitarbeit in Gremien

Kongresse, Tagungen und Seminare

Vorlesungen und Seminare

Messebeteiligungen

Patente

Habilitationen/Promotionen

Pressearbeit

Unternehmensgründungen

Vorträge

Veröffentlichungen

Gastwissenschaftler

Dipl-Phys. Benjamin Diaz
Universidad de La Laguna
Teneriffa, Spanien

15.7.2004–31.1.2005
Arbeitsgebiet: Poröses Silicium und
Siliciumnitrid, Antireflexschichten für die
Solarzellentechnologie

Prof. Gregor Henze
University of Nebraska
Omaha, USA

1.9.2005–30.6.2006
Arbeitsgebiet: Gebäudetechnik

José Roberto Flores Hernández
Instituto de Investigaciones Electricas (IEE)
Puebla, Mexico

1.10.2001–30.9.2005
Arbeitsgebiet: Elektrolyse

Warren Hogarth
University of Queensland
Brisbane, Queensland, Australien

1.9.2005–31.12.2005
Arbeitsgebiet: Brennstoffzellen Flowfield Design

Prof. Dr. Hongmei Yu
Dalian Institute of Chemical Physics
Chinese Academy of Science
Dalian, China

11.7.2005–19.7.2005
Arbeitsgebiet: Untersuchung von Membran-
Elektrodeneinheiten für Brennstoffzellen

Mitarbeit in Gremien

Bundesverband Kraft-Wärme-Kopplung B.KWK
- Mitglied

Club zur Ländlichen Elektrifizierung C.L.E.
- Mitglied im Vorstand

Deutsche Elektrotechnische Kommission (DKE)
- Komitee 373: »Photovoltaische
Solarenergiesysteme«

Deutsche Elektrotechnische Kommission (DKE)
- Komitee 384: »Brennstoffzellen«
- Arbeitsgruppe »Portable Fuel Cell Systems«

Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie
- Fachausschuss »Wärmepumpen«

Deutscher Wasserstoff-Verein
- Mitglied

Deutsches Institut für Normung DIN,
Fachnormenausschuss
Heiz- und Raumlufttechnik (NHRS AA1.56)
»Solaranlagen«
- Mitglied

Deutsches Institut für Normung DIN,
Fachnormenausschuss
Lichttechnik (FNL 6) »Innenraumbeleuchtung
mit Tageslicht«
- Mitglied

Deutsches Institut für Normung DIN,
Normenausschuss Bau
NABau 00.82.00 »Energetische Bewertung von
Gebäuden«
- Mitglied

EU PV Technology Platform, Steering
Committee, Brüssel
- Stellvertretender Vorsitzender

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

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

European Desalination Society
- Mitglied

European Fuel Cell Group
- Mitglied

European Photovoltaic Industry Association
(EPIA)
- assoziiertes Mitglied

European Solar Thermal Industry Federation
(ESTIF)
- Mitglied

Fachinstitut Gebäude-Klima (FGK)
- Arbeitskreis »Sorptionsgestützte
Klimatisierung«

Fachverband Transparente Wärmedämmung
- Fachausschuss »Produktkennwerte«

Fachverband Transparente Wärmedämmung
- Mitglied

FitLicht – Fördergemeinschaft innovative
Tageslichtnutzung
- Mitglied

Förderprogramm »Haus der Zukunft« des
Österreichischen Bundesministeriums für
Verkehr, Innovation und Technologie
- Mitglied in der Jury

Forschungsallianz »Brennstoffzellen«, Baden-
Württemberg
- Mitglied

Forschungsverbund Sonnenenergie (FVS)
- Mitglied

Fraunhofer-Gesellschaft
- Senat

Fraunhofer-Verbund Energie
- Geschäftsführung

Freiburger Verein für Arbeits-und
Organisationspsychologie
- erw. Vorstand

Global Research Alliance (GRA)
- Koordination Schwerpunktbereich Energie

GMM VDE/VDI Gesellschaft Mikroelektronik,
Mikro- und Feinwerktechnik
- Fachausschuss 4.8 »Werkstoffe und
Fertigungsverfahren«

GVEP Global Village Energy Partnership
- Mitglied

Hauptkommission des Wissenschaftlich-
Technischen Rates der Fraunhofer-Gesellschaft
- Vorsitz

IEC TC82 WG/ for IEC qualification standard:
Concentrator Photovoltaic (PV) Receivers and
Modules – Design qualification and Type
Approval
- Mitglied

Institut für Solare Energieversorgungstechnik
(ISET)
- Wissenschaftlicher Beirat

International Energy Agency IEA, Paris,
Frankreich:
Solar Heating & Cooling Programme SHCP
- Task 25: »Solar Assisted Air Conditioning of
Buildings«
- Task 27: »Performance of Solar Facade
Components«

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

- Task 28: »Sustainable Solar Housing«
- Task 33/4: »Solar Heat for Industrial Processes«
- Energy Conservation in Buildings and Community Systems ECBCS
- Heat Pump Programme HPP

Kompetenz- und Innovationszentrum
Brennstoffzelle, KIBZ Stuttgart

- Mitglied

Kompetenznetzwerk Brennstoffzelle NRW,
Nordrhein-Westfalen

- Mitglied

M&EED Monitoring and Evaluation Working
Group by Global Village

- Energy Partnership (GVEP) and European Union Energy Initiative (EUEI)

Stiftungsrat des Hanse Wissenschaftskollegs
(HWK)

- Mitglied

Symposium Photovoltaische Solarenergie

- Wissenschaftlicher Beirat

VDMA The German Engineering Federation
Productronics Association
Dachverband Deutsches Flachdisplay-Forum
(DFF)

- Mitglied

Verein Deutscher Elektrotechniker

- ETG-Fachausschuss »Brennstoffzellen«

Verein Deutscher Ingenieure (VDI)
VDI-Gesellschaft Energietechnik

- Fachausschuss »Regenerative Energien«
(VDI-FARE)

VDI-Gesellschaft Technische
Gebäudeausrüstung

- Richtlinienausschuss 6018

Verein Deutscher Ingenieure VDI-TGA 6018
»Behaglichkeit in Räumen«

- Mitglied

VMPA – Verband der Materialprüfämter e.V.

- Sektorgruppe »Türen, Fenster und Glasprodukte«

Weiterbildungszentrum WBZU
»Brennstoffzelle«, Ulm

- Mitglied im Aufsichtsrat

Zentrum für Sonnenenergie- und
Wasserstoffforschung (ZSW)

- Kuratorium

OTTI-Fachforum
Lüftungstechnik
Regensburg, 24./25.1.2006

OTTI Energie-Kolleg
11. Symposium Innovative Lichttechnik in
Gebäuden
Bad Staffelstein, Kloster Banz, 27./28.1.2005

Workshop SiliconFOREST 2005
Fortschritte in der Entwicklung von Solarzellen-
Strukturen und Technologien
Falkau, 27.2.–2.3.2005

OTTI Energie-Kolleg
20. Symposium Photovoltaische Solarenergie
Bad Staffelstein, Kloster Banz, 9.–11.3.2005

OTTI Energie-Kolleg
15. Symposium Thermische Solarenergie
Bad Staffelstein, Kloster Banz, 27.–29.4.2005

9. Internationale Passivhaustagung 2005
Ludwigshafen, 29./30.4.2005

OTTI-Profiforum
Wiederaufladbare Batteriesysteme
Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-
Forschung Baden Württemberg
Ulm, 10./11.5.2005

11. Symposium Energieoptimiertes Bauen
»Bürogebäude mit Zukunft«
Dessau, 12.–14.5.2005

Fraunhofer Solar Building Innovation Center
SOBIC* gemeinsam mit Deutsche
Bundesstiftung Umwelt
Wärmeversorgung von Passivhäusern (Seminar)
Osnabrück, 19.5.2005

Fraunhofer Solar Building Innovation Center
SOBIC*
Solare Klimatisierung (Seminar)
Freiburg, Fraunhofer SOBIC, 31.5.2005

OTTI-Fachseminar
Netzferne Stromversorgung mit Photovoltaik
Freiburg, 16./17.6.2005

OTTI-Profiseminare
Photovoltaik-Anlagen
Freiburg, 21./22.6.2005

2. Europäische Solarthermie-Konferenz ESTEC
2005
Freiburg, 21./22.6.2005

Intersolar
Kompaktseminar Photovoltaik-Technologie
Freiburg, 24.6.2005

Fraunhofer Solar Building Innovation Center
SOBIC*
Solarunterstützte energieeffiziente
Wohngebäude – Ergebnisse aus der IEA Task
28/30 (Seminar)
Freiburg, Fraunhofer ISE, 30.6.2005

3rd European Polymer Electrolyte Fuel Cell
Forum PEFC
Luzern, Schweiz 4.-8.7.2005

»Building Integrated Photovoltaics (BIPV):
Architecture, Engineering and Standards«
Seminar »Introduction to Building Integrated
Photovoltaic (BIPV), General Approaches on
BIPV System Design and Installation«,
Kuala Lumpur, Malaysia, 12.9.2005

»Policy and Financial Framework Promoting
Sustainable Photovoltaic (PV) Markets«
Seminar »PV Interconnection: Myth and Facts
from Regulatory and Technical Perspective«,
Kuala Lumpur, Malaysia, 13.09.2005

Forschungsverbund Sonnenenergie FVS
Jahrestagung 2005
Köln, 22./23.9.2005

Fachforum Solare Kühlung und Klimatisierung
im Rahmen der Internationalen Kongressmesse
RENEXPO® 2005
Veranstalter: Erneuerbare Energien
Kommunikations- und Informationsservice
GmbH
Augsburg, 23.9.2005

f-cell (Brennstoffzellen-Kongress)
Stuttgart, 26.–28.09.2005

14. FMF-Kolloquium (Freiburger
Materialforschungszentrum)
Titisee-Neustadt, 6./7.10.2005

International Conference
Solar Air-Conditioning
Bad Staffelstein, Kloster Banz, 6./7.10.2005

Fraunhofer Solar Building Innovation Center
SOBIC*
Symposium zur EU-Gebäudeeffizienzrichtlinie
Freiburg, Solar Info Center, 27./28.10.2005

Fraunhofer Solar Building Innovation Center
SOBIC* gemeinsam mit OTTI-Technik-Kolleg
OTTI-Profiseminar
EMV und Blitzschutz für Solaranlagen
Regensburg, 30.11.–1.12. 2005

* Fraunhofer SOBIC ist das gemeinsame Demonstrations-
zentrum des Fraunhofer IBP und Fraunhofer ISE.

Vorlesungen und Seminare

Dr. Dietmar Borchert
Photovoltaik
Vorlesung SS 05
Technische Fachhochschule Georg Agricola
Bochum

Dr. Andreas Bühring
Technische Gebäudeausrüstung
Vorlesungen WS 04/05
Fernstudiengang Energiemanagement
Universität Koblenz-Landau

Dr. Bruno Burger
Leistungselektronische Systeme für regenerative
Energiequellen
WS 05/06
Fakultät für Elektrotechnik und
Informationstechnik
Universität Karlsruhe

Dr. Andreas Gombert
Optische Eigenschaften von Mikro- und
Nanostrukturen
Vorlesung WS 05/06
Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
Fakultät für Angewandte Wissenschaften

Dr. Stefan Glunz
Prof. Joachim Luther
Photovoltaische Energiekonversion
Vorlesung SS 05
Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
Fakultät für Physik

Prof. Joachim Luther
Solare Energiekonversion
Oberseminar SS05,
Thermische Solarenergiewandlung
mit Dr. Werner Platzer
Vorlesung WS 05/06,
Solare Energiekonversion
Oberseminar WS 05/06,
Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
Fakultät für Physik

Sebastian Herkel
Solare Energiesysteme
Vorlesung SS05
Fachbereich Architektur und Design
Staatliche Akademie der Bildenden Künste
Stuttgart

Christian Neumann
Technischer Ausbau
Vorlesungen SS05
Fachbereich Bauphysik und Technischer Ausbau
Universität Karlsruhe

Dr. Christel Russ
Energetische Sanierung von Gebäuden
Vorlesungen SS05
Fachhochschule Biberach

Prof. Roland Schindler
Halbleitertechnologie II (Bauelemente)
Vorlesung SS 05,
Photovoltaik II
Vorlesung SS 05,
Halbleitertechnologie I (Technologie),
Vorlesung WS 05/06,
Photovoltaik I
Vorlesung WS 05/06,
Fernuniversität Hagen

Dr. Heribert Schmidt
Photovoltaik Systemtechnik
SS 05
Fakultät für Elektrotechnik und
Informationstechnik
Universität Karlsruhe

Priv. Doz. Dr. Gerhard Willeke
Halbleitertechnologie und Physik der Solarzelle
Vorlesung SS 05
Universität Konstanz

Priv. Doz. Dr. Volker Wittwer
Energieversorgung für Mikrosysteme
Vorlesung SS 05

Priv. Doz. Dr. Volker Wittwer
Dr. Stefan Glunz
Innovative Energieversorgungssysteme
Vorlesung WS 05/06
Albert-Ludwigs-Universität Freiburg,
Fakultät für Angewandte Wissenschaften

Messebeteiligungen

OTTI Energie-Kolleg
20. SYMPOSIUM Photovoltaische Solarenergie
Bad Staffelstein, Kloster Banz, 9.–11.3.2005

Hannover Messe Industrie
Hannover, 11.–15.4.2005

20th European Photovoltaic Solar Energy Conference
and Exhibition
Barcelona, Spanien, 6.–10.6.2005

Intersolar 2005
Internationale Fachmesse und Kongress für
Solartechnik
Freiburg, 23.–25.6.2005

3rd European Polymer Electrolyte Fuel Cell Forum
PEFC,
Lucerne, Switzerland, 4.–8.7.2005

f-cell (Brennstoffzellen-Kongress 2005)
Stuttgart, 26.–28.9.2005

Plastic Electronics 2005
International Conference & Showcase
Fraunhofer Gemeinschaftsstand
Fankfurt, 4./5.10.2005)

Mikrosystemtechnik Kongress 2005
Freiburg, 10.–12.10.2005

Intelligent Building Middle East 2005, International
Exhibition and Conference for Building Materials,
Concepts and Technologies. Bahrain International
Exhibition Center, Kingdom of Bahrain, 5.–7.12.2005

Eingereichte Patente

Sarmimala Hore, Rainer Kern, Peter Nitz
»Dye Solar Cell with Enhanced Efficiency«

Sarmimala Hore, Rainer Kern, Andreas Hinsch
»Method offering stability for light sensitive materials in contact with semiconductor oxides«

Sascha van Riesen, Rüdiger Löckenhoff, Gerhard Stahl, Ron Dietrich, Wolfgang Koestler
»Anordnung mit Solarzelle und integrierter Bypass-Diode«

Peter Koltay, Christian Litterst, Steffen Eccarius
»Vorrichtung mit einem ein Medium führenden Kanal und Verfahren zur Entfernung von Einschüssen«

Tilmann Kuhn, Volker Wittwer, Andreas Gombert
»Sonnen- und Blendschutzvorrichtung, Verfahren zu deren Herstellung sowie deren Verwendung«

Frank Dimroth
»Vorrichtung und Verfahren zur photovoltaischen Erzeugung von Wasserstoff«

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

Alexander Susdorf, Albert Chigapov, Brendan Carberry
»Catalyst for low and room temperature carbon monoxide elimination and method manufacturing the same«

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

Armin Zastrow
»Messvorrichtung zum Messen photokatalytischer Aktivität einer photokatalytischen Schicht«

Martin Schubert, Stefan Rein, Jörg Isenberg, Wilhelm Warta, Stefan Glunz
»Verfahren und Vorrichtung zur Inaktivierung von Trapping-Effekten in dotierten Halbleitern«

Steffen Eccarius, Andreas Schmitz
»Direktmethanol-Brennstoffzelle«

Kuno Mayer, Daniel Kray, Sybille Baumann, Bernd Kolbesen
»Flüssigkeitsstrahlbearbeitung«

Ferdinand Schmidt, Lena Schnabel, Hans-Martin Henning, Tomas Núñez, Stefan Henninger
»Anordnung von Wärmetauscherplatten, die in thermischem Kontakt mit einem Adsorbens stehen«

Stefan Reber, Achim Eyer, Fridolin Haas
»Verfahren zur Rekristallisierung von Schichtstrukturen mittels Zonenschmelzen, hierfür verwendete Vorrichtung und dessen Verwendung«

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

Thomas Aicher, Lothar Griesser
»Verfahren zur Verdampfung und Reformierung flüssiger Brennstoffe«

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

Erteilte Patente

Heribert Schmidt, Dirk Uwe Sauer
»Säureprüfung«

Adolf Goetzberger, Thomas Kuckelkorn
»Vorrichtung zur Lichtumlenkung sowie -ausblendung für den stationären Einsatz bei einer transluzenten Gebäudefassade zur gezielten Beleuchtung eines Innenraumes«

Andreas Gombert, Hansjörg Lerchenmüller
»Entspiegelungsschicht sowie Verfahren zur Herstellung derselben«

Andreas Bühring
»Wärmepumpen-Kompaktvorrichtung mit integrierter Primärenergie-Wärmequelle zur kontrollierten Lüftung und Wärmeenergieversorgung von Niedrig-Energie-Gebäuden oder Passivhäusern sowie Verfahren hierzu«

Volkmar Boerner, Andreas Gombert, Benedikt Bläsi
»Verfahren zur Herstellung von Licht streuenden Elementen«

Axel Heitzler, Christopher Hebling, Andreas Schmitz
»Brennstoffzellenanordnung«

Heribert Schmidt, Bruno Burger
»Vorrichtung und Verfahren zur Unterdrückung eines Gleichstromanteiles im Ausgangsstrom von Wechselrichtern«

Christian Schlemmer, Wolfgang Graf, Andreas Georg, Andreas Gombert
»Hochtemperaturstabiler Metallemitter sowie Verfahren zur Herstellung«

Erik Schneiderlöchner, Jochen Rentsch, Ralf Preu
»Verfahren zur Verminderung der Reflexion an Halbleiteroberflächen«

Wolfgang Graf, Rainer Rox
»System mit Verglasungselement und Gasversorgungsvorrichtung«

Habilitationen und Promotionen

Habilitation

Andreas Gombert
»Large-area micro-structured surfaces with optical functions«
Habilitation Albert-Ludwigs-Universität Freiburg Freiburg, 2005

Promotionen

Karen Forberich
»Organische Photonische-Kristall-Laser«
Dissertation Albert-Ludwigs-Universität Freiburg Freiburg, 2005

Michael Hermann
»Bionische Ansätze zur Entwicklung energieeffizienter Fluidsysteme für den Wärmetransport«
Dissertation Universität Karlsruhe (TH) Karlsruhe, 2005

José Roberto Flores Hernández
»Optimierung von Komponenten für die Wasserelektrolyse im Hinblick auf den Einsatz in kostengünstigen und robusten netzunabhängigen Energieversorgungssystemen«
Dissertation Albert-Ludwigs-Universität Freiburg Freiburg, 2005

Wolfgang Hoßfeld
»Tageslichtsteuerung mit prismatischen Mikrostrukturen im Übergangsbereich von diffraktiver und geometrischer Optik«
Dissertation Albert-Ludwigs-Universität Freiburg Freiburg, 2005

Sarmimala Hore
»Enhancing the efficiency of dye solar cells by tuning the trap states in nanocrystalline TiO₂«
Dissertation Albert-Ludwigs-Universität Freiburg Freiburg, 2005

Rudi Jörg Kaiser
»Optimierung eines Batteriemangement-systems zum Einsatz in photovoltaischen Stromversorgungssystemen«
Dissertation Universität Ulm Ulm, 2005

Andreas Mohr
»Silicon concentrator cells in a two-stage photovoltaic system with a concentration factor of 300x«
Dissertation Albert-Ludwigs-Universität Freiburg Fakultät für Angewandte Wissenschaften Freiburg, 2005

Michael Niggemann
»Fundamental investigations on periodic nano- and microstructured organic solar cells«
Dissertation Albert-Ludwigs-Universität Freiburg Freiburg, 2005

Anders Ødegård
»Weiterentwicklung kleiner Direkt Methanol Brennstoffzellen«
Dissertation Universität GH Duisburg Duisburg, 2005

Jochen Rentsch
»Trockentechnologien zur Herstellung von kristallinen Siliziumsolarzellen«
Dissertation Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Fakultät für Angewandte Wissenschaften Freiburg, 2005

Thomas Schlegl
»GaSb-Photovoltaikzellen für die Thermophotovoltaik«
Dissertation Universität Regensburg Regensburg, 2005

Andreas Schmitz
»Systementwicklung miniaturisierter planarer Brennstoffzellen«
Dissertation Technische Universität Berlin Berlin, 2005

Oliver Schultz
»High-efficiency multicrystalline silicon solar cells«
Dissertation Universität Konstanz, Fakultät für Physik Konstanz, 2005

Benoît G. Sicre
»Nachhaltige Energieversorgung von Niedrigstenergiehäusern auf Basis der Kraft-Wärme-Kopplung im Kleinstleistungsbereich und der Solarthermie«
Dissertation Technische Universität Chemnitz Chemnitz, 2005

Tom Smolinka
»Entwicklung und Charakterisierung einer Reformatgas tauglichen PEM-Brennstoffzelle«
Dissertation Universität Ulm Ulm, 2005

Christoph Ziegler
»Regelung und Dynamik kleiner Brennstoffzellen«
Dissertation Universität Konstanz Konstanz, 2005

Unternehmensgründungen

Concentrix Solar GmbH
Hansjörg Lerchenmüller
Geschäftsführer
Solar Info Center
79072 Freiburg

Tel: +49 7 61/2 14 91 71
Mobil: +49 175 59 49 420
Fax: +49 7 61/2 14 91 64
lerchenmueller@concentrix-solar.de
<http://www.concentrix-solar.de>

Besucher-Adresse:
Emmy-Noether-Straße 2
79110 Freiburg

Pressearbeit

Presseinformationen

www.ise.fraunhofer.de/german/press

16.2.2005
Photovoltaische Winzlinge erzielen hohe Wirkungsgrade

3.3.2005
Chancen für den regionalen Mittelstand – Nachhaltigkeitsideen erfolgreich umsetzen

8.3.2005
Photochrome Systeme auf dem Weg zur architektonischen Anwendung – Fraunhofer ISE stellt neueste Weiterentwicklung zu transparentem Sonnenschutz vor

10.3.2005
Bringt die Sonne auf den Punkt – Concentrix Solar GmbH in Freiburg gegründet

21.3.2005
Bürogebäude mit Zukunft: komfortabel, wirtschaftlich, klimaschonend – Neues Fachbuch zur Planung energieeffizienter Bürogebäude

24.3.2005
Fraunhofer-Gesellschaft gründet Energieverbund

29.4.2005
Chancen für den regionalen Mittelstand – Nachhaltigkeitsideen erfolgreich umsetzen

7.6.2005
Becquerel-Preis für Joachim Luther – EU-Kommission würdigt erfolgreiches Engagement des Wissenschaftlers für die Photovoltaik

10.6.2005
SOLPRO – Photovoltaik-Expertenkreis aus Industrie und Forschung meldet Erfolge – Kostenreduzierende Technologieschritte finden Eingang in die Produktion

17.6.2005
TÜV Rheinland übergibt 16. Internationalen Rheinland-Preis für Umweltschutz an Prof. Dr. Joachim Luther

1.7.2005
Erfolgreiches Förderkonzept für energieeffiziente Gebäude – Pilotfunktion für die Umsetzung der europäischen Energieeffizienzrichtlinie

8.8.2005
International Solar Energy Society ISES ehrt Prof. Joachim Luther – ISES Special Service Award für Verdienste um die Solarenergie

8.8.2005
Brennstoffzellentechnologie international: Forschungsk Kooperation zwischen dem Fraunhofer ISE und der University of South Carolina

10.10.2005
Mikroenergie-technik – Power für unterwegs – Neue Mikrobrennstoffzellen-Systeme aus dem Fraunhofer ISE

13.10.2005
Umweltpreis 2005 – Herausragende Verdienste um die Sonnenenergie

Vorträge

Agert, C.

»Mikrobrennstoffzellensysteme für portable Anwendungen«, 93. Bunsen-Kolloquium Wasserstoff und Brennstoffzellen, Schwerin, Germany, 16./17.6.2005

Agert, C.

»Mikrobrennstoffzellensysteme: Energiewirtschaftliche Relevanz, Marktübersicht, Potenzial für Produktinnovationen«, 4. Brennstoffzellenforum Hessen, Wiesbaden, Germany, 13.9.2005

Agert, C.

»From Research Results to Commercial Success«, EUREC College of Members, Almeria, Spain, 9.11.2005

Aicher, T.; Martin, H.¹

»Natural Convection in Heat Exchangers – A New Incentive for More Compact Heat Exchangers?«, 5th International Conference on Enhanced, Compact and Ultra-Compact Heat Exchangers, Whistler, Canada, 11.–16.9.2005
(¹: Universität Karlsruhe, Thermische Verfahrenstechnik, Karlsruhe, Germany)

Aicher, T.; Szolak, R.; Bett, A. W.; Schlegl, T.; Gombert, A.; Gopinath, A.; Hebling, C.; Luther, J.

»TPV Systems and Simulation«, CLEAN ENERGY POWER 2005, Berlin, Germany, 27.1.2005

Aicher, T.

»TPV- Prinzip und Stand der Entwicklungen«, Workshop Thermoelektrik/Thermophotovoltaik, Berlin, Germany, 3.6.2005

Aicher, T.

»Technologien der Erdgasreformierung«, Fachseminar Brennstoffzellen-BHKWs, Weiterbildungszentrum Brennstoffzelle Ulm (WBZU), Ulm, Germany, 3.3.2005

Aicher, T.; Griesser, L.¹

»Novel Process for Evaporation of Liquid Hydrocarbons«, 3rd European Fuel Cell Forum, Lucerne, Switzerland, 4.–8.7.2005
(¹: Engineering and Project Management, Zurich, Switzerland)

Aicher, T.

»Steam Reforming of Methane and (Bio-) Ethanol«, Gastvortrag im Rahmen des Post-Graduate Course Bioenergy - Theory & Applications, Helsinki University of Technology, Espoo, Finland, 3.11.2005

Aicher, T.

»Grundlagen der Reformierung«, Gastvortrag im Rahmen der Vorlesung Brennstoffzellen und Batterien an der TU Karlsruhe, Germany, 28.11.2005

Baur, C.; Meusel, M.; Dimroth, F.; Bett, A. W.; Nell, M.¹; Strobl, G.¹; Taylor, S.²; Signorini, C.²
»Analysis of the Radiation Hardness of Triple- and Quintuple-Junction Space Solar Cells«, 31st IEEE Photovoltaic Specialists Conference, Orlando, Florida, USA, 3.–7.1.2005
(¹: RW E Space Solar Power GmbH, Heilbronn, Germany) (²: European Space Research & Technology Centre, Noordwijk, The Netherlands)

Baur, C.; Bett, A. W.

»Modelling of II-V Multi-junction Cells Based on Spectrometric Characterisation«, 20th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Barcelona, Spain, 6.–10.6.2005

Baur, C.; Bett, A. W.

»Measurement Uncertainties of the Calibration of Multi-Junction Solar Cells«, 31st IEEE Photovoltaic Specialists Conference, Orlando, Florida, USA, 3.–7.1.2005

Bett, A. W.; Baur, C.; Dimroth, F.; Schöne, J.¹

»Metamorphic GaInP-GaInAs Layers for Photovoltaic Applications«, Materials Research Society Fall Meeting, Boston, Massachusetts, USA, 28.11.–3.12.2004
(¹: Technische Fakultät der Christian-Albrechts-Universität, Kiel, Germany)

Bett, A. W.

»Hocheffiziente III-V Solarzellen – Herstellung, Charakterisierungen und Anwendungen«, Seminar für Festkörperphysik, Universität Kiel, Germany, 3.2.2005

Bett, A. W.

»Photovoltaic Cells for TPV Applications«, Clean Energy Power 2005, 1st Conference on TPV: Science to Business, ICC Berlin, Germany, 27.1.2005

Bett, A. W.; Baur, C.; Lerchenmüller, H.¹; Siefert, G.; Dimroth, F.; Willeke, G.

»The FLATCON[®] Concentrator PV-Technology«, 3rd Conference on Solar Concentrators for the Generation of Electricity or Hydrogen, Scottsdale, Arizona, USA, 1.–6.5.2005
(¹: Concentrix Solar GmbH, Freiburg, Germany)

Bett, A. W.

»III-V Materialien für die Photovoltaik«, Seminar Fraunhofer Institut für Angewandte Festkörperphysik IAF, Freiburg, Germany, 19.4.2005

Bett, A. W.

»Recent Developments in III-V Multi-Junction Space Solar Cells«, 7th European Space Power Conference, Stresa, Italy, 9.–13.5.2005

Bett, A. W.; Lerchenmüller, H.¹; Jaus, J.; Willeke, G.

»Cost and Market Perspectives for FLATCON[®] - Systems«, Conference on Solar Concentrators for the Generation of Electricity or Hydrogen, Scottsdale, Arizona, USA, 1.–5.5.2005
(¹: Concentrix Solar GmbH, Freiburg, Germany)

Bett, A. W.; Burger, B.; Dimroth, F.; Siefert, G.; Lerchenmüller, H.

»Flatcon PV System: Technology and Perspectives« 2005 Taiwan Symposium on HCPV System, Taiwan, 15/16.11.2005

Bett, A.W.

»Kaskaden-Solarzellen mit Wirkungsgraden über 35 %«, Physikalisches Kolloquium Universität Kassel, Germany, 10.11.2005

Bett, A.W.

»Multi Junction Solar Cells in Europe«, FULL-SPECRTUM and SOLAR ELERCTRICITY, Amphitheatre Building 36, JRC ISPRA, Italy, 23./24.11.2005

Biro, D.; Gräff, M.

»Simulation einer F&E Solarzellenfertigungslineie«, Arena User Meeting, Freiburg, Germany, 20.9.2005

Bläsi, B.; Gronbach, A.; Mick, J.¹; Müller, C.¹; Schumann, M.; Gombert, A.

»Interference Lithography: Pushing the Limits«, Diffractive Optics 2005, Warsaw, Poland, 3.–7.9.2005

(¹: Institut für Mikrosystemtechnik IMTEK, Freiburg, Germany)

Bopp, G.

»Elektrische Sicherheit, Errichtungsbestimmungen, Blitzschutz und EMV«, Fachseminar Netzferne Stromversorgung mit Photovoltaik, OTTI-Energie-Kolleg, Freiburg, Germany, 16./17.6.2005

Bopp, G.

»Welche EMV-Normen und Grenzwerte sind für Solaranlagen relevant?«, Profiseminar EMV und Blitzschutz für Solaranlagen, OTTI-Technik-Kolleg, Regensburg, Germany, 30.11.–1.12.2005

Bopp, G.

»Erzeugen PV-Anlagen Elektrosmog?«, Profiseminar EMV und Blitzschutz für Solaranlagen, OTTI-Technik-Kolleg, Regensburg, Germany, 30.11.–1.12.2005

Bopp, G.

»Beispielhaft ausgeführter Blitzschutz bei Kollektoranlagen und netzgekoppelten PV-Anlagen«, Profiseminar EMV und Blitzschutz für Solaranlagen, OTTI-Technik-Kolleg, Regensburg, Germany, 30.11.–1.12.2005

Borchert, D.; Gronbach, A.; Rinio, M.;

Kenanoglu, A.; Zippel, E.; Castels, F.
»Process Steps for the Production of Large Area (n) a-Si:H(p) c-Si Heterojunction Solar Cells«, 20th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Barcelona, Spain, 6.–10.6.2005

Bracke, R.¹; Bühring, A.; Wigbels, M.²; Müller, P.³

»Wärmepumpen und oberflächennahe Geothermie«, Wärme und Kälte Energie aus Sonne und Erde, Köln, Germany, 22./23.9.05
(¹: Fachhochschule Bochum-GeothermieZentrum GZB) (²: Fraunhofer UMSICHT, Oberhausen, Germany) (³: Fachhochschule Dortmund/ TZWL, Germany)

Bühring, A.

»Aktueller Stand der Weiterentwicklung von Lüftungs-Kompaktgeräten«, Internationale Passivhaustagung 2005, Ludwigshafen, Germany, 29./30.4.2005

Bühning, A.

»Development and Measurements of Compact Heating and Ventilation Devices with Integrated Exhaust Air Pump for High Performance Houses«, 8th International Energy Agency Heat Pump Conference 2005, Las Vegas, USA, 30.5.–2.6.2005

Bühning, A., Bichler, C.

»Aktueller Stand der Weiterentwicklung von Lüftungs-Kompaktgeräten mit Abluftwärmepumpe«, 3. Forum Wärmepumpe, Berlin, Germany, 13./14.10.2005

Bühning, A.

»Entwicklung von Lüftungs-Kompaktgeräten mit Abluftwärmepumpe«, OTTI-Profiforum Lüftungstechnik, Regensburg, Germany, 25./26.1.2005

Bühning, A.

»Neue Entwicklungen im Bereich von Wärmepumpen«, Expertenhearing Wärmepumpen des Bremer Energie-Konsens, Bremen, Germany, 20.1.2005

Bühning, A.

»Grundlagen der Lüftungstechnik, Luftheizung und Lüftungs-Kompaktgeräte für Passivhäuser«, Energietage Südtirol, Bozen, Italy, 22.4.2005

Burger, B.; Rüther, R.¹

»Site-Dependent System Performance and Optimal Inverter Sizing of Grid-Connected PV Systems« 31st IEEE Photovoltaic Specialist Conference, Orlando, Florida, USA, 3.–7.1.2005 (1: Universidade Federal de Santa Catarina/UFSC, Florianopolis, Brazil)

Burger, B.

»Auslegung und Dimensionierung von Wechselrichtern für netzgekoppelte PV-Anlagen«, 20. Symposium Photovoltaische Solarenergie, OTTI Technologie-Kolleg, Bad Staffelstein, Germany, 9.–11.3.2005

Burger, B.

»Power Electronics for Renewable Energies«, International Workshop on Power Electronics New Wave, Tokyo, Japan, 11.4.2005

Burger, B.

»Wechselrichter für Inselssysteme«, Fachseminar Netzferne Stromversorgung mit Photovoltaik, OTTI-Energie-Kolleg, Freiburg, Germany, 16./17.6.2005

Burger, B.

»Hocheffiziente Wechselrichter zur Einspeisung regenerativer Energie«, ECPE/ETG Seminar Energieeinsparung und rationelle Energienutzung durch Leistungselektronik, Erlangen, Germany, 13.10.2005

Burger, B.

»Wechselrichter für die Photovoltaik«, Power Electronic Systems Laboratory, ETH Zurich, Switzerland, 6.12.2005

Campestrato, R.¹; Flores, C.¹; Iurato, F.¹; Barde, H.²; Uebele, P.³; Strobl, G.³; Bett, A. W.; Smekens, G.⁴; Vanbegin, J.⁴; Caon, A.⁵
»Advanced Solar Cells for Missions to Mars«, 7th European Space Power Conference, Stresa, Italy, 9.–13.5.2005

(1: CESI S.p.A., Milano, Italy) (2: Astrium SAS, Europe) (3: RWE Space Solar Power GmbH, Heilbronn, Germany) (4: E.N.E., Brussels, Belgium) (5: ESA, Noordwijk, The Netherlands)

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

»III-V Junction Photovoltaic Cells for Space and Terrestrial Concentrator Applications«, 31st IEEE Photovoltaic Specialist Conference, Orlando, Florida, 3-7.1.2005

(1: RWE-Space Solar Power GmbH, Heilbronn, Germany)

Eccarius, S., Manurung, T., Hebling, C.

»Characterization of DMFCs for Portable Devices«, Third European Polymer Electrolyte Fuel Cell Forum, Lucerne, Switzerland, 4.–8.7.2005

Eccarius, S., Flores, C.¹; Wittstadt, U.; Hebling, C.

»Optimization of Membrane Electrode Assembly for SPE Water Electrolysis by Design of Experiment«, 1st Symposium on Manufacturing of MEAs for Hydrogen Applications, Dayton, Ohio, USA, 9.–11.8.2005

(1: CESI S.p.A., Milano, Italy)

Erge, T.; Kroeger-Vodde, A.; Laukamp, H.; Puls, H.-G.; Thoma, M.; Wittwer, C.

»Optimierung des Einsatzes von PV-Anlagen in dezentral organisierten Stromnetzen durch intelligentes Betriebsmanagement«, OTTI Energie-Kolleg 20. Symposium Photovoltaische Solarenergie, Bad Staffelstein, Germany, 9.–11.3.2005

Erge, T.; Strauss, P.¹; Meyer, T.; Degner, T.¹

»DISPOWER – Distributed Generation with High Penetration of Renewable Energy Sources«, in: Tagungsband, First International Conference on the Integration of RES and DG, Brussels, Belgium, 3.12.2004

(1: Institut für Solare Energieversorgungstechnik ISET, Kassel, Germany)

Erge, T.; Kroeger-Vodde, A.; Laukamp, H.; Puls, H.-G.; Thoma, M.; Wittwer, C.

»Optimisation of PV System Operation in Decentralised Electricity Grids by Realisation of Intelligent Operation Management«, 20th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Barcelona, Spain, 6.–10.6.2005

Erge, T.

»Die Bewertung von Ertragsgutachten bei der Erstellung von Finanzierungskonzepten für Photovoltaikanlagen«, 26. Forum Solarpraxis, Berlin, Germany, 17.–18.11.2005

Forberich, K.

»Organic Photonic Crystal Lasers« Universität Linz, Austria, 3.6.2005

Glunz, S.W.

»Defect-Related Issues in Crystalline Silicon Solar Cells«, Japan-Germany Colloquium on Semiconductor Physics, Dresden, Germany, 15.2.2005

Glunz, S.W.

»Stand und Perspektiven der Photovoltaik«, 69. Jahrestagung der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, Berlin, Germany, 9.3.2005

Glunz, S. W.; Grohe, A.; Hermle, M.; Hofmann, M.; Janz, S.; Roth, T.; Schultz, O.; Vetter, M.; Martin, I.¹; Ferré, R.¹; Bermejo, S.; Wolke, W.; Warta, W.; Preu, R.; Willeke, G.

»Comparison of Different Dielectric Passivation Layers for Application in Industrially Feasible High-Efficiency Crystalline Silicon Solar Cells«, 20th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Barcelona, Spain, 6.–10.6.2005

(1: Universidad Politècnica de Catalunya, Barcelona, Spain)

Goetzberger, A.

»Flächennutzung von Solarkraftwerken: Erweiterung der Wirkungsgraddefinition«, OTTI Energie-Kolleg 20. Symposium Photovoltaische Solarenergie, Bad Staffelstein, Germany, 9.–11.3.2005

Goldschmidt, J. C.

»Die Energiewende ist möglich – Potenziale, Technologie, Regelstrategien und wirtschaftliche Aspekte der Nutzung von erneuerbaren Energiequellen«, Lions Club Bad Orb, Germany, 12.1.2005

Goldschmidt, J. C.; Schultz, O.

»Vorhersage von Solarzellenparametern aus ortsaufgelösten Lebensdauermessungen«, Silicon Forest 2005, Silicon Forest 2005, Falkau, Altglashütten, Germany, 27.2.2005

Goldschmidt, J. C.; Schultz, O.; Glunz, S. W.

»Predicting Multi-Crystalline Silicon Solar Cell Parameters from Carrier Density Images«, 20th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Barcelona, Spain, 6.–10.6.2005

Gölz, S.; Bopp, G.; Preissler, E.¹

»SHS-Modelle im Praxisvergleich, Projekterfahrungen mit Kreditmodellen und dem Betreiber-Ansatz«, in: OTTI-Energie-Kolleg 20. Symposium Photovoltaische Solarenergie, Bad Staffelstein, Germany, 9.–11.3.2005 (1: Freie Consultant)

Gölz, S.

»Nichttechnische Aspekte der ländlichen Elektrifizierung«, Fachseminar Netzferne Stromversorgung mit Photovoltaik, OTTI-Energie-Kolleg, Freiburg, Germany, 16./17.6.2005

Gombert, A.

»Mikrostrukturierte Kunststoffoberflächen in Solar- und Displaytechnik«, Transparente Kunststoffe, Würzburg, Germany, 1./2.6.2005

Gombert, A.

»Selective Emitters for Thermophotovoltaic (TPV) Systems«, Clean Energy Power, Berlin, Germany, 27.1.2005

- Gombert, A.
»Mottenaugenstrukturen zur Entspiegelung«, Technische Universität Berlin, Germany, 28.1.2005
- Gombert, A.
»Diffractive and Subwavelength Micro-optics for Light Management«, POLYMICRO/NEMO Workshop on Micro-Optics – Benefits for Industry, Vrije Universiteit Brussel, Belgium, 7.4.2005
- Grohe, A.; Schneiderlöchner, E.; Fleischhauer, B.; Hofmann, M.; Glunz, S.W.; Preu, R.; Willeke, G.
»Status and Advancement in Transferring the LFC Technology to Screen-printed Solar Cells«, 20th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Barcelona, Spain, 6.–10.6.2005
- Groos, U.
»Brennstoffzellen-Technologie«, Seminarveranstaltung der Universität Koblenz, Germany, 20.12.2004
- Groos, U., Hebling, C.
»Potenzial der Photovoltaik für mobile, elektronische Geräte«, 2. Workshop Energieversorgungen in mobilen Anwendungen, Erlangen, Germany, 10.11.2005
- Groos, U.; Letzner, L.
»The Market for Portable Fuel Cell Applications«, Introducing Hydrogen Energy Technologies in a Global Market: Certification & Listing Issues in Major, Hamburg, Germany, 1.9.2005
- Guter, W.; Dimroth, F.; Meusel, M.; Bett, A. W.
»Optimierung von Tunnelnioden in III-V Mehrfachsolarzellen«, 69. Jahrestagung der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, Berlin, Germany, 4.- 9.3.2005
- Guter, W.; Dimroth, F.; Meusel, M.; Bett, A. W.
»Entwicklung von Interband-Tunnelnioden für hohe Stromdichten«, 20. Workshop des DGKK Arbeitskreises, Duisburg, Germany, 8./9.12.2005
- Hebling, C.; Oedegaard, A.
»Fuel Cells for Grid-Independent Power Generation«, Kyocera Fuel Cells Workshop, Kagoshima, Japan, 14.3.2005
- Hebling, C.; Oszcipok, M.
»Portable PEM Fuel Cells for Outdoor Applications«, 3rd Sino-German Workshop, Shanghai, China, 3.5.2005
- Hebling, C.; Groos, U.
»Forschung und Entwicklung von Mikrobrennstoffzellen«, Mikrosystemtechnik Kongress Freiburg 2005, Freiburg, Germany, 10.-12.10.2005
- Hebling, C.; Eccarius, S.; Litterst, C.¹; Zengerle, R.¹; Koltay, P.¹
»Novel Structure for Passive CO₂ Degassing in Micro-DMFC«, Power MEMS 2005, Tokyo, Japan, 28.-30.11.2005
(¹: University of Freiburg, Dept. of Microsystems Engineering, Laboratory for MEMS Applications, Freiburg, Germany)
- Henning, H.-M.
»Gesamtanlagen – Auslegung, Wirtschaftlichkeit, Förderprogramme«, Fachforum Solare Kühlung und Klimatisierung aus Biomasse, RENEXPO 2005, Augsburg, Germany, 23.9.2005
- Henning, H.-M.
»Thermally Driven Cooling Technique – Open Cycles«, Institut National de l'Energie Solaire INES, Chambéry, France, 20.1.2005
- Henning, H.-M.
»Design of Solar Assisted Air-Conditioning Systems«, Institut National de l'Energie Solaire INES, Chambéry, France, 20.1.2005
- Henning, H.-M.
»Neues, hocheffizientes Verfahren zur sorptiven Luftdurchfeuchtung - ECOS«, Fachforum Lüftungstechnik, Regensburg, Germany, 27.1.2005
- Henning, H.-M.
»Solare Klimatisierung – Vorstellung realisierter Anlagen, Wirtschaftlichkeit«, Clean Energy Power CEP 2005, Berlin, Germany, 27.1.2005
- Henning, H.-M.
»Solare Kühlung und Klimatisierung«, Gesellschaft für technische Zusammenarbeit GTZ, Eschborn, Germany, 24.2.2005
- Henning, H.-M.
»Solar Cooling«, World Sustainable Energy Days WSED 2005, Wels, Austria, 3.3.2005
- Henning, H.-M.
»Kälteanlagen für den Betrieb mit (Ab)Wärme – Funktionsweise, Anlagen und Stand der Technik«, RENEXPO 2005-Internationale Fachmesse und Kongress, Augsburg, Germany, 22.-25.9.2005
- Henning, H.-M.
»Solar Assisted Air Conditioning of Buildings – An Overview«, 4th Annual Regional Conference (ARC), Athens, Greece, 25.–27.9.2005
- Henning, H.-M.; Noeres, P.¹; Lokurlu, A.²; Braun, R.³
»Solare Kühlung und Klimatisierung – Belüftung und Wärmerückgewinnung«, Forschungsverbund Sonnenenergie FVS Jahrestagung 2005, Köln, Germany, 22./23.9.2005
(¹: Fraunhofer UMSICHT, Oberhausen, Germany)
(²: Solar-Institut Jülich, Germany)
(³: Fachhochschule Gelsenkirchen, Germany)
- Henning, H.-M.
»Solar Thermal Energy for Air-Conditioning of Buildings – Advanced Technologies Adapted to Local Climatic Conditions«, Intelligent Building Middle East 2005, Manama, Kingdom Bahrain, 5.-7.12.2005
- Henning, H.-M.
»Thermisch aktive Materialien: Grundlagen und Anwendungen«, LMU München, FB Physikalische Chemie, München, Germany, 14.12.2005
- Hermle, M.; Schneiderlöchner, E.; Grupp, G.; Glunz, S. W.
»Comprehensive Comparison of Different Rear Side Contacting Methods«, 20th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Barcelona, Spain, 6.–10.6.2005
- Holz, F.
»Netzferne Elektrifizierung vom Solar Home System über Alpenvereinshäuser bis hin zur Dorfstromversorgung«, Fachseminar Netzferne Stromversorgung mit Photovoltaik, OTTI-Energie-Kolleg, Freiburg, Germany, 16./17.6.2005
- Hube, W.¹; Crisinel, M.²; Vollmar, T.²; Platzer, W.¹
»Glass Facade Elements With Internal Fluid Flow«, GLASS in BUILDINGS, Bath, United Kingdom, 7./8.4.2005
(¹: Projektgesellschaft Solare Energiesysteme PSE, Freiburg, Germany) (²: Steel Structures Laboratory ICOM, Swiss Institute of Technology Lausanne EPFL, Lausanne, Switzerland)
- Isenberg, J.; Schubert, M. C.; Biro, D.; Froitzheim, A.¹; Warta, W.
»Sheet Resistance Imaging (SRI) – A Contactless and Spatially Resolved Method for the Determination of Doping Inhomogeneities«, 20th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Barcelona, Spain, 6.–10.6.2005
(¹: Shell Solar GmbH, München, Germany)
- Isenberg, J.; Breitenstein, O.¹; Rakotoniaina, J. P.¹; Hahn, G.²; Kaes, M.²; Pernau, T.²; Seren, S.²; Warta, W.
»Lock-In Thermography – A Universal Tool for Local Analysis of Solar Cells«, 20th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Barcelona, Spain, 6.–10.6.2005
(¹: Max Planck Institute of Microstructure Physics, Halle, Germany)
(²: University of Konstanz, Germany)
- Janz, S.; Reber, S.; Habenicht, H.;
»C-Si Thin-Film Solar Cells on Ceramic Substrates with SiC Intermediate Layers«, 15th International Science and Engineering Conference, Shanghai, China, 10.–15.10.2005
- Jaus, J.; Rentsch, J.; Preu, R.;
»Determining Trade-Offs Between Costs of Production and Cell/Module-Efficiency with the Concept of Indifference Curves«, 20th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Barcelona, Spain, 6.–10.6.2005
- Kaiser, R.
»Batterien in netzfernen Stromversorgungsanlagen«, Fachseminar Netzferne Stromversorgung mit Photovoltaik, OTTI-Energie-Kolleg, Freiburg, Germany, 16./17.6.2005
- Kaiser, R.
»Geschlossene Bleibatterien«, Profiforum Wiederaufladbare Batteriesysteme, OTTI-Energie-Kolleg, Ulm, Germany, 10./11.5.2005

- Kiefer, K.
»Stand der Technik bei Solarstromanlagen«, Workshop Erneuerbare Energien der HVB Group, Hypovereinsbank, München, Germany, 2.2.2005
- Kiefer, K.
»Gute und schlechte Erträge bei PV Anlagen in Freiburg«, Workshop Klimaschutz durch das Handwerk-Schwerpunkt Photovoltaik, Handwerkskammer Freiburg, Germany, 22.2.2005
- Kiefer, K.
»Stand der Technik und Betriebserfahrungen mit netzgekoppelten Photovoltaik-Anlagen«, 2. Expertenforum Rhein-Neckar-Pfalz, Bauen mit Photovoltaik, Weinheim, Germany, 14.6.2005
- Kiefer, K.
»Erträge von netzgekoppelten Photovoltaik-Anlagen«, OTTI Profiseminar Photovoltaik-Anlagen, Freiburg, Germany, 21.6.2005
- Kiefer, K.
»Qualitätssicherung bei netzgekoppelten PV-Anlagen«, OTTI Profiseminar Photovoltaik-Anlagen, Freiburg, Germany, 21.6.2005
- Kiefer, K.
»Optimale Erträge durch lückenlose Qualitätssicherung«, Fraunhofer ISE Kompaktseminar Photovoltaik-Technologie, Freiburg, Germany, 24.6.2005
- Köhl, M.
»Solare Energiegewinnung - wo ist Forschung und Entwicklung noch notwendig?«, Instituts-kolloquium der Innovent e.V., Jena, Germany, 13.7.2005
- Kray, D.; Baumann, S.; Mayer, K.; Schumann, M.; Bando, M.; Eyer, A.; Willeke, G. P.
»Wafering Research at Fraunhofer ISE«, 15th Workshop on Crystalline Silicon Solar Cells and Modules: Materials and Processes, Vail, Colorado, USA, 7.–10.8.2005
- Kray, D.; Baumann, S.; Mayer, K.; Willeke, G. P.; Schönfelder, S.; Bagdahn, J.
»Mechanical Assessment of Innovative Maskless Microstructuring Techniques«, IZM-Workshop Thin Semiconductor Devices, München, Germany, 22.11.2005
- Luther, J.
»Thermophotovoltaic Generation of Electricity«, Clean Energy Power, Berlin, Germany, 27.1.2005
- Luther, J.
»Die Solarwirtschaft der Zukunft – Chancen aus wissenschaftlicher Sicht«, Jobbörse Erneuerbare Energien, Gelsenkirchen, Germany, 28.4.2005
- Luther, J.
»Photovoltaics – the Basis for Sustainable Energy Systems and Industrial Innovations«, Becquerel Prize Honorary Lecture, 20th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Barcelona, Spain, 6.–10.6.2005
- Luther, J., Luque A.
»Concentrating Photovoltaics for Highest Efficiencies and Cost Reduction«, 20th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Barcelona, Spain, 6.–10.6.2005
- Luther, J.
»PV Integration in Architecture, Technological Aspects for BIPV«, 20th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Barcelona, Spain, 6.–10.6.2005
- Luther, J.
»Sonnenergie – Baustein für den Klimaschutz und Wirtschaftsfaktor«, Vortrag anlässlich der Verleihung des Internationalen Rheinland-Preises für Umweltschutz 2005 der TÜV Rheinland Group, Köln, Germany, 17.6.2005
- Luther, J.
»Sustainable Energy Systems«, Alfred Nobel Symposium, Tamsvik, Sweden, 20.6.2005
- Luther, J.
»Von der Interpretation des Photoeffekts zur photovoltaischen Stromerzeugung«, Vortrag zum Einsteinjahr 2005 an der Albrecht-Ludwigs-Universität, Physikalisches Kolloquium SS 2005, Freiburg, Germany, 27.6.2005
- Luther, J.
»World in Transition – Towards a Sustainable Energy System«, ISES Solar World Congress 2005, Vortrag anlässlich der Verleihung des ISES Special Service Award 2005, Orlando, Florida, USA, 10.8.2005
- Luther, J.
»Erneuerbare Energien- die Basis für eine nachhaltige Energieversorgung«, Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie DGS, München, Germany, 29.10.2005
- Luther, J.
»New Materials for Cost Reduction and Innovation in Solar Energy Utilisation«, Fraunhofer-Verbund Werkstoffe und Bauteile VWB, Brussels, Belgium, 7./8.11.2005
- Luther, J.
»A Suite of Innovative Tools and Approaches to Enhance Knowledge Diffusion, Information Sharing and Access and Research Integration across the Science-technology Divide«, AHGSET Workshop, Oak Ridge, Tennessee, USA, 15./16.11.2005
- Luther, J.
»Potenziale der Sonnenenergie – Heutige Technologien und Trends«, Fraunhofer-Forum, München, Germany, 21.11.2005
- Löckenhoff, R.; van Riesen, S.¹; Meusel, M.²; Dimroth F.; Bett, A. W.
»Large Area Monolithic Interconnected Modules (MIMs) for Compact Concentrator Modules«, 20th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Barcelona, Spain, 6.–10.6.2005
(¹: Freiburger Materialforschungszentrum FMF, Freiburg, Germany) (²: RWE Space Solar Power GmbH Heilbronn, Germany)
- Mick, J.¹; Müller, C.¹; Gombert, A.; Bläsi, B.
»Maskless Origination of Microstructures with Optical Functions on Large Areas«, Micro-lithography 2005, San Jose, California, USA, 27.2.–4.3.2005
(¹: Institut für Mikrosystemtechnik IMTEK, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Germany)
- Mick, J.¹; Bläsi, B.; Gombert, A.; Reinecke, H.¹; Müller, C.¹
»Große dreidimensionale Mikrostrukturen mittels Interferenzlithographie«, Mikrosystemtechnik Kongress 2005, Freiburg, Germany, 10.–12.10.2005
(¹: Institut für Mikrosystemtechnik IMTEK, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Germany)
- Mohr, A.; Roth, T.; Epmeier, M.¹; Glunz, S. W.
»Silicon Concentrator Cells in an One-Axis Tracking Concentrator System with a Concentration Ratio of 300X«, 31st IEEE Photovoltaic Specialist Conference and Exhibition, Orlando, Florida, USA, 3.–7.1.2005
(¹: Institut für Mikrosystemtechnik IMTEK, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Germany)
- Neumann, C.
»Grenzen und Möglichkeiten »passiver« Kühlung«, Effizientes und Solares Kühlen, Linz, Austria, 19.4.2005
- Niggemann, M.; Glatthaar, M.; Gombert, A.; Hinsch, A.; Lewer, P.; Wagner, J.; Wittwer, V.; Zimmermann, B.
»Functional Microprism Substrates for Organic Solar Cells«, European Materials Research Society EMRS, Spring Meeting 2005, Strasbourg, France, 31.5.–3.6.2005
- Niggemann, M.; Glatthaar, M.; Gombert, A.; Graf, W.; Georg, A.; Hinsch, A.; Lewer, P.; Wagner, J.; Wittwer, V.; Zimmermann, B.
»Functional Substrates for Flexible Organic Solar Cells«, Optics and Photonics 2005, San Diego, California, USA, 31.7.– 4.8.2005
- Niggemann, M.; Gombert, A.; Müller, C.; Ruf, D.
»Micro- and Nanostructured Organic Electronic Devices« Mikrosystemtechnik Kongress 2005, Freiburg, Germany, 10.–12.10.2005
- Oszcipok, M.; Zedda, M.; Hesselmann, J.; Huppmann, M.; Junghardt, M.; Riemann, D.; Hebling, C.
»Portable Fuel Cell Systems for Outdoor Applications« 9th Grove Fuel Cell Symposium, London, United Kingdom, 4.–6.10.2005
- Platzer, W.; Simmler, H.¹; Bryn, I.²
»Energy Performance of Facades and Buildings – IEA as Support for the European Directive?«, Glass Processing Days 2005, Tampere, Finland, 16.–20.6.2005
(¹: EMPA Dübendorf, Switzerland)
(²: Erichsen&Horgen AS, Oslo, Norway)

- Platzer, W.; Hube, W.¹; Adelman, W.; Crisinel, M.²; Vollmar, T.²
 »Development of a Glass Facade with Internal Fluid Flow«, Glass Processing Days 2005, Tampere, Finland, 16.–20.6.2005
 (¹: PSE Projektgesellschaft Solare Energiesysteme mbH, Freiburg, Germany) (²: EPFL Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, Switzerland)
- Platzer, W.
 »Performance Assessment for Solar Shadings – State of the Art«, Glass Processing Days 2005, Tampere, Finland, 16.–20.6.2005
- Platzer, W.; Stramm C.; Amberg-Schwarb, S.; Köhl, M.
 »Development of Innovative Insulation Systems on the Basis of Vacuum Insulation Panels«, 7th International Vacuum Insulation Symposium, Zurich, Switzerland, 28./29.9.2005
- Preu, R.
 »Lasertechnologien für kristalline Si-Solarzellen«, Technologieseminar: Laseranwendung in der Photovoltaik, Göttingen, Germany, 8.11.2005
- Reber, S.; Eyer, A.; Haas, F.
 »High-Throughput Zone-Melting Recrystallization for c-Si Thin-Film Solar Cells«, 16th American Conference on Crystal Growth and Epitaxy, Montana, USA, 10.–14.7.2005
- Reber, S.; Eyer, A.; Haas, F.; Schillinger, N.; Janz, S.; Schmich, E.
 »Progress in Crystalline Silicon Thin-Film Solar Cell Work at Fraunhofer ISE«, 20th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Barcelona, Spain, 6.–10.6.2005
- Rein, S.; Glunz, S. W.
 »Advanced Lifetime Spectroscopy – Defect Parameters of Iron in Silicon and a New Fingerprint«, 20th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Barcelona, Spain, 6.–10.6.2005
- Rentsch, J.; Jaus, J.; Preu, R.; Roth, K.¹
 »Economic and Ecological Aspects of Plasma Processing for Industrial Solar Cell Fabrication«, 31st IEEE Photovoltaic Specialists Conference, Orlando, Florida, USA, 3.–7.1.2005
 (¹: Roth&Rau AG, Hohenstein-Ernstthal, Germany)
- Rinio, M.; Zippel, E.; Borchert, D.
 »Spatial Redistribution of Recombination Centres by the Solar Cell Process«, 20th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Barcelona, Spain, 6.–10.6.2005
- Riede, M.; Liehr, A.; Kern, R.; Willeke, G.; Gombert, A.; Luther, J.
 »Analyse der Schlüsselparameter in Organischen Solarzellen mittels Datamining«, 14. FMF-Kolloquium, Titisee Neustadt, Germany, 6./7.10.2005
- Riepe, S.; Ghosh, M.¹; Müller, A.¹; Lautenschlager, H.; Schindler, R.; Warta, W.
 »Lifetime Characteristics and Gettering Effects in n-type Multicrystalline Silicon Block Material«, 20th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Barcelona, Spain, 6.–10.6.2005
 (¹: Deutsche Solar AG, Freiburg, Germany)
- Rommel, M.; Siems, T.; Schüle, K.; Mehnert, S.; Becker, R.
 »Wieviel Dampf produziert ein Kollektor im Stillstandsfall?«, OTTI-Energie-Kolleg 15. Symposium Thermische Solarenergie, Bad Staffelstein, Germany, 27.–29.4.2005
- Roos, A.¹; Covallet, D.²; Fanton, X.³; Persson, M.-L.¹; Platzer, W.; Nielson, T. R.⁴; Wilson, H. R.⁵; Zinzi, M.⁶; Köhl, M.; Heck, M.; Chevalier, B.⁷
 »Energy Performance of Switchable Glazing – IEA Solar Heating and Cooling Programme, Task 27«, 10th International Conference on Durability of Building Materials and Components, Lyon, France, 17.–20.4.2005
 (¹: Uppsala University, Uppsala, Sweden) (²: EDF R&D, Moret sur Loing, France) (³: Saint Gobain, Paris, France) (⁴: Technical University of Denmark, Lyngby, Denmark) (⁵: Interpane, Lauenförde, Germany) (⁶: ENEA, Rome, Italy) (⁷: Centre Scientifique et Technique du Bâtiment CSTB, Grenoble, France)
- Roth, W.
 »Strategie zur erfolgreichen Bewerbung von Unternehmenskonsortien um Projekte internationaler Entwicklungsbanken«, 20. Symposium Photovoltaische Solarenergie, Bad Staffelstein, Germany, 9.–11.3.2005
- Roth, W.
 »Erfahrungen aus der Bildung von Unternehmenskonsortien zur Bewerbung um Projekte internationaler Entwicklungsbanken«, Thüringer Außenwirtschaftstag 2005 – Auftragsbeschaffung durch Beteiligung an internationalen Ausschreibungen, Weimar, Germany, 28.4.2005
- Roth, W.
 »Netzferne Stromversorgung mit Photovoltaik«, Fachseminar Netzferne Stromversorgung mit Photovoltaik, OTTI-Energie-Kolleg, Freiburg, Germany, 16./17.6.2005
- Roth, W.
 »Anwendungen – Industrieprodukte und Kleinsysteme«, Fachseminar Netzferne Stromversorgung mit Photovoltaik, OTTI-Energie-Kolleg, Freiburg, Germany, 16./17.6.2005
- Roth, W.
 »Anwendungen – Telekommunikation und Telematik«, Fachseminar Netzferne Stromversorgung mit Photovoltaik, OTTI-Energie-Kolleg, Freiburg, Germany, 16./17.6.2005
- Roth, W.
 »Fallbeispiel Ländliche Energieversorgung – Strategie zur erfolgreichen Bewerbung um Projekte internationaler Entwicklungsbanken«, Intersolar, Freiburg, Germany, 23.6.2005
- Roth, W.
 »BIKE – Bayerische Initiative zur Konsortialbildung für internationale Entwicklungsprojekte«, in: Veranstaltungsunterlagen, Internationale Aufträge gewinnen! Geschäftschancen in Projekten der Weltbank und anderer internationaler Organisationen, Bayreuth, Germany, 5.7.2005
- Roth, W.
 »Strategische Maßnahmen zur erfolgreichen Bewerbung von Unternehmenskonsortien um Projekte internationaler Entwicklungsbanken«, in: Tagungsunterlagen, Internationale Ausschreibungen – Chancen nutzen, Leipzig, Germany, 25.10.2005
- Russ, C.; Götsche, J.¹
 »Energieversorgung in Niedrigenergie-Wohngebäuden«, ForschungsVerbund Sonnenenergie FVS Jahrestagung 2005, Köln, Germany, 22./23.9.2005
 (¹: Solar- Institut Jülich, Germany)
- Russ, C.
 »Bauliche und energetische Bewertung von 50 Demonstrationsprojekten«, Seminar Solarunterstützte energetische Wohngebäude – Ergebnisse aus der IEA Task 28738, Freiburg, Germany, 30.6.2005
- Russ, C.
 »Solarunterstützte energieeffiziente Wohngebäude« Symposium EU -Gebäudeeffizienzrichtlinie, Beiträge der Forschung für die Praxis, Freiburg, Germany 28./29.10.2005
- Russ, C.
 »Efficient Building Design for Very Low Energy Houses«, Seminar VESTA, Cernay, France, 8.11.2005
- Russ, C.
 »Sommerlicher Wärmeschutz in Wohngebäuden«, Hausmesse SIC Energie rund ums Haus, Freiburg, Germany, 25.4.2005
- Sastrawan, R.¹; Hinsch, A.; Beier, J.²; Belledin, U.¹; Hemming, S.³; Kern, R.; Vetter, C.²
 »Upscaling Dye Solar Modules with Durable Glass Frit Sealing«, 15th International Science and Engineering Conference, Shanghai, China, 10.–15.10.2005
 (¹: Freiburger Materialforschungszentrum FMF, Freiburg, Germany) (²: Institut für Angewandte Photovoltaik, Gelsenkirchen, Germany) (³: PSE GmbH, Forschung, Entwicklung, Marketing, Freiburg, Germany)
- Sastrawan, R.¹; Hinsch, A.; Beier, J.²; Belledin, U.¹; Hemming, S.³; Hore, S.¹; Kern, R.; Pahl, C.; Renz, J.; Vetter, C.²; Würfel, U.¹; Luther, J.; Petrat, F.-M.⁴; Prodi-Schwab, A.⁴
 »Towards Manufacturing Dye Solar Cells«, 20th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Barcelona, Spain, 6.–10.6.2005,
 (¹: Freiburger Materialforschungszentrum FMF, Freiburg, Germany) (²: Institut für Angewandte Photovoltaik, Gelsenkirchen, Germany) (³: PSE GmbH, Forschung, Entwicklung, Marketing, Freiburg, Germany), (⁴: Degussa AG, Creavis GmbH, Marl, Germany)

Schmidhuber, H.

»Fertigungstechniken der Zukunft – vom Wafer zum Modul«, S. A. G. Partnertag, Glottertal, Germany, 25.2.2005

Schmidhuber, H.

»Verkapselung von hocheffizienten kristallinen Silicium-Solarzellen«, 2. Symposium High-Tech Kunststoffe und ihre innovativen Anwendungen, Würzburg, Germany, 11./12.5.2005

Schmidhuber, H.

»Neueste Techniken in der PV-Modulproduktion«, Fachforum Solarstadt München, Germany, 4.4.2005

Schmidhuber, H.; Klappert, S.; Stollhof, J.; Erfurt, G.; Preu, R.

»Laser Soldering – a Technology for Better Contacts?«, 20th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Barcelona, Spain, 6.–10.6.2005

Schmidt, H.

»Aufbau und Funktionsweise von Solarzelle, Modul und Solargenerator«, Fachseminar Netzferne Stromversorgung mit Photovoltaik, OTTI-Energie-Kolleg, Freiburg, Germany, 16./17.6.2005

Schmidt, H.

»Laderegler und Überwachungseinrichtungen für Batterien in photovoltaischen Energieversorgungen«, Fachseminar Netzferne Stromversorgung mit Photovoltaik, OTTI-Energie-Kolleg, Freiburg, Germany, 16./17.6.2005

Schmidt, H.

»EMV-gerechtes Geräte- und Anlagendesign«, Fachseminar EMV und Blitzschutz für Solaranlagen, OTTI-Energie-Kolleg, Regensburg, Germany, 30.11.2005

Schnabel, L; Schmidt, F.; Henning, H.-M.

»Simulation Study on the Kinetics of Water Vapour Adsorption on Different Kinds of Adsorptive Materials«, OTTI Energie-Kolleg International Conference Solar Air-Conditioning 2005, Bad Staffelstein, Germany, 6./7.10.2005

Schossig, P.; Tamme, R.; Göttsche, J.;

Huenges, E.; Drück, H.; Kabus, F.; Dötsch, C.

»Wärmespeicher für die Hausenergieversorgung«, ForschungsVerbund Sonnenenergie FVS Jahrestagung 2005, Köln, Germany, 22./23.9.2005

(¹: DLR Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. Köln, Germany) (²: Solar Institut Jülich, Germany) (³: GFZ GeoForschungsZentrum Potsdam, Germany) (⁴: ITW Universität Stuttgart, Germany) (⁵: GTN Geothermie Neubrandenburg, Germany) (⁶: Fraunhofer UMSICHT, Oberhausen, Germany)

Schossig, P.

»Phase Change Materials for Cold Storage Applications«, IEA TASK 32 Workshop, Fontainebleau, France, 24.11.2005

Schöne, J.; Dimroth, F.; Druschke, I.; Bett, A. W.; Spiecker, E.¹; Jäger, W.¹

»Charakterisierung metamorpher GaInAs Pufferschichten auf GaAs und Ge«, Deutsche Gesellschaft für Kristallwachstum und Kristallzüchtung DGKK Workshop, 9./10.12.2004 (1: Technische Fakultät der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Kiel, Germany)

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

»High Efficient Triple Junction Solar Cells from III-V Materials: Study and Optimization of Growth«, Sehlendorf Seminar, Kiel, Germany, 7.–9.9.2005

Schöne, J.; Dimroth, F.; Bett, A. W.,

Szczeszek, P.¹ Amarirei, A.¹, Polychroniadis, E.K.¹

»Phasenseparation in den III-V Verbindungshalbleitern GaInAs und GaInAsSb«, 20. Workshop des DGKK Arbeitskreises, Duisburg, Germany, 8./9.12.2005

(¹: Department of Physics, Aristotle University of Thessaloniki, Greece)

Schubert, M. C.¹; Isenberg, J.; Rein, S.; Warta, W.

»Ortsaufgelöste temperaturabhängige Lebensdauerspektroskopie mit Carrier Density Imaging«, Workshop Silicon Forest 2005, Falkau, Altglashütten, Germany, 27.2.–2.3.2005

(¹: Freiburger Materialforschungszentrum FMF, Freiburg, Germany)

Schultz, O.; Hofmann, M.; Glunz, S. W.; Willeke, G.

»Silicon Oxide / Silicon Nitride Stack System for 20% Efficient Silicon Solar Cells«, 31st IEEE Photovoltaic Specialists Conference, Orlando, Florida, USA, 3.–7.1.2005

Schultz, O.; Glunz, S. W.; Kray, D.; Dhamrin, M.¹; Yamaga, I.²; Saitoh, T.¹; Willeke, G. P.

»High-Efficiency Multicrystalline Silicon Solar Cells on Gallium-Doped Substrate«, 20th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Barcelona, Spain, 6.–10.6.2005

(¹: Tokyo University of Agriculture and Technology, Koganei, Tokyo, Japan) (²: Dai-ichi Kiden Co., Tokyo, Japan)

Schultz, O.

»High-Efficiency Multicrystalline Silicon Solar Cells«, Workshop Silicon Forest 2005, Falkau, Altglashütten, Germany, 27.2.–2.3.2005

Seibert, U.;

»Anwendung – Wasseraufbereitung, Desinfektion und Entsalzung«, Netzferne Stromversorgung mit Photovoltaik, OTTI-Energie-Kolleg, Freiburg, Germany, 16./17.6.2005

Siefer, G.; Bett, A. W.

»Experimental Comparison Between the Power Outputs of FLATCON[®] Modules and Silicon Flat Plate Modules«, 31st IEEE Photovoltaic Specialists Conference, Orlando, Florida, USA, 3.–7.1.2005

Siefer, G.; Dimroth, F.; Lerchenmüller¹, H.;

Peharz, G.; Schöne, J.; Bett, A. W.

»FLATCON[®] Concentrator Technology - Ready for the Market«, 3rd International Workshop on Crystal Growth Technology, Beatenberg, Switzerland, 10.–18.9.2005

(¹: Concentrix Solar GmbH, Freiburg, Germany)

Smolinka, T.; Grünerbel, M.¹; Wittstadt, U.; Lehnert, W.¹

»Performance and Endurance of PEFC Single Cells and Stacks Fed with Hydrogen and Reformate«, 3rd European Polymer Electrolyte Fuel Cell Forum, Lucerne, Switzerland, 4.–8.7.2005

(¹: Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung ZSW, Ulm, Germany)

Specht, M.¹; Zuberbühler, U.¹; Wittstadt, U.

»Regenerativer Wasserstoff – Erzeugung, Nutzung und Syntheserohstoff«, FVS Jahrestagung 2004: Wasserstoff und Brennstoffzellen – Energieforschung im Verbund, Berlin, Germany, 25./26.11.2004

(¹: Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoffforschung ZSW, Stuttgart, Germany)

Steinhüser, A.

»Photovoltaik-Hybridssysteme«, Vorlesung an der Universität Karlsruhe, Germany, 31.5.2005

Steinhüser, A.

»Computerunterstützte Auslegung von Photovoltaik-Systemen«, Vorlesung an der Universität Karlsruhe, Germany, 31.5.2005

Steinhüser, A.

»Netzferne Photovoltaik-Anlagen«, Vorlesung an der Universität Karlsruhe, Germany, 31.5.2005

Steinhüser, A.

»Computerunterstützte Auslegung und Simulation von Photovoltaiksystemen«, Fachseminar Netzferne Stromversorgung mit Photovoltaik, OTTI-Energie-Kolleg, Freiburg, Germany, 16./17.6.2005

Went, J.

»High-Intensity Ultrasonic Fields: A Promising Antifouling Strategy for UF Membranes in Decentralized Drinking Water Treatment Plants«, International Conference and Exhibition for Filtration and Separation Technology FILTECH, Wiesbaden, Germany, 11.–13.10.2005

Went, J.

»Leistungsultraschall: Eine viel versprechende Strategie gegen die Membranverblockung bei der Ultrafiltration in dezentralen Trinkwasseraufbereitungsanlagen«, Workshop: Kavitation, Physikalisch Technische Bundesanstalt, Braunschweig, Germany, 17./18.11.2005

Wienold, J.; Kuhn, T.

»Blendungsbewertung von Tageslicht am Büroarbeitsplatz«, OTTI Energie-Kolleg 11. Symposium Innovative Lichttechnik in Gebäuden, Bad Staffelstein, Germany, 27./28.1.2005

Wienold, J.; Christoffersen, J.;

»Towards a New Daylight Glare Rating«, Luxeuropa 2005, Berlin, Germany, 19.–21.9.2005

Willeke, G.

»SOLAR PV Technology Trends«, REFF Wall Street, New York, USA, 23./24.6.2005

Wilson, H.R.

»Intelligente Fenster«, ISFH Kolloquium, Hameln, Germany, 25.10.2005

Wittwer, V.

»PERFORMANCE- eine neue EU- Initiative«, 2. Workshop Photovoltaik-Modultechnik, TÜV Rheinland, Köln, Germany, 2.12.2005

Wolke, W.; Preu, R.; Catoir, J.; Emanuel, G.; Ruske, M.¹; Liu, J.¹

»Surface Passivation for Solar Cells by Large Scale Inline Sputtering of SiN:H«, 20th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Barcelona, Spain, 6.–10.6.2005 (¹: Applied Films GmbH, Alzenau, Germany)

Ziegler, C.¹; Philipps, S.; Niemeyer, J.¹; Schumacher, J. O.

»Dynamic Modeling of a PEM Fuel Cell Stack«, 3rd European Polymer Electrolyte Fuel Cell Forum, Lucerne, Switzerland, 4.–8.7.2005 (¹: Control Systems Laboratory, University of Karlsruhe, Germany)

Ziegler, C.; Yu, H.; Schumacher, J.

»Analysis of the PEM Fuel Cell Dynamics«, 3rd European Polymer Electrolyte Fuel Cell Forum, Lucerne, Switzerland, 4.–8.7.2005

Ziegler, C.; Yu, H. M.; Schumacher, J. O.

»Simulation of Cyclo-Voltammograms in PEM Fuel Cells«, Computational Fuel Cell Dynamics III, Banff, Canada, 19.–24.3.2005

Ziegler, C.; Tranitz, M.; Schumacher, J.O.

»A Model for Planar Self-breathing Proton Exchange Membrane Fuel Cells in FEMLAB«, FEMLAB Conference, Frankfurt am Main, Germany, 2.–4.11.2005

Zimmermann, B.; Mingirulli, N.; Glatthaar, M.; Niggemann, M.; Riede, M.; Hinsch, A.

»Influence of Electrode Material on the Built-In Potential and Photovoltaic Performance of Organic Bulk-Heterojunction Solar Cells«, European Materials Research Society EMRS Spring Meeting 2005, Strasbourg, France, 31.5.–3.6.2005

Veröffentlichungen

Abbott, P.; Bett, A. W.

»Cell-Mounted Spectral Filters for Thermophotovoltaic Applications«, in: Proceedings, 6th International Conference on Thermophotovoltaic Generation of Electricity, Freiburg, Germany, 14.–16.6.2004, AIP Conference Proceedings 738, pp. 24-25

Aicher, T.; Martin, H.¹

»Natural Convection in Heat Exchangers – A New Incentive for More Compact Heat Exchangers?«, in: Proceedings, 5th International Conference on Enhanced, Compact and Ultra-Compact Heat Exchangers, Whistler, Canada, 11.–16.9.2005

(¹: Universität Karlsruhe, Thermische Verfahrenstechnik, Karlsruhe, Germany)

Aicher, T.; Pasel, J.¹; Peters, R.¹

»Wasserstoffherzeugung aus Dieselkraftstoffen«, in: Tagungsband, Forschungsverbund Sonnenenergie, FVS-Jahrestagung, Berlin, Germany, 25./26.11.2004 (¹: Institut für Energieverfahrenstechnik IWW-3, Forschungszentrum Jülich GmbH, Germany)

Aicher, T.; Griesser, I.¹

»Novel Process for Evaporation of Liquid Hydrocarbons«, in: Tagungsband, 3rd European Polymer Electrolyte Fuel Cell Forum PEFC, Lucerne, Switzerland, 4.–8.7.2005, p.52 (¹: Lothar Griesser Engineering, Zurich, Switzerland)

Aicher, T., Blum, L.¹, Specht, M.²

»Wasserstoffgewinnung aus Erdgas – Anlagenentwicklung und Systemtechnik«, in: Tagungsband, Forschungsverbund Sonnenenergie, FVS-Jahrestagung, Berlin, Germany, 25./26.11.2004 (¹: Forschungszentrum Jülich, Germany) (²: Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoffforschung ZSW, Stuttgart, Germany)

Aicher, T.; Höhle, B.¹; Grube, T.¹;

Reijerkerk, J.²; Jörisen, L.³

»Wasserstofflogistik – Produktion, Konditionierung, Verteilung, Speicherung und Betankung«, in: Tagungsband, Forschungsverbund Sonnenenergie, FVS-Jahrestagung, Berlin, Germany, 25./26.11.2004

(¹: Forschungszentrum Jülich, Germany)

(²: Linde Gas AG, Germany) (³: Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoffforschung ZSW, Stuttgart, Germany)

Baur, C.; Meusel, M.; Dimroth, F.; Bett, A. W.; Nell, M.¹; Strobl, G.¹; Taylor, S.²; Signorini, C.²

»Analysis of the Radiation Hardness of Triple- and Quintuple-Junction Space Solar Cells«, in: Proceedings, 31st IEEE Photovoltaic Specialists Conference, Orlando, Florida, USA, 3.–7.1.2005, pp. 548-551

(¹: RWE Space Solar Power GmbH, Heilbronn, Germany) (²: European Space Research & Technology Centre, Noordwijk, The Netherlands)

Baur, C.; Meusel, M.; Dimroth, F.; Bett, A. W.

»Investigation of Ge Component Cells«, in: Proceedings, 31st IEEE Photovoltaic Specialists Conference, Orlando, Florida, USA, 3.–7.1.2005, pp. 675-678

Baur, C.; Bett, A. W.

»Measurement Uncertainties of the Calibration of Multi-Junction Solar Cells«, in: Proceedings, 31st IEEE Photovoltaic Specialists Conference, Orlando, Florida, USA, 3.–7.1.2005, pp. 583-585

Baur, C.; Bett, A. W.

»Modeling of III-V Multi-Junction Cells Based on Spectrometric Characterisation«, in: Proceedings, 20th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Barcelona, Spain, 6.–10.6.2005, pp. 183-186

Becker, R.; Wittwer, C.

»Emulation vernetzter Regelungssysteme für solarthermische Energieversorgungssysteme«, in: Tagungsband, OTTI-Energie-Kolleg 15. Symposium Thermische Solarenergie, Bad Staffelstein, Germany, 27.–29.4.2005, pp. 364-369

Bett, A. W.; Baur, C.; Dimroth, F.; Schöne, J.¹

»Metamorphic CalnP-GaInAs Layers for Photovoltaic Applications«, in: Proceedings, Materials Research Society Fall Meeting, Boston, Massachusetts, USA, 28.11.–3.12.2004, Vol. 836, pp. 223-233

(¹: Technische Fakultät der Christian-Albrechts-Universität, Kiel, Germany)

Bett, A. W.; Baur, C.; Dimroth, F.; Guter, W.; Meusel, M.²; Strobl, G.¹

»Recent Developments in III-V Multi-Junction Space Solar Cells«, in: Proceedings, 7th European Space Power Conference, Stresa, Italy, 9.–13.5.2005, ESA SP-589

(¹: RWE Space Solar Power GmbH, Heilbronn, Germany) (²: Freiburger Materialforschungszentrum FMF, Freiburg, Germany)

Bett, A. W.; Campesato, R.¹; Flores, C.¹; Lurato, F.²; Barde, H.³; Uebele, P.⁴; Strobl, G.⁴; Baur, C.; Smekens, G.⁵; Vanbegin, J.⁵; Caon, A.⁶

»Advanced Solar Cells for Missions to Mars«, in: Proceedings, 7th European Space Power Conference, Stresa, Italy, 9.–13.5.2005, NREL-CD-520-38172

(¹: CESI S.p.A, Milano, Italy) (²: Politecnico di Milano, Italy) (³: Astrium SAS, France) (⁴: RWE Space Solar Power GmbH, Heilbronn, Germany) (⁵: E.N.E., Brussels, Belgium) (⁶: ESA, Noordwijk, The Netherlands)

Bett, A. W.; Baur, C.; Lerchenmüller, H.;

Siefer, G.; Dimroth, F.; Willeke, G.

»The FLATCON[®] Concentrator PV-Technology«, in: Proceedings, 3rd Conference on Solar Concentrators for the Generation of Electricity or Hydrogen, Scottsdale, Arizona, USA, 1.–6.5.2005, NREL CD August 2005

Bett, A. W.; Siefer, G.; Baur, C.; Riesen, S. v.; Peharz, G.; Lerchenmüller, H.; Dimroth, F.
 »The FLATCON[®] Concentrator PV-Technology ready for the market«, in: Proceedings, 20th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Barcelona, Spain, 6.–10.6.2005, pp.114-117

Bläsi, B.; Gronbach, A.; Mick, J.¹; Müller, C.¹; Schumann, M.; Gombert, A.
 »Interference Lithography: Pushing the Limits«, in: Proceedings, Diffractive Optics 2005, Warsaw, Poland, 3.–7.9.2005
 (¹: Institut für Mikrosystemtechnik IMTEK, Freiburg, Germany)

Bopp, G.; Gabler, H.¹; Haugwitz, F.²; Liu, H.³; Li, Z.³; Müller, H.²; Steinhüser, A.
 »Monitoring of PV Village Power Supply Systems in China«, in: Proceedings, 15th International Photovoltaic Science and Engineering Conference, Shanghai, China, 10.–15.10.2005
 (¹: Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung, Stuttgart, Germany)
 (²: Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit, Beijing, China) (³: Qinghai Provincial New Energy Research Institute, Xining, China)

Borchert, D.; Rinio, M.; Tölle, R.¹; Janßen, L.²; Nositschka, W. A.³; Kurz, H.²
 »Silicon Nitride for Backside Passivation of Multicrystalline Solar Cells«, in: Proceedings, 20th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Barcelona, Spain, 6.–10.6.2005,
 (¹: Shell Solar GmbH, Munich, Germany)
 (²: RWTH Aachen University, Aachen, Germany)
 (³: now with: Saint Gobin Glass Deutschland GmbH, Herzogenrath, Germany)

Borchert, D.; Gronbach, A.; Rinio, M.; Kenanoglu, A.; Zippel, E.; Castels, F.
 »Process Steps for the Production of Large Area (N) A-Si:H(P) C-Si Heterojunction Solar Cells«, in: Proceedings, 20th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Barcelona, Spain, 6.–10.6.2005

Bracke, R.¹; Bühring, A.; Wigbels, M.²; Müller, P.³
 »Wärmepumpen und oberflächennahe Geothermie«, in: Tagungsband, Wärme und Kälte-Energie aus Sonne und Erde, Köln, Germany, 22./23.9.2005
 (¹: Fachhochschule Bochum- Geothermie-Zentrum GZB) (²: Fraunhofer UMSICHT, Oberhausen, Germany) (³: Fachhochschule Dortmund/ TZWL, Germany)

Brendle, W.; Nguyen, V.; Brenner, K.; Rostan, P. J.; Grohe, A.; Schneiderlöchner, E.; Rau, U.; Schubert, M. B.; Werner, J. H.
 »Low Temperature Back Contacts for High Efficiency Solar Cells«, in: Proceedings, 20th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Barcelona, Spain, 6.–10.6.2005

Browne, W.¹; Wheldon, A.¹; Norton, M.¹; Iborra; Villarejo, A.; Jódar, E.; Glunz, S.; Mohr, A.; Roth, T.; Bett, A. W.; Gawehns, N.³; McCann, M.³; Fath, P.³; Jimenez, J.; Alcedo, L.⁴; Bremerich, M.⁵; Clive, B.⁶; Andreu, J.⁷; Weatherby, C.⁸; Bentley, R.⁸; Brooker, J.⁸; Wheeler, S.⁸; Teruel, J.⁸
 »Progress on „CONMAN“ EU R&D Project – Improvement of Photovoltaic Concentrating Systems and Technology Transfer to a Manufacturer« 20th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Barcelona, Spain, 6.–10.6.2005, pp. 2035-2038
 (¹: University of Reading, Reading, UK)
 (²: Universitat Politècnica Cartegena, Cartegena, Spain) (³: Universität Konstanz, Konstanz) (⁴: ENWESA, Madrid, Spain) (⁵: Jungbecker, Olpe, Germany) (⁶: Optical Products, London, UK) (⁷: University Barcelona, Spain) (⁸: Whitfield Solar, Reading, UK)

Bühring, A.
 »Development and Measurements of Compact Heating and Ventilation Devices with Integrated Exhaust Air Pump for High Performance Houses«, in: Proceedings, 8th International Energy Agency Heat Pump Conference 2005, Las Vegas, USA, 30.5.–2.6.2005, CD-ROM

Bühring, A.
 »Aktueller Stand der Weiterentwicklung von Lüftungs-Kompaktgeräten«, in: Tagungsband, 9. Internationale Passivhaustagung 2005, Ludwigshafen, Germany, 29./30.4.2005, pp.139-144

Bühring, A., Bichler, C.
 »Aktueller Stand der Weiterentwicklung von Lüftungs-Kompaktgeräten mit Abluftwärmepumpe«, in: Tagungsband, 3. Forum Wärmepumpe, Berlin, Germany, 13./14.10.2005, pp. 98-105

Bühring, A.
 »Entwicklung von Lüftungs-Kompaktgeräten mit Abluftwärmepumpe«, in: Tagungsband OTTI-Profiforum Lüftungstechnik, Regensburg, Germany, 25./26.1.2005

Bühring, A.; Jäschke, M.¹; Bichler, C.
 »Aktueller Stand der Weiterentwicklung von Lüftungs-Kompaktgeräten mit Abluftwärmepumpe«, EB - Energieeffizientes Bauen, November 2005, pp. 3-11
 (¹: PSE Projektgesellschaft Solare Energiesysteme mbH)

Dhamrin, M.¹; Kamisako, K.¹; Saitoh, T.¹; Schultz, O.; Glunz, S.W.; Eguchi, T.²; Hirasawa, T.²; Yamaga, I.²
 »Effect of Fe-Ga Pairs Dissociation and Association Processes on Recombination Lifetimes in Multicrystalline Silicon Solar Cells«, in: Proceedings, 20th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Barcelona, Spain, 6.–10.6.2005, pp. 765-768
 (¹: Tokyo University of Agriculture and Technology, Tokyo, Japan) (²: Dai-ichi Kiden, Tokyo, Japan)

Campesato, R.¹; Flores, C.¹; Iurato, F.¹; Barde, H.²; Uebele, P.³; Strobl, G.³; Bett, A. W.; Smekens, Baur, C.; Vanbegin, J.⁴; Caon, A.⁵
 »Advanced Solar Cells for Missions to Mars«, in: Proceedings, 7th European Space Power Conference, Stresa, Italy, 9.–13.5.2005, ESA SP-589
 (¹: CESI S.p.A., Milano, Italy) (²: Astrium SAS) (³: RWE Space Solar Power GmbH, Heilbronn, Germany) (⁴: E.N.E., Brussels, Belgium) (⁵: ESA, Noordwijk, The Netherlands)

Diez, S.; Rein, S.; Glunz, S. W.
 »Analyzing Defects in Silicon by Temperature- and Injection-Dependent Lifetime Spectroscopy (T-IDLS)«, in: Proceedings, 20th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Barcelona, Spain, 6.–10.6.2005, pp. 1216-1219

Dimroth, F.; Meusel, M.; Baur, C.; Bett, A. W.; Strobl, G.¹
 »3-6 Junction Photovoltaic Cells for Space and Terrestrial Concentrator Applications«, 31st IEEE Photovoltaic Specialists Conference, Orlando, Florida, USA, 3.–7.1.2005, pp. 525-529
 (¹: RWE-Solar Space Power, Heilbronn, Germany)

Eccarius, S.; Manurung, T.; Hebling, C.
 »Characterization of DMFCs for Portable Devices«, in: Proceedings, 3rd European Polymer Electrolyte Fuel Cell Forum, Lucerne, Switzerland, 4.–8.7.2005

Eccarius, S.; Litterst, C.; Wolff, A.; Tranitz, M.; Koltay, P.; Agert, C.
 »Systemaspekte in Mikro-Brennstoffzellen-Systemen«, in: Proceedings, Mikrosystemtechnik Kongress 2005, Freiburg, Germany, 10.–12.10.2005

Erge, T.; Kröger-Vodde, A.¹; Laukamp, H.; Puls, H.-G.; Malte, T.; Wittwer, C.
 »Optimisation of PV System Operation in Decentralised Electricity Grids by Realisation of Intelligent Operation Management«, in: Proceedings, 20th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Barcelona, Spain, 6.–10.6.2005, pp. 2498-2501
 (¹: PSE Projektgesellschaft Solare Energiesysteme mbH, Freiburg, Germany)

Erge, T.; Kroeger-Vodde, A.; Laukamp, H.; Puls, H.-G.; Thoma, M.; Wittwer, C.
 »Optimierung des Einsatzes von PV Anlagen in dezentral organisierten Stromnetzen durch intelligentes Betriebsmanagement«, in: Tagungsband, OTTI-Energie-Kolleg 20. Symposium Photovoltaische Solarenergie, Bad Staffelstein, Germany, 9.–11.3.2005, pp. 242-247

Erge, T.:
 »Die Bewertung von Ertragsgutachten bei der Erstellung von Finanzierungskonzepten für Photovoltaikanlagen«, in: Tagungsband, 26. Forum Solarpraxis, Berlin, Germany, 17.–18.11.2005

- Erge, T.:
»Monitoring Concept for Low Voltage Electricity Grids with Distributed Generation«, Highlight of the European Research Project DIS-POWER, Freiburg, Germany, November 2005
- Eyer, A.; Haas, F.; Hurrle, A.; Janz, S.; Lutz, F.; Schillinger, N.; Reber, S.
»High Throughput CVD and ZMR for Crystalline Silicon Thin-Film Solar Cells«, in: Proceedings, 15th International Science and Engineering Conference, Shanghai, China, 10.–15.10.2005, p. 318
- Flores, J. R.; Klinke, S.; Wittstadt, U.; Hacker, B.
»Fabrication Improvements in the Preparation of the MEAs by Hot-Pressing and Chemical Reduction Methods Using Design of Experiments«, in: Proceedings, 9th Grove Fuel Cell Symposium, London, United Kingdom, 4.–6.10.2005, p. P3.23
- Forberich, K.; Gombert, A.; Stroisch, M.¹; Gerken, M.¹; Lemmer, U.¹; Diem, M.^{2,3}; Pereira, S.⁴; Busch, K.^{2,5}
»Two-Dimensional Organic Photonic Crystal Lasers«, in: Proceedings, Diffractive Optics 2005, Warsaw, Poland, 3.–7.9.2005 (1: Lichttechnisches Institut, Karlsruhe, Germany) (2: Department of Physics and College of Optics & Photonics, University of Central Florida, Orlando, USA) (3: Institut für Theorie der Kondensierten Materie, Universität Karlsruhe, Karlsruhe, Germany) (4: Centre d'Optique, Photonique et Laser, Université Laval, Sainte-Foy Québec, Canada) (5: Institut für Theoretische Festkörperphysik, Universität Karlsruhe, Karlsruhe, Germany)
- Georg, A.¹; Krasovec, U. O.²; Topic, M.²; Georg, A.; Drazic, G.³
»Preparation and Characterisation of Nano-Structured WO₃-TiO₂ Layers Applied in Photoelectrochromic Devices«, in: Journal of Sol-Gel Science and Technology, 36, 2005, pp. 45-52, (1: Freiburger Materialforschungszentrum FMF, Freiburg, Germany) (2: Faculty of Electrical Engineering, Ljubljana, Slovenia) (3: Josef Stefan Institute, Ljubljana, Slovenia)
- Georg, A.
»Hell oder dunkel? Schaltbare Verglasung«, in: Glas+Rahmen, Juni 2005, p. 22-23
- Glunz, S. W.; Grohe, A.; Hermlé, M.; Hofmann, M.; Janz, S.; Roth, T.; Schultz, O.; Vetter, M.¹; Martin, I.¹; Ferré, R.¹; Bermejo, S.; Wolke, W.; Warta, W.; Preu, R.; Willeke, G.
»Comparison of Different Dielectric Passivation Layers for Application in Industrially Feasible High-Efficiency Crystalline Silicon Solar Cells«, in: Proceedings, 20th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Barcelona, Spain, 6.–10.6.2005, pp. 572-577 (1: Universidad Politècnica de Catalunya, Barcelona, Spain)
- Glunz, S. W.
»Stand und Perspektiven der Photovoltaik«, in: AKE-Tagungsband, 69. Jahrestagung der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, Berlin, Germany, 4.–9.3.2005, pp. 93-106
- Gölz, S.; Bopp, G.; Preissler, E.¹
»SHS-Modelle im Praxisvergleich, Projekterfahrungen mit Kreditmodellen und dem Betreiber-Ansatz«, in: Tagungsband, OTTI-Energie-Kolleg 20. Symposium Photovoltaische Solarenergie, Bad Staffelstein, Germany, 9.–11.3.2005 (1: Freie Consultant)
- Gölz, S.
»Another Perspective on Rural Electrification«, in: Photon International, March 2005, p. 96
- Gombert, A.; Heck, M.; Kübler, V.¹; Köhl, M.; Carlsson, B.²; Möller, K.²; Brunold, S.³; Zinzi, M.⁴; Jorgensen G.⁵; Chevalier, B.
»Results Of Durability Testing Of Antireflective Glazing«, in: Tagungsband, Glass Processing Days 2005, Tampere, Finland, 16.–20.6.2005 (1: Holotools GmbH, Freiburg, Germany) (2: SP Swedish National Testing and Research Institute, Borås, Sweden) (3: Institut für Solartechnik SPF, Rapperswil, Switzerland) (4: ENEA, Roma, Italy) (5: NREL, Golden, Colorado, USA)
- Goetzberger, A.
»Flächennutzung von Solarkraftwerken: Erweiterung der Wirkungsgraddefinition«, OTTI-Energie-Kolleg, 20. Symposium Photovoltaische Solarenergie, Bad Staffelstein, Germany, 9.–11.3.2005, pp. 202-206
- Goldschmidt, J. C.; Schultz, O.; Glunz, S. W.
»Predicting Multi-Crystalline Silicon Solar Cell Parameters from Carrier Density Images«, in: Proceedings, 20th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Barcelona, Spain, 6.–10.6.2005, pp. 663-666
- Grohe, A.; Schneiderlöchner, E.; Fleischhauer, B.; Hofmann, M.; Glunz, S.W.; Preu, R.; Willeke, G.
»Status and Advancement in Transferring the LFC Technology to Screen-printed Solar Cells«, in: Proceedings, 20th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Barcelona, Spain, 6.–10.6.2005,
- Grohe, A.; Zastrow, U.¹; Meertens, D.²; Houben, L.²; Brendle, W.³; Bilger, G.³; Schneiderlöchner, E.⁴; Glunz, S.; Preu, R.; Willeke, G.
»Progress in the Characterisation of Laser-Fired Contacts«, in: Proceedings, 20th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Barcelona, Spain, 6.–10.6.2005, (1: Institute of Photovoltaics, Research Centre Jülich GmbH, Jülich, Germany) (2: Institute of Solid State Research, Ernst-Rusckka-Centre, Jülich, Germany) (3: Institute of Physical Electronics, University of Stuttgart, Germany) (4: Deutsche Cell GmbH, Freiburg, Germany)
- Grupp, G.; Biro, D.; Emanuel, G.; Preu, R.; Schitthelm, F.¹; Willeke, G.
»Analysis of Silver Thick-Film Contact Formation on Industrial Silicon Solar Cells«, in: Proceedings, 31st IEEE Photovoltaic Specialists Conference, Orlando, Florida, USA, 3.1.–7.1.2005 (1: Deutsche Cell, Freiburg, Germany)
- Grupp, G.; Huljic, D. M.¹; Preu, R.; Willeke, G.; Luther, J.
»Preparation Temperature Dependence of the Microstructure of Ag Thick-Film Contacts on Silicon Solar Cells – A Detailed AFM Study of the Interface«, in: Proceedings, 20th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Barcelona, Spain, 6.–10.6.2005 (1: Q-Cells, Talheim, Germany)
- Gschwander, S.; Schossig, P.; Henning, H.-M.;
»Phase Change Slurries as Heat Transfer and Storage Fluid for Low and Medium Temperature Applications«, in: Proceedings, International Conference Solar Air Conditioning, Bad Staffelstein, Germany, 7/8.10.2005, pp. 144-149
- Guter, W.; Dimroth, F.; Meusel, M.; Bett, A. W.
»Tunnel Diodes for III-V Multi-Junction Solar Cells«, in: Proceedings, 20th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Barcelona, Spain, 6.–10.6.2005, pp. 515-518
- Guter, W.; Dimroth, F.; Meusel, M.; Bett, A. W.
»Optimierung von Tunnelioden in III-V Mehrfachsolarezellen«, in: Proceedings, 69. Jahrestagung der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, Berlin, Germany, 4.–9.3.2005, www.dpg-tagungen.de/archive/2005/hl58.pdf
- Hausmann, T.; Schossig, P.; Henning, H.-M.; Rogg, H.
»Aktiv durchströmte Bauteile mit Latentwärmespeicher«, in: Tagungsband, OTTI-Energie-Kolleg 15. Symposium Thermische Solarenergie, Bad Staffelstein, Germany, 27.–29.4.2005, pp. 428-433
- Hausmann, T.; Schossig, P.
»Überhitzungsschutz bei Leichtbauten durch integrierte Latentwärmespeicher«, in: Erneuerbare Energie der AEE Österreich, Ausgabe 2005-2, pp. 35-37
- Hebling, C., Huppmann, M., Oszcipok, M.
»Außentaugliche Mikrobrennstoffzellen«, Tagungsband, f-cell 2005, 26./27.9.2005
- Hebling, C., Hakenjos, A., Agert, C.
»Micro Fuel Cell Systems as Device-Integrated Power Supplies«, in: mst news, Nr. 4/05 – August 2005
- Henning, H.-M.
»Solar Assisted Air-Conditioning of Buildings – An Overview«, in: Proceedings, Heat Transfer in Components and Systems for Sustainable Energy Technologies: Heat-SET 2005, Grenoble, France, 5.–7.4.2005, Editions Greth France, Editor B. Thonon, pp. 207-219
- Henning, H.-M.
»Solar Cooling: Technology, Market Potential, Vision – Overview on State of the Art Technology and Market Perspectives«, in: Proceedings, 2nd European Solar Thermal Energy Conference estec 2005, Freiburg, Germany, 21./22.6.2005, pp. 37-42

Henning, H.-M.

»Solare Klimatisierung - Stand der Entwicklung«, in: Erneuerbare Energie, Österreich, 2005-2, Juni 2005, pp.12-15

Henning, H.-M.

»Solar Air- Conditioning R&D in the Framework of the International Energy Agency (IEA)«, in: Proceedings, International Conference Solar Air Conditioning, Bad Staffelstein, Germany, 6./7.10.2005, pp. 21-25

Henning, H.-M.

»Entwicklungsbedarf von Kleinabsorptionskälte? – Beteiligung an einer Diskussion im Forum der Zeitschrift«, in: KI Luft- und Kältetechnik, November 2005

Henning, H.-M.; Motta, M.¹

»A Novel High Efficient Solar Assisted Sorption System for Building Air-Conditioning (ECOS): Cycle Performance and Potential Application«, in: Proceedings, 2nd European Solar Thermal Energy Conference estec 2005, Freiburg, Germany, 21./22.6.2005, pp. 45-51
(¹: Politecnico di Milano, Italy)

Henning, H.-M.; Motta, M.¹

»A Novel High Efficient Sorption System for Air Dehumidification (ECOS)«, in: Proceedings, International Sorption Heat Pump Conference, Broomfield, Colorado, USA, 22.–24.6.2005, CD-ROM
(¹: Politecnico di Milano, Italy)

Henning, H.-M.; Ziegler, F.¹; Eisenmann, W.²; Köhler, S.³

»Energetische Nutzung von Wärmequellen niedriger Temperatur«, in: Themenheft 2005, ForschungsVerbund Sonnenenergie, FVS Jahrestagung 2005, Köln, Germany, 22./23.9.2005, pp. 24-44
(¹: TU Berlin, Institut für Energietechnik, Germany) (²: Institut für Solarenergieforschung ISFH GmbH, Emmersthal, Germany) (³: Geoforschungszentrum (GFZ) Potsdam, Germany)

Henning, H.-M.; Noeres, P.¹; Lokurlu, A.²; Braun, R.³

»Solare Kühlung und Klimatisierung – Belüftung und Wärmerückgewinnung«, in: Themenheft 2005, ForschungsVerbund Sonnenenergie, FVS Jahrestagung 2005, Köln, Germany, 22./23.9.2005, pp. 45-54
(¹: Fraunhofer UMSICHT, Oberhausen, Germany) (²: Solar-Institut Jülich, Germany) (³: FH Gelsenkirchen, Germany)

Henning, H.-M.; Lokurlu, A.¹; Buck, R.²; Dötsch, C.³

»Solarunterstützte Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung – Hybridsysteme im Trend«, in: Themenheft 2005, FVS Jahrestagung 2005, Köln, Germany, 22./23.9.2005, pp. 111-117
(¹: Solar-Institut Jülich, Germany) (²: Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. DLR, Bonn, Germany) (³: Fraunhofer Umsicht, Oberhausen, Germany)

Henning, H.-M.; Wiemken, E.

»Decision Scheme for the Selection of the Type of Solar Assisted Air-Conditioning System for a given Load«, in: Proceedings, International Conference Solar Air Conditioning, Bad Staffelstein, Germany, 6./7.10.2005, pp. 231-235

Henning, H.-M.; Wiemken, E.

»Solar Assisted Cooling at the University Hospital Klinikum Freiburg«, in: Proceedings, International Conference Solar Air Conditioning, Bad Staffelstein, Germany, 6./7.10.2005, pp.178–182

Henning, H.-M.; Wiemken, E.

»Solar Assisted Air-Conditioning in the Frame of the Solarthermie 2000plus Programme«, in: Proceedings, International Conference Solar Air Conditioning, Bad Staffelstein, Germany, 6./7.10.2005, pp.157–161

Henning, H.-M.; Wiemken, E.

»Economic Issues of Solar Assisted Air-Conditioning Applications«, in: Proceedings, International Conference Solar Air Conditioning, Bad Staffelstein, Germany, 6./7.10.2005, pp. 183–187

Herkel, S.; Knapp, U.; Pfafferoth, J.

»A Preliminary Model of User Behaviour Regarding the Manual Control of Windows in Office Buildings«, in: Proceedings, The 9th International Building Performance Simulation, Montreal, Canada, 15.–18.8.2005

Hermann, M.

»Entwicklung des FracTherm-Absorbers – Simulationen und Experimente«, in: Tagungsband, OTTI-Energie-Kolleg 15. Symposium Thermische Solarenergie, Bad Staffelstein, Germany, 27.–29.4.2005

Hermle, M.; Léty, G.; Mack, B.; Bett, A. W.

»Simulation of Single Junction GaAs Solar Cells Considering Optical Coupling«, in: Proceedings, 20th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Barcelona, Spain, 6.–10.6.2005, pp. 511-514

Hermle, M.; Schneiderlöchner, E.; Grupp, G.; Glunz, S. W.

»Comprehensive Comparison of Different Rear Side Contacting Methods«, in: Proceedings, 20th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Barcelona, Spain, 6.–10.6.2005, pp. 810-813

Hinsch, A.; Kern, A.¹; Niggemann, M.; Beier, J.²; Luther, J.

»Neue Entwicklungen bei Farbstoff- und organischen Solarzellen«, in: Book of Abstracts, Jährliches Kolloquium des Freiburger Materialforschungszentrum FMF, Titisee, Germany, 7./8.10.2004
(¹: Freiburger Materialforschungszentrum FMF, Freiburg, Germany) (²: Institut für Angewandte Photovoltaik INAP, Gelsenkirchen, Germany)

Holz, F.; Steinhüser, A.; Kaiser, R.

»Anforderungen an Konzepte zur saisonalen Energiespeicherung in autonomen Stromversorgungen – Bewertung aktueller Lösungsansätze«, in: Tagungsband, OTTI Energie-Kolleg 20. Symposium Photovoltaische Solarenergie, Bad Staffelstein, Germany, 9.–11.3.2005, pp. 273-277

Hore, S.¹; Durrant, J. R.²; Hinsch, A.¹; Luther, J.¹

»Enhancing the Efficiency of Dye Solar Cells via Tuning of the Density of States in TiO₂ Semiconductor«, in: Tagungsband, 11th Freiburger Materialforschungszentrum FMF Kolloquium, Titisee, Germany, 7./8.10.2004, (¹: Freiburger Materialforschungszentrum FMF, Freiburg, Germany) (²: Centre for Electronic Materials and Devices, London, UK)

Horzel, J.¹; Grupp, G.²; Preu, R.; Schmidt, W.¹

»Experimental Investigation Towards High Throughput Rapid Thermal Firing of EFG SI Solar Cells«, in: Proceedings, 20th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Barcelona, Spain, 6.–10.6.2005
(¹: RWE Schott Solar GmbH, Alzenau, Germany) (²: Evergreen Solar)

Hube, W.¹; Crisinel, M.²; Vollmar, T.²; Platzer, W.¹

»Glass Facade Elements With Internal Fluid Flow«, in: Proceedings, GLASSinBUILDINGS, Bath, United Kingdom, 7./8.4.2005, pp. 303-311
(¹: Projektgesellschaft Solare Energiesysteme PSE, Freiburg, Germany) (²: Steel Structures Laboratory ICOM, Swiss Institute of Technology Lausanne EPFL, Lausanne, Switzerland)

Isenberg, J.; v. d. Heide, A.¹; Warta, W.

»Spatially Resolved Assessment of Power Losses Due to Bulk Material Quality and Metalization Problems«, in: Proceedings, 31st IEEE Photovoltaic Specialists Conference, Orlando, Florida, USA, 3.–7.1.2005
(¹: Energy Research Center ECN, Solar Energy, Petten, The Netherlands)

Isenberg, J.; van der Heide, A.; Warta, W.

»Range of Loss Mechanisms Accessible by Illuminated Lock-In Thermography (ILIT)«, in: Proceedings, 20th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Barcelona, Spain, 6.–10.6.2005, pp. 136-139

Isenberg, J.; Schubert, M. C.; Biro, D.; Froitzheim, A.; Warta, W.

»Sheet Resistance Imaging (SRI) – A Contactless and Spatially Resolved Method for the Determination of Doping Inhomogeneities«, in: Proceedings, 20th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Barcelona, Spain, 6.–10.6.2005, pp. 674-677

- Isenberg, J.; Breitenstein, O.¹;
Rakotoniaina, J. P.¹; Hahn, G.²; Kaes, M.²;
Pernau, T.²; Seren, S.²; Warta, W.
»Lock-In Thermography – A Universal Tool for
Local Analysis of Solar Cells«, in: Proceedings,
20th European Photovoltaic Solar Energy
Conference and Exhibition, Barcelona, Spain,
6.–10.6.2005, pp. 590-593
(¹: Max Planck Institute for Microstructure
Physics, Halle, Germany) (²: University of
Konstanz, Konstanz, Germany)
- Janz, S.; Reber, S.; Lutz, F.; Schetter, C.
»Conductive SiC as an Intermediate Layer for
CsiTF Solar Cells«, in: Proceedings, European
Materials Research Society EMRS Spring
Meeting 2005, Strasbourg, France,
31.5.–3.6.2005
- Janz, S.; Reber, S.; Lutz, F.; Schetter, C.
»SiC as an Intermediate Layer for CsiTF Solar
Cells on Various Substrates«, in: Proceedings,
20th European Photovoltaic Solar Energy
Conference and Exhibition, Barcelona, Spain,
6.–10.6.2005, pp.1016-1019
- Janz, S.; Reber, S.; Habenicht, H.
»C-Si Thin-Film Solar Cells on Ceramic
Substrates with SiC Intermediate Layers«, in:
Technical Digest; 15th International Science and
Engineering Conference, Shanghai, China,
10.–15.10.2005, pp. 873
- Jaus, J.; Rentsch, J.; Preu, R.
»Determining Trade-Offs Between Costs of
Production and Cell/Module-Efficiency with the
Concept of Indifference Curves«, in: Pro-
ceedings, 20th European Photovoltaic Solar
Energy Conference and Exhibition, Barcelona,
Spain, 6.–10.6.2005
- Jungmann, T.; Grootjes, A. J.¹; Kopte, D.;
Makkus, R. C.¹; Wittstadt, U.
»Development and Characterisation of a
Reversible Fuel Cell for Autonomous Power
Supply and Uninterruptible Power Supply«, in:
Proceedings, 9th Grove Fuel Cell Symposium,
London, United Kingdom, 4.–6.10.2005, pp.
P3.21
(¹: Energy Research Centre Netherlands ECN,
The Netherlands)
- Kaiser, R.
»Geschlossene Bleibatterien«, in: Seminarband
Wiederaufladbare Batteriesysteme, OTTI-
Energie-Kolleg, Ulm, Germany, 10./11.5.2005,
pp. 23–46
- Kiefer, K.; Vaassen, W.¹.
»Qualitätsanforderungen an Solarmodule«, in:
Tagungsband, OTTI Energie-Kolleg 20. Sym-
posium Photovoltaische Solarenergie, Bad Staffel-
stein, Germany, 9.–11.3.2005, pp. 52-60
(¹: TÜV Rheinland, Köln, Germany)
- Kiefer, K.; Digel, R.¹
»Die Effizienz der PV-Anlagen steigt kontinuier-
lich«, in: Erneuerbare Energien, Ausgabe
11/2005, pp. 64-66
(¹: Deutsche Stiftung Umwelt, Osnabrück,
Germany)
- Köhl, M.; Jorgensen, G.; Brunold, S.;
Carlsson, B.; Heck, M.; Möller, K.
»Life-Time Estimation of Polymeric Glazing
Materials for Solar Applications«, in: Pro-
ceedings, 10th International Conference on the
Durability of Building Materials & Components,
Lyon, France, 17.–20.4.2005
- Köhl, M.; Heck, M.; Noller, K.
»Degradation of the Efficiency of Vacuum
Insulation Panels by Gas Permeation through
Barrier Films«, in: Proceedings, 10th Inter-
national Conference on Durability of Building
Materials and Components, Lyon, France,
17.–20.4.2005
- Köhl, M.; Roos, A.¹; Persson¹; Wilson, H.;
Platzer, W.
»Energy Efficiency of Switchable Glazing in
Office Buildings«, in: Proceedings, Glass
Processing Days 2005, Tampere, Finland,
16.–20.6.2005 pp. 334-337
(¹: Uppsala University, Sweden)
- Köhl, M.; Hussong, J.¹; Schönlein, A.²;
Schroeder, C.³; Scott, K.⁴; Dreiskemper, R.⁵;
Ketola, W.⁶; Maybee, J.⁷; Geburtig, A.⁸;
Brunhold, S.⁹; Chistiaens, F.¹⁰
»Comparison of Measurements of Spectral
Irradiance (UV/VI) by an International Round
Robin Test«, in: Proceedings, 9th International
Conference on Developments and Applications
in Optical Radiometry, Davos, Switzerland,
17.–19.10.2005,
(^{1,2}: ATLAS MTT GmbH, Linsengericht,
Germany) (³: opto.cal GmbH, Movelier,
Switzerland) (⁴: ATLAS MTT LLC, Chicago, USA)
(⁵: Heraeus Noblelight GmbH, Hanau,
Germany) (⁶: 3M, St. Paul, Minnesota, USA)
(⁷: ATLAS DSET Laboratories Inc., Phoenix,
Arizona, USA) (⁸: Bundesamt für Materialfor-
schung und -prüfung BAM, Berlin, Germany)
(⁹: Institut für Solartechnik, Rapperswil,
Switzerland) (¹⁰: L'Oréal, Clichy, France)
- Koschikowski, J.; Wieghaus, M.; Rommel, M.;
Basel, S.
»Entwicklung von kompakten, solarthermisch
getriebenen Wasserentsalzungsanlagen«, in:
Tagungsband, OTTI-Energie-Kolleg 15. Sym-
posium Thermische Solarenergie, Bad Staffel-
stein, Germany, 27.–29.4.2005
- Koschikowski, J.; Wieghaus, M.; Rommel, M.;
Basel, S.
»Solarthermal Driven Membrane Distillation for
Small-Scale Desalination Plants«, in: Pro-
ceedings, International Solar Energy Society
ISES World Congress, Orlando, Florida, USA,
6.–12.8.2005
- Kray, D.; Baumann, S.; Mayer, K.; Eyer, A.;
Willeke, G. P.
»Novel Techniques for Low-Damage Micro- and
Macrostructuring of Silicon«, in: Proceedings,
20th European Photovoltaic Solar Energy
Conference and Exhibition, Barcelona, Spain,
6.–10.6.2005
- Kray, D.; Baumann, S.; Mayer, K.; Schumann,
M.; Bando, M.; Eyer, A.; Willeke, G. P.
»Wafering research at Fraunhofer ISE«, in:
Proceedings, 15th Workshop on Crystalline
Silicon Solar Cells and Modules: Materials and
Processes, Vail, Colorado, USA, 7.–10.8.2005
- Kuhn, T.
»Klimafreundliche Wege zu einem freundlichen
guten Arbeitsklima«, in: Deutsche Bauzeitung
DBZ, September 2004
- Kuhn, T.
»Solar Protection and Daylight Utilisation in
Modern Office Buildings«, in: Proceedings,
Intelligent Building Middle East 2005, Manama,
Kingdom Bahrain, 5.–7.12.2005
- Lehnert W.¹; Grünerbel, M.¹; Mergel, J.²;
Wippermann, K.²; Scharmann, H.²;
Kulikovskiy, A.²; Hebling, C.; Wittstadt, U.,
Smolinka, T.; Gülzow, E.³; Schulze, M.; Kaz, T.³
»Niedertemperatur-Brennstoffzellen – Stand
und Perspektiven der PEMFC«, in: Forschungs-
Verbund Sonnenenergie, FVS Themen 2004,
pp. 94–100
(¹: Zentrum für Solarenergie- und Wasserstoff-
Forschung, Stuttgart, Germany) (²: Forschungs-
zentrum Jülich, Germany) (³: Deutsches
Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Germany)
- Leichenmüller, H.; Bett, A. W.; Siefert, G.;
Dimroth, F.; Willeke, G.
»FLATCON® Konzentration-PV-Technologie«,
in: Tagungsband, OTTI-Energie-Kolleg 20.
Symposium Photovoltaische Solarenergie, Bad
Staffelstein, Germany, 9.–11.3.2005,
pp. 94-101
- Leichenmüller, H.¹; Jaus, J.; Willeke, G.;
Bett, A. W.
»Cost and Market Perspectives for FLATCON® -
Systems«, in: Proceedings, Conference on Solar
Concentrators for the Generation of Electricity
or Hydrogen, Scottsdale, Arizona, USA,
1.–6.5.2005, NREL CD August 2005
(¹: Concentrix Solar GmbH, Freiburg, Germany)
- Löckenhoff, R.; Riesen, v. S.; Meusel, M.;
Dimroth, F.; Bett, A. W.
»Large Area Monolithic Interconnected
Modules (MIMs) for Compact Concentrator
Modules«, in: Proceedings, 20th European
Photovoltaic Solar Energy Conference and
Exhibition, Barcelona, Spain, 6.–10.6.2005
- Mette, A.; Erath, D.; Ruiz, R.; Emanuel, G.;
Kasper, E.¹; Preu, R.
»Hot Melt Ink for the Front Side Metallisation
of Silicon Solar Cells«, in: Proceedings, 20th
European Photovoltaic Solar Energy Conference
and Exhibition, Barcelona, Spain, 6.–10.6.2005,
pp. 873-876
(¹: Ferro GmbH, Electronic Material System,
Hanau, Germany)

Meusel, M.¹; Baur, C.; Guter, W.; Hermle, M.; Dimroth, F.; Bett, A. W.; Dietrich, R.¹; Köstler, W.¹; Kern, R.¹; Nell, M.¹; Zimmermann, W.¹; LaRoche, G.¹; Strobl, G.¹; Taylor, S.²; Signorini, C.²; Hey, G.³
 »Development Status of European Multi-Junction Space Solar Cells with High Radiation Hardness«, in: Proceedings, 20th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Barcelona, Spain, 6.–10.6.2005, pp. 20-25
 (1: RWE Space Solar Power GmbH, Heilbronn, Germany) (2: ESA/ESTEC, Noordwijk, The Netherlands) (3: German Aerospace Center DLR, Bonn, Germany)

Miara, M.
 »Passivhäuser – praktische Prüfung, Domy pasywne – egzamin praktyczny«, in: Czysta Energia (Reine Energie), 12/2004, pp. 18

Mick, J.¹; Müller, C.¹; Gombert, A.; Bläsi, B.
 »Maskless Origination of Microstructures with Optical Functions on Large Areas«, in: Proceedings, Microlithography 2005, San Jose, California, USA, 27.2–4.3.2005, pp.1003-1014
 (1: Institut für Mikrosystemtechnik IMTEK, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Germany)

Mick, J.¹; Bläsi, B.; Gombert, A.; Reinecke, H.¹; Müller, C.¹
 »Große dreidimensionale Mikrostrukturen mittels Interferenzlithographie«, in: Proceedings, Mikrosystemtechnik Kongress 2005, Freiburg, Germany, 10.–12.10.2005, pp. 283-286
 (1: Institut für Mikrosystemtechnik IMTEK, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Germany)

Mohr, A.; Roth, T.; Epmeier, M.¹; Glunz, S. W.
 »Silicon Concentrator Cells in an One-Axis Tracking Concentrator System with a Concentration Ratio of 300X«, 31st IEEE Photovoltaic Specialist Conference and Exhibition, Orlando, Florida, USA, 3.–7.1.2005, pp. 639-642
 (1: Institut für Mikrosystemtechnik IMTEK, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Germany)

Mohr, A.; Roth, T.; Hermle, M.; Glunz, S. W.
 »Rear-Line-Contacted Silicon Concentrator Cells on Highly and Lightly Doped Substrates«, 31st IEEE Photovoltaic Specialists Conference, Orlando, Florida, USA, 3.–7.1.2005, pp. 758-761

Mohr, A.; Siefer, A.; Roth, T.; Sadchikov, N.¹; Bett, A. W.; Glunz, S. W.; Willeke, G. P.
 »Development of FLATCON® Modules«, in: Proceedings, 20th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Barcelona, Spain, 6.–10.6.2005, pp. 507-510
 (1: Ioffe Physico-Technical Institute, St. Petersburg, Russia)

Núñez, T.; Mittelbach, W.¹; Henning, H.-M.
 »Development of an Adsorption System for Heating and Solar Cooling Applications«, in: Proceedings, World Renewable Energy Conference WREC 2005, Aberdeen, U.K., 22.–27.5.2005, CD-ROM, ISBN: 008044671X (1: Sortech AG, Halle a.d.S., Germany)

Núñez, T.; Mittelbach, W.¹; Henning, H.-M.
 »Development of a Small Capacity Adsorption System for Heating and Cooling Applications«, in: Proceedings, International Sorption Heat Pump Conference ISHCP 2005, Broomfield, Colorado, USA, 22.–24.6.2005 (1: Sortech AG, Halle a.d.S., Germany)

Núñez, T.; Hau, M.; Henning, H.-M.
 »Simulation based Performance Assessment of a Small Capacity Adsorption System in a Domestic Heating and Cooling Application«, in: Proceedings, 2nd European Solar Thermal Energy Conference estec 2005, Freiburg, Germany, 21./22.6.2005, pp. 52-58

Núñez, T.; Hau, M.; Henning, H.-M.
 »Simulation Based Performance Assessment of a Small Capacity Adsorption System in a Domestic Heating and Cooling Application«, in: Proceedings, International Sorption Heat Pump Conference ISHCP 2005, Broomfield, Colorado, USA, 22.–24.6.2005

Núñez, T.; Hau, M.; Henning, H.-M.
 »A Small Capacity Adsorption System in a Heating and Cooling Application: The German Field-Test in the MODESTORE Project«, in: Proceedings, International Conference Solar Air Conditioning, Bad Staffelstein, Germany, 6./7.10.2005, pp. 335–340

Oszcipok, M.; Zedda, M.; Hesselmann, J.; Huppmann, M.; Junghardt, M.; Riemann, D.; Hebling, C.
 »Portable Fuel Cell Systems for Outdoor Applications«, in: Proceedings, 9th Grove Fuel Cell Symposium, London, United Kingdom, 4.–6.10.2005, p. 5A.5

Oszcipok, M.; Hakenjos, A.; Riemann, D.; Hebling, C.
 »Freezing Processes in PEM Fuel Cells«, in: Proceedings, 3rd European PEMFC Forum, 4.-8.7.2005, Lucerne, Switzerland, PA22-066

Pfafferott, J.; Herkel, S.
 »Statistical Simulation of User Behaviour in Low-Energy Office Buildings«, in: Proceedings, Passive and Low Energy Cooling for the Built Environment PALENC 2005, Santorini, Greece, 19.–21.5.2005, pp. 721-726

Pfafferott, J.; Herkel, S.; Schiel, S.
 »Bauteilkühlung – Messungen und modellbasierte Auswertung«, in: Tagungsband, OTTI-Energie-Kolleg 15. Symposium Thermische Solarenergie, Bad Staffelstein, Germany, 27.–29.4.2005, pp. 422-427

Pfafferott, J.; Herkel, S.
 »Kühlen ohne Klimaanlage«, in: Bauen heute, Ausgabe 9/2005, pp. 78/79

Pfafferott, J.; Herkel, S.
 »A Preliminary Model of User Behaviour Regarding the Manual Control of Windows in Office Buildings«, in: Proceedings, Clima 2005, Lausanne, Switzerland, 9.–12.10.2005, Nr. 167

Pfafferott, J.; Herkel, S.; Zeuschner, A.
 »Thermischer Komfort im Sommer in Bürogebäuden mit passiver Kühlung«, in: Tagungsband, 9th Internationale Passivhaustagung 2005, Ludwigshafen, Germany, 29./30.4.2005, pp. 275-281

Platzer, W.; Simmler, H.¹; Bryn, I.²
 »Energy Performance of Facades and Buildings – IEA as Support for the European Directive?«, in: Tagungsband, Glass Processing Days 2005, Tampere, Finland, 16.–20.6.2005, pp. 578-582 (1: EMPA Dübendorf, Switzerland) (2: Erichsen&Horgen AS, Oslo, Norway)

Platzer, W.; Hube, W.¹; Adelman, W.; Crisinel, M.²; Vollmar, T.²
 »Development of a Glass Facade with Internal Fluid Flow«, in: Tagungsband, Glass Processing Days 2005, Tampere, Finland, 16.–20.6.2005, pp. 303-307 (1: PSE Projektgesellschaft Solare Energiesysteme mbH, Freiburg, Germany) (2: EPFL Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, Switzerland)

Platzer, W.
 »Performance Assessment for Solar Shadings – State of the Art«, in: Tagungsband, Glass Processing Days 2005, Tampere, Finland, 16.–20.6.2005, pp. 584-588

Platzer, W.; Stramm C.; Amberg-Schwarz, S.; Köhl, M.;
 »Development of Innovative Insulation Systems on the Basis of Vacuum Insulation Panels«, in: Proceedings, 7th International Vacuum Insulation Symposium, Zurich, Switzerland, 28./29.9.2005, pp. 105-112

Platzer, W.
 »Steps Towards a Vision – a Multifunctional Glass Facade«, Intelligent Glass Solutions, Issue 2/2005, pp. 54-56

Reber, S.; Eyer, A.; Haas, F.
 »High-Throughput Zone-Melting Recrystallization for c-Si Thin-Film Solar Cells«, in: Abstract Book of the 16th American Conference on Crystal Growth and Epitaxy, Montana, USA, 10.–14.7.2005, p. 69

Reber, S.; Eyer, A.; Hurrle, A.; Haas, F.; Schillinger, N.; Janz, S.
 »Progress in Crystalline Silicon Thin-Film Solar Cell Work at Fraunhofer ISE«, in: Proceedings of the 20th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Barcelona, Spain, 6.–10.6.2005, pp. 694-697

- Rein, S.; Glunz, S. W.
»Advanced Lifetime Spectroscopy – Defect Parameters of Iron in Silicon and a New Fingerprint«, in: Proceedings, 20th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Barcelona, Spain, 6.–10.6.2005, pp. 753-756
- Rentsch, J.; Kohn, N.; Bamberg, F.; Roth, K.¹; Peters, S.²; Lüdemann, R.²; Preu, R.
»Isotropic Plasma Texturing of mc-Si for Industrial Solar Cell Fabrication«, in: Proceedings, 31st IEEE Photovoltaic Specialists Conference, Orlando, Florida, USA, 3.–7.1.2005
(¹: Roth&Rau AG, Hohenstein-Ernstthal, Germany) (²: Deutsche Cell GmbH, Freiberg, Germany)
- Rentsch, J.; Jaus, J.; Preu, R.; Roth, K.¹
»Economical and Ecological Aspects of Plasma Processing for Industrial Solar Cell Fabrication«, in: Proceedings, 31st IEEE Photovoltaic Specialists Conference, Orlando, Florida, USA, 3.–7.1.2005
(¹: Roth&Rau AG, Hohenstein-Ernstthal, Germany)
- Rentsch, J.; Schetter, C.; Schlemm, H.¹; Roth, K.¹; Preu, R.
»Industrialisation of Dry Phosphorus Silicate Glass Etching and Edge Isolation for Crystalline Silicon Solar Cells«, in: Proceedings, 20th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Barcelona, Spain, 6.–10.6.2005, (¹: Roth & Rau AG, Hohenstein-Ernstthal, Germany)
- Rentsch, J.; Bamberg, F.; Schneiderlöchner, E.; Preu, R.
»Texturisation of Multicrystalline Silicon by Laser Ablation«, in: Proceedings, 20th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Barcelona, Spain, 6.–10.6.2005
- Riepe, S.; Lautenschlager, H.; Ghosh, M.¹; Müller, A.¹; Warta, W.
»Lifetime Characteristics and Gettering Effects in N-Type Multicrystalline Silicon Block Material«, in: Proceedings, 20th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Barcelona, Spain, 6.–10.6.2005, pp. 713-716
(¹: Deutsche Solar AG, Freiberg, Germany)
- Riepe, S.
»Recombination Activity of Crystal Defects in Multicrystalline Silicon after Thermal Oxidation«, in: Proceedings, 11th GADEST 2005, Giens, France, 25.–30.9.2005
- Rinio, M.; Zippel, E.; Borchert, D.
»Spatial Redistribution of Recombination Centres by the Solar Cell Process«, in: Proceedings, 20th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Barcelona, Spain, 6.–10.6.2005
- Rommel, M.; Zahler, C.¹; Luginsland, F.¹; Häberle, A.¹; Koschikowski, J.
»Fertigung und Installation eines Sonnensimulators für das GREEN Labor an der Pontificia Universidade«, in: Proceedings, OTTI-Energie-Kolleg 15. Symposium Thermische Solarenergie, Bad Staffelstein, Germany, 27.–29.4.2005, pp. 462–467
(¹: PSE GmbH Forschung Entwicklung Marketing, Freiburg, Germany)
- Rommel, M.;
»Prozesswärme Kollektoren. Aktuelle Entwicklungen im Mitteltemperaturbereich bis 250°C«, in: Erneuerbare Energie, September 2005, pp.11-14
- Rommel, M.; Siems, T.; Schüle, K.; Mehnert, S.; Becker, R.
»Wieviel Dampf produziert ein Kollektor im Stillstandsfall?«, in: Proceedings, OTTI-Energie-Kolleg 15. Symposium Thermische Solarenergie, Bad Staffelstein, Germany, 27.–29.4.2005, pp. 49-53
- Rommel, M.; Koschikowski, J.; Wieghaus, M.; Basel, S.
»Entwicklung von vollständig solar betriebenen Meerwasserentsalzungssystemen«, in: Erneuerbare Energie (Österreich), February 2005, pp. 11-14
- Rommel, M.
»Medium Temperature Collectors for Solar Process Heat up to 250°C«, in: Tagungsband, 2nd European Solar Thermal Energy Conference estec 2005, Freiburg, Germany, 21./22.6.2005, pp. 167-172
- Roth, W.; Schüler, K.; Dickert, T.¹; Fuchs, D. R.¹; Vielreicher, H.¹
»Strategie zur erfolgreichen Bewerbung von Unternehmenskonsortien um Projekte internationaler Entwicklungsbanken«, in: Tagungsband, OTTI Energie-Kolleg, 20. Symposium Photovoltaische Solarenergie, Bad Staffelstein, Germany, 9.–11.3.2005, pp.132–137
(¹: Fraunhofer-Gesellschaft, European and International Business Development, München, Germany)
- Roth, W.; Dickert, T.¹; Fuchs, D. R.¹; Vielreicher, H.¹
»Erfahrungen aus der Bildung von Unternehmenskonsortien zur Bewerbung um Projekte internationaler Entwicklungsbanken«, in: Tagungsunterlagen, Thüringer Außenwirtschaftstag 2005 – Auftragsbeschaffung durch Beteiligung an internationalen Ausschreibungen, Weimar, Germany, 28.4.2005
(¹: Fraunhofer-Gesellschaft, European and International Business Development, München, Germany)
- Roth, W.; Fuchs, D. R.¹; Vielreicher, H.¹
»BIKE – Bayerische Initiative zur Konsortialbildung für internationale Entwicklungsprojekte«, in: Veranstaltungsunterlagen, Internationale Aufträge gewinnen! Geschäftschancen in Projekten der Weltbank und anderer internationaler Organisationen, Bayreuth, Germany, 5.7.2005
(¹: Fraunhofer-Gesellschaft, European and International Business Development, München, Germany)
- Roth, W.; Fuchs, D. R.¹; Sellmeier, C.¹; Vielreicher, H.¹
»Strategische Maßnahmen zur erfolgreichen Bewerbung von Unternehmenskonsortien um Projekte internationaler Entwicklungsbanken«, in: Tagungsunterlagen, Internationale Ausschreibungen – Chancen nutzen, Leipzig, Germany, 25.10.2005
(¹: Fraunhofer-Gesellschaft, European and International Business Development, München, Germany)
- Sastrawan, R.¹
»Interpretation der Rückwärts-Kennlinien von Farbstoffsolarzellen«, in: Book of Abstracts, Jährliches Kolloquium des Freiburger Materialforschungszentrum FMF, Titisee, Germany, 7./8.10.04
(¹: Freiburger Materialforschungszentrum FMF, Freiburg, Germany)
- Sastrawan, R.¹; Hinsch, A.; Beier, J.²; Belledin, U.¹; Hemming, S.³; Kern, R.; Vetter, C.²
»Upscaling Dye Solar Modules with Durable Glass Frit Sealing«, in: Proceedings, 15th International Science and Engineering Conference, Shanghai, China, 10.–15.10.2005, pp. 756-757
(¹: Freiburger Materialforschungszentrum FMF, Freiburg, Germany) (²: Institut für Angewandte Photovoltaik, Gelsenkirchen, Germany) (³: PSE GmbH, Forschung, Entwicklung, Marketing Freiburg, Germany)
- Sastrawan, R.¹; Renz, J.; Prah, C.; Beier, J.²; Hinsch, A.; Kern, R.
»Interconnecting Dye Solar Cells in Modules – I-V Characteristics under Reverse Bias«, in: Proceedings, 20th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Barcelona, Spain, 6.–10.6.2005
(¹: Freiburger Materialforschungszentrum FMF, Freiburg, Germany) (²: Institut für Angewandte Photovoltaik, Gelsenkirchen, Germany)
- Sastrawan, R.¹; Hinsch, A.; Beier, J.²; Belledin, U.¹; Hemming, S.³; Hore, S.¹; Kern, R.; Prah, C.; Renz, J.; Vetter, C.²; Würfel, U.¹; Luther, J.; Petrat, F.-M.⁴; Prodi-Schwab, A.⁴
»Towards Manufacturing Dye Solar Cells«, in: Proceedings, 20th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Barcelona, Spain, 6.–10.6.2005
(¹: Freiburger Materialforschungszentrum FMF, Freiburg, Germany) (²: Institut für Angewandte Photovoltaik, Gelsenkirchen, Germany) (³: Projektgesellschaft Solare Energiesysteme PSE, Freiburg, Germany) (⁴: Degussa AG, Creavis GmbH, Marl, Germany)

- Schäffler, H.; Holz, F.
 »Kostenstruktur und Anforderungen in der autonomen Stromversorgung«, in: Tagungsband, OTTI Energie-Kolleg 20. Symposium Photovoltaische Solarenergie, Bad Staffelstein, Germany, 9.–11.3.2005, pp. 278-283
- Schindler, R.; Gremmlerspacher, M.¹; Hermle, M.; Kleer, G.¹; Reis, I.; Willeke, G.
 »Thin Large Area Crystalline Silicon Solar Cells«, in: Proceedings, 20th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Barcelona, Spain, 6.–10.6.2005 (1: Fraunhofer-Institut für Werkstoffmechanik IWM, Freiburg, Germany)
- Schlegl, T.¹; Abbott, P.; Aicher, T.; Dimroth, F.; Siefert, G.; Szolak, R.; Bett, A. W.
 »GaSb Based PV Modules for a TPV Generator System«, in: Proceedings, 20th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Barcelona, Spain, 6.–10.6.2005, pp. 258-261 (1: Freiburger Materialforschungszentrum FMF, Freiburg, Germany)
- Schmich, E.; Reber, S.; Willeke, G.
 »In-Situ HCl Etching for Optical Confinement in Crystalline Silicon Thin-Film Solar Cells«, in: Proceedings, 20th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Barcelona, Spain, 6.–10.6.2005, pp. 1383-1386
- Schmidt, F. P.; Henninger, S.¹; Stach, H.²; Jänchen, J.²; Henning, H.-M.
 »Novel Adsorbents for Solar Cooling Applications«, in: Proceedings, International Conference Solar Air-Conditioning, OTTI-Technologie-Kolleg, Staffelstein, 6/7.10.2005, pp. 39-44 (1: Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Freiburger Materialforschungszentrum FMF, Germany) (2: ZeoSys GmbH, Berlin, Germany)
- Schmitz, A.; Tranzitz, M.; Eccarius, S.; Hebling, C.
 »Spatial Characterisation of Planar Air-Breathing PEMFC«, in: Proceedings, 3rd European Polymer Electrolyte Fuel Cell Forum PEFC, Lucerne, Switzerland, 4.–8.7.2005
- Schmidhuber, H.; Klappert, S.; Stollhof, J.; Erfurt, G.; Preu, R.
 »Laser Soldering – a Technology for Better Contacts?«, in: Proceedings, 20th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Barcelona, Spain, 6.–10.6.2005
- Schnabel, L.; Henning, H.-M.
 »Experimental and Simulation Study on the Kinetics of Water Vapour Adsorption on Different Kinds of Adsorptive Material Matrices«, in: Proceedings, International Sorption Heat Pump Conference ISHCP 2005, Broomfield, Colorado, USA, 22.–24.6.2005 (1: Freiburger Materialforschungszentrum FMF, Freiburg, Germany)
- Schnabel, L.; Henning, H.-M.; Henninger, S.¹; Spreemann, D.
 »Simulation Study on the Kinetics of Water Vapour Adsorption on Different Kinds of Adsorptive Materials«, in: Proceedings, International Sorption Heat Pump Conference ISHCP 2005, Broomfield, Colorado, USA, 22.–24.6.2005 (1: Freiburger Materialforschungszentrum FMF, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Germany)
- Schnabel, L.; Henning, H. M.
 »Simulation Study on the Kinetics of Water Vapour Adsorption«, in: Proceedings, International Conference Solar Air Conditioning, Bad Staffelstein, Germany, 6./7.10.2005, pp. 46-51
- Schnabel, L.; Henning, H. M.; Munz, G.
 »Experimental Study on the Kinetics of Water Vapour Adsorption«, in: Proceedings, International Conference Solar Air Conditioning, Bad Staffelstein, Germany, 6./7.10.2005, pp. 52-57
- Schneiderlöchner, E.; Grohe, A.; Hofmann, M.; Preu, R.; Glunz, S. W.; Willeke, G. W.
 »Current Status and Challenges in Transferring the Laser-Fired Contact Technology to Screen-Printed Silicon Solar Cells«, in: Proceedings, 20th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Barcelona, Spain, 6.–10.6.2005, pp. 785-788
- Schossig, P.; Henning, H.-M.; Gschwander, S.; Haussmann, T.¹
 »Phase Change Materials as an Approach to Energy Efficient Buildings«, in: Proceedings, World Renewable Energy Conference WREC 2005, Aberdeen, Scotland, U.K., 22.–27.5.2005, pp. 970-975, CD-ROM, ISBN: 008044671X (1: PSE Projektgesellschaft Solare Energiesysteme mbH, Freiburg, Germany)
- Schossig, P.; Tamme, R.¹; Götsche, J.²; Huenges, E.³; Drück, H.⁴; Kabus, F.⁵; Dötsch, C.⁶
 »Thermische Speicher für die Hausenergieversorgung«, ForschungsVerbund Sonnenenergie FVS Jahrestagung, Köln, Germany, 22./23.9.2005 (1: Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrttechnik, Köln, Germany) (2: Solar Institut Jülich) (3: GeoForschungsZentrum Potsdam, Germany) (4: ITW Morlock GmbH Germany) (5: GTN) (6: Fraunhofer UMSICHT, Oberhausen, Germany)
- Schubert, M. C.¹; Isenberg, J.; Warta, W.
 »Injection Dependent Carrier Density Imaging Measurements Including Correction for Trapping Effects«, in: Proceedings, 20th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Barcelona, Spain, 6.–10.6.2005, (1: Freiburger Materialforschungszentrum FMF, Freiburg, Germany)
- Schubert, M. C.¹; Isenberg, J.; Rein, S.; Warta, W.
 »Ortsaufgelöste temperaturabhängige Lebensdauerspektroskopie mit Carrier Density Imaging«, in: Proceedings, Workshop Silicon Forest 2005, Falkau, Altglashütten, Germany, 27.2.–2.3.2005 (1: Freiburger Materialforschungszentrum FMF, Freiburg, Germany)
- Schubert, M. C.¹; Isenberg, J.¹; Rein, J.; Bermejo, S.²; Glunz, S. W.; Warta, W.
 »Injection Dependent Carrier Density Imaging Measurements Including Correction for Trapping Effects«, in: Proceedings, 20th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Barcelona, Spain, 6.–10.6.2005, (1: Freiburger Materialforschungszentrum FMF, Freiburg, Germany) (2: on leave from Universität Politecnica de Catalunya UPC, Barcelona, Spain)
- Schultz, O.; Hofmann, M.; Glunz, S. W.; Willeke, G.
 »Silicon Oxide / Silicon Nitride Stack System for 20% Efficient Silicon Solar Cells«, in: Proceedings, 31st IEEE Photovoltaic Specialists Conference, Orlando, Florida, USA, 3.–7.1.2005, pp. 872-876
- Schultz, O.; Glunz, S. W.; Kray, D.; Dhamrin, M.¹; Yamaga, I.²; Saitoh, T.¹; Willeke, G. P.
 »High-Efficiency Multicrystalline Silicon Solar Cells on Gallium-Doped Substrate«, in: Proceedings, 20th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Barcelona, Spain, 6.–10.6.2005, pp. 741-744 (1: Tokyo University of Agriculture and Technology, Koganei, Tokyo, Japan) (2: Dai-ichi Kiden Co., Tokyo, Japan)
- Schumacher, J.; Ziegler, C.; Philipps, S.; Niemeyer, J.; Schumacher, J. O.
 »A Dynamic PEM Fuel Cell Stack Model for System Simulation«, in: Proceedings 3rd European Fuel Cell Forum, Lucerne, Switzerland, 4.–8.7.2005
- Schumacher, J.; Gerteisen, D.; Hakenjos, A.; Schumacher, J. O.
 »Model-Based Analysis of the Current Interrupt Technique for the Characterisation of Porous Gas Diffusion Electrodes in PEM Fuel Cells«, in: Proceedings 3rd European Fuel Cell Forum, Lucerne, Switzerland, 4.–8.7.2005
- Schumacher, J.; Tranzitz, M.; Schumacher, J. O.
 »A Model for Planar Self-Breathing Proton Exchange Membrane Fuel Cells in FEMLAB«, in: Konferenzband, FEMLAB Konferenz 2005, Frankfurt, Germany, 2.–4.11.2005
- Sicre, B.; Bühring, A.; Platzer, B.¹
 »Energy and Financial Performance of Micro-CHP in connection with High-Performance Buildings«, in: Proceedings, The 9th International Building Performance Simulation, Montreal, Canada, 15.–18.8.2005, (1: Technische Universität Chemnitz, Germany)

Veröffentlichungen in rezensierten Zeitschriften

- Sicre, B.; Platzer, B.; Hoffmann, K. H.
»Energy and Cost Assessment of Micro-CHP Plants in High-Performance Residential Buildings«, in: Proceedings, 18th International Conference on Efficiency, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems ECOS 2005, Trondheim, Norway, 20.–23.6.2005
- Siefer, G.; Bett, A. W.
»Experimental Comparison Between the Power Outputs of FLATCON[®] Modules and Silicon Flat Plate Modules«, in: Proceedings, 31st IEEE Photovoltaic Specialists Conference, Orlando, Florida, USA, 3.–7.1.2005
- Siefer, G.; Abbott, P.; Baur, C.; Schlegl, T.; Bett, A. W.
»Determination of the Temperature Coefficients of Various III-V Solar Cells«, in: Proceedings, 20th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Barcelona, Spain, 6.–10.6.2005
- Smolinka, T.; Wittstadt, U.; Grünerbel, M.¹; Lehnert, W.¹
»Performance and Endurance of PEFC Single Cells and Stacks Fed Hydrogen and Reformate«, in: Proceedings, 3rd European Polymer Electrolyte Fuel Cell Forum, Lucerne, Switzerland, 4.–8.7.2005, pp. B035
(¹: Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoffforschung ZSW, Stuttgart, Germany)
- Specht, M.¹; Zuberbühler, U.¹; Wittstadt, U.
»Regenerativer Wasserstoff – Erzeugung, Nutzung und Syntheserohstoff«, in: Forschungsverbund Sonnenenergie FVS Themen 2004, pp. 33–40
(¹: Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoffforschung ZSW, Stuttgart, Germany)
- Strobl, G.¹; Dietrich, R.¹; Hilgarth, J.¹; Kern, R.¹; Köstler, W.¹; LaRoche, G.¹; Meusel, M.¹; Poeck, D.¹; Rasch, K. D.¹; Zimmermann, W.¹; Bett, A.W.; Dimroth, F.; Taylor, S.²; Signorini, C.²; Schuelke, P.³; Hey, G.³
»Evolution of Fully European Triple GaAs Solar Cells«, in: Proceedings, 7th European Space Power Conference, Stresa, Italy, 9.–13.5.2005, pp. ESA SP-589
(¹: RWE Space Solar Power GmbH, Heilbronn, Germany) (²: ESA/ESTEC, Noordwijk, The Netherlands) (³: Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt DLR, Bonn, Germany)
- Thoma, M.; Mienski, R.; Wasiak, I.; Pawelek, R.; Gburczyk, P.; Thoma, M. C.; Foote, C.; Morini, A.
»A Power Quality Management Algorithm for Low Voltage Grids with Distributed Resources«, in: Disposer. Project Highlight no. 17, 13.6.2005
- Tiedtke, Y.;
»Concept for Solar Assisted Air-Conditioning of a Mushroom Farm in Windhoek/Namibia«, in: Tagungsband, International Conference Solar Air-Conditioning, Bad Staffelstein, Germany, 7./8.10.2005
- Voyer, C.; Biro, D.; Wagner, K.; Preu, R.; Koriath, J.¹; Heintze, M.¹; Wanka, H. N.¹
»Progress in the Use of Sprayed Phosphoric Acid as an Inexpensive Dopant Source for Industrial Solar Cells«, in: Proceedings, 20th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Barcelona, Spain, 6.–10.6.2005, (¹: Centrotherm Photovoltaics GmbH+Co. KG, Blaubeuren, Germany)
- Went, J.; Seibert, U.; Herold, S., Holz, F.
»High-Intensity Ultrasonic Fields: A Promising Antifouling Strategy for UF Membranes in Decentralized Drinking Water Treatment Plants«, in: Proceedings, International Conference and Exhibition for Filtration and Separation Technology FILTECH, Wiesbaden, Germany, 11.–13.10.2005, pp. II-570-579
- Went, J.; Seibert, U.; Herold, S., Holz, F.
»Hochintensive Ultraschallfelder: Eine vielversprechende Strategie gegen Fouling für UF-Membranen in dezentralen Trinkwasseraufbereitungsanlagen«, in: Tagungsband, 6. Aachener Tagung Siedlungswasserwirtschaft und Verfahrenstechnik ATSV, Aachen, Germany, 26.–17.10.2005, pp. P10-1-9
- Wienold, J.; Christoffersen, J.;
»Towards a New Daylight Glare Rating«, in: Proceedings, Luxeuropa 2005, Berlin, Germany, 19.–21.9.2005
- Wolke, W.; Preu, R.; Catoir, J.; Emanuel, G.; Ruske, M.¹; Liu, J.¹
»Surface Passivation for Solar Cells by Large Scale Inline Sputtering of SiN:H«, in: Proceedings, 20th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Barcelona, Spain, 6.–10.6.2005,
(¹: Applied Films GmbH, Alzenau, Germany)
- Würfel, U.¹; Peters, M.¹; Hirsch, A.; Kern, R.
»Incorporating a Secondary Electrode in the Dye Solar Cell: Measuring the Internal Voltage«, in: Proceedings, 20th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Barcelona, Spain, 6.–10.6.2005,
(¹: Freiburger Materialforschungszentrum FMF, Freiburg, Germany)
- Ziegler, C.; Schmitz, A.; Schumacher, J. O.; Tranitz, M.; Fontes, E.; Hebling, C.
»Modelling Approach for Planar Self-Breathing PEMFC and Comparison with Experimental Results«, in: Fuel Cells – From Fundamentals to Systems, Vol. 4, Issue 4, December 2004
- Zimmermann, B.; Mingirulli, N.; Glatthaar, M.; Niggemann, M.; Riede, M.; Hirsch, A.
»Influence of Electrode Material on the Built-In Potential and Photovoltaic Performance of Organic Bulk-Heterojunction Solar Cells«, in: Proceedings, European Materials Research Society EMRS Spring Meeting 2005, Strasbourg, France, 31.5.–3.6.2005
- Aicher, T.; Lenz, B.
»Catalytic Autotherm Reforming of Jet Fuel«, in: Journal of Power Sources, Vol 149C, February 2005, pp. 44-52
- Burmeister, F.¹; Schäffer, E.¹; Kleer, G.¹; Döll, W.¹; Bläsi, B.; Gombert, A.
»Investigation of structured TiAlN- and TiO₂-coatings with moth-eye like surface morphologies«, Surface and Coatings Technology, Vol. 200, Issue 1-4, pp. 1088–1092 (2005)
(¹: Fraunhofer IWM, Freiburg, Germany)
- Fath, E. S.; El-Shall, F. M.; Vogt, G.; Seibert, U.
»A Stand Alone Complex for the Production of Water, Food, Electrical Power and Salts for the Sustainable Development of Small Communities in Remote Areas«, Desalination, 183(1-3) 2005, pp. 13-22.
- Glatthaar M.¹; Niggemann, M.; Zimmermann, B.; Lever, P.; Riede, M.; Hirsch, A.; Luther, J.
»Organic Solar Cells Using Inverted Layer Sequence«, in: Thin Solid Films, Vol. 491, Issues 1-2, 22.11.2005, pp. 298-300
(¹: Freiburger Materialforschungszentrum FMF, Freiburg, Germany)
- Glatthaar, M.¹; Mingirulli, N.; Zimmermann, B.¹; Ziegler, T.; Kern, R.; Niggemann, M.; Hirsch, A.; Gombert, A.
»Impedance Spectroscopy on Organic Bulk-Heterojunction Solar Cells« in: Physica Status Solidi (a), Issue 11, R125-R127 (2005)
(¹: Freiburger Materialforschungszentrum FMF, Freiburg, Germany)
- Gschwander, S.; Schossig, P.; Henning, H.-M.
»Micro-encapsulated paraffin in phase-change-slurries«, in: Solar Energy Materials and Solar Cells 89, Sonderausgabe Eurosun 2004, May 2005, pp. 307-315
- Hakenjos, A.; Zobel, M.; Hebling, C.
»Spatially Resolved Measurement of PEM Fuel Cells«, in: Journal of Power Sources, Vol. 145, Issue 2, 18.8.2005, pp. 307-311
- Hore, S.¹; Palomares, E.²; Smit, H.³; Bakker, N. J.³; Comte, P.⁴; Liska, P.⁴; Thampi, K. R.⁴; Kroon, J. M.³; Hirsch, A.¹; Durrant, J. R.²
»Acid versus Base Peptization of Mesoporous Nanocrystalline TiO₂ Films: Functional Studies in Dye Sensitized Solar Cells«, in: Journal of Material Chemistry, 2005, (3), p. 412
(¹: Freiburger Materialforschungszentrum FMF, Freiburg, Germany) (²: Centre for Electronic Materials and Devices, Imperial College, Department of Chemistry, London, UK)
(³: ECN Solar Energy, Petten, The Netherlands)
(⁴: Laboratory for Photonics and Interfaces, Swiss Federal Institute of Technology, Lausanne, Switzerland)

Hore, S.¹; Vetter, C.; Kern, R.¹; Smit, H.²; Hinsch, A.¹

»Influence of Scattering Layers on Efficiency of Dye Solar Cells«, in: Solar Energy Materials and Solar Cells, In Press, Corrected Proof, Available online 19 August 2005

(¹: Freiburger Materialforschungszentrum FMF, Freiburg, Germany) (²: Energy Research Center ECN, Solar Energy, Petten, The Netherlands)

Hore, S.¹; Cameron, P. J.²; Peter, L. M.²

»How Important is the Back Reaction of Electrons via the Substrate in Dye-Sensitized Nanocrystalline Solar Cells?«, in: Journal of Physical Chemistry B, 2005; 109(2); pp. 930-936

(¹: Freiburger Materialforschungszentrum FMF, Freiburg, Germany) (²: Department of Chemistry, University of Bath, United Kingdom)

Hore, S.¹; Nitz, P.; Vetter, C.; Prahl, C.; Niggemann, M.; Kern, R.¹

»Scattering Spherical Voids in Nanocrystalline TiO₂ – Enhancement of Efficiency in Dye Solar Cells«, in: Chemical Communications, 2005, (15), pp. 2011-2013

(¹: Freiburger Materialforschungszentrum FMF, Freiburg, Germany)

Isenberg, J.; van der Heide, A. S. H.¹; Warta, W.

»Investigation of Series Resistance Losses by Illuminated Lock-In Thermography«, in: Progress in Photovoltaics, Vol 138 (2005), pp. 697-703

(¹: ECN Solar Energy, LE Petten, the Netherlands)

Isenberg, J.; Buonassisi, T.¹; Pickett, M. D.¹; Marcus, M. A.¹; Istratov, A. A.¹; Hahn, G.²; Ciszek, T. F.³; Riepe, S.; Isenberg, J.; Warta, W.; Schindler, R.; Willeke, G.; Weber, E. R.⁴

»Quantifying the Effect of Metal-Rich Precipitates on Minority Carrier Diffusion Length in Multicrystalline Silicon Using Synchrotron-Based Spectrally-Resolved X-ray Beam Induced Current«, in: Applied Physics Letters, Vol. 87, (2005), pp. 044101

(¹: Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, CA, USA) (²: Universität Konstanz, Department of Physics, Konstanz, Germany) (³: National Renewable Energy Laboratory, Golden, CO, USA) (⁴: Department of Materials Science and Engineering, Berkeley, CA, USA)

Kaiser, R.; Baring-Gould, I.¹; Liaw, B. Y.²; Lundsager, P.³; Manwell, J.⁴; Ruddell, A.⁵; Svoboda, V.; Wenzel, H.⁶

»Life Prediction of Batteries for Selecting the Technically Most Suitable and Cost Effective Battery«, in: Journal of Power Sources, Vol. 144, Issue 2, 15.6.2005, pp.373-384

(¹: National Renewable Energy Laboratory, Golden, USA) (²: Electrochemical Power Systems Laboratory, Hawaii Natural Energy Institute, School of Ocean and Earth Science and Technology, University of Hawaii at Manoa, Honolulu, USA) (³: Risø National Laboratory, Roskilde, Denmark) (⁴: University of Massachusetts, Amherst, USA) (⁵: Council for the Central Laboratory of the Research Councils, Rutherford Appleton Laboratory, Energy Research Unit, Chilton, UK) (⁶: Beratung für Batterien und Energietechnik, Osterode, Germany)

Köhl, M.; Jorgensen, G.¹; Brunold, S.²;

Carlsson, B.³; Heck, M.; Möller, K.³
»Durability of Polymeric Glazing Materials for Solar Applications«, in: Solar Energy, Vol. 79, Issue 6, December 2005, pp. 618-623

(¹: National Renewable Energy Laboratory, Golden, Colorado, USA) (²: Institut für Solartechnik Prüfung Forschung SPF, Rapperswil, Switzerland) (³: Swedish National Testing and Research Institute, Borås, Sweden)

Luque, A.¹; Marty, A.¹; Bett, A.; Andreev, V.²; Jaussaud, C.³; van Roosmalen, J.⁴; Alonso, J.⁵; Räuber, A.⁶; Strobl, G.⁷; Stolz, W.⁸; Algora, C.¹; Bitnar, B.⁹; Gombert, A.; Stanley, C.¹⁰; Wahnou, P.¹; Conesa, J.¹¹; van Sark, W.¹²; Meijerink, A.¹³; van Klink, G.¹⁴; Barnham, K.¹⁵; Danz, R.¹⁶; Meyer, T.¹⁷; Luque-Heredia, I.¹⁸; Kenny, R.¹⁹; Christodes, C.²⁰; Sala, G.¹; Benitez, P.¹

»FULLSPECTRUM: a New PV Wave Making More Efficient Use of the Solar Spectrum«, in: Solar Energy Materials and Solar Cells, 2005 vol. 87, pp. 467-479

(¹: Instituto de Energia Solar-Universidad Politécnica, Madrid, Spain) (²: Ioffe Physico-Technical Institute, St. Petersburg, Russia) (³: Commissariat à l'Énergie Atomique, Grenoble, France) (⁴: Energy Research Center of the Netherlands, Petten, Netherlands)

(⁵: Isofotón S.A., Málaga, Spain) (⁶: PSE Projektgesellschaft Solare Energiesysteme mbH, Freiburg, Germany) (⁷: RWE Space Solar Power, Heilbronn, Germany) (⁸: Phillips Universität, Marburg, Germany) (⁹: Paul Scherrer Institut PSI, Villigen, Switzerland) (¹⁰: University of Glasgow, Scotland)

(¹¹: Instituto de Catálisis y Petroleoquímica, Madrid, Spain) (¹²: Department of Science, Technology and Society, Copernicus Institute, Utrecht, The Netherlands) (¹³: Department of Chemistry of Condensed Matter, Deby Institute, Utrecht, The Netherlands) (¹⁴: Department of Homogeneous Catalysis and Metal-Mediated Synthesis, Deby Institute, Utrecht, The Netherlands) (¹⁵: Imperial College of Science, Medicine and Technology, London, UK) (¹⁶: Fraunhofer Institut für Angewandte Polymerforschung, Potsdam, Germany) (¹⁷: Solarnox SA, Aubonne, Switzerland) (¹⁸: Inspira S.L., Madrid, Spain) (¹⁹: Joint Research Centre, Institute for Environment and Sustainability, Ispra, Italy) (²⁰: Department of Physics, University of Cyprus, Nicosia, Cyprus)

Macdonald, D.¹; Roth, T.; Deenanpanay, P.N.K.¹; Bothe, K.²; Pohl, P.²; Schmidt, J.²

»Formation Rates of Iron-Acceptor Pairs in Crystalline Silicon«, in: Journal of Applied Physics, Vol. 98 (8) 083509 (2005)

(¹: Australian National University, Canberra, Australia) (²: Institut für Solarenergieforschung, Hameln, Germany)

Nitz, P.; Hartwig, H.¹

»Solar Control with Thermotropic Layers«, in: Solar Energy Journal, Vol. 79, Issue 6, December. 2005

(¹: Technische Universität München, Germany)

Núñez, T.; Mittelbach, W.¹; Henning, H.-M.

»Development of a Small Capacity Adsorption System for Heating and Cooling Applications«, in: International Journal of HVAC&R Research, USA, in press; received 24 February 2005; accepted 25 July 2005, available online 13 September 2005

(¹: Sortech AG, Halle, Germany)

Oszcipok, M.; Riemann, D.; Kronenwett, U.; Kreideweis, M.; Zedda, M.

»Statistic Analysis of Operational Influences on the Cold Start Behaviour of PEM Fuel Cells«, in: Journal of Power Sources, Sonderausgabe February 2005, Vol. 149C, pp. 44-52

Papapetrou, M.; Epp, C.; Teksoy, S.; Sözen, S.; Ortin, V.; Seibert, U.; Vogt, G.

»Market Analysis for Autonomous Desalination Systems Powered by Renewable Energy in Southern Mediterranean Countries. Case study on Turkey«, in: Desalination, 183(1-3), pp. 29-40

Peharz, G.; Dimroth, F.

»Energy Payback Time of the High-Concentration PV System FLATCON«, in: Progress in Photovoltaics: Research and Applications, 13, 2005, pp. 627-634

Pfafferott, J.; Herkel, S.; Wapler, J.

»Thermal Building Behaviour in Summer: Long-term Data Evaluation Using Simplified Models«, in: Energy and Building, 8/2005, Vol. 37, pp. 844-852

Reber, S.; Hurrell, A.; Eyer, A.; Willeke, G.

»Crystalline Silicon Thin-Film Solar Cells – Recent Results at Fraunhofer ISE«, in: Solar Energy, Vol. 77, December 2004, pp. 865-875

Rein, S.; Glunz, S. W.

»Electronic Properties Of Interstitial Iron And Iron-Boron Pairs Determined By Means Of Advanced Lifetime Spectroscopy«, in: Journal of Applied Physics, Vol. 98, Dez. 2005, pp. 113711

Riepe, S.; Buonassisi, T.¹; Istratov, A.¹; Peters, S.; Ballif, C.²; Isenberg, J.; Warta, W.; Schindler, R.; Cai, Z.³; Lai, B.³; Weber, E. R.⁴

»Impact of Metal Silicide Precipitate Dissolution During Rapid Thermal Processing«, in: Applied Physics Letters, Vol. 87 (2005), p. 121918
(¹: University of California and Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, USA) (²: Institut of Microtechnology University Neuchâtel, France) (³: Advanced Photon Source, Argonne, USA) (⁴: Department of Materials Science and Engineering, University of California, Berkeley, USA)

van Riesen, S.; Bett, A. W.

»Degradation Study of III-V Solar Cells for Concentrator Applications«, in: Progress in Photovoltaics: Research and Applications, Vol. 13, (2005), pp.369-380

Sastrawan, R.¹; Renz, J.; Prah, C.; Beier, J.²; Hinsch, A.; Kern, R.
»Interconnecting Dye Solar Cells in Modules – I-V Characteristics Under Reverse Bias«, in: Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry, in press, corrected proof, available online 26 July 2005

(¹: Freiburger Materialforschungszentrum FMF, Freiburg, Germany) (²: Institut für Angewandte Photovoltaik, Gelsenkirchen, Germany)

Sastrawan, R.¹; Beier, J.²; Belledin, U.¹; Hemming, S.³; Hinsch, A.; Kern, R.; Vetter, C.²; Petrat⁵, F.M.; Prodi-Schwab, A.⁵; Lechner, P.⁶; Hoffmann, W.⁶
»A Glass Frit Sealed Dye Solar Cell Module with Integrated Series Connections«, in: Solar Energy Materials and Solar Cells, in press, corrected proof, available online 8 November 2005

(¹: Freiburger Materialforschungszentrum FMF, Freiburg, Germany) (²: Institut für Angewandte Photovoltaik, Gelsenkirchen, Germany) (³: PSE GmbH Forschung, Entwicklung, Marketing), Freiburg, Germany) (⁵: Degussa AG, Creavis, Marl, Germany) (⁶: RWE Schott Solar GmbH, Alzenau, Germany)

Schossig, P.; Henning, H.-M.; Gschwander, S.; Haussmann, T.¹

»Microencapsulated PCM Integrated into Construction Materials«, in: Solar Energy Materials and Solar Cells, Sonderausgabe Eurosun 2004, pp. 297-306
(¹: PSE Projektgesellschaft Solare Energiesysteme mbH, Freiburg, Germany)

Schultz, O.; Glunz, S. W.; Willeke, G. P.
»Multicrystalline Silicon Solar Cells Exceeding 20% Efficiency«, in: Progress in Photovoltaics: Res. Appl., Vol. 12, November 2004, pp. 553-558

Smolinka, T.; Hainen, M.¹; Chen, X. Y.¹; Jusys, Z.¹; Lehnert, W.²; Behm, R. J.¹
»CO₂ Reduction on Pt Electrocatalysts and its Impact on H₂ Oxidation in CO₂ Containing Fuel Cell Feed Gas – A Combined In-Situ Infrared Spectroscopy, Mass Spectrometry and Fuel Cell Performance Study«, in: Electrochimica Acta, ISE 2004 Special Issue, Vol. 50 (2005), pp. 5189-5199

(¹: Universität Ulm, Abteilung Oberflächenchemie und Katalyse, Germany) (²: Zentrum für Solarenergie- und Wasserstoff-Forschung, Germany)

Szolak, R.; Aicher, T.; Ivers-Tiffée, E.¹; Weber, A.¹; König, P.¹; Jörissen, L.²; Kaczerowski, J.²; Lewald, N.³; Brendel, M.³
»Testing and Model-Aided Analysis of a 2kW_{el} PEMFC CHP-System«, in: Journal of Power Sources, 145/2 (2005), pp. 327-335

(¹: IWE, Universität Karlsruhe, Germany) (²: Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoffforschung, Ulm, Germany) (³: Stadtwerke Karlsruhe, Germany)

Vetter, M.
»Erdgasbetriebene Brennstoffzellen-Blockheizkraftwerke im Einfamilienhaus – Simulationsbasierte Entwicklung von Regelstrategien«, in: H2-Tec, August 2005, pp. 7-10

Walze, G.; Nitz, P.; Ell, J.; Georg, A.; Gombert, A.; Hossfeld, W.
»Combination of Microstructures and Optically Functional Coatings for Solar Control Glazing«, in: Solar Energy Materials & Solar Cells, Vol. 89, pp. 233-248

Warta, W.; Green, M. A.; Emery, K.; King, D. L.; Igari, S.
»Solar Cell Efficiency Tables (Version 25)«, in: Progress in Photovoltaics, Vol. 13, January 2005, pp. 49-54

Wittstadt, U.; Wagner, E.; Jungmann, T.
»Membrane Electrode Assemblies for Unitised Regenerative Polymer Electrolyte Fuel Cells«, in: Journal of Power Sources, Vol. 145 (2005), pp. 555-562

Würfel, U.¹; Wagner, J.; Hinsch, A.
»The Spatial Electron Distribution and its Origin in the Nanoporous TiO₂-Network of a Dye Solar Cell«, in: Journal of Physical Chemistry B, Vol. 109 (2005), pp. 20444-20448
(¹: Freiburger Materialforschungszentrum FMF, Freiburg, Germany)

Ziegler, C.; Yu, H.M.; Schumacher, J. O.
»Two-phase Dynamic Modeling of PEMFCs and simulation of cyclo-voltammograms«, in: Journal Electrochemical Society; soc.152 (2005), pp. A1555-A1567

Bücher und Beiträge zu Büchern

Goetzberger, A.; Hoffmann, V. U.
»Photovoltaic Solar Energy Generation«, Springer, Berlin, Heidelberg, New York, 2005 ISBN 3-540-23676-7

Herkel, S.; Wienold, J.; Faasch, T.; Pfafferott, J.; Kuhn, T.; Platzer, W.; Schossig, P.; Nitz, P.; Bühring, A.; Gossauer, E.; Reise, C.; Henning, H.-M.; Wambsganß, M.¹; Voss, K.²; Löhner, G.³; Wagner, A.⁴

»Bürogebäude mit Zukunft. Konzepte, Analyse, Erfahrungen«, März 2005 Bestell-Nr. 90883, TÜV-Verlag GmbH

ISBN 3-8249-0883-2
(¹: ip5 Ingenieurpartnerschaft, Karlsruhe), (²: Bergische Universität Wuppertal), (³: solidar Planungswerkstatt, Berlin), (⁴: Universität Karlsruhe)

Hebling, C.; Yu, H.
»Fuel Cells: Microsystems«, in: Encyclopedia of Materials: Science and Technology, 2005 Elsevier Ltd, pp.1-13 ISBN 0-08-043152-6

Núñez, T.
»Silica Gel/Water Adsorption Heat Pump for Heating and Cooling«, in: International Energy Agency, IEA-Task 32 Handbook, Chapter 3.7.4.5 Sorption, Closed Systems

Núñez, T.
»Closed System: Silica Gel/Water Adsorption Heat Pump for Heating and Cooling«, in: IEA-Task 32 Handbook Thermal Energy Storage for Solar and Low Energy Buildings, State of the Art«, J.-C. Hadorn (ed.), Chapter 12.4.5 Sorption and Thermo-Chemical Storage, ISBN 84-8409-877-X 149-155

Rein, S.
»Lifetime Spectroscopy – A Method of Defect Characterization in Silicon for PV Applications«, in: Springer Series in Materials Science, Volume 85, 489 p., 153 illus., June 2005 ISBN 3-540-25303-3

Reise, Ch.
Kurseinheit »Einführung zu regenerativen Energiequellen«, Lehrbrief für den Weiterbildenden Fernstudiengang Energiemanagement, Universität Koblenz-Landau, 2005

Reise, Ch.
Kurseinheit »Photovoltaik«, Lehrbrief für den Weiterbildenden Fernstudiengang Energiemanagement, Universität Koblenz-Landau, 2005

Redaktion

Rosemarie Becker
Karin Schneider (Leitung)
Presse und Public Relations

Externe Fotografen

Michael Eckmann, Freiburg
Sigrid Gombert, Freiburg
Eisenhart Keimeyer, Freiburg
Guido Kirsch, Freiburg
Joscha Rammelberg, Freiburg
Sabine Schnell, Freiburg
Volker Steger, München

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, 2006

Die Fraunhofer Gesellschaft

Die Fraunhofer-Gesellschaft betreibt anwendungsorientierte Forschung zum direkten Nutzen für Unternehmen und zum Vorteil der Gesellschaft. Vertragspartner und Auftraggeber sind Industrie- und Dienstleistungsunternehmen sowie die öffentliche Hand. Im Auftrag und mit Förderung durch Ministerien und Behörden des Bundes und der Länder werden zukunftsrelevante Forschungsprojekte durchgeführt, die zu Innovationen im öffentlichen Nachfragebereich und in der Wirtschaft beitragen.

Mit technologie- und systemorientierten Innovationen für ihre Kunden tragen die Fraunhofer-Institute zur Wettbewerbsfähigkeit der Region, Deutschlands und Europas bei. Dabei zielen sie auf eine wirtschaftlich erfolgreiche, sozial gerechte und umweltverträgliche Entwicklung der Gesellschaft.

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.

Die Fraunhofer-Gesellschaft betreibt derzeit rund 80 Forschungseinrichtungen, davon 58 Institute, an über 40 Standorten in ganz Deutschland. Rund 12 500 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, überwiegend mit natur- oder ingenieurwissenschaftlicher Ausbildung, bearbeiten das jährliche Forschungsvolumen von über 1 Milliarde €. Davon fallen mehr als 900 Millionen € auf den Leistungsbereich Vertragsforschung. Rund zwei Drittel dieses Leistungsbereichs erwirtschaftet die Fraunhofer-Gesellschaft mit Aufträgen aus der Industrie und mit öffentlich finanzierten Forschungsprojekten. Ein Drittel wird von Bund und Ländern beigesteuert, auch um damit den Instituten die Möglichkeit zu geben, Problemlösungen vorzubereiten, die in fünf oder zehn Jahren für Wirtschaft und Gesellschaft aktuell werden.

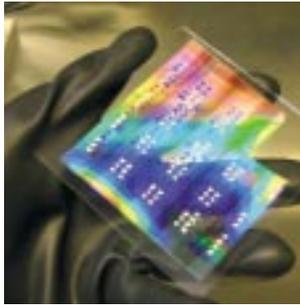
Niederlassungen in Europa, in den USA und in Asien sorgen für Kontakt zu den wichtigsten gegenwärtigen und zukünftigen Wissenschafts- und Wirtschaftsräumen.

Mitglieder der 1949 gegründeten und als gemeinnützig anerkannten Fraunhofer-Gesellschaft sind namhafte Unternehmen und private Förderer. Von ihnen wird die bedarfsorientierte Entwicklung der Fraunhofer-Gesellschaft mitgestaltet.

Namensgeber der Gesellschaft ist der als Forscher, Erfinder und Unternehmer gleichermaßen erfolgreiche Münchner Gelehrte Joseph von Fraunhofer (1787-1826).

Fraunhofer-Gesellschaft
Presse- und Öffentlichkeitsarbeit
Postfach 20 07 33
80007 München
www.fraunhofer.de

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