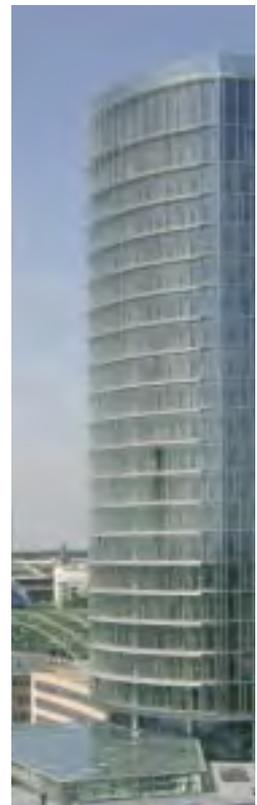




Fraunhofer Institut
Solare Energiesysteme

Jahresbericht 2006

Leistungen und Ergebnisse



links

Durchkontaktierte organische Solarzelle auf einem flexiblen Substrat. Die Verschaltung der Solarzelle über Löcher erlaubt den Einsatz kostengünstiger transparenter Elektroden mit geringer Flächenleitfähigkeit. Dieses Solarzellenkonzept vereint die Ansprüche an kostengünstige Materialien und eine effiziente Herstellbarkeit im Rolle-zu-Rolle Verfahren (Beitrag S. 62).

mitte

Diffusionsöfen im Photovoltaik Technologie Evaluationscenter PV-TEC. Das weltweit einzigartige Dienstleistungszentrum für die Solarzellenindustrie wurde im März 2006 im Beisein von Bundesumweltminister Sigmar Gabriel eingeweiht. Das BMU hat die Einrichtung mit gut 11 Mio € gefördert. Auf 1200 m² Fläche bietet PV-TEC Forschung, Entwicklung und Service im Produktionsmaßstab und hilft so, den Technologietransfer in die Industrie zu beschleunigen. Solarzellen-, Wafer- und Modulhersteller sowie Anlagenbauer können hier Prozesse, Materialien und Anlagen analysieren und weiterentwickeln (Beitrag S. 56).

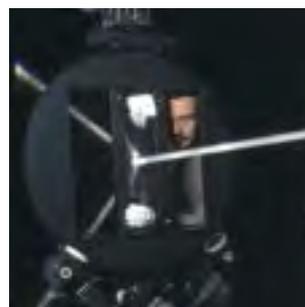
rechts

Hochhaus »Köln Triangle«: Zur Erhöhung der Planungssicherheit prüfte das Fraunhofer ISE im Auftrag der Firma Züblin den g-Wert der komplexen Fassade. Geprüft wurde im Thermisch Optischen Prüflabor, das seit 2006 nach DIN EN ISO IEC 17025 akkreditiert ist. Die international anerkannte Akkreditierung der Prüfkompetenz umfasst nicht nur genormte Prüfverfahren, sondern auch im Fraunhofer ISE entwickelte und über den Stand der Technik hinausgehende Prüfverfahren. Im abgebildeten Beispiel erfolgte die kalorimetrische Prüfung des g-Werts sowie die Bestimmung effektiver g-Werte. Der Übergang zu effektiven g-Werten erlaubt die Einbeziehung von unterschiedlichen Nutzerprofilen unter Berücksichtigung von direkter und diffuser Einstrahlung
Architekten: Gatermann und Schossig (Beitrag S. 24).
Bild: Ed. Züblin AG, Köln

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

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

Vorwort	6		
Kuratorium	8	Das Institut in Zahlen	13
Institutsleiterwechsel	9	FuE-Höhepunkte des Jahres 2006	14
Organisationsstruktur	10	»Perspektiven für Zukunftsmärkte«	15
Das Institut im Profil	12	Ehrungen und Preise	16



Gebäude und technische Gebäudeausrüstung	18	Optische Komponenten und Systeme	34
- Modellbasierte Betriebsanalyse von Gebäuden	22	- Selektive Absorberschichten und Sekundärspiegel für solarthermische Kraftwerke	38
- Aktive Solarfassaden	23	- Schaltbare Spiegel mit Magnesium-Nickel-Schichten	40
- Nutzerfreundlicher und zuverlässiger Sonnenschutz	24	- Hochfrequente Gitter für optische Anwendungen	41
- Wärmeträgerflüssigkeiten auf der Basis von Paraffin-Wasser-Emulsionen	25	- Sonnenschutzverglasungen auf der Basis mikrostrukturierter Oberflächen	42
- Kühlung mit aktiv durchströmten Bauteilen und integriertem Latentwärmespeicher	26		
- Sorptionsgestützte Klimatisierung mit flüssigen Sorbentien	28		
- Wärmepumpen für hohe Energieeffizienz in Wohngebäuden	29		
- Mit Strömungssimulationen zu besserer Haustechnik	30		
- Neuer Teststand zur Entwicklung von Prozesswärmekollektoren	31		
- Adsorptionstechnik zum Heizen und Kühlen: Materialien, Komponenten, Systeme	32		



Solarzellen

- Drahtsägen von dünnen multikristallinen Siliciumwafern 48
- Erzeugung lokaler Hochdotierung durch LCE-Verfahren 49
- In-situ Epitaxie von Emitttern für kristalline Silicium-Dünnschicht-solarzellen 50
- Physikalische Gasphasenabscheidung für kristalline Siliciumsolarzellen 51
- Neue Verfahren zur Herstellung von Solarzellenkontakten 52
- Industriell herstellbare hocheffiziente Siliciumsolarzellen 54
- Kontaktierung dünner Solarzellen 55
- Photovoltaik Technologie Evaluationscenter PV-TEC 56
- Hochauflösende Kurzschlussstromtopographie am Labor- und Servicecenter Gelsenkirchen 58
- Qualifizierung von Silicium-Ausgangsmaterial durch Untersuchung der Haftstellenverteilung 59
- Untersuchungen und Entwicklungsarbeiten an Weltraumsolarzellen 60
- Hocheffiziente Produktion von solarem Wasserstoff 61
- Organische Solarzellen für mobile energieautarke Systeme 62

44

Netzunabhängige

Stromversorgungen

- »EVEREST« versorgt Messstationen zuverlässig mit Strom 68
- Kostenoptimiertes Energiemanagement für autarke Photovoltaik-Hybridsysteme 70
- Photovoltaik-Dorfstromversorgung für Mittelmeeraanrainerstaaten 71
- Private-Public-Partnership zur ländlichen Elektrifizierung in Mekong-Staaten 72
- Monitoring dezentraler PV-betriebener Wasseraufbereitungssysteme in Laos 74
- Autarke Anlagen zur solaren Meerwasserentsalzung im realen Betrieb 75

64



Regenerative Stromerzeugung im Netzverbund

- »Performance«: Spielregeln für einen transparenten Photovoltaik-Markt	76
- Ertragsoptimierung bei netzgekoppelten Photovoltaik-Anlagen	80
- Zuverlässigkeit und Beständigkeit von Photovoltaik-Modulen	81
- Diodenfreie Bypassschaltung für Solarmodule	82
- Aktives Management von dezentralen Stromerzeugungsanlagen	83
- Realisierung eines virtuellen Kraftwerks	84
- Unterstützung für Kommunen bei der Implementierung Erneuerbarer Energien	85
- Weiterentwicklung und Demonstration des Linearen Fresnel-Kollektors	86
	87



Wasserstofftechnologie

88

- Planare Direktmethanolbrennstoffzellen	92
- Brennstoffzellen für Robotiksysteme	93
- Modellbasiertes Design von Brennstoffzellensystemen	94
- Tragbarer Wasserstoff – Der Wasserstoffherzeuger für unterwegs	96
- Portabler PEM-Druckelektrolyseur zur dezentralen Wasserstoffversorgung	98
- Vom Diesel zum Synthesegas	99



Fakten im Überblick

Servicebereiche	100	Gastwissenschaftler	110
- ISE CallLab: Kalibrieren von Solarzellen und Modulen	104	Mitarbeit in Gremien	110
- Testzentrum für Photovoltaik (TZPV)	105	Kongresse, Tagungen und Seminare	112
- Charakterisierung und Qualifizierung von elektrischen Komponenten	106	Messebeteiligungen	112
- Messen und Prüfen von Lüftungsgeräten	106	Vorlesungen und Seminare	113
- Prüfzentrum für Thermische Solaranlagen (PZTS)	107	Promotionen	113
- Vermessung von Fassaden und transparenten Bauteilen	108	Patente	114
		Pressearbeit	116
		Veröffentlichungen in rezensierten Zeitschriften	117
		Vorträge	118
		Veröffentlichungen	124
		Impressum	132

Ein Höhepunkt des Jahres 2006 für das ISE war sicherlich die Einweihung des Photovoltaik Technologie Evaluationscenters PV-TEC in Anwesenheit von Minister Gabriel. Der »Druck auf den roten Knopf« wurde von einer beeindruckenden Anzahl hochrangiger Gäste aus Industrie, Wissenschaft und Politik begleitet. Die perfekte Realisierung des Projekts in Rekordzeit fand das einhellige Lob aller Beteiligten. Bedanken möchte ich mich nachträglich noch einmal: für die Finanzierung beim BMU, für die inhaltliche Beratung bei der Photovoltaikindustrie und für die Realisierung bei unserer Abteilung SWT und der technischen Infrastrukturgruppe des ISE. Wie geplant ist PV-TEC bereits heute und in den nächsten Jahren durch Industrieaufträge (2/3) und ISE-Forschung (1/3) voll ausgelastet.



Die innovativen FuE-Leistungen von PV-TEC liegen zu etwa gleichen Teilen in den Bereichen der Zellentechnologie und der PV-Produktionsverfahren.

Ergänzt wird PV-TEC durch die neuen Anstrengungen des ISE in den Bereichen Wafertechnologie und Modultechnologie. Zur Wafer-technologie wurde bereits Ende 2005 ein neuer Marktbereich eingerichtet. Für den Modulbereich konnten Anfang 2006 die Finanzmittel zur Einrichtung eines Technikums bereitgestellt werden. Diese Anlage ist mittlerweile unter der engagierten Leitung von Herrn Dr. Harry Wirth operational.

Hervorheben möchte ich auch die erfolgreiche konzertierte Akkreditierung von vier Messlabors: Testzentrum für Photovoltaik, Thermisch-Optisches Prüflabor, Kalibrierlabor für Photovoltaikmodule und Kalibrierlabor für Solarzellen. Damit ist das ISE nun im Bereich Kalibrierung und Qualitätssicherung hervorragend aufgestellt.

Für die Leitung unserer Abteilung EES konnten wir zum 1. März 2006 Herrn Dr. Günther Ebert gewinnen. Herrn Dr. Wittwer möchte ich an dieser Stelle – auch im Namen der Abteilung – herzlich dafür danken, dass er in der Übergangszeit die Zusatzbelastung der kommissarischen Abteilungsleitung auf sich genommen hat.

Für mich persönlich war es eine besondere Freude, dass ich zusammen mit dem ISE – einige Tage vor Ablauf meiner Amtszeit – das 25jährige Bestehen des Instituts im Rahmen der »4. Freiburger Solarnacht« feiern konnte. Sowohl mein Vorgänger Herr Prof. Goetzberger als auch mein Nachfolger Herr Prof. Weber waren anwesend. Es war ein rauschendes Fest! Auch an dieser Stelle unserer »Presse und Public Relations« nochmals den allerherzlichsten Dank für die Ausrichtung dieser Feste.

Dem gesamten ISE, meinem Nachfolger und allen Freunden unseres Instituts wünsche ich eine sonnige Zukunft.

Am 1. Juli 2006 übernahm ich die Leitung des Fraunhofer ISE aus den Händen von Prof. Luther, und ich kann mit Freude feststellen, dass ich das Institut in einem sehr guten Zustand vorfand. Angesichts der sich abzeichnenden Klimakatastrophe sowie der Versorgungsknappheiten der fossilen Brennstoffe wird die Arbeit des ISE auf den Gebieten Erzeugung von Solarenergie und Verbesserung der Energieeffizienz in den nächsten Jahren national und international von größter Bedeutung sein. Ich bin sicher, dass das ISE zu diesen Themen einen wichtigen Beitrag nicht nur in Forschung und Entwicklung leisten wird, sondern besonders auch im Transfer innovativer Technologien in die praktische Anwendung.

Die Aufgabe der Leitung gerade eines Fraunhofer-Instituts war für mich besonders interessant, da diese Institute bei nur geringer Grundfinanzierung – im Fall des ISE im Jahr 2006 unter 20% des Gesamtbudgets – die erforderlichen Mittel in Form von Projekten im Wettbewerb mit anderen Instituten und Forschungsgruppen einwerben, und gerade solcher Wettbewerb ist es, der nach meiner Erfahrung in den USA die Kreativität stimuliert. Das ISE wird sicher auch unter meiner Leitung weiterhin bemüht sein, der Industrie als ein verlässlicher Partner innovative Technologien anzubieten.

Das Institut ist im letzten Jahr wieder um sehr erfreuliche ca. 10% gewachsen und hat jetzt insgesamt fast 500 Mitarbeiter bei einem Budget von ca. 29 Millionen Euro. Herr Luther hat in seinem Beitrag bereits einige der hervorragenden Leistungen des Instituts in diesem Jahr beschrieben, die ja im Wesentlichen noch auf seiner Leitung bis Mitte des Jahres beruhen. Weitere besondere Erfolge des Instituts sind auf Seite 14 zusammengefasst. Ich möchte allerdings diese Gelegenheit nutzen, Prof. Dr. Willeke zu seiner Ernennung zum Professor in Konstanz zu gratulieren, wo er bereits seit mehreren Jahren zahlreiche Doktoranden des ISE betreut.

Für die Zukunft des ISE sehe ich eine wichtige Aufgabe darin, die sich in Deutschland sehr schnell entwickelnde Industrie im Bereich der erneuerbaren Energien durch ortsnahe ausgegründete Gruppen und Abteilungen zu unter-

stützen. Diese Labors dienen nicht nur der Forschung an den Themen, die in der jeweiligen Region besonders wichtig erscheinen, sondern werden auch in der Ausbildung von Studenten aktiv sein, die dann an regionalen Firmen in dieser Branche interessante Stellungen erhalten können. Beispiele für diese Ausgründungen sind das Labor und Servicecenter LSC in Gelsenkirchen/NRW und das Technologiezentrum Halbleitermaterialien THM in Freiberg/Sachsen (zusammen mit dem Fraunhofer IISB Erlangen).

Ein mir besonders wichtiges Thema unserer zukünftigen Arbeit auf dem Gebiet der Photovoltaik soll auf der einen Seite die weitere Verbesserung der Effizienz von Solarzellen aus kristallinem Silicium sowie aus III-V-Heterostrukturen sein, sowie die Entwicklung von guten Solarzellen aus gereinigtem metallurgischem Silicium »dirty Si«, ein Projekt, das zum Teil auch auf meinen Arbeiten in Berkeley basiert. Mit dieser Entwicklung wollen wir nicht nur der augenblicklichen Knappheit von Reinstsilicium für die PV-Industrie begegnen, sondern langfristig zur wesentlichen Senkung der Kosten von Solarenergie sowie der zur Herstellung von Solarzellen erforderlichen Energie beitragen.

Alle diese Leistungen werden nur durch die weitere, hervorragende Arbeit der Mitarbeiter des Instituts möglich sein, für die ich allen Mitarbeitern ausdrücklich danken möchte. Mein Dank schließt auch unsere Kuratoren ein, die im November zu einer ersten Sitzung unter meiner Leitung kamen und die mir zum Abschluss der Sitzung ausdrücklich zu der Qualität und dem Enthusiasmus der ISE-Mitarbeiter gratulierten. Schließlich möchte ich auch unseren Auftraggebern aus Industrie, Ministerien sowie der Europäischen Union für die kontinuierliche Unterstützung unserer Arbeit danken. Ich erwarte, dass die nächsten Jahre besonders im Arbeitsgebiet des ISE sehr spannend sein werden, und es wird mir eine große Freude sein, das Institut in dieser Zeit zu leiten.



Das Kuratorium begutachtet die Forschungsprojekte und berät die Institutsleitung und den Vorstand der Fraunhofer-Gesellschaft bezüglich des Arbeitsprogramms des Fraunhofer ISE.
Stand: 24.11.2006

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 Forschungs- und Produktions AG,
Erfurt

Dipl.-Phys. Jürgen Berger

VDI/VDE-IT Innovation+Technik GmbH, Berlin

Dr. Robert Brunner

Carl Zeiss AG, Jena

Dr. Gerd Eisenbeiß

Forschungszentrum Jülich GmbH, Jülich

Dr. Frank Güntert

Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg,
Stuttgart

Peter Hertel

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

Prof. Thomas Herzog

Technische Universität München, München

Dr. Winfried Hoffmann

SCHOTT Solar GmbH, Alzenau

Dr. Holger Jürgensen

Aixtron AG, Aachen

Dr. Franz Karg

Avancis GmbH, München

Prof. Werner Kleinkauf

Gesamthochschule Kassel, Kassel

Ministerialrat Dr. Knut Kübler

Bundesministerium für Wirtschaft und
Technologie (BMWi), Berlin

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

Dipl.-Ing. Rainer Schild

Vaillant GmbH, Remscheid

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



Prof. Joachim Luther

»Auf zu neuen Ufern« – so lautete das Motto der Abschiedsveranstaltung für Prof. Joachim Luther am 15. September 2006 im Freiburger Konzerthaus. 350 internationale Gäste aus Wissenschaft, Industrie und Politik nahmen an Festakt, Symposium und einer festlichen Abendveranstaltung teil. Joachim Luther hatte zum 1. Juli die Leitung des Fraunhofer-Instituts für Solare Energiesysteme ISE an seinen Nachfolger Prof. Eicke R. Weber abgegeben. Fraunhofer-Präsident Prof. Hans-Jörg Bullinger sprach anlässlich der Abschiedsfeier vom »Glücksfall Luther« für die Fraunhofer-Gesellschaft. Dank seiner Leistungen könne die inzwischen boomende Nachfrage nach Solartechnologien in weiten Bereichen mit Fraunhofer-Know-how bedient werden. Stellvertretend für Joachim Luthers umfangreiches Wirken im Bereich der Erneuerbaren Energien sei die vierjährige Tätigkeit für den »Wissenschaftlichen Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen« genannt. Für seine Leistungen bei der Erforschung und Markteinführung solarer Energiesysteme zeichnete ihn die Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU) im vergangenen Jahr mit dem Umweltpreis 2005 aus. An der Universität Freiburg hielt Prof. Luther beliebte Vorlesungen und Seminare zu den Grundlagen solarer Energiekonversion und initiierte eine Arbeitsgruppe zur Erforschung von Farbstoffsolarzellen und organischen Solarzellen. Innerhalb der Fraunhofer-Gesellschaft nahm Joachim Luther als Mitglied des Senats sowie des European Advisory Board und als Vorsitzender der Hauptkommission des Wissenschaftlich-Technischen Rates zentrale Funktionen wahr.

Das Motto der Einladungskarte zur Verabschiedung bringt zum Ausdruck, dass Joachim Luther mit dem Lebensalter 65 keinesfalls das Wort Ruhestand verknüpft. Er wird weiterhin als Berater sowohl der Industrie, der Bundesregierung als auch des Fraunhofer ISE und in mehreren internationalen Gremien für die Solarenergie aktiv sein. Die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des Fraunhofer ISE möchten sich auch an dieser Stelle noch einmal herzlich für zwölfjährig erfolgreiche und ereignisreiche Jahre bedanken und wünschen Joachim Luther alles Gute für seinen neuen Lebensabschnitt.

Ein Willkommensgruß gilt dem neuen Institutsleiter Prof. Eicke R. Weber. Nach 23 Jahren Forschung in den USA kam er zurück nach Deutschland, um am 1. Juli 2006 die Leitung des Fraunhofer ISE zu übernehmen. Der Physiker Eicke R. Weber lehrte seit 1983 Materialwissenschaften an der University of California in Berkeley und hat sich weltweit einen Namen als Materialforscher für Defekte in Silicium und III-V-Halbleitern gemacht. Ein daraus resultierendes Ergebnis ist die Idee, auch gereinigtes, metallurgisches Silicium »dirty silicon« für die Herstellung von Solarzellen zu verwenden.

Gleichzeitig mit der Leitung des Fraunhofer ISE übernimmt Eicke Weber den Lehrstuhl für Angewandte Physik, Solarenergie an der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg. Prof. Weber wurde mit zahlreichen Preisen ausgezeichnet. 1994 erhielt er den Alexander von Humboldt Preis. Er war Gründungspräsident des Berkeley Chapters der Alexander von Humboldt Association of America (AvHAA) und 2001–2003 deren Präsident. Seit vielen Jahren setzt er sich intensiv für den Brückenschlag Deutschland – USA ein. So ist er Gründungspräsident der 2003 entstandenen German Scholars Organization (GSO), einer Vereinigung von im Ausland lebenden deutschen Wissenschaftlern, besonders mit dem Ziel, Kontakte zu potenziellen Arbeitgebern in Deutschland in Industrie, Forschungsinstituten und Universitäten herzustellen. Im Juni 2006 erhielt Prof. Weber das Bundesverdienstkreuz am Bande.



Prof. Eicke R. Weber
Bild: Photon

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

Die 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. Dr. Eicke R. Weber Prof. Dr. Joachim Luther (bis 30.6.2006)	
Stellvertretende Institutsleitung	Priv. Doz. Dr. Volker Wittwer	
Abteilungen	Elektrische Energiesysteme Dr. Günther Ebert	+49 (0) 7 61/45 88-52 29
	Energietechnik Dr. Christopher Hebling	+49 (0) 7 61/45 88-51 95
	Materialforschung und Angewandte Optik Priv. Doz. Dr. Andreas Gombert	+49 (0) 7 61/45 88-59 83
	Solarzellen – Werkstoffe und Technologie Prof. Dr. Gerhard Willeke	+49 (0) 7 61/45 88-52 66
	Thermische Anlagen und Gebäudetechnik Dr. Hans-Martin Henning	+49 (0) 7 61/45 88-51 34
Kaufmännische und Technische Dienste	Dipl.-Kaufm. Wolfgang Wissler	+49 (0) 7 61/45 88-53 50
Presse und Public Relations	Karin Schneider M.A.	+49 (0) 7 61/45 88-51 47
Strategieplanung	Dr. Thomas Schlegl	+49 (0) 7 61/45 88-54 73





Die Bilder zeigen den neuen und den 2006 verabschiedeten Institutsleiter sowie den stellvertretenden Institutsleiter des Fraunhofer ISE, die Leiter der wissenschaftlichen Abteilungen und den Kaufmännischen Leiter.

Eicke R. Weber, Joachim Luther, Volker Wittwer
Christopher Hebling, Hans-Martin Henning, Andreas Gombert
Gerhard Willeke, Günther Ebert, 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 FuE-Markt auf.

Die Mitgliedschaften des Fraunhofer ISE:

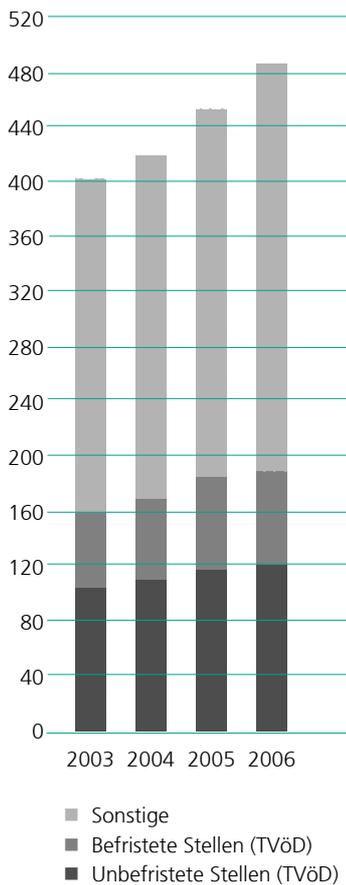
- Mitglied im Institutsverbund »Werkstoffe, Bauteile« (Materialforschung)
- Gastmitglied im Institutsverbund »Oberflächentechnik und Photonik«
- Mitglied im Themenverbund »Energie«
- Mitglied im Themenverbund »Nanotechnologie«
- Mitglied der Allianz »Optisch funktionale Oberflächen«

Das Fraunhofer ISE koordiniert das Fraunhofer-Innovationsthema »Mikroenergietechnik« im Rahmen der »Perspektiven für Zukunftsmärkte« (Beitrag Seite 15).

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

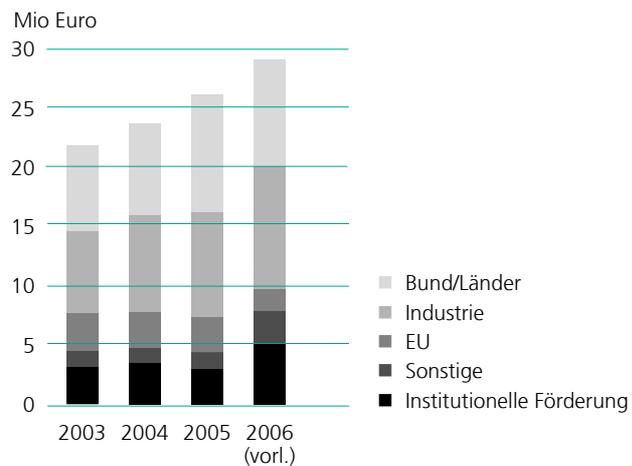
Personal



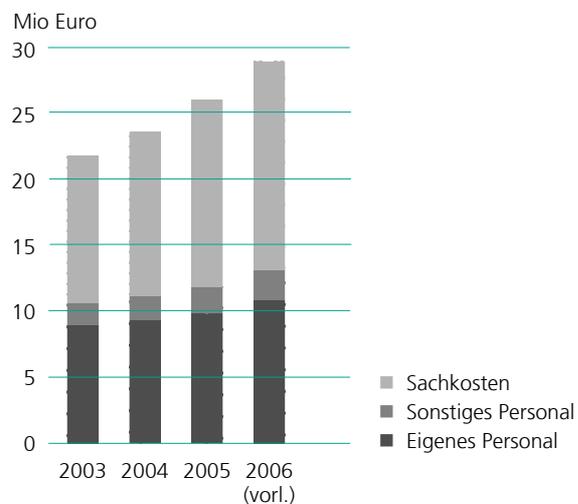
Eine wichtige Stütze des Instituts bilden die »sonstigen« Mitarbeiter, welche die Arbeit in den Forschungsprojekten unterstützen und so wesentlich zu den erzielten wissenschaftlichen Ergebnissen beitragen. Im Dezember 2006 waren dies 62 Doktoranden, 66 Diplomanden, 28 Praktikanten, 4 Auszubildende sowie 137 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 2006 Investitionen in Höhe von 3,7 Mio € (dazu kommen 12,8 Mio € aus dem BMU-Investitionsprojekt PV-TEC, welches in den Jahren 2005 und 2006 realisiert wurde).

Die Finanzstruktur der Fraunhofer-Gesellschaft unterscheidet zwischen dem Betriebs- und dem Investitionshaushalt. Der Betriebshaushalt umfasst alle Personal- und Sachaufwendungen sowie deren Finanzierung durch externe Erträge und institutionelle Förderung. Der integrierte Finanzplan der Fraunhofer-Gesellschaft erlaubt die Mittelbewegung zwischen beiden Haushalten.

Forschung und Entwicklung

- Teststand für Wirkungsgradkennlinienmessung bei Kollektortemperaturen bis 200 °C aufgebaut
- Drei neuartige Kompaktanlagen für die solarthermische Meerwasserentsalzung mit einer Tagesproduktion von 100 Litern sowie zwei größere Zweikreisanlagen mit 1000 Litern pro Tag erfolgreich installiert und in Betrieb genommen (Standorte: Jordanien, Marokko, Ägypten und Spanien)
- Solarkollektoren für die Integration in Fassaden entwickelt, die bei unterschiedlicher Farbgebung und gleichzeitig hoher Energieeffizienz neue Perspektiven für die architektonische Gestaltung bieten
- Inbetriebnahme und Akkreditierung des Testzentrums für Photovoltaik
- Akkreditierung des Thermisch-Optischen Prüflabors
- Wärmedämmverbundsystem mit Vakuumisulationspaneelen gemeinsam mit Industriepartner maxit entwickelt und erfolgreich im Standsicherheitstest an einer Prüfwand getestet
- Demonstrations-Fresnelkollektor wird in Kooperation mit MAN/SPG in Almería gebaut
- Durchkontaktierte organische Solarzellen und monolithisch verschaltete Module erstmals hergestellt
- Farbstoffsolarzellenmodule mit ansprechendem optischen Design realisiert
- In-situ Abscheidung eines epitaktischen Emitters für kristalline Silicium-Dünnschicht-solarzellen mit vergleichbarer Performance, aber weniger als 1/10 der Prozesszeit eines Standardemitters
- Ersten Prototyp eines HyCon® Konzentrators zur direkten Umwandlung von Sonnenlicht in Wasserstoff mit einem Wirkungsgrad von 18% demonstriert
- FLATCON® Konzentratormodule erreichen im Betrieb über 27% Wirkungsgrad
- Strahlungsharte 3- und 5fach Weltraum-Kaskadensolarzellen auf der Basis der III-V-Halbleiter entwickelt
- Weltweit erster dicht gepackter Konzentratoren-Photovoltaikreceiver – mit einer Größe von 10x10 cm² und ausgelegt für eine 1000fache Sonnenkonzentration – erfolgreich im Feld getestet
- Neue zweistufige Kontaktierungsverfahren für Siliciumsolarzellen mit hohem Wirkungsgradpotenzial entwickelt
- Erfolgreiche Herstellung von 70 µm dünnen 125x125 mm² multikristallinen Siliciumwafern durch optimiertes Drahtsägen
- Photovoltaik Technologie Evaluationscenter PV-TEC erfolgreich in Betrieb genommen. Basisprozesse für die Formate 125x125 mm², 156x156 mm² und 210x210 mm² wurden eingerichtet. Auf multikristallinem Silicium werden Wirkungsgrade bis 16% und auf monokristallinem Silicium bis 17% erreicht
- Modul-Technikum zur Ergänzung des PV-TEC in Betrieb genommen
- Unter Verwendung von amorphem Silicium als Passivierung und lokal laserlegierten Rückseitenkontakten konnten Hocheffizienz-solarzellen mit einem Wirkungsgrad von 21,7% hergestellt werden
- Diodenfreie Bypassschaltung für Solarmodule ermöglicht Verzicht auf aufwändige Kühlmaßnahmen auch bei hohen Modulströmen
- Indoor-Modulmessungen im ISE-Kalibrierlabor erlauben eine Genauigkeit von +/-2%
- ISE-Modulkalibrierlabor erhält den Status eines akkreditierten Labors
- Photovoltaik-Hybridstromversorgungen beliefern geowissenschaftliche Messstationen auf dem Gelände des Umweltbundesamts am Schauinsland zuverlässig mit Strom
- Neues, patentiertes Verfahren zur Katalytischen Partiellen Oxidation (CPO) reformiert Diesel ohne Rußbildung
- Planare, selbstatmende und methanolbetriebene Mikrobrennstoffzelle im Komplettsystem (2 W_{el}) erfolgreich demonstriert
- Portabler, vollautomatisierter Elektrolyseur zur Wasserstofferzeugung (100 NI/h bei 10 bar) im Feldtest erprobt
- Vollständig automatisiertes, reversibles Brennstoffzellensystem für eine autonome Stromversorgung entwickelt und erfolgreich getestet



Power To Go – Energie für Unterwegs

»Perspektiven für Zukunftsmärkte«: Mikroenergie-technik

Mit der Zielsetzung, die heimische Wirtschaft zu fördern und den Standort Deutschland zu stärken, hat die Fraunhofer-Gesellschaft nationale und internationale Forschungstrends untersucht, Roadmaps internationaler Unternehmen ausgewertet und in einem Portfolioprozess die besonderen Kompetenzen und Stärken der Fraunhofer-Institute herausgearbeitet. Als Ergebnis dieses Prozesses wurden zwölf Technologiefelder mit besonders hohem marktrelevanten Innovationspotenzial identifiziert.

Eines dieser zwölf Themen, die unter dem Leitmotiv »Perspektiven für Zukunftsmärkte« für die Fraunhofer-Gesellschaft eine besondere strategische Bedeutung haben, ist der Forschungsschwerpunkt »Mikroenergie-technik«. Hierbei werden insbesondere Technologien zur effizienten Energiewandlung im niedrigen Leistungsbereich, der elektronischen Energiespeicherung, der Energieübertragung sowie des Energiemanagements verfolgt. Die Entwicklungen zielen auf optimierte Energiesysteme zur Verlängerung der Betriebszeiten netzferner betriebener elektronischer Geräte.

Antrieb für diese Entwicklungen ist der Trend, dass tragbare elektronische Geräte mit jeder neuen Produktgeneration leistungsfähiger werden, der Energieverbrauch zusätzlicher Funktionsmerkmale jedoch zu einer merklichen Verkürzung der Nutzungsdauer führt.

Wandlertechnologien, die Energie ihrer lokalen Umgebung wie Licht, Wärme oder Bewegung in elektrische Energie umwandeln, sind Photovoltaik, Thermoelektrik und Piezoelektrik. Subsumiert werden diese unter dem Begriff »Energy Harvesting«, also dem passiven »Ernten« von Energie. Zudem gibt es Wandlertechnologien wie Mikrobrennstoffzellen oder Mikroturbinen, die aktiv mit einem chemischen Energieträger betrieben werden.

Das Fraunhofer ISE koordiniert die FuE-Aktivitäten von zehn Fraunhofer-Instituten in diesem hochattraktiven Themenschwerpunkt, um einer-



Der Präsident der Fraunhofer-Gesellschaft Prof. Hans-Jörg Bullinger eröffnet das Fraunhofer-Symposium Mikroenergie-technik in Berlin.

seits dessen wirtschaftliches Potenzial zu adressieren und andererseits gemeinsam mit innovationsbereiten Industriekunden die Ergebnisse in den Markt zu überführen.

Neben einer Vielzahl von gemeinsamen Auftritten auf Industriemessen und Konferenzen hat das Fraunhofer ISE im Oktober 2006 in Berlin das »Fraunhofer-Symposium Mikroenergie-technik« unter dem Leitmotiv »Power To Go« durchgeführt. Auf dem vom Präsidenten der Fraunhofer-Gesellschaft Prof. Bullinger eröffneten Workshop präsentierten und diskutierten 120 internationale Teilnehmer und Referenten den Stand der Technologie und stellten diesen den Anforderungen verschiedener Industriebranchen gegenüber.

Auf Grund des großen Erfolgs dieser Veranstaltung wird vom 27.–29. November 2007 in Freiburg das zweite Symposium »Mikroenergie-technik« stattfinden, das gemeinsam mit dem erstmals in Europa stattfindenden »PowerMEMS« Workshop veranstaltet wird.

Weiterführende Informationen zu diesen Veranstaltungen finden Sie unter:
www.microenergy-technology.com
www.powermems.org

Dr. Christopher Hebling



Oben: Dr. Oliver Schultz; Rede bei der Preisverleihung zum Einstein-Award für Nachwuchsforscher 2006 (Foto: SolarWorld AG).

Links: Dr. Benedikt Bläsi; einer der »Hundert Köpfe von morgen« (Foto: Niels Starnick/Bild am Sonntag).

In Anerkennung seiner besonderen Verdienste um die Fraunhofer-Gesellschaft erhielt Prof. Joachim Luther die **Fraunhofer-Münze**. Fraunhofer-Präsident Prof. Hans-Jörg Bullinger ehrte den ehemaligen Leiter des Fraunhofer ISE mit dieser selten vergebenen Auszeichnung anlässlich seiner Abschiedsfeier.

Prof. Eicke R. Weber, seit 1. Juli 2006 neuer Institutsleiter des Fraunhofer ISE, bekam am 16.6.2006 das **Bundesverdienstkreuz am Bande** verliehen, überreicht durch den Generalkonsul in San Francisco.

Dr. Benedikt Bläsi wurde im Rahmen der 2006 gestarteten Initiative »Deutschland – Land der Ideen« zu einem der »**100 Köpfe von morgen**« gewählt.

Dr. Oliver Schultz erhielt im September in Dresden den von der SolarWorld vergebenen **Einstein-Award für Nachwuchsforscher 2006**. Außerdem wurde er als einer von »**Elf der Wissenschaft**« ausgewählt, die kurz nach dem Start der Fußballweltmeisterschaft von der Zeitschrift »Bild der Wissenschaft« und dem Stifterverband für die Deutsche Wissenschaft präsentiert wurden.

Dr. Andreas Schmitz wurde mit dem **Innovationspreis des Deutschen Wasserstoff- und Brennstoffzellen-Verbands** für seine 2005 an der Technischen Universität Berlin abgeschlossene Dissertation zur »Systementwicklung miniaturisierter planarer Brennstoffzellen« ausgezeichnet.

Denis Erath erhielt den **Preis des Verbands Druck und Medien in Baden-Württemberg e.V.** als bester Absolvent im Studiengang Druck- und Medientechnologie. Außerdem wurde er für seine Diplomarbeit »Optimierung der Vorderseitenkontaktierung kristalliner Siliciumsolarzellen im Siebdruckverfahren« mit dem **Adolf I. Döpfert-Stiftungspreis** für herausragende Diplomarbeiten an der Stuttgarter Hochschule der Medien ausgezeichnet.

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 bevorstehende 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 Gebäude 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 Zugerscheinungen.

Auch nach neuesten Erhebungen verbrauchen wir in Deutschland rund 40% der Endenergie für das Wohlbefinden in Gebäuden. Mit dieser Energie wird geheizt, gekühlt, gelüftet und beleuchtet. Rationelle Energienutzung reduziert den Energieeinsatz für diese Dienstleistungen und verbessert dabei oft den Nutzungskomfort. Dabei gilt: Je geringer der verbleibende Energiebedarf, desto größer 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 in Bauprojekten bieten wir Planung, Beratung und Konzeptentwicklung zu allen Fragen im Bereich Energie und Nutzerkomfort an, ebenso wie die Implementierung neuer Verfahren zur energieeffizienten Betriebsführung und Regelung. Darüber hinaus begleiten wir ausgeführte Projekte mit 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 Energie-Versorgungstechniken nehmen Wärmepumpen für Gebäude mit niedrigem Energieverbrauch sowie Systeme der Kraft-Wärme-Kopplung – und im Weiteren auch der Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung – einen zunehmenden Stellenwert ein. Im Bereich des Einsatzes von Solarenergie stellen neben der solaren Brauchwassererwärmung und der Heizungsunterstützung mit Solarenergie die Integration von Photovoltaik in die Gebäudehülle sowie die sommerliche Klimatisierung mit Solarenergie aussichtsreiche Anwendungen für die Zukunft dar.

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

Mit umfassender Messtechnik charakterisieren wir Materialien und Systeme. In Monitoringprojekten werten wir die Betriebserfahrungen an ausgewählten Gebäuden aus und verbessern so unsere eigenen Konzepte und die unserer Kunden. 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 weiter vertieft und bieten Dienstleistungen an, die neben der messtechnischen Charakterisierung auch die modellbasierte Prognose von Alterungsprozessen umfassen.

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	Dipl.-Phys. Tilmann Kuhn	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-52 97 E-Mail: Tilmann.Kuhn@ise.fraunhofer.de
Gebrauchsdaueranalysen	Dipl.-Phys. Michael Köhl	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-51 24 E-Mail: Michael.Koehl@ise.fraunhofer.de
Lichttechnik	Dipl.-Ing. Jan Wienold Dr. Werner Platzer	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-51 33 E-Mail: Jan.Wienold@ise.fraunhofer.de Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-51 31 E-Mail: Werner.Platzer@ise.fraunhofer.de
Heizungs-, Lüftungs- und Klimatechnik	Dr. Benoît Sicre Dr. Hans-Martin Henning	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-52 91 E-Mail: Benoit.Sicre@ise.fraunhofer.de 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 Dipl.-Ing. Klaus Kiefer	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-51 17 E-Mail: Sebastian.Herkel@ise.fraunhofer.de Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-52 18 E-Mail: Klaus.Kiefer@ise.fraunhofer.de

Übergreifende Koordination

Gebäude und technische Gebäudeausrüstung	Dr. Hans-Martin Henning	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-51 34 E-Mail: Hans-Martin.Henning@ise.fraunhofer.de
Optische Komponenten und Systeme	Priv. Doz. Dr. Andreas Gombert	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-59 83 E-Mail: Andreas.Gombert@ise.fraunhofer.de
Wasserstofftechnologie	Dr. Christopher Hebling	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-51 95 E-Mail: Christopher.Hebling@ise.fraunhofer.de

Modellbasierte Betriebsanalyse von Gebäuden

Derzeit ist es noch nicht gängige Praxis, technische Anlagen für Gebäude im Hinblick auf einen energieeffizienten Betrieb zu überwachen. Einer der Gründe dafür ist der Mangel an praxistauglichen Werkzeugen für die Optimierung des energetischen Gebäudebetriebs und dessen zeitnahe Überwachung. Die Entwicklung entsprechender Methoden und Werkzeuge ist der Fokus unserer Arbeit.

Christian Neumann, Sebastian Herkel, Christof Wittwer, Rainer Becker, Hans-Martin Henning

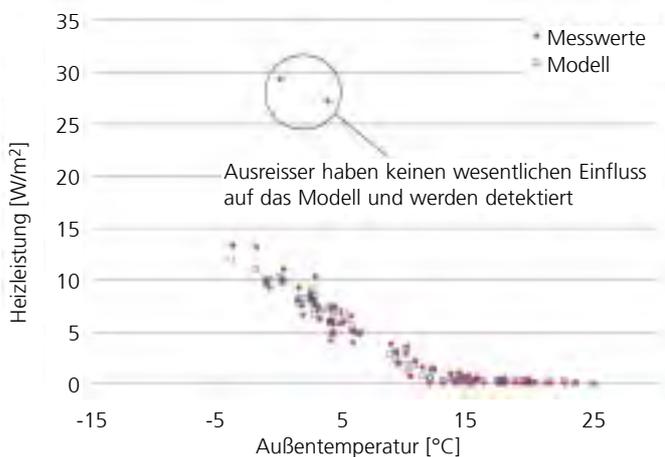


Abb. 1: Betriebsüberwachung mittels einfacher Kennlinienmodelle und robuster Regression. Diese Energiesignatur eines Verwaltungsgebäudes zeigt den Zusammenhang zwischen Außentemperatur und Heizleistung. Deutlich zu erkennen ist das Ansteigen der notwendigen Heizleistung bei fallender Außentemperatur. Die roten Punkte markieren die gemessenen Werte, während die blauen Punkte das kalibrierte Modell repräsentieren. Die Parameter des Modells werden mittels multipler linearer Regression identifiziert. Da es sich um eine robuste Regression handelt, beeinflussen Ausreißer die Güte des Modells nur gering (die manuell eingefügten Messpunkte im obigen Diagramm zeigen keine Einwirkung auf die Güte des Modells. Der Bestimmtheitsgrad liegt bei über 85%). Gleichzeitig können mit diesem Algorithmus die Ausreißer automatisch detektiert und dem Gebäudebetreiber gemeldet werden.

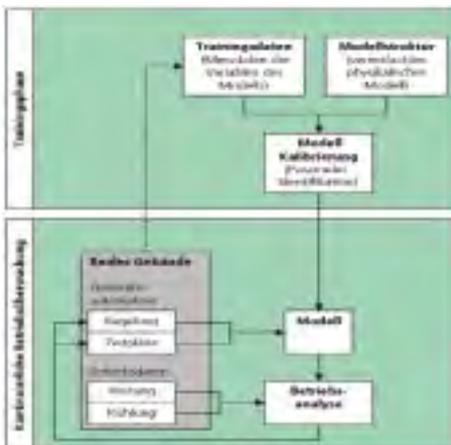


Abb. 2: Prinzipiell müssen Modelle zur Betriebsanalyse und -optimierung zunächst kalibriert werden. Mit Hilfe von Messdaten aus dem zu untersuchenden Gebäude werden die Parameter des Modells so variiert, dass dieses in der Lage ist, das energetische Verhalten des Gebäudes abzubilden (Training Phase). Anschließend kann das kalibrierte Modell dazu verwendet werden, den Gebäudebetrieb zu überwachen, indem die Messdaten aus dem aktuellen Betrieb (z. B. Heiz- oder Kühlenergie) mit den berechneten Werten aus dem Modell verglichen werden (Continuous Evaluation). Treten Abweichungen zwischen realem Gebäude und Modell auf, so kann daraus ein Handlungsbedarf abgeleitet werden. Im Idealfall erfolgt eine automatische Rückkopplung an die Leittechnik des Gebäudes. Bei geeigneter Modellstruktur kann das Modell weiterhin zur Identifizierung von Energie-Einsparpotenzialen verwendet werden.

Mehr als 40% des europäischen Energieverbrauchs gehen zu Lasten des Gebäudesektors. Gleichzeitig liegt das Energie-Einsparpotenzial im Bereich der Betriebsführung von Gebäuden – d. h. im Bereich nicht investiver bzw. gering investiver Maßnahmen – bei 5–30%. Dies gilt insbesondere für den Bestand an Nicht-Wohngebäuden. Umfangreiche Erfahrungen, die wir im Rahmen von Monitoring-Projekten wie EnBau:MONITOR (www.enbau-monitor.de) gesammelt haben, unterstreichen dies nachdrücklich.

Schwerpunkt unserer Arbeit im Bereich Betriebsanalyse von Gebäuden ist die Entwicklung modellbasierter Verfahren, die Randbedingungen der Praxis – wie geringe Datengrundlage und Kostenbeschränkungen – berücksichtigen. Gleichzeitig sollen sie in der Lage sein, Fehler im Gebäudebetrieb zu erkennen, mögliche Einsparpotenziale zu identifizieren sowie den optimierten Betrieb zu überwachen.

Einfache Verfahren zur Betriebsanalyse und -überwachung testeten wir im Rahmen des Projekts EnBau:MONITOR (Abb. 1). Darüber hinaus haben wir mit dem Aufbau eines exergie-basierten Analyseverfahrens für die Energieversorgung komplexer Gebäude begonnen. Die Eignung weiterer modellbasierter Ansätze untersuchen wir im Rahmen mehrerer Forschungsvorhaben.

Zielgruppe für solche Verfahren und Werkzeuge sind die Anbieter von Facility und Energie-Management-Systemen sowie Firmen im Bereich des »Performance Contracting«.

Sowohl EnBau:MONITOR als auch unser derzeitiges Projekt in Kooperation mit der Firma Ennovatis GmbH werden vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) gefördert.

Aktive Solarfassaden

Der größte Teil der in privaten Haushalten benötigten Energie dient der Heizung und der Bereitstellung warmen Brauchwassers. Es bietet sich daher an, das Potenzial für die Gewinnung von Solarwärme auszuweiten. Ziel eines großen vom Fraunhofer ISE koordinierten Projekts ist es, die Gebäudefassade als Quelle für Solarwärme nutzbar zu machen.

Michael Köhl, Markus Heck, Franz Brucker, Daniel Philipp, Hans-Martin Henning

Im Gegensatz zur solaren Stromerzeugung, bei der in industrialisierten Ländern das Elektrizitätsnetz als Energiespeicher fungiert, ist das Problem der Langzeitspeicherung von Wärme nach wie vor nicht gelöst. Vor diesem Hintergrund sowie angesichts der Tatsache, dass Dachflächen immer mehr von PV-Anlagen belegt werden, widmen wir uns verstärkt der Entwicklung von architektonisch ansprechenden und technisch ausgereiften Fassadenkollektoren. Solarfassaden haben einen der Wärmenachfrage besser angepassten saisonalen Ertragsverlauf als konventionelle Kollektoren und sie dienen gleichzeitig als Wärmedämmung.

Gemeinsam mit neun Partnern aus Industrie und Forschung betrachten wir die gesamte Kette von der Materialauswahl bis hin zur architektonischen Integration:

- Materialauswahl
- Entwicklung von Korrosionsschutzbarrieren auf der Basis von pyrolytisch abgeschiedenem Zirkonoxid
- farbig gesputterte Solarabsorberschichten
- farbige Solarabsorberlacke (Abb. 1)
- Entwicklung und Anwendung von gebrauchsdaueranalytischen Verfahren
- Korrosionsprüfungen
- Entwicklung der unverglasten Absorberpaneele
- Systemstudien
- architektonische Gebäudeintegration

Der erste Prototyp eines farbigen Fassadenkollektors – Solabs® – wurde auf der Intersolar 2006 gezeigt. In Lausanne wurde bei der EPFL (Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne) mit Solabs® eine erste Demonstrationsfassade realisiert (Abb. 2).

Das Projekt wird von der Europäischen Union gefördert.

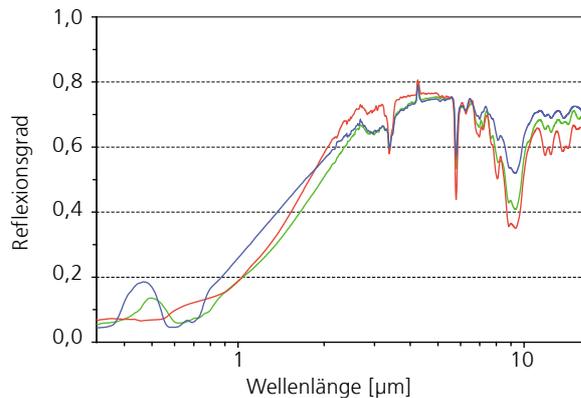


Abb. 1: Die Integration des spektralen Reflexionsgrads von farbigen, von der Dicke unabhängigen selektiven Solarlacken ergab für den grünen Lack einen solaren Absorptionsgrad $\alpha = 0,844$ bei einem Wärme-Emissionsgrad von $\epsilon(100\text{ °C}) = 0,361$, für den roten Lack $\alpha = 0,832$, $\epsilon(100\text{ °C}) = 0,395$ und für den blauen Lack $\alpha = 0,805$, $\epsilon(100\text{ °C}) = 0,322$. Durch die Farbigkeit entstehen Einbußen beim Absorptionsgrad und damit bei der solaren Deckungsrate. Diese können durch den im Vergleich zu einem konventionellen Lack ($\epsilon > 0,9$) verminderten Emissionsgrad mehr als kompensiert werden. Bei annähernd gleichen Werten der Absorption und Emission der verschiedenfarbigen Lacke, kann der Architekt die Farbauswahl des Lacks nach rein ästhetischen Gesichtspunkten vornehmen.



Abb. 2: Die Demonstrationsfassade bei der EPFL (Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne) vermittelt einen Eindruck von den architektonischen und technischen Möglichkeiten der Solabs®-Fassade.

Nutzerfreundlicher und zuverlässiger Sonnenschutz

Optimale Tageslichtnutzung und effizienter Sonnenschutz sind zentrale Aspekte energie-optimierten Bauens. Die Entwicklung von Sonnenschutzsystemen stellt daher ebenso einen Schwerpunkt unserer Arbeit dar wie die Erforschung und Optimierung von Methoden für deren Bewertung.

Tilmann Kuhn, Jan Wienold,
Hans-Martin Henning

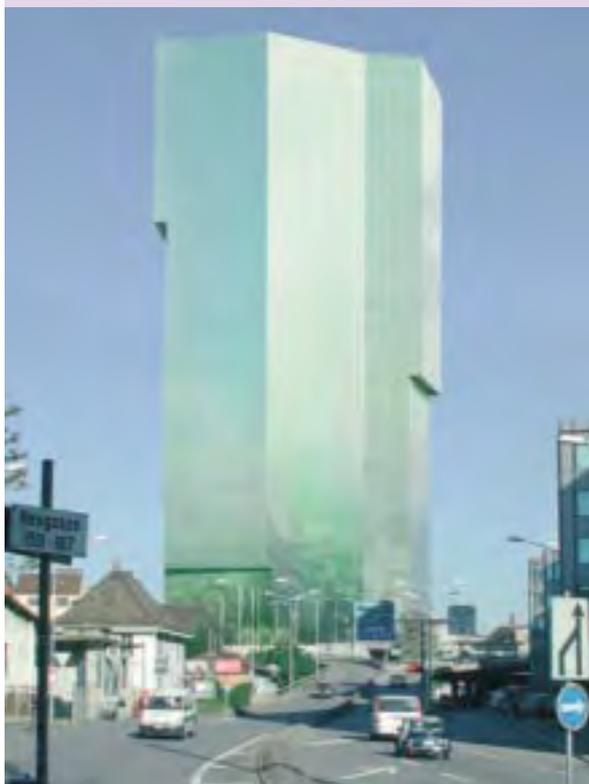


Abb. 1: Unsere Methodik zur Sonnenschutzbewertung wird vielfach bei Bauvorhaben sowie zur Produktcharakterisierung eingesetzt. Im Beispiel sieht man den geplanten »Prime Tower« in Zürich (Architekten Annette Gigon/Mike Guyer), an dessen Fassadenplanung wir beratend und prüfend beteiligt waren.



Um die Sonnenschutzwirkung von Fassaden bewerten zu können, haben wir eine Methode entwickelt, die sich dadurch auszeichnet, dass sie sowohl unterschiedliches Nutzerverhalten als auch die korrekte Winkelabhängigkeit für den g-Wert und die Transmission einbezieht. 2006 wurde die Methode erfolgreich einem Audit nach DIN EN ISO/IEC 17025 unterzogen. Sie ist seit Ende 2006 offiziell nach dieser Norm akkreditiert.

Für die Blendung am Arbeitsplatz haben wir ein neues Kriterium, die »Daylight Glare Probability« (DGP) entwickelt. Im Gegensatz zu Verfahren nach heutigem Stand der Technik besteht bei diesem Verfahren eine sehr hohe Korrelation zwischen den subjektiven Antworten der Nutzer und dem DGP-Wert. Die Aussagekraft wurde durch umfangreiche Studien mit vielen Probanden und unterschiedlichen Fassaden unter realen Tageslichtbedingungen nachgewiesen. Diese Arbeiten erfolgten im Rahmen des von der Europäischen Union geförderten Projekts ECCO-Build.

Bei Bürogebäuden mit einem hohen Glasanteil in der Fassade wurden in der Vergangenheit zahlreiche Personen bei Terroranschlägen durch umherfliegende Glassplitter verletzt. Die heute erhältlichen Splitterschutzbehänge vermindern den visuellen Komfort erheblich, insbesondere durch Blendung der Nutzer. Gemeinsam mit dem Fraunhofer-Institut für Kurzzeitdynamik EMI haben wir neue Sonnenschutzsysteme zum Patent angemeldet, die auch als Splitterschutzbehänge dienen können. Die neuen Behänge haben zum Ziel, hohen thermischen und visuellen Komfort mit einer zuverlässigen Splitterschutzwirkung zu vereinen.

Abb. 2: Mit unserer neuen Methode lässt sich vorher-sagen, wie hoch die Wahrscheinlichkeit ist, dass Personen am Arbeitsplatz geblendet werden. Die bisherigen binären Ja/Nein-Kriterien für Blendschutz sind abgelöst durch ein kontinuierliches Kriterium. Damit lassen sich unterschiedliche Systeme wesentlich aussagekräftiger vergleichen.

Wärmeträgerflüssigkeiten auf der Basis von Paraffin-Wasser-Emulsionen

Phase Change Slurries (PCS) sind Wärmeträgerflüssigkeiten, die Phase Change Materials (PCM) enthalten. Das PCM wird in einer Trägerflüssigkeit in μm großen Partikeln feinverteilt und erhöht so beim Schmelzen die Wärmekapazität bis zum Vierfachen. Um zu vermeiden, dass sich die einzelnen PCM-Partikel aneinanderlagern, können sie mit einer festen Hülle umgeben sein (mikroverkapseltes PCM) oder als Emulsion stabilisiert werden.

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

* PSE GmbH Forschung Entwicklung Marketing, Freiburg

Phase Change Slurries auf der Basis von mikroverkapselten Paraffinen entwickeln wir schon seit einigen Jahren in Kooperation mit der Firma BASF. Bei den mikroverkapselten PCS sind die fein verteilten Paraffintröpfchen von einer festen Polymerhülle umgeben. Diese Kapseln machen das PCS gegenüber einwirkenden Scherkräften sehr stabil. Bei lang anhaltender Beanspruchung können jedoch immer wieder Kapseln zerstört werden. Außerdem nehmen die Kapselhüllen einen Teil des Feststoffvolumens ein und verringern so den möglichen thermisch wirksamen PCM-Anteil.

Bei Emulsionen wird auf eine feste Kapselwand verzichtet. Hier bleiben die einzelnen Tröpfchen aufgrund des zugesetzten Emulgators erhalten. Der Emulgator scheidet sich bevorzugt an der Grenzfläche zwischen dem hydrophoben Paraffin und der hydrophilen Trägerflüssigkeit ab. Durch die Polarität im hydrophilen Teil des Emulgator-moleküls wird verhindert, dass sich die entstandenen PCM-Tröpfchen aneinander anlagern können; hierdurch entsteht eine stabile Emulsion aus PCM und Trägerflüssigkeit.

Bei Emulsionen kann bei gleichem Anteil der Trägerflüssigkeit mehr Paraffin eingesetzt werden als bei einer Suspension, weil der Emulgatoranteil geringer sein kann als der Polymeranteil, der für die Kapsel gebraucht würde. Dies führt zu höheren Wärmekapazitäten. Ferner ist davon auszugehen, dass sich die Emulsionen selbst regenerieren, da die Wirkungsweise des Emulgators erhalten bleibt. Auch dann, wenn sich einzelne Paraffintröpfchen aneinander anlagern sollten, könnten sie durch einwirkende Scherkräfte wieder von einander gelöst werden.

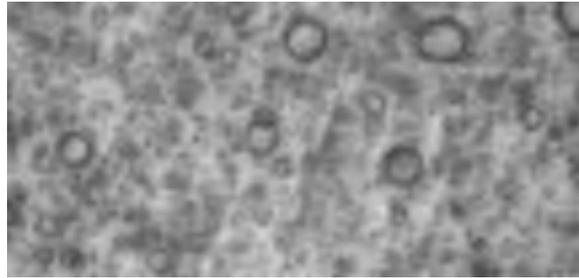


Abb. 1: Lichtmikroskopische Aufnahme einer Emulsion. In der Aufnahme sind die Paraffintröpfchen zu erkennen, die trotz fehlender Hülle auch unter Scherung erhalten bleiben. Die Abbildung zeigt auch die Größenverteilung: während die Emulsion einzelne große Tröpfchen von etwa 20 μm enthält, liegt der Hauptanteil bei einem Partikeldurchmesser von etwa 5 μm .

Erste Versuche zeigen bereits eine große Stabilität dieser Wärmeträgerflüssigkeiten unter Scherbeanspruchung und bei Phasenwechsel. In weiterführenden Arbeiten wollen wir diese PCS als Kältespeicherflüssigkeit einsetzen und in realen Kälteanlagen testen.

Die Entwicklung findet zusammen mit Partnern aus der Industrie statt. Das Projekt wird vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) gefördert.

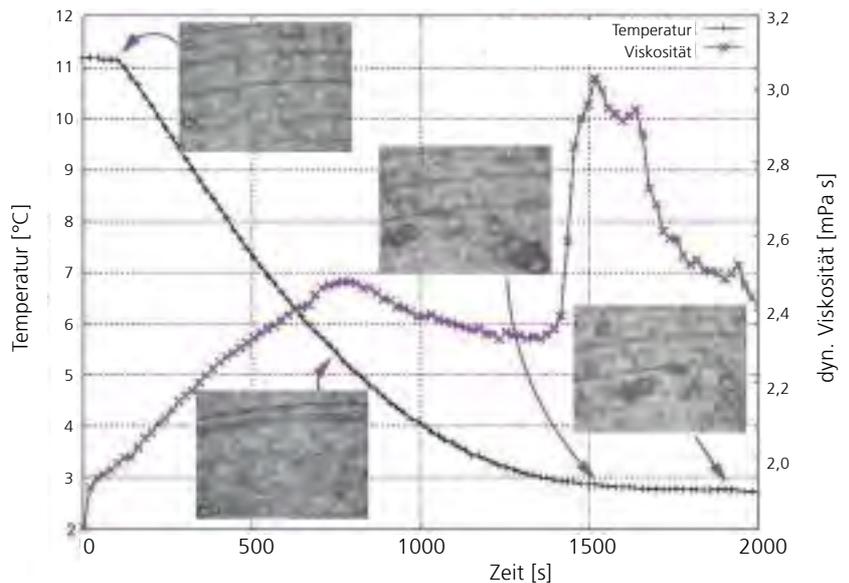


Abb. 2: Einfluss der Temperatur auf die Viskosität und das Erscheinungsbild einer PCS-Emulsion beim Wechsel der Phase von flüssig nach fest. Die lilafarbene bzw. schwarze Kurve zeigt die Viskosität der Probe bzw. die Temperatur der Messgeometrie über der Messzeit. In Abhängigkeit von der Temperatur ändert sich das Erscheinungsbild der Emulsion (Partikel werden kleiner, agglomerieren und zerfallen wieder). Diese Veränderungen spiegeln sich in der Viskosität der Emulsion wider.

Kühlung mit aktiv durchströmten Bauteilen und integriertem Latentwärmespeicher

Um sommerliche Überhitzung von Bürogebäuden zu vermeiden und den Kühlenergiebedarf zu reduzieren, entwickeln wir aktiv durchströmte Bauteile mit integrierten Phasenwechselmaterialien (PCM). Basierend auf bereits vom ISE mitentwickelten Baustoffen mit mikroverkapseltem PCM untersuchen wir nun PCM-Kühldecken, die gegenüber konventionellen Kühldecken einen deutlich reduzierten Kühlenergiebedarf aufweisen, regelbar sind und alternative Wärmesenken nutzen können.

Peter Schossig, Thomas Haussmann,
Doreen Kalz, Hans-Martin Henning

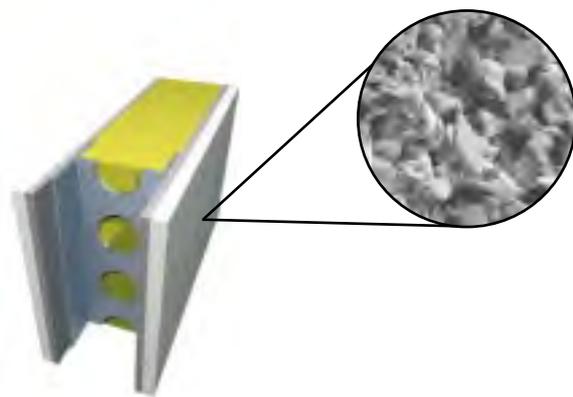


Abb. 1: Phasenwechselmaterialien (PCM) können zur Vermeidung sommerlicher Überhitzung und damit zur Reduzierung des Kühlenergiebedarfs in Gebäuden eingesetzt werden. Tagsüber anfallende Überschusswärme wird im Phasenübergang fest/flüssig latent gespeichert und in der Nacht wieder abgegeben. Erste vom ISE mitentwickelte Baustoffe mit mikroverkapseltem PCM – siehe Detailaufnahme – sind auf dem Markt verfügbar.

Viele Niedrigenergie-Bürogebäude setzen auf passive Kühlkonzepte. Passive Kühlung verzichtet auf eine flächendeckende Klimatisierung der Büros und sie setzt die Minimierung bzw. Vermeidung von internen und solaren Wärmelasten voraus. Unter Nutzung der thermischen Speichermasse des Gebäudes können die verbleibenden Lasten über natürliche Wärmesenken (Außenluft, Grundwasser, Erdreich) abgeführt werden.

Reicht die vorhandene thermische Speichermasse nicht aus, ist die Kombination aktiv durchströmter Bauteile mit PCM eine Alternative für die Gebäudekühlung. Sie birgt mehrere Vorteile gegenüber konventionellen Flächenheiz- und Kühlsystemen. Die Zwischenspeicherung großer Wärmemengen tagsüber im Phasenwechsel von fest nach flüssig führt zu einer deutlichen Reduzierung der Überschusswärme, die aktiv über ein Kühlsystem abgeführt werden muss. Kühlenergie wird eingespart und die Kälteanlage kann kleiner dimensioniert werden. Gleichzeitig reduzieren kürzere Laufzeiten den Pumpenenergiebedarf.

Neben der Energieeinsparung ermöglicht der zusätzliche Einbau eines verteilten Wärme- bzw. Kältespeichers in konventionelle Kühldecken auch die Nutzung alternativer Wärmesenken, deren Leistung relativ teuer, jedoch zeitlich unbegrenzt verfügbar ist (z. B. Erdsonden). Die ver-

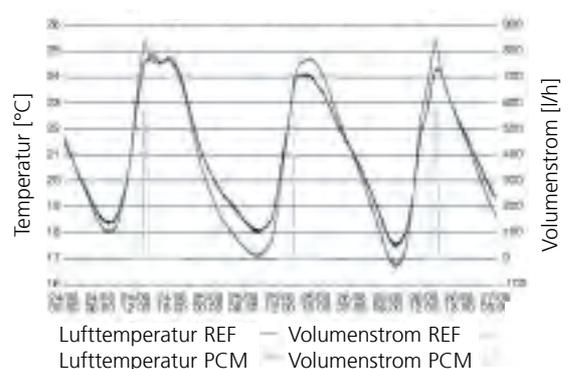


Abb. 2: Besonders in den Übergangszeiten Frühling und Herbst kann durch das PCM in einer Kühldecke der Energiebedarf für die Kühlung reduziert werden. Die vorliegende Messung an Testkühldecken am ISE zeigt an drei aufeinander folgenden Tagen, dass nur die Referenz-Kühldecke (REF) ohne PCM (Werte in violett und blau) aktiv gekühlt werden musste, wohingegen die PCM-Kühldecke (Werte in schwarz und grün) rein passiv betrieben werden konnte.

fügbare Kälteleistung kann über längere Zeiträume im PCM in der Kühldecke akkumuliert werden. Reicht im Tagesverlauf die Kälteleistung der Wärmesenke (Kältequelle) nicht aus, deckt der zuvor akkumulierte Überschuss aus der PCM-Kühldecke den Restbedarf.

In Zusammenarbeit mit Projektpartnern untersuchen wir Kühldecken, die auf vom Fraunhofer ISE mitentwickelten und auf dem deutschen Markt erhältlichen PCM-Baustoffen basieren. Die Messungen reichen von der Materialcharakterisierung im DSC (Differential Scanning Calorimeter) über die Vermessung von Deckenmustern bis hin zur Vermessung ganzer Kühldecken in Testräumen am ISE. 2005 wurde zusätzlich ein neuer Testraum für Flächenkühl- und Heizsysteme aufgebaut, der Messungen unter kontrollierten Bedingungen in Anlehnung an DIN 4715-1 und EN 14240:2004 ermöglicht.

Die Entwicklung eines auf Simulation basierenden Auslegungswerkzeugs, das Planer und Anwender beim Einsatz von PCM am Bau unterstützt, ist ein weiterer Schwerpunkt unserer Arbeiten.

In detaillierten Simulationsstudien untersuchen wir Kapillarrohrmattensysteme mit integrierten Phasenwechselmaterialien hinsichtlich der Leistung, des Potenzials und des thermischen Nutzerkomforts. Ein Fokus liegt dabei auf der

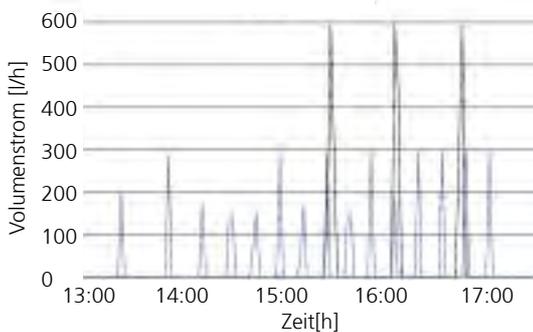


Abb. 3: Ein Vorteil der Kombination von Kühldecken mit PCM ist die mögliche Reduzierung der Pumpenenergie. Die vorliegende parallele Messung an einer PCM (schwarze Linie) und einer Referenz-Kühldecke (blaue Linie) in Testräumen am Fraunhofer ISE zeigt, dass die Referenzdecke nicht nur zwei Stunden früher aktive Kühlung benötigt, sondern auch wesentlich häufiger taktet.

Bestimmung des optimalen Schmelzbereichs der PCM für die jeweilige Anwendung im Heiz- bzw. Kühlfall. Im Rahmen einer Simulationsstudie für die passive Kühlung eines Bürogebäudes haben wir gezeigt, dass:

- die Raumkonditionierung mit Kapillarrohrmatten ein akzeptables Raumklima bereitstellt – vergleichbar mit der Konditionierung durch Betonkern-temperierung,
- der Einsatz von PCM eine Reduzierung der operativen Raumtemperatur bewirkt,
- die aktive, wassergeführte Durchströmung des PCM-Speichers zu dessen vollständiger Entladung führt,
- die gewählte Regelstrategie und Betriebsweise der Kapillarrohrmatten eine entscheidende Auswirkung auf den thermischen Komfort und die Leistung hat,
- für die aktive, wassergeführte Entladung des PCM-Speichers ein niedriger Schmelzbereich effektiver ist.

Das Forschungsvorhaben wird im Rahmen des LowEx-Verbunds vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) gefördert.

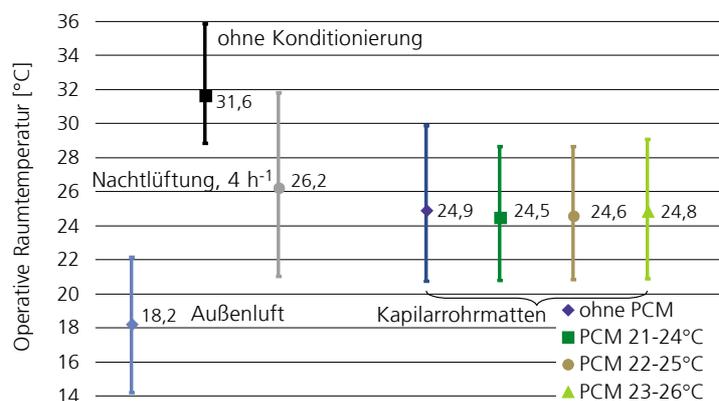


Abb. 4: Messungen in einem Büroraum in Leichtbauweise: Zu sehen ist das Tagesmittel der operativen Raumtemperatur sowie deren mittleres Maximum und Minimum für gewählte Kühlstrategien. Zudem ist die Außentemperatur dargestellt. Die Konditionierung mittels Kapillarrohrmatten verbessert den thermischen Raumkomfort gegenüber einem Nachtlüftungskonzept. Der Einsatz von PCM reduziert sowohl die mittlere als auch vor allem die maximalen operativen Raumtemperaturen.

Sorptionsgestützte Klimatisierung mit flüssigen Sorbentien

Die Klimatisierung von Gebäuden ist ein stark wachsender Markt. Thermisch angetriebene Anlagen stellen im Vergleich zur derzeit dominierenden Kompressionstechnologie sowohl unter ökologischen als auch ökonomischen Gesichtspunkten eine interessante Alternative dar. Das Fraunhofer ISE arbeitet mit Industriepartnern an der Entwicklung und Markteinführung solcher Anlagen.

Christian Neumann, Daniel Gessner, Till Mansfeld*, Carsten Hindenburg, Hans-Martin Henning**

* Solares Bauen GmbH, Freiburg
** selbstständiger Berater



Abb. 1: Projekt Liquisorp: Fertig installierte Anlage im Universitätsklinikum Freiburg. Das Bild zeigt den kompakten, rot-orangefarbenen Kubus des Klimageräts. Im Vordergrund sind die Heizkreise für die Soleerwärmung im Regenerator (Sommerbetrieb) und für das Zuluft-Heizregister (Winterbetrieb) zu erkennen.

Thermisch angetriebene Anlagen zur Sorptionsgestützten Klimatisierung (SGK) von Räumen arbeiten bereits mit Antriebstemperaturen von 50–80 °C effizient. Vor diesem Hintergrund ergeben sich interessante Kombinationsmöglichkeiten mit Solarwärme oder Abwärme. Auch die Möglichkeit des Einsatzes im Kraft-Wärme-Kälte-Verbund besteht.

Im Rahmen von Monitoring-Projekten untersuchen wir die Leistungsfähigkeit solcher Anlagen unter realen Einsatzbedingungen. Dabei erstellen wir Energie- und Kostenbilanzen und zeigen Optimierungspotenziale sowohl bezüglich der Konstruktion als auch im Bereich der Mess-, Steuer- und Regeltechnik auf.

Aktueller Schwerpunkt unserer Arbeit sind Anlagen mit flüssigen Sorbentien, die mit einer wässrigen Lithiumchloridlösung arbeiten.

In Zusammenarbeit mit der Firma Menerga Apparatebau erstellten wir zwei Demonstrationsanlagen. Die größere der beiden Anlagen hat eine Kapazität von 12 000 m³/h und ist im Bereich der Medizinischen Klinik des Universitätsklinikums Freiburg installiert. Die Anlage wird mit Fernwärme aus dem klinikeigenen Heizkraftwerk betrieben. Dank des intensiven Monitorings konnten bereits zahlreiche Verbesserungen an der Anlage vorgenommen werden.

Das Projekt wird durch die badenova AG & Co. KG im Rahmen ihres Innovationsfonds Klima- und Wasserschutz gefördert.

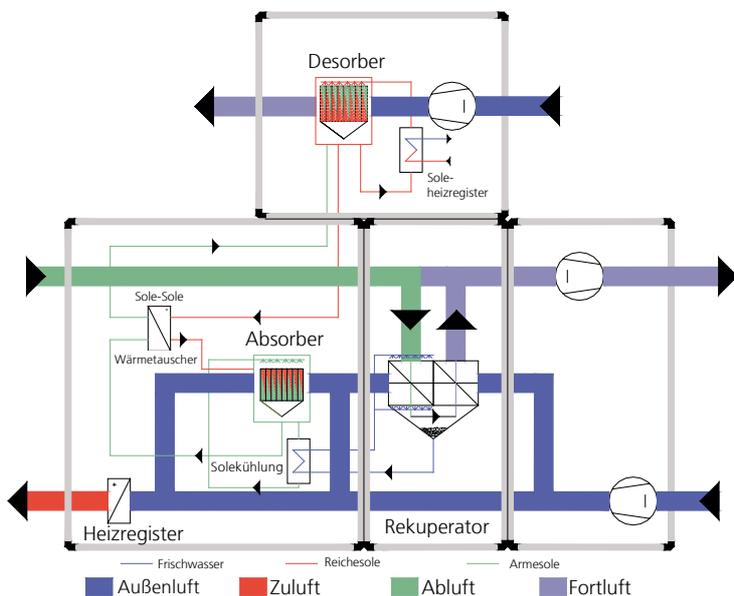


Abb. 2: Prinzipschema einer SGK-Anlage mit flüssigen Sorbentien. Die Anlage dient der Bereitstellung von gekühlter und entfeuchteter Zuluft. Zunächst erfolgt die Kühlung der warmen und feuchten Außenluft in einem Wärmetauscher mittels adiabater Befeuchtung der Abluft. Danach wird sie im Absorber mit einer hygroskopischen Lithiumchloridlösung entfeuchtet. Durch die Aufnahme der Luftfeuchtigkeit verringert sich die Konzentration der Lösung. Um das Entfeuchtungspotenzial der Lithiumchloridlösung wieder herzustellen, wird sie im Regenerator erneut aufkonzentriert. Dort findet der umgekehrte Prozess zum Absorber statt: Wasser wird aus der Sole ausgetrieben und an einen separaten Außenluftstrom abgegeben. Hierfür muss die Sole erwärmt werden. Diese Wärmezufuhr stellt den thermischen Antrieb des Prozesses dar.

Wärmepumpen für hohe Energieeffizienz in Wohngebäuden

Für den Einsatz in energieoptimierten Wohngebäuden entwickeln wir Wärmepumpen mit hoher Effizienz. Dabei steht die Erschließung zusätzlicher Wärmequellen wie Solarenergie ebenso im Fokus wie neuartige Kombinationen von unterschiedlichen Wärmequellen. Außerdem setzen wir natürliche Kältemittel ein. Auf unserem Teststand vermessen wir neu entwickelte Wärmepumpen in Lüftungsgeräten und wir unterstützen unsere Projektpartner bei der Weiterentwicklung. In Feldmessungen untersuchen wir den Einsatz der Geräte in Niedrigenergiehäusern und im Wohnungsbestand.

Andreas Bühring, Christel Russ, Marek Miara, Christian Bichler, Martina Jäschke*, Thore Oltersdorf, Rainer Becker, Jeannette Wapler*, Matthias Schubert, Daniel Kühn, Andreas Bruckbauer, Eva Müller, Christine Freudenberg, Robert Salignat, Hans-Martin Henning

* PSE GmbH Forschung Entwicklung Marketing, Freiburg

Wärmepumpen ermöglichen es, in hohem Maße Umweltenergie oder Solarwärme niedriger Temperatur zur Beheizung von Wohngebäuden und zur Trinkwassererwärmung zu nutzen. Bei elektrischem Antrieb wird hierfür Strom eingesetzt, deshalb ist eine hohe Effizienz neben geringen Herstellungskosten und einem robusten Betrieb unverzichtbar.

Das Fraunhofer ISE unterstützt Industriepartner bei der Umsetzung innovativer Ideen und betreibt auch eigene Geräte- und Patententwicklung. Durch die Kombination unterschiedlicher Wärmequellen (Abluft, Außenluft, Erdreich, Solarwärme) erweitern wir die Effizienz und die derzeitigen Einsatzgrenzen von Wärmepumpen. Ebenso unterstützen wir die Umstellung von fluorierten Kohlenwasserstoffen auf natürliche Kältemittel wie Propan oder CO₂, da dies die Umweltbilanz von Wärmepumpen weiter verbessern kann.

Um eigene Prototypen oder neue Wärmepumpen unserer Kunden zu vermessen, haben wir einen automatisierten Teststand mit zwei parallelen Testplätzen aufgebaut. Darin vermessen wir Lüftungs-Kompaktgeräte mit Abluftwärmepumpe unterschiedlicher Hersteller.



Abb. 1: Mit diesem neu entwickelten Kombiverdampfer¹ können zwei Wärmequellen wie z. B. Abluft und Solarenergie gleichzeitig von der Wärmepumpe genutzt werden, ohne den Kältekreis dafür komplexer gestalten zu müssen. Das Kältemittel im Ringspalt der Koaxialrohre kann Wärme von der Flüssigkeit im Innenrohr und gleichzeitig von außen aus dem Luftstrom aufnehmen.
¹: Patentanmeldung des Fraunhofer ISE

Im Leitprojekt NEGEV (Neue Gesamtenergiekonzepte für Gebäude) des Bundeswirtschaftsministeriums haben wir eine Propan-Wärmepumpe entwickelt, die über eine Reihenschaltung der Verflüssiger und eine besonders hoher Leistungszahl verfügt. Das Gerät wurde in unserem Teststand geprüft und anschließend im Feldversuch vermessen.

In zwei umfangreichen Projekten zur Feldmessung untersuchen wir derzeit die Effizienz von 240 Wärmepumpen unterschiedlicher Hersteller sowohl im Gebäudebestand als auch in neu gebauten Niedrigenergiehäusern. Dafür erfassen wir alle wichtigen Systemparameter in Minutenwerten und rufen diese per Funk vom Institut aus ab. Aus der Analyse des Systemverhaltens bei unterschiedlichen Randbedingungen leiten wir Empfehlungen für die Weiterentwicklung der Geräte ab. Hieraus ergeben sich Ansatzpunkte für gemeinsame Entwicklungsprojekte mit unseren Partnern.

Die Arbeiten werden mit Unterstützung des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMWi) sowie in Kooperation mit Industriepartnern durchgeführt.

Mit Strömungssimulationen zu besserer Haustechnik

Für die Optimierung der Bauteilgestaltung in haustechnischen Komponenten entwickeln wir verschiedene Verfahren. Mit Hilfe unterschiedlicher Programme zur Strömungssimulation untersuchen wir Luftströmungen in Wärmeübertragern ebenso wie Verdampfungsvorgänge in Wärmepumpen. Die Rauchgas-Anströmung von Wärmeübertragern im Brennraum eines Holzpelletkessels bilden wir in der Simulation ab und untersuchen dabei verschiedene Designs des Brennraums hinsichtlich Wärmeübertragung, Druckverlust und Feuerungsführung.

Andreas Bühring, Jörg Dengler,
Rehan Yousaf*, Christian Bichler, Benoît Sicre,
Thore Oltersdorf, Anant Narare, Tunc Askan,
Hans-Martin Henning

* PSE GmbH Forschung Entwicklung Marketing, Freiburg

Mit Hilfe von Strömungssimulationen unterstützen wir unsere Kunden bei der Optimierung von Bauteilen in haustechnischen Anlagen. Dabei geht es vor allem um Anlagen, bei denen Wärme mit Luft- oder Flüssigkeitsströmungen transportiert wird oder in denen die Strömungen im Wärmeaustausch mit den Bauteilen stehen.

Durch eine Untersuchung in der virtuellen Realität kann der Aufwand für den Musterbau beträchtlich gesenkt werden. Die Wirkung kleinerer Optimierungen in der Simulation lässt sich ohne neue Muster hinreichend untersuchen. Durch Messungen in unseren Testständen überprüfen wir die Simulationen anhand ausgewählter Varianten.

Je nach Aufgabenstellung setzen wir für die Simulationen unterschiedliche Programme ein, beispielsweise Fluent und Ansys-CFX. Dabei nutzen wir die verschiedenen zur Verfügung stehenden mathematisch-physikalischen Modelle und ergänzen diese bei Bedarf um selbst definierte Spezialfunktionen.

Schwerpunkte und Ergebnisse unserer Arbeiten sind in den Abbildungen dargestellt.

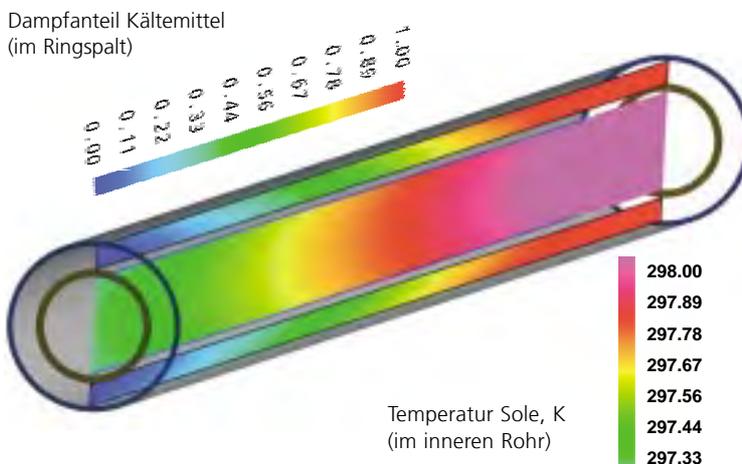


Abb. 1: Im Ringspalt des Kombiverdampfers strömt das Kältemittel von links nach rechts, erwärmt sich durch Energieaufnahme aus dem Luftstrom außen und aus dem sich dabei abkühlenden Solestrom im inneren Rohr. Den Phasenwechsel des Kältemittels von der flüssigen Phase (blau) über die Stufen der Verdampfung, Blasensieden und Tropfensieden zur überhitzten gasförmigen Phase (rot) berechnen wir mit dem Programm CFX.

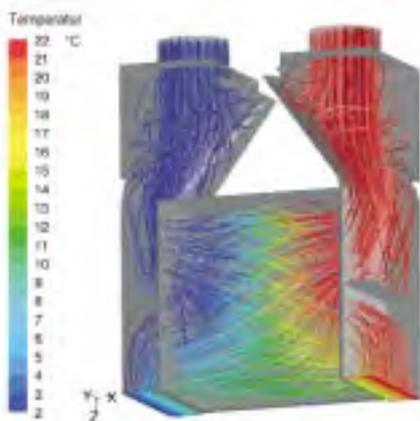


Abb. 2: Simulierte Luftströmung durch einen Luft-Luft-Wärmeübertrager zur Wärmerückgewinnung aus der Abluft in einem Lüftungsgerät. Farbcodierte Strömungsbänder stellen die Bewegung der eintretenden Luftströme (links: kalte Außenluft, rechts: warme Abluft) durch das Simulationsgebiet sowie ihre Temperaturen dar. Durch Variation der Anströmgeometrie und der Gestaltung der wärmeübertragenden Oberflächen können wir mit dem Programm Fluent in der Simulation Optimierungen durchführen und überprüfen.

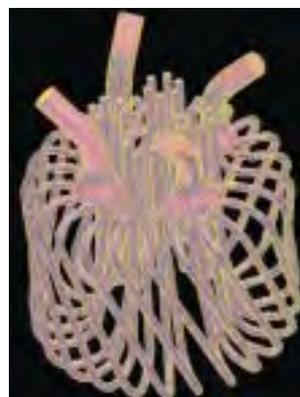


Abb. 3: Wir optimieren den Erhitzerkopf eines mit Holzpellets betriebenen Stirlingmotors, der Strom und Wärme erzeugt. Mit Hilfe von Simulationen untersuchen wir mögliche Optimierungen, um einen möglichst großen Anteil der Energie aus dem Rauchgas in den Stirlingprozess einzukoppeln und so den Anteil erzeugten Stroms zu erhöhen. Das Bild zeigt die für den Einsatz in der CFD-Simulation vernetzte Geometrie des Erhitzerkopfes.

Neuer Teststand zur Entwicklung von Prozesswärmekollektoren

Bislang werden in den Testlaboren in Deutschland und in Europa die Kollektorstandarten bei Kollektoreinlauf-temperaturen von maximal 100 bis 120 °C gemessen. Für die Entwicklung und Bewertung von Prozesswärmekollektoren ist dies nicht ausreichend, da diese bei Betriebstemperaturen im Bereich von 80 °C bis 250 °C eingesetzt werden. Am Fraunhofer ISE haben wir einen neuen Teststand aufgebaut, mit dem wir genaue Wirkungsgradkennlinienmessungen bis 200 °C durchführen können.

Korbinian Kramer*, Stefan Mehnert, **Matthias Rommel**, Arim Schäfer, Thorsten Siems, Christoph Thoma, **Hans-Martin Henning**

* PSE GmbH Forschung Entwicklung Marketing, Freiburg



Abb. 1: Wirkungsgradkennlinienmessung eines Vakuumröhrenkollektors mit CPC-Reflektor unter dem Solarsimulator des Fraunhofer ISE. Links unten im Bild steht der neue Teststand, mit dem wir exakte Messungen bis 200 °C durchführen können. Der Teststand ist transportabel konzipiert, so dass wir ihn auch mit dem Freiluft-Teststand mit Tracker und natürlicher Solarstrahlung einsetzen können.

Für unsere Kollektormessungen am Fraunhofer ISE betreiben wir sowohl einen Outdoor-Teststand mit Tracker als auch einen witterungsunabhängigen Indoor-Teststand mit Solarsimulator. Beide Teststände werden sowohl für Zertifizierungsmessungen als auch für Entwicklungsarbeiten eingesetzt. Mit dem neuen Prozesswärmekollektor-Teststand haben wir eine Zusatzeinheit entwickelt, die in beiden Testanlagen einsetzbar ist. So erweitern wir die experimentellen Möglichkeiten für die Entwicklung von Prozesswärmekollektoren: Für konzentrierende Kollektoren ist der Outdoor-Teststand wegen der notwendigen Verfügbarkeit der Direktstrahlung unerlässlich, nicht-konzentrierende Kollektoren können dagegen auch mit dem Indoor-Teststand untersucht werden. Dies bietet insbesondere für Entwicklungsarbeiten den kosten sparenden Vorteil zeitlicher Unabhängigkeit, einer besseren Wiederholgenauigkeit sowie einer höheren Flexibilität für gezielte experimentelle Untersuchungen.

Als Wärmeträgerfluid verwenden wir Wasser unter Druck. Die Satttdampf-temperatur von Wasser bei 200 °C beträgt 15,3 bar. Daraus ergaben sich die wesentlichen Anforderungen an die Komponenten der neuen Test-Einheit. Bislang haben wir damit Wirkungsgradkennlinien von Flachkollektoren, einem zweifach abgedeckten CPC-Flachkollektor sowie von Vakuumröhrenkollektoren mit CPC-Reflektor bei Kollektortemperaturen bis 185 °C vermessen (Abb. 2).

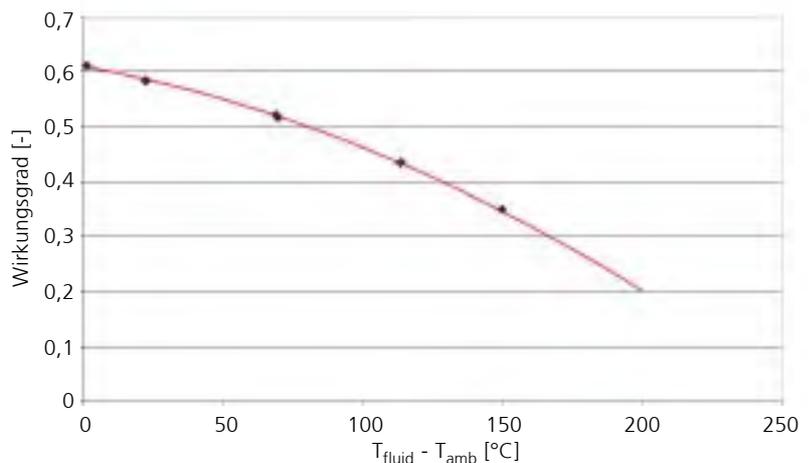


Abb. 2: Die Abbildung zeigt die gemessenen Wirkungsgradpunkte und die sich daraus ergebende Kennlinie. Während der Messung betrug die Einstrahlung unter dem Solarsimulator 934 W/m² und die Umgebungslufttemperatur 33 °C. Die mittlere Fluidtemperatur bei der Messung des letzten Messpunktes betrug 184 °C.

Das Projekt wird vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) im Rahmen der IEA Task 33/4 des »Solar Heating and Cooling Programme« unterstützt.

Adsorptionstechnik zum Heizen und Kühlen: Materialien, Komponenten, Systeme

Gemeinsam mit universitären Partnern forschen wir an neuen Adsorbentien für den Einsatz in thermisch angetriebenen Wärmepumpen und Kältemaschinen sowie in Wärmespeichern. Gegenüber klassischen Zeolithen und Silikagelen wurden deutlich verbesserte Adsorbentien gefunden. Um höhere Leistungsdichten bei Adsorptionswärmepumpen zu erreichen, entwickeln wir einen Adsorbens-Metall-Verbund mit hierarchischer Porosität. Ein weiterer Schwerpunkt liegt in der Entwicklung verbesserter Verdampferstrukturen.

Ferdinand Schmidt, Tomas Núñez, Stefan Henninger*, Lena Schnabel, Ursula Wittstadt, Gerrit Földner, Gunther Munz, Daniel Sonnekalb, Anna Jahnke, Benoit Reynier, Hans-Martin Henning**

* Freiburger Materialforschungszentrum FMF, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg

** Promotionsstipendiatin der Deutschen Bundesstiftung Umwelt DBU

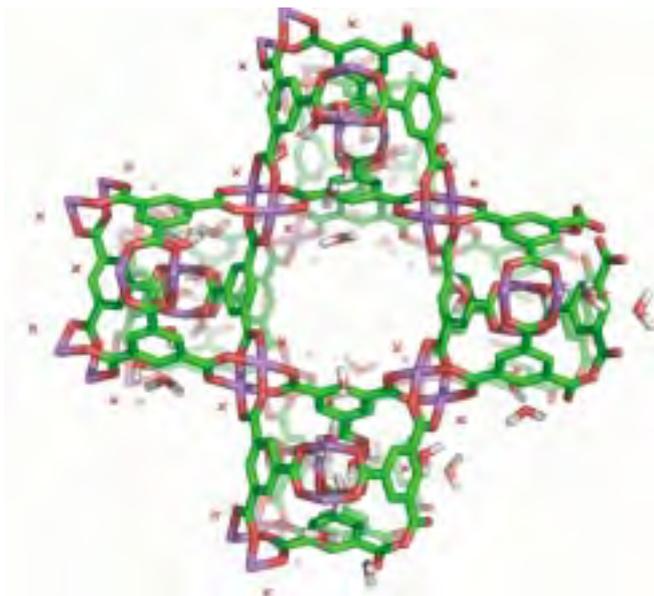


Abb. 1: Gerüststruktur des Kupfer-BTCs (Benzoltricarboxylat), eines metallorganischen Gerüstmaterials, wie sie in einer molekularen Simulation benutzt wird. Das Cu-Atom ist magentafarben dargestellt, Kohlenstoff grün, Sauerstoff rot und die Wassermoleküle weiß-rot. Der Cu-BTC zeigt eine höhere Wasseradsorptionskapazität im nutzbaren Dampfdruckbereich als alle bisher untersuchten Adsorbentien.

Adsorbentien, wie sie in den heute im Markt verfügbaren Adsorptionswärmepumpen und -kältemaschinen eingesetzt werden, verdanken ihre Konzeption und Synthetisierung einer ursprünglich anderen Zielsetzung (z. B. Gas-trennung oder Katalyse).

Speziell für die Anwendung in Kältemaschinen und Wärmepumpen bietet sich daher mit neuen Materialien ein hohes Optimierungspotenzial. Im Rahmen eines Forschungsnetzwerk-Projekts haben wir neu entwickelte Adsorbentien am Fraunhofer ISE charakterisiert und bewertet.

Für die Wärmespeicherung kommen wegen der benötigten Materialmengen nur kostengünstige Adsorbentien in Frage. Hierfür haben sich chemisch hydrophilierte Aktivkohlen sowie auch Schichtsilikate als aussichtsreich erwiesen. Für beide Materialklassen sind weitere grund-lagenorientierte Forschungsarbeiten erforderlich, bevor eine Produktentwicklung sinnvoll erscheint.

Für Wärmepumpen und Kältemaschinen haben sich Aluminophosphate (AIPOs) und Siliko-Aluminophosphate (SAPOs) als besonders aussichtsreich gezeigt.

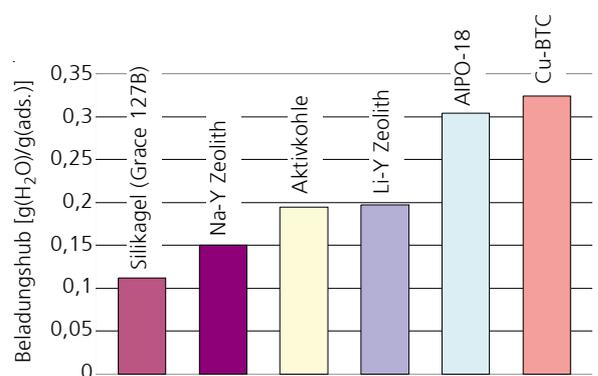


Abb. 2: Vergleich des Beladungsumsatzes an adsorbiertem Wasser für verschiedene untersuchte Adsorbentien in einem Kältemaschinenzyklus (Temperaturniveau: 140 °C Desorption bei 35 °C Kondensation, 30 °C Adsorption bei 10 °C Verdampfung).

Auch unter den Metallorganischen Gerüstmaterialien (MOFs), die hier erstmals auf ihre Anwendung in Adsorptionswärmepumpen hin untersucht wurden, findet sich mit dem Kupfer-BTC (Benzoltricarboxylat) ein Vertreter mit exzellenten Wasser-Adsorptionseigenschaften.

Alle genannten neuen Materialien sind kostenintensiv und haben deshalb nur in Anwendungen mit vielen Tausend Adsorptionszyklen die Chance einer wirtschaftlichen Amortisation. Deshalb ist die Verkürzung der Zykluszeit von Adsorptionswärmepumpen durch eine Intensivierung des Wärme- und Stofftransports ein wichtiges Ziel für uns. Eine weitere Motivation für die Erhöhung der Leistungsdichte ist die Einsparung wertvollen Bauraums. In einigen Anwendungen wie der Fahrzeugklimatisierung rückt eine Nutzung von Adsorptionskältemaschinen überhaupt erst bei einer deutlich erhöhten Leistungsdichte in den Bereich des Machbaren.

Die Arbeiten des vom Fraunhofer ISE koordinierten Forschungsnetzwerk-Projekts werden vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert.

In einem ebenfalls vom ISE koordinierten Eigenforschungsprojekt der Fraunhofer-Gesellschaft (WISA-Programm) entwickeln wir gemeinsam mit den Fraunhofer-Instituten IFAM, ITWM und IVV Verbundstrukturen aus Adsorptionsmaterialien und offenzelligen Metallschwämmen und -faserstrukturen. Wir erwarten, dass der Einsatz dieser Verbundmaterialien mit hierarchischer Porenstruktur einen Sprung in der Leistungsdichte von Adsorbent ermöglicht.

Auch in den anderen Komponenten einer Adsorptionswärmepumpe steckt erhebliches Optimierungspotenzial. Aktuell betreiben wir prioritär die Entwicklung verbesserter Verdampfer. Als Voraussetzung bauten wir am ISE einen Verdampfer-Teststand auf. Hier kann die Verdampfung von Wasser bei niedrigen Temperaturen und Drücken (3 °C bis 20 °C, entsprechend 6 bis 23 mbar) an kleinen Wärmeübertragerstrukturen vermessen werden. Die Charakterisierung unterschiedlicher Wärmeübertragerstrukturen und Betriebsweisen gibt Aufschluss über Optimierungspotenziale der Verdampferseinheiten. Die zuletzt genannten Arbeiten werden im Rahmen des Projektes SoCold von der Europäischen Union gefördert.

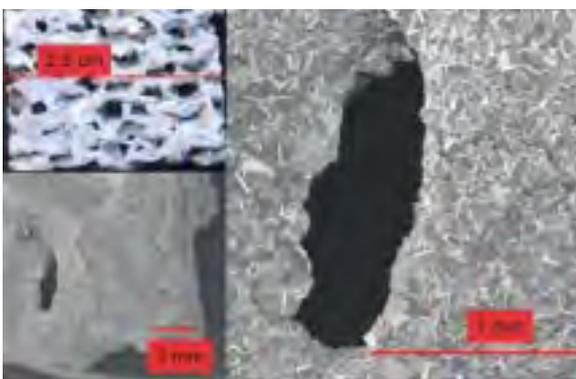


Abb. 3: Verbund aus Aluminium-Schwamm und Zeolith (oben links) für Adsorber mit hoher Leistungsdichte. REM-Aufnahmen des Schwamms in verschiedener Vergrößerung (links unten und rechts) zeigen die dichte Belegung der Schwammoberfläche mit Zeolithkristallen. Schwammherstellung: Fraunhofer IFAM Bremen, Beschichtung und REM-Aufnahmen: Universität Erlangen, Prof. Schwieger



Abb. 4: Foto der Verdampferkammer des Messstands. In dieser vakuumdichten Kammer werden die unterschiedlichen Verdampferstrukturen (geflutet, berieselt) eingebaut. Es können Strukturen bis zu 2 kW Kälteleistung vermessen werden. Die Bilanzierung der Kälteleistung erfolgt über die Fluidseite, die Zuführungen und Temperatursensoren hierfür sind auf der rechten Seite der Anlage am Deckel zu erkennen.



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 neuartige Lösungsansätze, die ein Zusammenführen von Materialforschung, optischem Design und Fertigungstechnik erfordern. Für die erfolgreiche Umsetzung in neue Produkte der Solartechnik ist neben optischem Know-how und enger Zusammenarbeit mit unseren Kunden auch die umfassende Kenntnis solarer Energiesysteme erforderlich – eine Voraussetzung, 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 äußerst 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 Effektiv-Medium-Theorien, rigorose und skalare Beugungstheorie, Streutheorien, Dünnschichtmethoden, geometrische und nicht-abbildende Optik sowie Planungswerkzeuge z. B. für die Leuchtenplanung. So können wir bei Anfragen unserer Kunden die Machbarkeit einer gewünschten optischen Komponente schnell und effizient klären. Als Fertigungsverfahren stehen uns Vakuum-Beschichtungsverfahren und Mikrostrukturierungsverfahren zur Verfügung. Die verfügbaren Charakterisierungsmethoden bieten neben den Standardverfahren auch spezialisierte Sonderaufbauten z. B. zur Bestimmung bidirektionaler optischer Eigenschaften. In guter Zusammenarbeit mit anerkannten Forschungseinrichtungen innerhalb und außerhalb der Fraunhofer-Gesellschaft komplettieren wir unser Angebot, wann immer dies notwendig wird.

Besondere Einrichtungen:

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



Messung der räumlichen Verteilung des von einer Verglasung mit mikrostrukturiertem Lichtlenkelement transmittierten und reflektierten Lichts mit einem Photogoniometer. Es handelt sich um eine prismatische Struktur, die als Folie auf Glas laminiert und in Verglasungen integriert wird. Strukturen für Lichtlenkelemente oder zum saisonalen Sonnenschutz werden am Fraunhofer ISE entwickelt, hergestellt und optimiert. Unter flachem Winkel einfallendes Licht wird an den beiden Flanken der Prismenstruktur gebrochen und der einfallende Strahl wird in zwei Teilstrahlen zerlegt. Durch einen Trick wird der Strahlengang des Lichts auch im Foto sichtbar. Während flach einfallende Strahlung im Winter und helles Himmelslicht transmittiert wird, wird Licht der hoch stehenden Sommersonne von der Struktur reflektiert. Die saisonale Regelung zwischen Transmission und Reflexion übernimmt der sich ändernde Sonnenstand (Beitrag S. 42).

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	Prof. Dr. Gerhard Willeke	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-52 66 E-Mail: Gerhard.Willeke@ise.fraunhofer.de

Selektive Absorberschichten und Sekundärspiegel für solarthermische Kraftwerke

Im Rahmen unserer Arbeiten zu solarthermischen Kraftwerken haben wir selektive Absorberschichten und Spiegelschichten entwickelt. Neben optischen Eigenschaften stand dabei die Beständigkeit bei hohen Temperaturen im Vordergrund. Die Entwicklungen beziehen sich auf evakuierte Absorberrohre für Parabolrinnen-Kraftwerke, auf Absorberrohre an Atmosphäre für Fresnel-Kollektoren und auf Sekundärspiegel für Turmkraftwerke und Fresnel-Kollektoren (dazu auch Beitrag Seite 87).

Andreas Georg, **Wolfgang Graf**,
Christina Hildebrandt, Andreas Gombert

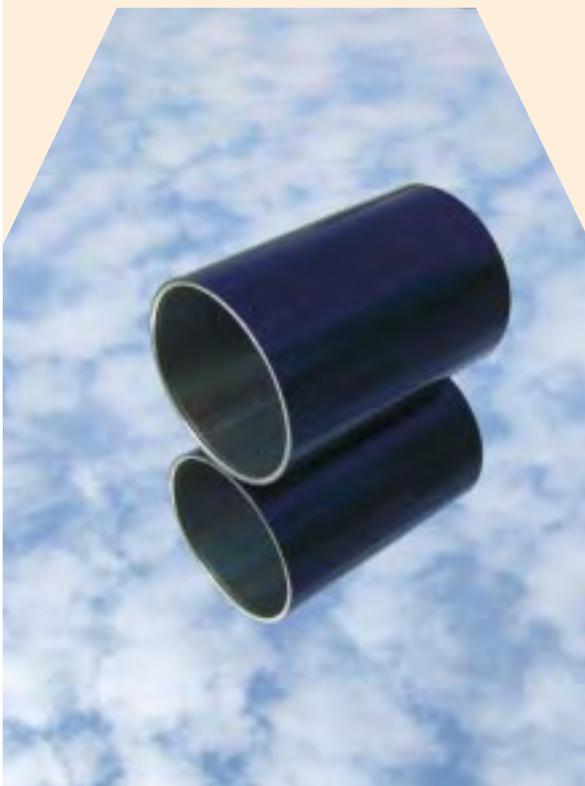


Abb. 1: Absorberrohrstück auf einem Spiegelement.

In solarthermischen Kraftwerken wird Sonnenlicht über Spiegel auf einen selektiven Absorber fokussiert. Bei linear konzentrierenden Systemen unterscheidet man Parabolrinnen- und Fresnelspiegelsysteme mit Sekundärspiegel. Die Betriebstemperaturen liegen je nach System und Anwendung im Bereich von 300–500 °C. Aus thermodynamischen Gründen möchte man möglichst hohe Temperaturen erreichen. Die bisherigen Schichtsysteme waren nur bei Temperaturen von bis zu 400 °C langzeitstabil. Verwendet man temperaturstabile Zusatzschichten, können die Schichtsysteme gegen die dominierenden Degradationsprozesse Diffusion und Oxidation geschützt werden (Abb. 2). Die Diffusion betrifft das Austreten von Elementen aus dem Substrat in die Schicht, aber auch die Diffusion von Elementen innerhalb des Schichtstapels. Die Oxidation tritt vor allem bei Schichten an Luft auf, kann aber auch bei den Schichten im Vakuum eine Rolle spielen, da hier Metalle in oxidierter und nichtoxidierter Form nebeneinander vorliegen. Das bevorzugte Beschichtungsverfahren ist das Sputtern (Abb. 3).

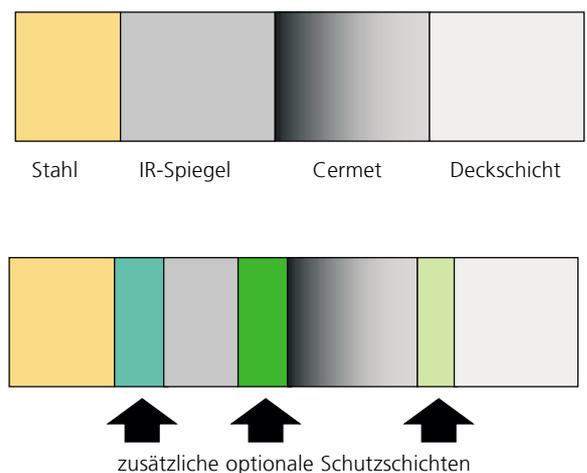


Abb. 2: Schematischer Schichtaufbau eines herkömmlichen Solarabsorbers mit metallischem Infrarot-Spiegel, absorbierender Keramik-Metall-Mischschicht (Cermet) und entspiegelnder Deckschicht. Darunter der Aufbau eines neuartigen Solarabsorbers mit zusätzlichen Schutzschichten für eine hohe Temperaturbeständigkeit.

Für die selektiven Absorberschichten wurden unterschiedliche Materialien und Schichtsysteme untersucht und optimiert. Als weitere Parameter für die Langzeitstabilität betrachteten wir die Zusammensetzung und die Vorbehandlung des Stahlrohrs, insbesondere seiner Oberfläche. Neben der optischen Charakterisierung stand die Untersuchung der chemischen Schichtstruktur in Abhängigkeit von der Temperaturbelastung im Mittelpunkt. In den ersten Stunden der Temperaturbelastung findet immer eine begrenzte Veränderung der Schichtstruktur statt. Diese ist aber reproduzierbar und kann im Herstellungsprozess berücksichtigt werden. Das bisher beste Schichtsystem verändert sich bei 500 °C an Luft in der solaren Absorption innerhalb der ersten Stunde um 5%, in den folgenden 1800 Stunden nur um 1%. In der Emission verändert es sich in der ersten Stunde um 3%, danach nur um 1% (bezogen auf einen Planck-Strahler mit 450 °C, der angestrebten Betriebstemperatur).

Die Spiegel wurden als Oberflächenspiegel ausgeführt, um eine hohe Reflexion zu erzielen. Die Oberflächentemperaturen im Sekundärspiegel erreichen bis zu 300 °C. Auf das Glassubstrat bringen wir eine Haft- und Barrierschicht auf, dann eine Silber-Spiegelschicht und schließlich eine Deckschicht. Die Haft- und Barrierschicht dient neben der Verbesserung der Schichthftung der Unterdrückung von Diffusion vor allem positiver Ionen aus dem Glas in die Silberschicht und von Silber in das Glas. Die Deckschicht schützt das Silber vor Korrosion, vor allem gegen Reaktion mit Sulfiden. Zusätzliche Haftsichten können zwischen Silber und Deckschicht eingebracht werden. Sie sind vor allem für die Beständigkeit gegenüber Reinigungsprozessen von Bedeutung. Wesentliche Faktoren für die Stabilität des Schichtsystems sind die Auswahl der Glassorte sowie die Reinigung des Glassubstrats. Bisher erreichten wir eine solare Reflexion von 95%. Bezieht man die Reflexion auf das Spektrum des vom Primärspiegel reflektierten Lichts, so fällt sie um knapp 1% höher aus.

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



Abb. 3: Sputteranlage zur Beschichtung der Stahlrohre mit Absorberschichten und der Gläser mit Spiegelschichten.

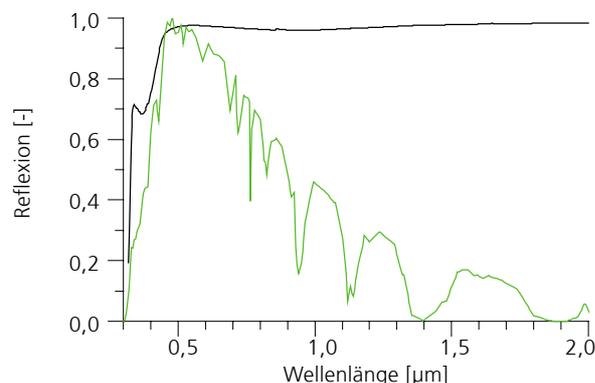


Abb. 4: Spektrum eines Oberflächenspiegels ($R_{\text{sol}}=95\%$, schwarz). Ebenfalls gezeigt ist das Sonnenspektrum (AM1.5, grün).

Schaltbare Spiegel mit Magnesium-Nickel-Schichten

Mit dünnen Magnesium-Nickel (Mg_xNi)-Schichten lassen sich optisch schaltbare Spiegel herstellen. Dabei wird das spiegelnde Metall durch Einlagerung von Wasserstoff reversibel in ein transparentes Hydrid umgewandelt. Anwendungsmöglichkeiten bieten sich im Fensterbau speziell für den Überhitzungs- und Blendschutz, insbesondere in Kombination mit lichtlenkenden Strukturen. Für eine schnelle und vollständige Schaltung ist u. a. das Einstellen eines bestimmten Verhältnisses von Magnesium zu Nickel wesentlich.

Jürgen Ell*, Andreas Georg, Wolfgang Graf, Andreas Gombert

* Freiburger Materialforschungszentrum FMF, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg

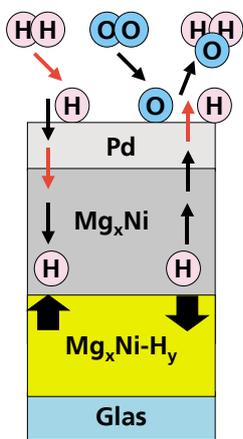


Abb. 1: Mechanismus der Reaktion mit H_2 (links) und O_2 (rechts) für Mg_xNi -Schichten mit mittlerem Ni-Gehalt ($4 \leq x \leq 8$). Die Gase werden jeweils am Palladium dissoziiert und der Wasserstoff überschreitet die einzelnen Grenzflächen. Bei der Reaktion mit H_2 beginnt die Hydridbildung am Substrat und läuft vollständig lagenförmig weiter. Die kinetisch dominierenden Teilschritte sind durch rote Pfeile gekennzeichnet.

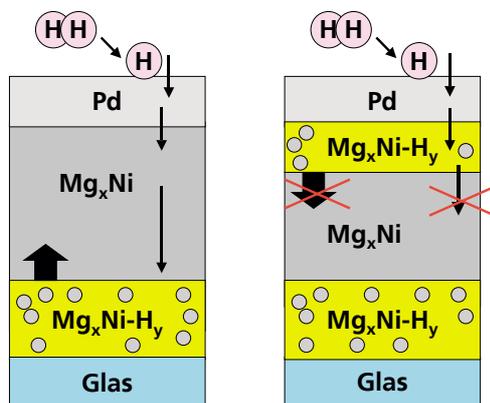


Abb. 2: Mechanismus der Reaktion der Mg_xNi -Schicht mit H_2 für Ni- und Mg-reiche Schichten. Für Mg-reiche Schichten ($x > 8$, links) wächst das Hydrid lagenförmig vom Substrat, aber es verbleiben metallische Einschlüsse in der Hydrid-Schicht. Für Ni-reiche Schichten ($x < 4$, rechts) wächst eine zusätzliche Hydridschicht mit metallischen Einschlüssen von der Pd-Seite aus, die die Reaktion zum Erliegen bringt.

Schaltbare Spiegel haben ein großes wirtschaftliches Potenzial, da mit ihnen die Transmission von Verglasungen über einen sehr großen Dynamikbereich geschaltet werden kann. In der Vorstufe einer Produktentwicklung haben wir uns mit dem Modell für den Schaltmechanismus befasst.

Beim Überströmen mit verdünntem Wasserstoff reagieren dünne Schichten aus metallischem Mg_xNi – die einen Überzug aus Palladium (Pd) haben – und bilden ein transparentes Hydrid (Abb. 1). Mit verdünntem O_2 -Gas lässt sich die Reaktion umkehren. Typische Schaltzeiten liegen bei etwa einer Minute für die Hydrierung und etwa 10 Minuten für die Dehydrierung. Wesentlich hierbei ist das lagenförmige Wachsen der Hydridschicht von der Substratseite aus. Die Beweglichkeit von Wasserstoff im Hydrid ist im Gegensatz zum Metall sehr gering. Bei einem Wachstum des Hydrids von der Pd-Seite aus würde ein weiterer Transport des Wasserstoffs blockiert werden.

Die Keimbildung des Hydrids an der Substratseite kann zum einen durch ein günstiges Verhältnis von Magnesium zu Nickel begünstigt werden. Aber auch besondere chemische und strukturelle Eigenschaften der Pd- Mg_xNi und der Mg_xNi -Substrat-Grenzflächen spielen eine große Rolle. Für Magnesium-reiche Schichten (Abb. 2, links) beginnt die Hydridbildung zwar auch von der Substratseite aus, allerdings verbleiben metallische Einschlüsse in der Hydridschicht, die durch die blockierende Wirkung des Hydrids nicht weiter hydriert werden können. Für Nickel-reiche Schichten (Abb. 2, rechts) wächst zusätzlich eine Hydridschicht von der Palladium-Seite aus. Nachdem sie eine bestimmte Dicke erreicht hat, blockiert sie den weiteren Wasserstoff-Transport und die Reaktion kommt zum Erliegen.

Trotz deutlicher Verbesserung der Stabilität durch geeignete Maßnahmen ist nach ca. 250 Schaltzyklen immer noch eine leichte Oxidation des Mg_xNi feststellbar. Dies kann prinzipiell durch effektive Schutzschichten oder durch einen so genannten elektrochromen Aufbau vermieden werden, bei dem der Wasserstoff zwischen der Mg_xNi -Schicht und einer zusätzlichen Wasserstoff-Speicherschicht durch Anlegen einer Spannung hin- und hergeschoben wird.

Die Arbeiten zu Metallhydriden wurden gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi).

Hochfrequente Gitter für optische Anwendungen

Hochfrequente Gitterstrukturen mit Perioden, die unterhalb der Lichtwellenlänge liegen, können für spezielle optische Effekte eingesetzt werden. Am Fraunhofer ISE haben wir Technologien entwickelt, um entsprechende Strukturen maßgeschneidert auf großen Flächen zu erzeugen. Durch Mikroreplikationsverfahren können solche funktionalisierten Oberflächen kostengünstig in Produkte eingebracht werden.

Benedikt Bläsi, Andreas Gronbach, Jörg Mick, Andreas Gombert

Wenn Oberflächengitter Strukturperioden aufweisen, die unterhalb der Lichtwellenlänge liegen, können diese Strukturen nicht mehr aufgelöst werden und wirken darum als effektives Medium. Dies kann man für verschiedene optische Effekte nutzen: Kontinuierliche Profile führen zu einem Gradienten des effektiven Brechungsindex und wirken entspiegelnd. Lamellenartige Strukturen haben polarisationsabhängige optische Eigenschaften und können z. B. als Phasenverzögerungselemente oder Polarisatoren eingesetzt werden. Wir simulieren solche Strukturen mit Näherungsverfahren (Effektiv-Medium-Theorie) sowie mit wellenoptischen Werkzeugen (Rigore Beugungstheorie). Dadurch sind wir in der Lage, die optischen Eigenschaften gegebener Strukturen zu beschreiben und neue Strukturen kundenspezifisch zu gestalten.

Durch Interferenzlithographie können am Fraunhofer ISE Oberflächenstrukturen mit Perioden ab 200 nm erzeugt werden. Neueste Entwicklungen ermöglichen es, die Stabilität des Belichtungsaufbaus so gut zu kontrollieren, dass kontrastreiche Belichtungen über mehrere Stunden möglich sind. Zusätzlich haben wir neuartige hochauflösende Photoresist-Systeme untersucht und die Belichtungsprozesse so angepasst, dass wir Strukturen mit besonders hohen Aspektverhältnissen erzeugen können. So können wir jetzt anspruchsvolle Strukturen auch großflächig herstellen.

Mikroreplikationsverfahren ermöglichen das kostengünstige Einbringen solcher funktionalisierten Oberflächen in Massenprodukte. Mit diesen Verfahren hergestellte Antireflex-Oberflächen sowie Folien mit polarisationsabhängigen optischen Eigenschaften sind damit insbesondere für die Displaytechnologie interessant.

Damit neue Entwicklungen schnell auf dem Markt umgesetzt werden können haben wir die Firma holotools GmbH gegründet. Sie fertigt Prägewerkzeuge für die Produktion.

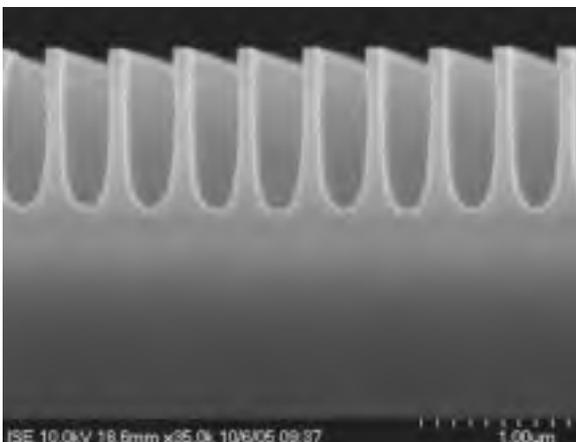


Abb. 1: Lineare Struktur mit hohem Aspektverhältnis für eine Anwendung als Phasenverzögerungselement.



Abb. 2: Das Fraunhofer ISE Interferenzlithographielabor. Hier können Gitterstrukturen auf Flächen von bis zu 1,2 x 1,2 m² homogen erzeugt werden.

Sonnenschutzverglasungen auf der Basis mikrostrukturierter Oberflächen

Im Sommer führen unverschattete Fenster zu hohen Raumtemperaturen oder hohem Bedarf an Kühlenergie, während im Winter Sonnenlicht einen wichtigen Beitrag zur Raumheizung leisten kann. Daher entwickeln wir Fenster mit saisonaler Sonnenschutzfunktion, die auf der Umlenkung von Licht an Mikroprismen basieren. Eine in die Verglasung integrierte, mikrostrukturierte Folie sorgt dafür, dass Strahlen der hochstehenden Sommersonne zurückgeworfen werden, während die tiefer stehende Wintersonne ins Gebäude hineingelangt.

Benedikt Bläsi, Jörg Mick, **Peter Nitz**, Werner Platzer, Günther Walze, Andreas Gombert

In der Gebäudehülle stellen Fenster den Bezug zur Außenwelt her und regeln den Eintrag von Strahlung in Form von Licht und Wärme ins Gebäude. Tageslicht verringert den Bedarf an Kunstlicht, im Winter trägt die Sonnenstrahlung zur Raumheizung bei. Im Sommer dagegen führt zuviel Strahlung zu unkomfortabel hohen Raumtemperaturen bzw. zu erhöhtem Kühlbedarf.

Wir entwickeln saisonal wirksame Sonnenschutzverglasungen, die das Licht der hoch stehenden Sommersonne zurückwerfen, aber Tageslicht sowie Strahlung der tiefer stehenden Wintersonne ins Gebäude hineinlassen. Dies gelingt durch Umlenken (Brechung und Totalreflexion) von Strahlung in Prismen, die in Form einer mikrostrukturierten Folie in die Verglasung integriert sind. Verglasungen mit integrierter Lichtlenkung eignen sich für den Einsatz in Bereichen, wo eine ungestörte Durchsicht nicht zwingend nötig ist, z. B. in Oberlichtern oder als Teil von transluzenten Fassadenelementen. Eine Teildurchsicht und ein schemenhafter Außenbezug sind jedoch bei Bedarf möglich.

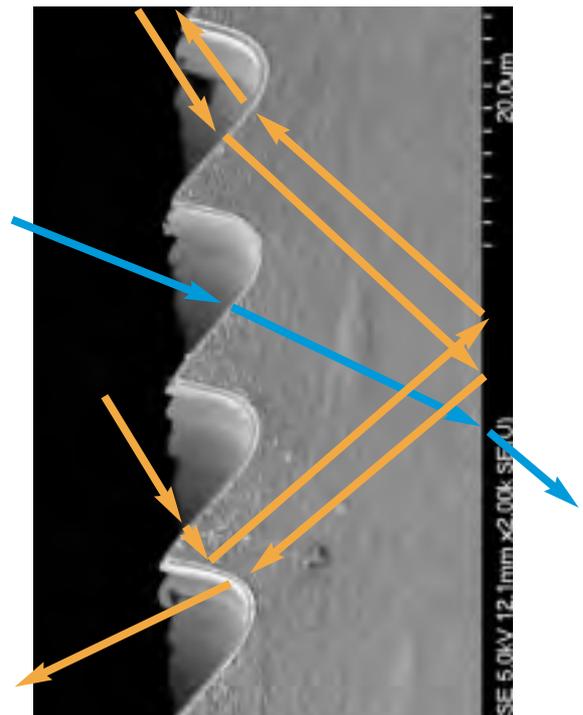


Abb. 1: Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme (REM) einer interferenzlithographisch hergestellten Prismenstruktur mit saisonaler Sonnenschutzfunktion und übermodulierter Streuung, die als Höhenmodulation der Prismen sichtbar ist. Die Strahlengänge im Sommer (orange) und im Winter (blau) sind schematisch dargestellt.

Durch die Brechung an Prismenstrukturen wird das weiße Sonnenlicht farblich aufgespalten. Um Farbeffekte im Raum zu verringern bzw. zu vermeiden, haben wir der Prismenfunktion eine leichte Streuung überlagert, die farblich getrennte Strahlen wieder zu weißem Licht mischt. Eine solche Streuung erreichen wir, indem wir die Mikrostrukturen in ihrer Periode oder Höhe schwach modulieren. Eine entsprechende Höhenmodulation ist bei der in Abb. 1 gezeigten Struktur sichtbar. Durch die Streuung kann die Struktur das Aussehen eines satinierten Glases erhalten.

Die Urformen von Mikrostrukturen, die durch Massenreplikationsverfahren in Kunststoff abgeformt werden, lassen sich durch verschiedene Verfahren herstellen. Wir haben am Fraunhofer ISE interferenzlithographisch erzeugte Strukturen mit durch Ultrapräzisionsbearbeitung (z. B. Diamantfräsen) hergestellten Strukturen verglichen. Letztere lassen sich direkt auf eine Prägewalze schneiden, was bei der Replikation Vorteile bringt und die Abformung einer endlosen Folienrolle ohne Naht erlaubt.

Andererseits ermöglicht die interferenzlithographische Herstellung eine einfache Modulation durch Überlagern einer zweiten Belichtung (Abb. 1). Im Projektverlauf gelang es, auch mikro-mechanisch hergestellte Mikrostrukturen (Abb. 2) zu modulieren und die erwünschte Lichtstreuung zu erzielen. So stehen jetzt zwei Technologien zur Verfügung, die den speziellen Anforderungen gemäß eingesetzt werden können.

Unsere Industriepartner aus dem Verglasungsbereich konnten in Laminationsversuchen erfolgreich strukturierte Folien auf Glas auflaminieren und damit Isolierverglasungen fertigen. Die saisonale Schutzfunktion von Verglasungsprototypen äußert sich in der ausgeprägten einfallswinkelabhängigen Transmission (Abb. 3). Um die Umsetzung in Produkte zu erreichen, führen wir derzeit gemeinsam mit unseren Industriepartnern Stabilitätsuntersuchungen und Prozessoptimierungen durch.

Die hier vorgestellten Arbeiten wurden in einem Industrieverbundprojekt vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) gefördert.

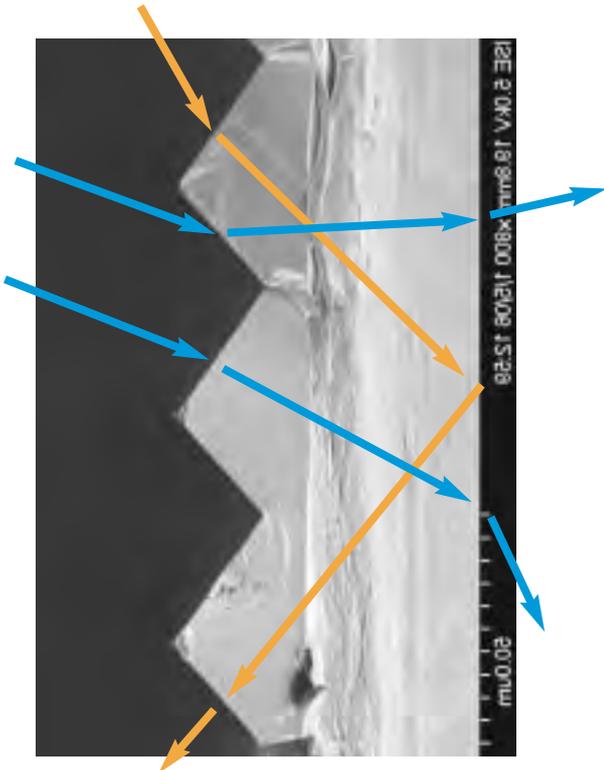


Abb. 2: REM-Aufnahme einer mikromechanisch hergestellten Struktur mit saisonaler Sonnenschutzfunktion. Diese Struktur ist auf einer Größenskala moduliert, die wesentlich größer ist als die Strukturperiode. Daher ist die Modulation im Bild nicht sichtbar. Schematische Strahlengänge analog zu Abb. 1.

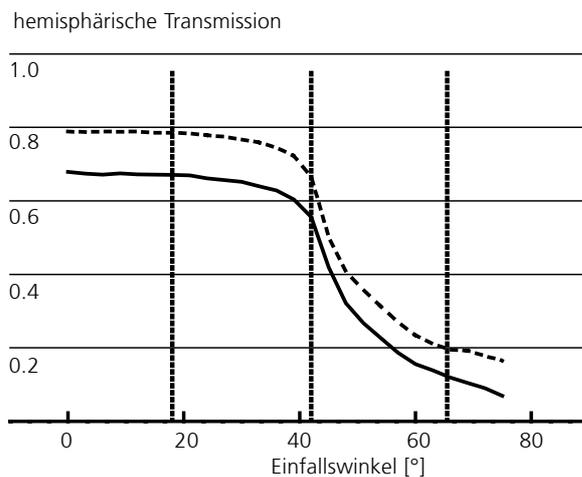


Abb. 3: Transmissionsgrad einer Verglasung mit saisonaler Sonnenschutzfunktion als Funktion des Einfallswinkels in der Profilebene. Gezeigt sind die Messwerte für gerichtetes Licht (gestrichelt) und Solarstrahlung (durchgezogene Linie) einer Zweischeiben-Isolierverglasung mit integrierter Mikrostruktur aus Abb. 2 (ohne low-e-Schicht). Angedeutet sind außerdem typische Sonnenstände für Freiburg 18°, 42° und 66° (gepunktete Linien).



Solarzellen

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

Seit Anfang 2006 betreiben wir eine neue Service-Einrichtung für die Photovoltaik-Industrie, das Photovoltaik Technologie Evaluationscenter PV-TEC. Realisiert wurde es mit der finanziellen Unterstützung des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit BMU (ca. 12 Mio Euro) sowie der Fraunhofer-Gesellschaft (2 Mio Euro). Auf 1200 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 1000 Wafern/Stunde sowie bei Wafergrößen bis 210 mm Kantenlänge und Waferdicken deutlich unter 200 µm.

Seit November 2006 komplettiert das ISE Modultechnikum die Zellfertigungslinie des PV-TEC. Das Technikum ermöglicht die Verarbeitung neuer Zellen und Materialien in aussagekräftigen Stückzahlen und Formaten. Prozessschritte und Anlagentechnik für die Modulproduktion werden bis zur Vorstufe einer Serienfertigung entwickelt. Kernstücke des Technikums sind ein flexibel einsetzbarer Tabber-Stringer und ein Laminatorsystem, ergänzt durch eine Reihe von Mess- und Prüfsystemen.

Um den Einsatz des relativ teuren und derzeit 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 Hochleistungssolarzellen aus ultradünnen flexiblen 40 µm-Wafern, die in unserem Technikum bereits komplett prozessiert werden. Wir arbeiten bereits an Verfahren zur direkten Herstellung von dünnen Wafern.

Bei der kristallinen Silicium-Dünnschichtsolarzelle forschen wir verstärkt am Konzept des Waferäquivalents. Dabei wird aus siliciumhaltigem Gas eine hochwertige Dünnschicht auf kostengünstigen Substraten abgeschieden. Das Resultat sieht aus wie ein Wafer und lässt sich in einer konventionellen Fertigungsstraße entsprechend 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 Tech-

nologie 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 langzeitstabil gekapselt werden, ein Bereich, in dem deutliche Qualitätserhöhungs- und Kostensenkungspotenziale vorhanden sind. Wir arbeiten an neuen Modulkonzepten 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.

Unsere Solarzellen-Aktivitäten am Standort Freiburg werden ergänzt durch das Fraunhofer ISE Labor- und Servicecenter in Gelsenkirchen sowie das gemeinsam mit dem Fraunhofer IISB betriebene Technologiezentrum Halbleitermaterialien THM in Freiberg, Sachsen.



1 kW Demonstrationsanlage eines PV-Konzentratorsystems mit FLATCON®-Modulen. FLATCON®-Konzentratorsysteme bündeln das Sonnenlicht und fokussieren es mit Hilfe von Linsen auf winzig kleine Hochleistungssolarzellen auf der Basis von III-V-Halbleitern. Die Module werden zweiachsig der Sonne nachgeführt. Am Fraunhofer ISE wurde 2006 eine Pilotfertigungsanlage zur Herstellung der Modulbodenplatten aufgebaut. Die am ISE entwickelte Technologie wird derzeit von Concentrix Solar GmbH, einem ISE Spin Off, in die Produktion überführt. 2007 wird ein 500 kW Kraftwerk in der spanischen Provinz Castilla La Mancha realisiert werden.

Ansprechpartner

Wafertechnologie	Dr. Achim Eyer	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-52 61 E-Mail: Achim.Eyer@ise.fraunhofer.de
Kristalline Silicium-Hocheffizienzsolarezellen	Dr. Stefan Glunz	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-51 91 E-Mail: Stefan.Glunz@ise.fraunhofer.de
	Dr. Daniel Kray	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-53 55 E-Mail: Daniel.Kray@ise.fraunhofer.de
	Dr. Oliver Schultz	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-52 65 E-Mail: Oliver.Schultz@ise.fraunhofer.de
Kristalline Silicium-Dünnschichtsolarezellen	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
	Dr. Daniel Biro	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-52 46 E-Mail: Daniel.Biro@ise.fraunhofer.de
	Dr. Jochen Rentsch	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-51 99 E-Mail: Jochen.Rentsch@ise.fraunhofer.de
	Dr. Stefan Rein	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-52 76 E-Mail: Stefan.Rein@ise.fraunhofer.de
Konzentrator-Technologie	Dr. Andreas Bett	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-52 57 E-Mail: Andreas.Bett@ise.fraunhofer.de
III-V-Solarezellen und Epitaxie	Dr. Frank Dimroth	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-52 58 E-Mail: Frank.Dimroth@ise.fraunhofer.de
Farbstoff- und Organische Solarezellen	Priv. Doz. Dr. Andreas Gombert	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-59 83 E-Mail: Andreas.Gombert@ise.fraunhofer.de
Charakterisierung von Solarezellen 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

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

Drahtsägen von dünnen multikristallinen Siliciumwafern

Der Markt für Solarmodule erfährt derzeit Preissteigerungen, teils aufgrund vermehrter Nachfrage, aber auch durch die erhöhten Kosten für das Ausgangsmaterial Silicium. Ein Weg, dieser Entwicklung entgegenzuwirken, ist die Vergrößerung der pro Siliciumkristall gewonnenen Solarwafer-Fläche. Mit dem Ziel, hochwertige und dünne Siliciumwafer zu erzeugen, optimieren wir die Drahtsägetechnologie. Das stellt insbesondere bei multikristallinem Material eine große Herausforderung dar, da sich die Bruchraten im Prozess nicht erhöhen dürfen.

Dominik Barucha, Markus Bergmann, Philipp Ettle, Achim Eyer, **Daniel Kray**, Kuno Mayer, Teresa Orellana, Akhil Ravi, Mark Schumann, Gerhard Willeke

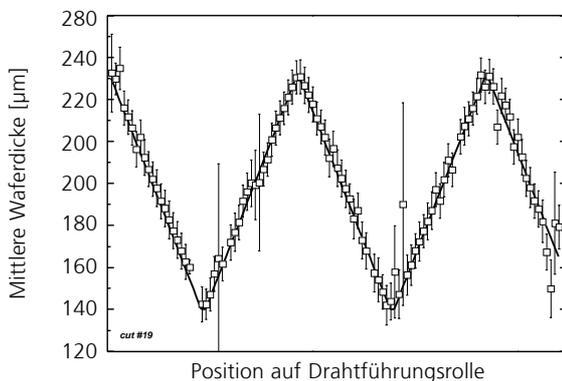


Abb. 1: Durch eine stufenweise Berillung der Drahtführungsrollen ist es uns gelungen, benachbarte Wafer mit variierender Dicke herzustellen. Damit konnten Wafer mit Dicken zwischen 140 und 250 µm geschnitten werden, z. B. für Tests von Solarzellenkonzepten auf multikristallinem Material. In der Grafik sind die gemessenen mittleren Waferdicken in Abhängigkeit der Waferposition auf der Drahtführungsrolle abgebildet. Die anvisierten Waferdicken, die durch die durchgezogene Linie repräsentiert werden, konnten durchgängig erreicht werden.



Mehr als die Hälfte der aktuellen Solarzellenproduktion basiert auf multikristallinen Siliciumwafern als Ausgangsmaterial. Die Standarddicke für Solarzellen liegt in der Produktion derzeit bei 240–270 µm. Mit dem Ziel der Kostensenkung strebt die Industrie eine deutliche Reduzierung der Dicke der Solarzellen an. Für die Herstellung noch dünnerer Wafer zur Umsetzung moderner Solarzellenkonzepte ist jedoch die Optimierung der eingesetzten Drahtsägetechnologie erforderlich. Mit dieser Zielsetzung führen wir am Fraunhofer ISE Testschnitte mit geringen Drahtabständen und Drahtdurchmessern durch.

Zur Evaluierung der dickenabhängigen Wafer-eigenschaften verwenden wir Drahtführungsrollen mit variierendem Abstand, um benachbarte Wafer mit unterschiedlicher Dicke erzeugen zu können (Abb. 1). Mit Hilfe dieses Verfahrens gelang es uns, Nachbarwafer mit Dicken zwischen 140 und 250 µm zu schneiden, wobei wir keine erhöhte Streuung der Waferparameter bei abnehmender Dicke beobachten konnten. Da multikristallines Material stark ortsabhängige Eigenschaften hat (z. B. die Diffusionslänge), sind solche Wafersätze eine wichtige Voraussetzung für die Durchführung von Materialuntersuchungen oder Tests von Solarzellenkonzepten.

Vor dem Hintergrund Solarzellen mit höchsten Wirkungsgraden auf immer dünneren Wafern herzustellen – insbesondere auf multikristallinem Material – forschen wir auch im Hinblick auf die minimale Waferdicke. Durch einen angepassten Prozess konnten wir bereits drahtgesägte Wafer mit 125x125 mm² Fläche und einer Dicke von nur noch 70 µm erfolgreich herstellen (Abb. 2).

Abb. 2: Wendet man bei Material mit geringen Eigenspannungen schonende Prozesse an, können äußerst geringe Waferdicken erreicht werden. So ist es uns gelungen, eine minimale Waferdicke von 70 µm für Wafer der Größe 125x125 mm² zu demonstrieren. Diese Prozesse müssen nun auf ihre Industrietauglichkeit hin überprüft werden.

Erzeugung lokaler Hochdotierung durch LCE-Verfahren

Neuartige Solarzellenkonzepte verlangen effiziente und flexible Mikrostrukturierungsverfahren. Das von uns entwickelte Laser Chemical Etching (LCE) kann hier neue Impulse für eine lokale Hochdotierung, z. B. für die Herstellung eines selektiven Emitters, geben.

Achim Eyer, Andreas Fell, Sybille Hopman, Takuro Kato, **Daniel Kray**, Kuno Mayer, Matthias Mesec, Christoph Ziegler, Gerhard Willeke

Höchsteffiziente Solarzellen besitzen so genannte selektive Emitters, d. h. unterschiedliche Dotierprofile unter den Kontakten und an den nicht metallisierten Bereichen. Diese verringern den Kontaktwiderstand zwischen Silicium und Metall und erhöhen die Offenkreisspannung (V_{OC}) der Solarzelle. Bisher war die Herstellung von selektiven Emittlern nur mit aufwändigen mehrstufigen Verfahren möglich. Durch die Verwendung phosphorhaltiger Ätzflüssigkeiten in unserem LCE-Verfahren haben wir eine Möglichkeit gefunden, in einem Schritt eine Mikrostrukturierung bei gleichzeitiger Hochdotierung mit Phosphor durchzuführen. Mit Hilfe von Emissions-SRI (Sheet Resistance Imaging) konnten wir nachweisen, dass durch LCE lokale Hochdotierungen zu erreichen sind (Abb. 1), deren Schichtwiderstände durch die Laserparameter zwischen 15 und 40 Ω/sq eingestellt werden können. Als Referenz haben wir den wasserstrahlgeführten Laser getestet und vermessen, wobei zwar eine schädigungsarme Mikrostrukturierung, nicht jedoch eine Dotierung sichtbar wurde (Abb. 2). Da für das LCE-Verfahren eine hohe Flexibilität in Bezug auf die eingesetzte Dotierflüssigkeit und die Laserparameter besteht, können wir die Erzeugung eines selektiven Emitters mit vorhergehender Mikrostrukturierung der Antireflexschicht auf der Solarzellen-Vorderseite wesentlich vereinfachen. Wir erwarten zudem, dass durch eine Anpassung des Flächenemitters der Solarzellen die Blauempfindlichkeit und der Gesamtwirkungsgrad deutlich gesteigert werden können.



Abb. 1: Emissions-SRI-Aufnahme von jeweils drei identischen LCE-Schnittgräben mit variierender Laserleistung. Hellere Farben zeigen höhere lokale Dotierungen an. Mit variierender Laserenergie lassen sich mittels LCE durch die Verwendung phosphorhaltiger Ätzchemikalien lokale Hochdotierungen erzeugen. Je nach Parameterwahl konnten wir bereits Schichtwiderstände zwischen 15 und 40 Ω/sq messen. Im Vergleich zu Abb. 2 kann die Dotierung eindeutig auf die phosphorhaltigen Flüssigkeiten zurückgeführt werden.

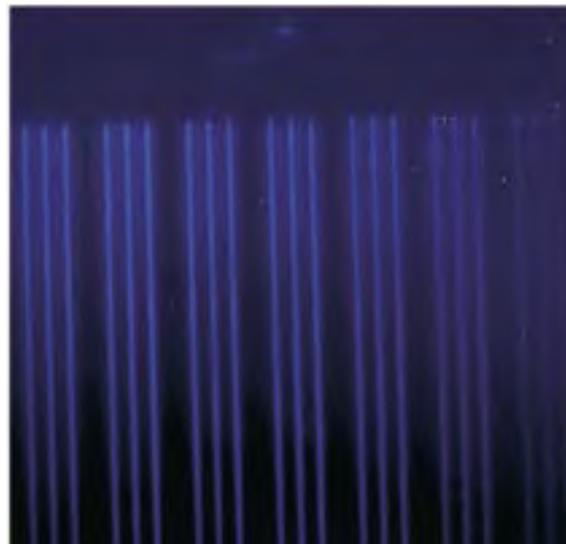


Abb. 2: Emissions-SRI-Aufnahme analog zu Abb. 1 unter Verwendung von Wasser als Medium. Es kann keine Dotierung erzeugt werden. Die hellere Färbung spiegelt lediglich die schädigungsarme Mikrostrukturierung in den Gräben wider.

In-situ Epitaxie von Emitttern für kristalline Silicium-Dünnschichtsolarzellen

Emitter für Solarzellen, typischerweise die »n«-Schicht der »pn«-Diodenstruktur der Solarzelle, werden derzeit fast immer durch Diffusion hergestellt. Am Fraunhofer ISE haben wir ein wesentlich schnelleres und flexibleres Verfahren für die Emittterherstellung untersucht: die chemische Gasphasenabscheidung von Silicium. Damit konnten wir in nur einem Zehntel der typischen Prozesszeit Emittter herstellen, die in ihrer Qualität mit den diffundierten Referenzen vergleichbar sind.

Evelyn Schmich, Norbert Schillinger, Mira Kwiatkowska, Fabian Trenkle, Jochen Hees, Harald Lautenschlager, **Stefan Reber**, Gerhard Willeke

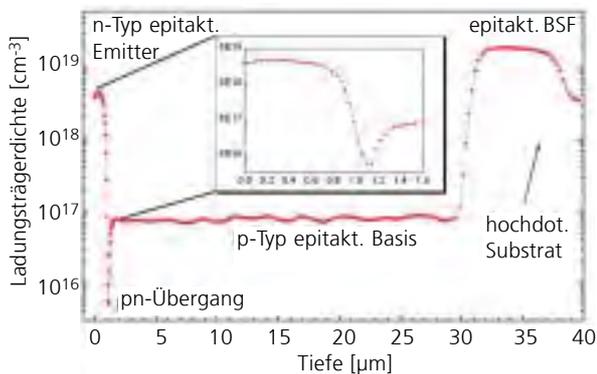


Abb. 1: Dotierprofil einer in-situ gewachsenen kristallinen Silicium-Dünnschichtsolarzelle. Im Inset ist das kastenförmige Profil des Emitters gut zu erkennen, das für bestmögliche Solarzeleigenschaften sorgt.

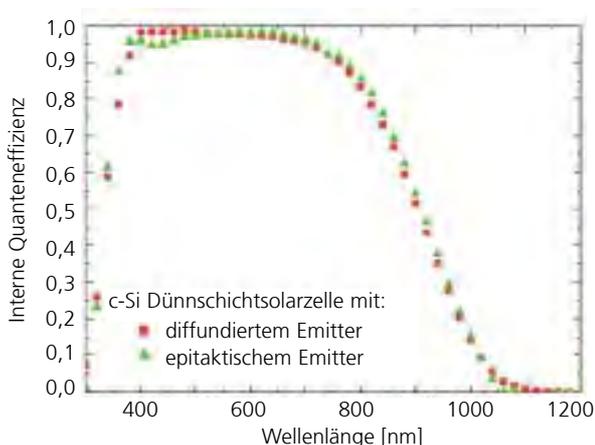


Abb. 2: Interne Quanteneffizienz der in Abb. 1 beschriebenen Solarzelle im Vergleich mit der herkömmlich diffundierten Referenz. Es gibt fast keinen Unterschied der beiden Kurven, d. h. die Sammeleigenschaften der beiden Solarzellen sind nahezu gleich.

Bei der Diffusion eines Emitters in Silicium bestimmen die Diffusionsgesetze das Ergebnis: das Konzentrationsprofil wird eindeutig durch Temperatur, Zeit und Konzentration der Quelle vorgegeben. Will man eine für die Produktion wünschenswerte kurze Prozesszeit, erhält man einen nicht optimalen, weil sehr hoch dotierten Emitter. Diffundiert man dagegen einen optimalen, etwa 1 µm tiefen »kastenförmigen« Emitter, sind die Prozesszeiten mit über einer Stunde unwirtschaftlich lang. Zudem verbleibt immer ein nur aufwändig zu entfernender Rest der Dotierstoffquelle auf der Oberfläche. Um dieser Problemstellung innovativ zu begegnen, wenden wir das Verfahren der epitaktischen chemischen Gasphasenabscheidung (CVD) an. Dieses Verfahren nutzen wir seit langem für die Herstellung der Basis (»p-Schicht«) von kristallinen Silicium-Dünnschichtsolarzellen.

Bei einer typischen Abscheiderate von 5 µm pro Minute braucht man nur wenige Sekunden für die Abscheidung des optimalen Emitters mit jeder gewünschten Dotierungsart und -höhe. Die praktische Anwendung zeigte zunächst, dass es auch in CVD-Anlagen für die Photovoltaik gut möglich ist, dünne Siliciumschichten mit kastenförmigem Profil für Emittter abzuscheiden. Diese können sowohl für hocheffiziente Silicium-Wafersolarzellen, als auch für kristalline Silicium-Dünnschichtsolarzellen verwendet werden. Für letztere Anwendung stellten wir in-situ pn-Strukturen mit sehr gutem Dotierprofil her, wie Abb. 1 zeigt. Solarzellen aus diesen Strukturen zeigten eine sehr gute Performance: Die beste Leerlaufspannung der Zellen von 646 mV entspricht exakt der konventionell diffundierten Referenz, auch der Wirkungsgrad ist mit 14,8% ähnlich hoch wie die 14,9% der Referenz. Abb. 2 belegt, dass auch in den inneren Werten Referenz und epitaktischer Emitter gleichwertig sind. Letzterer benötigt jedoch nur ein Zehntel der Prozesszeit, ohne weiteren Ätzschritt.

Die Arbeiten werden zum Teil im Rahmen des EU-Projekts »Crystal Clear« gefördert.

Physikalische Gasphasenabscheidung für kristalline Siliciumsolarzellen

Physikalische Gasphasenabscheidungsverfahren werden im Labor seit langem zur Kontaktierung von hocheffizienten Solarzellen eingesetzt. Am Fraunhofer ISE konnten wir jetzt zeigen, dass diese Verfahren die notwendigen Bedingungen für eine kostengünstige Umsetzung in die industrielle Produktion erfüllen.

René Bergander, Jan Catoir, Gernot Emanuel, Frank Fleischhauer, Stefan Glunz, Andreas Grohe, Jürgen Kamerewerd, **Ralf Preu**, Philipp Richter, Oliver Schultz, Winfried Wolke, Gerhard Willeke

Solarzellen aus kristallinem Silicium werden heute industriell überwiegend mittels metallhaltiger Pasten kontaktiert. Diese werden im Siebdruckverfahren aufgebracht und kurzzeitig erhitzt, um einen leitfähigen Halbleiter-Metallkontakt zu erzeugen. Auf der Solarzellenrückseite wird durch das Einlegieren einer aluminiumhaltigen Paste mit ca. 40 µm Schichtdicke die Dotierung der Siliciumscheibe derart erhöht, dass eine signifikante Passivierung der Oberfläche erreicht wird.

Für hocheffiziente Laborsolarzellen setzen wir im Gegensatz hierzu physikalische Gasphasenabscheidungsverfahren (PVD) zur Abscheidung der Metallkontakte ein. Für die Solarzellenrückseite wird dabei vor der Aufbringung einer ca. 2 µm dicken Aluschicht eine ca. 0,1 µm dünne dielektrische Schicht aufgebracht, die einer exzellenten Passivierung und Verspiegelung der Oberfläche dient. Der eigentliche Kontakt wird durch lokales

Einlegieren des Aluminiums mittels hochenergetischer Laserpulse erreicht. Mit dem Ziel der Umsetzung dieser Form der Kontaktierung haben wir die Randbedingungen für den industriellen Einsatz von drei inline-fähigen PVD-Verfahren untersucht: Kathodenzerstäubung, thermisches und Elektronenstrahl-Verdampfen. Durch die Herstellung hocheffizienter Solarzellen konnten wir zeigen, dass für alle drei Verfahren Wirkungsgrade von 21% erreichbar sind. Weiterhin konnten wir beweisen, dass die Verwendung sehr hoher Abscheideraten und vergleichsweise unreinen Aluminiums die Leistung der Solarzellen nicht negativ beeinflusst. Aufgrund der deutlich reduzierten Menge der aufgetragenen Schicht können deshalb im Vergleich zu den aluminiumhaltigen Pasten auch die Materialkosten deutlich gesenkt werden.

Die Arbeiten wurden in dem vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) geförderten Projekt INKA mit Unterstützung der Projektpartner Applied Materials GmbH, Alzenau, und Deutsche Cell GmbH, Freiberg, durchgeführt.

Rückseite	V _{oc} [mV]	J _{sc} [mA/cm ²]	FF [%]	η [%]
e-Strahl	675±5	39.4±0.3	78.5±2.3	20.9±0.8
Thermisch	677±3	39.4±0.3	78.4±1.0	20.9±0.5
Sputter	669±1	39.0±0.4	78.8±0.5	20.6±0.3

Tabelle: Kennliniendaten für die untersuchten PVD-Verfahren beim Einsatz in hocheffizienten Solarzellen. Alle Verfahren erreichen in etwa das gleiche hohe Wirkungsgradniveau von ca. 21%.



Abb. 1: Kathodenzerstäubungsanlage zur inline-Abscheidung von Aluminium und Siliciumnitrid.

Neue Verfahren zur Herstellung von Solarzellenkontakten

Die in der Solarzellenindustrie derzeit am weitesten verbreitete Technologie zur Herstellung von Vorderseitenkontakten ist der Siebdruck von Metallpasten. Dieses zwar robuste Verfahren hat jedoch wesentliche Nachteile im Hinblick auf die Qualität der Solarzelle, wie zu breite Kontaktfinger, hohe Kontaktwiderstände und geringe Leitfähigkeit. Ziel einer umfangreichen Forschungsaktivität am Fraunhofer ISE ist es daher, neue Herstellungsverfahren zu entwickeln, die industriell umsetzbar sind und dennoch ein hohes Wirkungsgradpotenzial aufzeigen.

Monica Aleman, Aleksander Filipovic, **Stefan Glunz**, Matthias Hörteis, Anke Herbolzheimer, Ansgar Mette, Peter Regenfuß*, Philipp Richter, Christian Schetter, Oliver Schultz, André Streck*, Gerhard Willeke

* Laserinstitut Mittelsachsen, Mittweida

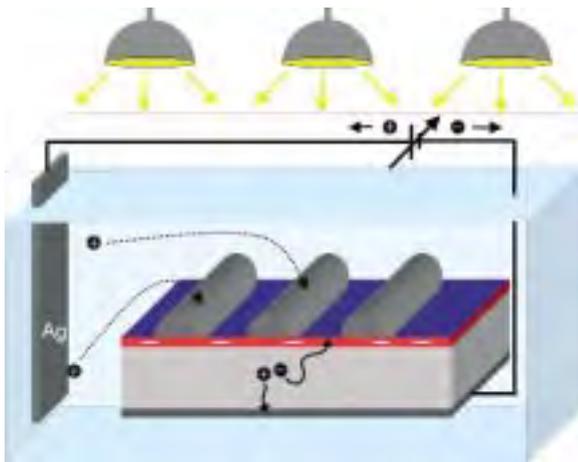


Abb. 1: Funktionsweise der lichtinduzierten Galvanik. Die Solarzelle und die Silberopferanode (links) befinden sich in einem elektrolytischen Bad. Die Rückseite der Solarzelle wird gegenüber der Silberanode auf ein Schutzpotenzial gelegt. Durch das Beleuchten der Solarzelle wird eine zusätzliche negative Spannung am Vorderseitenkontaktgitter generiert, so dass sich hier positive Silberionen abscheiden und das Kontaktgitter verstärken. Dieser Prozess ist industriell wesentlich einfacher umzusetzen als die direkte Kontaktierung des filigranen Vorderseitenkontaktgitters.

Nach der Evaluierung verschiedener Metallisierungskonzepte zeigte sich, dass das Wirkungsgradpotenzial im Allgemeinen dann sehr begrenzt ist, wenn die gesamte Kontaktlinie auf der Solarzellenvorderseite in einem Schritt aufgebracht wird. Wesentlich Erfolg versprechender ist dagegen der folgende zweistufige Prozess, der die Grundlage für alle am Fraunhofer ISE entwickelten Verfahren bildet:

Aufbringen eines Kontaktmetalls mit einem neuartigen Verfahren

Diese Kontaktlinie dient dem Zweck, eine gute mechanische Haftung und einen guten elektrischen Kontakt zur Emitterschicht der Solarzelle zu gewährleisten. Sie dient weiterhin als »Saatlinie« für den nachfolgenden Galvanikschritt.

Verdicken der Kontaktlinie mit einem galvanischen Prozess

Durch die galvanische Verdickung der dünnen Kontaktlinien wird der Linienwiderstand der Kontaktfinger stark reduziert. Für diese Technologie steht am Fraunhofer ISE die so genannte lichtinduzierte Galvanik zur Verfügung, die den photovoltaischen Effekt der Solarzelle nutzt (Abb. 1) und somit einfach industriell umsetzbar ist.

Durch die Aufteilung des Prozesses in zwei Stufen können wir in jedem Schritt eine für die jeweilige »Aufgabe« (Kontaktbildung bzw. Leitfähigkeit) optimale Konfiguration (Metall, Geometrie u. a.) nutzen. Dieses zweistufige Verfahren dient als Basis für die Metallisierung höchsteffizienter Solarzellen am ISE, z. B. der Weltrekordzelle aus multikristallinem Silicium.

Zur Herstellung der Saatschicht haben wir vier aussichtsreiche Technologien entwickelt:

- Tampondrucken von Siebdruckpasten
- Kontaktloses Drucken von Metallaerosolen, Metal Aerosol Printing (MAP)
- Nickelabscheidung auf Oberflächen mit lokal geöffneten dielektrischen Schichten
- Lokales Schmelzen von Metallpulvern, Local Laser Melting of Metal Powders (LAPO)

Beim MAP-Verfahren wird aus einer Siebdruckpaste ein Metallaerosol generiert. Dieses Metallaerosol wird durch einen speziell konzipierten Druckkopf auf die Solarzelle geführt (Abb. 2). Dabei umgibt ein ringförmiger Fokussiergasstrom aus Stickstoff den Aerosolstrom, der verhindert, dass das Metallaerosol in Kontakt mit den Düsenwänden kommt und den Druckkopf verstopft. Durch diese Fokussierung können Strukturen gedruckt werden, die ungefähr um den Faktor 4 kleiner sind als der Düsendurchmesser. So ist es uns bereits gelungen, Linienbreiten unter 50 µm mit Standardsiebdruckpasten zu erreichen. Mit klassischem Inkjet-Druck würde dies unweigerlich zu einer Verstopfung der Druckdüse führen. Die so hergestellten Solarzellen zeigen aufgrund der kleineren Abschattung einen Wirkungsgrad, der signifikant besser ist als der Wirkungsgrad parallel hergestellter Solarzellen mit Standard-siebdruck.

Bei der LAPO-Technologie wird auf die Solarzellenoberfläche ein Metallpulver aufgebracht, das mittels Laser linienförmig auf der Solarzelle aufgeschmolzen wird (Abb. 3). Das restliche Pulver wird dann entfernt und kann recycelt werden. Durch die Optimierung der Laserparameter in Zusammenarbeit mit dem Laserinstitut Mittweida konnten wir eine Schädigung der Solarzellenstruktur, insbesondere des knapp unter der Oberfläche liegenden pn-Übergangs, auf ein Minimum reduzieren. So können wir Füllfaktoren von über 78% erreichen. Besonders bemerkenswert ist das erfolgreiche Kontaktieren auch von Solarzellen mit Oberflächentextur und dielektrischer Oberflächenpassivierung.

Die hier vorgestellten Arbeiten wurden maßgeblich vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) im Rahmen des Vorhabens »KonVoi« gefördert.

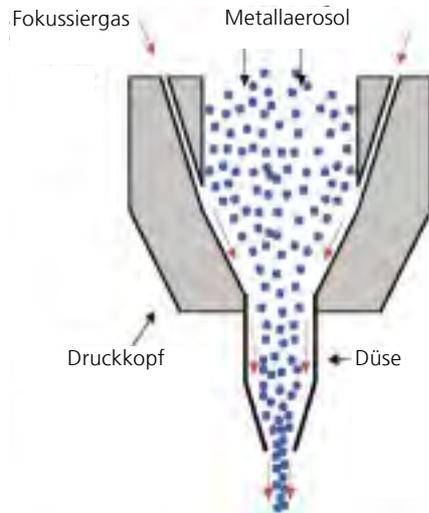


Abb. 2: Druckkopf beim Aerosoldrucken (MAP). Das Metallaerosol wird mittels eines ringförmigen Gasstroms fokussiert. So wird ein Kontakt der relativ großen Metallpartikel mit den Druckkopfswänden verhindert. Die erreichbaren Strukturgrößen sind um den Faktor 4 kleiner als der Durchmesser der Düse.



Abb. 3: REM-Aufnahme einer Metallsaatschicht, die mittels Laseraufschmelzen eines Metallpulvers (LAPO) erzeugt wurde. Im oberen Teil des Bildes ist die Verdickung dieser Saatschicht mittels lichtinduzierter Galvanik zu erkennen.

Industriell herstellbare hocheffiziente Siliciumsolarzellen

Siliciumsolarzellen mit Wirkungsgraden von über 20% können im Labormaßstab schon seit einigen Jahrzehnten hergestellt werden, spielen allerdings in der industriellen Fertigung bisher nur eine untergeordnete Rolle. Kostenrechnungen zeigen jedoch eindeutig, dass eine Erhöhung des Wirkungsgrads – insbesondere vor dem Hintergrund der derzeitigen marktbedingten Siliciumpreise – unabdingbar für die Reduzierung der Energiegestehungskosten ist.

Stefan Glunz, Filip Granek, Daniela Grote, Andreas Grohe, Christian Harmel, Martin Hermle, Annerose Knorz, Norbert Kohn, Antonio Leimenstoll, Ralf Preu, Philipp Richter, Sonja Seitz, **Oliver Schultz**, Gerhard Willeke

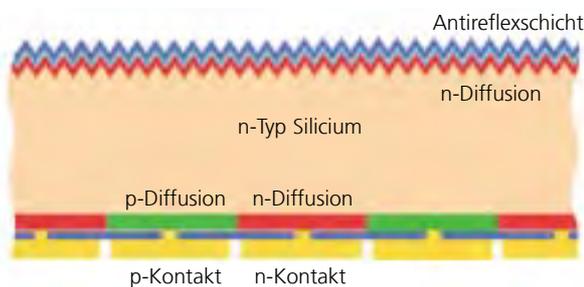
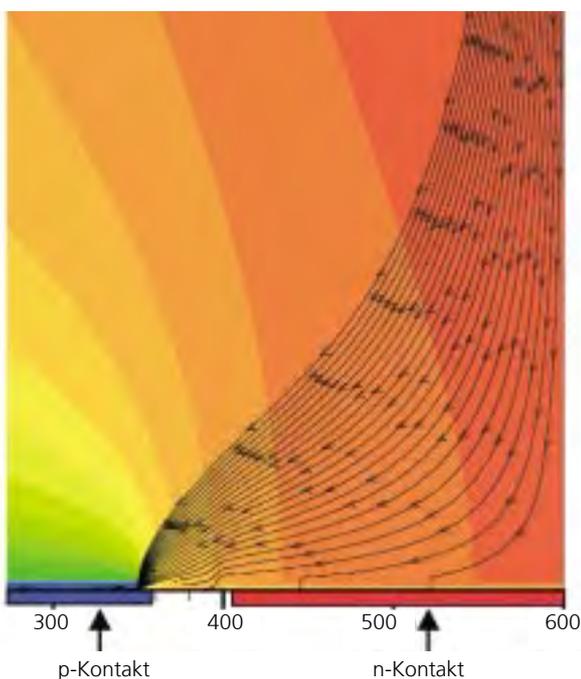


Abb. 1: Struktur einer Rückseitenkontakt-Solarzelle. Positive und negative Kontakte befinden sich auf der Rückseite der Zelle. Die Vorderseite der Zelle ist texturiert und mit einer Antireflexschicht versehen, um die Lichteinkopplung zu verbessern.



Eine besonders elegante Variante höchsteffizienter Solarzellen ist die Rückseitenkontakt-Solarzelle, bei der sich sowohl der negative als auch der positive Kontakt auf der Rückseite befinden (Abb. 1). Diese Zellen zeichnen sich durch ein ästhetisches Erscheinungsbild, einen hohen Wirkungsgrad und eine einfache Modulverschaltung aus. Allerdings ist die Trennung von p- und n-diffundierten Bereichen wesentlich komplexer als bei Standardsolarzellen. Die Entwicklung der damit verbundenen Strukturierungstechnologie war eine der Hauptherausforderungen in einem Forschungsvorhaben zur Entwicklung einer industriell herstellbaren hocheffizienten Rückseitenkontakt-Solarzelle. Einerseits ist das Ziel ein hoher Wirkungsgrad, andererseits soll die Zelle hinreichend kostengünstig für die industrielle Fertigung sein, eine Anforderung, die zum Beispiel Photolithographieprozesse ausschließt.

Ein entscheidendes Kriterium ist die minimal erreichbare Strukturgröße. Vereinfacht gesagt gilt: Je feiner die Strukturen, desto größer das Wirkungsgradpotenzial, aber auch die Prozesskomplexität. Um eine quantitative Aussage über die minimal notwendige Auflösung treffen zu können, haben wir zunächst zweidimensionale Simulationen durchgeführt (Abb. 2). Die erzielten Ergebnisse zeigten auf, dass eine Strukturierung der p- und n-Bereiche auf der Rückseite besonders effektiv mit einem Laser durchgeführt werden kann. Eine wichtige Anforderung für den Laserprozess ist allerdings, dass hierdurch keine Schädigung in das Silicium eingebracht wird. Mit den unter diesen Randbedingungen optimierten Prozessen war es uns möglich, ohne die Verwendung von Photolithographieschritten eine rückseitenkontaktierte Solarzelle aus Czochralski-Silicium mit einem Wirkungsgrad von 21% herzustellen.

Diese Ergebnisse entstanden im Rahmen einer Zusammenarbeit zwischen dem Fraunhofer ISE, dem Institut für Solarenergieforschung (ISFH), Hameln, und der Q-Cells AG. Das Projekt erfährt finanzielle Förderung durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) sowie die Q-Cells AG.

Abb. 2: Ausschnitt aus einer zweidimensionalen numerischen Simulation des Löcherstromflusses (Pfeile) und der Quasi-Ferminiveau-Verteilung (Farben) in einer Rückseitenkontakt-Solarzelle.

Kontaktierung dünner Solarzellen

Bei Waferstärken unterhalb 200 μm und steigenden Zellströmen wird die Kontaktierung von Solarzellen zunehmend anspruchsvoller. Wir entwickeln Technologien, um die mechanische Belastung der Zellen in Produktion und Betrieb zu minimieren. Im November 2006 ging unser neues Modul-Technikum in Betrieb. Es ergänzt die Zellfertigung des Photovoltaik Technologie Evaluationscenters PV-TEC.

Harry Wirth, Marco Tranitz,
Andreas Gombert

Die Kontaktierung von Solarzellen spielt eine entscheidende Rolle für den Ertrag und die Beständigkeit eines PV-Moduls. Insbesondere bei dünnen Zellen führen Mängel in der Prozesskontrolle oder im Materialdesign zu erhöhten Zellbruchraten.

Wir untersuchen neue, schonende Kontaktierungsmethoden, die weniger Spannungen in die Kontaktstelle und in das Zellmaterial einbringen. Eine interessante Option bietet das Laserschweißen. Mit seiner punktuellen, dosierten Wärmezufuhr können thermo-mechanische Spannungen zwischen Zellverbinder und Wafer verringert werden. Außerdem ermöglicht die hohe Leistung schnelle Taktzeiten pro Lötstelle. Abb. 1 zeigt einen Zellstring-Prototypen, dessen Zellverbinder mit einem Laser auf die Zelle gelötet wurde.

Im November 2006 ging am ISE das neue Photovoltaik Modul-Technikum in Betrieb. Abb. 2 zeigt eine Innenansicht. Mit dem Technikum schließen wir die Lücke zwischen Laborentwicklung und industrieller Produktionstechnologie. Wir unterstützen unsere Kunden bei der Prüfung und Weiterentwicklung ihrer Produkte, seien es neue Zellen, Materialien oder Prozessschritte. Das Modul-Technikum ermöglicht die Verarbeitung von aussagekräftigen Stückzahlen und Formaten. Eine Übertragung der Erkenntnisse in die industrielle Serienproduktion ist unmittelbar möglich. Kernstücke des Technikums sind ein Tabber-Stringer der Firma Somont mit vollautomatischer und experimenteller Linie, ein Laminator und verschiedene Analysetechnologien zur Qualitätssicherung (Abb. 2).

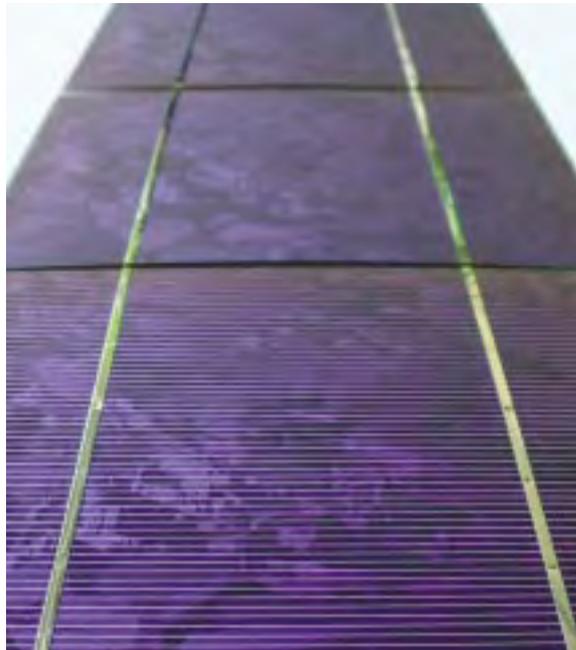


Abb. 1: Lasergelöteter Zellstring mit 156-mm-Zellen aus der PV-TEC Fertigungslinie.



Abb. 2: Photovoltaik Modul-Technikum mit Tabber-Stringer (im Vordergrund) und Laminator (links).

Photovoltaik Technologie Evaluationscenter PV-TEC

Das Photovoltaik Technologie Evaluationscenter PV-TEC ist seit März 2006 vollständig in Betrieb. Mit modernsten Prozess- und Analysegeräten auf 1200 m² Laborfläche bietet die Einrichtung umfangreiche Serviceleistungen an. Erstmals besteht hier für die Photovoltaikforschung die Möglichkeit, komplexe Experimente bei hohem Anlagendurchsatz durchzuführen. Das Zentrum bietet seine Forschungsleistungen Herstellern von Solarzellen, Anlagen und Materialien sowie Forschungsinstituten an.

Daniel Biro, Ralf Preu, Gernot Emanuel, Stefan Glunz, Stefan Rein, Ingo Brucker*, Jochen Rentsch, Clemens Faller, Thomas Faasch, Norbert Kohn*, Udo Belledin*, Heike Furtwängler*, Christian Harmel, Denis Erath, Martin Zimmer, Florian Clement, Nicola Mingirulli, Albrecht Weil*, René Bergander, Andreas Grohe,
Gerhard Willeke

* PSE GmbH Forschung Entwicklung Marketing, Freiburg

Die Nachfrage von FuE-Leistungen im Bereich der Produktionstechnologien für Solarzellen hat in den letzten Jahren sehr stark zugenommen. Forschungsleistungen, die direkt in die Produktion Einzug finden sollen, sind dabei von besonders großem Interesse.

Das Fraunhofer ISE veranstaltete aus diesem Grund im Oktober 2004 einen Workshop, zu dem alle größeren in der Photovoltaikindustrie positionierten Unternehmen eingeladen wurden. Gegenstand des Workshops war die Sammlung von Anforderungen an ein neu zu errichtendes, speziell auf die Bedürfnisse der PV-Industrie abgestimmtes Forschungszentrum. Um den finanziellen Rahmen der anzubietenden Forschungsleistungen abschätzen zu können, erfolgte ergänzend zum Workshop eine Abfrage unverbindlicher Absichtserklärungen bei den beteiligten Firmen. Die Industrie stellte eine jährliche Gesamtauftragssumme von über 2 Millionen Euro in Aussicht.

Vor dem Hintergrund dieser Rahmenbedingungen bewilligte das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) dem Fraunhofer ISE gut 12 Millionen Euro für die Erstausrüstung des Zentrums. Die Fraunhofer-Gesellschaft ergänzte diese Summe um zusätzliche zwei Millionen Euro für Infrastrukturmaßnahmen. Ende 2005 konnte das im Solar Info Center – in der Nähe des Fraunhofer ISE Hauptgebäudes – angesiedelte neue Forschungszentrum »Photovoltaik Technologie Evaluationscenter PV-TEC« in Betrieb genommen werden. Im Beisein von Bundesumweltminister Sigmar Gabriel erfolgte im März 2006 die Einweihung. Die äußerst positive Auftragslage des PV-TEC bestätigt unsere Erwartung, dass mit dem Aufbau eines solchen Zentrums der Technologietransfer vom Labor in die expandierende Solarindustrie deutlich beschleunigt werden kann.



Abb. 1: Im PV-TEC stehen modernste Fertigungsanlagen zur Verfügung. Zur Grundausstattung gehören: Batch Multifunktionsnasschemieanlage, in-line Texturanlage, Rohrdiffusion/-oxidation, Plasmaunterstützte Gasphasenabscheidung (PECVD), Sputterbeschichter, Siebdrucklinie, Laseranlage, Solarzellentester und -sorter. Schnelle Inline-Messgeräte sind in die Anlagen integriert.

Das dem neuen Zentrum zugrunde liegende Konzept ist mehrstufig. Eine automatisierte Basisprozesskette mit einer Kapazität von etwa 200–1000 Wafern pro Stunde bildet die Grundstufe. Die darin aufgebauten Prozesse dienen als Vergleichsgrundlage für neue Technologien, Prozessfolgen oder Materialien. Alle Geräte wurden zusätzlich zu Ihrer jeweiligen Funktion in der Basisprozesskette mit innovativen Komponenten ausgestattet, um umfangreiche FuE-Möglichkeiten bieten zu können. Die gesamte Anlage ist auf die Waferformate 125, 156 und 210 mm Kantenlänge ausgerichtet.

Neben der Basisprozesskette verfügt PV-TEC über freie Flächen, auf denen im Kundenauftrag Geräte vorübergehend aufgestellt werden können, um Prozessentwicklungen durchzuführen.

Ein wesentlicher Baustein der Dienstleistungen in PV-TEC sind die Charakterisierungsmöglichkeiten. So steht ein umfassendes Charakterisierungslabor zur Verfügung, zudem wurden verschiedene Charakterisierungsgeräte in die Automatisierungseinheiten integriert, um eine schnelle Inline-Charakterisierung zu ermöglichen.

Die PV-TEC Serviceleistungen umfassen:

- Prozessentwicklung und Technologieevaluation
- Fertigung und Charakterisierung von Solarzellen und Halbzeug
- Qualitätsprüfung von Silicium und anderen Materialien
- Schulung von Fremdpersonal



Abb. 2: Im PV-TEC Charakterisierungslabor können verschiedene hochauflösende Messungen durchgeführt werden. Die wichtigsten Messplätze sind: Infrarot-Multifunktionsmessplatz, großflächige Externe Quanteneffizienz, ortsauflösende Lebensdauerermessung, Schicht- und Kontaktwiderstandstopographie, Reflexion spektral aufgelöst. Inline-Messgeräte sind in die Anlagen integriert.



Abb. 3: Es stehen verschiedene Systeme im Bereich der Beschichtungstechnologie zur Verfügung (PECVD, Sputtern, thermische Oxidation). Die Vielzahl der Prozesse schließt insbesondere die Abscheidung von Siliciumnitrid, Siliciumoxid, amorphes Silicium und Aluminium ein.



Abb. 4: Der Nasschemie-Cluster besteht aus einer Inline- und einer Batch-Vielzweckanlage sowie einem Chemikalienversorgungsmodul. Neben den Standardätzverfahren für mono- und multikristallines Silicium sind innovative Funktionen wie einseitiges Ätzen integriert. Die hierfür zur Verfügung stehende Analytik umfasst Titration, Chromatographie, Infrarot und Ultraviolett-Spektroskopie.

Hochauflösende Kurzschlussstromtopographie am Labor- und Servicecenter Gelsenkirchen

In unserem Labor- und Servicecenter Gelsenkirchen haben wir ein LBIC-System zur Messung der internen Quantenausbeute (IQE) bei einer Wellenlänge von 830 nm mit einer Ortsauflösung von 6 μm aufgebaut. LBIC steht für »light beam induced current«. Mit der Anlage wird der Einfluss wirkungsgradreduzierender Defekte wie Korngrenzen, Versetzungen oder Ausscheidungen in Solarzellen präzise quantifiziert. Damit können wir den Einfluss von Parametern des Solarzellenprozesses auf einzelne Defekte gezielt untersuchen.

Dietmar Borchert, Daniel Dopmeier, Martin Hermenau, Stefan Müller, Maik Pirker, **Markus Rinio**, Marco Rossow, Kathrin Schmidt, Mark Scholz, Christian Staubach, Gerhard Willeke

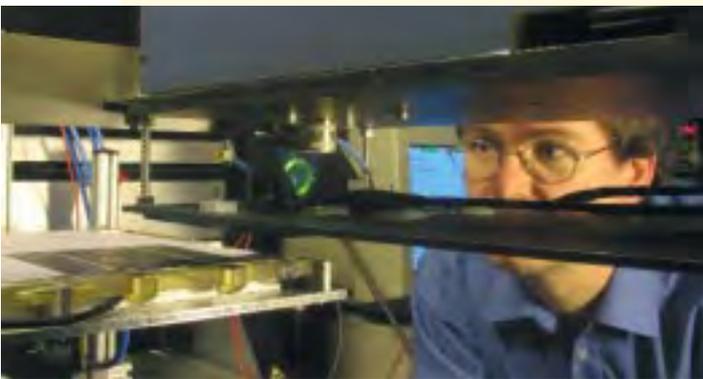
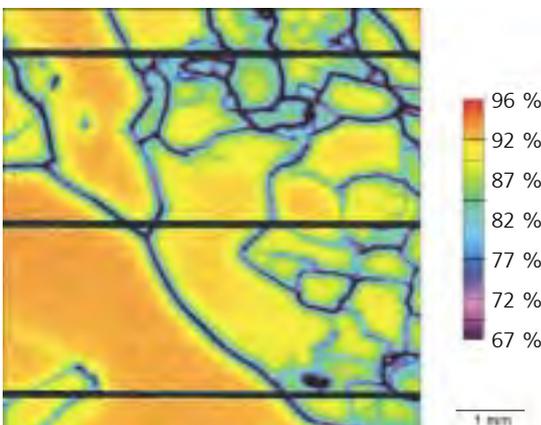


Abb. 1: LBIC-Anlage zur Messung der internen Quanteneffizienz von Solarzellen mit bis zu 6 μm Ortsauflösung. Hierzu wird die Solarzellenprobe (links im Bild) zeilenweise mit einem Laserstrahl abgetastet. Gleichzeitig wird mit mehreren Detektoren (Bildmitte) ortsaufgelöst der Reflexionsfaktor der Probe gemessen.



Um die zu einer Wirkungsgradverschlechterung führenden Positionen auf einer Solarzelle identifizieren zu können, setzen wir das LBIC (light beam induced current)-Verfahren ein. Bei diesem Verfahren wird die Solarzelle zeilenweise mit einem Laserstrahlpunkt beleuchtet und dabei gleichzeitig der erzeugte Kurzschlussstrom als Funktion des Beleuchtungsorts gemessen. Dieser Strom wird durch sorgfältige Kalibrierung in die externe Quanteneffizienz umgerechnet, welche dem Anteil der von der Solarzelle genutzten Photonen entspricht.

Die in Gelsenkirchen aufgebaute Anlage (Abb. 1) besitzt außerdem ein aufwändiges System aus Reflexionsdetektoren, die zusätzlich ein Topogramm des Reflexionsfaktors der Solarzelle liefern. Aus beiden Ergebnissen wird ein Topogramm der internen Quanteneffizienz (IQE) berechnet (Abb. 2), welche dem Anteil der im Inneren der Solarzelle genutzten Photonen entspricht.

Die Messung eines Topogramms mit typischerweise 500x500 Messpunkten dauert ca. 2 Stunden bei Ortsauflösungen von bis zu 6 μm . Es können Solarzellen mit annähernd 30x30 cm^2 Größe vermessen werden. Durch die hohe Ortsauflösung kann der Einfluss ausgewählter Solarzellenprozessschritte auf einzelne Defekttypen des Ausgangsmaterials verfolgt werden. Im Labor- und Servicecenter Gelsenkirchen bieten wir diese Messungen als Service an.

Abb. 2: Topogramm der internen Quanteneffizienz einer multikristallinen Solarzelle bei 830 nm Wellenlänge. Die gebogenen dunklen Linien entsprechen Korngrenzen, an welchen die Photonenabsorption reduziert wird. Schlierenartige dunkle Bereiche dazwischen zeigen elektrisch aktive Versetzungscluster. Die drei horizontalen Linien sind die Kontaktfinger der Solarzelle.

Qualifizierung von Silicium-Ausgangsmaterial durch Untersuchung der Haftstellenverteilung

Um anhand der Qualität des multikristallinen Ausgangsmaterials die spätere Leistung einer fertig prozessierten Solarzelle vorausberechnen zu können, verfolgen wir einen neuen Ansatz. Bislang war eine solche Vorhersage nur eingeschränkt möglich, weil sich das Siliciummaterial im Solarzellenprozess abhängig von lokalen Eigenschaften stark verändert. Mit der Haftstellenverteilung, die wir mit Hilfe einer IR-Kamera aufnehmen, haben wir nun einen Parameter im Ausgangsmaterial identifiziert, der in Korrelation zu den wirkungsgradbegrenzenden Gebieten der Zelle steht.

Martin Schubert*, Wilhelm Warta,
Gerhard Willeke

* Freiburger Materialforschungszentrum FMF,
Albert-Ludwigs-Universität Freiburg

Die Diffusionslänge von Minoritätsladungsträgern in Solarzellen ist ein bestimmender Faktor für deren Wirkungsgrad. Sie kann mit der Spectrally Resolved Light Beam Induced Current (SR-LBIC)-Methode bestimmt werden (Abb. 2).

Um aus den Eigenschaften des Silicium-Ausgangsmaterials die spätere Diffusionslänge in der Solarzelle abzuschätzen, stand bisher nur die Bestimmung der Trägerlebensdauer am Ausgangsmaterial zur Verfügung. Die dafür notwendigen Präparationsschritte sind aufwändig. Außerdem zeigt sich, dass durch verschiedene Prozessschritte die Lebensdauer während des Prozesses stark verändert wird.

Mit Hilfe der Carrier Density Imaging (CDI)-Methode können wir, mit kurzer Messzeit und ohne vorherige Probenpräparation, ein Maß für die Haftstellenverteilung im Ausgangsmaterial gewinnen (Abb. 1). Haftstellen werden temporär mit Ladungen besetzt, bewirken so ein Messsignal, jedoch keine Rekombination. Aus dieser Messung lässt sich bei bekanntem Prozess und vergleichbarem Material eine Vorhersage der Diffusionslänge der Solarzelle direkt aus dem Ausgangsmaterial bestimmen (Abb. 3). Insbesondere die den Wirkungsgrad bestimmenden Bereiche niedriger Diffusionslänge lassen sich durch eine hohe Haftstellendichte identifizieren.

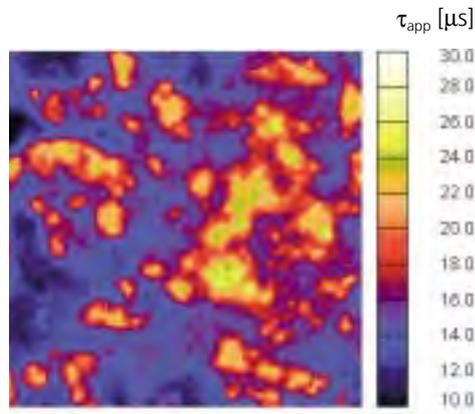


Abb. 1: Verteilung der Haftstellen in einer Scheibe aus multikristallinem Ausgangsilicium. Hohe Werte (in beliebigen Einheiten) bezeichnen hohe Messwerte der scheinbaren Lebensdauer, die nicht von geringer Rekombination, sondern von einer hohen Dichte an Haftstellen hervorgerufen werden. In vorhergehenden Arbeiten konnten wir nachweisen, dass diese wiederum mit der Dichte an Kristallversetzungen korrelieren.

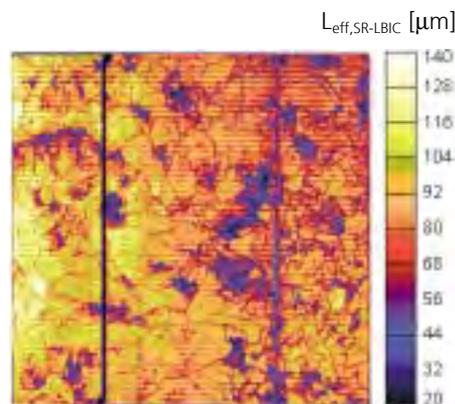


Abb. 2: Im Bild der effektiven Lebensdauer, gemessen an der fertig prozessierten Solarzelle, zeigen sich Bereiche niedriger Materialqualität (blau). Durch sie wird der Wirkungsgrad der Solarzelle begrenzt. Genau diese Bereiche korrelieren aber gut mit solchen hoher Dichte der Haftstellen im Ausgangsmaterial (gelb/rot in Abb. 1).

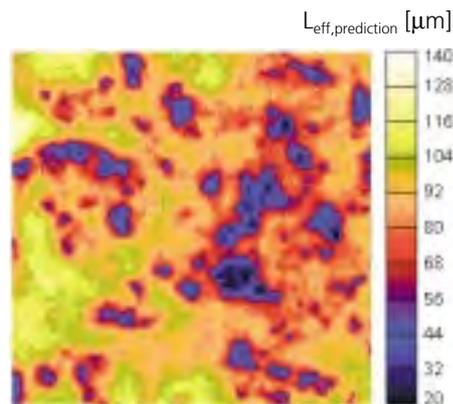


Abb. 3: Mithilfe eines linearen Modells ist es uns gelungen, aus der Haftstellenverteilung im Silicium-Ausgangsmaterial eine Voraussage der Diffusionslänge in der Solarzelle zu berechnen.

Wir stellen mit dieser Methode ein neues Kriterium zur Beurteilung von Silicium für Solarzellen bereit, das geeignet erscheint, materialbedingte Beschränkungen des Zellwirkungsgrads aufzuzeigen.

Die Arbeiten werden vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert.

Untersuchungen und Entwicklungsarbeiten an Weltraumsolarzellen

Im Weltraum werden derzeit nur noch selten Siliciumsolarzellen eingesetzt. Stattdessen nutzt man monolithische 3fach Kaskaden-solarzellen aus GaInP/GaInAs/Ge. Diese Zellen erzielen höhere Wirkungsgrade und zeigen ein besseres Verhältnis von Leistung und Gewicht. Wir arbeiten daran, derartige Zellen zu verbessern, indem wir weitere pn-Übergänge einführen. Außerdem passen wir die Solarzellenstrukturen für spezielle Missionen an, zum Beispiel für den Flug zum Mars oder zum Jupiter.

Carsten Baur, **Andreas Bett**, Armin Bösch, Frank Dimroth, Wolfgang Guter, Martin Hermle, Raymond Hoheisel*, Astrid Ohm, Eduard Oliva*, Manuela Scheer, Gerald Siefer, Jan Schöne, Gerhard Willeke

* PSE GmbH Forschung Entwicklung Marketing, Freiburg



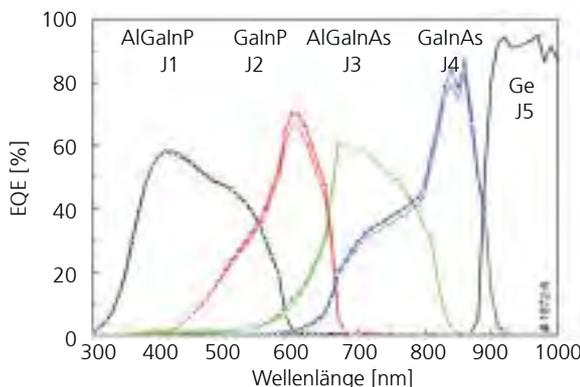
Abb. 1: ExoMars ist ein geplanter europäischer Mars-Rover, der im Rahmen des Aurora-Programms 2013 von Kourou aus gestartet werden soll. Die Stromversorgung des rund 190 kg schweren Rovers erfolgt über III-V Mehrfachsolarzellen.

Für Weltraumsolarzellen ist das Verhältnis von erzeugter elektrischer Leistung zum Gewicht ein bedeutender Faktor, da der Transport von Masse in den Weltraum teuer ist. Hohe Wirkungsgrade und ein geringes Gewicht der Solarzellen sind daher wichtige Parameter für die Entwicklung. Zudem werden die Solarzellen im Weltraum hochenergetischer Elektronen- und Protonenbestrahlung ausgesetzt. Solarzellen unter diesen Bedingungen noch beständiger zu machen, ist Teil unserer Arbeit. So generieren unsere Tripel-solarzellen aus GaInP/GaInAs/Ge nach einer typischen Bestrahlung mit 1 MeV Elektronen (10^{15} cm^{-2}) heute noch 88% ihrer Ausgangsleistung, 8% mehr als noch vor zwei Jahren. Wir untersuchen zudem neuartige 5fach Solarzellen aus AlGaInP/GaInP/AlGaInAs/GaInAs/Ge und konnten zeigen, dass damit sogar Werte von 93% erreichbar sind. Abb. 2 zeigt die gemessene externe Quanteneffizienz einer solchen Solarzelle vor und nach der Elektronenbestrahlung. Die Tabelle zeigt, um welchen Faktor die Kennparameter einer Tripel- und einer 5fach-Solarzelle heute noch degradieren.

Für spezielle Missionen im Weltraum, zum Beispiel zu Mars, Jupiter oder Venus, führen wir Untersuchungen hinsichtlich der am besten geeigneten Solarzellen durch. Hierfür simulieren wir die Einstrahlungs- und Umgebungsbedingungen, die wir dann in unserem Sonnensimulator nachbilden. Bei diesen Untersuchungen zeigte sich, dass eine am Fraunhofer ISE entwickelte 3fach-Solarzelle, bestehend aus $\text{Ga}_{0,35}\text{In}_{0,65}\text{P}/\text{Ga}_{0,83}\text{In}_{0,17}\text{As}/\text{Ge}$, den höchsten Energieertrag auf dem Mars liefert.

Unsere Arbeiten zu Weltraumsolarzellen werden durch AZUR Space Solar Power, ESA-ESTEC und DLR (Bonn)/BMBF finanziell unterstützt.

Abb. 2: Externe Quanteneffizienz (EQE) einer 5fach-Solarzelle vor (gefüllte Symbole) und nach (leere Symbole) einer Elektronenbestrahlung ($1 \text{ MeV}, 1\text{E}^{15} \text{ cm}^{-2}$). Die Germaniumzelle wurde nach der Bestrahlung nicht gemessen.



	V_{oc}	J_{sc}	FF	η
3-junction	0.95	0.96	0.97	0.88
J1: GaInP		0.98		
J2: GaInAs		0.85		
5-junction	0.95	0.98	1.00	0.93
J1: AlGaInP		0.99	0.97	
J2: GaInP		0.94		
J3: AlGaInAs		0.99	0.97	
J4: GaInAs		0,95		

Tabelle 1: Die »Remaining«-Faktoren einer Triple- und 5fach-Solarzelle im Vergleich. Die Zellen wurden mit Elektronen ($1 \text{ MeV}, 1\text{E}^{15} \text{ cm}^{-2}$) bestrahlt.

Hocheffiziente Produktion von solarem Wasserstoff

Wasserstoff ist ein interessanter Energiespeicher, der in vielen Bereichen eingesetzt werden kann. Wir arbeiten an einem konzentrierenden Photovoltaiksystem (HyCon®), das Wasserstoff direkt und sehr effizient aus Sonnenenergie erzeugen kann. Unser erster HyCon® Prototyp weist mit über 18% einen hohen Wirkungsgrad auf.

Frank Dimroth, Beatrice Hacker, Gerhard Peharz*, Achim Rastelli, Tom Smolinka, Ursula Wittstadt, Gerhard Willeke

* PSE GmbH Forschung Entwicklung Marketing, Freiburg

In einer nachhaltigen Energieversorgung, die Wasserstoff als Energieträger nutzt, ist es unabdingbar, dass dieser mit Hilfe erneuerbarer Energiequellen hergestellt wird. Die energie- und kosteneffiziente Wasserstoffproduktion stellt dabei eine große Herausforderung dar. Wir haben ein neuartiges System zur direkten solaren Wasserstoffherzeugung entwickelt, den HyCon® Konzentrator. In diesem System wird das Sonnenlicht durch Linsen auf winzige Kaskaden-solarzellen aus III-V Halbleitern konzentriert. Diese sind jeweils verbunden mit einem PEM (Polymer-Elektrolyt-Membran)-Elektrolyseur für die Wasserstoffproduktion. Unser sehr kompaktes, integriertes System benötigt im Gegensatz zu herkömmlichen, nicht integrierten Photovoltaik-Elektrolyse-Kopplungen keine Leistungselektronik.

Die verwendeten Solarzellen sind hocheffiziente III-V Mehrfachsolarzellen. Jede einzelne produziert genügend Spannung, um unabhängig von den übrigen Zellen Wasserstoff herstellen zu können. Elektrische Verluste durch die Verschaltung der Solarzellen werden so vermieden. HyCon® Konzentrator-Systeme können beliebig skaliert werden und eignen sich insbesondere für die lokale Wasserstoffproduktion in Regionen mit hoher Direktstrahlung.



Abb. 1: HyCon® Prototyp zur Erzeugung von solarem Wasserstoff bei der Außenmessung.

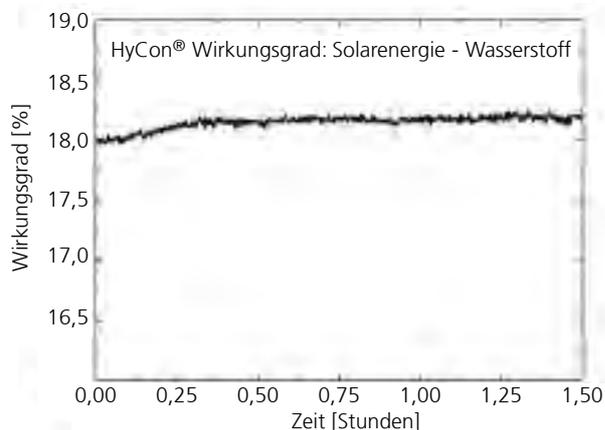


Abb. 2: Dargestellt ist der Wirkungsgrad der Wasserstoffherzeugung im HyCon® Prototyp, bei einer Außenmessung über einen Zeitraum von 1,5 Stunden.

Im Rahmen eines institutsinternen Projekts haben wir einen ersten HyCon® Prototypen mit einer aktiven Fläche von 96 cm² realisiert (Abb. 1). Dieser Prototyp erzeugt unter Außenbedingungen Wasserstoff mit einem Wirkungsgrad (Solarenergie → Wasserstoff) von über 18% (Abb. 2). Für die Weiterentwicklung dieses Konzepts bis zur Marktreife suchen wir derzeit Fördermittel.

Organische Solarzellen für mobile energieautarke Systeme

Organische Solarzellen stellen einen neuen Solarzellentyp dar. Die photoaktive Schicht besteht aus einem Nanokomposit organischer Halbleitermaterialien. Der geringe Materialverbrauch und die Anwendung kosteneffizienter Produktionstechnologien eröffnen ein hohes Potenzial für eine kostengünstige Herstellung organischer Solarzellen. Weitere Vorteile sind die mechanische Flexibilität aufgrund der eingesetzten Foliensubstrate und das geringe Gewicht. Erste Anwendungen sehen wir in der Energieversorgung mobiler energieautarker Systeme.

Markus Glatthaar*, Jan Haschke, Peter Hänni, Melanie Schumann*, Moritz Riede, Birger Zimmermann*, **Michael Niggemann**, Andreas Gombert

* Freiburger Materialforschungszentrum FMF, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg

Organische Solarzellen eignen sich aufgrund ihres großen Gestaltungsspielraums in der Form sowie des geringen Gewichts und der effektiven Verschaltung zu Modulen für den Betrieb solarversorgter Kleinsysteme. Potenzielle Anwendungen sind die Versorgung energieautarker Mikrosysteme und Sensornetzwerke sowie einfacher elektronischer Schaltungen, basierend auf organischen Halbleiterbauelementen.

Die monolithische Verschaltung der Solarzellen zu Modulen ermöglicht die optimale Abstimmung der Solarzelle auf den Verbraucher unter den jeweiligen Umgebungsbedingungen.

Bei der Entwicklung energieautarker Kleinsysteme stehen Energiebilanz und Integration der Einzelkomponenten zu einem Gesamtsystem im Vordergrund.

Ziel des Fraunhofer-Forschungsprojekts »Smart Plastics« ist die Entwicklung eines energieautarken Systems, das organische Solarzellen, organische Leuchtdioden und eine energieeffiziente Ladeelektronik für einen Speicher inklusive Sensorik zu einem Messsystem vereint. Am

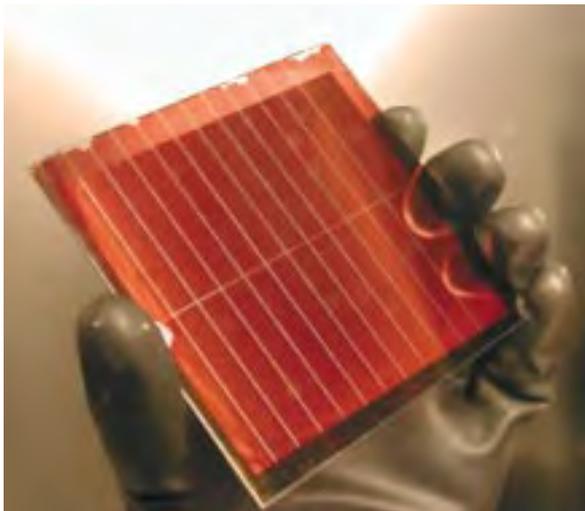


Abb. 1: Modul einer organischen Solarzelle auf einem Glassubstrat. Durch eine monolithische Verschaltung können 22 Einzelzellen seriell miteinander verbunden werden.

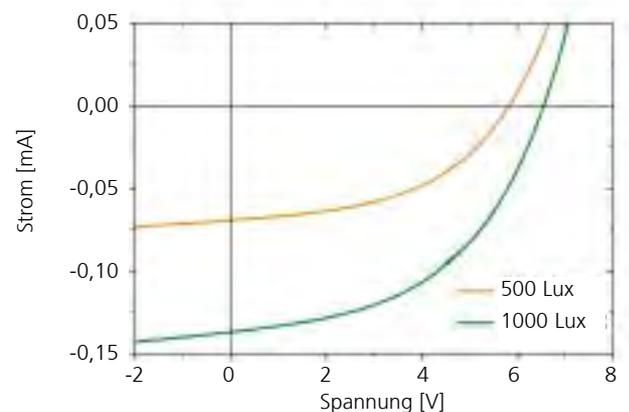


Abb. 2: Strom-/Spannungs-Kennlinien eines organischen Solarzellenmoduls mit 22 in Serie geschalteten Einzelzellen unter Schwachlichtbeleuchtung (500 Lux und 1000 Lux).

Fraunhofer ISE entwickeln wir hierfür ein Solarzellenmodul, das unter Schwachlichtbedingungen bei Innenraumanwendungen die für den Betrieb von organischen Leuchtdioden erforderliche Spannung von 5 V erreicht und einen Akkumulator speist. Mit 22 in Serie verschalteten Solarzellen (Abb. 1) kann unter Bürobeleuchtung eine hinreichend hohe Spannung erzeugt werden (Abb. 2). Unter solaren Einstrahlungsbedingungen (100 mW/cm^2) erreichen wir eine solare Effizienz von über 2% auf der aktiven Fläche. In einem nächsten Schritt soll dieses Modul auf einem flexiblen Substrat aufgebaut und in das Gesamtsystem integriert werden.

Für die Produktion kostengünstiger Solarzellen müssen zwei notwendige Voraussetzungen erfüllt werden: Geringe Materialkosten und der Einsatz kosteneffizienter Herstellungstechnologien. Um diese Anforderungen zu erfüllen, entwickeln wir neue Solarzellenarchitekturen, in denen die teure transparente Indium Zinnoxid Elektrode (ITO) ersetzt wird. Für die Herstellung dieser Solarzellen können effiziente Rolle-zu-Rolle Beschichtungstechnologien und Strukturierungen eingesetzt werden.

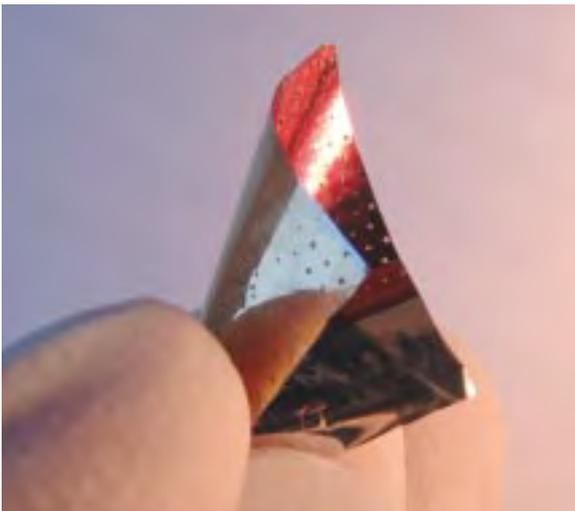


Abb. 3: Durchkontaktierte organische Solarzelle auf einem flexiblen Substrat. Die Verschaltung der Solarzelle über Löcher erlaubt den Einsatz kostengünstiger transparenter Elektroden mit geringer Flächenleitfähigkeit. Dieses Solarzellenkonzept vereint die Ansprüche an kostengünstige Materialien und eine effiziente Herstellbarkeit im Rolle-zu-Rolle Verfahren.

Eine »ITO-freie« Solarzelle, die wir am Fraunhofer ISE entwickeln, basiert auf dem Ersatz der ITO-Elektrode durch eine transparente polymere Elektrode. Verschaltet ist die Zelle durch Löcher eines perforierten Substrats (Abb. 3). Um eine effiziente Herstellbarkeit zu gewährleisten, haben wir die Schichtreihenfolge der Solarzelle invertiert. Die photoaktive Schicht wird auf ein metallisiertes Substrat aufgebracht, danach folgt die transparente, polymere Anode. Diese transparente Elektrode mit geringer Flächenleitfähigkeit wird durch Löcher in der Solarzelle auf die Rückseite des perforierten Substrats geleitet, wo eine zweite Metallschicht die Flächenleitfähigkeit der transparenten Anode unterstützt. Auf diese Art entsteht eine skalierbare Parallelverschaltung. Auf einer Fläche von 2 cm^2 konnten wir mit diesem Konzept eine solare Effizienz von 2% erreichen (Abb. 4). Höhere Spannungen können ebenfalls durch eine serielle Verschaltung über Löcher erzielt werden.

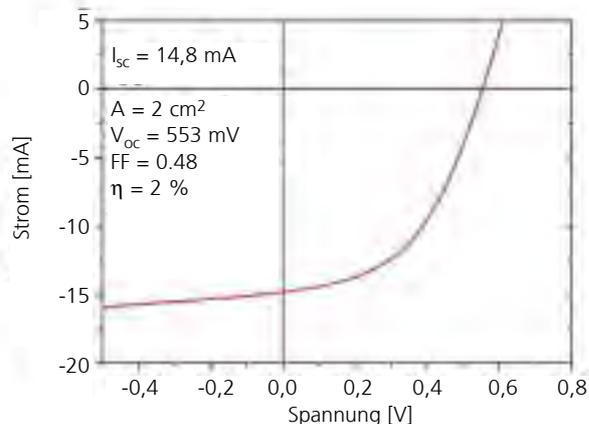


Abb. 4: Strom-/Spannungs-Kennlinie einer durchkontaktierten organischen Solarzelle mit einer Fläche von 2 cm^2 . Unter solarer Beleuchtung wird eine Effizienz von 2% erreicht (Solarsimulator 100 mW/cm^2).



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.

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

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

Sowohl in der ländlichen Elektrifizierung als auch bei der Stromversorgung von technischen Anlagen hat sich die Qualität der Komponenten und der Systeme in den letzten Jahren spürbar verbessert, es gibt aber immer noch große Entwicklungspotenziale. Deshalb unterstützen wir Unternehmen sowohl bei der Komponententwicklung 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
- ortsaufgelöste Charakterisierung von Brennstoffzellen
- Kalibrierlabor für Solarmodule
- Freiland-Testfeld zur Erprobung von Solarkomponenten
- Pumpenteststand
- Test- und Entwicklungslabor für Trinkwasseraufbereitungssysteme.

Netzunabhängige Stromversorgungen



Der Bedarf an netzunabhängigen Stromversorgungen für technische Anlagen wächst stetig. Dazu gehören Stationen zur Umweltbeobachtung, zur Waldschadensforschung, zur Klimaforschung sowie geowissenschaftliche Messstationen, Einrichtungen für die Telekommunikation, die Verkehrstechnik und die Sicherheitstechnik. Für diesen Markt entwickelt das Fraunhofer ISE kostengünstige, zuverlässige und maßgeschneiderte Lösungen auf der Basis von Photovoltaik-Hybridanlagen mit integrierten Energiemanagementsystemen.

Das Spektrum unserer Arbeiten reicht von der Konzeption »mobiler Energiepakete« für Kurzeinsätze bis zu robusten stationären Systemen. Für die mobile Anwendung sind Photovoltaikmodule auf dem Dach und an den Seiten eines Hängers angebracht, die Brennstoffzellen und Batterien befinden sich im Innenraum (nebenstehendes Bild). Bei stationären Anwendungen bringen wir Photovoltaikmodule direkt am Mast an (Bild S. 64) und stellen einen Schaltschrank mit Zusatzstromerzeugern und Batterien auf (Beitrag S. 68).

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. Rudi Kaiser	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-52 20 E-Mail: Rudi.Kaiser@ise.fraunhofer.de
Brennstoffzellensysteme	Dr. Carsten Agert	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-53 46 E-Mail: Carsten.Agert@ise.fraunhofer.de
Wasserstoffherzeugung und -speicherung	Dr. Thomas Aicher	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-51 94 E-Mail: Thomas.Aicher@ise.fraunhofer.de
Systeme und elektrische Verfahren zur Wasserentsalzung und -entkeimung	Dr. Matthias Vetter	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-56 00 E-Mail: Matthias.Vetter@ise.fraunhofer.de
Thermische Solaranlagen, Verfahren zur Wasserentsalzung und -entkeimung	Dipl.-Phys. Matthias Rommel	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-51 41 E-Mail: Matthias.Rommel@ise.fraunhofer.de
Photovoltaische Module	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	Dr. Günther Ebert	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-52 29 E-Mail: Guenther.Ebert@ise.fraunhofer.de
Wasserstofftechnologie	Dr. Christopher Hebling	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-51 95 E-Mail: Christopher.Hebling@ise.fraunhofer.de
Solarzellen	Prof. Dr. Gerhard Willeke	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-52 66 E-Mail: Gerhard.Willeke@ise.fraunhofer.de

»EVEREST« versorgt Messstationen zuverlässig mit Strom

Geowissenschaftliche Messstationen sind oft extremen Umweltbedingungen ausgesetzt. Unser gemeinsam mit 14 Forschungs- und Industriepartnern aus Deutschland, Österreich, der Schweiz und Italien entwickeltes Energieversorgungssystem »EVEREST« gewährleistet eine ganzjährig zuverlässige und zudem kostengünstige Stromversorgung solcher Datenermittlungseinheiten.

Matthias Vetter, Norbert Pfanner, Harald Schäffler, Simon Schwunk, Robert Thomas, Friedemar Schreiber, Günther Ebert

EVEREST

Wettervorhersagen, Katastrophenwarnungen, Verkehrsmeldungen – niemand will heute auf aktuelle Informationen verzichten. Von Hochwasser Betroffene wollen erfahren, wie hoch der Pegel steigen wird, Wissenschaftler brauchen genaue Umweltdaten zur rechtzeitigen Warnung vor Naturkatastrophen wie beispielsweise Lawinen, Investoren verlangen nach Winddaten vom Standort eines geplanten Windparks. Voraussetzung für die Ermittlung all dieser Daten ist ein engmaschiges Netz von automatisch arbeitenden Messstationen. Doch dieses Netz hat Löcher, weil an vielen Orten die Energie für den Betrieb der Geräte fehlt. Derzeit werden netzferne Messstationen häufig durch Solarzellen versorgt, die allerdings den Energiebedarf nicht immer decken können: Vor allem im Winter, wenn sich Schnee und Eis auf die Module legen und zusätzliche Energie zum Beheizen der Sensoren benötigt wird, reicht die Solarenergie nicht aus. Lückenhafte Datensätze und hohe Wartungskosten sind die Folge.

Im Rahmen des Projekts »EVEREST – Hybride Energieversorgung von autarken Messstationen« entwickeln wir ein modulares Energieversorgungssystem, das eine kostengünstige und zuverlässige Lösung darstellt, die auch unter extremen Umweltbedingungen Energie liefert: Die so genannten »EVEREST«-Boxen kombinie-



Abb. 1: Autonomes Windmesssystem »Meteo-32« mit Datenlogger »Wicom« der Firma Ammonit (links). Versorgt wird diese Messstation mit der »EVEREST«-Minibox (rechts), bestehend aus einem Photovoltaik-Generator mit einer Leistung von 100 Wp, einer Direktmethanol-Brennstoffzelle mit einer Leistung von 65 W und Batterien mit einer Kapazität von 660 Ah.



Abb. 2: »Doppler-Sodar-Messsystem PCS.2000- 24« der Firma Metek. Versorgt wird diese mobile Messstation mit der »EVEREST«-Maxibox (Abb. 3).

ren Photovoltaik-Anlagen und Batterien mit Zusatzstromerzeugern wie Stirling-, Wind- oder thermoelektrischen Generatoren sowie Brennstoffzellen in unterschiedlichen Leistungsklassen. Herzstück dieser Energieversorgung ist ein innovatives Energiemanagementsystem (EMS), das die einzelnen Energieerzeuger miteinander vernetzt und bedarfsgerecht steuert. Dabei werden neue Verfahren zur verbesserten Ladezustandsbestimmung der Batterie eingesetzt. Ebenso werden Ladestrategien und Betriebsführungskonzepte auf Basis von Energieerzeugungs- und Verbrauchsprognosen an die Bedürfnisse von Messstationen angepasst. Abhängig vom Ladezustand der Batterie und den aktuell verfügbaren Erzeugungskapazitäten wird darüber hinaus durch eine Priorisierung der einzelnen Verbraucher (Datenlogger, Sensoren, Modem, Mastbeheizung, Heizung) sowie ein gezieltes Lastmanagement die Versorgungssicherheit erhöht. Gleichzeitig lässt sich damit der Energieverbrauch der Messstationen minimieren.

Derzeit befinden sich zwei Ausführungen der »EVEREST«-Box im Rahmen eines Feldtests auf dem Gelände des Umweltbundesamtes auf dem Schauinsland bei Freiburg im Einsatz. Die Minibox-Variante (Abb. 1) besteht aus einem Photovoltaik-Generator, einer Direktmethanol-Brennstoffzelle und einer Batterie. Sie versorgt ein



Abb. 3: »EVEREST«-Maxibox, bestehend aus einer Photovoltaik-Anlage (960 Wp) auf dem Dach bzw. an der Seite des Hängers sowie einer Direktmethanol-Brennstoffzelle (325 W) und Batterien mit einer Kapazität von 1320 Ah im Innenraum. Für den Transport des Messsystems (Abb. 2) im mobilen Einsatz ist die Maxibox als Hänger konstruiert.

Windmesssystem mit Datenlogger, Modem, Schalenkreuz-Anemometer, Windfahne, Temperatur- und Feuchtemessung und Mastbeheizung. Die maximale Last ohne Heizung beträgt nur 8 W, im Heizfall steigt diese allerdings auf bis zu 60 W an.

Die »Everest«-Maxibox (Abb. 3) besitzt eine Photovoltaik-Anlage, ein Brennstoffzellensystem und Batterien mit höherer Leistung als die Minibox. In einem zweiten Feldtest soll dieses System um eine Windkraftanlage erweitert werden. Versorgt wird mit dieser Variante ein Doppler-Sodar-Messsystem (Abb. 2), das zur Ermittlung von Windprofilen auf der Basis von Schallimpulsen eingesetzt wird. Die Last ohne Heizung beträgt bei diesem System 75 W, mit Heizung steigt sie auf ca. 350 W an (Abb. 4).

Neben geowissenschaftlichen Messstationen lassen sich mit »EVEREST«-Boxen auch Einrichtungen der Telekommunikation, der Verkehrstechnik und der Sicherheitstechnik versorgen.

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

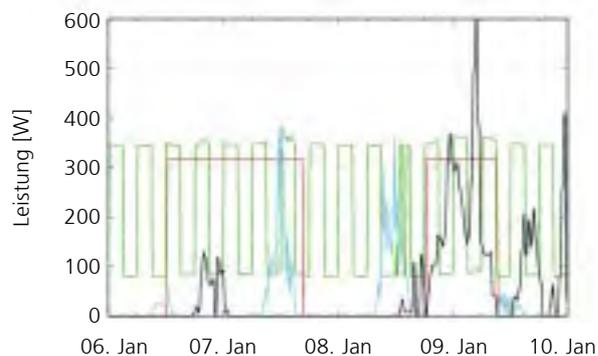


Abb. 4: Systemsimulation der »EVEREST«-Maxibox. Grün dargestellt ist die Last, deren Heizungsanteil abhängig von der Umgebungstemperatur getaktet wird. Die Einsatzdauer des Brennstoffzellensystems (rote Kurve) ist abhängig vom Energieangebot der Photovoltaik- (hellblaue Kurve) und der Windkraftanlage (schwarze Kurve).

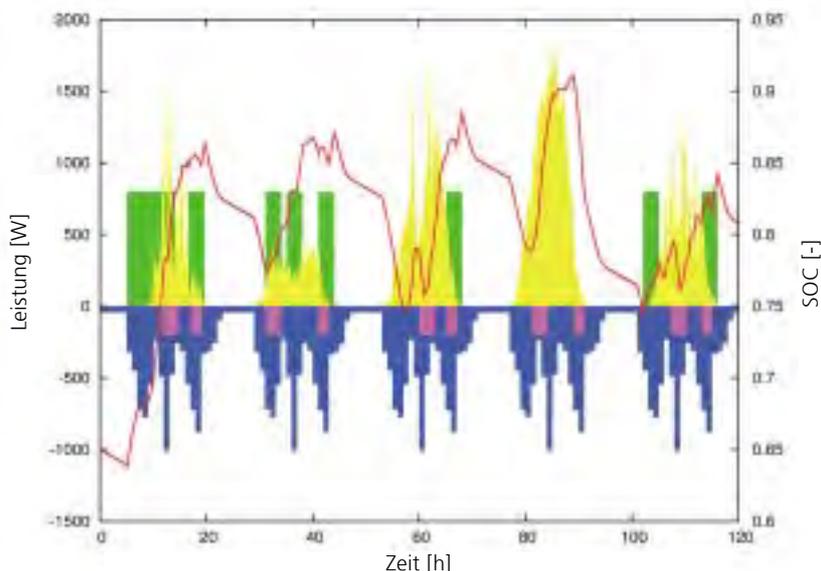
Kostenoptimiertes Energiemanagement für autarke Photovoltaik-Hybridsysteme

Um das Energiemanagement für autarke PV-Hybridsysteme möglichst einfach parametrisieren, das System kostenoptimal betreiben und einfach erweitern zu können, setzen wir ein Börsenmodell ein. Die Kostenfunktionen für Erzeuger und Verbraucher sind so gestaltet, dass technische Randbedingungen wie z. B. die rasche Vollauffüllung der Batterie gewährleistet werden.

Georg Bopp, Julien Gout, Rico Werner, Michael Zillgith, Christof Wittwer, Matthias Vetter, Günther Ebert



Abb. 1: Dieser Demonstrationskoffer zeigt ein voll funktionstüchtiges PV-Hybridsystem mit dem Universal Energy Supply Protocol UESP. Die Einzelkomponenten sind über einen CAN Bus miteinander verbunden und führen über ein standardisiertes herstellerunabhängiges Protokoll das kostenoptimierte Energiemanagement durch.



In autarken PV-Hybridsystemen zur Stromversorgung netzferner Messstationen oder Dörfer steuert ein Energiemanagementsystem (EMS) das Zusammenspiel von PV, Zusatzstromerzeugern, Batterie und Verbrauchern. Bisherige EMS beruhen auf rein technischen Kriterien, so z. B. dem Ladezustand der Batterie oder dem prognostizierten Verlauf von Ertrag und Verbrauch. Sie erfordern eine individuelle Einstellung der Regelparameter, insbesondere bei Vorhandensein mehrerer Zusatzstromerzeuger und steuerbarer Lasten. Beruhend auf dem Ansatz eines Börsenmodells entwickeln wir ein neues EMS, das für einen kostengünstigen Betrieb unter Berücksichtigung der technischen Randbedingungen sorgt. Dabei ist der ermittelte Preis zunächst rein virtuell, könnte aber auch als Abrechnungsgrundlage genutzt werden.

Unser Ansatz gliedert sich im Wesentlichen in zwei Stufen, einen so genannten »Day-Ahead«-Markt und einen »Spot«-Markt. Beim »Day-Ahead«-Markt werden Prognosen für die Energieerzeugung sowie für die Kosten der einzelnen Erzeuger und Informationen über die einzelnen Lasten (Zeitfenster, Prioritäten etc.) genutzt, um daraus einen kostenoptimalen Fahrplan unter Berücksichtigung der technischen Restriktionen für 24 Stunden zu erstellen. Die Batterie wird in diesem Schritt lediglich als Verbraucher betrachtet. Im zweiten Schritt, dem »Spot«-Markt, wird die Batterie als Erzeugungseinheit betrachtet, die im folgenden Handelstakt dann eingesetzt wird, wenn sie günstiger Strom liefern kann als die vom »Day-Ahead«-Markt eingeplanten Generatoren. Erste Ergebnisse zeigen, dass bei deutlich geringerem Parametrierungsaufwand die technischen Randbedingungen, wie rasche Aufladung der Batterie, gut eingehalten werden.

Die Arbeiten erfolgen im Rahmen des vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) geförderten Projekts »Universal Energy Supply Protocol UESP«.

Abb. 2: Verlauf des Ladezustands SOC (rot), der Zusatzgeneratorlaufzeit (grün) und einer verschiebbaren Last (rosa), bei vorgegebener solarer Einstrahlung (gelb) und einer nicht verschiebbaren Last (blau). Die Kostenfunktionen sind so gestaltet, dass die Batterie rasch geladen und die verschiebbare Last bei hoher Solareinstrahlung oder bei gestartetem Zusatzgenerator eingeschaltet wird.

Photovoltaik-Dorfstromversorgung für Mittelmeeranrainerstaaten

Um das Potenzial für photovoltaische Dorfstromversorgungsanlagen zu ermitteln, haben wir zusammen mit lokalen Partnern die Elektrifizierungssituation in den Ländern Marokko, Algerien, Jordanien und Libanon detailliert untersucht. Beispielhaft haben wir in einem Dorf in Marokko den Strombedarf erhoben und eine PV-Dorfstromversorgungsanlage dimensioniert.

Georg Bopp, Sebastian Gölz,
Carolyn Schenuit, Matthias Vetter,
Günther Ebert

Ergebnis unserer Untersuchungen ist, dass es in Marokko und Algerien noch ca. 5000 Dörfer sowie in Jordanien ca. 5000 Einzelhäuser ohne Netzanschluss gibt. Im Libanon sind alle Dörfer an das öffentliche Stromnetz angeschlossen. Dort sind jedoch sowohl die Kraftwerks- als auch die Netzkapazitäten begrenzt oder teilweise zerstört, so dass die Stromversorgung an vielen Tagen für mehrere Stunden ausfällt.

Bis auf Marokko, das auch Kohle nutzt, basiert die Stromerzeugung in den untersuchten Ländern fast ausschließlich auf Gas und Öl. Durch die stark steigenden Ölpreise und die mit Ausnahme von Algerien kaum vorhandenen eigenen Ölressourcen besteht ein starkes Interesse an regenerativen Energien. In Marokko und Algerien ist mit insgesamt ca. 5000 Dörfern ohne Netzanschluss das Potenzial für photovoltaische Dorfstromversorgung besonders hoch.

In Marokko führt der Stromversorger ONE bereits ein großes Programm zur ländlichen Stromversorgung mit Solar Home Systemen durch. Ziel des von der EU geförderten Projekts »CRESMED« ist es, ONE mit der Technik und Organisation einer zentralen photovoltaischen Dorfstromversorgung vertraut zu machen. Hierfür soll eine Demonstrationsanlage aufgebaut werden. In Zusammenarbeit mit dem lokalen Partner Afrisol führten wir in dem Berberdorf Tiouardersine im Südosten von Marokko eine detaillierte Vorortuntersuchung zur Ermittlung des dortigen Strombedarfs und zur Dimensionierung einer PV-Anlage durch. Ergebnis ist die Planung einer Photovoltaik-Anlage mit 6 kWp, die künftig den täglichen Bedarf von 14 kWh decken wird. Zusätzlich wird eine photovoltaische Trinkwasserversorgung installiert.



Abb. 1: Das marokkanische Dorf Tiouardersine liegt auf einem Hochplateau des mittleren Atlasgebirges. Die Zufahrt von der nächst größeren Stadt ist 44 km lang, davon sind 26 km unbefestigt und nur mit einem geländegängigen Fahrzeug zu befahren. Es leben 17 Familien, d. h. 80 bis 100 Personen im Dorf, ihr Haupterwerb ist nomadisch betriebene Viehzucht.



Abb. 2: Typische Wohnsituation mit Tageslichtbeleuchtung durch eine Öffnung im Dach. Die Vorortbefragung ergab folgende Prioritäten für die Elektrizitätsversorgung: erstens Wasserversorgung, zweitens Beleuchtung, drittens Fernsehen und Radio. Daraus ergibt sich für Tiouardersine ein täglicher Bedarf von 14 kWh, der mit einer 6 kWp Photovoltaik-Anlage gedeckt werden kann.



Abb. 3: Der bisherige Brunnen liegt 250 m vom Dorf entfernt und ist 7 m tief. Bis heute transportiert jede Familie ihren täglichen Bedarf von 50 l mit Eseln ins Dorf. In Zukunft wird das Wasser mit einer Photovoltaik-Anlage ins Dorf gepumpt.

Private-Public-Partnership zur ländlichen Elektrifizierung in Mekong-Staaten

Im Rahmen eines Projekts zur ländlichen Elektrifizierung in den Mekong-Staaten Vietnam, Laos und Kambodscha haben wir eine kosteneffiziente Lösung für Dorfstromanlagen entwickelt. Mit Hilfe eines Public-Private-Partnership-Ansatzes soll mittelfristig erreicht werden, dass nicht Einzelanlagen geplant werden, sondern die Entstehung eines Marktes unterstützt wird. Betreiber und Kunden sollen gemeinsam Anlagen nach ihren individuellen Bedürfnissen konzipieren und betreiben können.

Sebastian Gölz, Matthias Vetter, Gisela Vogt, Christoph Weber, Günther Ebert

Der wichtigste Aspekt im Rahmen des Aufbaus ländlicher Elektrifizierung mit erneuerbaren Energien ist der wirtschaftliche Anreiz, den die Anlage dem Betreiber bietet. Wird ein profitabler Anlagenbetrieb ermöglicht, hat der Betreiber ein »natürliches« Interesse an der Funktionstüchtigkeit der Systeme. Im Rahmen eines von uns begleiteten Projekts schafft der Private-Public-Partnership-Ansatz hierfür die Voraussetzungen. Dabei finanziert die öffentliche Hand die dauerhaft zu installierenden Komponenten – »fixed assets« – für die Dorfstromversorgung, wie z. B. das Netz oder Gebäude für die Erzeugung. Die transportablen Komponenten oder »moveable assets«, wie Generatoren, Batterien, etc. werden hingegen von einem privatwirtschaftlichen Betreiber finanziert. Dieser muss auch für den Ersatz von Komponenten, wie beispielsweise die Batterie, sorgen.

Der zweite Aspekt ist die gezielte Förderung produktiver Energienutzung durch die Dorfgemeinschaft. Der Strombetreiber sucht zusammen mit seinen Kunden nach wirtschaftlichen Anwendungen, mit denen aus Strom ein Mehrwert erwirtschaftet wird, zum Beispiel Wasserpumpen oder Mühlen. Die Kunden verdienen so nicht nur das Geld für den Strombezug, sondern schaffen auch die Voraussetzung für eine wirtschaftliche Entwicklung und Erweiterung der Anlagen. So können sie erste Schritte aus der Armut heraus schaffen.

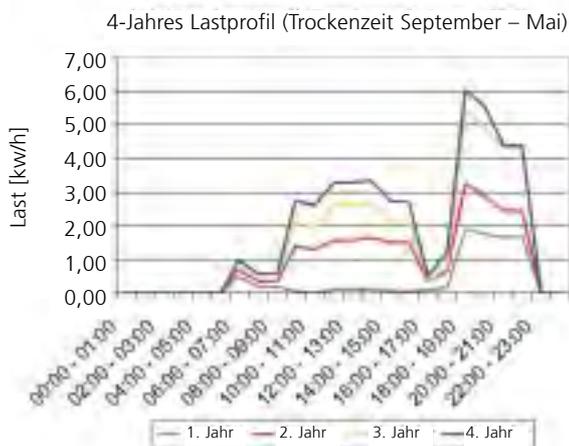


Abb. 1: Ermittlung eines Lastprofils für eine Dorfstromversorgung auf der Basis einer Bedarfsanalyse. Für die Folgejahre nach Installation des PV-Hybridsystems wird eine Zunahme des Energiebedarfs durch die Etablierung von Produktiv-Anwendungen sowie durch einen höheren privaten Konsum errechnet.

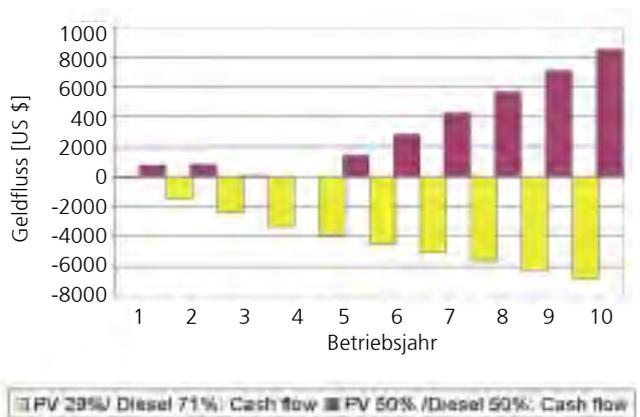


Abb. 2: Geldfluss einer Dorfstromanlage. Nach dem bisherigen Modell entstehen Kosten (gelbe Balken), mit dem neuen Modell dagegen Erträge (rote Balken), wobei der Strom für die ländliche Bevölkerung mit 30 US Cent/kWh bezahlbar ist und dem Betreiberunternehmen dennoch ein profitables Geschäft ermöglicht wird. Dies gelingt durch eine optimierte Systemdimensionierung, gekoppelt mit einer angepassten Betriebsstrategie.

Der Einsatz von so genannten PV-Hybrid-Mini-Grids ist für diesen Ansatz bestens geeignet. Die Herausforderung liegt bei einer technisch optimalen und kosteneffizienten Auslegung und der Ermittlung eines für den Betreiber profitablen und für die Endnutzer bezahlbaren Tarifs. Durch unsere Betriebserfahrung von über 15 Jahren mit PV-Hybrid-Systemen sowie durch den Einsatz modernster Simulationswerkzeuge ist es uns gelungen, im Rahmen einer Machbarkeitsstudie für die laotische Provinz Luang Prabang umsetzbare Konzepte für Dorfstromsysteme zur Versorgung von 1700 Haushalten zu erarbeiten. Unter Berücksichtigung aller verfügbaren technischen, sozialen und ökonomischen Daten war es dabei möglich, eine optimale Lösung auf Basis der erneuerbaren Energieressourcen vor Ort zu entwickeln.

Durch eine an die lokalen Randbedingungen angepasste Konzeption der Anlagen, bestehend aus Photovoltaik, Dieselgenerator und Batterien, wird eine drastische Senkung des Erzeugungspreises möglich. Der Anteil der Photovoltaik an der Gesamtversorgung wurde stark vergrößert, die Batteriekapazität stark verkleinert (Reduzierung der Autonomiezeit auf einen statt drei Tage). Der photovoltaisch erzeugte Strom wird größtenteils tagsüber in gewerblichen Anwendungen genutzt.

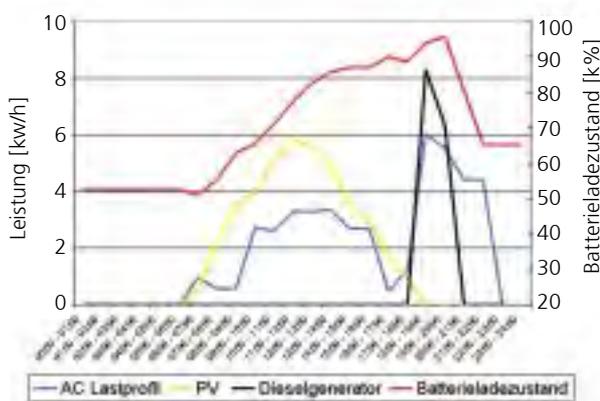


Abb. 3: Simuliertes Betriebsverhalten (Tagesgang) eines PV-Hybrid-Systems zur Dorfstromversorgung. Die Photovoltaik-Anlage versorgt die Last (v. a. Produktivanwendungen) tagsüber, der Betrieb des Dieselgenerators ist auf die Abendstunden (Lastspitzen durch private Verbraucher) limitiert. Die Ergebnisse dieser Simulationsrechnungen über einen Zeithorizont von 15 Jahren werden als Basis für Lebensdauerkostenanalysen und zur Erstellung von Businessplänen genutzt.

Besondere Aufmerksamkeit in der simulationsbasierten Auslegung und der Entwicklung des dazugehörigen Businessplans wurde auf die Betriebsstrategien des PV-Hybrid-Mini-Grids gelegt. Dadurch konnte sowohl der kostspielige Dieselbetrieb reduziert als auch die Lebensdauer der Batterie durch angepasste Ladestrategien deutlich gesteigert werden. Ein Ersatz wird erst nach sieben Jahren notwendig.

Die Arbeiten entstanden im Rahmen des von der EC-ASEAN Energy Facility geförderten Projekts »DELTA PRO RES«.

www.energies-renouvelables.org/deltaprores

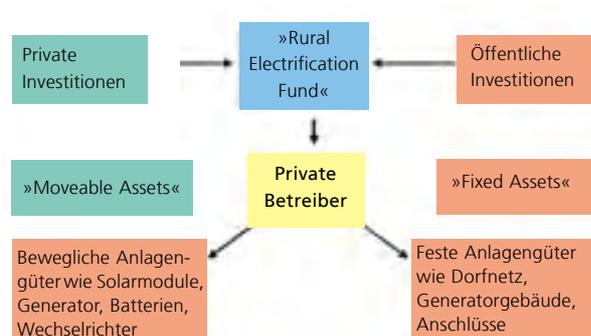


Abb. 4: Schema zur Private-Public-Partnership für die Ländliche Elektrifizierung. Öffentliche und private Investoren speisen einen kommerziellen »Rural Electrification Fund«, der Privatbetreibern die Finanzierung von Dorfstromanlagen (aufgeteilt in bewegliche und feste Anlagengüter) ermöglicht.

Monitoring dezentraler PV-betriebener Wasseraufbereitungssysteme in Laos

Das photovoltaisch versorgte System zur Wasserförderung und Trinkwasseraufbereitung WATERpps (Water Pumping and Purification System) wird derzeit an drei Orten in Laos getestet. Für diesen Feldtest entwickelten wir ein robustes Monitoringsystem. Zudem begleiten wir die Feldtestphase mit einer wissenschaftlichen Auswertung.

Joachim Went, Matthias Vetter, Thomas Graf, Ansgar Rau*, Thomas Link*, Andy Schröter**, Günther Ebert

* Solar-Fabrik AG, Freiburg

** Sunlabob Solar Energy Systems, Vientiane, Laos

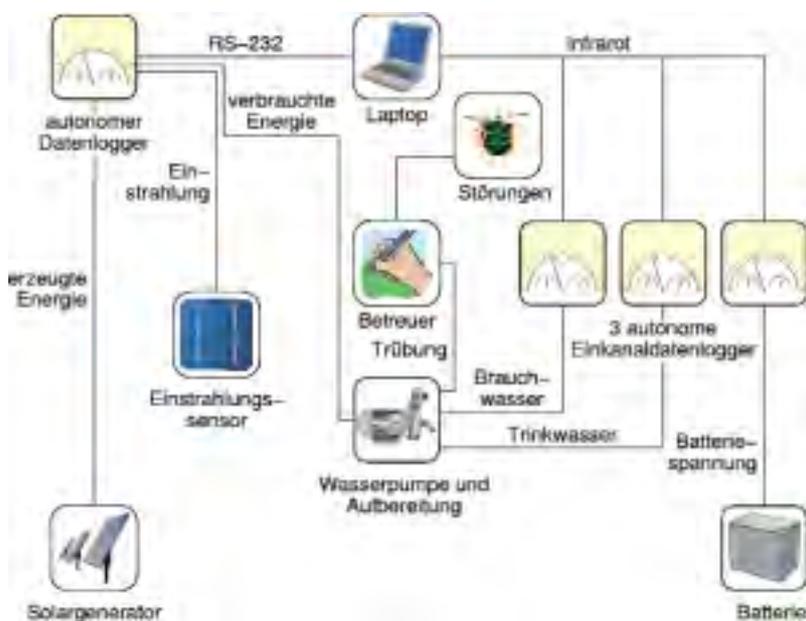


Abb. 1: Monitoring-Konzept für den derzeit in Laos durchgeführten Feldtest des photovoltaisch versorgten Systems zur Wasserförderung und Trinkwasseraufbereitung WATERpps.



Um den Feldtest unter realen Bedingungen in entlegenen ländlichen Gebieten zu ermöglichen, haben wir für das photovoltaisch versorgte System zur Wasserförderung und Trinkwasseraufbereitung WATERpps ein robustes, autark arbeitendes und einfach zu bedienendes Monitoringsystem entworfen (Abb. 1).

Zur Erfassung und Bewertung des Systemverhaltens werden sämtliche relevanten technischen Größen aufgezeichnet. Im Einzelnen sind dies die Solarstrahlung, die momentane Leistung des PV-Moduls, die Leistungsaufnahme der Pumpe, die Batteriespannung und die Entnahmeholumina von Brauch- beziehungsweise Trinkwasser. Das Durchflussvolumen kann zusätzlich visuell an einer einfachen Wasseruhr abgelesen werden. Ziel des Feldtests ist die Identifikation des technischen Optimierungspotenzials des Systems einerseits sowie das Erlernen des typischen Nutzerverhaltens in ländlichen Gebieten andererseits.

Nach erfolgreich abgeschlossenem Feldtest ist eine Vermietung der WATERpps-Systeme analog zur Vermietung von Solar Home Systemen durch lokale Partner geplant.

Neben technischen Größen bewerten wir die Systeme zusätzlich anhand sozio-ökonomischer Kriterien, die für eine erfolgreiche Entwicklung und Implementierung photovoltaisch versorgter Trinkwasseraufbereitungsanlagen von zentraler Bedeutung sind. Ziel ist es dabei, die Entwicklung eines Marktes für dezentrale Wasseraufbereitungssysteme in ländlichen Regionen voranzutreiben, um damit einen wesentlichen Beitrag zur Verbesserung der Lebensumstände der Bewohner zu leisten.

Das WATERpps-System wurde gemeinsam mit der Solar-Fabrik AG entwickelt, unterstützt durch den »Innovationsfonds Klima und Wasserschutz« der badenova AG & Co. KG. Weiterer Partner im Feldtest und für die Umsetzung vor Ort ist die laotische Firma Sunlabob.

Abb. 2: Einführung unserer laotischen Partner in das System zur Wasserförderung und Trinkwasseraufbereitung WATERpps in Vientiane/Laos.

Autarke Anlagen zur solaren Meerwasserentsalzung im realen Betrieb

Bereits heute werden weltweit täglich 50 Millionen m³ Trinkwasser aus Meer- oder Brackwasser gewonnen. Die zum Einsatz kommenden, technisch ausgereiften Entsalzungstechnologien sind fast ausnahmslos auf die Versorgung infrastrukturell gut erschlossener Ballungsräume ausgerichtet. Am Fraunhofer ISE arbeiten wir an Entsalzungssystemen, die solarthermisch und photovoltaisch versorgt und damit vollkommen energieautark sind, um in infrastrukturell schwachen Gebieten zur Aufbereitung kleiner Trinkwassermengen eingesetzt werden zu können.

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

* PSE GmbH Forschung Entwicklung Marketing, Freiburg

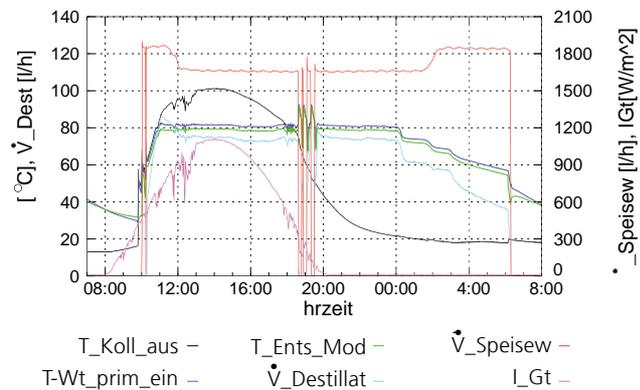


Abb. 1: 24 Stunden Messung an einem Zweikreisystem auf Gran Canaria. Es ist zu erkennen, dass die für den Entsalzungsprozess bereitgestellte Betriebstemperatur von 80 °C (blaue Linie) durch ein spezielles Speicher- und Regelungskonzept sehr schnell nach Sonnenaufgang erreicht wird und durch die Beladung des Speichers über Tag, bzw. Entladung des Speichers während der Nacht sehr konstant gehalten werden kann. An diesem Tag wurde ein Trinkwasserertrag von 1240 Litern erzielt.

Für kleine, dezentral einsetzbare Entsalzungsanlagen besteht ein erheblicher Entwicklungsbedarf, da die für großtechnische Anwendungen eingesetzten, konventionellen Entsalzungsverfahren nicht ohne weiteres auf Anlagen mit kleinen Produktionskapazitäten herunter skaliert werden können. Außerdem besteht bei der Nutzung von regenerativen Energiequellen wie Solar- oder Windenergie das Problem der diskontinuierlichen Energieversorgung.

Bei den am Fraunhofer ISE entwickelten solar betriebenen Entsalzungssystemen setzen wir deshalb spezielle, an diese Bedingungen angepasste Entsalzungsmodule ein, die nach dem Prinzip der Membrandestillation arbeiten. Diese Module werden am ISE sowohl weiterentwickelt als auch für Prototypenanlagen gefertigt. Wir unterscheiden zwischen »Kompaktanlagen« für Kapazitäten bis 150 l pro Tag und Einheit und »Zweikreisystemen«, die je nach Baugröße Kapazitäten zwischen einem und zehn m³ pro Tag abdecken können.

Während die Kompaktanlagen einen direkt vom Salzwasser durchströmten Solarkollektor haben, ist beim Zweikreisystem ein Wärmetauscher zwischen Kollektorkreis und Salzwasserkreis geschaltet. Zudem verfügt das Zweikreisystem im Gegensatz zur Kompaktanlage über einen Wärmespeicher, der überschüssige Energie aus den Mittagsstunden für die einstrahlungsfreien Tageszeiten und die Nacht vorhält.



Abb. 2: Bei der Zweikreisanlage auf Gran Canaria sind fünf Entsalzungsmodule in Betrieb. Das Kollektorfeld hat eine Größe von 90 m² und besteht aus Flachkollektoren mit einer doppelten, antireflexbeschichteten Glasabdeckung. Hierdurch kann auch bei hohen Betriebstemperaturen von 80–100 °C noch ein guter Wirkungsgrad von 50–60% erreicht werden. Der thermische Speicher hat ein Volumen von 4 m³.

Seit 2005 sind fünf von uns entwickelte und gebaute Kompaktanlagen sowie zwei Zweikreisysteme mit einer Tageskapazität von 0,8 bzw. 1,5 m³ in verschiedenen Ländern in Betrieb. Die daraus gewonnene Erfahrung zeigt, dass die Anlagen auch über einen längeren Zeitraum weitgehend autark und wartungsfrei arbeiten.

Die Arbeiten wurden von der Europäischen Union unterstützt.



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 Ertragssicherung auf allen Ebenen ermöglichen. Dazu beraten wir bei der Anlagenplanung, charakterisieren Solarmodule und führen die technische Bewertung und Leistungsprüfung von PV-Anlagen durch. Unsere Ertragsprognosen bieten höchste Genauigkeit und gelten als Referenz.

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

Optisch konzentrierende PV-Systeme haben das Potenzial, die Stromgestehungskosten für große Kraftwerkseinheiten an sonnenreichen Standorten erheblich zu senken. Für zweiachsig der Sonne nachgeführte Konzentratormodule entwickeln wir Hochleistungssolarzellen, die in Kombination mit preisgünstig hergestellten Fresnellinsen Modulwirkungsgrade von 26 Prozent erzielen. Die jüngste Ausgründung aus dem Fraunhofer ISE, die Firma Concentrix Solar GmbH, wird im Jahr 2007 ein erstes Kraftwerk mit dieser Technologie realisieren.

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

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

- Wechselrichterlabor
- hochpräzise Leistungsmessgeräte für Wechselrichter und Laderegler
- Präzisionsmessgeräte zur Charakterisierung induktiver und kapazitiver 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



Eines der weltweit größten Solarkraftwerke ist auf dem Dach des BMW-Konsolidierungslagers in Dingolfing an der Isar realisiert. Der Solargenerator besteht aus mehr als 18 000 Modulen und hat eine Gesamtleistung von 3,3 Megawatt. Das Fraunhofer ISE führte umfangreiche Messungen zur Sicherstellung der Leistung und Qualität der Anlage durch.

Dazu gehören vor allem:

- Bewertung der technischen Ausführung der Anlage (Unterkonstruktion, Anschlussdosen, Unterverteiler, Leitungsquerschnitte, Einhaltung der gängigen Normen).
- Durchführung der Kennlinienmessung von ausgewählten Teilgeneratoren und Strängen des Solargenerators zur Ermittlung der Leistung und der Funktion.

(Beitrag S. 81)

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. Rudi Kaiser	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-52 20 E-Mail: Rudi.Kaiser@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	Dr. Günther Ebert	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-52 29 E-Mail: Guenther.Ebert@ise.fraunhofer.de
Solarzellen	Prof. Dr. Gerhard Willeke	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-52 66 E-Mail: Gerhard.Willeke@ise.fraunhofer.de
Gebäude und technische Gebäudeausrüstung	Dr. Hans-Martin Henning	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-51 34 E-Mail: Hans-Martin.Henning@ise.fraunhofer.de

»Performance«: Spielregeln für einen transparenten Photovoltaik-Markt

Die Überarbeitung, Erweiterung und Normung von Verfahren zur Charakterisierung von PV-Zellen, -Modulen und -Systemen ist Gegenstand des umfangreichen Projekts »Performance«. Dabei konzentriert sich ein wesentlicher Teil des Arbeitsprogramms auf unterschiedliche Typen von Dünnschicht-solarzellen und -modulen. Die Angleichung der im Testlabor erzielbaren Messgenauigkeiten an den Produktionsmaßstab ist ebenso ein Thema wie die Verfahrensentwicklung für Lebensdauertests.

Christian Reise, Michael Köhl, **Günther Ebert**

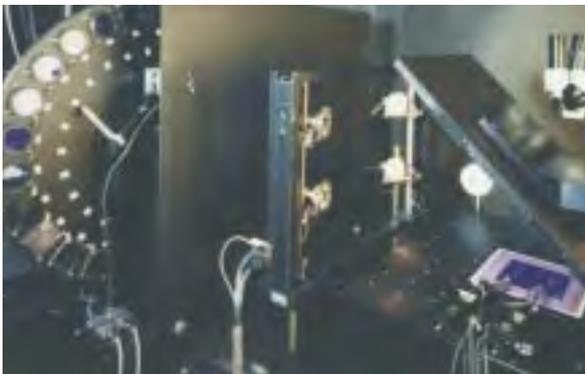


Abb. 1: Im Kalibrierlabor des Fraunhofer ISE werden PV-Zellen und -Module mit hoher Präzision vermessen. Für die kristallinen Silicium-Module liegt die Messgenauigkeit bei $\pm 2\%$. Für Dünnschicht-PV-Zellen und für Messungen in der Produktion sollen vergleichbare Genauigkeiten erreicht werden.



Abb. 2: Wieviele kWp PV-Leistung sind hier installiert? Die hochgerechnete Datenblattleistung, die Modul-Einzelmessungen des Herstellers oder Stichproben zertifizierter Messlabore ergeben stets unterschiedliche Werte. »Performance« wird dazu beitragen, klare Spielregeln bei der Bewertung von großen PV-Anlagen einzuführen.

Wie groß ist die installierte und zu bezahlende PV-Leistung in einer PV-Anlage tatsächlich? Wie hoch ist der zu erwartende mittlere Jahresertrag? Wie werden garantierte Erträge verifiziert?

Bestehende Messvorschriften und Normen zur Beantwortung dieser Fragen stammen zum großen Teil aus der Zeit erster großer Demonstrationsanlagen und beschränken sich auf PV-Module aus kristallinen Silicium-Solarzellen. Die Anforderungen des Marktes sind jedoch inzwischen gewachsen. Zum einen werden PV-Anlagen aus Dünnschicht-Modulen in großem Umfang gebaut. Zum anderen rechnen sich bei allen Modultechnologien Toleranzen von mehreren Prozent in der installierten Leistung oder im zu erwartenden Ertrag in merkliche Summen um, wenn es um viele MW statt um einige kW geht.

Im Projekt »Performance« überarbeiten und erweitern wir relevante Messverfahren, -Vorschriften und -Normen. Hierbei geht es räumlich um neun Größenordnungen von der einzelnen Solarzelle bis hin zur Charakterisierung von Einsatzorten in ganz Europa. Im Zeitbereich erstrecken sich acht Größenordnungen von Millisekunden in der Wechselrichter-Regelung bis hin zur Modul-Lebensdauer von 25 und mehr Jahren.

Speziell für die neu auf den Markt drängenden Dünnschichttechnologien a-Si, CdTe, CuInGaSe und CuInS sollen Bewertungstoleranzen erreicht werden, die jenen für die eingeführte kristalline Siliciumtechnologie vergleichbar sind. Dies gilt sowohl für die Vermessung von Modulen als auch für die richtige Bewertung des Anlagen-ertrags. Ebenso werden Fragen zur Alterung von Modulen eingeführter und neuer Technologien untersucht. Dabei entwickeln wir Labor- und Freiluft-Testverfahren, die auch bei zukünftigen Modulkonstruktionen verlässliche Daten in Bezug auf die zu erwartende Lebensdauer liefern.

Das von der Europäischen Union geförderte Projekt »Performance« hat eine Laufzeit von vier Jahren und wird in enger Kooperation mit der European Photovoltaic Industry Association EPIA sowie zahlreichen Einzelfirmen durchgeführt.

Ertragsoptimierung bei netzgekoppelten Photovoltaik-Anlagen

Bei steigendem Kostendruck für die Photovoltaik-Anlagen spielt Effizienz eine zunehmend wichtige Rolle, denn jeder Prozentpunkt Leistungseinbuße wirkt sich unmittelbar auf die Rendite der Projekte aus. Eine im Vergleich zur Planung zu geringe Modulleistung ist eine der häufigsten Ursachen für niedrige Anlagenerträge. Zunehmend werden auch Schadensanalysen für fehlerhafte Module gefordert. Wir haben die Verfahren zur Vorortanalyse entsprechend weiter entwickelt, um für Investoren und Betreiber fundierte Aussagen zu Leistung und Funktion der Solarmodule machen zu können.

Andreas Steinhüser, Frank Neuberger,
Klaus Kiefer, Günther Ebert

Ertragsprognosen stützen sich auf die Angaben der Hersteller von Solarmodulen. In verschiedenen Testreihen konnten wir feststellen, dass die Modulleistungen sich zwar oft innerhalb der garantierten Toleranzen bewegten, bei mehr als der Hälfte der getesteten Module aber deutlich unter dem vom Hersteller angegebenen Nennwert lagen. Für Investoren und Betreiber bieten wir daher eine statistisch repräsentative Prüfung der Solarmodule an. So kann sichergestellt werden, dass die gelieferten Module im Durchschnitt tatsächlich die Leistung liefern, mit der die Rendite berechnet wurde. Denn über eine Betriebszeit von 20 Jahren bedeutet ein Prozent geringere Modulleistung bei einer Megawattanlage bereits einen Verlust von rund 100 000 Euro. In unserem Kalibrierlabor können wir Einzelmodule mit einer sehr hohen Messgenauigkeit von +/-2% messen.

Zur Leistungsüberprüfung großer Solarkraftwerke sind Vorortmessungen der Kennlinien von Teilgeneratoren bzw. von einzelnen Strängen des Solargenerators erforderlich. Mit unserer mobilen Messausrüstung können wir die Leistung von Teilgeneratoren bis zu 100 kWp und 1000 Volt Spannung ermitteln. Mit präzisen Sensoren für die Messung der solaren Einstrahlung und einer sorgfältigen Erfassung der Modultemperaturen an verschiedenen Stellen des Solargenerators lassen sich belastbare Ergebnisse erzielen. Zur Erkennung von schadhafte Modulen – zum

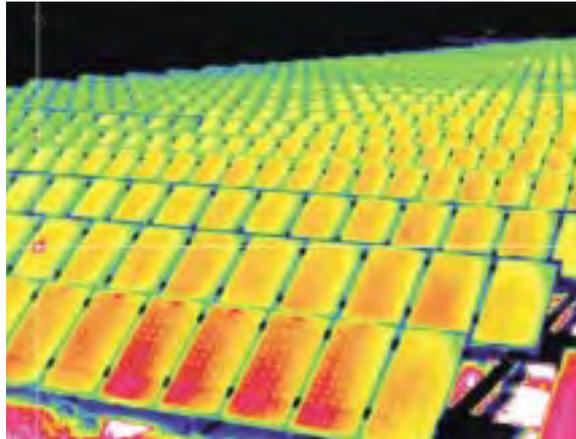


Abb. 1: Bei der Thermographieaufnahme eines großen Solargenerators wurden Module mit Hot-Spot-Effekten entdeckt.

Beispiel der Hot-Spot-Effekte – vermessen wir den gesamten Solargenerator mit einer hochauflösenden Thermokamera. Mit diesem Verfahren können die Temperaturverläufe innerhalb eines Moduls oder innerhalb größerer Modulfelder sichtbar gemacht werden. Ebenso ist es möglich z. B. die Kabeldimensionierung der Solargeneratorverschaltung und der Wechselrichterbelegung zu überprüfen. So können Gegenmaßnahmen getroffen werden bevor Schäden durch zu hohe Strombelastungen entstehen.

Mit unseren am Fraunhofer ISE entwickelten Analyse-Methoden untersuchten wir im letzten Jahr mehr als 40 Anlagen mit einer Gesamtleistung von mehr als 20 Megawatt.



Abb. 2: Fraunhofer ISE-Experten bei der Leistungsvermessung der 3 MW-Anlage auf dem Dach der Produktionshalle des BMW-Werks Dingolfing.

Zuverlässigkeit und Beständigkeit von Photovoltaik-Modulen

Hersteller von Solarmodulen geben derzeit eine Leistungsgarantie von 20 Jahren und mehr. Dies ist nur möglich, weil für die verwendeten Materialien entsprechende Erfahrungen über die Gebrauchsdauer vorliegen. Wer alternative, preiswertere Materialien einsetzen möchte, kann ihre Zuverlässigkeit nur schwer einschätzen. Um hierfür neue Möglichkeiten zu schaffen, entwickeln wir gemeinsam mit Projektpartnern einen beschleunigten Lebensdauertest für Solarmodule.

Michael Köhl, Odon Angeles, Franz Brucker, Markus Heck, Tilmann Kuhn, Daniel Philipp, Marco Tranitz, Karl-Anders Weiß, Harry Wirth, Hans-Martin Henning

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

Wir konzentrierten uns daher zunächst auf Verfahren zur Ermittlung relevanter Materialkenngrößen und auf die Entwicklung von Simulationsprogrammen, mit deren Hilfe dann das Zusammenwirken neuer Materialien im Modul und deren Alterungsbeständigkeit modelliert werden konnte (Abb. 1 und 2).

Für die Validierung der Simulationsergebnisse und der beschleunigten Gebrauchsdauertests haben wir kommerzielle Module und Testmodule mit innovativen Materialkombinationen in arider, tropischer, alpiner und urbaner Umgebung zur Freibewitterung ausgesetzt. Die klimatische Beanspruchung wurde einem kontinuierlichen Monitoring unterzogen. Weitere interessante Materialien und Module mit Dünnschichttechnik stehen noch zum Test aus.

Zielsetzung ist es, gemeinsam mit unseren Projektpartnern einen beschleunigten Test zur Bestimmung der Lebensdauer von Solarmodulen zu entwickeln und ihn mittels Outdoor-Messungen zu verifizieren.

Das Clusterprojekt »Zuverlässigkeit von PV-Modulen« wird vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) gefördert. Die Arbeiten im Rahmen des integrierten Projekts »Performance« werden zum Teil von der EU finanziert.

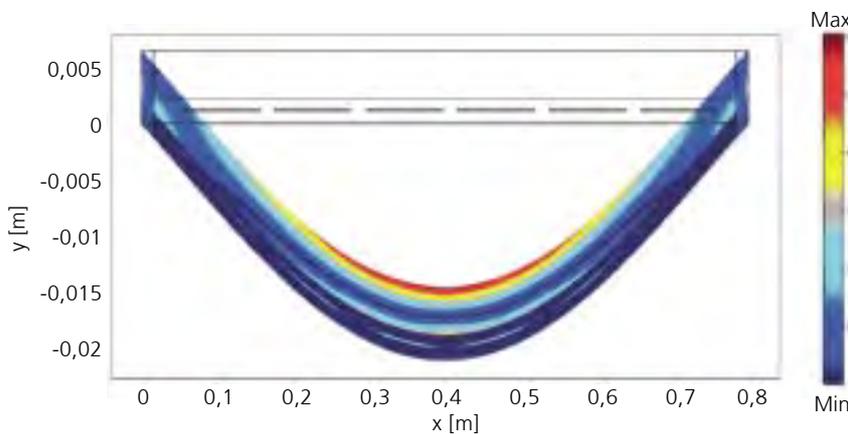


Abb. 1: Die Falschfarbendarstellung zeigt die modellierten Spannungen in einem Modul mit 4 mm Verglasung bei einer Belastung mit 2 400 Pa. Man erkennt die Druckspannungen an der Glasoberfläche und Zugspannungen an der Glasunterseite sowie an den Solarzellen. Die Farbskala von dunkelblau nach dunkelrot spiegelt den zunehmenden Betrag der Spannungen wieder.

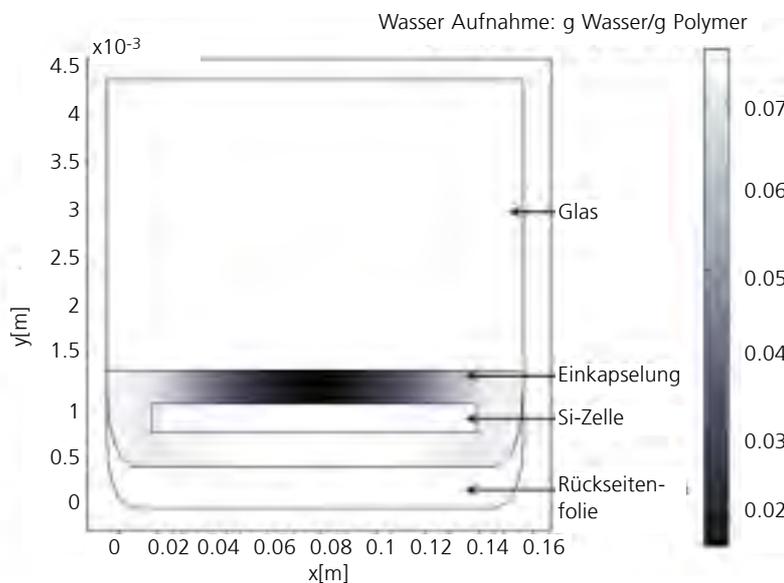


Abb. 2: Modellierung der Verteilung der Wasserkonzentration im Einbettungsmaterial eines PV-Moduls. Die Momentaufnahme aus einer dynamischen Simulation zeigt die örtlich verteilte Wasserkonzentration im Einkapselungsmaterial.

Diodenfreie Bypassschaltung für Solarmodule

Bypassdioden schützen Solarzellen, wenn Abschattungen des Generators auftreten sollten. Aufgrund zunehmender Zellgröße sowie zunehmender Zellwirkungsgrade erreichen Zellströme inzwischen einen Bereich von 10 bis 15 Ampere. Bei derart hohen Strömen ist es schwierig, die in Folge von Abschattung in den Dioden entstehende Abwärme abzuführen und die Vorschriften nach IEC 61215 einzuhalten. Gemeinsam mit Industriepartnern entwickelten wir eine diodenfreie Bypassschaltung, welche die Wärmeentwicklung auf ein unkritisches Maß reduziert.

Bruno Burger, Heribert Schmidt,
Günther Ebert



Bypassdioden sind Bestandteil nahezu aller Solarmodule. Sie sind antiparallel zu einer Gruppe von Solarzellen geschaltet und im Normalbetrieb stromlos. Werden Zellen der Gruppe abgeschattet, so wird die Bypassdiode leitend und schützt die abgeschatteten Zellen vor einer Schädigung durch eine zu hohe Sperrspannung und Erwärmung (Hot Spot). Bislang werden konventionelle Silicium p-n-Dioden und auch Schottky-Dioden als Bypassdioden eingesetzt. Der bei Abschattung durch sie fließende Generatorstrom ruft eine deutliche Erwärmung aufgrund ihrer Durchlassspannung von ca. 0,4 V bis zu 1 V hervor. Mit zunehmender Zellgröße und Effizienz der Zellen und somit steigenden Zellströmen wird es immer schwieriger, die entstehende Abwärme aus den Bypassdioden abzuführen. Bereits bei 8 bis 10 Ampere muss ein erheblicher Aufwand betrieben werden, um die von der IEC 61215 zugelassenen Grenztemperaturen der Dioden einzuhalten.

Mit unserer neuartigen diodenfreien Bypassschaltung kann die Wärmeentwicklung bei einer 16-A-Schaltung um den Faktor 10 gegenüber konventionellen Lösungen reduziert werden. Diese geringe Wärmeentwicklung wirkt sich zudem positiv auf deren Lebensdauer aus und ermöglicht es, mehrere solcher Schaltungen in einer konventionellen Anschlussdose unterzubringen. Die Schaltung besteht aus wenigen, großzügig dimensionierten Bauteilen. Dank integrierter Schutzkonzepte zeichnet sie sich im Vergleich zu konventionellen Bypassdioden durch eine hohe Robustheit gegenüber Überspannungen aus. Dadurch wird die diodenfreie Bypassschaltung auch für Module mit kleinerem Nennstrom interessant.

Abb. 1: Diodenfreie Anschlusschaltung DIODLESS mit einem Nennstrom von 16 A für zwei Untergruppen von Solarzellen. Unser Industriepartner plant die Entwicklung einer durchgängigen Familie von diodenfreien Anschlusschaltungen nach dem neuen Konzept.

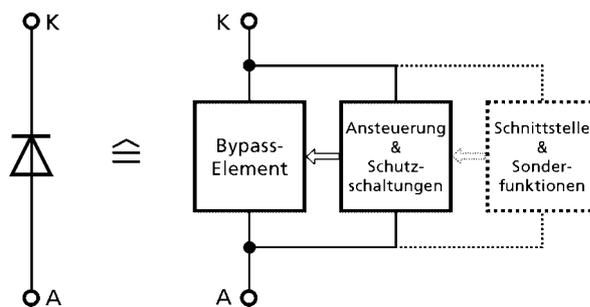


Abb. 2: Die diodenfreie Anschlusschaltung ist elektrisch kompatibel mit konventionellen Bypassdioden. Das Bypass-element wird über eine Ansteuer- und Schutzschaltung aus dem Spannungsabfall über der Diode versorgt. Zukünftig können auch Sonderfunktionen, zum Beispiel Kurzschließen des Moduls, über geeignete Schnittstellen realisiert werden.

Aktives Management von dezentralen Stromerzeugungsanlagen

Immer mehr dezentrale Erzeugungsanlagen speisen Strom ins Netz und erhöhen die Anforderungen an die Planung und Betriebsführung von Energieversorgungsnetzen. Auf der Basis eines Algorithmus, der zur Erreichung vielfältiger Zielvorgaben eingesetzt werden kann, entwickelten wir ein neuartiges System für die Betriebsführung von dezentralen Erzeugungsanlagen. Ein erster Test in einem Niederspannungsnetz verlief erfolgreich und lässt Amortisationszeiten von drei bis vier Jahren für das System erwarten.

Thomas Erge, Rainer Becker, Malte C. Thoma, Anselm Kröger-Vodde*, Bernhard Wille-Haussmann, Christof Wittwer, Günther Ebert

* PSE GmbH Forschung Entwicklung Marketing, Freiburg

Das neu entwickelte Energiemanagementsystem PoMS (Power Flow and Power Quality Management System) hilft, die stetig steigende Zahl dezentraler Erzeugungsanlagen in bestehende Energieversorgungsnetze zu integrieren und zu managen. Die Zielkriterien für das optimierte Management können dabei ganz unterschiedlich sein, z. B. Kostenminimierung des Netzbetriebs, Reduzierung des Bedarfs an Regelenergie, Minimierung des Primärenergieeinsatzes, Minimierung von CO₂-Emissionen. PoMS kann zusätzlich aktiv die Spannungsqualität mit vorhandenen Netzkomponenten verbessern. So können z. B. Unter- oder Überspannungen reduziert werden; gleichzeitig erlaubt das System die kontinuierliche Überwachung der Spannungsqualität.

Die entscheidende Neuerung bei PoMS ist die Berechnung optimierter Fahrpläne für die steuerbaren Komponenten. Wir haben dabei Methoden der gemischt-ganzzahligen linearen Optimierung verwendet. Deren großer Vorteil ist die Garantie, ein globales und nicht nur ein lokales Optimum zu finden. Auch in anderen Industriebranchen findet dieser Ansatz zunehmend Verwendung.

Unser Partner bei der Entwicklung und beim Test von PoMS ist der Energieversorger MVV Mannheim. Von September bis Dezember 2005 wurde das System in einem Niederspannungsnetz in der Nähe von Karlsruhe getestet. Dabei zeigte sich, dass im Vergleich zum konventionellen Netzbetrieb Einsparungen im Bereich von mehreren tausend Euro pro Jahr möglich sind. Ein Ergebnis, das Amortisationszeiten für das System von nur drei bis vier Jahren erwarten lässt. Aufgrund der viel versprechenden Ergebnisse wird die MVV Mannheim das System nun einem Langzeittest bis Juni 2007 unterziehen.

Abb. 2: Damit für die Bewohner der Siedlung jederzeit nachvollziehbar ist, welche Leistung das System erbringt, werden vor Ort ausgewählte Parameter auf einer Anzeigetafel dargestellt.



Abb. 1: Praxistest von PoMS in einem Netz der MVV Energie.



Realisierung eines virtuellen Kraftwerks

Mit dem zunehmenden Ausbau dezentraler Energiesysteme, insbesondere durch den Einsatz regenerativer Energiequellen, wird ein aktives Netz-Management erforderlich. In Kooperation mit einem Energieversorgungsunternehmen haben wir für dessen Stromverteilnetz eine intelligente Betriebsführung entwickelt, die es erlaubt, die verteilten Stromerzeuger zu einem virtuellen Kraftwerk zu kombinieren.

Thomas Erge, Lena Kitzing, Malte C. Thoma, Bernhard Wille-Hausmann, Christof Wittwer, Günther Ebert

Aufgrund der steigenden Anzahl dezentraler Stromerzeuger ergeben sich neue Anforderungen im Rahmen der Netzbetriebsführung. Aspekte der Netznutzung der vorgelagerten Ebenen sowie neue Rahmenbedingungen (z. B. Anreizregulierung) spielen zunehmend eine wichtige Rolle. Für den Verteilnetzbetreiber bieten diese veränderten Rahmenbedingungen die Chance zur aktiven Systemoptimierung.

Wir haben untersucht, wie auf der Basis von Prognosen für thermische und elektrische Lasten sowie von Prognosen für die Erzeugung aus Wind und Photovoltaikgeneratoren eine für das Gesamtnetz technisch und ökonomisch optimierte Betriebsweise möglich wird. Die von uns entwickelten Strategien zur Optimierung dieses »virtuellen Kraftwerks« haben wir anhand früherer Betriebsdaten evaluiert und konnten zeigen, dass zum Teil erhebliche Verbesserungen der Rentabilität sowohl für Anlagen- als auch für den Netzbetreiber zu erzielen sind. Das größte Potenzial entsteht hierbei durch die optimierte Steuerung der Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen.

Für den laufenden Betrieb des »virtuellen Kraftwerks« haben wir mit dem auf Seite 84 erwähnten Verfahren der gemischt-ganzzahligen linearen Optimierung maßgeschneiderte Optimierungsstrategien entwickelt und implementiert. Dabei ist es möglich, flexible Zielfunktionen für die Optimierung vorzugeben, wie zum Beispiel die Erzielung von finanziellen Einsparungen oder die Reduktion des CO₂ Ausstoßes der Erzeuger.



Abb. 1: »Virtuelle Kraftwerke« umfassen eine Vielzahl dezentraler Erzeuger unterschiedlichster Technologien. Durch eine zentrale kommunikative Einbindung sowie eine intelligente Betriebsführung werden sie zu einer aus Sicht des Netzbetreibers konzentrierten, steuerbaren Erzeugungseinheit kombiniert.



Abb. 2: Bei »regionalen virtuellen Kraftwerken« müssen bei der Betriebsführung sowohl die Interessen der Anlageneigentümer, als auch die des lokalen Netzbetreibers berücksichtigt werden. Die von uns entwickelte übergeordnete Betriebsführung kann genau diesen Interessenausgleich sicherstellen.

Die Kommunikationsinfrastruktur für das »virtuelle Kraftwerk« ist im Aufbau, der reguläre Dauerbetrieb ist in Vorbereitung.

Unser Partner, der Freiburger Netzbetreiber badenova GmbH & Co. KG, fördert das Projekt über seinen Innovationsfonds.

Unterstützung für Kommunen bei der Implementierung Erneuerbarer Energien

Kommunen mangelt es oft an Know-how, um Möglichkeiten für die Nutzung erneuerbarer Energietechnologien »Assets« zu identifizieren und sie einer Chancen/Risiko-Analyse zu unterziehen. Gemeinsam mit Partnern aus fünf EU-Ländern haben wir ein mittels Internet gesteuertes Werkzeug entwickelt, das Kommunen darin unterstützt, die für sie geeigneten Aktivitäten zum Klimaschutz in Angriff zu nehmen.

Sebastian Gölz, Iryna Shymkiv, Gisela Vogt, Günther Ebert



Abb. 1: Kommunen verfügen über viele Möglichkeiten, die bisher selten für die Implementierung nachhaltiger Energiesysteme in Betracht gezogen wurden. Mit Hilfe des »LETIT-Tools« entwickelte der Londoner Stadtteil Merton eine Klimaschutzstrategie, bei der unter anderem 3 Windanlagen (à 6 kW) der neuesten Generation von Vertikalachsenturbinen installiert werden (Quelle: XCO2, GB).

Europa sieht sich mit wachsenden Schwierigkeiten konfrontiert, will es die in den vergangenen Jahren vereinbarten ehrgeizigen Ziele im Hinblick auf erneuerbare Energien, Energieeffizienz und Klimaveränderung erreichen. Ein Grund dafür ist, dass die Verantwortung für die Planung, Genehmigung und Implementierung von Projekten bei lokalen Entscheidungsträgern aus der Verwaltung liegen und nicht auf EU-Ebene.

Vor diesem Hintergrund haben wir einen Bewertungsansatz sowie ein Instrument auf Internetbasis entwickelt, das Kommunen dabei unterstützt, die für sie geeigneten Aktivitäten zum Klimaschutz durchzuführen. Neben den technischen Möglichkeiten werden dabei auch Risiken berücksichtigt, die mit der Implementierung von nachhaltigen Energietechnologien verbunden sein können. Das entwickelte Instrument ermöglicht die Durchführung einer Risikoanalyse mit mehreren Interessensgruppen. Es wird deutlich, bei welchen Gruppen zu unterschiedlichen Themen Übereinstimmung besteht und wo Konfliktpotenzial vorliegt. Die Grundlage für eine transparente Diskussion über Risiken und deren Vermeidung ist somit geschaffen.

In einem ersten Einsatz der Neuentwicklung gelang es uns, mit dem Council des Londoner Stadtteils Borough of Merton eine »Climate Change Strategy« unter Einbezug von Wohnhäusern und kleinen kommerziellen Einrichtungen zu entwickeln. Die Strategie sieht neben der Realisierung eines Blockheizkraftwerks (BHKW) mit Biogas-Technologie auch die Implementierung von 150 kWp PV- und Windkraftanlagen im Stadtgebiet vor. Mit der Klimaschutzstrategie können neue Gebäude im Südosten des Stadtviertels ohne große CO₂-Belastung mit Strom und Wärme versorgt werden. Durch Nutzung lokaler Ressourcen ergibt sich gleichzeitig eine Kostenersparnis für die Gemeinde.

Die Arbeiten erfolgten im Rahmen des von der Europäischen Union geförderten Projekts »Local New Energy Technology Implementation«. <http://letit.energyprojects.net>

Das »LETIT-Tool« steht der Öffentlichkeit zur Verfügung unter: www.rgesd-sustcomm.org/LETIT/TK_ENG_LETIT.htm

Weiterentwicklung und Demonstration des Linearen Fresnel-Kollektors

Im Bereich solarthermischer Kraftwerke lag in den vergangenen Jahren einer unserer Schwerpunkte auf der Optimierung des linearen Fresnel-Kollektors auf der Basis von theoretischen Untersuchungen. Ebenso wurden die Schlüsselkomponenten Absorberrohr, Sekundärspiegel, Primärspiegelfeld und dessen Regelung zur Einsatzreife gebracht. Nun kommt ein direkt-verdampfender Prototyp zur Anwendung, dessen Leistung und Betriebsverhalten wir in der Praxis analysieren, um Sicherheit für kommerzielle Kraftwerksprojekte zu erhalten (zum Thema Fresnel-Kollektoren vgl. auch Beitrag S. 38).

Andreas Georg, Wolfgang Graf, Anna Heimsath, Christina Hildebrandt, Gabriel Morin, **Werner Platzer**, David Tovar, Andreas Gombert

In solarthermischen Kraftwerken mit linearen Fresnel-Kollektoren werden einachsige nachgeführte Flachspiegel zur Konzentration der Solarstrahlung eingesetzt. Bei den dafür erforderlichen Bauteilen handelt es sich zu einem hohen Anteil um kostengünstige Standardkomponenten, die nahezu weltweit verfügbar sind, eine hohe lokale Wertschöpfung ermöglichen und damit Wettbewerbsvorteile gegenüber Konkurrenztechnologien erwarten lassen. Darüber hinaus ist die Fresnel-Technik unempfindlich gegen Windlasten und erlaubt eine hohe Landausnutzung.

Theoretisch errechnete Stromgestehungskosten von bis zu 0,12 €/kWh lassen erwarten, dass dieser Kollektortyp mittelfristig große Marktanteile an der solarthermischen Stromerzeugung einnehmen wird. Allerdings steht ein technischer Nachweis unter realen Betriebsbedingungen noch aus.

Aufbauend auf Materialentwicklungen und Komponentenoptimierungen errichten und vermessen wir gemeinsam mit unserem Industriepartner MAN Ferrostaal Power Industries und dem Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt DLR einen Demonstrationskollektor auf der Plataforma Solar Almería. Bei diesem Projekt setzt das Fraunhofer ISE beschichtete luftstabile Absorberrohre ein. Der optimierte Sekundär-



Abb. 1: Fotorealistische Simulation eines linearen Fresnel-Kollektor-Feldes.

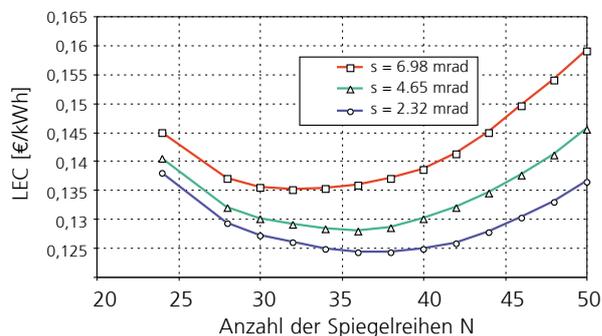
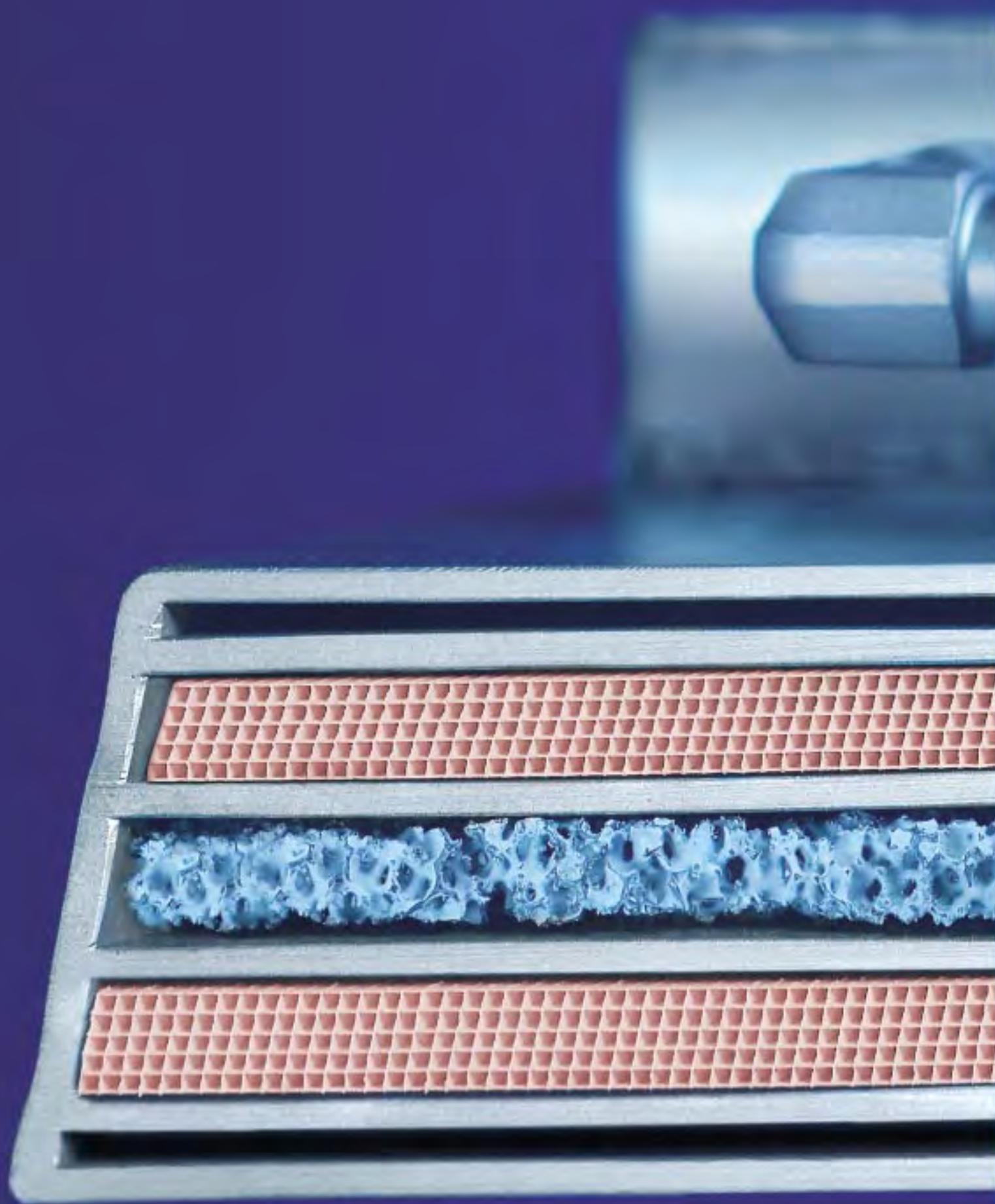


Abb. 2: Optimierung der Anzahl der Spiegelreihen mit dem Ziel der Senkung der Stromgestehungskosten (levelised electricity costs LEC). Die Kurven sind für unterschiedliche statistische Abweichungen von der idealen Spiegelform und -position gerechnet – je höher die Zahl desto ungenauer lenken die Spiegel die Sonne auf die Receiver.

konzentrator mit 14 cm Absorberrohr sowie Primärspiegel, die reihenweise angesteuert werden, sorgen für eine maximale Absorption der Solarstrahlung.

Leistung und Betriebsverhalten in der Praxis werden analysiert. Techniken zur optischen und thermischen Qualifizierung des Fresnelfeldes, die einen wesentlichen Beitrag zur Projektkosten- und Risikosenkung für künftige Investoren leisten können, werden ebenfalls vom Fraunhofer ISE entwickelt.

Der Aufbau des Kraftwerks in Almería wird vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) gefördert.



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 Mikrobrennstoffzellensysteme 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.

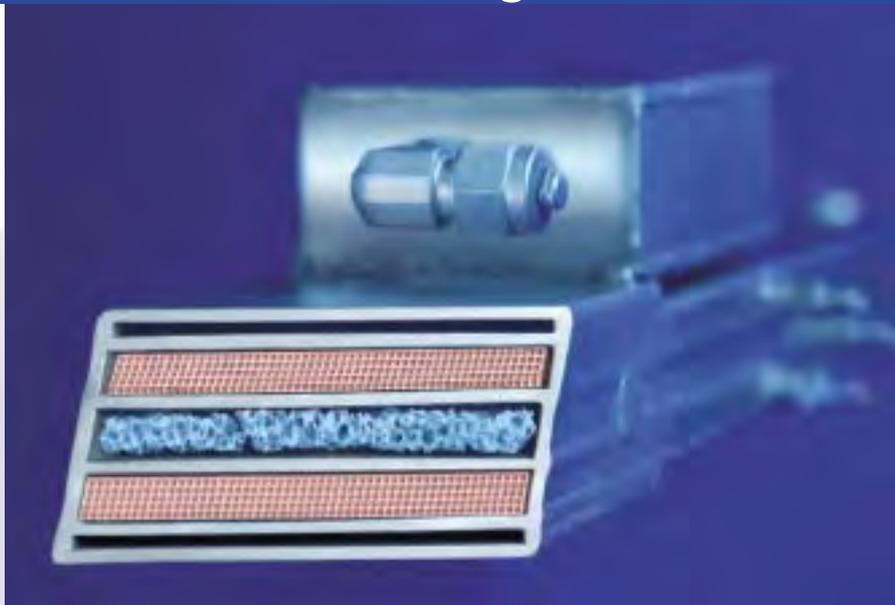
Im Geschäftsfeld Wasserstofftechnologie erforschen wir innovative Technologien zur Gewinnung und hocheffizienten Umwandlung von Wasserstoff in Strom und Wärme. Zusammen mit unseren Partnern aus Industrie und Wissenschaft entwickeln wir Komponenten bis hin zu kompletten Brennstoffzellensystemen, überwiegend 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 Rasterelektronenmikroskopie 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 Brennstoffzellensystemen 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 Brennstoffzellensysteme zur Bordnetzversor- gung in Automobilen, Lastkraftwagen, auf Schif- fen oder in Flugzeugen sowie autonomen Strom- versorgungen für netzferne Anwendungen und Kleinsysteme zur portablen Energieversorgung.



Mikro-Dampfreformer mit Brenneinheit zur Umwandlung von Ethanol und Wasser zu einem wasserstoffreichen Gas. Mit nachgeschalteten Gasreinigungsstufen wird der Kohlenmonoxid-Anteil des Produktgases reduziert. Zusammen mit unserer PEM-Brennstoffzelle wird der Reformer zu einem 300 W_{el} Gesamtsystem integriert. Der im Foto dargestellte, zentrale keramische Porenbrenner wird von zwei parallel angeordneten, mit Katalysatoren beschichteten Wabenkörpern umgeben. Das System liefert Strom für Anwendungen, in denen eine hohe Energiedichte, schnelle Startzeiten und eine hohe Verfügbarkeit über lange Zeiträume gefordert sind (Beitrag S. 96).

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

Planare Direktmethanolbrennstoffzellen

Brennstoffzellen in planarer Bauweise sind besonders geeignet, die Laufzeiten tragbarer elektronischer Geräte im Kleinleistungsbereich über das heute von Akkus gewohnte Maß hinaus zu steigern. In Fortführung unserer bisherigen Arbeiten haben wir 2006 ein funktionales Brennstoffzellensystem in planarer Bauweise entwickelt, das auf massenfertigungstauglichen Leiterplattentechnologien basiert und flüssiges Methanol als Brennstoff einsetzt.

Carsten Agert, Steffen Eccarius,
Thomas Jungmann, Martin Langhoff,
Michael Oszcipok, Michael Schweighöfer,
Andreas Wolff*, Mario Zedda,
Christopher Hebling



Abb. 1: Planare Brennstoffzellen können in Gehäuse integriert und passiv, d. h. ohne Lüfter oder Pumpen, betrieben werden. Wir verwenden kostengünstige Leiterplatten sowie Kunststoffmaterialien, deren Kanalstrukturen wir in jeweils optimierten Prozessen beschichten. Die serielle Verschaltung der acht Einzelzellen erfolgt in einer Ebene. Dadurch wird die Spannung erhöht und an die elektronischen Verbraucher angepasst.

Brennstoffzellen in planarer Bauweise können besonders gut in Gehäusestrukturen integriert werden. Sie bieten ein besonders großes Potenzial für passive Systemarchitekturen. Somit kann auf Energie konsumierende, periphere Komponenten weitestgehend verzichtet werden.

Bei unseren Entwicklungen verwenden wir massenfertigungstaugliche, kostengünstige Materialien z. B. Kunststoffe. Unsere Brennstoffzellarchitekturen auf Leiterplatten-Basis gewährleisten einen sicheren Betrieb planarer Zellen auch mit flüssigen Energieträgern. Hierfür haben wir neben der fluidischen Optimierung auch umfangreiche Untersuchungen im Hinblick auf geeignete Beschichtungstechnologien durchgeführt, um für unsere Basiskomponenten beständige und hochleitfähige Oberflächen zu realisieren.

Als Energieträger für unser planares Brennstoffzellensystem verwenden wir Methanol, das über eine hohe Energiedichte verfügt. Der Treibstoff befindet sich in einem separat abnehmbaren Tank, der sich wieder befüllen lässt. Für die Realisierung eines stabilen Dauerbetriebs haben wir leistungsarme, elektronische Regelungen entwickelt. Dadurch gelingt es uns, die internen peripheren Verluste unter 10% der Ausgangsleistung zu senken.

Unser System ist sowohl zur Kopplung mit GPS-Navigationsmodulen als auch zur Versorgung weiterer elektronischer Geräte per USB-Anschluss geeignet.

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



Abb. 2: Klare Strukturen und solide Materialien dominieren das Erscheinungsbild unseres planaren Direktmethanolbrennstoffzellen-Systems. Wir können es sowohl in Logistik-Container für den Betrieb von GPS/GPRS-Navigationsmodulen integrieren als auch mit einem eleganten Standfuß als Desktopvariante zur Beladung elektronischer Geräte z. B. mit USB-Anschluss verwenden.

Brennstoffzellen für Robotiksysteme

Die Servicerobotik als großer Zukunftsmarkt steht erst am Anfang ihrer Entwicklung. Leistungsfähige portable Stromversorgungssysteme im Bereich einiger hundert Watt sind die Voraussetzung für die Entwicklung dieses Sektors. Am Fraunhofer ISE haben wir ein angepasstes Brennstoffzellensystem für diese Anwendungen entwickelt, wobei ein energieeffizienter Betrieb sowie ein optimiertes Wärmemanagement im Fokus standen.

Carsten Agert, Marco Zobel,
Jan Hesselmann, Chris Stöckmann,
Stefan Keller, Christopher Hebling

Mobile Serviceroboter sind ein Zukunftsmarkt. Heute bereits kommerziell erhältlich sind z. B. autonome Staubsaugerroboter, in medizinischen und sicherheitstechnischen Bereichen werden zeitnah weitere Produkte folgen. Diese Anwendungen haben generell einen hohen Energiebedarf, der netzfern befriedigt werden muss und durch heutige Akku-Technologien nicht ausreichend gedeckt werden kann.

Zusammen mit dem Fraunhofer-Institut für Intelligente Analyse- und Informationssysteme IAIS haben wir eine Stromversorgung auf Brennstoffzellenbasis für die mobile »VolksBot«-Plattform entwickelt. Der »VolksBot« ist ein vom IAIS konzipiertes Robotik-Baukastensystem für Ausbildungs- und Produktentwicklungszwecke. Hierfür haben wir das Spektrum unserer wasserstoffbetriebenen Brennstoffzellensysteme am Fraunhofer ISE auf Leistungen bis zu 500 Watt erweitert.

Im Kern der Entwicklung stand ein für die netzferne portable Anwendung optimierter Brennstoffzellenstapel. Der Stapel zeichnet sich beispielsweise durch einen sehr stabilen Betrieb bei vergleichsweise geringen kathodenseitigen Luftüberschüssen aus, wodurch die elektrische Verlustleistung des Luftkompressors im System minimiert wird. Außerdem wurde durch ineinander greifende Simulationen und Experimente eine Optimierung der Wärmeabfuhrstrukturen erreicht, die einen Wärmeabtransport durch eine lüftergetriebene Luftkühlung ermöglicht.

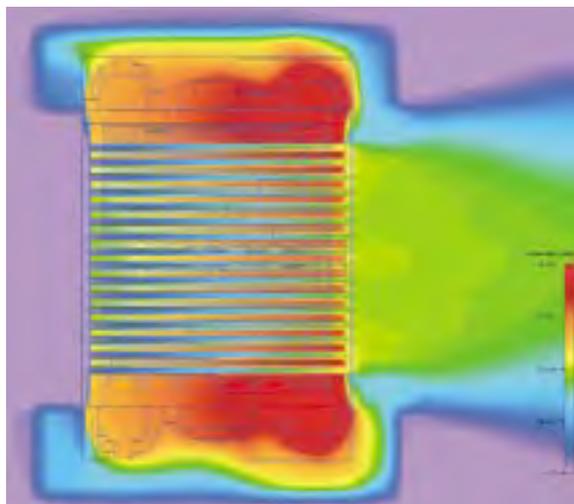


Abb. 1: Simulation des Wärmehaushalts des von uns neu entwickelten Brennstoffzellenstapels. Dargestellt (mit Sicht von oben) ist eine Ebene, die direkt durch Kühlschlitze verläuft. Links im Bild befindet sich ein Lüfter, der die Kühlluft nach rechts durch den Stapel fördert.



Abb. 2: Zusammen mit dem Fraunhofer IAIS entwickeln wir ein Brennstoffzellen-Stromversorgungssystem für die »VolksBot RT 3-wheeled« Robotikplattform. Die Abbildung zeigt eine dreirädrige Version (BxHxT: 540x410x630 mm³), in die bereits das Brennstoffzellensystem integriert wurde. Der in blau kenntlich gemachte Laserscanner am vorderen Ende dient der Navigation.

Das entwickelte Brennstoffzellensystem ist auch zur Versorgung anderer netzferner Anwendungen im Leistungsbereich bis zu 500 Watt geeignet. Es kann zukünftig in einem weiteren Schritt mit Reformersystemen für flüssige Brennstoffe gekoppelt werden, wodurch sich die Laufleistung der versorgten Anwendungen noch einmal deutlich erhöht.

Modellbasiertes Design von Brennstoffzellensystemen

Wir entwickeln Multiskalen-Simulationswerkzeuge zur Beschleunigung des Designprozesses von Brennstoffzellen und Brennstoffzellensystemen. Gestützt auf durchgängige Simulationen von der Mikrostrukturskala bis zur Systemskala optimieren wir sowohl Brennstoffzellenkomponenten als auch Brennstoffzellenstapel und -systeme.

Carsten Agert, Dietmar Gerteisen, Tim Heilmann, Julia Hermann, Simon Philipps, Kay Steinkamp, **Christoph Ziegler**, Christopher Hebling

Entwicklung und Konstruktion von Brennstoffzellen basieren derzeit noch zu einem großen Teil auf experimentellen Erfahrungen, die bei der Erstellung von Prototypen gewonnen werden. Verbesserungen werden meist durch iterierte Konstruktionszyklen – und somit in einem kostspieligen und zeitaufwändigen Prozess – dargestellt. Dieser Entwicklungsprozess kann unterstützt werden durch verfügbare Computermodelle, die sich für die Analyse von Leistungsverlusten, für die Diagnostik von Betriebszuständen und für die sichere und effiziente Betriebsführung verwenden lassen. Die Modelle beschreiben zumeist entweder die Komponenten der Brennstoffzelle, eine einzelne Brennstoffzelle, einen Brennstoffzellenstapel oder ein Brennstoffzellensystem. Die Entwicklung von Modellen, die die Mikrostruktur der in den Brennstoffzellen verwendeten Materialien beschreiben, steht dagegen noch am Anfang.

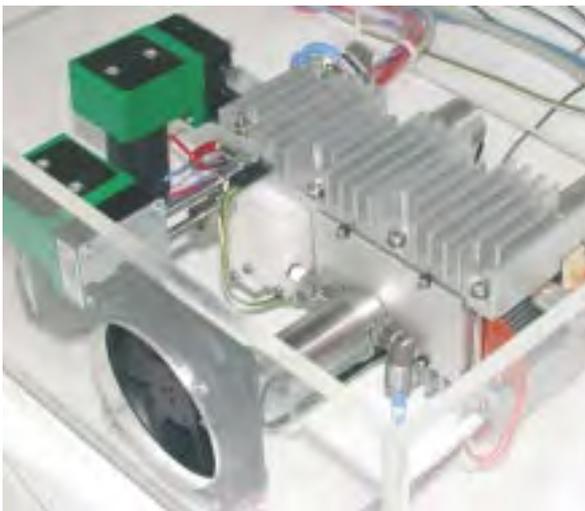


Abb. 1: Die Abbildung zeigt ein portables Brennstoffzellensystem, das zu Demonstrationszwecken mit einem Plexiglasgehäuse versehen wurde. Gut erkennbar sind der Brennstoffzellenstapel mit Kühlrippen sowie die Pumpen und Lüfter der Systemperipherie.

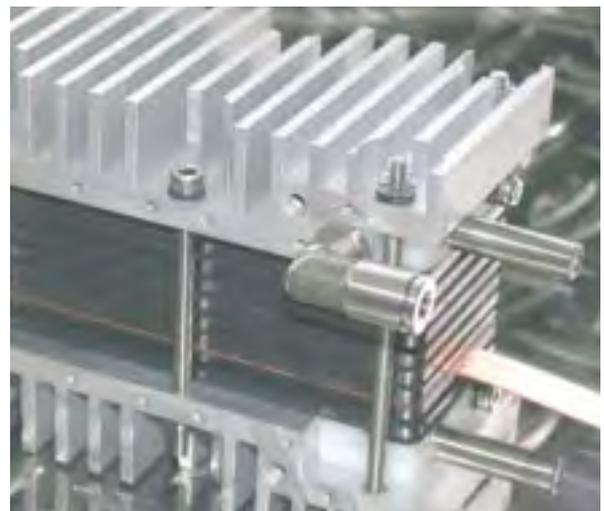


Abb. 2: Nahaufnahme eines Brennstoffzellenstapels. Zwischen den Endplatten, die als Kühlkörper dienen, liegen die einzelnen Zellen des Stapels. Diese werden über leitfähige Platten, die so genannten Bipolarplatten, miteinander verbunden.

Die zeitabhängige Simulation von Brennstoffzellenstapeln, unter vollständiger Berücksichtigung der Stapelgeometrie, übersteigt den von gängigen Modellen handhabbaren Rechenaufwand erheblich. Für die gezielte und schnelle Optimierung von Brennstoffzellen und deren Komponenten werden jedoch hoch entwickelte Computermodelle benötigt, die alle wesentlichen Aspekte von der Mikrostruktur der Materialien bis hin zum funktionsfähigen System abbilden. Man spricht in diesem Zusammenhang von einem Skalenübergang.

Im Rahmen eines vom Fraunhofer ISE geführten Verbundprojekts werden erstmals Computermodelle für Brennstoffzellensysteme zur Verfügung gestellt, die es ermöglichen, auf allen Skalen von der Mikrostruktur der Komponenten bis hin zum kompletten Brennstoffzellensystem Simulationen durchzuführen.

Durch einen interdisziplinären Ansatz realisieren wir die Verknüpfung der Modelle auf der Systemskala, der Stapelskala und der Komponentenskala. Besonders hervorzuheben ist dabei die Vernetzung von Forschern der mathematischen Grundlagenforschung mit Kollegen aus der angewandten Forschung. Dies ermöglicht einerseits die Entwicklung neuartiger spezifischer mathematischer Methoden und stellt zugleich deren Anwendung in der Brennstoffzellentechnik sicher.

Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wird mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert.

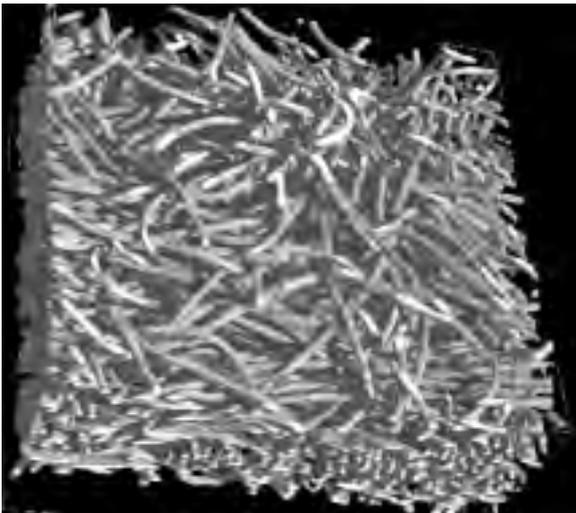


Abb. 3: Synchrotrontomographie-Aufnahme einer porösen Transportschicht oder auch Gasdiffusionsschicht. Auf Grund der hohen räumlichen Auflösung sind die einzelnen Carbonfasern des Materials sehr gut zu erkennen. Die Abbildung zeigt einen Ausschnitt mit einer Kantenlänge von 600 Mikrometern.

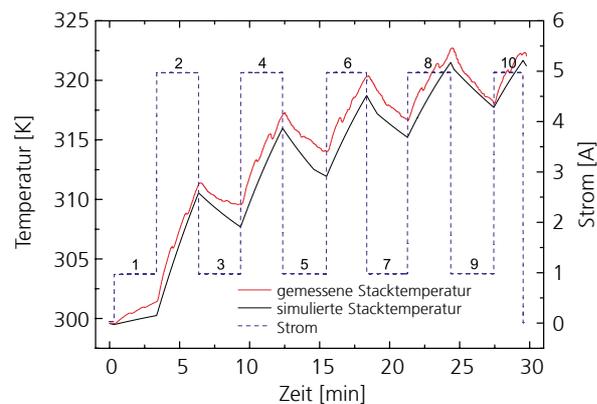


Abb. 4: Die Temperatur eines Brennstoffzellenstapels ist entscheidend für die Stapelleistung und die sichere und effiziente Regelung. Die Abbildung zeigt den Vergleich zwischen gemessener und simulierter Temperatur.

Tragbarer Wasserstoff – Der Wasserstoffherzeuger für unterwegs

Brennstoffzellen in Verbindung mit einem Wasserstoffherzeuger bieten sich u. a. dann für die Stromversorgung an, wenn weder Photovoltaik noch Batterien geeignet sind. Die wissenschaftlichen Grundlagen für die Entwicklung eines portablen, netzfernen Wasserstoffherzeugers haben wir jetzt am Fraunhofer ISE geschaffen. Der Wasserstoffherzeuger kann eine Reihe von flüssigen Brennstoffen verarbeiten und produziert mit einer geeigneten Gasaufbereitung ein wasserstoffreiches Gas, das zur Versorgung von PEM-Brennstoffzellen geeignet ist.

Thomas Aicher, Lisbeth Rochlitz,
Achim Schaadt, Christopher Hebling

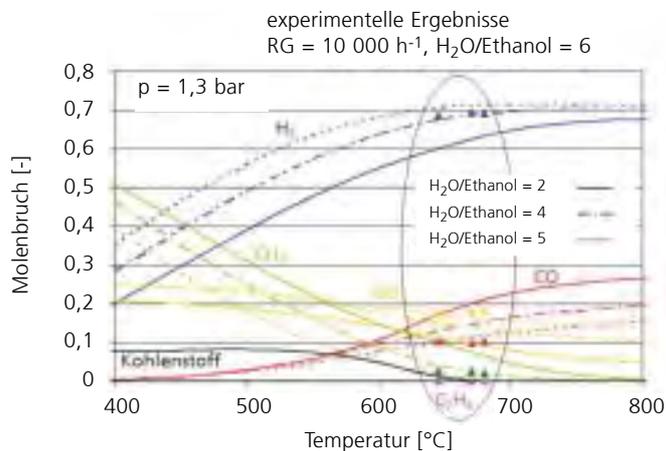
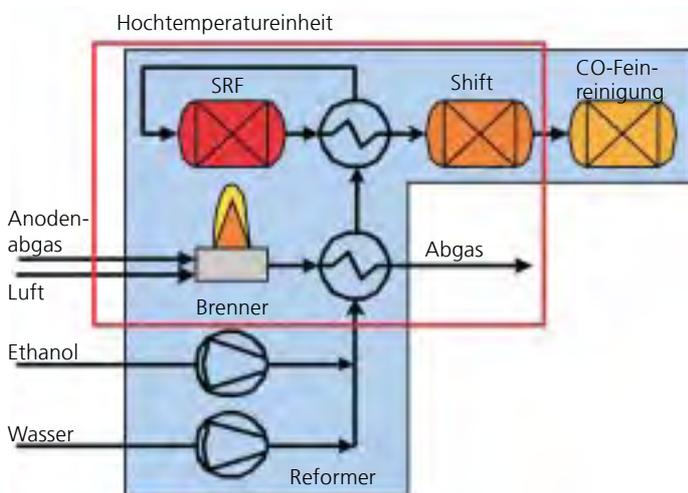


Abb. 1: Gemessene (Symbole) und berechnete (Kurven) trockene Zusammensetzung des Produktgases der Ethanol-Dampfreformierung bei 1,3 bar. Die Messungen zeigen, dass bei den gewählten Betriebsbedingungen das thermodynamische Gleichgewicht mit dem verwendeten Katalysator erreicht wird. Das im Experiment gemessene Ethylen C₂H₄ sollte allerdings laut Gleichgewichts-Simulation nicht gebildet werden.



Für die Stromversorgung elektrischer Verbraucher im Leistungsbereich zwischen 100 bis 500 W bieten Brennstoffzellen in Kombination mit einem Mini-Reformer in vielen Anwendungen erhebliche Vorteile gegenüber herkömmlichen Stromlieferanten wie Photovoltaik-Modulen oder Batterien. Dies ist dann der Fall, wenn die elektrische Leistung sehr große PV-Module erfordern würde oder wenn die Energie über Zeiträume zur Verfügung stehen muss, die ein schnelles Entladen der Batterien nach sich ziehen. Reformer-Brennstoffzellen-Systeme bieten für solche Situationen entscheidende Vorteile, weil sie die hohe Speicherdichte flüssiger Brennstoffe nutzen. Beispiele für derartige Anwendungen sind Messstationen an schwer zugänglichen Orten. Betroffen sind auch Geräte mit mehreren Hundert Watt Leistung, die netzfern zum Einsatz kommen, beispielsweise in der Notfallmedizin, bei Segelyachten, Camping, in der Robotik oder beim Katastrophenschutz.

Vor diesem Hintergrund entwickeln wir einen kleinen, portablen Mini-Dampfreaktor, der aus Ethanol ein wasserstoffreiches Gas erzeugt, das in Brennstoffzellen verstromt werden kann.

Zunächst schufen wir die wissenschaftlichen Grundlagen für die Auslegung des Reformersystems, indem die optimalen Betriebsbedingungen der eingesetzten Katalysatoren bestimmt und deren Langzeitverhalten untersucht wurden. Darauf aufbauend entwickeln wir nun ein voll automatisiertes Mini-Reformersystem. In den folgenden Abschnitten sind wichtige Ergebnisse kurz zusammengefasst.

In unserem Mini-Reformer kommen drei verschiedene Katalysatoren (Dampfreformierung, Shift und Selektive Methanisierung) zum Einsatz, deren Betriebsverhalten wir zunächst in Labor-testständen untersuchten. Dabei standen die Maximierung der Umsätze und die Minimierung des Reaktorvolumens im Vordergrund. Bei den Katalysatoren handelt es sich um kommerzielle Katalysatoren, die auf keramischen Waben oder Pellets aufgebracht waren.

Abb. 2: Schematische Darstellung des Mini-Reformers. Die Anlagenkomponenten, die in der Hochtemperatureinheit zusammengefasst wurden, sind durch einen roten Rahmen hervorgehoben. Der Brenner wird mit dem Abgas von der Anode der Brennstoffzelle betrieben und stellt die Wärme bereit, die für die Dampfreformierung (SRF) erforderlich ist.

Ergebnisse für den Dampfreformierkatalysator sind in Abb. 1 dargestellt. Es zeigt sich, dass bei den gewählten Betriebsbedingungen (Raumgeschwindigkeit $RG = 10\ 000\ h^{-1}$, Wasser/Ethanol-Verhältnis von 6) das chemische Gleichgewicht in dem gewählten Temperaturbereich erreicht wird. Das chemische Gleichgewicht erhielten wir aus einer Simulation mit CHEMCAD. Der Anteil an unerwünschten Nebenprodukten war im gewählten Temperaturbereich vernachlässigbar.

Zur Untersuchung der Langzeitstabilität von CO-Shift-Katalysatoren entwarfen wir einen Teststand, der vollautomatisch betrieben werden kann. Dadurch ist es möglich, einen Katalysator bei bestimmten Prozessbedingungen über hunderte von Stunden zu belasten und dabei die Änderung des Umsatzes und der Produktgaszusammensetzung zu erfassen. Bei einem Dauerversuch von 400 Stunden testeten wir einen CO-Shift-Katalysator bei einer typischen Reformatgas-Zusammensetzung mit H_2O , H_2 , CO_2 , CO , CH_4 und C_2H_4 bei ca. $320\ ^\circ C$. Die Eingangskonzentration von CO betrug im trockenen Gas 6,7 Mol-%. Der CO-Umsatz sank von 87 auf 85% und der CO-Gehalt stieg von 0,9 auf 1,1 Mol-%.

Mit dem Wissen über die besten Betriebsbedingungen und die zu erwartenden Umsätze der Katalysatoren legten wir ein Mini-Reformer-System für eine PEM-Brennstoffzelle mit 300 W elektrischer Nettoleistung aus. Der Reformierreaktor selbst wurde mit dem Verdampfer und Überhitzer für die Eduktströme (Wasser und Ethanol) und dem Brenner in eine Hochtemperatureinheit integriert.

Die Arbeiten erhalten Förderung durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) im Rahmen eines InnoNet-Projekts sowie von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) im Rahmen eines Promotionsstipendiums.



Abb. 3: Foto der Hochtemperatureinheit. Auf der linken Seite sind der Verdampfer und der Überhitzer zu sehen, rechts unten schließt sich der eigentliche Dampfreformierreaktor an. Darüber sitzt der zweistufige Shift-Reaktor. Die diversen Rohrstützen dienen der Zu- und Ableitung der Stoffströme sowie dem Anschluss von Thermoelementen.

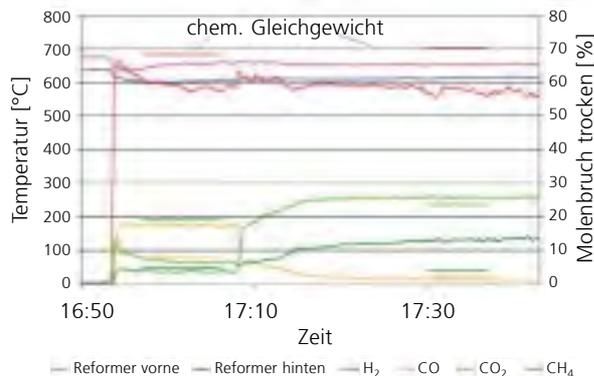


Abb. 4: Gemessene Gaszusammensetzung am Austritt des Reformers (bis kurz vor 17:10 Uhr) und des Shift-Reaktors (anschließend). Der Temperaturunterschied der Katalysatorwabe zwischen Eintritt und Austritt liegt bei 50 K. Das thermodynamische Gleichgewicht wird nicht ganz erreicht. Dies lässt sich auf Ungleichverteilung der Temperaturen in den Reaktoren zurückführen und darauf, dass der Katalysator neben der Shiftreaktion aus CO auch schon Methan bildet.

Portabler PEM-Druckelektrolyseur zur dezentralen Wasserstoffversorgung

Wasserstoff wird neben energetischen Anwendungen in Brennstoffzellen für viele Anwendungen benötigt: z. B. in Laboren, für die Medizintechnik oder zum Schweißen. Doch nicht immer ist eine Druckgasflasche verfügbar, oft ist ihre Kapazität nicht ausreichend. Wir haben daher ein kompaktes Gerät mit einfacher Bedienung und minimalem Wartungsaufwand entwickelt, das zuverlässig Wasserstoff in sehr hoher Reinheit produzieren kann.

Beatrice Hacker, Jan Hesselmann,
Thomas Jungmann, Tom Smolinka,
 Christopher Hebling



Abb. 1: Eine mikroprozessorbasierte Regelung und Sicherheitsüberwachung ermöglicht einen zuverlässigen Betrieb des Systems auf Knopfdruck. Das Bild zeigt die von uns entwickelte Platine mit Mikroprozessor.

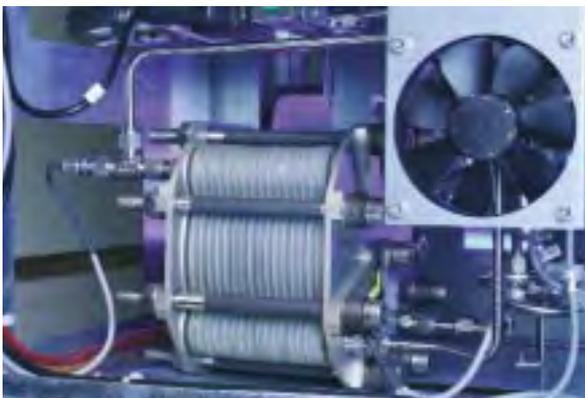


Abb. 2: Zellstapel des Druckelektrolyseurs, bei dem die Verteilerstrukturen kostengünstig aus Kunststoff gefertigt sind. Der Stapel besteht aus 15 Einzelzellen.

Das Kernstück des Wasserstoffgenerators besteht aus einem PEM-Druckelektrolyse-Zellstapel auf der Basis spritzgegossener Bipolarplatten. Der Zellstapel ist in ein komplett automatisiertes und bedienerfreundliches System integriert. Die Steuerung lässt sich über ein Display und Tasten bedienen. Der Wasserstoffgenerator ist dafür konzipiert, Metallhydridspeicher für Brennstoffzellenanwendungen mit Wasserstoff zu beladen. Der Wasserstoff wird bei ca. 10 bar mit einer Rate von max. 100 NI/h und einer Reinheit von 4,0 zur Verfügung gestellt. Es können Speicher mit einer Größe von bis zu 250 NI beladen werden. Eine integrierte Gastrocknung, bestehend aus einem Membranmodul und einem Molsieb, garantiert einen wartungsarmen Betrieb. Bei Bedarf lässt sich ein Ionenaustauschermodul einsetzen, so dass auf die Verwendung von deionisiertem Wasser verzichtet werden kann.

Mit diesem System kann der Endanwender die für ihn notwendige Wasserstofferzeugung eigenständig durchführen und ist nicht auf eine aufwändige und teure Logistik angewiesen.

Das Projekt wurde durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) gefördert und mit Partnern aus Industrie und Forschung im Rahmen des Programms »Innovative Netzwerke« durchgeführt.

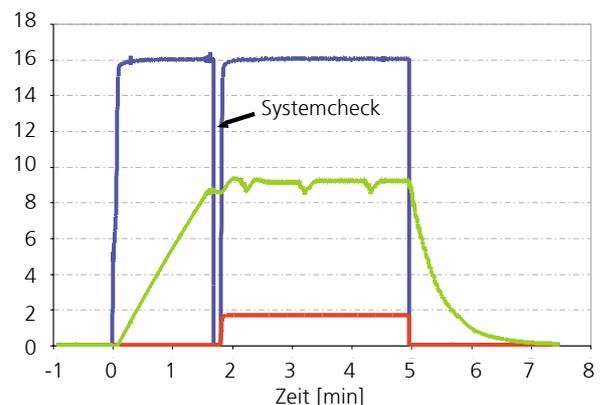


Abb. 3: An- und Abschaltvorgang des Wasserstoffgenerators. blau: Strom [A]; rot: H₂-Produktionsrate [NI/min]; grün: Systemdruck [bar]

Vom Diesel zum Synthesegas

Am Fraunhofer ISE ist es uns gelungen, ein sehr einfaches Verfahren zu entwickeln, das Diesel mit Hilfe der partiellen Oxidation in Synthesegas umwandelt. Wir haben dieses Verfahren im Labor ausgiebigen Tests unterzogen, die vielversprechende Ergebnisse zeigten. Der Umsetzung in der Automobilindustrie zur Abgasnachbehandlung oder zur Wasserstoff-erzeugung für Brennstoffzellensysteme steht nichts mehr im Wege.

Thomas Aicher, Henri Schiemann,
Christopher Hebling

Die katalytische partielle Oxidation (CPO) ist das bevorzugte Reformierverfahren für eine auf Brennstoffzellen basierende Bordstromversorgung in mobilen Anwendungen. Das Mitführen oder die aufwändige Rückgewinnung von Wasser lässt sich so vermeiden. Auch im Bereich der Auto-Abgasnachbehandlung ist dieses Verfahren eine aussichtsreiche Möglichkeit, ein brennbares Gas für die Nachoxidation bereitzustellen.

Allerdings ist die partielle Oxidation ein Reformierverfahren, das sehr leicht zur Rußbildung neigt, vor allem wenn der Brennstoff viele Aromaten und langkettige Kohlenwasserstoffe enthält. Dies ist besonders kritisch bei Diesel, weil dieser im Gegensatz zu anderen flüssigen Kohlenwasserstoffen nicht verdampft werden kann. Daher musste Diesel bislang in flüssiger Form mit Hilfe von Einspritzdüsen in den Reaktionsraum des Reformers eingespritzt werden. Eine gleichmäßige Gemischbildung über einen großen Lastbereich war dadurch nicht gewährleistet.

Unser neuartiges, gemeinsam mit einem Schweizer Ingenieurbüro entwickeltes Verfahren setzt genau an dieser Stelle an. Das patentierte Verfahren überführt Diesel in die Gasphase und reformiert ihn anschließend durch CPO ohne die Bildung von Ruß oder Rückständen. Dabei wird der Diesel vom Boden eines leicht geneigten Zylinders durch Wärmestrahlung von oben verdampft. Der entstandene Diesel-»Dampf« wird anschließend mit wenig Luft vermischt und in einem CPO-Waben-Katalysator unterstöchiometrisch oxidiert (Abb. 1).

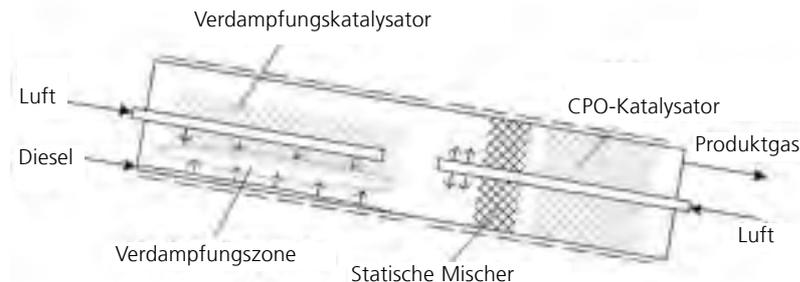


Abb. 1: Längsschnitt durch den Verdampfer-Reformer-Reaktor. Der Innendurchmesser des Reaktors beträgt 30 mm, die Gesamtlänge ca. 300 mm. Dieselmengen bis 10 kW (LHV) lassen sich damit umsetzen.

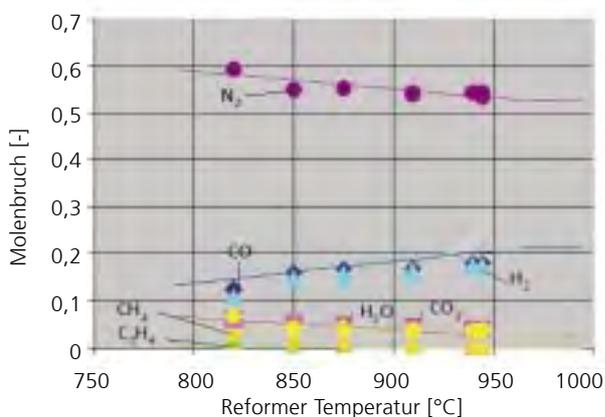


Abb. 2: Experimentell bestimmte Gaszusammensetzung (Symbole) für Reformertemperaturen zwischen 825 und 950 °C. Sie stimmt gut mit dem thermodynamischen Gleichgewicht (Linien) überein.

Rußablagerungen wurden bei Inspektionen des Reaktors jeweils nach Versuchsende an keiner Stelle beobachtet. Auch die Konzentration an ungesättigten Kohlenwasserstoffen – stellvertretend ist in Abb. 2 die Ethylen (C_2H_4)-Konzentration gezeigt ($< 0,2$ vol-%) – ist sehr gering, was darauf schließen lässt, dass auch im Reformier-Katalysator kein Ruß abgelagert wird.

Der Dieselreformer ist bereits soweit ausgereift, dass wir ihn mit industriellen Partnern bis zur Serienfertigung entwickeln können.



Servicebereiche

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

Über die Dienstleistung hinaus haben diese Einrichtungen für uns auch eine strategische Funktion. Während der Kunde seine Produkte charakterisieren und zertifizieren lassen kann, erhalten wir auf diesem Weg aktuelle Kenntnis über den Markt und den Stand der Technik. Die gewonnenen Erkenntnisse können wiederum eingebettet werden in neue Forschungsthemen, sei es in der Produktentwicklung oder bei der Weiterentwicklung von Testmethoden und Standards sowie bei der Theorieentwicklung.

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

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

Es werden im Wesentlichen Industrieaufträge zur Prüfung von Kollektoren nach Europäischen Kollektornormen wie SOLARKEYMARK Label durchgeführt. Neu ist die Erweiterung des Kollektorprüfstands auf Temperaturen bis 200 °C. Dies ermöglicht die Prüfung neuer Anwendungen wie Prozesswärme sowie Tests zur Stagnation (Beitrag S. 107).

Das Thermisch-Optische Prüflabor (TOPLAB) erhielt die Akkreditierung nach DIN EN ISO/IEC 17025 im Jahr 2006. Es bietet Entwicklern, Herstellern und Planern von Fassaden (-komponenten) und Fenstern, einschließlich Sonnenschutz, ein umfassendes Dienstleistungsangebot zur Charakterisierung von innovativen Bauteilen oder Materialien (Beitrag S. 108).

Geprüft werden:

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

Ebenfalls 2006 wurde das Testzentrum für Photovoltaik (TZPV) akkreditiert, mit einer Bauartzulassung für PV-Module gemäß IEC 61215 und 61646. Das Testzentrum ist eingebettet in die Gebrauchsdaueranalyse von PV-Modulen. Ziel der Einrichtung ist die Sicherung der Qualität und Zuverlässigkeit von PV-Modulen. Sie ist eng vernetzt mit dem ISE Callab Module sowie mit der Modulentwicklung am Institut. Es werden entwicklungsbegleitende Prüfungen für Module und Modulkomponenten durchgeführt. Ebenso erfolgt eine Kooperation mit Modulproduzenten bei der Qualitätssicherung. Kooperationspartner als »Certification Body« ist der VDE (Beitrag S. 105).

Das vierte Labor mit Akkreditierung, seit November 2006, ist das ISE Callab, das zu den weltweit führenden seiner Art zählt. Das Kalibrieren von Solarzellen und Modulen spielt eine wichtige Rolle bei Produktvergleichen ebenso wie bei der Qualitätssicherung von PV-Anlagen. Die Zellkalibrierung dient als Referenz für Industrie und Forschung. Für die Kalibrierung von Modulen entwickeln wir kontinuierlich verbesserte Messverfahren. Die Genauigkeit unserer Präzisionsmessung mit Korrektur der spektralen Empfindlichkeit beträgt derzeit +/-2% (Beitrag S. 104).



Solarkalorimeter zur Bestimmung des Gesamtenergiedurchlassgrads (g-Wert). Dieser Prüfstand gehört zum Thermisch-Optischen Prüflabor des Fraunhofer ISE. Seit 2006 ist das Labor nach DIN EN ISO/IEC 17025 akkreditiert. Die international anerkannte Akkreditierung der Prüfkompetenz umfasst Prüfungen von g-Wert, Transmission, Reflexion und U-Wert. Die Akkreditierung ist flexibilisiert und ermöglicht damit auch die Einbeziehung von am Fraunhofer ISE entwickelten Prüfverfahren, die über den genormten Stand der Technik hinausgehen. Ein Beispiel für ein solches Verfahren ist die g-Wert-Messung (Beitrag S.24).

Ansprechpartner

ISE CalLab

Zellkalibrierung	Dr. Wilhelm Warta Dipl.-Ing. Astrid Ohm	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-51 92 E-Mail: Wilhelm.Warta@ise.fraunhofer.de Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-54 23 E-Mail: Astrid.Ohm@ise.fraunhofer.de
Modulkalibrierung	Dipl.-Ing. Klaus Kiefer Dipl.-Ing. Frank Neuberger	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-52 18 E-Mail: Klaus.Kiefer@ise.fraunhofer.de Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-52 80 E-Mail: Frank.Neuberger@ise.fraunhofer.de

Gebrauchsdaueranalysen

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

Prüfzentrum für Thermische Solaranlagen (PZTS)

Innen- und Außen-Teststand für Solarkollektoren	Dipl.-Phys. Matthias Rommel Dipl.-Ing. Arim Schäfer	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-51 41 E-Mail: Matthias.Rommel@ise.fraunhofer.de 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

Lüftungsgeräte und Wärmepumpen Prüfstand

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

Photovoltaik-Systemkomponenten

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

Qualifizieren und Optimieren von PV-Systemen

Batterie-Prüflabor	Dr. Rudi Kaiser	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-52 28 E-Mail: Rudi.Kaiser@ise.fraunhofer.de
--------------------	-----------------	---

ISE Callab: Kalibrieren von Solarzellen und Modulen

Die Charakterisierung von Solarzellen und Modulen spielt sowohl in Forschung und Entwicklung als auch bei der Produktion eine bedeutende Rolle. Sie ist unverzichtbar für Produktvergleiche sowie bei der Qualitätssicherung von Photovoltaik-Anlagen.

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

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

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

Zellkalibrierung – Referenz für Industrie und Forschung

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

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

Modulkalibrierung – eine effiziente Methode zur Qualitätssicherung

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

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

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

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

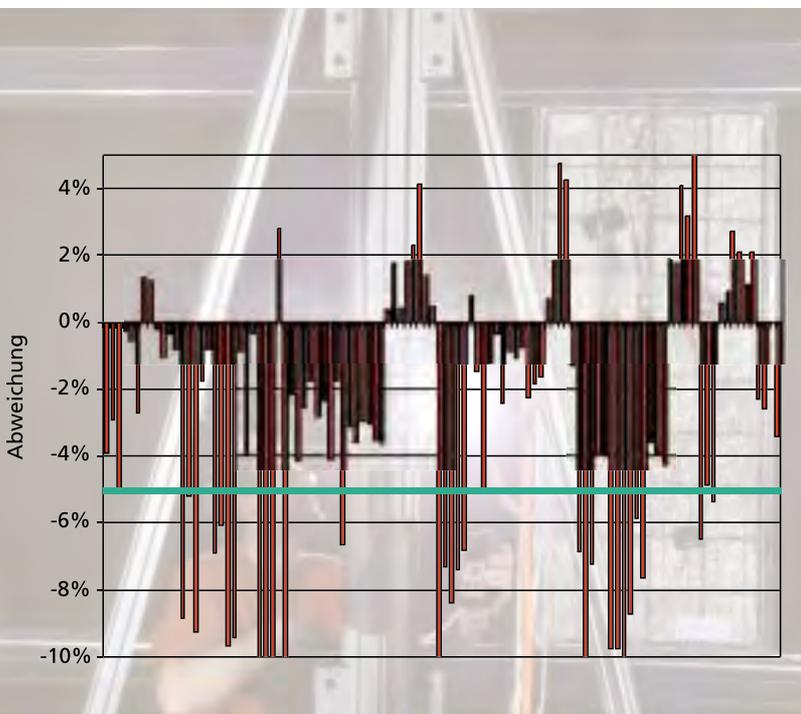


Abb. 1: Am Fraunhofer ISE kann die Leistung von Photovoltaik-Modulen mit einem neuen Präzisionsflasher auf einer Fläche von 4 m² vermessen werden. Die Messgenauigkeit für Präzisionsmessungen beträgt +/-2% für die Leistung bei STC (Standard Test Conditions). Eine Reihenmessung über 100 PV-Module zeigt,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

Testzentrum für Photovoltaik (TZPV)

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

Michael Köhl, Stefan Brachmann,
Markus Heck, 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 das Fraunhofer ISE entsprechende Prüfkapazitäten aufgebaut und bietet diese im Rahmen einer Kooperation mit dem VDE, der »Certification Body« der IEC-EE ist, den Modulherstellern an.

Folgende Modul-Prüfungen werden im Testzentrum durchgeführt:

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

Das ISE Callab (Beitrag S.104) – 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 FuE -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.



Abb. 2: Prüfstand zur Bestimmung der »Nominal Operating Cell Temperature« (NOCT). Der einachslich 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

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, Daniel Kühn, Sebastian Herkel

* PSE GmbH Forschung Entwicklung Marketing, Freiburg

Batterie-Prüflabor

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



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

Prüfstand für Lüftungs-Kompaktgeräte

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

Monitoring

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

Luftdichtigkeitsmessungen und Luftwechselbestimmung

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

Prüfzentrum für Thermische Solaranlagen (PZTS)

Wir betreiben einen 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.

Korbinian Kramer*, 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 Kollektorwärmekapazitäten durch Messung von Sprungantworten
- Charakterisierung des dynamischen Verhaltens von Kollektoren (low-flow, high-flow, matched-flow)

Innen-Teststand für Kollektoren

Wir betreiben einen Innen-Teststand mit Solarsimulator. Wir haben ihn so konstruiert, dass er den Freilandbedingungen so nahe wie möglich kommt. Sein großer Vorteil – speziell für



Innen-Teststand mit Solarsimulator.

die Entwicklung von Kollektoren – ist die hohe Wiederholgenauigkeit der Messbedingungen. Dadurch können wir in kurzer Zeit und sehr effizient gezielte Entwicklungsarbeiten zur Verbesserung von Kollektorkonstruktionen durchführen. Die wichtigsten technischen Daten:

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

Hochtemperatur-Teststand bis 200 °C

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

Solarluftkollektor-Teststand

Wir betreiben einen Teststand für Solarluftkollektoren. 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 1000 m³/h mit einer Messunsicherheit von maximal +/-1% bestimmt werden.

Unsere Dienstleistungen:

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

Vermessung von Fassaden und transparenten Bauteilen

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

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

Thermisch-Optisches Prüflabor und Lichtlabor

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

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

In die Bewertung können auch unterschiedliche Nutzerprofile einbezogen werden.

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

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



Beispiele der Apparaturen

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

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

Tageslichtmessräume

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

- Blendschutzprüfungen
- Nutzerakzeptanzuntersuchungen
- Vergleich der Beleuchtungssituation hinter zwei Fassadensystemen.

Fassadenprüfstand

Zusätzlich zu Labormessungen bieten wir die Vermessung von kompletten Fassaden unter realen Klimabedingungen. Langzeituntersuchungen ermöglichen Aussagen über Stabilität, Schaltverhalten und Belastungen der Fassade. Die Optimierung von Reglern kann experimentell validiert werden.

Fakten im Überblick

Gastwissenschaftler

Mitarbeit in Gremien

Kongresse, Tagungen und Seminare

Messebeteiligungen

Vorlesungen und Seminare

Promotionen

Patente

Pressearbeit

Veröffentlichungen in
rezensierten Zeitschriften

Vorträge

Veröffentlichungen

Gastwissenschaftler

Kevin Beard
University of South Carolina
Columbia, South Carolina USA
15.7.–15.12.2006
Arbeitsgebiet: Elektrokatalyse

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

Prof. Gregor Henze
University of Nebraska
Omaha, Nebraska, USA
1.9.2005–30.6.2006
Arbeitsgebiet: Gebäudetechnik

Dr. Thoi H. Lee
University of Nebraska
Omaha, Nebraska, USA
1.4.2005–30.9.2006
Arbeitsgebiet: Gebäudetechnik

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

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

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

Mitarbeit in Gremien

Bavaria California Technology Center (BaCaTec)
- Kuratorium

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

Bundesverband Kraft Wärme Kopplung
(B.KWK)
- Mitglied

CAN in Automation (CiA)
- Mitglied

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

Deutsche Elektrotechnische Kommission (DKE)
- Komitee 373: »Photovoltaische
Solarenergiesysteme«
- Komitee 384: »Brennstoffzellen«
- Arbeitsgruppe »Portable Fuel Cell Systems«

Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie
- »Fachausschuss Wärmepumpen«

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

Deutsches Institut für Normung DIN,
Fachnormenausschuss Heiz- und Raumluft-
technik (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 H2/FC Technology Platform
- Mitglied

European Photovoltaic Industry Association
(EPIA)
- assoziiertes Mitglied

European Solar Thermal Industry Federation
(ESTIF)
- Mitglied

Evergreen Solar, Marlboro, USA
- wissenschaftlicher Beirat

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

Fachverband Transparente Wärme-
dämmung e.V.
- Mitglied
- Fachausschuss »Produktkennwerte«
»Perspektiven für Zukunftsmärkte«
Fraunhofer Innovationsthemen:
Mikroenergietechnik
- Mitglied und Leitung

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 (bis März 2006)

Fraunhofer-Verbund Energie
- Geschäftsführung

Freiburger Verein für Arbeits- und
Organisationspsychologie
- Vorstand

German Scholars Organization (GSO)
- Präsident

Global Research Alliance (GRA)
- Koordination Schwerpunktbereich Energie
(bis März 2006)

Global Village Energy Partnership (GVEP)
- Mitglied

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

Hauptkommission des Wissenschaftlich-
Technischen Rates der Fraunhofer-Gesellschaft
- Vorsitz (bis März 2006)

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 Commission on Glass
- TC10 »Optical Properties of Glass«

International Energy Agency IEA, Paris,
Frankreich:
Solar Heating & Cooling Programme SHCP
- Task 25: »Solar Assisted Air-Conditioning of
Buildings«
- Task 27: »Performance of Solar Façade
Components«
- Task 28: »Sustainable Solar Housing«
- Task 33/4 »Solar Heat for Industrial
Processes«
- Task 37 »Advanced Housing Renovation«
- Task 38 »Solar Air-Conditioning and
Refrigeration«

Energy Conservation in Buildings and
Community Systems Programme ECBCS
- Annex 47 »Cost Effective Commissioning«
Energy Conservation through Energy Storage
Programme ECES
- Annex 18 »Transportation of Energy utilizing
Thermal Energy Storage Technology«
Heat Pump Programme HPP
- Annex 32 »Economical Heating and Cooling
Systems for Low Energy Houses«

International Program Committee of GADEST
(International Conference on Gettering and
Defect Engineering in Semiconductors)
- Mitglied

International Program Committee of ICDS
(International Conference on Defects in
Semiconductors)
- Mitglied

International Advisory Committee of SIMC
(Semiconducting and Insulating Materials
Conference)
- Mitglied

International Science Panel on Renewable
Energies (ISPRES)
- Vorsitzender

Kompetenz- und Innovationszentrum
Brennstoffzelle (KIBZ), Stuttgart
- Mitglied

Kompetenzfeld Photovoltaik NRW
- Mitglied

Kompetenznetzwerk Brennstoffzelle NRW
- Mitglied

Lichttechnische Gesellschaft
- Mitglied

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

MST Mikrosystemtechnik
- Beirat

Strategierat Wasserstoff – Brennstoffzellen
- Mitglied
- AK Wasserstoffbereitstellung
- AK Wasserstoffspeicherung

Symposium Photovoltaische Solarenergie
- Wissenschaftlicher Beirat

VDE-ETG Fachausschuss V.I.I. Brennstoffzellen
- Mitglied

VDI-Gesellschaft Technische
Gebäudeausrüstung
- Richtlinienausschuss 6018

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

Verein Deutscher Elektrotechniker
- ETG-Fachausschuss »Brennstoffzellen«

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

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

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

OTTI-Fachforum »Lüftungstechnik«
Regensburg, 24.–25.1.2006

Tagung der Katholischen Akademie Freiburg
»Zukunft für möglich halten«
Freiburg, 3.–4.2.2006

Kooperationsforum Hocheffiziente Photovoltaik
Garching, 22.2.2006

Workshop SiliconFOREST2006
Fortschritte in der Entwicklung von Solarzellen-
Strukturen und Technologien
Falkau, 19.–22.2.2006

21. Symposium Photovoltaische Solarenergie
Bad Staffelstein, Kloster Banz 8.–10.3.2006

4th World Conference on Photovoltaic
Energy Conversion
Hawaii, USA, 7.–12.5.2006

3rd European Conference PV-HYBRID and
MINI-GRID,
Aix-en-Provence, Frankreich, 11.–12.5.2006

16. Symposium Thermische Solarenergie
Bad Staffelstein, Kloster Banz 17.–19.5.2006

13th SolarPACES International Symposium
Sevilla, Spain, 20.–23.6.2006

OTTI-Profiseminar »Photovoltaik-Anlagen«
NOVOTEL Freiburg, 21.6.2006

Intersolar 2006
OTTI-Seminar »Solar Air-Conditioning –
Experiences and Practical Application«
Freiburg, 22.6.2006

Intersolar 2006
Fraunhofer ISE-Kompaktseminare
»Photovoltaik-Anlagen – Optimale Erträge von
PV-Anlagen. Ergebnisse aus dem Freiburger
Performance Check«
»Solarzellentechnologien – Stand der
Entwicklung und neue Konzepte«
Freiburg, 23.6.2006

Intersolar 2006
»PV Training für angehende Profis
der Solarindustrie«
Freiburg, 22.6.2006

ENOB Workshop »Betriebsführung von
Gebäuden«
Frankfurt, 6.–7.7.2006

OTTI-Profiseminar
»Leistungselektronik für erneuerbare
Energiesysteme«
Regenstauf, 6.–7.7.2006

7th Conference on Phase Change Materials
and Slurries
Dinan, France, 13.–15.9.2006

PTJ-Workshop »Wärmespeicherung und -trans-
formation mit mikro- und mesoporösen
Adsorbentien – Stand der Entwicklung und
zukünftiger FuE-Bedarf«
Technische Fachhochschule Wildau,
19.–20.9.2006

ForschungsVerbund Sonnenenergie (FVS)
Jahrestagung 2006
»Forschung und Innovation für eine nach-
haltige Energie«
Berlin, 21.–22.9.2006

OTTI-Profiseminar
»EMV und Blitzschutz für Solaranlagen«
Regensburg, 22.–23.9.2006

OTTI-Profiseminar
»Netzferne Stromversorgung mit Photovoltaik«
Freiburg, 27.–28.9.2006

2. Fachforum Solare Kühlung und
Klimatisierung RENEXPO 2006
Augsburg 28.9.2006

Symposium zum Verbundvorhaben des BMWi
LowEx – Heizen und Kühlen mit Niedrigenergie
Hamburg, 4.10.2006

Fraunhofer Symposium
Mikroenergie-technik »Power to Go«
Berlin, 10.10.2006

4. Forum Wärmepumpe
Berlin, 26.–27.10.2006

Statusseminar »Thermische
Energiespeicherung« Projektträger Jülich und
Ministerien BMWi, BMU
Freiburg, 2.–3.11.2006

Messebeteiligungen

Swiss Innovation Forum
Baden, Schweiz, 27.1.2006

Nanotech 2006
Tokyo, Japan, 21.–23.2.2006

Hannover Messe Industrie HMI 2006
»Hydrogen + Fuel Cells«
Gemeinschaftsstand mit anderen Fraunhofer-
Instituten und der University of South Carolina
Hannover, 24.–28.4.2006

Hannover Messe Industrie HMI 2006
»CLEAN ENERGY Themenpark«
Farbstoffsolarzellen
Hannover, 24.–28.4.2006

VDI Bautechnik – Bauen mit Glas
Transparente Werkstoffe im Bauwesen
Baden-Baden, 29.–30.5.2006

Healthy Buildings 2006
Lissabon, Portugal, 4.–8.6.2006

OPTATEC 2006
Internationale Fachmesse optischer
Technologien, Komponenten, Systeme und
Fertigung für die Zukunft
Frankfurt/Main, 20.–23.6.2006

Intersolar 2006
Internationale Fachmesse und Kongress für
Solartechnik
Freiburg, 22.–24.6.2005

21st European Photovoltaic Solar Energy
Conference and Exhibition
Dresden, 4.–8.9.2006

Fuel Cell Science & Technology
Turin, Italy, 13.–14.9.2006

f-cell – Die Brennstoffzelle
6. Forum für Produzenten und Anwender
Stuttgart, 25.–26.9.2006

Fraunhofer Symposium
Mikroenergie-technik »Power to Go«
Berlin, 10.10.2006

Glasstec
Düsseldorf, 24.–28.10.2006

Electronica 2006
München, 14.–17.11.2006

Vorlesungen und Seminare

Dr. Bruno Burger
»Leistungselektronische Systeme für regenerati-
ve Energiequellen«
Vorlesung WS 06/07
Universität Karlsruhe
Fakultät für Elektrotechnik und
Informationstechnik

Dr. Andreas Bühring
»Technische Gebäudeausrüstung«
Vorlesung WS 06/07
Fernstudiengang Energiemanagement
Universität Koblenz-Landau

Dr. Dietmar Borchert
»Photovoltaik«
Vorlesung SS 06
TFH Georg Agricola zu Bochum
Fachbereich Maschinentechnik

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

Elke Gossauer
»Solare Energiesysteme«
Vorlesung SS 06
Staatliche Akademie der Bildenden Künste
Stuttgart
Fachbereich Architektur und Design

Prof. Dr. Joachim Luther
Dr. Stefan Glunz
»Photovoltaische Energiekonversion«
Vorlesung SS 06
Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
Fakultät für Physik

Dr. Jens Pfafferott
»Solares Bauen«
Vorlesung WS 06/07
Fernstudiengang Energiemanagement
Universität Koblenz-Landau

Dr. Werner Platzer
»Modul Solarthermie im Master-
Fernstudiengang Energiemanagement«
Präsenzveranstaltung WS 05/06 und WS 06/07
Universität Koblenz-Landau

Prof. Dr. Roland Schindler
»Halbleitertechnologie I (Technologie)«
Vorlesung WS 06/07
»Halbleitertechnologie II (Bauelemente)«
Vorlesung SS 06
»Photovoltaik I«
Vorlesung WS 06/07
»Photovoltaik II«
Vorlesung SS 06
Fernuniversität Hagen
Fakultät für Mathematik und Informatik
Fachrichtung Elektrotechnik und
Informationstechnik

Dr. Heribert Schmidt
»Photovoltaische Systemtechnik«
Vorlesung SS 06
Universität Karlsruhe
Fakultät für Elektrotechnik und
Informationstechnik

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

Prof. Dr. Gerhard Willeke
»Grundlagen von Halbleiterbauelementen und
der optischen Datenübertragung«
Vorlesung SS 06
Universität Konstanz
Fachbereich Physik

Promotionen

Alexander Hakenjos
»Entwicklung und Anwendung impedanzspek-
troskopischer und anderer Charakterisierungs-
methoden für PEM-Brennstoffzellen«
Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
Freiburg, 2006

Stefan Janz
»Amorphous Silicon Carbide for Photovoltaic
Applications«
Universität Konstanz
Konstanz, 2006

Thomas Kieliba
»Zone-Melting Recrystallization for Crystalline
Silicon Thin-Film Solar Cells«
Universität Konstanz
Konstanz, 2006

Jörg Mick
»Interferenzlithographie mit hochaufbauenden
Resistsystemen«
Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
Freiburg, 2006

Michael Oszcipok
»Start- und Abschaltvorgänge in außertaug-
lichen, portablen Brennstoffzellen unter 0 °C«
Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
Freiburg, 2006

Moritz Riede
»Identification and analysis of key parameters
in organic solar cells«
Universität Konstanz
Konstanz, 2006

Ronald Sastrawan
»Photovoltaic modules of dye solar cells«
Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
Freiburg, 2006

Günther Walze
»Mikrostrukturierte Oberflächen in Kombi-
nation mit optischen Schaltungsmechanismen
zum Tageslichtmanagement«
Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
Freiburg, 2006

Winfried Wolke
»Kathodenzerstäubung zur Beschichtung von
kristallinen Silizium-Solarzellen«
Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
Freiburg, Dezember 2005

Uli Würfel
»Untersuchung zum Elektronentransport im
nanoporösen TiO₂ von Farbstoffsolarzellen«
Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
Freiburg, 2006

Eingereichte Patente

Alexander Susdorf, Peter Hübner,
Albert Chigapov, Brendan Carberry
»Modifizierter Hopcalit-Katalysator, Verfahren
zu dessen Herstellung und dessen Verwenden«

Hans-Martin Henning, Walter Mittelbach
»Thermisch angetriebene Wärmepumpen für
Wärmetransformation und Kälteerzeugung.
Anwendung und Ausführungsformen für die
PKW- und LKW-Klimatisierung«

Frank Dimroth, Andreas Bett, Matthias Meusel
(RWE Space Solar Power GmbH),
Gerhard Strobl (RWE Space Solar Power GmbH)
»Monolithisch integrierter Halbleiterspiegel für
monolithische Mehrfach-Solarzellen aus III-V
Verbindungshalbleitern«

Kuno Mayer, Sybille Baumann, Daniel Kray,
Bernd O. Kolbesen
»Verfahren zur Mikrostrukturierung von
Festkörperoberflächen«

Axel Maurer, Klaus Wanninger,
Herbert Wancura
»Reformierung höherer Kohlenwasserstoffe mit
Wasserzugabe aus Verbrennungsabgas«

Heribert Schmidt, Bruno Burger
»Schutzschalteinrichtung für ein Solarmodul«

Stefan Reber, Gerhard Willeke
»Verfahren zur trockenchemischen Behandlung
von Substraten, sowie dessen Verwendung«

Ferdinand Schmidt, Hans-Martin Henning,
Gunter Munz, Andrea Berg, Gerald Rausch
»Adsorptions-Wärmepumpe, Adsorptions-
Kältemaschine und darin enthaltene Adsorp-
tionselemente auf Basis eines offenporigen
wärmeleitenden Festkörpers«

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

Heribert Schmidt, Bruno Burger
»Schaltungsanordnung zur Umwandlung einer
Gleichspannung in eine Wechselspannung oder
einen Wechselstrom«

Heribert Schmidt, Bruno Burger
»Schaltungsanordnung zur Erzeugung einer
Wechselstromspannung oder eines
Wechselstroms«

Uli Würfel, Marius Peters
»Solarzelle«

Daniel Kray, Daniel Biro, Ansgar Mette
»Verfahren und Vorrichtung zum Strukturieren
einer Oberflächenschicht«

Daniel Kray, Stefan Reber
»Verfahren und Vorrichtung zur lokalen
Dotierung von Festkörpern sowie dessen
Verwendung«

Kuno Mayer, Sybille Baumann, Daniel Kray,
Bernd O. Kolbesen
»Verfahren zum Materialabtrag an Festkörpern
und dessen Verwendung«

Steffen Eccarius, Christian Litterst, Peter Koltay
»Verfahren und Betrieb einer Direktoxidations-
brennstoffzelle und entsprechende
Anordnung«

Kuno Mayer, Daniel Kray, Bernd O. Kolbesen
»Verfahren zum Materialabtrag an Festkörpern
und dessen Verwendung«

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

Steffen Eccarius
»Direktoxidationsbrennstoffzelle für den kon-
vektionsfreien Transport des Brennstoffes und
Verfahren zum Betreiben der Brennstoffzelle«

Steffen Eccarius, Christian Litterst, Peter Koltay
»Direktoxidationsbrennstoffzelle und Verfahren
zu deren Betreiben«

Kuno Mayer, Sybille Baumann, Daniel Kray
»Ätzverfahren zum Materialabtrag an
Festkörpern und dessen Verwendung sowie
Vorrichtung hierzu«

Kuno Mayer, Bernd O. Kolbesen
»Flüssigkeitsstrahlgeführtes Ätzverfahren zum
Materialabtrag an Festkörpern sowie dessen
Verwendung«

Philipp Ettel, Markus Bergmann, Daniel Kray,
Fridolin Haas
»Drahtsäge mit kontrollierbarem Drahtfeld«

Ferdinand Schmidt, Tomas Núñez,
Lena Schnabel, Gunther Munz
»Adsorptionswärmepumpe mit Wärme-
speicher«

Andreas Wolff, Marco Tranitz,
Thomas Jungmann, Michael Oszcipok
»Brennstoffzellenmodul und dessen
Verwendung«

Ansgar Mette, Christian Schetter, Stefan Glunz,
Philipp Richter
»Verfahren zum Herstellen einer metallischen
Kontaktstruktur einer Solarzelle«

Michael Hermann, Tilmann Kuhn
»Teiltransparenter Sonnenkollektor mit
Sonnenschutzfunktion«

Michael Hermann, Tilmann Kuhn
»Teiltransparenter statischer Sonnenschutz«

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

Tilmann Kuhn
»Verglasung/Scheibe mit winkelselektiver
Transmission«

Rüdiger Löckenhoff
»Solarzellenmodul mit geschindelter
Anordnung von Solarzellen«

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

Ivan Brovchenko, Alla Oleinikova,
Alfons Geiger, Ferdinand Schmidt,
Stefan Henninger
»Adsorbens und dessen Verwendung in
Wärmespeichern und Wärmepumpen«

Andreas Hahn, Ferdinand Schmidt,
Stefan Henninger
»Adsorbens, Verfahren zu dessen Herstellung
und Verwendung in Wärmespeichern und
Wärmepumpen«

Harry Wirth
»Zellverbinder zur elektrischen Kontaktierung
von flächigen Stromquellen sowie
Verwendung«

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

Erteilte Patente

Michael Hermann

»Verfahren zur Erstellung eines Hydrauliknetzwerkes für einen optimierten Wärmeübertragungs- und Stofftransport«

Adolf Goetzberger, Thomas Kuckelkorn

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

Ralf Preu, Eric Schneiderlöchner, Stefan Glunz, Ralf Lüdemann

»Verfahren zur Herstellung eines Halbleiter-Metallkontakts durch eine dielektrische Schicht«

Ralf Lüdemann, Sebastian Schaefer

»Verfahren zur Herstellung von Kontaktstrukturen in Halbleiterbauelementen«

Andreas Schmitz, Christopher Hebling,

Bruno Burger, Robert Hahn

»Brennstoffzellen-System in Leiterplattenbauweise«

Frank Dimroth

»Vorrichtung und Verfahren zur photovoltaischen Erzeugung von Wasserstoff«

Axel Heitzler, Christopher Hebling,

Andreas Schmitz

»Brennstoffzellensystem und Verfahren zur Druckregulation in Brennstoffzellensystemen sowie Verwendung des Brennstoffzellensystems«

Heribert Schmidt, Christoph Siedle,

Jürgen Ketterer

»Wechselrichter sowie Verfahren zum Umwandeln einer elektrischen Gleichspannung in einen Wechselstrom«

Adolf Goetzberger, Thomas Kuckelkorn

»Vorrichtung zur Lichtumlenkung zur Beleuchtung eines Innenraums«

Mario Zedda, Angelika Heinzel, Roland Nolte

»Brennstoffzelle für hohe Ausgangsspannungen«

Andreas Hinsch, Andreas Georg, Michael

Niggemann

»Solarzelle sowie Verfahren zu deren Herstellung«

Armin Zastrow

»Messvorrichtung und Messverfahren zum Messen photokatalytischer Aktivität einer photokatalytischen Schicht«

Adolf Goetzberger, Manuel Goller,

Michael Müller

»Optisches Element nach Art einer linearen Fresnel-Linse sowie Verwendung des optischen Elementes als Blendschutz vor direkter Sonnenstrahlung«

Dominik M. Huljic

»Verfahren zum strukturierten Aufbringen einer thermoplastischen Paste auf ein Substrat und dessen Verwendung«

Lothar Matejcek, Angelika Heinzel,

Konstantin Ledjeff-Hey

»Elektrochemische Zelle«

Tilman Kuhn, Hans-Peter Baumann,

Rolf Brunkhorst

»Lamelle für den Behang einer Lamellenjalousie«

Daniel Biro, Catherine Voyer, Jörg Koriath

»Dotiergemisch für die Dotierung von Halbleitern«

Pressearbeit

Presseinformationen

www.ise.fraunhofer.de/german

14.2.2006

Solarforschung prägt positives Deutschlandbild – Fraunhofer ISE »Ort im Land der Ideen«

22.2.2006

Photovoltaik – Basis einer nachhaltigen Stromversorgung – Kooperationsforum Hocheffiziente Photovoltaik

2.3.2006

»Solar Heating and Cooling Award 2006« geht an Dr. Volker Wittwer – International Energy Agency IEA ehrt stellvertretenden Leiter des Fraunhofer ISE für Verdienste um Solarthermie

21.3.2006

Forschungs-Fabrik für Solarzellen – Bundesumweltminister Sigmar Gabriel weiht Photovoltaik Technologie Evaluationscenter PV-TEC ein

23.3.2006

Kommunikation statt Kupfer – Elektronik des Fraunhofer ISE managt neue Energien in bestehenden Netzen

30.3.2006

Fortschritt bei der Herstellung von Farbstoffsolarzellen – Glaslotversiegelte Farbstoffsolarmodule bieten neue Gestaltungsmöglichkeiten

10.4.2006

Treibstoff für Mikrobrennstoffzellen – Miniatur-Elektrolyseur für die Befüllung von Metallhydridspeichern

22.6.2006

25 Jahre Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme in Freiburg – Vom Pionier zum Technologieführer einer neuen Industrie

26.6.2006

Solarenergie für die Geowissenschaft – »EVEREST« versorgt Messstationen zuverlässig mit Strom

28.6.2006

Ready for Take-Off – Fraunhofer ISE und DLR entwickeln Reform-Brennstoffzellen-System

6.7.2006

Eicke R. Weber neuer Leiter des Fraunhofer-Instituts für Solare Energiesysteme ISE

8.8.2006

Vergleichsmessung von Wärmepumpen – Fraunhofer ISE startet vierjährige Felduntersuchung

4.9.2006

Baden-Württembergs Know-how im Bereich Silicium-Solarzellen gefestigt – Fraunhofer ISE und Universität Konstanz kündigen gemeinsame Projektgruppe an

12.9.2006

Adolf Goetzberger erhält den »SolarWorld Einstein-Award« – »SolarWorld Einstein-Award für Nachwuchsforscher« geht an Oliver Schultz

15.9.2006

Abschiedsfeier für Joachim Luther als Leiter des Fraunhofer ISE – Eine Vision wurde Wirklichkeit: boomende Solarbranche zum 65. Geburtstag

22.9.2006

Joachim Luther mit der Fraunhofer-Münze geehrt

26.9.2006

»Ort im Land der Ideen«: Mittwoch 11. Oktober 2006 Ausstellung und Vorträge am Fraunhofer ISE

26.9.2006

»Ort im Land der Ideen«: Fraunhofer ISE-Wissenschaftler Benedikt Bläsi einer der »100 Köpfe von morgen«

28.9.2006

Photovoltaik als Weg aus der Armut – Solarstrom fördert wirtschaftliche Eigeninitiative am unteren Mekong

20.12.2006

EUROSOLAR ehrt Adolf Goetzberger mit »Europäischem Solarpreis 2006«

Veröffentlichungen in rezensierten Zeitschriften

Aicher, T.; Lenz, B.; Gschnell, F.; Groos, U.; Federici, F.¹; Caprile, L.¹; Parodi, L.¹
»Fuel Processors for Fuel Cell APU Applications«, in: *Journal of Power Sources*, Vol. 154 (2006), pp. 503–508
(¹: Ansaldo Fuel Cells, Genova, Italy)

Bardos, R.¹; Trupke, T.¹; Schubert, M.; Roth, T.
»Trapping Artifacts in Quasi-Steady-State Photoluminescence and Photoconductance Lifetime Measurements on Silicon Wafers«, in: *Applied Physics Letters*, 88, 053504 (2006),
(¹: Centre of Excellence for Advanced Silicon Photovoltaics and Photonics, University of New South Wales, Sydney, Australia)

Borchert, D.; González, B.¹;
Guerrero-Lemus, R.¹; Haro-González, P.¹;
Hernández-Rodríguez, C.¹
»Down-Conversion Properties of Luminescent Silicon Nanostructures Formed and Passivated in HNO₃-Based Solutions«, in: *Thin Solid Films*, Vol. 511–512 (2006), p. 473
(¹: Departamento de Física Básica, Universidad de La Laguna de Tenerife, Spain)

Burger, B.; Rütger, R.¹
»Inverter Sizing of Grid-Connected Photovoltaic Systems in the Light of Local Solar Resource Distribution Characteristics and Temperature«, in: *Solar Energy Journal*, 80 (2006), pp. 32–45
(¹: Universidade Federal de Santa Catarina UFSC, Florianopolis, Brazil)

Fath, H.; El-Shall, F.; Vogt, G.; Seibert, U.
»A Stand Alone Complex for the Production of Water, Food, Electrical Power & Salts for the Sustainable Development of Small Communities in Remote Areas«, in: *Desalination*, Vol. 183 (2005), pp. 13–22

Forberich, K.; Diem, M.¹; Crewett, J.²;
Lemmer, U.³; Gombert, A.; Busch, K.¹
»Lasing Action in Two-Dimensional Organic Photonic Crystal Lasers with Hexagonal Symmetry«, in: *Applied Physics B*, Vol. 82, 3/2006, pp. 539–541
(¹: Institut für Theorie der Kondensierten Materie, Universität Karlsruhe, Germany)
(²: Photonics and Optoelectronics Group, LMU München, Germany)
(³: Lichttechnisches Institut, Universität Karlsruhe, Germany)

Georg, A.; Georg, A.¹; Krasovec, U.²
»Photoelectrochromic Window with Pt Catalyst«, in: *Thin Solid Films*, Vol. 502 (2006), pp. 246–251
(¹: Freiburger Materialforschungszentrum FMF, Freiburg, Germany)
(²: Faculty of Electrical Engineering, University of Ljubljana, Slovenia)

Gschwander, S.; Schossig, P.; Henning, H.-M.
»Micro-Encapsulated Paraffin in Phase Change Slurries«, in: *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 89/2006, pp. 307–315

Guter, W.; Bett, A. W.
»IV-Characterization of Tunnel Diodes and Multi-Junction Solar Cells«, in: *IEEE Transactions on Electron Devices*, Vol. 53, Issue 9, 2006, pp. 2216–2222

Hinsch, A.; Hore, S.¹; Kern, R.¹
»Implication of Device Functioning Due to Back Reaction via the Conducting Glass Substrate in Dye Sensitized Solar Cells«, in: *Applied Physics Letters*, 87, 263504 (2005)
(¹: Freiburger Materialforschungszentrum FMF, Freiburg, Germany)

Hogarth, W. H. J.¹; Steiner, J.; Benziger, J. B.²;
Hakenjos, A.
»Spatially Resolved Current and Impedance Analysis of a STR and Serpentine Fuel Flow Field at Low Relative Humidity«, in: *Journal of Power Sources*, Vol. 164 (2007), pp. 464–471
(¹: Centre for Functional Nanomaterials, University of Queensland, Australia)
(²: Department of Chemical Engineering, Princeton University, New Jersey, USA)

Hoppe, H.¹; Glatzel, T.²; Niggemann, M.; Schwinger, W.³; Schäffler, F.³; Hinsch, A.; Lux-Steiner, M.²; Sariciftci, N.¹
»Efficiency Limiting Morphological Factors of MDMO-PPV: PCBM Plastic Solar Cells«, in: *Thin Solid Films*, Vol. 511–512 (2006), pp. 587–592
(¹: Linz Institute for Organic Solar Cells LIOS, Linz, Austria)
(²: Hahn-Meitner Institut, Berlin, Germany)
(³: Institut für Halbleiter- und Festkörperphysik, Linz, Austria)

Hore, S.¹; Vetter, C.; Kern, R.¹; Smit, H.²;
Hinsch, A.¹
»Influence of Scattering Layers on Efficiency of Dye-Sensitized Solar Cells«, in: *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 90/2006, pp. 1176–1188
(¹: Freiburger Materialforschungszentrum FMF, Freiburg, Germany)
(²: Energy Research Center ECN, Solar Energy, Petten, The Netherlands)

Iserberg, J.; van der Heide, A.¹; Warta, W.
»Investigation of Series Resistance Losses by Illuminated Lock-In Thermography«, in: *Progress in Photovoltaics*, Vol. 13 (2005), p. 687
(¹: Energy Research Center ECN Solar Energy, Petten, The Netherlands)

Janz, S.; Riepe, S.; Hofmann, M.; Reber, S.; Glunz, S.
»Phosphorous Doped SiC as an Excellent P-Type Si-Surface Passivation Layer«, in: *Applied Physics Letters* 88, 133516 (2006)

Janz, S.; Reber, S.; Lutz, F.; Schetter, C.
»Conductive SiC as an Intermediate Layer for CSITF Solar Cells«, in: *Thin Solid Films*, Vol. 511–512 (2006), pp. 271–274

Kieliba, T.; Riepe, S.; Warta, W.
»Effect of Dislocation on Minority Carrier Diffusion Length in Practical Silicon Solar Cells«, in: *Journal of Applied Physics*, 100, 063706 (2006)

Kray, D.
»Investigation of Laser-Fired Rear-Side Recombination Properties Using an Analytical Model«, in: *Progress in Photovoltaics*, Vol. 14 (2006), pp. 195–201

Kuhn, T. E.
»Solar Control: Comparison of Two Systems with the State of the Art on the Basis of a New General Evaluation Method for Facades with Venetian Blinds or Other Solar Control Systems«, in: *Energy and Buildings*, Vol. 38, (6/2006), pp. 661–672

Kuhn, T. E.
»Solar Control: A General Evaluation Method for Facades, Blinds or Other Solar Control Systems«, in: *Energy and Buildings*, Vol. 38, (6/2006), pp. 648–660

Litterst, C.¹; Eccarius, S.; Hebling, C.; Zengerle, R.; Koltay, P.¹
»Increasing DMFC Efficiency by Passive CO₂ Bubble Removal and Discontinuous Operation«, in: *Journal of Micromechanics and Microengineering*, Vol. 16 (2006), pp. 248–253
(¹: Institut für Mikrosystemtechnik IMTEK, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Germany)

Niggemann, M.; Glatthaar, M.; Lewer, P.; Müller, C.¹; Wagner, J.²; Gombert, A.
»Functional Microprism Substrate for Organic Solar Cells«, in: *Thin Solid Films*, Vol. 511–512 (2006), pp. 628–633
(¹: Institut für Mikrosystemtechnik IMTEK, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Germany)
(²: Freiburger Materialforschungszentrum FMF, Freiburg, Germany)

Núñez, T.; Mittelbach, W.; Henning, H.-M.
»Development of a Small-Capacity Adsorption System for Heating and Cooling Applications«, in: *HVAC&R Research, An International Journal of Heating, Ventilating, Air-Conditioning and Refrigerating Research*, Vol. 12 (2006), pp. 749–765

Oszcipok, M.; Zedda, M.; Hesselmann, J.; Huppmann, M.; Wodrich, M.; Junghardt, M.; Hebling, C.
 »Portable Proton Exchange Membrane Fuel-Cell Systems for Outdoor Applications«, in: Journal of Power Sources, Vol. 157 (2006), pp. 666–673

Oszcipok, M.; Zedda, M.; Riemann, D.; Geckler, D.
 »Low Temperature Operation and Influence Parameters the Cold Start Ability of Portable PEMFCs«, in: Journal of Power Sources, Vol. 154 (2006), pp. 404–411

Papetrou, M.¹; Epp, C.¹; Teksoy, S.²; Sözen, S.²; Ortin, V.³; Seibert, U.; Vogt, G.
 »Market Analysis for Autonomous Desalination Systems Powered by Renewable Energy in Southern Mediterranean Countries. Case Study on Turkey«, in: Desalination, Vol. 183 (2005), pp. 29–40
 (¹: WIP – Erneuerbare Energien, München, Germany)
 (²: ITU Istanbul Technical University, Istanbul, Turkey)
 (³: ITC Canary Island Institute of Technology, Santa Lucía, Gran Canaria, Spain)

Reber, S.; Eyer, A.; Haas, F.
 »High-Throughput Zone-Melting Recrystallization for Crystalline Silicon Thin-Film Solar Cells«, in: Journal of the Crystal Growth, Vol. 287/2006, pp. 391–396

Rein, S.; Glunz, S.
 »Electronic Properties of Interstitial Iron and Iron-boron Pairs Determined by Means of Advanced Lifetime Spectroscopy«, in: Journal of Applied Physics, 98, 113711(1–12) 2005

Sastrawan, R.; Renz, J.; Prah, C.; Beier, J.¹; Hinsch, A.; Kern, R.
 »Interconnecting Dye Solar Cells in Modules – I-V Characteristics under Reverse Bias«, in: Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry, Vol. 178 (2006), pp. 33–40
 (¹: 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; Petrat, F.⁴; Prodi-Schwab, A.⁴; Lechner, P.⁵; Hoffmann, W.⁵
 »A Glass Frit-Sealed Dye Solar Cell Module with Integrated Series Connections«, in: Solar Energy Materials & Solar Cells, 90/2006, pp. 1680–1691
 (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, Marl, Germany)
 (⁵: RWE Schott Solar GmbH, Alzenau, Germany)

Schmitz, A.; Tranitz, M.; Eccarius, S.; Weil, A.; Hebling, C.
 »Influence of Cathode Opening Size and Wetting Properties of Diffusion Layers on Performance of Air-Breathing PEMFCs«, in: Journal of Power Sources, Vol. 154 (2006), pp. 437–447

Schossig, P.; Henning, H.-M.; Gschwander, S.; Hausmann, T.
 »Micro-Encapsulated Phase-Change Materials Integrated into Construction Materials«, in: Solar Energy Materials and Solar Cells, 89/2006, pp. 297–306

Schubert, M.; Riepe, S.; Bermejo, S.; Warta, W.
 »Determination of Spatially Resolved Trapping Parameters in Silicon with Injection Dependent Carrier Density Imaging«, in: Journal of Applied Physics, Vol. 99, 114908(1–6) 2006

Trupke, T.; Bardos, R.; Schubert, M.; Warta, W.
 »Photoluminescence Imaging of Silicon Wafers«, in: Applied Physics Letters, 89, 44107(1–3) 2006

Wienold, J.; Christoffersen, J.
 »Evaluation Methods and Development of a New Glare Prediction Model for Daylight Environment with the Use of CCD Cameras«, in: Energy and Buildings, Vol. 38 (7/2006), pp. 743–757

Yu, H.¹; Schumacher, M.; Zobel, M.; Hebling, C.
 »Analysis of Membrane Electrode Assembly (MEA) by Environmental Scanning Electron Microscope (ESEM)«, in: Journal of Power Sources, Vol. 145 (2005), pp. 216–222
 (¹: Dalian Institute of Chemical Physics, Chinese Academy of Sciences, Dalian, China)

Yu, H.¹; Ziegler, C.; Oszcipok, M.; Zobel, M.; Hebling, C.
 »Hydrophilicity and Hydrophobicity Study of Catalyst Layers in Proton Exchange Membrane Fuel Cells«, in: Electrochimica Acta, Vol. 51(2006), pp. 1199–1207
 (¹: Dalian Institute of Chemical Physics, Chinese Academy of Sciences, Dalian, China)

Yu, H.¹; Ziegler, C.
 »Transient Behavior of a Proton Exchange Membrane Fuel Cell under Dry Operation«, in: Journal of the Electrochemical Society, Vol. 153(3) 2006, pp. A570–A575
 (¹: Dalian Institute of Chemical Physics, Chinese Academy of Sciences, Dalian, China)

Ziegler, C.; Yu, H.¹; Schumacher, J.
 »Two-Phase Dynamic Modeling of PEMFCs and Simulation of Cyclo-Voltammograms«, in: Journal of Electrochemical Society, Vol. 152 (8) 2005, pp. A1555–A1567
 (¹: Dalian Institute of Chemical Physics, Chinese Academy of Sciences, Dalian, China)

Aicher, T.; Rochlitz, L.
 »Micro Reformer Fuel Cell System with a Few Hundred Watts Power Output«, 9th International Conference on Microreaction Technology IMRET, Berlin, Germany, 6.–8.9.2006

Aicher, T.; Rochlitz, L.
 »Development of a Micro Reformer for PEM Fuel Cells«, 9th International Conference on Microreaction Technology, Potsdam, Germany, 6.–8.9.2006

Bett, A. W.
 »Hochkonzentrierende PV mit Mehrfach-solarzellen auf Basis von GaAs-Zellen«, Hocheffiziente Photovoltaik Kooperationsforum, Garching, Germany, 22.2.2006

Bett, A. W.; Burger, B.; Dimroth, F.; Siefert, G.; Lerchenmüller, H.
 »High-Concentration PV Using III-V Cells«, IEEE 4th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, Waikoloa, Hawaii, USA, 7.–12.5.2006, CD-ROM

Bett, A. W.
 »Mehrfach-solarzellen und Quantenstrukturen in Solarzellen«, Rundgespräch der Deutschen Forschungsgesellschaft – Grundlagenforschung für Photovoltaik, Bonn, Germany, 20./21.7.2006

Beyer, H.¹; Friesen, G.²; Gottschalg, R.³; Williams, S.³; Reise, C.; Guerin de Montgareuil, A.⁴; van de Borg, N.⁵; de Moor, H.⁵; Koloenny, W.⁶; Prorok, M.⁶; Tdanowicz, T.⁶; Herrmann, W.⁷; Huld, T.⁸; de Kaizer, C.⁹
 »Vergleich von Verfahren zur Abschätzung der Jahreserträge unterschiedlicher PV-Technologien im Rahmen des Projektes Performance – Ergebnisse eines ersten »Round Robin« Tests«, OTTI Energie-Kolleg, 21. Symposium Photovoltaische Solarenergie, Bad Staffelstein, Germany, 8.–10.3.2006
 (¹: Institut für Elektrotechnik, Hochschule Magdeburg-Stendal, Germany)
 (²: Scuola Universitaria Professionale Svizzera Italiana SUPSI, Lugano, Switzerland)
 (³: Loughborough University, United Kingdom)
 (⁴: Commissariat à l'Énergie Atomique, CEA, Cadarache, France)
 (⁵: Energy Research Center (ECN), Solar Energy, Petten, The Netherlands)
 (⁶: University of Technology, Wroclaw, Poland)
 (⁷: TÜV Rheinland, Köln, Germany)
 (⁸: European Commission, DG JRC, Ispra, Italy)
 (⁹: University Utrecht, The Netherlands)

- Bopp, G.; Gabler, H.¹; Haugwitz, F.²; Hong, L.³; Zhiming, L.³; Müller, H.²; Steinhüser, A.
 »Technical Monitoring of PV Village Power Supply in China«, PV Industry Forum, Intersolar, Freiburg, Germany, 21.6.2006
 (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)
- Bopp, G.
 »Welche EMV-Normen und Grenzwerte sind für Solaranlagen relevant?«, OTTI Profiseminar, Regensburg, Germany, 22./23.11.2006
- Bopp, G.
 »Erzeugen PV-Anlagen Elektrosmog?«, OTTI Profiseminar, Regensburg, Germany, 22./23.11.2006
- Bopp, G.
 »Beispielhaft ausgeführter Blitzschutz bei Kollektoranlagen und netzgekoppelten PV-Anlagen«, OTTI Profiseminar, Regensburg, Germany, 22./23.11.2006
- Bühning, A.; Bichler, C.; Jäschke, M.
 »Aktueller Stand der Weiterentwicklung von Lüftungs-Kompaktgeräten«, Internationale Passivhaustagung, Hannover, Germany, 19./20.5.2006
- Bühning, A.; Miara, M.; Russ, C.; Bichler, C.; Becker, R.
 »Zwei Feldmessungen neuer Wärmepumpen gestartet«, Deutsche Kälte-Klima-Tagung, Dresden, Germany, 23.11.2006
- Dimroth, F.; Peharz, G.; Wittstadt, U.; Hacker, B.; Bett, A. W.
 »Solar Hydrogen Production in the Photovoltaic Concentrator HyCON«, E-MRS IUMRS ICEM; Symposium M: Materials, Devices and Prospects for Sustainable Energies, Nice, France, 29.5.–2.6.2006
- Dimroth, F.; Baur, C.; Bett, A. W.; Köstler, W.¹; Meusel, M.¹; Strobl, G.¹
 »Thin 5-Junction Solar Cells with Improved Radiation Hardness«, IEEE 4th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, Waikoloa, Hawaii, USA, 7.–12.5.2006,
 (¹: RWE Schott Solar GmbH, Alzenau, Germany)
- Ebermeyer, M.; Koschikowski, J.; Rebman, H.; Wieghaus, M.; Rommel, M.
 »Aufbau und Betrieb von energieautarken, solar betriebenen Meerwasserentsalzungsanlagen«, in: OTTI Energie-Kolleg, 16. Symposium Thermische Solarenergie, Bad Staffelstein, Germany, 17.–19.5.2006
- Ebert, Günther
 »Kraft-Wärmekopplung für den Wohnbereich – eine lohnende Investition?«, FVS-Jahrestagung, Berlin, Germany, 21./22.9.2006
- Ebert, G.
 »Integrated Energy Systems« CAE-Fraunhofer Workshop on Energy Efficient Technology, Chinese Academy of Engineering, Beijing, China, 29.6.2006
- Ebert, G.
 »Energy Efficiency in Photovoltaics«, CAE-Fraunhofer Workshop on Energy Efficient Technology, Chinese Academy of Engineering, Beijing, China, 29.6.2006
- Ebert, G.
 »Integration der Strom- und Wärmeerzeugung in den Wohnbereich – dezentrale Versorgungssicherheit« FVS-Jahrestagung 2006, Berlin, Germany, 21./22.9.2006
- Eccarius, S.; Garcia, B.¹; Manurung, T.; Weidner, J.¹; Hebling, C.
 »Crossover Phenomena in Direct Methanol Fuel Cells«, Fuel Cell Science & Technology, Turin, Italy, 13./14.9.2006
 (¹: University of South Carolina, USA)
- Ell, J.; Georg, A.
 »Reasons for Specific Kinetics of Switchable Mirrors of Magnesium Nickel Films«, Photonics Europe, Strasbourg, France, 3.–7.4.2006
- Fernández, J.; Dimroth, F.; Oliva, E.; Hermle, M.; Bett, A. W.
 »Back Surface Optimization of Germanium TPV Cells«, 7th International Conference on the Thermophotovoltaic Generation of Electricity (TPV 7), San Lorenzo de El Escorial, Madrid, Spain, 25.9.–27.9.2006
- Gerteisen, D.; Walter, M.
 »Charakterisierung von porösen Gasdiffusions-elektroden in Polymer-Elektrolyt-Brennstoffzellen mit Hilfe der Impedanzspektroskopie in einer Referenzelektrodenanordnung«, 1. Symposium – Impedanzspektroskopie Grundlagen und Anwendung, Haus der Technik – Außeninstitut der RWTH Aachen, Germany, 16./17.5.2006
- Gerteisen, D.; Walter, M.; Wolff, A.; Melke, J.
 »Investigation of the Performance of RuSe Catalyst for the ORR Using a Reference Electrode Measurements Set-up«, Workshop O2-RedNet, Ulm, Germany, 6./7.4.2006
- Glatthaar, M.¹; Riede, M.¹; Keegan, N.; Sylvester-Hvid, K.¹; Zimmermann, B.¹; Niggemann, M.; Hinsch, A.; Gombert, A.
 »Efficiency Limiting Factors of Organic Bulk Heterojunction Solar Cells Identified by Electrical Impedance Spectroscopy«, European Conference on Hybrid and Organic Solar Cells ECHOS, Paris, France, 28.–30.6.2006
 (¹: Freiburger Materialforschungszentrum FMF, Freiburg, Germany)
- Glunz, S.
 »Solarzellentechnologien – Stand der Technik und neue Konzepte«, Fraunhofer ISE Kompaktseminar Photovoltaik-Technologie, Intersolar, Freiburg, Germany, 23.6.2006
- Gölz, S.; Bopp, G.; Buchholz, B.¹; Pickhan, R.¹
 »Waschen mit der Sonne – Direkter Verbrauch von lokal erzeugtem PV Strom durch gezielte Lastverschiebung in Privathaushalten«, OTTI Energie-Kolleg, 21. Symposium Photovoltaische Solarenergie, Bad Staffelstein, Germany, 8.–10.3.2006
 (¹: MVV Energie AG, Mannheim, Germany)
- Goetzberger, A.
 »Total Area Efficiency, an Extension of the Efficiency Concept«, Photovoltaics , 3rd Generation and the way to it, Berlin Adelsdorf, Germany, 5.5.2006
- Goetzberger, A.
 »Selected Topics about the Future of PV«, GE-Seminar, Munich, Germany, 19.9.2006
- Goldschmidt, J.
 »Solarzellen: Alte Rekorde und neue Konzepte«, Vortrag im Rahmen des Graduiertenkollegs – Nichtlineare Optik und Ultrakurzzeitphysik, Technische Universität Kaiserslautern, Germany, 11.1.2006
- Goldschmidt, J.; Glunz, S.; Hermle, M.; Gombert, A.; Willeke, G.
 »Advanced Fluorescent Concentrators«, 18th Workshop on Quantum Solar Energy Conversion, Quantosol, Rauris, Salzburg, Austria, 19.–25.3.2006
- Goldschmidt, J.
 »Neuartige Solarzellenkonzepte«, DBU Stipendiatenseminar, Papenburg, Germany, 11.–16.6.2006
- Goldschmidt, J.; Glunz, S.; Gombert, A.; Willeke, G.
 »Advanced Fluorescent Concentrators«, 21st European Photovoltaic Solar Energy Conference & Exhibition, Dresden, Germany, 4.–8.9.2006, CD-ROM
- Gombert, A.
 »Diffractive Optical Elements for Large Area Applications«, Symposium On Photonics Technologies for the 7th Framework Programme, Wroclaw, Poland, 12.–14.10.2006
- Grohe, A.; Knorz, A.; Alemán, M.; Harmel, C.; Glunz, S. W.; Willeke, G. P.
 »Novel Low Temperature Front Side Metallisation Scheme Using Selective Laser Ablation of Anti Reflection Coatings and Electroless Nickel Plating«, 21st European Photovoltaic Solar Energy Conference & Exhibition, Dresden, Germany, 4.–8.9.2006
- Grohe, A.; Fleischhauer, B.; Preu, R.; Glunz, S.; Willeke, G.
 »Boundary Conditions for Industrial Production of LFC Cells«, IEEE 4th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, Waikoloa, Hawaii, USA, 7.–12.5.2006, CD-ROM
- Guter, W.
 »Optimierung von III-V-basierten Hochleistungssolarzellen«, DBU Stipendiatenseminar, Papenburg, Germany, 11.–16.6.2006

Hakenjos, A.

»Impedanzmessung an PEM Brennstoffzellenstacks«, 1. Symposium – Impedanzspektroskopie Grundlagen und Anwendung, Essen, Germany, 16./17.5.2006

Hebling, C.

»Power to Go – Energie für unterwegs«, Fraunhofer Symposium Mikroenergietechnik 2006, Berlin, Germany, 10.10.2006

Hebling, C.

»Mikrobrennstoffzellen zur Energieversorgung portabler und netzferner elektronischer Geräte«, Technologieforum Leica Geosystems, Heerbrugg, Switzerland, 12.5.2006

Henning, H.-M.

»Thermisch aktive Materialien: Grundlagen und Anwendungen«, Physikalisch-Chemisches Kolloquium, LMU München, Munich, Germany, 14.12.2005

Henning, H.-M.

»Solar Thermal Energy for Air-Conditioning of Buildings – Advanced Technologies Adapted to Local Climatic Conditions«, Intelligent Building Middle East, Manama, Kingdom of Bahrain, 5.–7.12.2005

Henning, H.-M.

»Solar Cooling and Air Conditioning – Overview with Special Focus on a New Concept for Solar Cooling with high Temperature«, International Conference on Energy Saving Technologies for Heating and Air Conditioning, Milan, Italy, 2.3.2006

Henning, H.-M.

»Solarthermische Kühlung und Klimatisierung – Grundlagen, Verfahren und Anwendungen insbesondere im Mittelmeerraum«, Branchen und Exportforum Erneuerbare Energien, Hannover Messe, Hannover, Germany, 27.4.2006

Henning, H.-M.

»Solares Kühlen und Klimatisieren«, 8. Internationales Symposium für Sonnenenergienutzung, Gleisdorf, Austria, 6.–8.9.2006

Henning, H.-M.

»Components and Systems – Overview and Thermodynamic Analysis«, Intersolar 2006, Freiburg, Germany, 22.7.2006

Henning, H.-M.

»Thermodynamische Grundlagen der solaren Kühlung – ein Weg zur Systemauswahl«, Fachforum Solare Kühlung und Klimatisierung (RENEXPO), Augsburg, Germany, 28.9.–1.10.2006

Herkel, S.

»Energieeffizienz in Laborgebäuden – Erfahrungen aus EnBau: Monitor«, Low Energy High Efficiency Lab, Bad Nauheim, Germany, 9./10.11.2006

Hesselmann, J.

»Leistungselektronik für Brennstoffzellen«, Fachseminar Leistungselektronik für erneuerbare Energiesysteme, OTTI Energie-Kolleg, Regenstauf, Germany, 6./7.7.2006

Hindenburg, C.; Geßner, D.

»Betriebsergebnisse einer Flüssigsorptions-Pilotanlage«, 4. Symposium Solares Kühlen in der Praxis, Hochschule für Technik, Stuttgart, Germany, 3./4.4.2006

Hinsch, A.

»Dye Solar Cells – Photovoltaics for Creative Applications«, Export Forum Renewable Energy, Hannover Messe, Hannover, Germany, 27.4.2006

Hinsch, A.; Siegers, C.¹; Würfel, U.¹; Sastrawan, R.¹; Peters, M.¹; Gerhard, D.²; Himmler, S.²; Wasserscheid, P.²; Gores, H.³; Zistler, M.³; Rau, U.⁴; Einsele, F.⁴; Koch, D.⁵; Schauer, T.⁵; Behrens, S.⁶; Khelashvili, G.⁶; Putira, P.⁷; Skupien, K.⁷; Walter, J.⁷; Opara-Krasovec, U.⁸; Nasmudinova, G.⁹; Sensfuß, S.⁹; Drewitz, A.¹⁰; Faßler, D.¹⁰; Bönnemann, H.¹¹

»Developments for Dye Solar Modules: Results from an Integrated Approach«, 21st European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Dresden, Germany, 4.–8.9.2006, CD-ROM

(¹: Freiburger Materialforschungszentrum FMF, Freiburg, Germany)

(²: Universität Erlangen, Germany)

(³: Universität Regensburg, Germany)

(⁴: Institut für Physikalische Elektronik IPE, Universität Stuttgart, Germany)

(⁵: Forschungsinstitute für Pigmente und Lacke FPL, Stuttgart, Germany)

(⁶: Forschungszentrum Karlsruhe, Germany)

(⁷: University of Technology, Cracow, Poland)

(⁸: Faculty of Electrical Engineering, University of Ljubljana, Slovenia)

(⁹: Thüringisches Institut für Textil- und Kunststoff-Forschung, Rudolfsstadt, Germany)

(¹⁰: Gesellschaft zur Förderung von Medizin-, Bio- und Umwelttechnologien e.V. GMBU, Dresden, Germany)

(¹¹: Max-Planck-Institut für Kohlenforschung, Mülheim, Germany)

Hinsch, A.; Belledin, U.; Brandt, H.;

Sastrawan, R.¹; Hemming, S.²; Koch, D.³;

Schauer, T.³; Rau, U.⁴; Einsele, F.⁴

»Glass Frit Sealed Dye Solar Modules with Adaptable Screen Printed Design«, IEEE 4th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, Waikoloa, Hawaii, USA, 7.–12.5.2006, CD-ROM

(¹: Freiburger Materialforschungszentrum FMF, Freiburg, Germany)

(²: PSE GmbH Forschung Entwicklung Marketing, Freiburg, Germany)

(³: Forschungsinstitute für Pigmente und Lacke, FPL, Stuttgart, Germany)

(⁴: Institute für Physikalische Elektronik IPE, Universität Stuttgart, Germany)

Hinsch, A.

»Farbstoffsolarzellen: Photovoltaik für gestalterische Anwendungen im Fenster- und Fassadenbau«, Rosenheimer Fenstertage, Institut für Fenstertechnik IFT e.V., Rosenheim, Germany, 20.10.2006

Hinsch, A.; Niggemann, M.; Gombert, A.

»Topics Related to the Technological Road Map for Dye and Organic Solar Cells«, 2nd International Plastic Electronics Conference & Showcase, Messe Frankfurt, Frankfurt, Germany, 25.10.2006

Hinsch, A.

»Photovoltaik und Solarthermie als integraler Bestandteil für Gebäude und Fassaden«, glasstec-Symposium: ENERGY – Glas und Energie, Düsseldorf, Germany, 26.10.2006

Hinsch, A.

»Injektionsolarzellen«, DFG-Rundgespräch: Grundlagenforschung für die Photovoltaik, Gustav-Stresemann-Institut, Bonn, Germany, 20.7.2006

Hofmann, M.; Glunz, S.; Preu, R.; Willeke, G.

»21%-Efficient Silicon Solar Cells Using Amorphous Silicon Rear Side Passivation«, 21st European Photovoltaic Solar Energy Conference & Exhibition, Dresden, Germany, 4.–8.9.2006, CD-ROM

Janz, S.; Reber, S.; Glunz, S.

»Amorphous SiC: Applications for Silicon Solar Cells«, 21st European Photovoltaic Solar Energy Conference & Exhibition, Dresden, Germany, 4.–8.9.2006, CD-ROM

Jaus, J.; Fleischfresser, U.; Peharz, G.;

Dimroth, F.; Lerchenmüller, H.; Bett, A. W.

»Heat Sink Substrates for Automated Assembly of Concentrator Modules«, 21st European Photovoltaic Solar Energy Conference & Exhibition, Dresden, Germany, 4.–8.9.2006, CD-ROM

Jungmann, T.

»Wasserstoff – eine Alternative zu den fossilen Brennstoffen?«, Physikalisches Seminar, Hochschule für Technik und Wirtschaft, Dresden, Germany, 8.12.2005

Kiefer, K.

»Ergebnisse aus dem Freiburger Performance Check«, Workshop Klimaschutz durch das Handwerk – Schwerpunkt Photovoltaik, Handwerkskammer Freiburg, Germany, 3.2.2006

Kiefer, K.

»Erträge von netzgekoppelten Photovoltaik-Anlagen«, OTTI-Profiseminar Photovoltaik-Anlagen, Freiburg, Germany, 21.6.2006

Kiefer, K.

»Optimale Erträge von PV-Anlagen, Ergebnisse aus dem Freiburger Performance Check«, Fraunhofer ISE Kompaktseminar Photovoltaik-Technologie, Intersolar, Freiburg, Germany, 23.6.2006

- Klaz, D.; Pfafferot, J.; Schossig, P.; Herkel, S.
»Thermally Activated Building Components Using Phase-Change-Materials«, Eurosun 2006, Glasgow, Scotland UK, 27.–30.6.2006
- Klaz, D.; Pfafferot, J.; Schossig, P.; Herkel, S.
»Flächenkühlsysteme mit integrierten Phasenwechselmaterialien – Eine Simulationsstudie«, BauSIM 2006, Technische Universität München, Munich, Germany, 9.–11.10.2006
- Köber, M.; Hermle, M.; Isenberg, J.; Kasemann, M.¹; Cárdenas, H.; Warta, W.
»Analysis of the Effects Caused by Parameter Inhomogeneity with a 2D Modelling Tool Based on Circuit Simulation«, 21st European Photovoltaic Solar Energy Conference & Exhibition, Dresden, Germany, 4.–8.9.2006, CD-ROM
(¹: Freiburger Materialforschungszentrum FMF, Freiburg, Germany)
- Köhl, M.
»Clusterprojekt: Lebensdauer von PV-Modulen«, 2. Workshop Photovoltaik-Modultechnik, Cologne, Germany, 1.12.2005
- Köhl, M.
»Polymeric Materials for Solar Applications«, IEA SHC Industry Seminar, Sydney, Australia, 5.12.2005
- Köhl, M.
»Solar Thermal Collectors, New Materials, Integration and Combination«, Meeting of the IEA Solar Heating & Cooling Programme and Solar Thermal Trade Associations, Malaga, Spain, 23.5.2006
- Köhl, M.
»Subproject 5: Service Life Assessment of PV Modules«, Industry Information Workshop »Performance«, Freiburg, Germany, 22.6.2006
- Köhl, M.
»Polyurethane-Based Thickness Insensitive Spectrally Selective Paints for Coloured Solar Absorbers«, Eurosun 2006, Glasgow, UK, 27.6.2006
- Köhl, M.
»Temperature Dependent Permeation of Water Vapour Through Barrier Foils«, THERMO INTERNATIONAL 2006, Boulder, USA, 1.8.2006
- Köhl, M.
»Temperature Dependent Permeation of Water Vapour into PV Modules«, 21st European Photovoltaic Solar Energy Conference & Exhibition, Dresden, Germany, 4.–8.9.2006, CD-ROM
- Kontermann, S.; Emanuel, G.; Benick, J.; Preu, R.; Willeke, G.
»Characterisation of Silver Thick-Film Contact Formation on Textured Monocrystalline Silicon Solar Cells«, 21st European Photovoltaic Solar Energy Conference & Exhibition, Dresden, Germany, 4.–8.9.2006, CD-ROM
- Kuhn, T. E.
»Solar Control: Two New Systems and a General Evaluation Method for Facades with Venetian Blinds or Other Solar Control Systems to Be Used Stand Alone or within Building Simulation Program«, VDI Wissensforum Bauen mit Glas – Transparente Werkstoffe im Bauwesen, Baden-Baden, Germany, 29./30.5.2006
- Kuhn, T. E.
»Solar Control: Two New Systems and a General Evaluation Method for Facades with Venetian Blinds or Other Solar Control Systems«, Konferenz BauSIM 2006 der deutschen Sektion der International Building Performance Simulation Association, Munich, Germany, 9.–11.10.2006.
- Kuhn, T. E.
»Sun Protection: Shading Blinds«, ISES International Summer Workshop – Solar Low-Energy Housing in Europe, Freiburg, Germany, 14.8.2006
- Kuhn, T. E.
»Sonnenschutz und Lichtlenksysteme – Praxisbericht«, Kompetenzseminar Handwerk+Energie, Heidelberg, Germany, 9.11.2006
- Lehnert, W.¹; Grünerbel, M.¹; Hartnig, Ch.¹; Gülzow, E.²; Schulze M.²; Wittstadt, U.; Smolinka, T.
»Aging Mechanisms in PEM Fuel Cells«, 10th Electrochemical Talks, Neu-Ulm, Germany, 27./28.6.2006
(¹: Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung, Ulm, Germany)
(²: Institut für Technische Thermodynamik, ITT, Stuttgart, Germany)
- Litterst, C.¹; Eccarius, S.; Hebling, C.; Zengerle, R.¹; Koltay, P.¹
»Novel Structure for Passive CO₂ Degassing in μ DMFC«, 19th IEEE Conference on Micro Electro Mechanical Systems; Istanbul, Turkey, 22.–26.1.2006
(¹: Institut für Mikrosystemtechnik IMTEK, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Germany)
- Löckenhoff, R.; Dibowski, G.¹; Dimroth, F.; Meusel, M.; van Riesen, S.; Bett, A. W.
»1000 Sun, Compact Receiver Based on Monolithic Interconnected Modules (MIMs)«, IEEE 4th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, Waikoloa, Hawaii, USA, 7.–12.5.2006, CD-ROM
(¹: Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), Bonn, Germany)
- Löckenhoff, R.; Wilde, J.; Dimroth, F.; Bett, A. W.
»Approaches to Large Area III-V Concentrator Receivers«, 21st European Photovoltaic Solar Energy Conference & Exhibition, Dresden, Germany, 4.–8.9.2006, CD-ROM
- Lungenschmied, C.¹; Dennler, G.¹; Neugebauer, H.¹; Sariciftci, S.¹; Glatthaar, M.; Meyer, T.²; Meyer, A.²
»Flexible, Large Area, Encapsulated, Organic Solar Cells«, European Conference on Hybrid and Organic Solar Cells ECHOS, Paris, France, 28.–30.6.2006
(¹: Linz Institute for Organic Solar Cells, Johannes Kepler University, Linz, Austria)
(²: Solaronix SA, Aubonne, Switzerland)
- Luther, J.
»Gedanken zu einer nachhaltigen globalen Energieversorgung«, Universitätsklinikum Freiburg, Freiburg, Germany, 25.1.2006
- Luther, J.
»Hocheffiziente Photovoltaik – Stand und Potenziale«, Bayern Innovativ – Kooperationsforum, Munich, Germany, 22.2.2006
- Luther, J.
»Forschung und Entwicklung für eine nachhaltige Energieversorgung«, Universitätsbeirat, Universität Freiburg, Germany, 8.3.2006
- Luther, J.
»PV Activities and Strategies at the Fraunhofer ISE«, Commission for Sustainable Development (CSD), New York, USA, 1.–6.5.2006
- Luther, J.
»Solar Energy Conversion – Solar Electricity Generation, Photovoltaic Energy Conversion«, Global Science Conference (OECD), Paris, France, 17.–18.5.2006
- Luther, J.
»Strom aus Sonnenenergie – Photovoltaische Energiekonversion«, Kolloquium an der Universität Tübingen, Tübingen, Germany, 31.5.2006
- Luther, J.
»Verteilte Stromerzeugung und »intelligente« Netze: Energieeffizienz, Einbindung erneuerbarer Energiequellen, Sicherheit der Stromversorgung«, Parlamentarischer Abend der Fraunhofer-Gesellschaft, Berlin, Germany, 1.6.2006
- Luther, J.
»Solare Energietechnologien – Ein nachhaltiger Wachstumsmarkt Beispiel: Photovoltaik«, Tagung »20 Jahre BMU«, Berlin, Germany, 6.6.2006
- Luther, J.
»Photovoltaik – Strom aus Sonnenenergie, Neue Ergebnisse aus Forschung und Technologieentwicklung«, Samstagsuniversität, Universität Freiburg, Germany, 24.6.2006
- Luther, J.; Bett, A. W.; Burger, B.; Dimroth, F.
»High Concentration Photovoltaics Based on III-V Multi-Junction Solar Cells«, 21st European Photovoltaic Solar Energy Conference & Exhibition, Dresden, Germany, 4.–8.9.2006, CD-ROM

- Luther, J.
»Sustainable Electricity Generation – Solar Energy and Other Renewable Energy Sources«, Energy and Environment, Instituto Internacional Casa de Mateus, Vila Real, Portugal, 27.–30.9.2006
- Luther, J.
»The Global Potential of Solar Systems – Solar Electricity«, XVI. Malenter Symposium, Lübeck, Germany, 8.–10.10.2006
- Luther, J.
»Wege zu einer nachhaltigen Energieversorgung – die Bedeutung der Energiemeteorologie«, Wissenschaftsforum, Berlin, Germany, 2.11.2006
- Luther, J.
»Photovoltaik – Strom aus Sonnenenergie«, Wissenschaftliche Gesellschaft, Universität Freiburg, Freiburg, Germany, 3.11.2006
- Luther, J.
»Solarforschung – in der Mitte eines langen Weges«, Vortrag im Umweltministerium Baden-Württemberg, Stuttgart, Germany, 22.11.2006
- Niggemann, M.; Glatthaar, M.; Riede, M.; Ziegler, T.; Zimmermann, B.; Gombert, A.
»Optical Near Field Phenomena in Planar and Structured Organic Solar Cells«, Photonics Europe, Strasbourg, France, 3.–7.4.2006
- Oszcipok, M.
»Start- und Abschaltvorgänge in PEM-Brennstoffzellen unter 0 °C«, Elektrochemie Seminar am Paul-Scherrer Institut, Villigen PSI, Switzerland, 10.4.2006
- Pearsall, N.¹; Scholz, H.²; Zdanowicz, T.³; Reise, C.
»PV System Assessment in PERFORMANCE – towards Maximum System Output«, 21st European Photovoltaic Solar Energy Conference & Exhibition, Dresden, Germany, 4.–8.9.2006, CD-ROM
(¹: University of Northumbria, Newcastle, United Kingdom)
(²: European Commission, DG JRC, Ispra, Italy)
(³: Wroclaw University of Technology, Poland)
- Pfanner, N.
»Anwendungen – Photovoltaik in der Beleuchtungstechnik«, Fachseminar Netzferne Stromversorgung mit Photovoltaik, OTTI Energie-Kolleg, Freiburg, Germany, 27./28.9.2006
- Reber, S.; Duerinckx, F.¹; Alvarez, M.²; Garrard, B.³; Schulze, F. W.⁴
»EU Project SWEET on Epitaxial Wafer Equivalents: Results and Future Topics of Interest«, in: Proceedings, 21st European Photovoltaic Solar Energy Conference & Exhibition, Dresden, Germany, 4.–8.9.2006, CD-ROM
(¹: IMEC Leuven, Belgium)
(²: ATERSA, Catarroja, Spain)
(³: Crystalox Ltd., Wantage, United Kingdom)
(⁴: PV Silicon AG, Erfurt, Germany)
- Rein, S.
»Lifetime Spectroscopy – Method of Defect Characterization«, Nordic Workshop on Crystalline Silicon Solar Cells IFE, Losby Gods, Norway, 23.1.2006
- Reise, C.; Ebert, G.; Köhl, M.; Herrmann, W.¹; Stellbogen, D.²; Gabler, H.²; Pearsall, N.³; Gottschalg, R.⁴; de Moor, H.⁵; Despotou, E.⁶; Dunlop, E.⁷
»PERFORMANCE – a Science Base on PV Performance for Increased Market Transparency and Customer Confidence«, 21st European Photovoltaic Solar Energy Conference & Exhibition, Dresden, Germany, 4.–8.9.2006, CD-ROM
(¹: TÜV Immisionsschutz und Energiesysteme GmbH, Köln, Germany)
(²: Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung (ZSW) Baden-Württemberg, Stuttgart, Germany)
(³: University of Northumbria, Newcastle, United Kingdom)
(⁴: Loughborough University Leicester, United Kingdom)
(⁵: Energy Research Center (ECN), Solar Energy, Petten, The Netherlands)
(⁶: European PV Industry Association, Brussels, Belgium)
(⁷: Institute for Environment and Sustainability, Ispra, Italy)
- Riepe, S.; Schultz, O.; Warta, W.
»Redistribution of Recombination Active Defects and Trapping Effects in Multicrystalline Silicon After Wet Thermal Oxidation«, IEEE 4th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, Waikoloa, Hawaii, USA, 7.–12.5.2006, CD-ROM
- Rinio, M.; Käs, M.¹; Hahn, G.¹; Borchert D.
»Hydrogen Passivation of Extended Defects in Multicrystalline Silicon Solar Cells«, 21st European Photovoltaic Solar Energy Conference & Exhibition, Dresden, Germany, 4.–8.9.2006, CD-ROM
(¹: University of Konstanz, Department of Physics, Germany)
- Rochlitz, L.; Aicher, T.
»Micro Reformer Fuel Cell System of a few 100 Watts«, ACHEMA 2006, Frankfurt, Germany, 15.–19.5.2006
- Rochlitz, L.; Aicher, T.
»Development of a Micro Reformer for PEM Fuel Cells with a Few Hundred Watts Power Output«, Fuel Cell Science & Technology, Turin, Italy, 13./14.9.2006
- Rommel, M.; Koschikowski, J.; Wieghaus, M.
»Solar Driven Desalination Systems Based on Membrane Distillation«, NATO Advanced Research Workshop, Solar Desalination for the 21st Century, 23.–25.2.2006, Hammamet, Tunisia
- Rommel, M.
»Medium Temperature Collector Developments and Collector Testing«, SHC-IEA TASK 33/IV Industry Workshop Solar Heat for Industrial Processes, Lisbon, Portugal, 13.10.2006
- Roth, T.; Rüdiger, M.; Diez, S.; Glunz, S.; Trupke, T.¹; Bardos, R.¹
»Temperature and Injection-Dependent Photoluminescence Lifetime Spectroscopy«, 21st European Photovoltaic Solar Energy Conference & Exhibition, Dresden, Germany, 4.–8.9.2006, CD-ROM
(¹: Centre of Excellence for Advanced Silicon Photovoltaics and Photonics, University of New South Wales, Sydney, Australia)
- Roth, T.
»Analyse von elektrisch aktiven Defekten in Silicium für Solarzellen«, DBU Stipendiatenseminar, Mirow, Germany, 6.–10.11.2006
- Roth, W.
»Unternehmenskooperationen als Einstieg in Projekte der internationalen Finanzierungsorganisationen – Erfolgsbeispiele und Zukunftsperspektiven der Themengruppe Energie«, Abschlusstreffen der Bayerischen Initiative zur Konsortialbildung für internationale Entwicklungsprojekte, Munich, Germany, 18.1.2006
- Roth, W.
»Netzferne Stromversorgung mit Photovoltaik – Einführung«, Grundlagenworkshop Netzferne Stromversorgung mit Photovoltaik, OTTI Energie-Kolleg, Freiburg, Germany, 26.9.2006
- Roth, W.
»Nutzung der Sonnenenergie«, Grundlagenworkshop Netzferne Stromversorgung mit Photovoltaik, OTTI Energie-Kolleg, Freiburg, Germany, 26.9.2006
- Roth, W.
»Netzferne Stromversorgung mit Photovoltaik«, Fachseminar Netzferne Stromversorgung mit Photovoltaik, OTTI Energie-Kolleg, Freiburg, Germany, 27./28.9.2006
- Roth, W.
»Photovoltaische Stromversorgung von Industrieprodukten und technischen Einrichtungen«, Fachseminar Netzferne Stromversorgung mit Photovoltaik, OTTI Energie-Kolleg, Freiburg, Germany, 27./28.9.2006
- Schaadt, A.; Aicher, T.; Lenz, B.; Rochlitz, L.
»Herstellung von Wasserstoff aus flüssigen Kohlenwasserstoffen«, Brennstoffzellen-Kongress, f-cell-2006 Stuttgart, Stuttgart, Germany, 25./26.9.2006
- Schmich, E.; Reber, S.; Hees, J.; Trenkle, F.; Schillinger, N.; Willeke, G.
»Emitter Epitaxy for Crystalline Silicon Thin-Film Solar Cells«, 21st European Photovoltaic Solar Energy Conference & Exhibition, Dresden, Germany, 4.–8.9.2006, CD-ROM

- Schmidt, H.
»Welcher Wechselrichter für welche Dünnschichttechnologie?«, Fachseminar Dünnschicht-Photovoltaikmodule, OTTI Energie-Kolleg, Freiburg, Germany, 20.6.2006
- Schmidt, H.
»Elektromagnetische Verträglichkeit«, Fachseminar Leistungselektronik für erneuerbare Energiesysteme, OTTI Energie-Kolleg, Regenstauf, Germany, 6./7.7.2006
- Schmidt, H.
»Grundlagen zur Nutzung der Sonnenenergie - Messtechnik«, Grundlagenworkshop Netzferne Stromversorgung mit Photovoltaik, OTTI Energie-Kolleg, Freiburg, Germany, 26.9.2006
- Schmidt, H.
»Aufbau und Funktionsweise von Solarzelle, Modul und Solargenerator«, Grundlagenworkshop Netzferne Stromversorgung mit Photovoltaik, OTTI Energie-Kolleg, Freiburg, Germany, 26.9.2006
- Schmidt, H.
»Batterien in netzfernen Stromversorgungsanlagen«, Fachseminar Netzferne Stromversorgung mit Photovoltaik, OTTI Energie-Kolleg, Freiburg, Germany, 27./28.9.2006
- Schmidt, H.
»Laderegler und Überwachungseinrichtungen für Batterien in photovoltaischen Energieversorgungssystemen«, Fachseminar Netzferne Stromversorgung mit Photovoltaik, OTTI Energie-Kolleg, Freiburg, Germany, 27./28.9.2006
- Schmidt, H.
»EMV-Messverfahren für PV und EMV-gerechtes Schaltungsdesign«, Profiseminar EMV und Blitzschutz für Solaranlagen, OTTI Energie-Kolleg, Regensburg, Germany, 22./23.11.2006
- Schmidt, H.
»Elektrische Wechselwirkungen Modul - Wechselrichter«, 3. Modulworkshop Photovoltaik-Modultechnik, TÜV Rheinland, Cologne, Germany, 29./30.11.2006
- Schmidt, H.; Burger, B.; Kiefer, K.
»Welcher Wechselrichter für welche Modultechnologie?« in: OTTI Energie-Kolleg, 21. Symposium Photovoltaische Solarenergie, Bad Staffelstein, Germany, 8.–10.3.2006
- Schmidt, F.; Henninger, S.¹
»Neue Sorptionsmaterialien für die Wärmespeicherung«, Konferenz Innovative Solar-Speicherkonzepte, AEE Intec, Vienna, Austria, 17.3.2006
(¹: Freiburger Materialforschungszentrum FMF, Freiburg, Germany)
- Schnabel, L.
»Konzeption und Betrieb von offenen Kühlsystemen«, 7. Berliner Energietage Umweltschonende Gebäudekühlung, Berlin, Germany 2.–4.5.2006
- Schöne, J.; Dimroth, F.; Bett, A. W.; Tauzin, A.¹; Jaussaud, C.¹; Roussin, J.-C.¹
»III-V Solar Cell Growth on Wafer-Bonded GaAs/Si-Substrates«, IEEE 4th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, Waikoloa, Hawaii, USA, 7.–12.5.2006, CD-ROM
(¹: Commissariat à l'Énergie Atomique (CEA), Grenoble, France)
- Schubert, M.; Riepe, S.; Warta, W.
»Spatially Resolved Trapping Detection and Correlation with Material Quality in Multicrystalline Silicon«, 21st European Photovoltaic Solar Energy Conference & Exhibition, Dresden, Germany, 4.–8.9.2006, CD-ROM
- Schultz, O.; Glunz, S.; Riepe, S.; Willeke, G.
»Gettering of Multicrystalline Silicon for High-Efficiency Solar Cells«, 21st European Photovoltaic Solar Energy Conference & Exhibition, Dresden, Germany, 4.–8.9.2006, CD-ROM
- Siefer, G.; Bett, A. W.
»Calibration of III-V Concentrator Cells and Modules«, IEEE 4th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, Waikoloa, Hawaii, USA, 7.–12.5.2006, CD-ROM
- Siefer, G.; Bett, A. W.
»Accelerated Indoor Aging Test Procedure for Concentrator Modules«, 21st European Photovoltaic Solar Energy Conference & Exhibition, Dresden, Germany, 4.–8.9.2006, CD-ROM
- Smolinka, T.; Grootjes, S.¹; Mahlendorf, F.²; Hesselmann, J.; Makkus, R.¹
»Prototype of a Reversible Fuel Cell System for Autonomous Power Supplies«, 3rd European PV-Hybrid and Mini Grid Conference, Aix-en-Provence, France, 11.–12.5.2006
(¹: Energy Research Centre of the Netherlands (ECN), The Netherlands)
(²: Universität Duisburg-Essen, Germany)
- Smolinka, T.
»Manufacturing and Characterisation of Membrane Electrode Assemblies for PEM Electrolysis and Fuel Cells«, 28th International Exhibition-Congress on Chemical Engineering, Environmental Protection and Biotechnology, Frankfurt am Main, Germany, 15.–19.5.2006
- Steinhüser, A.
»Photovoltaik-Hybridsysteme«, Vorlesung an der Universität Karlsruhe, Germany, 30.5.2006
- Steinhüser, A.
»Computerunterstützte Auslegung von Photovoltaik-Systemen«, Vorlesung an der Universität Karlsruhe, Germany, 30.5.2006
- Steinhüser, A.
»Computerunterstützte Auslegung und Simulation von Photovoltaik-Systemen«, OTTI-Profiseminar – Netzferne Stromversorgung mit Photovoltaik, Freiburg, Germany 27./28.9.2006
- Vetter, M.
»Photovoltaik-Hybridsysteme mit thermoelektrischen Generatoren«, Herbstschule Thermoelektrik der Deutschen Thermoelektrischen Gesellschaft, Tübingen, Germany, 9.–13.10.2006
- Weber, E. R.
»Metalle in Si-Solarzellen – Gute Zellen aus schmutzigem Silicium«, Freiburger Materialforschungszentrum FMF, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Freiburg, Germany, 28.7.2006
- Weber, E. R.
»Die Zukunft der siliciumbasierten Photovoltaik«, IHP Microelectronics, Frankfurt/Oder, Germany, 15.11.2006
- Weber, E. R.
»Globaler Klimawandel und Erneuerbare Energien«, Kolloquium am Physikalischen Institut der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Freiburg, Germany, 20.11.2006
- Wesler, E.; Dimroth, F.; Ohm, A.; Guter, W.; Siefer, G.; Schöne, J.; Polchoniadis, E. K.¹; Bett, A. W.
»Lattice-Matched GaInAsSb on GaSb for TPV Cells«, 7th World Thermophotovoltaic Generation of Electricity (TPV) Conference, Madrid, Spain, 25.–27.9.2006
(¹: Aristotle University of Thessaloniki, Greece)
- Went, J.
»Leistungsumschall zur Verbesserung der Membranfiltration«, VDI-Gesellschaft Verfahrenstechnik und Chemieingenieurwesen GVC, Fachausschuss zur Mechanischen Flüssigkeitsabtrennung, Karlsruhe, Germany, 14.–17.3.2006
- Wilson, H. R.
»High-Performance Glazing«, ISES International Summer Workshop-Solar Low-Energy Housing in Europe, Freiburg, Germany, 14.8.2006
- Wirth, H.
»Modulkonzepte für die nächste Solarzellen-Generation«, glasstec 2006, Düsseldorf, Germany, 23.10.2006
- Wittwer, C.; Erge, T.; Thoma, M.
»Ausgleich fluktuierender Stromerzeugungsressourcen in Niederspannungsnetzen durch optimierte Netzbetriebsführung«, in: OTTI Energie-Kolleg, 21. Symposium Photovoltaische Solarenergie, Bad Staffelstein, Germany, 8.–10.3.2006
- Wittwer, C.
»The Storage Capacity of Co-Generation«, EuroSolar 2006, Gelsenkirchen, Germany, 30./31.10.2006
- Wittwer, C.; Becker, R.
»Modellbasierte Ertragskontrolle für PV Anlagen in vernetzten Gebäuden«, IKM 2006 17. Internationales Kolloquium über Anwendungen der Informatik und Mathematik in Architektur und Bauwesen, Weimar, Germany, 12.–14.7.2006

Wittwer, C.

»POMS: Managementsystem for Distributed Generation and Loads in Low Voltage Grids«, 1. Internationales Symposium für Verteilte Stromerzeugung und intelligente Netze, Arsenal Research Techbase, Vienna, Austria, 18./19.10.2006

Wittwer, C.; Erge, T.; Becker, R.; Franzen, E.
»Modellbasierte Ertragskontrolle von netzintegrierten PV-Systemen durch Einsatz webfähiger Embedded Systems«, in: OTTI Energie-Kolleg, 21. Symposium Photovoltaische Solarenergie, Bad Staffelstein, Germany, 8.–10.3.2006

Wittwer, V.

»Solarthermie Vision 2030: Eine Herausforderung an die Forschung«, in: OTTI Energie-Kolleg, 16. Symposium Thermische Solarenergie, Bad Staffelstein, Germany, 17.–19.5.2006

Zacharias P.; Wittwer, C.

»Netzintegration der erneuerbaren Energien«, FVS Jahrestagung 2006, Berlin, Germany, 21./22.9.2006

Ziegler, C.

»Model Based Design of Fuel Cells and Fuel Cell Systems: PEM Design«, Workshop on Numerical, Mathematical and Modelling Analysis related to Fluid Dynamics in Hydrogen Fuel Cells, Ottawa, Canada, 10.–12.5.2006

Zimmermann, B.; Glatthaar, M.;

Niggemann, M.; Riede, M.; Hinsch, A.;

Gombert, A.

»Inversion of the Layer Sequence in Organic Solar Cells«, Technologies for Polymer Electronics – TPE 2006, Rudolfstadt, Germany, 16.–18.5.2006

Veröffentlichungen

Alemán, M.; Richter, L.; Filipovic, A.; Willeke, G.

»New Concepts for the Front Side Metallization of Silicon Solar Cells«, in: Proceedings, 21st European Photovoltaic Solar Energy Conference & Exhibition, Dresden, Germany, 4.–8.9.2006, CD-ROM

Alemán, M.; Streek, A.1; Regenfuß, P.1; Mette, A.; Ebert, R.1; Exner, H. 1; Glunz, S.W.; Willeke, G.

»Laser Micro-Sintering as a New Metallization Technique for Silicon Solar Cells«, in: Proceedings, 21st European Photovoltaic Solar Energy Conference & Exhibition, Dresden, Germany, 4.–8.9.2006

(¹: Laser Institut Mittelsachsen)

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

»Solar Cooling – an Overview of European Applications and Design Guidelines«, in: ASHRAE Journal, Vol. 48, No. 6, June 2006, pp. 14-22

(¹: Institute for Environmental Research & Sustainable Development, NOA, Athens, Greece)

(²: Technion Israel Institute of Technology, Haifa, Israel)

(³: Joanneum Research, Institute of Energy Research, Graz, Austria)

(⁴: University of Technology, Delft, The Netherlands)

Baumann, S.; Kray, D.; Mayer, K.; Eyer, A.; Willeke, G.

»Comparative Study of Laser Induced Damage in Silicon Wafers« in: Proceedings, 4th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, Waikoloa, Hawaii, USA, 7.–12.5.2006, CD-ROM

Becker, R.; Rommel, M.; Wittwer, C.

»Regelungstechnische Untersuchungen zur Vermeidung von Stillstandssituationen bei großen solartechnischen Anlagen«, in: Proceedings, OTTI Energie-Kolleg, 16. Symposium Thermische Solarenergie, Bad Staffelstein, Germany, 17.–19.5.2006

Benick, J.; Rentsch, J.; Schetter, C.; Voyer, C.; Biro, D.; Preu, R.

»PECVD PSG as a Dopant Source for Industrial Solar Cells«, in: Proceedings, 21st European Photovoltaic Solar Energy Conference & Exhibition, Dresden, Germany, 4.–8.9.2006, CD-ROM

Beyer, H.¹; Friesen, G.²; Gottschalg, R.³; Williams, S.³; Reise, C.; Guerin de Montgareuill, A.⁴; van de Borg, N.⁵; de Moor, H.⁵; Koloenny, W.⁶; Prorok, M.⁶; Tdanowicz, T.⁶; Herrmann, W.⁷; Huld, T.⁸; de Kaizer, C.⁹

»Vergleich von Verfahren zur Abschätzung der Jahreserträge unterschiedlicher PV-Technologien im Rahmen des Projektes Performance – Ergebnisse eines ersten »Round Robin« Tests«, in: Proceedings, OTTI Energie-Kolleg, 21. Symposium Photovoltaische Solarenergie, Bad Staffelstein, Germany, 8.–10.3.2006

(¹: Institut für Elektrotechnik, Hochschule Magdeburg-Stendal, Germany)

(²: Scuola Universitaria Professionale Svizzera Italiana, SUPSI, Lugano, Switzerland)

(³: Loughborough University Leicester, United Kingdom)

(⁴: Commissariat à l’Energie Atomique, CEA, Cadarache, France)

(⁵: Energy Research Center (ECN), Solar Energy, Petten, The Netherlands)

(⁶: University of Technology, Wroclaw, Poland)

(⁷: TÜV Rheinland, Köln, Germany)

(⁸: European Commission, DG JRC, Ispra, Italy)

(⁹: University Utrecht, The Netherlands)

Biro, D.; Preu, R.; Glunz, S.; Rein, S.; Rentsch, J.; Emanuel, G.; Brucker, I.; Faasch, T.; Faller, C.; Willeke, G.; Luther, J.

»PV-Tech: Photovoltaic Technology Evaluation Center – Design and Implementation of a Production Research Unit«, in: Proceedings, 21st European Photovoltaic Solar Energy Conference & Exhibition, Dresden, Germany, 4.–8.9.2006, CD-ROM

Bopp, G.; Gabler, H.¹; Haugwitz, F.²; Liu Hong³; Li Zhiming³; Müller, H.²; Steinhüser, A.

»PV Village Power Supply Systems in China – Results from a Technical Monitoring Campaign« in: Proceedings, 21st European Photovoltaic Solar Energy Conference & Exhibition, Dresden, Germany, 4.–8.9.2006, CD-ROM

(¹: Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung ZSW, Stuttgart, Germany)

(²: Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit, Beijing, China)

(³: Qinghai Provincial New Energy Research Institute, Xining, China)

Borchert, D.¹; Hanke, M.¹; Ban, Q.¹; Schmidt, K.¹; Rinio, M.¹

»Microcrystalline Silicon Films as Active Layers in Crystalline Silicon Solar Cells«, in: Proceedings, 21st European Photovoltaic Solar Energy Conference & Exhibition, Dresden, Germany, 4.–8.9.2006, CD-ROM

(¹: Fraunhofer ISE Labor- und Servicecenter Gelsenkirchen, Germany)

Borchert, D.; Riepe, S.; Kübler, R.¹;
Beinert, J.¹; Kraft, T.¹; Kleer, G.¹; Petri, S.²
»Influence of the Thermal Treatment During
the Saw Damage Etching Process on the
Mechanical Stability of Multicrystalline Silicon
Wafers«, in: Proceedings, IEEE 4th World
Conference on Photovoltaic Energy Conversion,
Waikoloa, Hawaii, USA, 7.–12.5.2006,
CD-ROM
(¹: Fraunhofer Institute für Werkstoffmechanik
IWM, Freiburg, Germany)
(²: Shell Solar Deutschland GmbH,
Gelsenkirchen, Germany)

Bryniok, D.¹; Dobers, K.²; Eiband, A.²;
Fuchs, D.³; Hauser, H.²; Roth, W.;
Sellmeier, C.³; Vielreicher, H.³; Wang, W.⁴
»BIKE Bayerische Initiative zur Konsortial-
bildung für internationale Entwicklungs-
projekte«, in: Tagungsband zur Abschlussver-
anstaltung zur Initiative BIKE, Munich,
Germany, 18.1.2006
(¹: Fraunhofer-Institut für Grenzflächen- und
Bioverfahrenstechnik IGB, Stuttgart, Germany)
(²: Fraunhofer-Institut für Materialfluss und
Logistik IML, Dortmund und Priem am
Chiemsee, Germany)
(³: Fraunhofer-Gesellschaft, European and
International Business Development, Munich,
Germany)
(⁴: Fraunhofer-Institut für Produktionsanlagen
und Konstruktionstechnik IPK, Berlin, Germany)

Burger, B.; Dimroth, F.; Siefert, G.;
Lerchenmüller, H.
»High-Concentration PV Using III-V Cells«, in:
Proceedings, IEEE 4th World Conference on
Photovoltaic Energy Conversion, Waikoloa,
Hawaii, USA, 7.–12.5.2006, CD-ROM

Diez, S.; Rein, S.; Roth, T.; Glunz, S.
»Analyzing Defects by Temperature- and
Injection-Dependent Lifetime Measurements«,
in: Proceedings, 21st European Photovoltaic
Solar Energy Conference & Exhibition, Dresden,
Germany, 4.–8.9.2006, CD-ROM

Diez, S.; Rein, S.; Glunz, S. W.
»Analyzing Multiple Defect Levels in Silicon by
Temperature- and Injection-Dependent Lifetime
Spectroscopy (T-IDLS)«, in: Proceedings,
16th Workshop on Crystalline Silicon Solar Cells
& Modules: Materials and Processes, Denver,
Colorado, USA, 6.–9.8.2006, pp. 181–184

Dimroth, F.; Baur, C.; Bett, A. W.; Köstler, W.¹;
Meusel, M.¹; Strobl, G.¹
»Thin 5 Junction Solar Cells with Improved
Radiation Hardness«, in: Proceedings, IEEE
4th World Conference on Photovoltaic Energy
Conversion, Waikoloa, Hawaii, USA,
7.–12.5.2006, CD-ROM
(¹: RWE Schott Solar GmbH, Alzenau,
Germany)

Ebert, G.
»Integrated Energy Systems« in: Proceedings of
CAE-Fraunhofer Workshop on Energy Efficient
Technology, Chinese Academy of Engineering,
Beijing, China, 29.6.2006

Ebert, G.
»Energy Efficiency in Photovoltaics« in:
Proceedings of CAE-Fraunhofer Workshop on
Energy Efficient Technology, Chinese Academy
of Engineering, Beijing, China, 29.6.2006

Eccarius, S.; Garcia, B.; Manurung, T.;
Weidner, J.; Hebling, C.
»Crossover Phenomena in Direct Methanol Fuel
Cells«, in: Proceedings Grove Fuel Cells, Fuel
Cell Science & Technology, Turin, Italy,
13.–14.9.2006

Ell, J.¹; Georg, A.
»Reasons for the Specific Kinetics of Switchable
Mirrors of Magnesium Nickel Films« in:
Proceedings, Photonics Europe, Strasbourg,
France, 3.–7.4.2006, Vol. 6197, pp. 61970
(¹: Freiburger Materialforschungszentrum FMF,
Freiburg, Germany)

Ell, J.¹; Georg, A.; Arntzen, M.²; Gombert, A.;
Graf, W.; Wittwer, V.
»Optical Investigation of the Hydrogenation
and Dehydrogenation Mechanism of
Evaporated MgNi Films«, in: Solar Energy
Materials and Solar Cells, to be published
(¹: Freiburger Materialforschungszentrum FMF,
Freiburg, Germany)
(²: PSE GmbH Forschung Entwicklung
Marketing, Freiburg, Germany)

Enge, O.¹; Clauss, C.¹; Schneider, P.¹;
Schwarz, P.¹; Vetter, M.; Schwunk, S.
»Quasi-stationary AC Analysis Using Phasor
Description With Modelica« in: Proceedings,
5th International Modelica Conference, Vienna,
Austria, 3.–4.9.2006
(¹: Fraunhofer Institut für Integrierte
Schaltungen IIS, Erlangen, Germany)

Erath, D.; Mette, A.; Hübner, G.¹
»Neue Siebdrucktechnologie erhöht den
Wirkungsgrad von Solarzellen«, in: Horizonte,
Nr. 29, Dezember 2006, pp. 24–26
(¹: Hochschule der Medien HdM Stuttgart,
Germany)

Erge, T.; Thoma, M.; Buchholz, B.
»Management von dezentralen
Erzeugungsanlagen in Verteilnetzen – eine
Lösung für die Praxis«, in: etz – Elektrotechnik
und Automation, Heft Nr.11, pp. 64–69

Gerteisen, D.; Walter, M.
»Charakterisierung von porösen Gasdiffusions-
elektroden in Polymer-Elektrolyt-Brennstoff-
zellen mit Hilfe der Impedanzspektroskopie in
einer Referenzelektrodenanordnung«, in:
Technische Mitteilungen 99, 2006 Heft 1/2,
pp.112–117, ISSN 0040-1439

Glunz, S.; Janz, S.; Hofmann, M.; Roth, T.;
Willeke, G.
»Surface Passivation of Silicon Solar Cells Using
Amorphous Silicon Carbide Layers«, in:
Proceedings, IEEE 4th World Conference on
Photovoltaic Energy Conversion, Waikoloa,
Hawaii, USA, 7.–12.5.2006, CD-ROM

Gölz, S.; Bopp, G.; Buchholz, B.¹; Pickhan, R.¹
»Waschen mit der Sonne – Direkter Verbrauch
von lokal erzeugtem PV-Strom durch gezielte
Lastverschiebung in Privathaushalten«, in:
Proceedings, OTTI Energie-Kolleg
21. Symposium Photovoltaische Solarenergie,
Bad Staffelstein, Germany, 8.–10.3.2006,
pp. 99–104
(¹: MVV Energie Mannheim, Germany)

Gölz, S.; Vogt, G.; Maigne, Y.¹; Mozas, K.¹
» Success Factors for Sustainable Private
Business Operation of Decentralised Rural
Electrification with PV – Results from the
Project »Delta PRO RES« In the Lower Delta
Mekong Countries«, in: Proceedings, 21st
European Photovoltaic Solar Energy Conference
& Exhibition, Dresden, Germany, 4.–8.9.2006,
CD-ROM
(¹: Fondation Energies pour le Monde
(FONDEM), Paris, France)

Gölz, S.; Maigne, Y.; Mozas, K.
»Bankabel Rural Electrification with Renewable
Energy Sources in Lower Delta Mekong
Countries«, in: Projektbroschüre des Projekts
DELTA PRO RES, June 2006

Goldschmidt, J.; Glunz, S.; Gombert A.;
Willeke, G.
»Advanced Fluorescent Concentrators«, in:
Proceedings, 21st European Photovoltaic Solar
Energy Conference & Exhibition, Dresden,
Germany, 4.–8.9.2006, CD-ROM

Gombert, A.
»Optically Functional Surfaces for Solar
Applications«, in: Proceedings, Eurosun 2006,
Glasgow, Scotland, 27.–30.6.2006,
to be published

Granek, F.; Hermle, M.; Fleischhauer, B.;
Grohe, A.; Schultz, O.; Glunz, S.; Willeke, G.
»Optimisation of Laser-Fired Aluminium
Emitters for High Efficiency N-Type Si Solar
Cells«, in: Proceedings, 21st European
Photovoltaic Solar Energy Conference &
Exhibition, Dresden, Germany, 4.–8.9.2006,
CD-ROM

Grohe, A.; Harmel, C.; Knorz, A.; Glunz, S.;
Preu, R.; Willeke, G.
»Selective Laser Ablation of Anti-Reflection
Coatings for Novel Metallization Techniques«,
in: Proceedings, IEEE 4th World Conference on
Photovoltaic Energy Conversion, Waikoloa,
Hawaii, USA, 7.–12.5.2006, CD-ROM

Grohe, A.; Fleischhauer, B.; Preu, R.;
Glunz, S. W.; Willeke, G. P.
»Boundary Conditions for Industrial Production
of LFC Cells«, in: Proceedings, IEEE 4th World
Conference on Photovoltaic Energy Conversion,
Waikoloa, Hawaii, USA, 7.–12.5.2006,
CD-ROM

Grohe, A.; Knorz, A.; Alemán, M.; Harmel, C.; Glunz, S. W.; Willeke, G. P.
 »Novel Low Temperature Front Side Metallization Scheme Using Selective Laser Ablation of Anti Reflection Coatings and Electroless Nickel Plating«, 21st European Photovoltaic Solar Energy Conference & Exhibition, Dresden, Germany, 4.–8.9.2006, CD-ROM

Grohe, A.; Catoir, J.; Fleischhauer, B.; Preu, R.; Glunz, S. W.; Willeke, G. P.; Schneiderlöchner, E.¹; Lüdemann, R.¹; Liu, J.²; Schramm, S.²; Trassl, R.²; Wieder, S.²
 »Boundary Conditions for the Industrial Production of LFC Cells – Results from the Joint Project INKA«, in: Proceedings, 21st European Photovoltaic Solar Energy Conference & Exhibition, Dresden, Germany, 4.–8.9.2006, CD-ROM
 (¹: Deutsche Cell GmbH, Freiberg/Sachsen, Germany)
 (²: Applied Materials GmbH & Co. KG, Alzenau, Germany)

Grohe, A.; Preu, R.; Glunz, S. W.; Willeke, G.
 »Laser Applications in Crystalline Silicon Solar Cell Production«, in: Proceedings, 21st Photovoltaic Europe, Strasbourg, France, 3.–7.4.2006

Gschwander, S.; Schossig, P.
 »Phase Change Slurries as Heat Storage Material for Cooling Applications«, in: Proceedings, Eurosun 2006, Glasgow, Scotland, 27.–30.6.06

Gschwander, S.; Schossig, P.
 »Paraffin Phase Change Slurries«, 7th Conference on Phase Change Materials, Dinan, France, 13.–15.9.2006

Guter, W.;
 »IV-Characterization of Devices Consisting of Solar Cells and Tunnel Diodes«, in: Proceedings, IEEE 4th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, Waikoloa, Hawaii, USA, 7.–12.5.2006, CD-ROM

Häberle, A.¹; Berger, M.¹; Luginsland, F.¹; Zahler, C.¹; Baitsch, M.; Henning, H. M.; Rommel, M.
 »Linear Concentrating Fresnel Collector for Process Heat Applications«, in: Proceedings, 13th Solar Paces International Symposium, Sevilla, Spain, 20.–23.6.2006, CD-ROM
 (¹: PSE GmbH Forschung Entwicklung Marketing, Freiburg, Germany)

Hausmann, T.¹; Schossig, P.
 »PCM-aktiv: A project for activ driven construction materials with latent heat storage«, in: Proceedings, 7th Conference on Phase Change Materials and Slurries for Refrigeration and Air Conditioning, Dinan, France, 15.9.2006, pp. 167–174
 (¹: PSE GmbH Forschung Entwicklung Marketing, Freiburg, Germany)

Hausmann, T.¹; Schossig, P.
 »Baustoffe mit Phasenwechselmaterialien als Kältespeicher für energieeffiziente Gebäude«, in: Proceedings, Statusseminar – Thermische Energiespeicherung, Freiburg, Germany, 2./3.11.2006
 (¹: PSE GmbH Forschung Entwicklung Marketing, Freiburg, Germany)

Hebling, C.
 »Off-Grid Fuel Cell Systems for Outdoor Use«, in: Proceedings Small Fuel Cells Conference, Washington D.C., USA, 2.–4.4.2006

Hebling, C.
 »Fuel Cells for Portable Electronics: A Survey«, in: Proceedings Lucerne Fuel Cell Forum, Lucerne, Switzerland, 3.–6.7.2006

Hebling, C.
 »Brennstoffzellen in der Servicerobotik«, in: Tagungsunterlagen, f-cell 2006, Stuttgart, Germany, 25./26.9.2006

Henning, H.-M.
 »Solar Cooling and Air-Conditioning – Thermodynamic Analysis and Overview about Technical Solutions«, in: Proceedings, Eurosun 2006, Glasgow, Scotland, UK, 27.–30.6.2006 to be published

Henning, H.-M.; Häberle, A.¹; Guerra, M.²; Motta, M.³
 »Solar Cooling and Refrigeration with High Temperature Lifts – Thermodynamic Background and Technical Solution«, in: Proceedings, The Sustainable Mobility Challenge at the National Congress of the Italian Thermotechnical Association (ATI), University of Perugia, Perugia, Italy, 14.9.2006
 (¹: PSE GmbH Forschung Entwicklung Marketing, Freiburg, Germany)
 (²: ROBOUR SpA, Verdillino/Zingonia, Italy)
 (³: Politecnico di Milano, Italy)

Henning, H.-M.
 »Components and Systems – Overview and Thermodynamic Analysis«, in: Proceedings, Intersolar 2006, Freiburg, Germany, 22.6.2006, pp. 11–16

Henning, H.-M.
 »Solares Kühlen und Klimatisieren«, in: Tagungsband, 8. Internationales Symposium für Sonnenenergienutzung, Gleisdorf, Österreich, 6.–8.9.2006, pp. 195–207

Henning, H.-M.
 »Übersicht zum Einsatz von Adsorptionsmaterialien in der thermischen Energietechnik«, in: Proceedings, PTJ-Workshop zur Wärmespeicherung und -transformation mit mikro- und mesoporösen Adsorbentien, Technische Fachhochschule Wildau, Wildau, Germany, 19./20.9.2006; CD-ROM

Henning, H.-M.
 »Grundlegende Überlegungen zur Speicherung von Solarenergie zur Beheizung von Gebäuden«, in: Proceedings, PTJ-Workshop zur Wärmespeicherung und -transformation mit mikro- und mesoporösen Adsorbentien, Technische Fachhochschule Wildau, Wildau, Germany, 19./20.9.2006; CD-ROM

Henning, H.-M.
 »Neuer hoch-effizienter Sorptionsentfeuchter«, in: Proceedings, PTJ-Workshop zur Wärmespeicherung und -transformation mit mikro- und mesoporösen Adsorbentien, Technische Fachhochschule Wildau, Wildau, Germany, 19./20.9.2006; CD-ROM

Henning, H.-M.
 »Kälteanlagen für den Betrieb mit (Ab-)Wärme: Funktionsweise, Anlagen und Stand der Technik«, in: Proceedings, RENEXPO, Fachforum Solare Kühlung und Klimatisierung, Augsburg, Germany, 28.9.–1.10.2006; CD-ROM

Henning, H.-M.
 »Thermodynamische Grundlagen der solaren Kühlung – ein Weg zur Systemauswahl«, in: Proceedings, RENEXPO, Fachforum Solare Kühlung und Klimatisierung, Augsburg, Germany, 28.9.–1.10.2006

Henning, H.-M.
 »Solar Assisted Air-Conditioning of Buildings – an Overview«, Applied Thermal Engineering, www.sciencedirect.com, available online 27.9.2006

Henning, H.-M.; Schossig, P.; Lambrecht, K.; Mertz, G.
 »Wellness-Feeling – Was tun gegen die Hitze?«, in: Das Haus, Ausgabe EV – E 3516, Nr. 7/2006, pp. 50–58

Henning, H.-M.; Braun, R.; Lokurlu, A.; Noeres, P.
 »Solare Kühlung und Klimatisierung – Belüftung und Wärmerückgewinnung – Einführung«, in: KI Luft- und Kältetechnik, Vol. 6, Issue 2006, pp. 241–247

Herkel, S.; Pfaffert, J.; Löhnert, G.; Voss, K.; Wagner, A.
 »Energy Efficient Office Buildings – Result and Experiences from a Research and Demonstration Program in Germany«, in: Proceedings, Buildings Performance Congress, Messe Frankfurt, Germany, 27.4.2006

Hofmann, M.; Glunz, S.; Preu, R.; Willeke, G.
 »21%-Efficient Silicon Solar Cells Using Amorphous Silicon Rear Side Passivation«, in: Proceedings, 21st European Photovoltaic Solar Energy Conference & Exhibition, Dresden, Germany, 4.–8.9.2006, CD-ROM

Janz, S.; Reber, S.; Habenicht, H.; Lautenschlager, H.; Schetter, C.
 »Processing of C-Si Thin-Film Solar Cell on Ceramic Substrate with Conductive Sic Diffusion Barrier Layer«, in: Proceedings, IEEE 4th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, Waikoloa, Hawaii, USA, 7.–12.5.2006, CD-ROM

Janz, S.; Reber, S.; Habenicht, H.; Lindekugel, S.; Lautenschlager, H.; Schetter, C.; Lutz, F.
 »Solar Cell Processing of Recrystallized Wafer Equivalents on Low-Cost Ceramics«, in: Proceedings, 21st European Photovoltaic Solar Energy Conference & Exhibition, Dresden, Germany, 4.–8.9.2006, CD-ROM

- Janz, S.; Reber, S.; Glunz, S.
»Amorphous Sic: Applications for Silicon Solar Cells«, in: Proceedings, 21st European Photovoltaic Solar Energy Conference & Exhibition, Dresden, Germany, 4.–8.9.2006, CD-ROM
- Jaus, J.; Fleischfresser, U.; Peharz, G.; Dimroth, F.; Lerchenmüller, H.; Bett, A. W.
»Heat Sink Substrates for Automated Assembly of Concentrator Modules«, in: Proceedings, 21st European Photovoltaic Solar Energy Conference & Exhibition, Dresden, Germany, 4.–8.9.2006, CD-ROM
- Kaiser, R.
»Lifetime, Test Procedures and Recommendations for Optimal Operating Strategies for Lead-Acid-Batteries in Renewable Energy Systems – a Survey on Results From European Projects from the 5th Framework Programme«, in: Proceedings, 3rd European Conference PV-HYBRID and MINI-GRID, Aix-en-Provence, France, 11.–12.5.2006, pp. 125–130
- Kaiser, R.
»Geschlossene Bleibatterien«, in: Seminarband Wiederaufladbare Batteriesysteme, OTTI-Energie-Kolleg, Ulm, Germany, 3./4.5.2006, pp. 25–48
- Kaiser, R.
»Optimised battery management system to improve the storage lifetime in renewable energy systems«, in: Proceedings, 10th European Lead Battery Conference, Athens, Greece, 27.–29.9.2006
- Kaiser, R.; Schiffer, J.¹; Sauer, D. U.¹; Bindner, H.²; Cronin, T.²; Lundsager, P.²
»Model Prediction for Ranking Lead-Acid Battery According to their Expected Lifetime in Renewable Energy Systems and Autonomous Power Supply Systems«, in: Proceedings, 10th European Lead Battery Conference, Athens, Greece, 27.–29.9.2006
(¹: RWTH Aachen University, Electrochemical Energy Conversion and Storage Systems Group, Aachen, Germany)
(²: RISOE National Laboratory, Roskilde, Denmark)
- Kaiser, R.; Sauer, D. U.¹; Karden, E.²; Fricke, B.²; Blanke, H.¹; Thele, M.¹; Bohlen, O.¹; Schiffer, J.¹; Gerschler, J. B.¹
»Charging Performance of Automotive Batteries – an Underestimated Factor Influencing Lifetime and Reliable Battery Operation«, in: Proceedings, 10th European Lead Battery Conference, Athens, Greece, 27.–29.9.2006
(¹: RWTH Aachen University, Electrochemical Energy Conversion and Storage Systems Group, Aachen, Germany)
(²: Ford Reserach Center Aachen, Germany)
- Kalz, D.; Pfafferoth, J.; Schossig, P.; Herkel, S.
»Thermally Activated Building Systems Using Phase-Change Materials«, in: Proceedings, EuroSun 2006, Glasgow Caledonian University, Scotland, UK, 27.–30.6.2006
- Kalz, D.; Pfafferoth, J.; Schossig, P.; Herkel, S.
»Flächenkühlssysteme mit integrierten Phasenwechselmaterialien – Eine Simulationsstudie«, in: Proceedings, BauSIM 2006 – Erste Deutsch-Österreichische IBPSA Konferenz, Technische Universität München, Munich, Germany, 9.–11.10.2006, pp. 81–83
- Kalz, D.; Pfafferoth, J.; Herkel, S.
»Monitoring and Data Analysis of two Low Energy Office Buildings with a Thermo-active Building System (TABS)«, in: Proceedings, EPIC 2006 AIVC, 4th European Conference on Energy Performance and Indoor Climate in Buildings, Palais des Congrès, Lyon, France, 20.–22.11.2006
- Kiefer, K.; Warta, W.; Hohl-Ebinger, J.; Herrmann, W.; Heisterkamp, N.
»Optimisation of the Power Measurement of Silicon Photovoltaic Modules« in: Proceedings, 21st European Photovoltaic Solar Energy Conference & Exhibition, Dresden, Germany, 4.–8.9.2006, CD-ROM
- Klamouris, C.¹; Böttger, G.¹; Hübner, M.¹; Dreschmann, M.¹; Paulsson, K.¹; Bett, A. W.; Kueng, T.¹; Becker, J.¹; Freude, W.¹; Leuthold, J.¹
»Optically Powered Platform with Mb/s Transmission over a Single Fiber«, in: Proceedings, 32nd European Conference on Optical Communication, Cannes, France, 24.–28.9.2006, pp. 461–462
(¹: Universität Karlsruhe, Germany)
- Köber, M.; Hermle, M.; Isenberg, J.; Kasemann, M.¹; Cárdenes, H.; Warta, W.
»Analysis of the Effects Caused by Parameter Inhomogeneity with a 2D Modelling Tool Based on Circuit Simulation«, in: Proceedings, 21st European Photovoltaic Solar Energy Conference & Exhibition, Dresden, Germany, 4.–8.9.2006, CD-ROM
(¹: Freiburger Materialforschungszentrum FMF, Freiburg, Germany)
- Kontermann, S.; Emanuel, G.; Benick, J.; Preu, R.; Willeke, G.
»Characterisation of Silver Thick-Film Contact Formation on Textured Monocrystalline Silicon Solar Cells«, in: Proceedings, 21st European Photovoltaic Solar Energy Conference & Exhibition, Dresden, Germany, 4.–8.9.2006, CD-ROM
- Koschikowski, J.; Rommel, M.; Wiegand, M.; Rebmann, H.; Ebermeyer, M.; Hermle, M.
»Solar Thermally Driven Membrane Distillation for Small-Scale Desalination Plants«, in: Proceedings, Global Conference on Renewable Energy Approaches for Desert Regions, Amman, Jordan, 18.–22.9.2006
- Kramer, K.; Schüle, K.; Siems, T.; Schäfer, A.; Rommel, M.
»Wirkungsgradmessungen von Prozesswärmekollektoren bei Temperaturen bis 200 °C«, Tagungsband, 16. Symposium Thermische Solarenergie, Bad Staffelstein, 17.–19.5.2006, pp. 191–196
- Kray, D.; Schumann, M.; Eyer, A.; Willeke, G.; Kübler, R.¹; Beinert, J.¹; Kleer, G.¹
»Solar Wafer Slicing with Loose and Fixed Grains«, in: Proceedings, IEEE 4th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, Waikoloa, Hawaii, USA, 7.–12.5.2006, CD-ROM
(¹: Fraunhofer-Institut für Werkstoffmechanik IWM, Freiburg, Germany)
- Kray, D.; Schumann, M.; Schultz, O.; Bergmann, M.; Ettl, P.; Rentsch, J.; Eyer, A.; Willeke, G.
»Experimental Investigation of Wire Sawing Thin Multicrystalline Wafers«, in: Proceedings, 21st European Photovoltaic Solar Energy Conference & Exhibition, Dresden, Germany, 4.–8.9.2006, CD-ROM
- Kuhn, T.
»Solar control: Two New Systems and a General Evaluation Method for Facades with Venetian Blinds or other Solar Control Systems«, in: Tagungsband, Konferenz Bausim 2006 der deutschen Sektion der International Building Performance Simulation Association, Munich, Germany, 9.–11.10.2006, p. 108
- Kuhn, T.
»Thermischer und visueller Komfort – Leistungsmerkmale und Klassifizierung: Inhalt und Hintergründe zu den Normentwürfen prEN14500 und prEN14501«, in: Architektur und Sonnenschutz 9/2006, pp. 22–28
- Létay, G.¹; Hermle, M.; Bett, A. W.
»Simulating Single-Junction GaAs Solar Cells Including Photon Recycling«, in: Progress Photovoltaic: Research Application 2006, to be published
(¹: Synopsys LLC, Zürich, Switzerland)
Litterst, C.¹; Eccarius, S.; Hebling, C.; Zengerle, R.¹; Koltay, P.¹
»Novel Structure for Passive CO₂ Degassing in µDMFC«, in: Proceedings of 19th IEEE Conference on Micro Electro Mechanical Systems (IEEE-MEMS); Istanbul, Turkey, 22.–26.1.2006, pp. 102–105
(¹: Institut für Mikrosystemtechnik IMTEK, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Germany)
- Löckenhoff, R.; Dibowski, G.¹; Dimroth, F.; Meusel, M.²; van Riesen, S.; Bett, A. W.
»1000 Sun, Compact Receiver Based on Monolithic Interconnected Modules (MIMS)«, in: Proceedings, IEEE 4th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, Waikoloa, Hawaii, USA, 7.–12.5.2006, CD-ROM
(¹: Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), Bonn, Germany)
(²: RWE Space Solar Power GmbH, Heilbronn, Germany)
- Löckenhoff, R.; Wilde, J.; Dimroth, F.;
»Approaches to Large Area III-V Concentrator Receivers«, in: Proceedings, 21st European Photovoltaic Solar Energy Conference & Exhibition, Dresden, Germany, 4.–8.9.2006, CD-ROM

Lokurlu, A.; Buck, R.; Henning, H.-M.; Dötsch, C.

»Solarunterstützte Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung – Hybridsysteme im Trend«, in: KI Luft- und Kältetechnik, Vol. 9, Issue 2006, pp. 365–368

Mack, B.; Hermle, M.; Philipps, S.

»Simulation of the Tunneling Current in Heavily Doped Pn-Junctions«, in: Proceedings, 21st European Photovoltaic Solar Energy Conference & Exhibition, Dresden, Germany, 4.–8.9.2006, CD-ROM

Mette, A.; Schetter, C.; Wissen, D.¹; Lust, S.¹; Glunz, S.; Willeke, G.

»Increasing the Efficiency of Screen-Printed Solar Cells by Light-Induced Silver Plating«, in: Proceedings, IEEE 4th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, Waikoloa, Hawaii, USA, 7.–12.5.2006, CD-ROM
(¹: Q-Cells AG, Thalheim, Germany)

Mette, A.; Emanuel, G.; Erath, D.; Preu, R.; Willeke, G.

»High Efficiency on Large Area Screen Printed Silicon Solar Cells and Contacting High Sheet Resistance Emitters Using Hotmelt Ink«, in: Proceedings, 21st European Photovoltaic Solar Energy Conference & Exhibition, Dresden, Germany, 4.–8.9.2006, CD-ROM

Mette, A.; Richter, P.; Glunz, S.; Willeke, G.

»Novel Metal Technique for the front Side Metallization of Highly Efficient Industrial Silicon Solar Cells«, in: Proceedings, 21st European Photovoltaic Solar Energy Conference & Exhibition, Dresden, Germany, 4.–8.9.2006, CD-ROM

Morin, G.; Platzer, W.; Eck, M.¹; Uhlig, R.¹; Häberle, A.²; Berger, M.²; Zarza, E.³

»Road Map Towards the Demonstration of a Linear Fresnel Collector Using a Single Tube Receiver«, in: Proceedings-CD, 13th Solar Paces International Symposium, Seville, Spain, 20.–23.6.2006, CD-ROM

(¹: Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), Stuttgart, Germany)

(²: PSE GmbH Forschung Entwicklung Marketing, Freiburg, Germany)

(³: Plataforma Solar de Almería, PSA, Tabernas, Spain)

Motta, M.¹; Aprile, M.¹; Henning, H.-M.

»Highly Efficient Solar Assisted Sorption System for Airconditioning of Buildings«, in: Tagungsband 8. Internationales Symposium für Sonnenenergienutzung, Gleisdorf, Österreich, 6.–8.9.2006; pp. 209–218

(¹: Dipartimento di Energetica, Politecnico di Milano, Italy)

Nytsch-Geusen, C.¹; Ernst, T.¹; Nordwig, A.¹; Schwarz, P.²; Schneider, P.²; Vetter, M.; Wittwer, C.; Holm, A.³; Nouidui, T.³; Leopold, J.⁴; Schmidt, G.⁴; Mattes, A.⁵

»Advanced Modeling and Simulation Techniques in MOSILAB: A System Development Case Study«, in: Proceedings, 5th International Modelica Conference Wien, 3./4.10.2006

(¹: Fraunhofer-Institut für Rechnerarchitektur und Softwaretechnik FIRST, Berlin, Germany)

(²: Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen IIS, Erlangen, Germany)

(³: Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP, Stuttgart, Germany)

(⁴: Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU, Chemnitz, Germany)

(⁵: Fraunhofer-Institut für Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik IPK, Berlin, Germany)

Nytsch-Geusen, C.¹; Nordwig, A.¹; Vetter, M.; Wittwer, C.; Nouidui, T.²; Schneider, P.³

»MOSILAB: Ein Modelica-Simulationswerkzeug zur energetischen Gebäude- und Anlagensimulation«, in: Proceedings, OTTI Energie-Kolleg, 16. Symposium Thermische Solarenergie, Bad Staffelstein, Germany, 17.–19.5.2006

(¹: Fraunhofer-Institut für Rechnerarchitektur und Softwaretechnik FIRST, Berlin, Germany)

(²: Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP, Stuttgart, Germany)

(³: Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen IIS, Erlangen, Germany)

Ortiz, B.

»Can Carbon Credits Contribute to Finance Projects for Rural Development«, in: Proceedings, 21st European Photovoltaic Solar Energy Conference & Exhibition, Dresden, Germany, 4.–8.9.2006, pp. 3061–3066

Ortiz, B.

»Can Carbon Credits Contribute to Finance Projects for Rural Development«, in: Proceedings, 3rd European Conference PV-HYBRID and MINI-GRID, Aix-en-Provence, France, 11.–12.5.2006, pp. 230–236

Pearsall, N.¹; Scholz, H.²; Zdanowicz, T.³; Reise, C.

»PV System Assessment in PERFORMANCE – towards Maximum System Output«, in: Proceedings, 21st European Photovoltaic Solar Energy Conference & Exhibition, Dresden, Germany, 4.–8.9.2006

(¹: University of Northumbria, Newcastle, United Kingdom)

(²: Institute for Environment and Sustainability, Ispra, Italy)

(³: University of Technology, Wroclaw, Poland)

Pfafferott, J.; Herkel, S.; Kalz, D.; Zeuschner, A.

»Comparison of Low-Energy Office Buildings in Summer Using Different Thermal Comfort Criteria«, in: Proceedings, NCEUB Network for Comfort and Energy Use in Buildings, Windsor, United Kingdom, 27.–30.4.2006

Pfafferott, J.; Herkel, S.; Kalz, D.; Zeuschner, A.

»Comparison of Low-Energy Office Buildings in Summer Using Different Thermal Comfort Criteria«, in: Proceedings, Healthy Buildings 2006, Lisbon, Portugal, 4.–8.6.2006

Pfanner, N.; Roth, W.

»Anwendungen – Photovoltaik in der Beleuchtungstechnik«, in: Tagungsband, OTTI Energie-Kolleg, Fachseminar Netzferne Stromversorgung mit Photovoltaik, Freiburg, Germany, 27./28.9.2006, pp. 317–386

Platzer, W.; Pitz-Paal, R.¹

»Solarthermische Kraftwerke – Europäische Potenziale kostengünstig erschließen«, in: Tagungsband, Jahrestagung 2006 des Forschungsverbunds Sonnenenergie, Forschung und Innovation für eine nachhaltige Energieversorgung, Berlin, Germany 21./22.9.2006

(¹: Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. DLR)

Preu, R.; Biro, D.; Rentsch, J.; Emanuel, G.; Grohe, A.; Hofmann, M.

»The Status of Silicon Solar Cell Production Technology Development at Fraunhofer ISE«, in: Proceedings, IEEE 4th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, Waikoloa, Hawaii, USA, 7.–12.5.2006, CD-ROM

Reber, S.; Duerinckx, F.¹; Alvarez, M.²; Garrard, B.³; Schulze, F. W.⁴

»EU Project SWEET on Epitaxial Wafer Equivalents: Results and Future Topics of Interest«, in: Proceedings, 21st European Photovoltaic Solar Energy Conference & Exhibition, Dresden, Germany, 4.–8.9.2006, CD-ROM

(¹: IMEC Leuven, Belgium)

(²: Aplicaciones Técnicas de la Energía, SL (ATERSA), Spain)

(³: Crystalox Ltd., Wantage, United Kingdom)

(⁴: PV Silicon AG, Erfurt, Germany)

Reise, C.; Ebert, G.; Köhl, M.; Herrmann, W.¹; Stellbogen, D.²; Gabler, H.²; Pearsall, N.³; Gottschalg, R.⁴; de Moor, H.⁵; Despotou, E.⁶; Dunlop, E.⁷

»PERFORMANCE – a Science Base on PV Performance for Increased Market Transparency and Customer Confidence«, in: Proceedings, 21st European Photovoltaic Solar Energy Conference & Exhibition, Dresden, Germany, 4.–8.9.2006, CD-ROM

(¹: TÜV Immisionsschutz und Energiesysteme GmbH, Cologne, Germany)

(²: Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung (ZSW) Baden-Württemberg, Stuttgart, Germany)

(³: University of Northumbria, Newcastle, United Kingdom)

(⁴: Loughborough University, United Kingdom)

(⁵: Energy Research Center (ECN), Solar Energy, Petten, The Netherlands)

(⁶: European PV Industry Association, Brussels, Belgium)

(⁷: European Commission, DG JRC, Ispra, Italy)

- Rentsch, J.; Schultz, O.; Grohe, A.; Biro, D.; Preu, R.; Willeke, G.
 »Technology Route Towards Industrial Application of Rear Passivated Silicon Solar Cells«, in: Proceedings, IEEE 4th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, Waikoloa, Hawaii, USA, 7.–12.5.2006, CD-ROM
- Riede, M.¹; Liehr, A.¹; Glatthaar, M.¹; Niggemann, M.¹; Zimmermann, B.¹; Ziegler, T.; Gombert, A.; Willeke, G.
 »Datamining and Analysis of the Key Parameters in Organic Solar Cells«, in: Proceedings, Photonics Europe, Strasbourg, France, 3.–7.4.2006
 (1: Fraunhofer Materialforschungszentrum FMF, Freiburg, Germany)
- Roth, W.; Bryniok, D.¹; Dobers, K.²; Eiband, A.²; Fuchs, D.³; Hauser, H.²; Sellmeier, C.³; Vielreicher, H.³; Wang, W.⁴
 »BIKE - Bayerische Initiative zur Konsortialbildung für internationale Entwicklungsprojekte«, in: Tagungsunterlagen zur Abschlussveranstaltung der Bayerischen Initiative zur Konsortialbildung für internationale Entwicklungsprojekte, Munich, Germany, 18.1.2006
 (1: Fraunhofer-Institut für Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik IGB, Stuttgart, Germany)
 (2: Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik IML, Dortmund und Priem am Chiemsee, Germany)
 (3: Fraunhofer-Gesellschaft, European and International Business Development, Munich, Germany)
 (4: Fraunhofer-Institut für Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik IPK, Berlin, Germany)
- Roth, W.
 »Netzferne Stromversorgung mit Photovoltaik – Einführung«, in: Tagungsband, OTTI Energie-Kolleg, Grundlagenworkshop Netzferne Stromversorgung mit Photovoltaik, Freiburg, Germany, 26.9.2006, pp. 9–54
- Roth, W.; Reise, Ch.
 »Grundlagen zur Nutzung der Sonnenenergie«, in: Tagungsband, OTTI Energie-Kolleg, Grundlagenworkshop Netzferne Stromversorgung mit Photovoltaik, Freiburg, Germany, 26.9.2006, pp. 55–83
- Roth, W.
 »Anwendungen – Industrieprodukte und technische Einrichtungen«, in: Tagungsband, OTTI Energie-Kolleg, Fachseminar Netzferne Stromversorgung mit Photovoltaik, Freiburg, Germany, 27./28.9.2006, pp. 387–438
- Schöne, J.; Dimroth, F.; Bett, A.; Tauzin, A.¹; Jaussaud, C.¹; Roussin, J.-C.¹
 »III-V Solar Cell Growth on Wafer-Bonded GaAs/Si-Substrates«, in: Proceedings, IEEE 4th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, Waikoloa, Hawaii, USA, 7.–12.5.2006, CD-ROM
 (1: Commissariat à l’Energie Atomique (CEA), Grenoble, France)
- Schmidt, H.; Burger, B.; Kiefer, K.
 »Welcher Wechselrichter für welche Modultechnologie?«, in: Tagungsband, OTTI Energie-Kolleg, 21. Symposium Photovoltaische Solarenergie, Bad Staffelstein, Germany, 8.–10.3.2006, pp. 220–225
- Schmidt, H.; Roth, W.
 »Aufbau und Funktionsweise von Solarzelle, Modul und Solargenerator«, in: Tagungsband, OTTI Energie-Kolleg, Grundlagenworkshop Netzferne Stromversorgung mit Photovoltaik, Freiburg, Germany, 26.9.2006, pp. 85–137
- Schmidt, H.; Burger, B.; Kiefer, K.
 »Welcher Wechselrichter für welche Dünnschichttechnologie?«, in: Tagungsband, OTTI Energie-Kolleg, Fachseminar Dünnschicht-Photovoltaikmodule, Freiburg, Germany, 20.6.2006, pp. 57–84
- Schmidt, H.
 »Elektromagnetische Verträglichkeit«, in: Tagungsband, OTTI Energie-Kolleg, Fachseminar Leistungselektronik für erneuerbare Energiesysteme, Regenstauf, Germany, 6./7.7.2006, pp. 199–228
- Schmidt, H.; Kaiser, R.; Sauer, D.-U.¹
 »Batterien in netzfernen Stromversorgungsanlagen«, in: Tagungsband, OTTI Energie-Kolleg, Fachseminar Netzferne Stromversorgung mit Photovoltaik, Freiburg, Germany, 27./28.9.2006, pp. 59–116
 (1: RWTH Aachen, ISEA)
- Schmidt, H.
 »Laderegler und Überwachungseinrichtungen für Batterien in photovoltaischen Energieversorgungssystemen«, in: Tagungsband, OTTI Energie-Kolleg, Fachseminar Netzferne Stromversorgung mit Photovoltaik, Freiburg, Germany, 27./28.9.2006, pp. 117–138
- Schmidt, H.
 »EMV-Messverfahren für PV und EMV-gerechtes Schaltungsdesign«, in: Tagungsband, OTTI Energie-Kolleg, Profiseminar EMV und Blitzschutz für Solaranlagen, Regensburg, Germany, 22./23.11.2006, pp. 35–64
- Schönfelder, S.¹; Bagdahn, J.¹; Baumann, S.; Kray, D.; Mayer, K.; Willeke, G.; Becker, M.²; Christiansen, S.²
 »Strength Characterization of Laser Diced Silicon for Application in Solar Industry«, in: Proceedings, 21st European Photovoltaic Solar Energy Conference & Exhibition, Dresden, Germany, 4.–8.9.2006, CD-ROM
 (1: Fraunhofer-Institut für Werkstoffmechanik IWM, Halle, Germany)
 (2: Martin-Luther Universität Halle-Wittenberg, Germany)
- Schubert, M.; Riepe, S.; Warta, W.
 »Spatially Resolved Trapping Detection and Correlation with Material Quality in Multicrystalline Silicon«, in: Proceedings, 21st European Photovoltaic Solar Energy Conference & Exhibition, Dresden, Germany, 4.–8.9.2006, CD-ROM
- Schultz, O.; Rentsch, J.; Grohe, A.; Glunz, S.; Willeke, G.
 »Dielectric Rear Surface Passivation for Industrial Multicrystalline Silicon Solar Cells«, in: Proceedings, IEEE 4th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, Waikoloa, Hawaii, USA, 7.–12.5.2006, CD-ROM
- Schultz, O.; Glunz, S.; Warta, W.; Preu, R.; Grohe, A.; Hermle, M.; Willeke, G.; Russel, R.¹; Fernandez, J.¹; Morilla; C.¹; Bueno, R.¹; Vincueria, I.¹
 »High-Efficiency Solar Cells with Laser-Grooved Buried Contact Front and Laser-Fired Rear for Industrial Production«, in: Proceedings, 21st European Photovoltaic Solar Energy Conference & Exhibition, Dresden, Germany, 4.–8.9.2006, CD-ROM
 (1: BP Solar España, Poligono Industrial Tres Cantos, Madrid, Spain)
- Schultz, O.; Glunz, S.; Riepe, S.; Willeke, G.
 »Gettering of Multicrystalline Silicon for High-Efficiency Solar Cells«, in: Proceedings, 21st European Photovoltaic Solar Energy Conference & Exhibition, Dresden, Germany, 4.–8.9.2006, CD-ROM
- Sicre, B.
 »La Micro-Cogénération Bois: État de la Technique et Perspectives«, in: Proceedings, Capteur 2006, Bourges, France, 18./19.10.2006
- Sicre, B.; Reynier, B.; Bühring, A.
 »La Maison Solaire Énergétiquement Autarcique de Fribourg-en-Brisgau: Retour d’Expérience et Conséquences sur les Systèmes Énergétiques Actuels«, in: Proceedings, Capteur 2006, Bourges, France, 18./19.10.2006
- Siefer, G.; Bett, A. W.
 »Calibration of III-V Concentrator Cells and Modules«, in: Proceedings, IEEE 4th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, Waikoloa, Hawaii, USA, 7.–12.5.2006, CD-ROM
- Siefer, G.; Bett, A. W.
 »Accelerated Indoor Aging Test Procedure for Concentrator Modules«, in: Proceedings, 21st European Photovoltaic Solar Energy Conference & Exhibition, Dresden, Germany, 4.–8.9.2006, CD-ROM
- Smolinka, T.; Grootjes, S.¹; Mahlendorf, F.²; Hesselmann, J.; Makkus, R.¹
 »Prototype of a Reversible Fuel Cell System for Autonomous Power Supplies«, in: Proceedings, 3rd European PV-Hybrid and Mini-Grid Conference, OTTI Energie-Kolleg, Aix-en-Provence, France, 11.–12.5.2006, pp. 131–136
 (1: Energy Research Center of the Netherlands (ECN), The Netherlands)
 (2: Universität Duisburg-Essen, Germany)

Strobl, G.¹; Bergunde, T.¹; Köstler, W.¹;
Kern, R.¹; Meusel, M.¹; LaRoche, G.¹;
Zimmermann, W.¹; Dimroth, F.; Geens, W.²;
Taylor, S.³; Fernandez, E.³; Gerlach, L.³;
Signorini, C.³; Hey, G.⁴

»European Roadmap of Multijunction Solar Cells and Qualification Status«, in: Proceedings, IEEE 4th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, Waikoloa, Hawaii, USA, 7.–12.5.2006

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

(²: Umicore, Olen, Belgium)

(³: European Space Agency, ESA, Noordwijk, The Netherlands)

(⁴: Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), Bonn, Germany)

Trassl, R.¹; Ratschat, H.¹; Daube, C.¹;
Wieder, S.¹; Wolke, W.; Preu, R.

»Successful Market Entry of Applied Materials' ATON (TM) System for sputtered SiN:H«, in: Proceedings, 21st European Photovoltaic Solar Energy Conference & Exhibition, Dresden, Germany, 4.–8.9.2006, CD-ROM

(¹: Applied Materials GmbH & Co. KG, Alzenau, Germany)

Vogt, A.; Peharz, G.; Jaus, J.; Bösch, A.;

»Degradation Studies on Flatcon Modules and Assemblies«, in: Proceedings, 21st European Photovoltaic Solar Energy Conference & Exhibition, Dresden, Germany, 4.–8.9.2006, CD-ROM

Volz, K.¹; Lackner, D.¹; Rubel, O.¹; Stolz, W.¹;
Baur, C.; Dimroth, F.; Müller, S.; Bett, A.

»Improving the Material Quality of MOVPE Grown (GaIn) (NAS)«, in: Proceedings, 21st European Photovoltaic Solar Energy Conference & Exhibition, Dresden, Germany, 4.–8.9.2006, CD-ROM

(¹: Materialforschungszentrum und Physikalische Fakultät, Phillips Universität, Marburg, Germany)

Voyer, C.; Biro, D.; Wagner, K.; Benick, J.;
Preu, R.

»Fabrication of Textured Solar Cells Using Sprayed Phosphoric Acid as the Dopant Source for the In-Line Emitter Diffusion«, in: Proceedings, 21st European Photovoltaic Solar Energy Conference & Exhibition, Dresden, Germany, 4.–8.9.2006, CD-ROM

Walze, G.; Gombert, A.; Nitz, P.; Blaesi, B.

»Rigorous Validation of the Lateral Goos-Hänchen Shift in Microstructured Sun Shading Systems«, in: Proceedings, Photonics Europe, Strasbourg, France, 3.–7.4.2006

Welser, E.; Dimroth, F.; Ohm, A.; Guter, W.;
Siefer, G.; Schöne, J.; Polchoniadis, E.K.¹

»Lattice-Matched GaInAsSb on GaSb for TPV Cells«, in: Proceedings, 7th World Thermophotovoltaic Generation of Electricity (TPV) Conference, Madrid, Spain, 25.–27.9.2006

(¹: Aristotle University of Thessaloniki, Greece)

Wiemken, E.; Henning, H.-M.

»Solar Assisted Air-Conditioning in the Frame of the German Solarthermie 2000Plus Programme«, in: Proceedings, The Sustainable Mobility Challenge at the National Congress of the Italian Thermotechnical Association (ATI), University of Perugia, Italy, 14.9.2006

Wilson, H. R.

»High-Performance Glazing«, in: Proceedings, ISES International Summer Workshop Solar-Low-Energy Housing in Europe, Freiburg, Germany, 11.–19.8.2006

Wittwer, C.; Becker, R.

»Modellbasierte Ertragskontrolle von PV-Anlagen in Gebäuden«, in: Tagungs-CD, Internationales Kolloquium über Anwendungen in der Informatik und Mathematik in der Architektur, Universität Weimar, Germany, 12.–14.7.2006

Yu, H.¹; Ziegler, C.

»Transcient Behaviour of a Proton Exchange Membrane Fuel Cell under Dry Operation«, in: Journal of the Electrochemical Society JES (¹: Dalian Institute of Chemical Physics, Chinese Academy of Sciences, Dalian, China)

Zacharias, P.; Schmid, J.¹; Schweizer-Ries, P.²;
Ortiz, B.; Vetter, M.

»Export erneuerbare Energietechniken – Ländliche Elektrifizierung«, in: Tagungsband zur Jahrestagung des Forschungsverbunds Sonnenenergie Forschung und Innovation für eine nachhaltige Energieversorgung, 21.–22.09.2006
(¹: Institut für Solare Energietechnik ISET, Kassel, Germany)
(²: Universität Magdeburg, Germany)

Zastrow, A.

»The Evaluation of Photocatalytic Activity: Measurement Techniques and Standardisation Tools for a New Range of Products and Rapidly Growing Industry«, in: Tagungsband, DECHEMA, Frankfurt, Germany, 15.–19.5.2005

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

»ITO-Free Anode Wrap Through Organic Solar Cells – a Module Concept for Cost Efficient Reel to Reel Production«, in: Solar Energy: Materials and Solar Cells
(¹: Freiburger Materialforschungszentrum FMF, Freiburg, Germany)

Bücher und Beiträge zu Büchern

Hebling, C.

»Brennstoffzellen für Portable Anwendungen«, in: Brennstoffzellen, Hrsg. Heinzel, A.; Roes, J.; Mahlendorff, F., Huethig Verlag (2006), pp. 105-119
ISBN 3-7880-7741-7

Kaiser, R.; Henning, H.-M.; Schossig, P.

»Energiespeicher« in: Technologieführer – Grundlagen, Anwendungen, Trends, Bullinger, H.-J. (ed.), Springer Verlag, 2006
ISBN 3-540-33788-1

Ortiz, B.

»Energiebedarf in ländlichen Gebieten Mexikos und die Verminderung von CO₂-Emissionen« in: Ökologische Transformation der Energiewirtschaft, Erfolgsbedingungen und Restriktionen, Hrsg: Dipl.-Pol. Misha Bechberger, Dr. phil. Danyel Reiche, Erich Schmidt Verlag, 2006, Berlin, pp. 139-158, ISBN-13: 978 3 503 09303 7, ISBN-10: 3 503 09313 3, ISSN: 1438-5023

Reber, S.; Kieliba, T.; Bau, S.

»Crystalline Silicon Thin-Film Solar Cells on Foreign Substrates by High-Temperature Deposition and Recrystallization« in: Thin-Film Solar Cells: Fabrication, Characterization and Applications, Arkhipov, V.; Poortmans, J. (ed.), published by John Wiley and Sons, 2006, pp. 39-95.
ISBN 0-470-09126-6

Forschung für die Praxis ist die zentrale Aufgabe der Fraunhofer-Gesellschaft. Die 1949 gegründete Forschungsorganisation betreibt anwendungsorientierte Forschung für die Wirtschaft und zum Vorteil der Gesellschaft. Vertragspartner und Auftraggeber sind Industrie- und Dienstleistungsunternehmen sowie die öffentliche Hand. Im Auftrag von Ministerien und Behörden des Bundes und der Länder werden zukunftsrelevante Forschungsprojekte durchgeführt, die zu Innovationen im öffentlichen Nachfragebereich und in der Wirtschaft beitragen.

Die Wirkung der angewandten Forschung geht über den direkten Nutzen für die Kunden hinaus: Mit ihrer Forschungs- und Entwicklungsarbeit tragen die Fraunhofer-Institute zur Wettbewerbsfähigkeit der Region, Deutschlands und Europas bei. Sie fördern Innovationen, stärken die technologische Weiterentwicklung, verbessern die Akzeptanz moderner Technik und sorgen auch für Information und Weiterbildung des dringend benötigten wissenschaftlich-technischen Nachwuchses.

Ihren Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern bietet die Fraunhofer-Gesellschaft die Möglichkeit zur fachlichen und persönlichen Entwicklung für anspruchsvolle Positionen in ihren Instituten, in anderen Bereichen der Wissenschaft, in Wirtschaft und Gesellschaft. Studentinnen und Studenten an Fraunhofer-Instituten eröffnen sich wegen der praxisnahen Ausbildung und Erfahrung hervorragende Einstiegs- und Entwicklungschancen in Unternehmen.

Die Fraunhofer-Gesellschaft betreibt derzeit mehr als 80 Forschungseinrichtungen, davon 56 Institute, an 40 Standorten in ganz Deutschland. 12 500 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, überwiegend mit natur- oder ingenieurwissenschaftlicher Ausbildung, bearbeiten das jährliche Forschungsvolumen von 1,2 Milliarden €. Davon fallen mehr als 1 Milliarde € auf den Leistungsbereich Vertragsforschung. Zwei Drittel dieses Leistungsbereichs erwirtschaftet die Fraunhofer-Gesellschaft mit Aufträgen aus der Industrie und mit öffentlich finanzierten Forschungsprojekten. Nur ein Drittel wird von Bund und Ländern als Grundfinanzierung beigesteuert, damit die Institute Problemlösungen erarbeiten können, die erst in fünf oder zehn Jahren für Wirtschaft und Gesellschaft aktuell werden.

Niederlassungen in Europa, in den USA und in Asien sorgen für Kontakt zu den wichtigsten gegenwärtigen und zukünftigen Wissenschafts- und Wirtschaftsräumen.

Namensgeber der als gemeinnützig anerkannten Fraunhofer-Gesellschaft ist der Münchner Gelehrte Joseph von Fraunhofer (1787–1826), der als Forscher, Erfinder und Unternehmer gleichermaßen erfolgreich war.

Redaktion

Rosemarie Becker
Karin Schneider (Leitung)
Presse und Public Relations

Externe Fotografen

Michael Eckmann, Freiburg
Sebastian Ehret, Freiburg
Sigrid Gombert, Freiburg
Eisenhart Keimeyer, Freiburg
Guido Kirsch, Freiburg
Jens Meier, Bremen
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, 2007

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