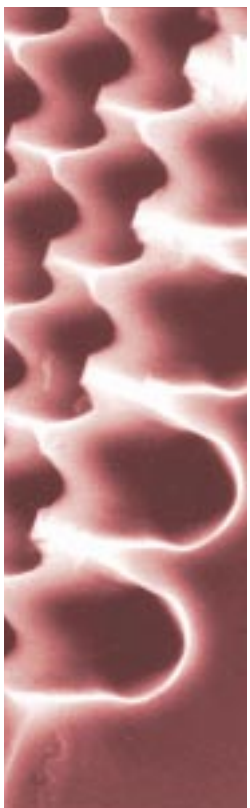
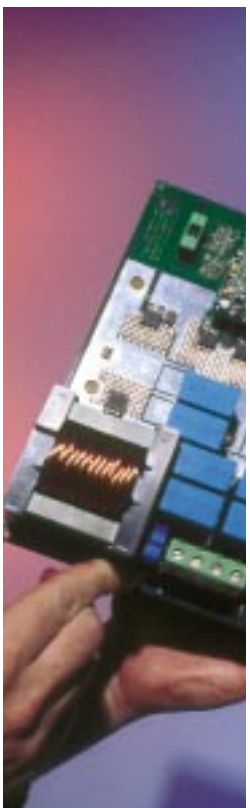
ISE

Fraunhofer Institut
Solare Energiesysteme

Jahresbericht 2004

Leistungen und Ergebnisse





links
Oberflächentextur der multikristallinen Weltrekord-Solarzelle mit 20,3% Wirkungsgrad. Die Textur führt zu einer starken Verbesserung des Lichteinfangs. Die »Schallmauer« von 20% Wirkungsgrad wurde mit Hilfe dieser Oberflächenstruktur und eines neu entwickelten Solarzellenprozesses durchbrochen (Beitrag Seite 34).

Mitte
Neuentwicklung eines bidirektionalen DC/DC-Wandlers zur Kopplung von Brennstoffzellen und Elektrolyseuren an Batteriesysteme. Das innovative Bauteil- und Schaltungskonzept zeichnet sich gegenüber herkömmlichen Wandlern durch einen wesentlich höheren Wirkungsgrad und eine hohe räumliche Leistungsdichte aus. Die mit einem digitalen Signalprozessor (DSP) realisierte Regelung ermöglicht einen flexiblen Einsatz auch als unidirektionaler Wandler z. B. als PV-Laderegler oder als Leistungsregler von Elektrolyseuren und Brennstoffzellen (Beitrag Seite 54).

rechts
Mikroskopische Aufnahme einer Membran-Elektroden-Einheit für eine PEM-Brennstoffzelle. Das Bild entstand mit Hilfe eines Environmental Scanning Electron Microscope ESEM, welches Messungen in Wasserdampfatmosphäre erlaubt. Auf diese Weise können die hydrophilen (Bereiche mit großen Wassertropfen) und die hydrophoben (Bereiche mit kleinen Wassertropfen) Eigenschaften des Katalysators und der Membran untersucht werden.

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

Inhaltsverzeichnis

Vorwort 4

Organisationsstruktur 6

Das Institut im Profil 8

Das Institut in Zahlen 9

Höhepunkte des Jahres 2004 10

Kuratorium 12

Gebäude und technische Gebäudeausrüstung 14
- Photochromes Fenstersystem für die Fassadenanwendung 18
- Optisch schaltbare Spiegel 19
- Baustoffe mit integriertem Latentwärmespeicher 20
- Wärmeträgerflüssigkeiten mit integriertem Phasenwechselmaterial 21
- Adsorptionstechnik zum Heizen und Kühlen 22
- Solare Gebäudeklimatisierung 24
- Neuer Edelstahlbehang für den Sonnenschutz 25
- Entwicklung neuer Blendschutzkriterien 26
- Solare Gebäude in der Praxis 27
- Gebäude mit dem Nutzer optimieren 28
- Haustechnik für zukunftsfähige Wohngebäude 29

Solarzellen 30
- Hocheffiziente Solarzellen aus multikristallinem Silicium 34
- Trend zu großflächigen Silicium-Solarzellen 37
- Technologie-Entwicklung für die Produktion von dünnen und hocheffizienten Silicium-Solarzellen 38
- Silicium-Heterosolarzellen auf industrierelevanten Substratgrößen 39
- Hochdurchsatz-Siliciumepitaxie für Dünnschichtsolarzellen 40
- III-V Photovoltaikzellen und PV-Empfängermodule für optisch konzentrierende Photovoltaik-Systeme 42
- Fertigungstechnologie für Farbstoff- und Organische Solarzellen 44
- Neues Messverfahren für die örtliche Verteilung von Defekten in Siliciumwafern 45
- Untersuchung der Modulgebrauchsdauer: Neuer Teststand zur UV-Alterung 46
- Laserlöten von kristallinen Solarzellen 47

Netzunabhängige Stromversorgungen 48
- Monitoring von Dorfstromversorgungsanlagen in China 52
- Erschließung erneuerbarer Energieträger als Basis für die regionale Wirtschaftsentwicklung 53
- Hocheffiziente DC/DC-Wandler 54
- Optimale Batterie-Auswahl für autarke Stromversorgungssysteme 55
- Langzeiterfahrungen von Brennstoffzellen im Feldbetrieb 56
- Innovatives Energiemanagementsystem für autarke PV-Hybridsysteme 57

Regenerative Stromerzeugung im Netzverbund 58
- Höhere Erträge durch verbesserte Auslegung der Wechselrichterleistung 62
- PoMS – ein Energiemanagementsystem für Niederspannungsnetze mit dezentraler Stromerzeugung 63
- Garantierte Erträge bei solaren Großkraftwerken 65
- Geometrieoptimierung von solarthermischen Fresnel-Kollektoren 67

Fakten im Überblick

Wasserstofftechnologie 68
- Charakterisierung von Brennstoffzellen 72
- Mikro-Brennstoffzellensystem für einen breiten Temperaturbereich 74
- Optimierung von Membran-Elektroden-Einheiten für die Elektrolyse 76
- Neues Verfahren zur Verdampfung von Diesel 77
- Integration eines Erdgas-Dampf-reformers in ein Brennstoffzellen-Blockheizkraftwerk 78
- Wasserstofferzeugung aus Diesel für die Stromversorgung an Bord von Schiffen 79

Besondere Kompetenzbereiche 80
- Optische Modellierung mikro-strukturierter Oberflächen im refraktiv-diffraktiven Übergangsbereich 82
- Entwicklung kleiner kompakter Meerwasserentsalzungssysteme 84
- Dezentrale Trinkwasserversorgung in netzfernen Regionen 86

Servicebereiche 88
- ISE CalLab: Kalibrieren von Solarzellen und Modulen 92
- Prüfzentrum für Thermische Solaranlagen 93
- Messen und Prüfen von Lüftungsgeräten 94
- Vermessung von Fassaden und transparenten Bauteilen 95
- Charakterisierung und Qualifizierung von elektrischen Komponenten 96

Gastwissenschaftler 98

Mitarbeit in Gremien 98

Kongresse, Tagungen und Seminare 99

Vorlesungen und Seminare 99

Messebeteiligungen 100

Patente 100

Promotionen 101

Pressearbeit 101

Vorträge 102

Veröffentlichungen 107

Abkürzungen 118

Impressum 120

Die Photovoltaikindustrie verzeichnet weltweit ein bisher noch nicht da gewesenes Wachstum. In Japan und Deutschland werden derzeit Wachstumsraten von deutlich über 100% pro Jahr realisiert. Dem entsprechend fragt insbesondere die deutsche Industrie in zunehmendem Umfang produktionsnahe F&E-Leistungen beim Fraunhofer ISE nach. In diesem Zusammenhang ist es für uns von höchster Bedeutung, dass wir Ende 2004 ein sehr großes einschlägiges Investitionsprojekt vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit zugesprochen bekamen. Herr Minister Trittin persönlich gab auf einer Pressekonferenz in Freiburg bekannt, dass am Fraunhofer ISE ein Photovoltaik Technologie Evaluations-Center (PV-TEC) für gut 11 Mio € realisiert wird. Im Rahmen von PV-TEC wird eine komplette experimentelle Solarzellen-Produktionslinie installiert werden. Auf einer Laborfläche von 1 200 m^2 wollen wir zusammen mit der Industrie in noch stärkerem Umfang als bisher hoch innovative Prozessschritte und Produktionsmaschinen für die Photovoltaik zeitnah entwickeln.

Der Zeitplan für PV-TEC ist sehr ambitioniert. Die gesamte hoch flexible Anlagenkette soll Ende 2005 installiert sein. Ende des ersten Quartals 2006 wollen wir für die Industrie mit PV-TEC zur Verfügung stehen. Für das Kernteam des Projekts, bestehend aus Gerhard Willeke, Daniel Biro, Ralf Preu, Stefan Glunz und Thomas Faasch, stellt dies eine beträchtliche Herausforderung dar. Aber auch die Fraunhofer Zentrale und das gesamte ISE werden dieses Schlüsselprojekt mit hoher Priorität und größtem Engagement vorantreiben. Ein hoch qualifizierter Industriebeirat begleitet das Projekt.

Unter anderem auf Grund dieser neuen großen Aktivität hoffen wir, unseren Wachstumskurs auch 2005 entschieden fortsetzen zu können. 2004 – im Berichtszeitraum – wuchs unser Betriebshaushalt wie in den Vorjahren um etwa 8%. Dabei belaufen sich unsere Aufträge aus der Wirtschaft auf ca. 35% (8,2 Mio €).

Mit zunehmendem Markterfolg für solartechnische Komponenten gewinnt die Gebrauchsdaueranalyse stark an Bedeutung. In einigen Marktfeldern werden über 20 Jahre Gebrauchsdauergarantie erwartet. Wir haben daher 2004 unsere diversen Aktivitäten auf diesem Gebiet in der Gruppe »Solare Fassaden und Gebrauchsdaueranalyse« (SFG) zusammengefasst, um dieses Arbeitsfeld strategisch noch besser weiter entwickeln zu können. Herr Tilmann Kuhn und Herr Michael Köhl werden sich dieses Feldes verstärkt annehmen. Solare Fassadenelemente, Materialien für die solarthermische Energiewandlung, ergänzt durch Photovoltaische Module werden Hauptfokusfelder der Gebrauchsdaueranalyse sein.

Der vorliegende Jahresbericht gibt Ihnen – hoffentlich – wie jedes Jahr einen guten Überblick über das gesamte Spektrum unserer F&E Aktivitäten (der oben angesprochene Photovoltaik-Halbleiterbereich macht hiervon derzeit »lediglich« 30% aus). Aus der Vielfalt des 2004 Erreichten möchte ich vier Ergebnisse hervorheben, um exemplarisch die Leistungsfähigkeit des Fraunhofer ISE im Bereich der angewandten und industrienahen Forschung auch an dieser Stelle zu demonstrieren:

- Optisch selektive Absorberschichten für den Hochtemperatureinsatz in solarthermischen Kraftwerken haben sich in ersten Praxistests bewährt.
- Im Rahmen unserer Entwicklung von Direkt-Methanol-Brennstoffzellen erreichten wir bei einer Leistung von gut 30 W Stromdichten von 55 mA/cm^2.
- Auf dem Gebiet der Leistungselektronikentwicklung für Brennstoffzellensysteme konnten wir Wandlerwirkungsgrade von 97,5% im kW-Leistungsbereich realisieren.
- Wir konnten zeigen, dass sich auch mit multikristallinem Siliciummaterial Solarzellen-Wirkungsgrade von über 20% mit Prozessen erreichen lassen, die prinzipiell in industrielle Prozesse übertragbar sind. Bisher galt die magische Schwelle von 20% als nicht überwindbar.

Im Bereich Patente und Lizenzen konnten wir 2004 einen wichtigen Meilenstein erreichen. Zum ersten Mal überstiegen unsere Lizenzeinnahmen die jährlichen Aufwendungen im Patentbereich. Darüber hinaus wurde ein weiterer ISE-interner Rekord erzielt: 16 Patente wurden 2004 erteilt, 14 neu angemeldet. Wir bemühen uns derzeit mit einer gezielten Strategie auf dem Feld der Patente – vor allem was die Vermarktung angeht – noch effizienter zu werden.

F&E-Komplettlösungen für unsere Kunden können wir oft nicht alleine erbringen – wir benötigen dann hervorragende, komplementär arbeitende Partner und gut eingespielte Partnerschaften. In diesem Zusammenhang ist es für uns ein großer Fortschritt, dass es uns gelungen ist innerhalb der Fraunhofer Gesellschaft den »Themenverbund Energie« zu gründen. Zehn Institute – die bereits heute 45 Mio € Erträge im Energiebereich realisieren (davon 50% von der Wirtschaft) – arbeiten in diesem neuen Zusammenschluss zunehmend enger zusammen. Koordiniert wird der Verbund neben mir von Herrn Prof. Hauser (Fraunhofer IBP, stellvertretender Sprecher) und Herrn Tim Meyer (Abteilungsleiter am Fraunhofer ISE, Geschäftsführer des Verbundes).

Der Erfolg unseres Instituts basiert auf vielen Säulen. Eine davon möchte ich dieses Jahr besonders hervorheben: unsere hohe Zahl an hervorragenden Diplomanden und Doktoranden. Wie in den letzten Jahren lagen die Zahlen im Durchschnitt bei etwa 45 Diplomanden und 55 Doktoranden. So etwas ist nur möglich, weil sich eine große Zahl von Wissenschaftlern des ISE aktiv in der Lehre (und teilweise auch in der Forschung) an Universitäten und Fachhochschulen engagiert. Namentlich sind dies neben mir: Roland Schindler, Gerhard Willeke, Volker Wittwer, Dietmar Borchert, Bruno Burger, Andreas Gombert, Sebastian Herkel, Jens Pfafferott, Christel Russ und Heribert Schmidt. Herzlichen Dank für diesen hohen Einsatz – neben allen Aktivitäten am ISE – im akademischen Bereich!

Abschließend ist es mir ein Bedürfnis, allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeiten unseres Instituts für das 2004 Geleistete auch an dieser Stelle nachdrücklich zu danken. Ihre kreative, hoch motivierte und erfolgreiche Arbeit verdient uneingeschränkte Bewunderung! Mein besonderer Dank gilt unseren Aufraggebern in Wirtschaft, Ministerien und der Europäischen Union. Erst durch ihr Interesse und Vertrauen wird unsere Arbeit möglich.

Prof. Joachim Luther

Vorwort

Die Organisationsstruktur des Fraunhofer ISE hat seit dem Jahr 2002 zwei parallele, sich wechselseitig ergänzende Hauptkomponenten: Abteilungen und Geschäftsfelder. F&E Marketing, die Außendarstellung des Instituts und vor allem unsere Strategieplanung sind entlang der fünf Geschäftsfelder des Instituts strukturiert.

Die vier 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.

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

Portraits oben v.l.n.r.:
Joachim Luther
Volker Wittwer
Gerhard Willeke
Christopher Hebling

Portraits unten v.l.n.r.:
Wolfgang Wissler
Tim Meyer

Institutsleitung	Prof. Joachim Luther	
Stellvertretende Institutsleitung	Priv. Doz. Dr. Volker Wittwer	
Abteilungen	Elektrische Energiesysteme Dr. Tim Meyer	+49 (0) 7 61/45 88-52 16
	Energietechnik Dr. Christopher Hebling	+49 (0) 7 61/45 88-51 95
	Solarzellen - Werkstoffe und Technologie Priv. Doz. Dr. Gerhard Willeke	+49 (0) 7 61/45 88-52 66
	Thermische und Optische Systeme Priv. Doz. Dr. Volker Wittwer	+49 (0) 7 61/45 88-51 43
Kaufmännische und Technische Dienste	Dipl.-Kfm. 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. Carsten Agert	+49 (0) 7 61/45 88-53 46

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, Solarzellen, Netzunabhängige Stromversorgungen, Regenerative Stromerzeugung im Netzverbund und Wasserstofftechnologie.
Zu weiteren – nicht solartechnischen – Kompetenzen zählen funktionale mikrostrukturierte Oberflächen sowie Meerwasserentsalzung und Trinkwasseraufbereitung.

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 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

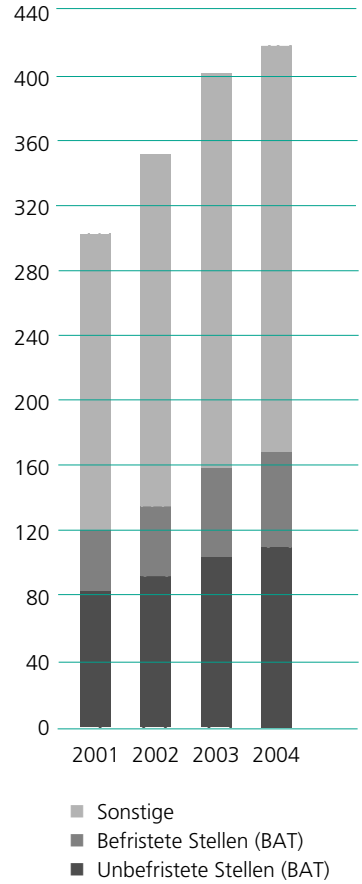
Fachlich verwandte Fraunhofer-Institute oder Abteilungen von Instituten arbeiten in Verbünden oder Allianzen zusammen und treten gemeinsam am F&E-Markt auf.
Die Mitgliedschaften des Fraunhofer ISE

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

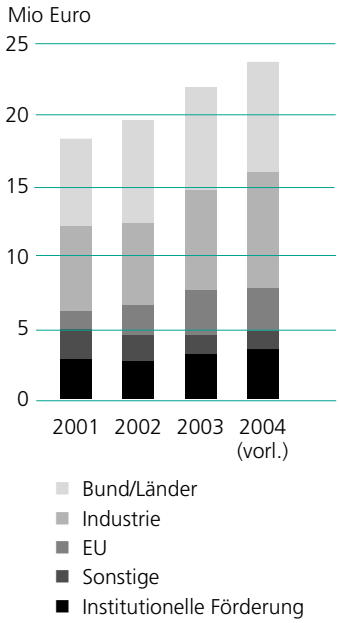
Internationale Kunden, Auftraggeber und Kooperationspartner

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

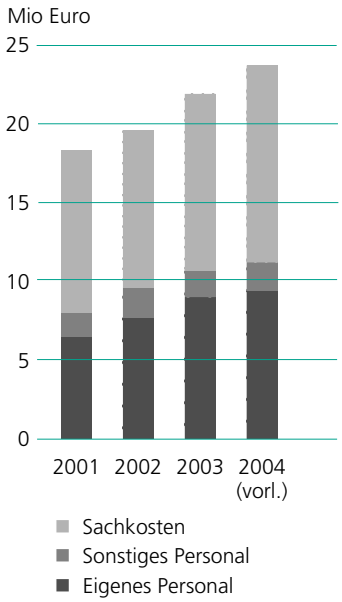
Personalentwicklung



Erträge



Kosten



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 2004 waren dies 53 Doktoranden, 44 Diplomanden, 31 Praktikanten, 6 Auszubildende sowie 116 wissenschaftliche Hilfskräfte. Das Fraunhofer ISE leistet auf diese Weise einen wichtigen Beitrag zur Ausbildung.

Zusätzlich zu den in der Grafik angegebenen Ausgaben tätigte das Institut im Jahr 2004 Investitionen in Höhe von 3,1 Mio Euro.

Forschung und Entwicklung

- Selektive Absorberschichten für Parabolrinnen-Kraftwerke in ersten Praxistests bewährt

- Gaschrome Fenstersysteme erstmals in größeren Demonstrationsfassaden getestet

- Nanostrukturierte funktionale Oberflächen erstmals in über 1 m^2 Größe hergestellt

- Neu entwickelte Sonnenschutz-Lamellensysteme finden breiten Markteinsatz

- Komplette Kühlgeräte auf der Basis sorptiver Materialien zur Vorserienreife entwickelt

- Neue Bewertungskriterien ermöglichen bessere Vorhersage der Nutzerakzeptanz von Sonnen- und Blendschutzsystemen

- Weltrekordwirkungsgrad (20,3%) auf 1x1 cm^2 multikristalliner Silicium-Solarzelle erzielt

- Silicium-Konzentratorzelle erreicht 25% Wirkungsgrad bei einer optischen Konzentration von 100

- 18,1% Wirkungsgrad für 180 µm dünne, 125x125 mm^2 große monokristalline Silicium-Solarzellen mit Siebdruck-Vorderseite und LFC-Rückseite erzielt

- 17,1% Wirkungsgrad für eine 125x125 mm^2 große Cz-Si-Solarzelle mit Siebdruckkontakten und hochohmigem Emitter (Schichtwiderstand 60 Ω/sq) erreicht

- Defektarme Silicium-Epitaxie mit Hilfe einer Anlage zur kontinuierlichen in-line Abscheidung von Silicium, bei einem Durchsatz von 2,9 m^2/h, gelungen

- 1,6x2,4 cm^2 MIM PV-Elemente (monolithically integrated modules) auf GaAs-Basis mit 25 V entwickelt

- Fünffach-Solarzelle mit Weltraumanwendung mit 5,2 V Zellspannung hergestellt

- Bidirektionalen DC/DC-Wandler für Brennstoffzellen bzw. Elektrolyseure mit einer Leistung von 1,2 kW und einem Spitzenwirkungsgrad von 97,5% entwickelt

- Autonome PV-Hybridanlage einer Wandergaststätte mit Brennstoffzellen-Zusatzstromerzeuger im Feldversuch betrieben und analysiert

- Neuer Flasher ermöglicht Präzisionsmessungen von PV-Modulen bis 4 m^2 Fläche genauer als ±2,5%

- Am Fraunhofer ISE entwickeltes Energiemanagementsystem steuert erfolgreich dezentrale Erzeuger und Speicher eines Niederspannungsnetzes in Stutensee bei Karlsruhe

- Dieselreformer zur Erzeugung eines Synthesegases für eine 20 kW(el) Schmelzkarbonat-Brennstoffzelle entwickelt und für 500 Stunden im Dauerbetrieb erfolgreich getestet

- 2 kW(el) Brennstoffzellen-Blockheizkraftwerk mit einem vom Fraunhofer ISE entwickelten Erdgasreformer seit März 2003 störungsfrei in Betrieb

- Direktmethanol-Brennstoffzellenstack erreicht Leistungsdichte von 55 mW/cm^2 bei 75 °C. Die Zellspannung beträgt 350 mV, die Brennstoffzufuhr besteht aus 1 molarer Methanol-Lösung. Der Gesamtstack ist aus zwölf Einzelzellen aufgebaut und hat eine Leistung von 33 W.

- Passiven Kaltstart bei -20 °C mit einem außentauglichen, portablen Brennstoffzellensystem (20 W) demonstriert

- Mini-Elektrolyseur zur Anwendung in gaschromen Fenstern auf der Glasstec vorgestellt: Technologietransfer aus dem Fraunhofer ISE machte erste Pilotfertigung in der Industrie möglich

Preise

Im Januar 2004 erhielten Herr Dr. Ralf Preu und Herr Dipl.-Ing. Eric Schneiderlöchner den Dr. Meyer-Struckmann-Wissenschaftspreis 2003 der Brandenburgischen Technischen Universität Cottbus.

Der Verein Deutscher Ingenieure des Bezirks Mittelrhein verlieh Herrn Marc Hofmann den VDI-Förderpreis.

Auf der Fuel Cells Science and Technology 2004 wurde Michael Oszcipok mit einem Poster Award ausgezeichnet.

Kuratorium

Das Kuratorium begutachtet die Forschungsprojekte und berät die Institutsleitung und den Vorstand der Fraunhofer-Gesellschaft bezüglich des Arbeitsprogrammes des Fraunhofer ISE.
Stand: 31.12.2004

Vorsitzender
Prof. Peter Woditsch
Deutsche Solar AG, Freiberg

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

Mitglieder
Dr. Hubert Aulich
PV Silicon AG, Erfurt

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

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

Hans Martin Bitzer
Fresnel Optics GmbH, Apolda

Dipl.-Ing. Manfred Dittmar
Interpane Glasindustrie AG, Lauenförde

Dr. Gerd Eisenbeiß
Forschungszentrum Jülich GmbH, Jülich

Ministerialrat Gerd Heitmann
Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg, Stuttgart

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

Prof. Thomas Herzog
Technische Universität München

Dr. Winfried Hoffmann
RWE SCHOTT Solar GmbH, Alzenau

Dr. Holger Jürgensen
Aixtron AG, Aachen

Dr. Franz Karg
Shell Solar GmbH, München

Prof. Werner Kleinkauf
Gesamthochschule Kassel, Kassel

Dipl.-Volkswirt Joachim Nick-Leptin
Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), Berlin

Klaus-Peter Pischke
Kreditanstalt für Wiederaufbau, Frankfurt

Dr. Dietmar Roth
Roth & Rau Oberflächentechnik GmbH, Hohenstein-Ernstthal

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

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

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

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

Gerhard Warnke
MAICO Ventilatoren, Villingen-Schwenningen

Geschäftsfelder

Gebäude und technische Gebäudeausrüstung

Solarzellen

Netzunabhängige Stromversorgungen

Regenerative Stromerzeugung im Netzverbund

Wasserstofftechnologie

Arbeiten in besonderen Kompetenzbereichen

Servicebereiche

Effizientes Bauen mit der Sonne

Gebäude und technische Gebäudeausrüstung

Nachhaltige Gebäude schützen nicht nur das Klima, sondern lassen sich auch besser vermarkten. Wer Solarenergie und Energieeffizienz in seine Immobilie »einbaut«, wird leichter Käufer und Mieter dafür finden. Das gilt für Neubauten genauso wie für die Gebäudesanierung, für gewerbliche Bauwerke genauso wie für das Einfamilienhaus. Denn die Energiekosten sind längst zur »zweiten Miete« geworden. Außerdem bieten nachhaltige Gebäude mehr Nutzungskomfort: viel natürliches Licht ohne Blendung, Wohlfühltemperaturen das ganze Jahr hindurch, frische Luft ohne Zugerscheinungen.

Die Gesetzgebung unterstützt den Trend zum nachhaltigen Bauen. So müssen ab 2006 beim Primärenergieverbrauch in Gebäuden definierte Grenzwerte eingehalten werden. Dies unterstützt den Einsatz solarer und energieeffizienter Wandlersysteme. Ein Energiepass wird dem Laien den Energieverbrauch von Gebäuden transparent machen.

Wie wichtig das Thema Energieeffizienz in Gebäuden ist, zeigt folgende Zahl: Wir verbrauchen heute für den Betrieb von Gebäuden über 40% der deutschen Endenergie. Damit wird geheizt, gekühlt, gelüftet, beleuchtet und vieles mehr. Rationelle Energienutzung reduziert den Energieeinsatz für diese Dienstleistungen und verbessert dabei oft sogar noch den

Nutzungskomfort. In jedem Fall gilt: Je geringer der verbleibende Energiebedarf, desto größer ist der Anteil, den erneuerbare Energien sinnvoll decken können. Beim 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 konzipieren anspruchsvolle Bauwerke mit teilweise selbst entwickelten Simulationswerkzeugen. Die Bearbeitungstiefe der Themen reicht von der Grundlagenentwicklung bis zur Markteinführung fertiger Systeme.

Für diese Aufgaben arbeiten viele Disziplinen zusammen: Materialforschung und Schichtentwicklung, rationelle Energienutzung, Simulation, Planung, Monitoring, Entwicklung von Komponenten wie Fenster oder Fassaden und von Solarsystemen für Strom und Wärme. Wachsende Bedeutung haben Kleinstwärmepumpen. Zukunftsweisend sind dezentrale Energieerzeuger wie kleine Brennstoffzellen und Stirlingmotoren als Strom- und Wärmelieferanten im Gebäudebereich.

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

Im Team mit Architekten, Fachplanern und der Industrie planen wir Gebäude von heute und entwickeln Gebäude für morgen. Die internationalen Rahmenbedingungen hierfür gestalten wir in der Internationalen Energieagentur IEA zur Solaren Klimatisierung, zum Solaren Bauen und zur Langzeitbeständigkeit von Komponenten mit. Damit sind wir immer über die aktuellen technischen Normen informiert. Zusammen mit unseren internationalen Kontakten können wir unsere Kunden so beim Markteintritt unterstützen.

Die Weiterentwicklung von Simulationsprogrammen zur Optimierung von Materialien und Systemen zählt ebenso zu unseren Arbeiten wie auch Studien zur Nutzerakzeptanz von baulichen Lösungen.

Unsere Apparaturen und Messverfahren entwickeln wir ständig weiter. Einige Beispiele:

- große Laserbelichtungstische, um bis zu 120 cm x 120 cm große Mikrostrukturen herzustellen
- Vakuumbeschichtungsanlage zur industrienahen Herstellung großflächiger (140 cm x 180 cm) komplexer Schichtsysteme auf Gläsern, Folien und Metallen
- optische Labore für Charakterisierungen und Analysen bei der Materialentwicklung
- Testlabore zur Bestimmung physikalischer und technischer Eigenschaften von Kollektoren, thermischen Speichern, Fenster- und Fassadensystemen und PV-Modulen
- Messtechnik für die Qualitätssicherung vor Ort im Bauwesen.

Je komplexer Gebäude und Systeme werden, desto wichtiger sind Steuerung und Regelung. Mit der Entwicklung von Soft- und Hardware streben wir letztendlich das Ziel an, Gesamtsysteme unter ökonomischen und/oder ökologischen Gesichtspunkten optimal zu betreiben.

Gebäude und technische Gebäudeausrüstung

Das gemeinsam mit der Firma clauss markisen Projekt GmbH entwickelte Sonnenschutzsystem »s_enn®« findet breiten Markteinsatz. Hier der Blick durch eine mit »s_enn®« ausgestattete Fassade der Universität Brixen. Die Profilbeschaffenheit ermöglicht eine Ausblendung des direkten Sonnenlichts bei einem Sonnenstand von 20 Grad über dem Horizont. Der so minimierte Energieeintrag erlaubt eine Reduzierung der Klimatisierungskosten. Es besteht ständiger Sichtkontakt nach draußen, außerdem ist das System extrem windstabil (Beitrag Seite 25).

Ansprechpartner

Gebäudekonzepte und Simulation	Dipl.-Ing. Sebastian Herkel	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-51 17 E-Mail: Sebastian.Herkel@ise.fraunhofer.de
Solare Fassaden und Gebrauchsdaueranalysen	Dr. Werner Platzer	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-51 31 E-Mail: Werner.Platzer@ise.fraunhofer.de
	Dipl.-Phys. Tilmann Kuhn	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-52 97 E-Mail: Tilmann.Kuhn@ise.fraunhofer.de
Heizungs-, Lüftungs- und Klimatechnik	Dr. Andreas Bühring	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-52 88 E-Mail: Andreas.Buehring@ise.fraunhofer.de
	Dr. Hans-Martin Henning	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-51 34 E-Mail: Hans-Martin.Henning@ise.fraunhofer.de
Sorptive und Phasenwechsel-Speichermaterialien	Dr. Hans-Martin Henning	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-51 34 E-Mail: Hans-Martin.Henning@ise.fraunhofer.de
Thermische Solaranlagen	Dipl.-Phys. Matthias Rommel	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-51 41 E-Mail: Matthias.Rommel@ise.fraunhofer.de
Monitoring und Demonstrationsprojekte	Dipl.-Ing. Sebastian Herkel	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-51 17 E-Mail: Sebastian.Herkel@ise.fraunhofer.de
	Dipl.-Ing. Klaus Kiefer	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-52 18 E-Mail: Klaus.Kiefer@ise.fraunhofer.de
Beschichtungstechnik	Dipl.-Ing. Wolfgang Graf	Tel.: +49 (0) 7 61/4 01 66-85 E-Mail: Wolfgang.Graf@ise.fraunhofer.de
Strukturierung von Oberflächen	Dr. Andreas Gombert	Tel.: +49 (0) 7 61/4 01 66-83 E-Mail: Andreas.Gombert@ise.fraunhofer.de

Übergreifende Koordination

Gebäude und technische Gebäudeausrüstung	Priv. Doz. Dr. Volker Wittwer	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-51 40 E-Mail: Volker.Wittwer@ise.fraunhofer.de
Wasserstofftechnologie	Dr. Christopher Hebling	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-51 95 E-Mail: Christopher.Hebling@ise.fraunhofer.de

Photochromes Fenstersystem für die Fassadenanwendung

Photochrome Systeme färben und entfärben sich unter Einfluss der Beleuchtung reversibel. Bisher bekannte und vor allem bei Sonnenbrillen genutzte Systeme sind für Fassaden jedoch nicht anwendbar, da sie eine zu geringe Stabilität aufweisen und bei höheren Temperaturen nur noch schwach einfärben. Auf der Basis einer Kombination aus elektrochromem Wolframoxid und einer Farbstoffsolarzellenschicht gelang es uns, ein photochromes Fenstersystem herzustellen, wie es insbesondere für Verglasungsanwendungen in Gebäuden oder Fahrzeugen geeignet ist.

Anneke Georg*, Andreas Georg

* Albert-Ludwigs-Universität, Freiburger Materialforschungszentrum FMF

Abb. 1: Photochromes Fensterelement vor und nach dem Einfärben durch Beleuchtung mit Sonnenlicht.

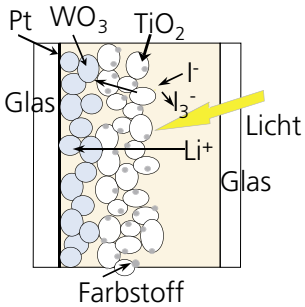


Abb. 2: Funktionsschema des photochromen Fenstersystems am Beispiel eines Mehrschichtaufbaus. Auf einem Substrat befindet sich eine katalytische Platinschicht, darauf je eine nanoporöse WO_3- und TiO_2-Schicht. Die TiO_2-Oberfläche ist mit einem Farbstoff belegt. In den Poren befindet sich ein Elektrolyt, der Li^+, I^- und I_3^- Ionen enthält.

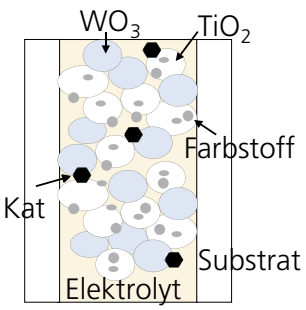


Abb. 3: Photochromes Einschichtsystem. Der Katalysator ist gleichmäßig über die nanoporöse Oberfläche der Oxidschichten verteilt. Bei allen Systemen kann prinzipiell der Farbstoff auch direkt auf das WO_3 abgeschieden werden.

Im Jahresbericht 2003 stellten wir bereits das von uns entwickelte photoelektrochrome Fenstersystem mit polymerem Ionenleiter vor. Dieses färbt unter Beleuchtung ein und kann jederzeit mit Hilfe eines Schalters wieder entfärbt werden. Nun gelang es uns, dieses System zu einem einfacheren photochromen Fensterelement zu modifizieren, das einen hohen Färbekontrast auch bei erhöhten Temperaturen aufweist. Dieses System ist zwar nicht mehr willkürlich schaltbar, aber wesentlich einfacher in der Herstellung.

Das Musterelement eines photochromen Fensters dunkelt unter Beleuchtung mit Sonnenlicht von einer 60%igen Transmission – bezogen auf den sichtbaren Spektralbereich – auf 4% ein. Abbildung 2 zeigt das Prinzip eines photochromen Mehrschichtaufbaus. Unter Beleuchtung werden Farbstoffmoleküle angeregt und von diesen Elektronen über das Titandioxid TiO_2 in das Wolframoxid WO_3 injiziert. Dadurch färbt sich das WO_3 blau ein. Die Ladungsneutralität wird durch zwei Vorgänge erreicht: positiv geladene Lithium-Ionen aus dem Elektrolyt lagern sich in das WO_3 ein, gleichzeitig geben negativ geladene Iodid-Ionen Elektronen aus dem Elektrolyt an die Farbstoffmoleküle ab. Die I^- Ionen werden dabei zu I_3^- oxidiert. Dieser Prozess läuft auch umgekehrt ab, indem vor allem Elektronen vom WO_3 an I_3^- Ionen im Elektrolyt abfließen. Diese Rückreaktion ist zwar sehr langsam, kann aber durch Zugabe eines Katalysators wie Platin (Pt) stark beschleunigt werden. Die gezielte Einstellung der katalytischen Aktivität ist wesentlich für einen ausgeprägten photochromen Effekt. Eine stärkere katalytische Wirkung beschleunigt die Entfärbung, reduziert aber die Gleichgewichtsfärbung. Die Optimierung hängt von den Anforderungen der jeweiligen Anwendung ab. Abbildung 3 zeigt die Umsetzung des Konzepts als Einschichtsystem.

Optisch schaltbare Spiegel

Bestimmte Metalle gehen unter Einlagerung von Wasserstoff von einem metallischen spiegelnden Zustand in einen halbleitenden transparenten Zustand über. Legierungen aus Magnesium und Nickel sind hier von besonderem Interesse, da sie aus kostengünstigen Materialien bestehen und gute optische Eigenschaften aufweisen. Optisch schaltbare Fenster eignen sich, insbesondere auch in Kombination mit lichtlenkenden Strukturen für Anwendungen im Bereich Überhitzungs- und Blendschutz.

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

Abb. 1: Nickel-Magnesium-Schicht an Luft im spiegelnden Zustand. Man sieht das Spiegelbild der Figur, die vor der Messzelle steht.

Abb. 2: Nickel-Magnesium-Schicht in verdünnter Wasserstoff Atmosphäre im transparenten Zustand. Man blickt durch die Schicht hindurch auf die Figur, die hinter der Messzelle steht.

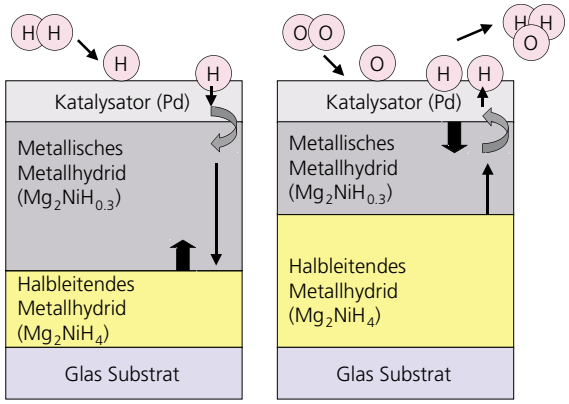


Abb. 3: Mechanismus der Hydrierung von Nickel-Magnesium-Schichten in H_2-Atmosphäre und Dehydrierung in O_2. Hydrierung (links): Wasserstoff-Moleküle werden am Palladium dissoziiert und diffundieren durch die Metallschicht. Am Substrat beginnt die Phasenumwandlung vom Metall zum Halbleiter. Es bilden sich zwei Schichten aus, eine metallische und eine halbleitende, deren Grenzfläche zur Oberfläche fortschreitet. Bei der Dehydrierung in O_2 (rechts) wandert diese Grenzfläche von der Oberfläche zum Substrat.

Die Abbildungen 1 und 2 zeigen Nickel-Magnesium-Schichten im spiegelnden Zustand an Luft und im transparenten Zustand in einer Gasatmosphäre mit verdünntem Wasserstoff. Die Werte der Transmission können typischerweise von 0,2% auf 40% – bezogen auf das sichtbare Spektrum – geschaltet werden. Die Schichten eignen sich somit besonders für Anwendungen im Blendschutz. Die Reflexion ändert sich dabei von ca. 75% auf 20%.

Der Schwerpunkt unserer Untersuchungen liegt vor allem in der Verbesserung der Stabilität der Schichten. Hierfür wurde der Mechanismus der Reaktion der Hydrierung, d.h. der Einlagerung des Wasserstoffs für den Übergang zum transparenten Halbleiter erforscht. Ebenso die Reaktion der Dehydrierung als Umkehrung dieses Vorgangs (Abbildung 3). Auf der Metallschicht befindet sich eine Katalysatorschicht aus Palladium. Diese hat neben der katalytischen Wirkung der Dissoziation der Gase auch die Funktion einer Schutzschicht, d.h. sie vermindert die Degradation der Metallschicht. Diese Degradation macht sich zunächst in einer Reduzierung der Schaltgeschwindigkeit bemerkbar. Durch den Vergleich mit anderen Deckschichten fanden wir heraus, dass insbesondere die Palladium-Metall-Grenzschicht eine wesentliche Rolle für die Kinetik und die Funktion des Systems spielt. Dies schränkt die Möglichkeit des Einbaus von Zusatzschichten zur Stabilisierung stark ein. Zusätzlich ergab sich aus einer Analyse der Schaltprozesse, dass sich am Substrat eine Keimschicht bildet, an der die Phasenumwandlung vom Metall zum Halbleiter besonders schnell abläuft. Deshalb beginnt die Phasenumwandlung vom Metall zum Halbleiter bei der Hydrierung am Substrat und setzt sich dann kontinuierlich bis zur Oberfläche fort. Eine Erhöhung des Nickelanteils verbessert die Stabilität der Schichten.

Baustoffe mit integriertem Latentwärmespeicher

In den vergangenen Jahren haben wir in Zusammenarbeit mit unseren Projektpartnern Baustoffe mit integrierten Phasenwechselmaterialien (Phase Change Materials, PCM) zur Erhöhung der Wärmekapazität von Leichtbaugebäuden entwickelt. In einem nächsten Schritt werden aktiv durchströmte Bauteile aus diesen Baustoffen untersucht, die die Anbindung an eine beliebige Kältequelle und eine effektivere Kühlung ermöglichen.

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

Abb. 1: Das Aufbringen des PCM-Putzes erfolgt wie bei einem herkömmlichen Gipsputz. Die geringe Schichtdicke und das geringe Gewicht bei gleichzeitiger hoher Speicherfähigkeit sind besonders bei Renovierungsvorhaben von Vorteil. Die an der Decke sichtbaren Kapillarrohrmatten können an eine beliebige Kältequelle wie beispielsweise einen Nasskühlturm oder Brunnenwasser angeschlossen werden.

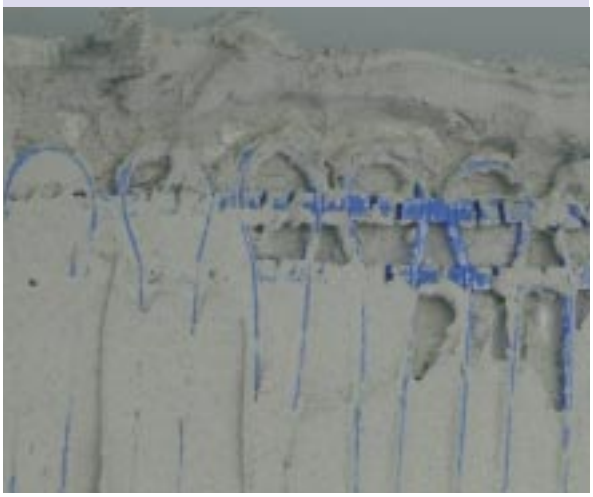


Abb. 2: Die eng liegenden, Wasser durchströmten Kapillaren ermöglichen eine sehr gute thermische Anbindung an den umgebenden Putz. Dadurch ist schon bei kleinen Temperaturdifferenzen ein schnelles Abkühlen der Decke möglich. Dies und die geringe Schichtdicke ermöglichen im Vergleich zur Bauteilkühlung eine schnelle Reaktion des Systems trotz der hohen Speicherfähigkeit des PCMs.

Erste Baustoffe mit integrierten Phasenwechselmaterialien (PCM) zur passiven Gebäudekühlung sind zur Marktreife entwickelt und seit 2004 im Handel erhältlich. Rein passiv, d.h. nur als Baustoff eingesetzt, unterliegen diese Speicher zwei grundsätzlichen Beschränkungen: erstens begrenzt der Luft-Wand-Wärmeübergang die maximale Leistung des Speichers im Rahmen eines Tag-Nachtzyklus; zweitens ist man bei passiven Anwendungen von der Außentemperatur der Nachtluft als Kältesenke abhängig. In manchen Gebäudetypen oder unter gewissen klimatischen Bedingungen begrenzen diese Beschränkungen die Anwendbarkeit erheblich.

Eine mögliche Lösung ist das Integrieren von Strömungskanälen in diese Wärmespeicher-Baustoffe: durch eine geeignete Wahl der Kanäle ist ein sehr guter Wärmeübergang zum PCM realisierbar. Dadurch ist z. B. eine schnelle Reaktion einer Kühldecke trotz deren hoher Speicherfähigkeit möglich.

Durch den Fluid-Kreislauf kann jede beliebige Kältequelle wie beispielsweise das Erdreich oder Brunnenwasser für die Rückkühlung genutzt werden.

Die hohe Speicherkapazität bei gleichzeitig sehr geringer Schichtdicke und geringem Gewicht machen derartige Kühlsysteme insbesondere für Renovierungsvorhaben attraktiv.

Als Weiterentwicklung der PCM-haltigen Baustoffe entwickeln und optimieren wir deshalb gemeinsam mit den Industriepartnern BASF, Maxit und Caparol aktiv durchströmte Latentwärmespeicher für Gebäude. Die Arbeiten werden als Verbundprojekt vom Bundeswirtschaftsministerium gefördert.

Wärmeträgerflüssigkeiten mit integriertem Phasenwechselmaterial

Phasenwechsel-Fluide (Phase Change Slurries, PCS) sind Wärmeträgerfluide, die aus einer Trägerflüssigkeit und einem Phasenwechselmaterial (Phase Change Material, PCM) bestehen. Innerhalb des Schmelzbereiches des Phasenwechselmaterials erreicht ein solches PCS im Vergleich zu herkömmlichen Wärmeträgerfluiden eine hohe spezifische Wärmekapazität. Auf der Basis von Phasenwechselfluiden entwickeln wir energieeffiziente Anwendungen in den Bereichen Kälte- und Wärmetransport.

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

Das bekannteste Wärmeträgerfluid ist Wasser. Mit einer spezifischen Wärmekapazität von etwa 4,2 kJ/kg K lässt sich in ihm Wärme auf einfache Weise speichern. Da sich dieser Wert im Bereich zwischen 0 und 100 °C kaum ändert, nimmt die gespeicherte Wärmemenge des Wassers nahezu linear mit der Temperaturerhöhung zu: Je höher die nutzbare Temperaturdifferenz einer Anwendung ist, desto mehr Wärme kann gespeichert werden.

Anders als das sensible Wärmeträgermedium Wasser haben Phase Change Slurries eine sehr stark von der Temperatur abhängige Wärmekapazität. PCS bestehen aus einem Trägerfluid und einem Phasenwechselmaterial (PCM). Der Temperaturbereich mit hoher Wärmekapazität wird durch den Schmelzbereich des jeweils eingesetzten PCM bestimmt. Dieses muss daher passend zur Anwendung gewählt werden. Die während des Schmelzprozesses speicherbare Wärmeenergie liegt für die von uns als PCM verwendeten verkapselten Paraffine zwischen 100 und 180 kJ/kg bei einem Schmelzbereich von 3 bis 5 K.

Aufgrund der Eigenschaft der PCS, im Schmelzbereich viel Wärme bei geringer Temperaturerhöhung zu speichern, sind sie besonders für Anwendungen von Vorteil, die mit einer geringen Temperaturspreizung arbeiten. Die Kältetechnik ist ein Beispiel. In den für Industrieanwendungen und Gebäudeklimatisierung wichtigen Temperaturbereichen von 5 °C–10 °C und 15 °C–18 °C untersuchten wir vielversprechende Materialien.

Abb. 1: PCS sind Flüssigkeiten, die sehr hohe Wärmemengen bei kleinen Temperaturdifferenzen speichern können. Sie bestehen aus einer Trägerflüssigkeit und einem beigemengten Phasenwechselmaterial. Durch geeignete Maßnahmen bleibt das Gemisch auch im erstarrten Zustand des Latentmaterials flüssig.

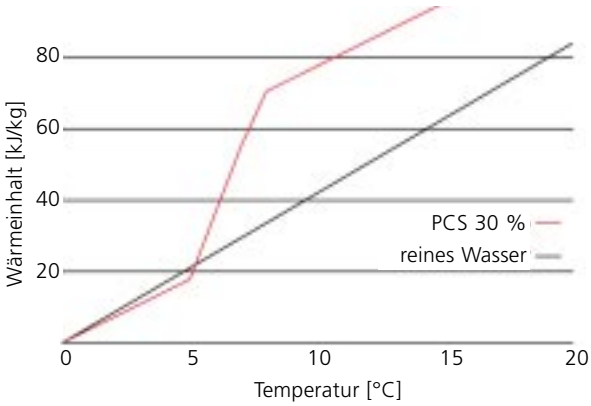


Abb. 2: Der Wärmeinhalt eines PCS mit 30% PCM und einem Schmelzbereich von 5 °C bis 8 °C ist deutlich höher als der von reinem Wasser. Durch die hohe Wärmespeicherfähigkeit im Schmelzbereich sind derartige Fluide insbesondere für Anwendungen mit kleiner Temperaturspreizung von Vorteil. Dies ist vorwiegend im Bereich der Kältetechnik der Fall.

Die Simulationen von Kältekreisen (z. B. Nahkältenetzen) zeigen das hohe Energieeinsparpotenzial, das durch PCS gegenüber Wasser- oder Wasserglykolsystemen erreicht werden kann. Beispielsweise konnte die benötigte Energie zur Förderung der gleichen Wärmemengen mit PCS um bis zu 50% reduziert werden. Zudem lassen sich Kältemaschinen bei Einsatz von PCS in einem wesentlich günstigeren Arbeitspunkt betreiben.

Gemeinsam mit Industriepartnern führten wir diese Entwicklung im Rahmen eines durch die EU geförderten Projektes durch.

Adsorptionstechnik zum Heizen und Kühlen

Die Bedeutung thermisch angetriebener Verfahren für die Gebäudekühlung wächst kontinuierlich. Zu den Hintergründen zählt beispielsweise der Einsatz hocheffizienter, dezentraler Energieverbundsysteme (Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung) auch im kleinen Leistungsbereich. Adsorptionstechnik ist hier ein vielversprechender Lösungsansatz für die thermisch angetriebene Kühlung. Wir bearbeiten diese Technik auf vielen Ebenen, von den Grundlagen über die Materialforschung bis hin zur Geräteentwicklung.

Moritz Gerstung, **Hans-Martin Henning**, Stefan Henninger*, **Tomas Núñez**, **Ferdinand Schmidt**, Yan Schmidt, Lena Schnabel, Dirk Spreemann

* Albert-Ludwigs-Universität, Freiburger Materialforschungszentrum FMF

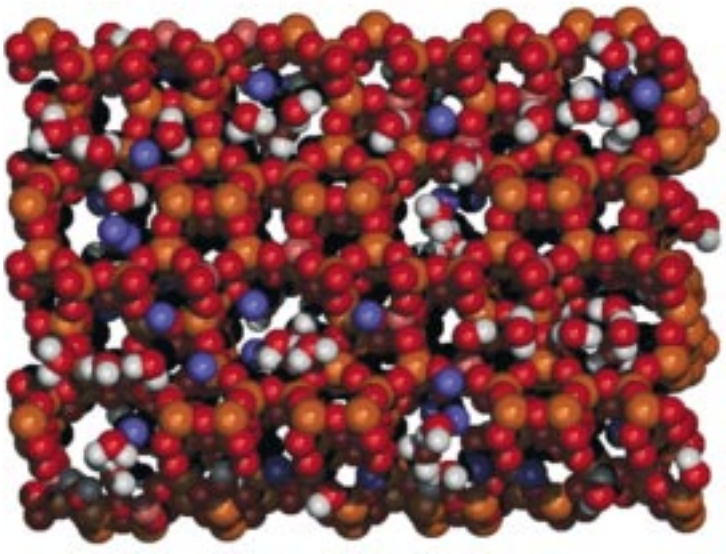


Abb. 1: »Momentaufnahme« einer Monte-Carlo-Simulation an einem Zeolithen vom Typ MFI. Zeolithgitter: Rot = Sauerstoff, Orange = Silicium, Blau = Ausgleichsionen des Zeolithgitters, Weiß = Wasserstoff. Die Wassermoleküle setzen sich bevorzugt in die mit einem Ausgleichsion besetzten Poren. Sie drehen sich mit dem partiell negativ geladenen Sauerstoff (rot) in Richtung der positiven Ladung des Ausgleichsions, hier beispielsweise Natrium.

Monte-Carlo-Simulation der Wasseradsorption in Mikroporen

Bei der Adsorption von Wasser, also der Anlagerung von Gasmolekülen an Grenzflächen von mikroporösen Feststoffen, findet ein großer Wärmeumsatz statt. Dies kann in thermischen Wandlern genutzt werden. Die heute marktverfügbaren Adsorbentien wurden jedoch auf ganz andere Eigenschaften hin konzipiert (synthetisiert) und bieten daher ein großes Optimierungspotenzial bezüglich des Einsatzes in optimierten Wärmepumpen und Kältemaschinen. Hierzu muss jedoch der Einfluss der verschiedenen Oberflächen- und Struktureigenschaften auf die Adsorptionsisotherme auf molekularer Ebene verstanden werden.

Um den Einfluss von Porengeometrie und chemischer Struktur auf die Materialeigenschaften zu untersuchen setzen wir molekulare Computersimulationen ein (Abbildung 1). Die Simulationen werden sowohl mit einem eigens hierfür entwickelten Programm unter Linux/PC als auch mit einer kommerziell erhältlichen Simulations-Suite unter Irix/SGI (Cerius2/Sorption, Accelrys Inc.) durchgeführt. Unsere Arbeiten hierzu sind in ein vom Bundesforschungsministerium finanziertes Netzwerkprojekt eingebunden. In diesem vom Fraunhofer ISE geleiteten Projekt arbeiten wir insbesondere mit verschiedenen Synthese-Gruppen zusammen.

Kinetikapparatur

Neben den Gleichgewichtsdaten spielt die Sorptionskinetik eine Schlüsselrolle für die technische Anwendung. Im Frühjahr 2004 wurde ein Versuchsstand zur Vermessung der kinetischen Eigenschaften mikroporöser Sorptionsmaterialien in Betrieb genommen. Damit können jetzt quantitative Aussagen über die Geschwindigkeit der Adsorption gemacht werden (Abbildung 2).

Wärmepumpenteststand

Um die Leistungsfähigkeit von thermisch angetriebenen Wärmepumpen unter reproduzierbaren Bedingungen zu untersuchen, bauten wir einen entsprechenden Teststand am Fraunhofer ISE auf. Darin können Geräte mit einer nutzbaren Wärmeleistung (mittleres Temperatur-Niveau) von bis zu 25 kW charakterisiert werden. Dabei erfolgt der thermische Antrieb über einen Druckwasserkreis (20 bar, max. 200 °C).

Hocheffizienter Sorptionsluftentfeuchter

Im Rahmen eines von der EU unterstützten Projekts entwickelten wir einen hocheffizienten Luftentfeuchter. Das Gerät ist als Luft-Luft-Gegenstromwärmetauscher aufgebaut (Prinzipskizze Abbildung 3). Grundidee ist es, die Außenluft über eine mit Sorptionsmittel beschichtete Fläche zu leiten. Die frei werdende Sorptionswärme wird unmittelbar an die im Gegenstrom geführte Abluft abgegeben, wobei die Abluft durch kontinuierliche Befeuchtung abgekühlt wird. Die dem Raum zugeführte Zuluft ist auf diese Weise entfeuchtet und gekühlt. Im Rahmen einer Simulation sowie erster Messungen wurde die hohe Entfeuchtungseffizienz nachgewiesen.

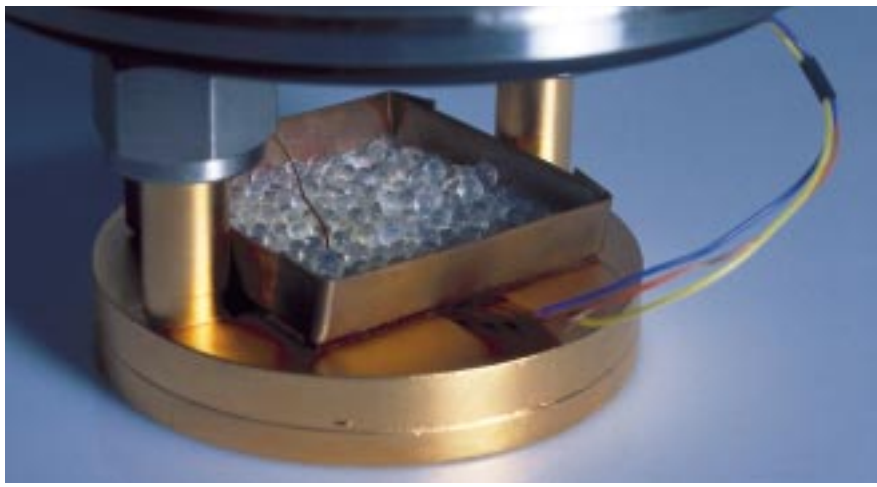


Abb. 2: Kinetik-Apparatur zur Vermessung von Verbund-Systemen bestehend aus Wärmetauscher-Lamelle und Sorptionsmittel. Die Messung kann isobar oder mit fester Teilchenzahl (Wasser-Moleküle) erfolgen. Die trockene Probe (im Foto ein Silika-Gel-Granulat in einer Kupferwanne) wird auf eine thermostatisierte Platte aufgebracht und dann einer definierten Wasserdampfmenge ausgesetzt. Bei einer isobaren Messung wird das Wärmeflusssignal ausgewertet, bei einer Messung mit fester Teilchenzahl das Drucksignal (Druckabsenkung durch Adsorption).

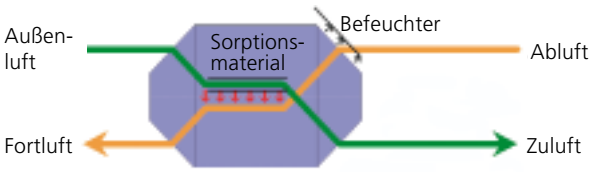


Abb. 3: Prinzip des hocheffizienten, durch indirekte Verdunstungskühlung gekühlten Sorptionsgegenstrom-entfeuchters (Funktionsweise siehe Text). Dieses Verfahren ist insbesondere für die Luftentfeuchtung in Ländern mit feucht-warmem Klima aussichtsreich.

Solare Gebäudeklimatisierung

Die Nutzung solarthermischer Anlagen für die Gebäudeklimatisierung ist eine junge, vielversprechende Technik. Unsere Arbeiten auf diesem Gebiet reichen von der Auslegung von Anlagen über die Begleitung von Demonstrationsvorhaben bis hin zur Leitung internationaler Verbundprojekte.

Daniel Gessner, Torsten Geucke, **Hans-Martin Henning**, Carsten Hindenburg, Mario Motta, Lena Schnabel, Kay Tecklenborg, York Tiedke, Edo Wiemken

Abb. 1: Technikraum mit Menerga-Anlage. Rechts sind die beiden Solespeicher, im Hintergrund rechts ist der solare Pufferspeicher zu erkennen. Das Lüftungsgerät ist links zu sehen. Die Solarenergie wird im Sommer zur Luftentfeuchtung und im Winter zur Beheizung verwendet.

Abb. 2: Klappenkasten (im Vordergrund) zur Abschaltung eines Kollektorstrangs der Luftkollektoranlage auf dem Dach der IHK Südlicher Oberrhein, Freiburg. Durch die Abschaltung einzelner Kollektorstränge wird die thermische Antriebsleistung regelbar, wodurch bei geringen Zuluftvolumenströmen in Teillast ein unnötiger Wärmetransfer in die Raumzuluft reduziert werden kann.

Solare Klimatisierung mit wässriger Salzlösung

In Freiburg wurde Ende 2003 eine Pilotanlage (Abbildung 1) der Firma Menerga Apparatebau in Betrieb genommen. Diese Gesamtanlage wird von uns vermessen und in Zusammenarbeit mit dem Hersteller werden Optimierungen durchgeführt. Die Anlage versorgt sechs Räume im Fraunhofer Solar Building Innovation Center (SOBIC). Für die Luft-Entfeuchtung wird eine wässrige LiCl-Salzlösung eingesetzt. Die Firma Menerga stellte die Klimaanlage kostenlos zur Verfügung. Die Solaranlage (17 m^2) wurde von der Firma UFE Solar gespendet.

Solare Klimatisierung mit Luftkollektoren

Die solar-autarke sorptionsgestützte Klimatisierungsanlage der IHK Südlicher Oberrhein in Freiburg wird von uns durch Monitoring begleitet. Neben anderen Detailuntersuchungen realisierten wir im vierten Betriebsjahr 2004 die Möglichkeit einer Abschaltung einzelner Kollektorstränge (Abbildung 2), die eine Reduzierung der Regenerationsleistung bei Teillast ermöglicht.

Solare Klimatisierung mit geschlossener Adsorptionskältetechnik

Seit 1999 wird ein Laborgebäude der Universitätsklinik Freiburg mit solarer Unterstützung klimatisiert; Kernkomponenten sind die Solaranlage (Vakuumröhren, 170 m^2) und die Adsorptionskältemaschine (70 kW). Im Jahr 2004 wurde das Monitoring der Anlage abgeschlossen. Eine detaillierte Betriebsdatenanalyse erlaubte uns eine Optimierung der Betriebsführung und Regelung.

IEA Task 25

Die Task 25 »Solar Assisted Air-Conditioning of Buildings« wurde in den Jahren 1999–2004 unter Beteiligung von elf Ländern im Rahmen des Solar Heating & Cooling Programme der IEA unter Leitung des Fraunhofer ISE durchgeführt. Das Projekt spielte eine Schlüsselrolle für die Weiterentwicklung der solarthermischen Gebäudeklimatisierung. Einige der wichtigsten Ergebnisse sind ein Handbuch und ein computergestütztes Auslegungsprogramm für Planer sowie eine umfangreiche Dokumentation von Erfahrungen an elf Demonstrationsanlagen.

Die Arbeiten erfolgten teilweise im Auftrag der Industrie und wurden durch das Bundeswirtschaftsministerium unterstützt.

Neuer Edelstahlbehang für den Sonnenschutz

Im Rahmen unserer Arbeiten zum Sonnenschutz entwickelten wir gemeinsam mit unserem Industriepartner clauss markisen Projekt GmbH den Edelstahlbehang »s_enn®«. Nach der Markteinführung im Jahr 2003 kam das Produkt nun im Jahr 2004 international bei Verwaltungsbauten großflächig zum Einsatz.

Tilmann E. Kuhn

Unsere Aufgabenstellung bei der Entwicklung des Edelstahlbehangs »s_enn®« bestand in der Gestaltung des Kernstücks, das heißt des Profils für die Edelstahlstäbe. Ein Optimum zwischen Energiereduzierung und Sichtkontakt zur Außenwelt sollte erreicht werden. Als Randbedingung setzten wir uns, dass – außer bei sehr tiefen Sonnenständen – Blendschutz sichergestellt und Tageslicht blendfrei in den Raum gelenkt werden sollte.

Das Ziel wurde erreicht:

- Das Profil (Abbildung 2) blendet selektiv bestimmte Raumwinkelbereiche des Himmels aus. Dadurch ergibt sich eine sehr gute Sonnenschutzwirkung (effektiver g-Wert 5-8%) und ein transparentes Erscheinungsbild (Foto Seite 14), obwohl die direkte Sonne fast immer komplett ausgeblendet wird.
- Das kompakte, mehrfach gekantete Profil ist wesentlich windstabiler als Jalousielamellen und Stoffe.
- Die scharfe Kante außen unten am Profil blendet die Sonne aus, ohne störende helle Streifen auf der Innenseite des Behangs zu erzeugen.

Im Jahr 2004 wurden erste Bauvorhaben realisiert, bei denen s_enn® großflächig zum Einsatz kam. Neben dem in der Abbildung dargestellten Einsatz in Salach (Abbildung 1) wird s_enn® von den Architekten Murphy/Jahn beim Bauvorhaben »Horizon Serono« in Genf eingesetzt. Weitere Beispiele sind die Anwendung am Gästehaus des Premierministers von Malaysia und am VIP-Cube des Modedesigners Louis Vuitton in Beverly Hills, Californien, USA.

s_enn® erhielt 2003 einen Innovationspreis auf der internationalen Fachmesse R+T, 2004 folgten der Bayerische Staatspreis sowie der VR-Innovationspreis. Aktuelle Infos: www.s-enn.de.

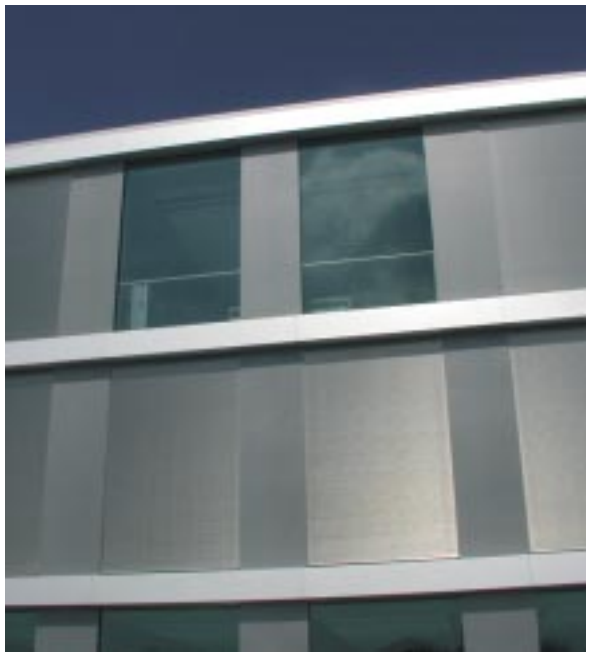


Abb. 1: Fassade am »Haus der Technik« der EMAG-Gruppe in Salach, Schweiz. Der Edelstahlbehang wirkt von außen wie eine blickdichte Fläche. Im oberen Stockwerk sind zwei Behänge hochgefahren, im Stockwerk darunter sind alle geschlossen. Architektur: Neugebauer + Rösch, Stuttgart. Foto: clauss markisen Projekt GmbH.

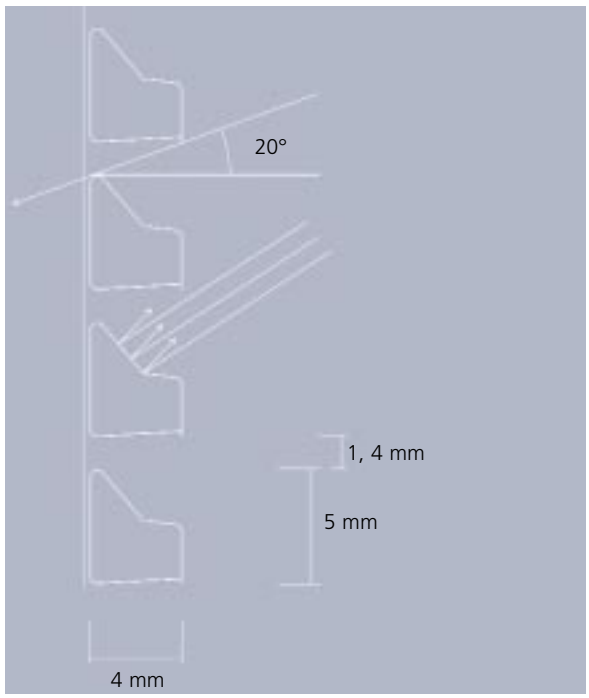


Abb. 2: Der Profilquerschnitt für die Stäbe des Edelstahlbehangs s_enn® wurde vom Fraunhofer ISE entwickelt. Der 4 mm dicke Behang läßt sich aufrollen wie ein Stoff, ist aber wesentlich windstabiler. Ab einem Profilwinkel von 20° wird die direkte Sonne ausgeblendet.

Entwicklung neuer Blendschutzkriterien

Blendschutz am Arbeitsplatz spielt in einer Zeit hochverglaster Gebäude mit Büronutzung eine immer wichtigere Rolle. Trotzdem gibt es bislang keine allgemein gültigen Kriterien für die Quantifizierung von Blendschutz an Fassaden. Am Fraunhofer ISE entwickeln wir deshalb neue Blendschutzkriterien, um Technologie zielgerichtet optimieren zu können und um bei der Planung von Fassaden für diese Fragestellung Sicherheit zu erreichen.

Jan Wienold, Tilmann E. Kuhn

Abb. 1: Nutzerversuche in Testräumen. Im identischen Referenzraum nebenan sitzt an der Kopfposition eine hochauflösende Leuchtdichtekamera mit Fischaugenobjektiv und erfasst das komplette Sichtfeld. Für jede Fassadenvariante müssen die Testpersonen bürotypische Aufgaben durchführen und im Anschluss die Lichtsituation mittels Fragebogen bewerten.

Im Rahmen unserer Arbeiten zu neuen Blendschutzkriterien für tageslichtorientierte Arbeitsplätze führen wir Nutzerversuche in einem drehbaren Testraum durch (Abbildung 1). Daneben werden in einem zweiten, identischen Testraum mit aufwändiger Messtechnik die Lichtverhältnisse dokumentiert. Jede Testperson führt die Versuche mindestens unter drei verschiedenen Fassadenaufteilungen (25%, 50%, 90% Glasanteil der Fassade) mit einem bestimmten Blendschutzsystem durch.

Um einen möglichst breiten Bereich auch hinsichtlich potenzieller Blendsituationen abzudecken, führen wir die Versuche mit drei sehr unterschiedlichen Systemen durch. (Weiße Innenjalousie, Innenjalousie mit hochverspiegelten Lamellen und grauer Rückseite, Vertikaljalousie aus Folienlamellen mit einer Lichttransmission von 2%.)

Für die Auswertung der Leuchtdichtebilder entwickelten wir ein neues Software-Werkzeug, mit dessen Hilfe mögliche Blendquellen ermittelt werden. Dieses basiert auf dem Bildformat des Lichtsimulationsprogramms RADIANCE und erlaubt somit auch die Blendschutzbewertung in der Gebäudeplanung. Ergebnisse von mehr als 75 Probanden zeigen, dass bestehende Blendungsbewertungsverfahren nur geringe Korrelationen mit den Nutzerbewertungen aufweisen (Abbildung 2). Besonders beachtenswert ist die Nicht-Korrelation (r=0.1) der Nutzerantworten mit der Fassadenleuchtdichte, die momentan in Normen und Richtlinien als Bewertungsgröße verwendet wird.

Mit Hilfe des neuen Auswerteprogramms und statistischer Parameteroptimierung entwickeln wir ein Bewertungsverfahren, welches als Ergebnis eine Wahrscheinlichkeit liefert, dass ein Nutzer durch Blendung gestört wird. Diese neue Blendungsbewertungsformel »Daylight Glare Probability DGP« berücksichtigt die detektierten Blendquellen und weist sehr hohe Korrelationen (r>0.95) mit den Nutzerbewertungen auf.

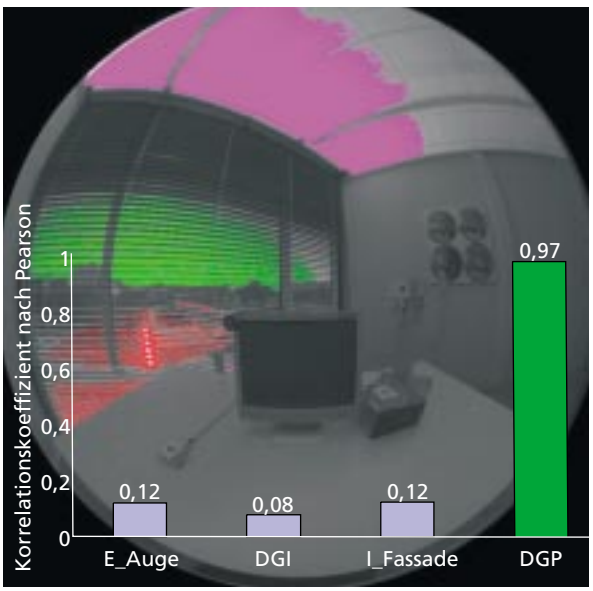


Abb. 2: Bildhintergrund: Ergebnis einer automatischen Blendquellendetektion. Das dazu am Fraunhofer ISE entwickelte Auswertungsprogramm dient als Grundlage für die Entwicklung neuer Blendschutzkriterien. Mittels Programmoptionen können z. B. extreme Blendpunkte getrennt von anderen Quellen behandelt werden. Neben der Berechnung von existierenden und neuen Indices kann ein Bild generiert werden, in dem die detektierten Blendquellen farbig hervorgehoben werden. In dem eingeblendeten Diagramm wird der Pearsonsche Korrelationsfaktor r zwischen Nutzerbewertungen und Blendungsbewertungsverfahren dargestellt. Existierende Verfahren (z. B. Daylight Glare Index DGI, Fassadenleuchtdichte I_Fassade) sowie einfache Messgrößen (vertikale Augenbeleuchtungsstärke E_Auge) weisen keine Korrelationen auf, da sie die Variabilität der Nutzerbewertung nicht berücksichtigen. Wesentlich bessere Zusammenhänge erhält man mit dem neuen Bewertungsverfahren (DGP), welches die Wahrscheinlichkeit einer Störung bestimmt.

Solare Gebäude in der Praxis

Wir analysieren »schlanke« Bürogebäude in Quervergleichen und entwickeln aus dem Langzeit-Monitoring neue Werkzeuge zu deren Betriebsführung.

Den globalen Herausforderungen stellen wir uns, indem wir den weltweit am schnellsten wachsenden chinesischen Immobilienmarkt mit standortbezogenen Konzepten bedienen.

Sebastian Herkel, Jens Pfafferott, Jan Wienold

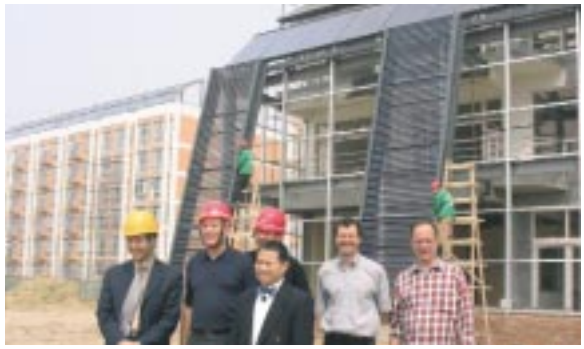


Abb. 1: Niedrigenergiegebäude in Dezhou, China. Das Fraunhofer ISE entwickelt standortgerechte Lösungen für energieoptimierte Gebäude und deren Energieversorgung.

EnBau:Monitor

Die Betriebsführung von Nichtwohngebäuden trägt wesentlich zum Erreichen von geplanten Zielwerten des Energiebedarfs und des Raumkomforts bei. Durch das von uns entwickelte, internet-basierte und mit dem lokalen Klima korrelierte Langzeit-Monitoring ist eine zeitnahe Fehlerdetektion und Optimierung des Betriebs möglich. Der Quervergleich von 25 Gebäuden zeigt, dass in der überwiegenden Mehrheit die gesteckten Ziele hinsichtlich Komfort und Energieverbrauch erreicht wurden. Die Ergebnisse werden Anfang 2005 in dem Buch »Zukunftsfähige Bürogebäude – Konzepte, Analysen, Erfahrungen« umfassend veröffentlicht.

Wir führen diese Arbeiten in Zusammenarbeit mit den Universitäten Karlsruhe und Wuppertal sowie dem Architekturbüro Solidar in Berlin durch. Die Begleitforschung für Neubauten läuft im Rahmen des Programms »Energieoptimiertes Bauen« des Bundeswirtschaftsministeriums.

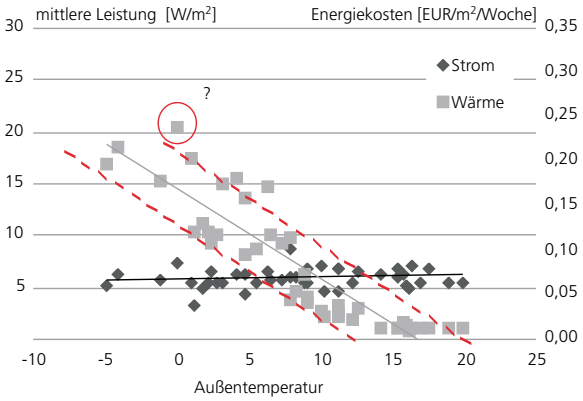


Abb. 2: Ergebnisse der wöchentlichen Ablesung des Energieverbrauchs der FH Bonn Rhein-Sieg für das Jahr 2003. Der Heizenergieverbrauch nimmt mit steigender Außentemperatur ab, der Stromverbrauch als wetterunabhängige Größe bleibt nahezu konstant. Rot markiert ist ein Wochenwert, bei dem ein untypischer Mehrverbrauch auftrat. Durch die Auftragung des wöchentlichen Energieverbrauchs in Form der mittleren spezifischen Leistung über der mittleren Außentemperatur wird eine zeitnahe Überprüfung des Gebäudebetriebs ermöglicht. Die roten Linien markieren hierbei die maximal zulässigen Abweichungen vom Sollwert. Mögliche Störungen werden schnell erkannt. Bei Eingabe der Wochenwerte in das Internet erfolgt auch direkt eine ökonomische Bewertung. Damit wird ein Instrumentarium geschaffen, das dem Betriebspersonal nicht nur die jährlichen Verbrauchswerte ermittelt.

Niedriegstenergie-Gebäude in China

2004 wurden über 25% der Jahresweltproduktion an Zement in der Volksrepublik China verbaut. Dieser Boom im Bausektor geht mit enormen Zuwachsraten im Energieverbrauch einher. In diesem Umfeld beraten wir Bauträger in China und entwickeln Konzepte für Niedrigstenergie-Wohngebäude, mit dem Ziel der Realisierung erster Nullemissions-Gebäude. Die Integration thermischer Solarenergie zur Heizungsunterstützung ist Schwerpunkt der Kooperation mit einem chinesischen Kollektorhersteller.

Für das Land Baden-Württemberg koordinieren wir ein Demonstrationsvorhaben zu mehrgeschossigem Wohnungsbau in der Provinz Liaoning. Ziel ist die Reduzierung des Energiebedarfs um 50% und der Einsatz deutscher Technologien.

Abb. 3: Fassaden-Integration von Photovoltaik bei der Turnhalle in Burgweinting. Durch integrale Planung von Raumklima und Tageslicht unterstützt das Fraunhofer ISE den Planungsprozess und die Qualitätssicherung bei der Ausführung.

Gebäude zusammen mit dem Nutzer optimieren

Kommerziell genutzte Gebäude werden unter einer Vielzahl von Gesichtspunkten geplant, gebaut und betrieben. Beurteilt werden sie durch die in ihnen arbeitenden Menschen. Gleichzeitig reagieren die Nutzer auf ihre Umgebung und beeinflussen den Komfort im Büro. Wir entwickeln Modelle für die Einbindung des Nutzerverhaltens in die Planung und Betriebsführung energieoptimierter Bürogebäude mit reduzierter Lüftungs- und Klimatechnik. Mit Hilfe von Nutzerbefragungen evaluieren wir Gebäude. Die Ergebnisse fließen in die Charakterisierung des thermischen Gebäudeverhaltens ein. Ziel ist ein reduzierter Energieverbrauch und ein verbesserter Komfort.

Elke Gossauer, **Sebastian Herkel**, Jens Pfafferott, Jan Wienold

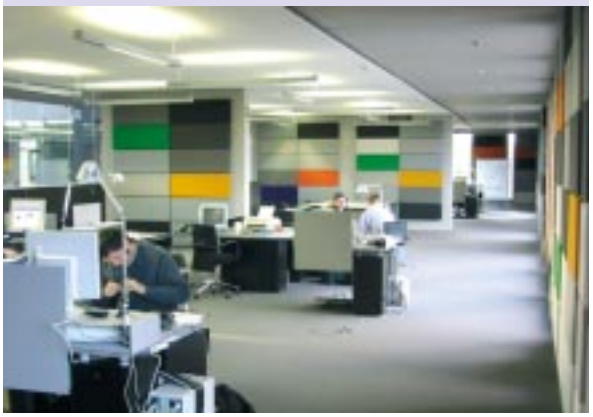
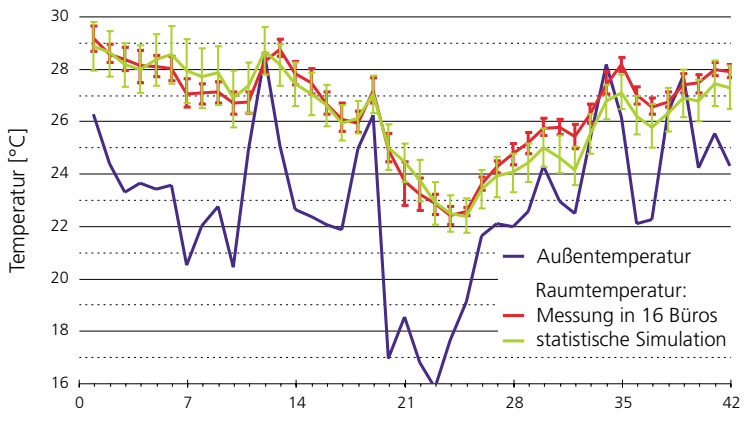


Abb. 1: Das Verwaltungsgebäude der Pollmeier Massivholz GmbH in Creuzburg wurde konsequent als Niedrigenergie-Gebäude mit reduzierten haustechnischen Anlagen konzipiert. Das Gebäude verzichtet auf eine aktive Klimatisierung, so dass die Nutzer den thermischen Komfort im Sommer durch die manuelle Bedienung von Fenstern und Sonnenschutz stark beeinflussen.



In den vergangenen Jahren wurden mehrere von uns geplante Niedrigenergie-Bürogebäude bezogen. Neben der energetischen und raumklimatischen Bewertung der Gebäude betrachten wir nun im Rahmen eines neuen Schwerpunkts die Nutzer derselben. Eine statistische Auswertung unserer umfangreichen Messkampagnen liefert erste Modelle für das Nutzerverhalten. Diese berücksichtigen Anwesenheit, Fensteröffnung und Sonnenschutz in Abhängigkeit von typischen, unabhängigen Eingangsgrößen für die Planung und die Betriebsführung, wie z. B. Außentemperatur, Jahreszeit, Uhrzeit oder Wochentag.

In der Regel werden die Einflüsse der gebauten Architektur auf die in ihnen arbeitenden Menschen nicht weiter verfolgt. So wie die Erfassung von Messdaten in Gebäuden zu objektiven Erkenntnissen und damit zur Verbesserung der Arbeitsplatzqualität und zur Reduzierung des Energieverbrauchs führen kann, können die subjektiven Eindrücke der Nutzer entscheidende Beiträge zu einem Verbesserungsprozess bezüglich der Arbeitsplatzqualität liefern.

Im Rahmen des Projekts SolarBau:Monitor führten wir in Zusammenarbeit mit der Universität Karlsruhe seit Februar 2004 in bislang sieben Gebäuden parallel Nutzerbefragungen und Messungen des Raumklimas durch. Die Auswertung der Befragungen ermöglicht die Ermittlung von spezifischen Schwachstellen und Stärken.

Die Untersuchung mittels Fragebogen kann den Einsatz von Messtechnik verringern, zukünftig eventuell sogar ersetzen. Vorausgesetzt, die Ergebnisse der subjektiven Nutzerbefragungen zeigen eine hohe Korrelation mit den objektiven Messungen auf. Planer von Neubauten oder Sanierungen profitieren von den aus der vergleichenden Evaluierung gewonnenen Erfahrungen über energiesparendes Bauen und Wohlbefinden.

Abb. 2: Am Fraunhofer ISE wird die Raumtemperatur in 16 baugleichen Büroräumen statistisch ausgewertet. Entsprechend dem Nutzerverhalten unterscheidet sich die mittlere Raumtemperatur von Büro zu Büro. Verwenden wir ein statistisches Nutzermodell für die Simulation, liegen gemessene und simulierte Werte im Bereich der Standardabweichung um den Tagesmittelwert.

Haustechnik für zukunftsfähige Wohngebäude

Zukunftsfähige Wohngebäude haben eine optimierte Gebäudehülle, einen hohen thermischen Komfort und verursachen einen sehr geringen Primärenergieverbrauch. Für solche Gebäude entwickeln wir zusammen mit unseren Industriepartnern neue, innovative Geräte für Heizung, Trinkwassererwärmung und Lüftung. Dabei kombinieren wir Solarenergie mit Wärmepumpen, Biomassenutzung, Lüftung mit Wärmerückgewinnung und dezentraler Stromerzeugung zu intelligenten Geräten.

Andreas Bühring, Benoit Sicre, Christel Russ, Jörg Dengler, Christian Bichler*, Jeannette Wapler**, Martina Jäschke*, Marek Miara, Jan van Wersch, Michael Schossow, Ines Hermann

* PSE Projektgesellschaft Solare Energiesysteme mbH, Freiburg
** PSE GmbH Forschung Entwicklung Marketing, Freiburg

Gemeinsam mit unseren Kunden entwickeln wir optimierte Geräte für die Versorgung von Wohngebäuden. Unsere Hauptaufgaben sind dabei Simulationsstudien, Beratung bei der Komponentenauswahl sowie bei der Erstellung von Baugruppenanordnungen und Versuchsmustern. Ebenso beraten wir bei der Entwicklung der Regelung und der Vermessung der ersten Geräte auf unserem Teststand sowie in Feldversuchen. Ein besonderes Augenmerk legen wir auf eine hohe Energieeffizienz, geringe Produktionskosten und die Möglichkeit der Kopplung entsprechender Anlagenkomponenten mit solaren Technologien.

Ein Schwerpunkt unserer Entwicklungen sind Lüftungs-Kompaktgeräte mit Abluftwärmepumpe für Passiv- und Niedrigstenergiehäuser. Für diese Geräte entwickeln wir neue Wärmepumpen mit höherer Effizienz und optimieren die Integration ins Lüftungsgerät sowie die Regelung. Besondere Beachtung erfährt dabei eine primärenergetisch optimierte Leistungsreserve, die dafür sorgt, dass vorhandene elektrische Leistungsreserven möglichst selten in Betrieb sind.

Ein weiterer Schwerpunkt unserer Arbeiten ist die Entwicklung von Anlagen zur Kraft-Wärme-Kopplung mit sehr kleinen Leistungen (Mikro-KWK) für den dezentralen Einsatz in Wohngebäuden. Gerade Gebäude mit sehr niedrigem

Abb. 1: Abluft-Wärmepumpe in einem geöffneten Lüftungs-Kompaktgerät (Stellfläche 0,5 m²). Sie nutzt die sensible und die latente Wärme der Abluft als Wärmequelle und deckt so den gesamten Bedarf an Heizwärme und an Trinkwasserwärme eines Passivhauses. Die Umstellung auf Kältemittel ohne klimaschädliche FKW ist ein Ziel unserer Entwicklungsarbeiten.

Heizbedarf ermöglichen eine Leistungsauslegung, bei der neben der Trinkwassererwärmung auch nahezu die gesamte Heizwärme bei gleichzeitiger Stromproduktion erzeugt werden kann. Damit kann auf den primärenergetisch schlechten Spitzenlastkessel verzichtet werden.

Neben Motoren mit interner Verbrennung sehen wir besondere Potenziale für die Entwicklung von KWK-Anlagen kleiner Leistung, bei Brennstoffzellen und bei kleinen Stirlingmotoren. Letztere haben den besonderen Vorteil, dass sie ohne aufwändige Brennstoffaufbereitung direkt mit Biomasse betrieben werden können. Zusammen mit unseren Partnern entwickeln wir neue Mikro-KWK-Anlagen und optimieren die Einbindung der Komponenten und die Regelung des Betriebs.

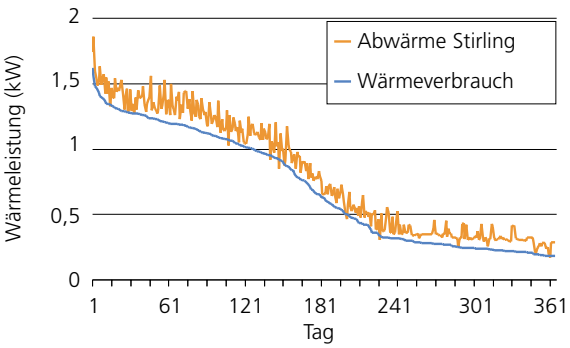
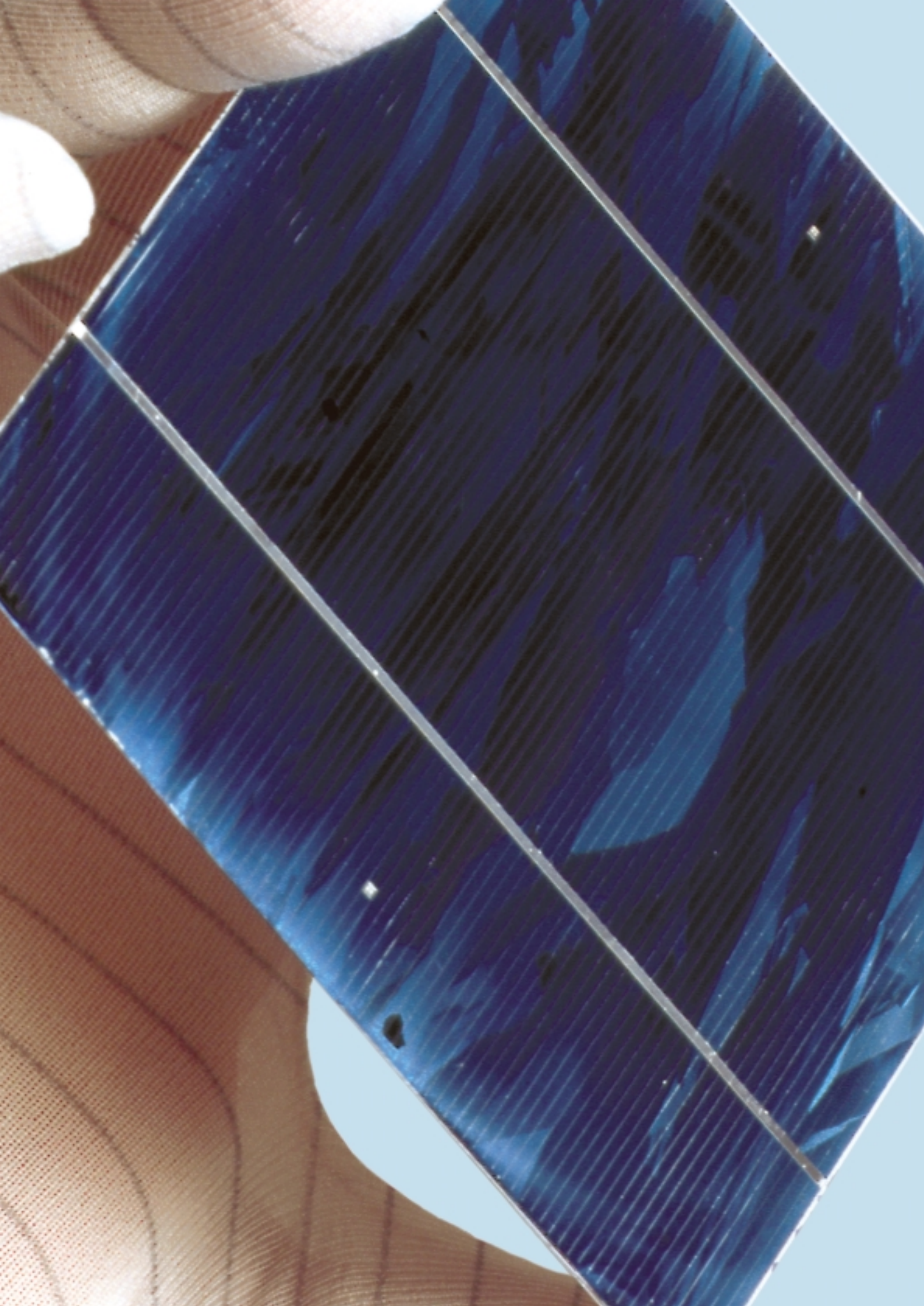


Abb. 2: Simulierte Jahresdauerline einer 1 kW_{el}-Mikro-KWK-Anlage auf der Basis eines leistungsregelbaren Stirling-Motors zur Wärmeversorgung eines Niedrigstenergiehauses. Der gesamte Nutzwärmeverbrauch beträgt 6 066 kWh/a. Die wärmegeführte Anlage liefert 7 015 kWh/a, deckt also auch die Speicherverluste. In Simulationsstudien wurden unterschiedliche Betriebsführungsstrategien (z. B. unter Beachtung des Eigenstromverbrauchs oder einer lokalen Strombörse) durchgeführt und verglichen.



Strom aus Sonnenlicht

Solarzellen

Die Photovoltaik erlebt weltweit einen Boom mit Wachstumsraten von derzeit mehr als 100% pro Jahr.

Über 90% der Solarzellen sind aus kristallinem Silicium hergestellt. 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. Über 50% des Marktes wird mit multikristallinen Silicium-Solarzellen abgedeckt. Aus diesem Grund sind wir besonders stolz darauf, dass es uns dieses Jahr als erster Forschergruppe weltweit gelungen ist, eine Zelle aus diesem Material mit über 20% Wirkungsgrad herzustellen. Erkenntnisse aus dieser Forschung kommen unmittelbar der industriellen Anwendung zugute.

Um den Einsatz teuren Ausgangsmaterials zu reduzieren, werden die Siliciumscheiben immer dünner. Durch angepasste Zellstrukturen erreichen wir dennoch konstant hohe Wirkungsgrade. Wir sind Vorreiter bei Hochleistungs-Solarzellen aus ultradünnen flexiblen 40 µm-Wafern, die in unserem Technikum bereits komplett prozessiert werden. Wir arbeiten bereits an Verfahren zur direkten Herstellung dieser dünnen Folien aus Kristallen.

Bei der kristallinen Silicium-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.

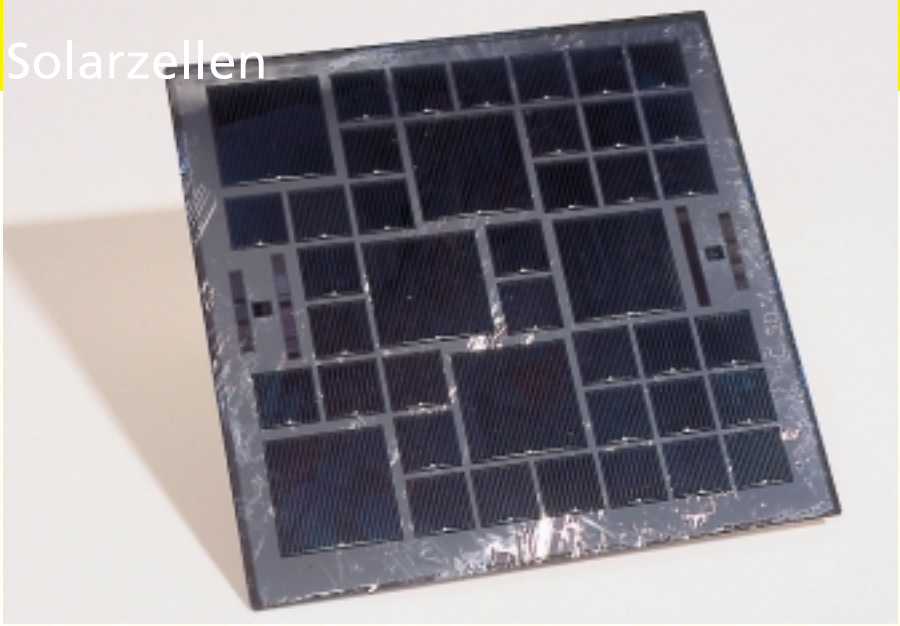
Ein drittes Materialsegment sind Farbstoff- und Organische Solarzellen. Insbesondere die Technologie der Farbstoffsolarzellen hat sich in den letzten Jahren deutlich über den Labormaßstab hinaus entwickelt. Neben der Langzeitstabilität muss aber auch die Skalierbarkeit dieser Technologie auf Modulflächen > 0,5 m^2 noch gezeigt werden. Organische Solarzellen befinden sich derzeit im Stadium der angewandten Grundlagenforschung.

Solarzellen müssen zum Schutz vor Umwelteinflüssen langzeitstabil gekapselt werden, ein Bereich, in dem deutliche Qualitätserhöhungs- und Kostensenkungspotenziale vorhanden sind. Hier arbeiten wir an stabileren Polymeren und neuen Modulkonzepten, die ganz ohne Kunststoffe auskommen.

Im Geschäftsfeld »Solarzellen« unterstützen wir Materialentwickler, Anlagenhersteller und Solarzell- und Modulproduzenten bei der

- Entwicklung neuer Zellstrukturen
- Evaluierung von neuartigen Prozessabläufen
- Optimierung von Herstellverfahren für Solarzellmaterialien und Modulen
- Herstellung kleiner Serien von Hochleistungs-Solarmodulen und kundenspezifischen Testobjekten
- Charakterisierung von Halbleitermaterialien und Solarzellen
- Entwicklung von Halbleitercharakterisierungsverfahren
- Erstellung von Photovoltaik-Studien

Solarzellen



Hocheffiziente 1 cm^2 und 4 cm^2 Solarzellen auf einem 100 cm^2 großen multikristallinen Silicium-Wafer. Durch die speziell auf multikristallines Material angepasste Solarzellenstruktur und Prozessführung konnten wir Wirkungsgrade bis zu 20,3% erreichen. Dies ist der aktuelle Weltrekord für multikristalline Silicium-Solarzellen. Der mittlere Wirkungsgrad aller Zellen auf dem hier abgebildeten Wafer liegt bei 18,1%. Eine Übertragung der Zellstruktur auf große Solarflächen (Foto vorangehende Seite) bietet sich daher an und ist Gegenstand unserer aktuellen Forschung (Beitrag Seite 34).

Ansprechpartner

Monokristalline Silicium-Solarzellen	Dr. Stefan Glunz	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-51 91 E-Mail: Stefan.Glunz@ise.fraunhofer.de
Multikristalline Silicium-Solarzellen	Prof. Roland Schindler	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-52 52 E-Mail: Roland.Schindler@ise.fraunhofer.de
Kristalline Silicium-Dünnschichtsolarzellen	Dr. Stefan Reber	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-52 48 E-Mail: Stefan.Reber@ise.fraunhofer.de
Solarzellen-Fertigungstechnologie	Dr. Ralf Preu	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-52 60 E-Mail: Ralf.Preu@ise.fraunhofer.de
III-V-Solarzellen und Epitaxie	Dr. Andreas Bett	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-52 57 E-Mail: Andreas.Bett@ise.fraunhofer.de
	Dr. Frank Dimroth	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-52 58 E-Mail: Frank.Dimroth@ise.fraunhofer.de
Farbstoff- und Organische Solarzellen	Dr. Andreas Hinsch	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-54 17 E-Mail: Andreas.Hinsch@ise.fraunhofer.de
Charakterisierung von Solarzellen und -material	Dr. Wilhelm Warta	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-51 92 E-Mail: Wilhelm.Warta@ise.fraunhofer.de
Photovoltaische Module	Dr. Helge Schmidhuber	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-51 93 E-Mail: Helge.Schmidhuber@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

Übergreifende Koordination

Silicium- und III-V-Solarzellen	Priv. Doz. Dr. Gerhard Willeke	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-52 66 E-Mail: Gerhard.Willeke@ise.fraunhofer.de
Farbstoff- und Organische Solarzellen	Priv. Doz. Dr. Volker Wittwer	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-51 40 E-Mail: Volker.Wittwer@ise.fraunhofer.de
Photovoltaische Module	Dr. Christopher Hebling	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-51 95 E-Mail: Christopher.Hebling@ise.fraunhofer.de

Hocheffiziente Solarzellen aus multikristallinem Silicium

Heute sind 55% aller Solarzellen weltweit aus multikristallinem Silicium gefertigt. Im Unterschied zu monokristallinem Silicium, dessen Marktanteil bei knapp 35% liegt, ist das multikristalline Material zwar kostengünstiger, weist aber wesentlich mehr Defekte wie Korngrenzen oder Versetzungen auf. Aus diesem Grunde lagen die Wirkungsgrade von Solarzellen aus diesem Material bislang – im Gegensatz zu monokristallinem Silicium – unter 20%. Durch gezielte Optimierung der Zellstruktur und des Herstellungsprozesses ist es uns nun erstmals gelungen, diese psychologisch wichtige Grenze zu durchbrechen.

Stefan Glunz, Jan-Christoph Goldschmid, Franz J. Kamerewerd, Daniel Kray, Harald Lautenschlager, Antonio Leimenstoll, Elisabeth Schäffer, Eric Schneiderlöchner, Oliver Schultz, Sonja Seitz, Siwita Wassie, Gerhard Willeke

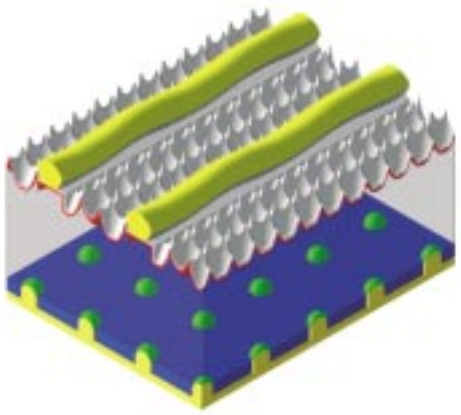


Abb. 1: Struktur der hocheffizienten multikristallinen Silicium-Solarzelle (siehe Text). Deutlich ist die tiefe Textur auf der Vorderseite der Zelle zu erkennen (siehe auch Abbildung 2). Die zusätzliche Antireflexschicht ist aus grafischen Gründen nicht dargestellt.

Multikristallines Silicium unterscheidet sich in zwei gravierenden Punkten von monokristallinem Silicium: Einerseits besteht es aus verschiedenen Siliciumkristalliten mit unterschiedlicher Orientierung, deren Anordnung einem Flickenteppich ähnelt, andererseits weist es eine hohe Dichte von Kristalldefekten wie Versetzungen und Korngrenzen auf. An diesen Defekten lagern sich während der Kristallherstellung eine Vielzahl von metallischen Verunreinigungen an. Diese beiden Umstände verhindern die einfache Übertragung des schon seit Jahren etablierten Weltrekordprozesses für monokristallines Silicium auf multikristallines Silicium.

Die Zusammensetzung der multikristallinen Scheibenoberfläche aus unterschiedlichen Kristallorientierungen macht jenen anisotropen Ätzschritt unmöglich, mit dem auf monokristallinen Siliciumoberflächen die typische Pyramidenoberfläche hergestellt wird. Da aber gerade eine solche Pyramidenoberfläche den für hohe Wirkungsgrade unentbehrlichen effektiven Einfang des auf die Zelle treffenden Lichts ermöglicht, entwickelten wir einen neuen Prozess für die Herstellung einer Oberflächentextur. In Abbildung 1 und 2 sieht man diese sehr tiefe und effektive Struktur, die zusammen mit einer geeigneten Antireflexbeschichtung die optische Reflexion auf Werte unter 2% verringert.

Um Wirkungsgrade im Bereich von 20% erreichen zu können ist es absolut notwendig, die Rekombination, das heißt die Vernichtung der durch das Licht generierten Ladungsträger zu verhindern. Da multikristallines Material üblicherweise eine relativ hohe Anzahl von elektrisch aktiven Defekten aufweist, die zudem noch stark inhomogen verteilt sind, sind die Diffusionslängen – also die mittlere Weglänge, die Minoritätsladungsträger zurücklegen können – nicht allzu groß. Wir benutzten daher relativ dünne Scheiben, um so die für die Ladungsträger notwendigen Wegstrecken zum pn-Übergang zu verkürzen.

Durch die reduzierte Dicke gewinnt allerdings die Rückseite der Zelle an Bedeutung. Langwelliges Licht kann relativ tief in Silicium eindringen, weshalb die Rückseite insbesondere bei dünnen Zellen optisch gut verspiegelt sein sollte. Außerdem dürfen die generierten Ladungsträger nicht an der Rückseite rekombinieren, das heißt diese sollte frei von elektrisch aktiven Defekten sein. Das Ziel ist hier eine gute Oberflächenpassivierung. Auf ideale Weise lassen sich diese Anforderungen mit einer Rückseitenstruktur aus einer Siliciumdioxidschicht (blau in Abbildung 1) und einer Aluminiumschicht (gelb) erfüllen. Die Aluminiumschicht wird mittels des am Fraunhofer ISE entwickelten Laser-Fired-Contacts-Prozesses nur an wenigen Punkten durch die Siliciumdioxidschicht »durchgefeuert«, um so den elektrischen Kontakt herzustellen.

Eine Schwierigkeit stellt jedoch die Herstellung der Siliciumdioxidschicht dar: Diese wird üblicherweise bei einer Temperatur von über 1 000 °C durch Oxidation erzeugt. Bei solchen Temperaturen lösen sich aber die an den Kristalldefekten angelagerten metallischen Verunreinigungen und »überschwemmen« das komplette Material mit hochaktiven Defekten. Deshalb entwickelten wir einen neuen Oxidationsprozess, der einerseits bei niedrigeren Temperaturen abläuft, andererseits aber auch eine gute Oberflächenpassivierung gewährleistet. Der entscheidende Punkt hierbei ist die Beimischung von Wasserdampf zur Oxidationsatmosphäre. Dadurch ist die Oxidationsrate auch bei geringeren Temperaturen relativ hoch und die hergestellten Oxidschichten zeigen sehr gute Eigenschaften.

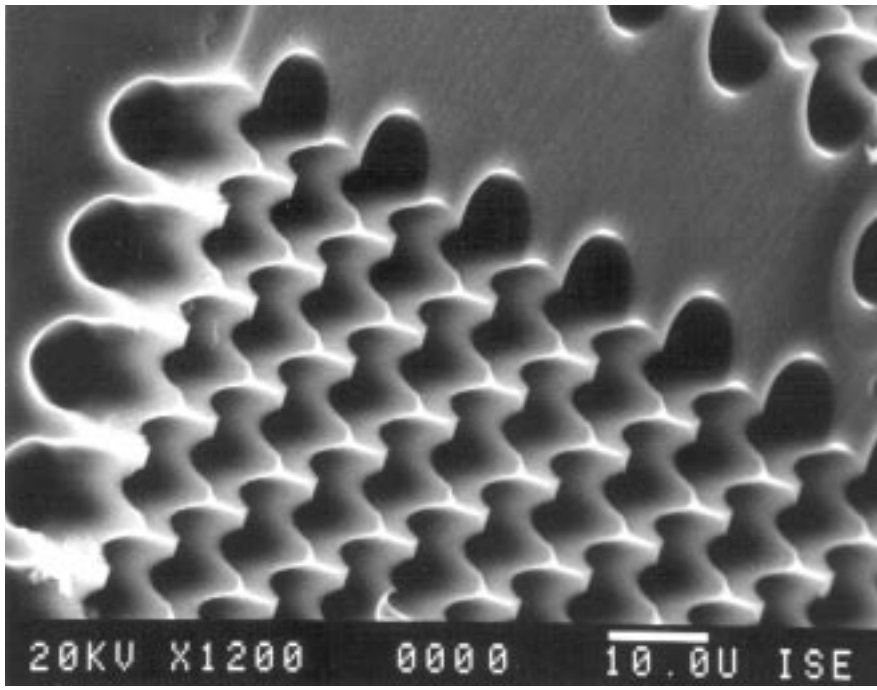


Abb. 2: Rasterelektronenmikroskop-Aufnahme der Antireflexstruktur. Der untexturierte Bereich auf der linken Seite dient als Plateau für einen Kontaktfinger.

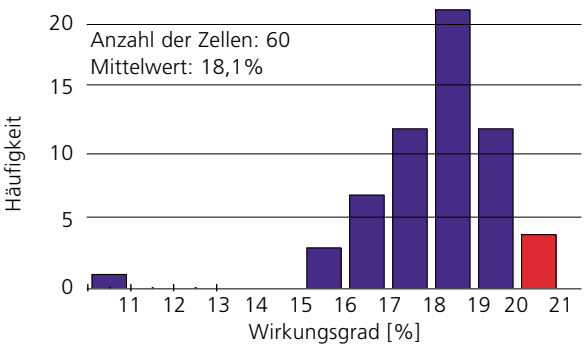


Abb. 3: Verteilung der auf zwei Wafern erzielten Wirkungsgrade. Neben den Spitzenwirkungsgraden um 20%, verdient auch der hohe Mittelwert Beachtung. Er zeigt, dass der entwickelte Prozess insbesondere im Hinblick auf die gewählte Temperaturführung auch in schlechteren Materialbereichen hohe Wirkungsgrade erlaubt.

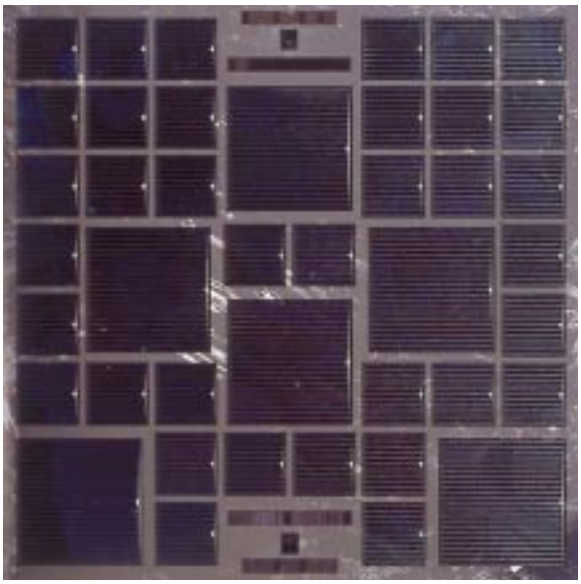


Abb. 4: Foto einer 10x10 cm² großen multikristallinen Siliciumscheibe mit 1x1 cm² und 2x2 cm² großen Solarzellen.

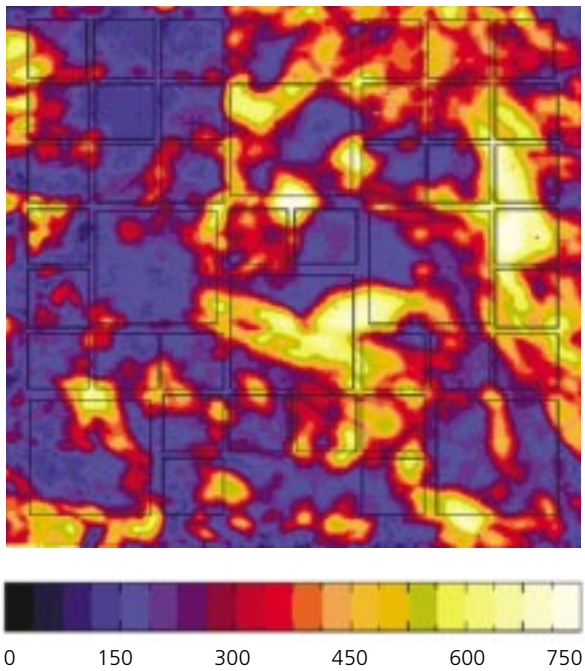


Abb. 5: Topographie der Ladungsträgerdiffusionslängen (Skala in µm) einer 10x10 cm² großen multikristallinen Siliciumscheibe nach Phosphordiffusion. Die Messung wurde mit der »Carrier Density Imaging« Methode (CDI) durchgeführt. Die schwarzen Linien zeigen die Grenzen der 1 und 4 cm² großen Solarzellen, die teilweise in sehr guten (gelb), aber auch schlechten (blau) Materialbereichen liegen.

Mit diesem Zellprozess stellten wir eine Vielzahl von kleinen Solarzellen auf 10x10 cm² großen multikristallinen Scheiben her (Abbildung 4). Abbildung 5 zeigt eine typische Topographie der Diffusionslängen auf einer multikristallinen Siliciumscheibe. Deutlich ist zu erkennen, dass manche Zellen komplett in relativ schlechten (schwarz), andere wiederum in guten (gelb) Bereichen liegen. Die Verteilung der erzielten Wirkungsgrade (Abbildung 3) zeigt, wie optimal der Solarzellenprozess auf multikristallines Silicium angepasst wurde. Auch die Zellen in schlechten Zonen weisen noch hohe Wirkungsgrade von 15 bis 17% auf. In diesen kritischen Bereichen ist es sogar gelungen, die elektrische Qualität durch den Prozess zu erhöhen. Spektakulärer sind natürlich die Wirkungsgrade in guten Materialbereichen. Es ist uns weltweit als erster Gruppe gelungen, die wichtige Grenze von 20% zu überschreiten: Der Bestwirkungsgrad und aktuelle Weltrekord von 20,3% wurde dabei in einer unabhängigen Messung durch das National Renewable Energy Laboratory in den USA bestätigt.

Trend zu großflächigen Silicium-Solarzellen

Vor dem Hintergrund der Tendenz zu großflächigen Silicium-Solarzellen prüfen wir die Grenzen der Handhabbarkeit von Solarzellen großer Flächen. Unsere multikristallinen Solarzellen mit 450 cm² Fläche weisen ein rechteckiges Format auf und liefern einen Kurzschlussstrom von 14 A.

Dietmar Borchert, Ali Kenanoglu, Harald Lautenschlager, Isolde Reis, Markus Rinio, **Roland Schindler**

In den vergangenen Jahren sind Silicium-Solarzellen immer größer geworden. Gegenwärtig verwendet die Industrie vor allem Siliciumscheiben der Formate 125x125 mm² und zunehmend auch 156x156 mm². Selbst noch größere Scheibenformate wie z. B. 210x210 mm² sind in der Diskussion. Der Grund für die Tendenz zu größeren Flächen liegt darin, dass sich die Kosten für die Handhabung von Scheiben mit größerer Fläche bei vielen Produktionsanlagen reduzieren. Werden die Solarzellen zudem noch dünner, so ergeben sich weitere Kostensenkungen durch geringeren Materialeinsatz beim Silicium. Allerdings stellt uns die Bruchanfälligkeit bei der Handhabung großer und dünner Scheiben vor neue Aufgaben.

Um die Grenzen der Handhabbarkeit von großflächigen Silicium-Solarzellen auszuloten, stellten wir Solarzellen der Fläche 150x300 mm² mit unterschiedlichen Rückseitenstrukturen her.

Herkömmliche Solarzellen verfügen über einen großflächigen Metallkontakt aus Aluminium auf der Rückseite, welcher zu einer Verspannung und in Folge zu einer Verbiegung der Solarzelle führen kann. Diese Verbiegung wird umso größer, je dünner die Siliciumscheibe ist und kann schließlich bis zum Bruch führen. Um die Verbiegung zu reduzieren ist es erforderlich, spannungskompensierende Metallisierungsschemata zu entwickeln. Dies erprobten wir durch eine Kombination von dielektrischer Passivierung und linienhaften Kontaktstrukturen. Erste Solarzellen erzielten dabei einen Wirkungsgrad von 14,2% bei Kurzschlussströmen von 14 A.

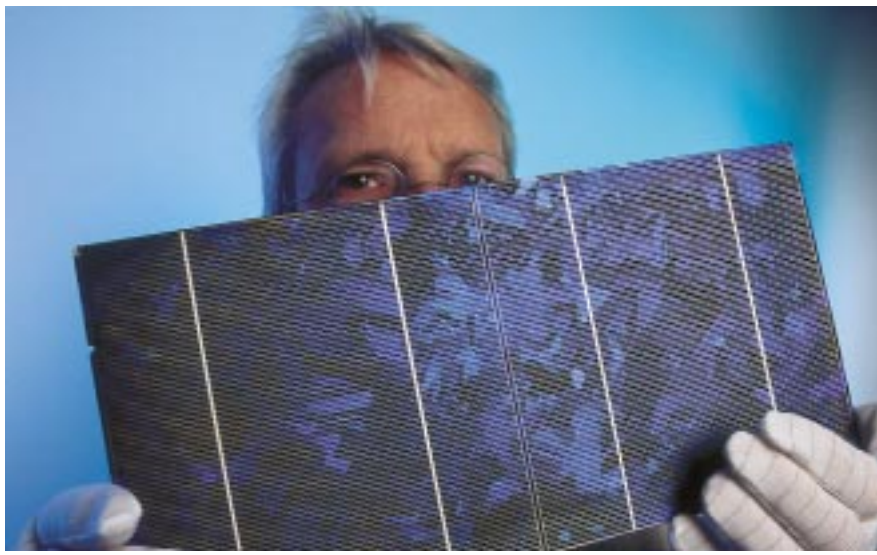


Abb. 1: Großflächige Silicium-Solarzelle (150X300 mm²).

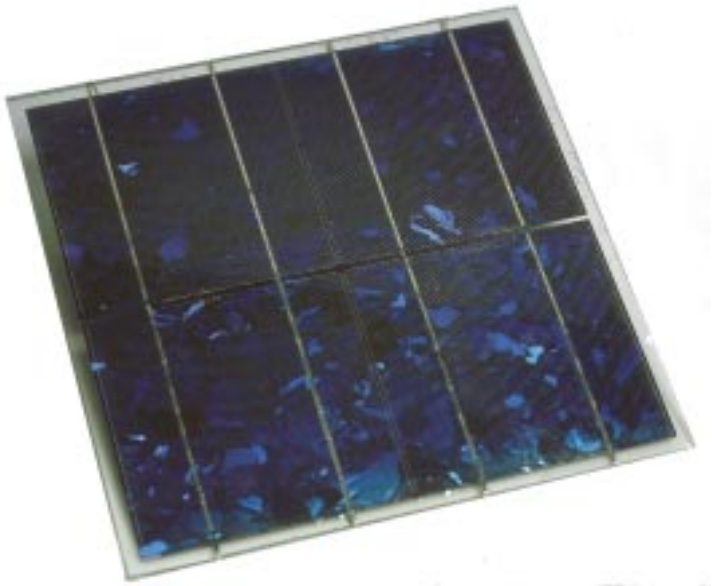


Abb. 2: Minimodul aus zwei großflächigen Solarzellen.

Technologie-Entwicklung für die Produktion von dünnen und hocheffizienten Silicium-Solarzellen

Wir haben unsere LFC-Technologie zur Kontaktierung der Solarzellenrückseite mit dem industrieüblichen Siebdruckverfahren zur Vorderseitenkontaktierung kombiniert. Hierdurch ist es uns gelungen, Solarzellen aus 160 µm dünnen und 125x125 mm^2 großen monokristallinen Siliciumscheiben mit einem Wirkungsgrad von über 18% herzustellen und die Verbiegung der Solarzelle zu vermeiden.

Ingo Brucker, Gernot Emanuel, Andreas Grohe, Daniel Kray, **Ralf Preu**, Jochen Rentsch, Eric Schneiderlöchner, Oliver Schultz

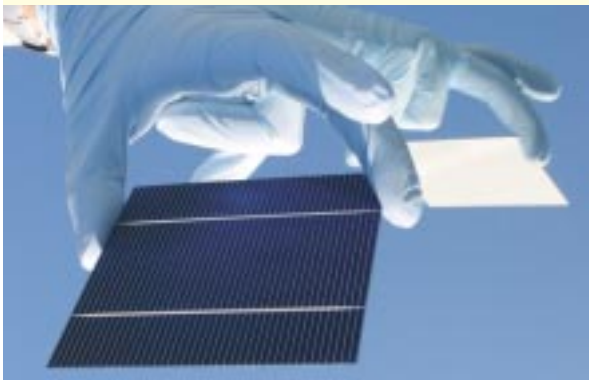


Abb. 1: Diese 160 µm dünnen Silicium-Solarzellen wurden nur auf der Vorderseite mit dem Siebdruckverfahren kontaktiert. In die im Hintergrund sichtbare spiegelnde Aluminiumoberfläche auf der Solarzellenrückseite sind mittels Laserstrahlung 10 000 nur ein Hundertstel Quadratmillimeter große Kontaktpunkte einlegiert. Die Verbiegung der Zelle kann hiermit vermieden werden.

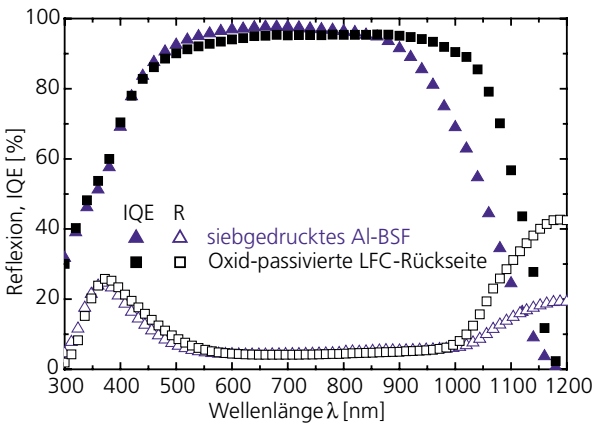


Abb. 2: Vergleich der Internen Quanteneffizienz und der Reflexion von je einer mittels LFC- und im Siebdruckverfahren rückseitig kontaktierten Solarzelle. Es ist deutlich das verbesserte Verhalten der LFC-Zelle im langwelligen Bereich ab 900 nm zu erkennen, was auf die verbesserten optischen und elektrischen Eigenschaften zurückzuführen ist.

Mit dem Ziel, die Herstellungskosten für kristalline Silicium-Solarzellen zu reduzieren, entwickelten wir eine neue Produktionstechnologie. Unsere Hauptstoßrichtungen sind die Erhöhung des Wirkungsgrads und die Reduktion der Dicke der eingesetzten Siliciumscheiben. Unser Ansatz ist die Umsetzung der Strukturen hocheffizienter Solarzellen mit kostengünstigen und materialschonenden Verfahren.

Industriell werden heute überwiegend Siliciumscheiben mit einer Scheibendicke deutlich über 200 µm eingesetzt. Eine Reduktion der Scheibendicke deutlich unter 200 µm setzt den Einsatz neuartiger Rückseitenkontaktierugsverfahren voraus, da das heute übliche Verfahren zu einer starken Verbiegung der Zelle z. B. über 15 mm bei 80 µm Zelldicke führt. Es gelang uns, das industrieübliche Siebdruckverfahren zur Kontaktierung der Solarzellen auf der Vorderseite beizubehalten und auf der Rückseite mit der von uns entwickelten Laser-Fired-Contact-Technologie (LFC) zu einem Solarzellenprozess zu verbinden. Bei diesem Verfahren wird die Oberfläche der Rückseite der Solarzelle mit einem Verbund aus einer ca. 0,1 µm dünnen dielektrischen Passivierungsschicht und einer ca. 2 µm dünnen Aluminiumschicht versehen. Nachfolgend wird mittels eines Festkörperlasers das Aluminium punktuell in die Siliciumoberfläche zur Kontaktbildung einlegiert. Ein wesentlicher Erfolg der Entwicklung ist der Einsatz eines galvanometrisch gesteuerten Spiegelsystems zur Laserstrahlpositionierung, mit Hilfe dessen eine Solarzelle in 1 Sekunde mit 10 000 Kontaktpunkten versehen werden kann (Abbildung 1). Auf 160 µm dünnen 12,5x12,5 cm^2 großen monokristallinen Silicium-Solarzellen haben wir einen Wirkungsgrad von über 18% erreicht. Für diese Solarzellen konnten wir im Vergleich zu dem industrieüblichen Verfahren sowohl einen signifikanten Leistungszugewinn erreichen als auch die Verbiegung vermeiden. Die Ergebnisse entstanden teilweise im Rahmen der vom Land Baden-Württemberg geförderten Forschungsallianz kristalline Siliciumsolarzellentechnologie FAKT, in der auch die Universitäten aus Freiburg, Konstanz und Stuttgart eingebunden sind.

Silicium-Heterosolarzellen auf industrierelevanten Substratgrößen

Silicium-Heterosolarzellen sind eine kostengünstige Alternative, um hohe Solarzellenwirkungsgrade zu erreichen. In unserem Labor- und Servicecenter Gelsenkirchen gelang es uns, weltweit erstmalig Silicium-Heterosolarzellen auf p-leitendem Silicium auf Substratgrößen von 100 cm² herzustellen. Dabei erzielten wir einen Wirkungsgrad von 13,5% auf monokristallinem Cz-Silicium. Zielsetzung ist die produktionskompatible Übertragung neu entwickelter Prozesse vom Labormaßstab auf industrierelevante Substratflächen.

Nico Ackermann, Mohammed Abusnina, **Dietmar Borchert**, Antje Gallach, Andreas Gronbach, Ali Kenanoglu, Sebastian Krieger, Yaqiong Liu, Stefan Müller, Otto Müller, Markus Rinio, Björn Schäfer, Mark Scholz, Elmar Zippel

Silicium-Heterosolarzellen bestehen aus einem mono- oder multikristallinen Basismaterial, auf dem z. B. eine oder mehrere amorphe Siliciumschichten abgeschieden werden. Abbildung 1 zeigt die einfachste Struktur einer solchen Heterosolarzelle. Bei dem gesamten Herstellungsprozess wird eine Temperatur von 250 °C nicht überschritten. Die Firma Sanyo demonstrierte mit diesem Konzept auf n-leitenden Substraten Wirkungsgrade von über 20%. Simulationsrechnungen ergaben, dass solche Wirkungsgrade auch auf p-leitenden Substraten erzielt werden können. Auf kleinen Flächen wurden bereits über 17% Wirkungsgrad erreicht.

Ziel unserer Arbeiten war es, für kleine Zellgrößen entwickelte Prozesse auf industrierelevante Substratgrößen zu übertragen. Im Vordergrund stand dabei, auf eine leichte industrielle Umsetzbarkeit der Prozesse zu achten.

Zunächst optimierten wir den Ätzprozess zur Entfernung des Sägeschadens. Dann entwickelten wir auf unserer Durchlauf-Plasmaanlage Prozesse für die Abscheidung von n-, p- und undotierten amorphen Siliciumschichten. Darüber hinaus nahmen wir eine Sputterquelle (Abbildung 2) zur Deposition von Indium-Zinnoxid-Schichten in Betrieb, um die Heterozelle komplett in unserem Labor fertigen zu können.

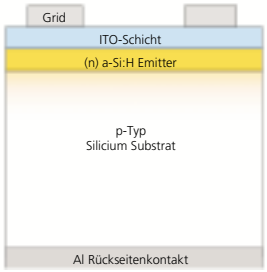


Abb. 1: Einfachste Struktur einer Silicium-Heterosolarzelle. Auf ein p-leitendes Substrat werden nacheinander die dünne Emitterschicht aus amorphem Silicium und eine Indium-Zinnoxid (ITO-)-Schicht aufgebracht. Die Metallisierung besteht auf der Vorderseite aus Silber und auf der Rückseite aus Aluminium.

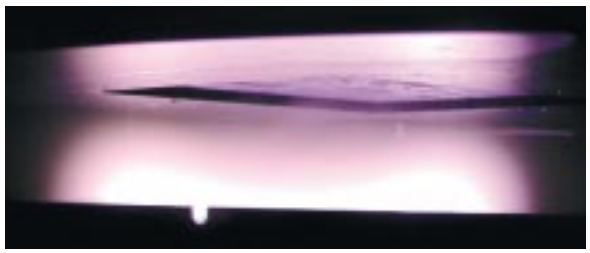


Abb. 2: Sputterquelle zur Abscheidung von Indium-Zinnoxid (ITO)-Schichten. Der zu beschichtende (multikristalline) Wafer wird mit der zu beschichtenden Seite nach unten über die Plasmaquelle geführt. Die ITO-Schichten erfüllen in der Heterosolarzelle zwei Aufgaben: Sie dienen als Antireflexschicht und sorgen für eine ausreichende Querleitfähigkeit zwischen den Grid-Fingern.

Abb. 3: Bild einer 10x10 cm² großen Silicium-Heterosolarzelle auf p-leitendem Cz-Silicium. Der Emitter ist lediglich 7,5 nm dünn. Das Grid auf der Vorderseite entspricht dem einer siebgedruckten Zelle, ist aber aufgedampft.

Mit dieser einfachen Struktur, die noch nicht über eine gezielte Vorder- und Rückseitenpassivierung verfügt, erreichten wir auf 100 cm² großen monokristallinen Cz-Siliciumscheiben bereits Wirkungsgrade von bis zu 13,5% (Abbildung 3).

Neben der Anwendung in den Heterosolarzellen lassen sich die von uns entwickelten undotierten amorphen Siliciumschichten auch als sehr gute Passivierungsschichten auf n- und p-leitenden Silicium-Substraten einsetzen. Der »kalte« Hetero-Prozess eignet sich auch sehr gut zur Materialcharakterisierung, da in diesem Prozess keinerlei Materialveränderungen auftreten.

Hochdurchsatz-Siliciumepitaxie für Dünnschichtsolarzellen

Bei der Herstellung kristalliner Silicium-Dünnschichtsolarzellen steht eine schnelle, kostengünstige Methode zur Siliciumabscheidung im Mittelpunkt. Denn die nur 10 bis 20 µm dicke Siliciumschicht ist das zentrale Element dieses Solarzellentyps, unabhängig vom Herstellungsverfahren. Im Rahmen unterschiedlicher Forschungsprojekte entwickeln wir eine Anlage zur Hochdurchsatz-Siliciumabscheidung. Die Umsetzung erfolgt mit der Firma centrotherm. Die vorgesehene Anwendung sind sogenannte epitaktische Silicium-Waferäquivalente.

Albert Hurrle, Mira Kwiatkowska, Norbert Schillinger, Friedrich Lutz, Harald Lautenschlager, Jochen Rentsch, **Stefan Reber**

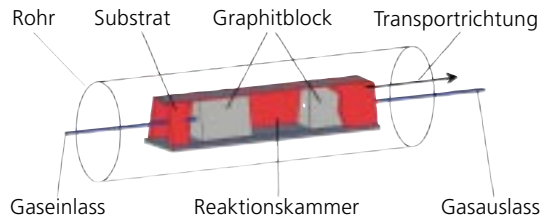


Abb. 1: Schematische Darstellung der kontinuierlichen CVD-Anlage: das Prozessgas wird in eine Abscheidekammer geführt, wo es sich bei 1 200 °C zersetzt und auf die Innenseiten der an der Kammer vorbeigleitenden Substrate abscheidet.

Abb. 2: Die kontinuierliche CVD-Anlage in einem Labor des Fraunhofer ISE. Auf der linken Seite ist ein mit Siliciumwafern beladener Träger zu sehen, der nach rechts durch die Anlage geschoben wird, um auf der anderen Seite entladen zu werden.

Am Anfang fast aller Silicium-Solarzellen steht das Trichlorsilan. Aus dieser flüssigen chemischen Verbindung gewinnt man hochreines Silicium, das nach weiteren Bearbeitungsschritten als Rohmaterial für Solarzellen verwendet wird. Unsere Dünnschichttechnologie verwendet Trichlorsilan direkt: statt Blöcke zu kristallisieren und in Scheiben zu schneiden stellen wir direkt aus der verdampften Flüssigkeit eine nur etwa 10 bis 20 µm dünne Siliciumschicht auf einem Trägersubstrat her. Dieser Prozess nennt sich »Chemische Gasphasenabscheidung« oder kurz »CVD«.

Oberstes Ziel für eine dünne CVD-Schicht sind niedrige Herstellungskosten. Dazu haben wir einen besonderen Aufbau des Reaktorinneren gewählt, wie in Abbildung 1 schematisch gezeigt: Das Prozessgas wird durch ein Rohr in eine Kammer aus Graphit geleitet. Hier zersetzt sich das Gas bei ca. 1 200 °C, die entstehenden Molekülbruchstücke lagern sich vornehmlich an den nach innen gewandten Seiten der rot markierten Substratreihen ab und lassen dort die Siliciumschicht entstehen. Bewegt man nun die Substratreihen gleichzeitig entlang des Gasstroms an der Kammer vorbei, kann man sehr hohe Durchsätze erreichen und gleicht zudem mögliche Inhomogenitäten der Abscheidung aus.

Ausgehend von diesem Schema entwickelten wir gemeinsam mit der Firma centrotherm GmbH eine CVD-Anlage, die als Prototyp die Realisierbarkeit unserer Idee zeigt. Zu den Leistungsvorgaben zählten Abscheideraten bis 5 µm/min über eine Länge von 40 cm. Dies entspricht bei einer 10 µm dicken Schicht einem Durchsatz von knapp 5 m^2/h, etwa einem Drittel des Durchsatzes einer heutigen Solarzellenfertigungslinie.

Ein wesentliches Designelement der Anlage sind Gasschleusen an der Be- und Entladestation. Sie trennen die Gasvolumina innerhalb und außerhalb der CVD-Anlage. So können die Träger kontinuierlich und ohne aufwändige Steuerung durch die Anlage hindurch bewegt werden. Eindrucksvoll konnten wir die Wirksamkeit der Substratbewegung belegen, wie in Abbildung 3 gezeigt: Ungleichmäßige Profile, die bei stationärer Abscheidung zwangsläufig entstehen und die Funktionsfähigkeit des Waferäquivalents in Frage stellen würden, werden bei bewegter Abscheidung komplett eingeebnet. Doch nicht nur die Gleichmäßigkeit des Profils, auch die Kristallqualität ist entscheidend. Für beste Dünnschichtsolarzellen müssen defektarme Siliciumschichten epitaktisch, d.h. der Kristallorientierung des Substrats folgend, hergestellt werden. Auch diese Hürde konnten wir meistern. Querschliffe von epitaxierten Schichten auf multikristallinen Siliciumscheiben, die wir als Testsubstrat einsetzen, zeigen bisher erfreulich niedrige Defektdichten. Abbildung 4 zeigt acht dieser 10x10 cm^2 großen Silicium-Scheiben, deren äußerer Eindruck bereits ihre gute Qualität belegt.

Parallel zur Anlagenentwicklung optimierten wir die Herstellungsprozesse für Solarzellen aus epitaktischen Waferäquivalenten. Sie bestehen aus dünnen Epitaxieschichten, die auf kostengünstigem für direkte Solarzellen-Prozessierung nicht geeignetem Siliciumsubstrat abgeschieden werden. Ergebnis der Arbeiten ist, dass sich die Waferäquivalente wie »normale« Siliciumwafer zu Solarzellen und Modulen prozessieren lassen. Das Dünnschichtmodul sieht, wie Abbildung 5 zeigt, genauso aus wie ein Standardmodul. Sein Wirkungsgrad von 10,2% ist vielversprechender Ausgangspunkt für eine mögliche Pilotproduktion.

Ermöglicht wurde dieser Erfolg dank der Förderung in mehreren Projekten durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit sowie durch die Europäische Union.

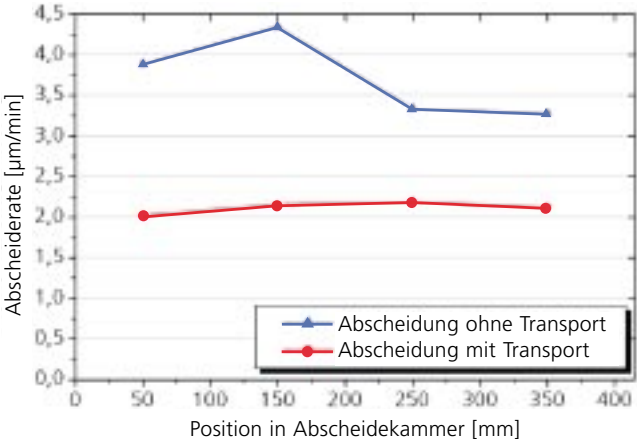


Abb. 3: Abscheideraten bei einer Abscheidung ohne (blau) und mit (rot) Bewegung der Silicium-Scheiben. Deutlich sieht man den einebnenden Effekt der Probenbewegung, der eine Verwendung der Anlage für die Photovoltaik erst ermöglicht. Durch Prozessoptimierungen erwarten wir auch bei bewegten Abscheidungen Abscheideraten um 5 µm/min zu erreichen.

Abb. 4: Ein mit Testwafern aus multikristallinem Silicium beladener Träger nach einer epitaktischen Abscheidung von Silicium. Man kann sehr gut die unterschiedlich reflektierenden Kristallkörner der Schicht erkennen, die durch unterschiedlich hohe Wachstumsraten auf den verschiedenen Kristallorientierungen entstanden sind. Die Trägerabmessungen sind ca. 40x20 cm^2.

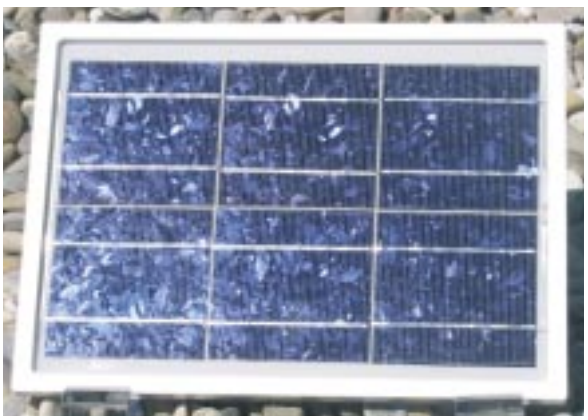


Abb. 5: Ein Minimodul aus sechs multikristallinen epitaktischen Waferäquivalenten der Größe 10x10 cm^2. Obwohl es so hergestellt wurde und so aussieht wie ein »normales« Modul, ist es doch ein echtes Dünnschichtmodul.

III-V Photovoltaikzellen und PV-Empfängermodule für optisch konzentrierende Photovoltaik-Systeme

Auf der Basis von III-V Halbleitern stellen wir epitaktische Schichtsysteme her, aus denen Tripel-Weltraumsolarzellen und Tandem-Konzentratorsolarzellen entstehen. Mit Wirkungsgraden von über 30% werden diese Zellen in spezielle Empfängermodule für die Anwendung in optischen Konzentratorsystemen integriert. Ein solches System, das FLATCON™-Konzept, ist jetzt marktreif. Weitere Entwicklungen aus der III-V Epitaxie sind kundenspezifisch gefertigte Laserleistungs- und Thermophotovoltaik (TPV)-Zellen.

Paul Abbott, Carsten Baur, **Andreas Bett**, Armin Bösch, **Frank Dimroth**, Ines Druschke, Wolfgang Guter, Martin Hermle, Maria Lada, Hansjörg Lerchenmüller, Rüdiger Löckenhoff, Astrid Ohm, Matthias Meusel, Severin Müller, Sascha van Riesen, Gerald Siefer, Thomas Schlegl, Jan Schöne, Johannes Seiz, Sivita Wassie

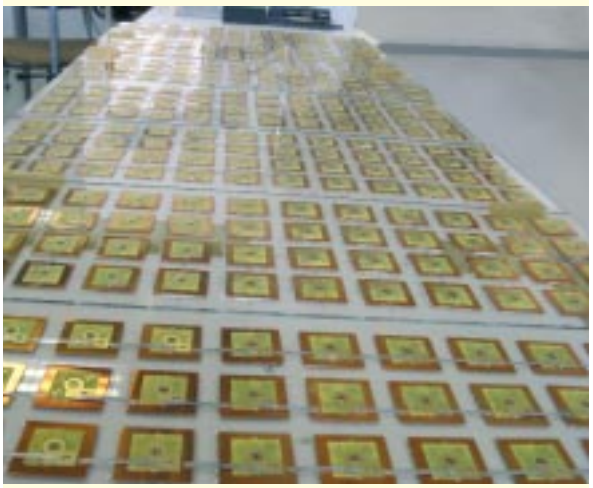


Abb. 1: Solarzellen-Empfängermodule für das am Fraunhofer ISE im Rahmen von BMU-geförderten Projekten entwickelte FLATCON™ Konzentratormodul. Zellen mit einem Durchmesser von 2 mm und geeignet für eine 500fache Sonnenbestrahlung werden auf Kupferbleche verlötet. Die Kupferbleche werden präzise auf einer Glasplatte verklebt, um im Fokus einer Fresnellinse zu sein.

Solarzellen, die auf III-V Halbleitermaterialien basieren, nutzen epitaktisch abgeschiedene Schichtfolgen. Mittels einer industrietauglichen metallorganischen Gasphasenepitaxie (MOVPE)-Anlage stellen wir Schichtfolgen für Einfach-, Tandem- und Tripel-, sowie neuerdings auch für Quinto-Solarzellen her. Die aus komplexen Schichtstrukturen prozessierten Solarzellen erzielen Wirkungsgrade deutlich über 30%. Eingesetzt werden sie einerseits auf Satelliten im Weltraum, andererseits in terrestrischen Konzentratorsystemen.

Abbildungen 1 und 2 zeigen Beispiele unserer Solarzellen-Empfängermodule. In Abbildung 1 sind die Bodenplatten für das am Fraunhofer ISE entwickelte Konzept der FLATCON™ (Fresnel lens all-glass tandem cell concentrator)-Module zu sehen. Hierbei setzen wir 2 mm runde Tandemzellen in den Fokus einer in Silikon geprägten Fresnellinse. Das Sonnenlicht wird durch diese Linse 500fach gebündelt. Für die industrielle Umsetzung unserer nunmehr marktreifen FLATCON™-Technologie suchen wir Partner.

Abbildung 2 zeigt Solarzellen-Empfängermodule, die wir für das europäisch geförderte Projekt PV-Fibre herstellten. Hier wird das Sonnenlicht über einen Parabolspiegel gebündelt, um schließlich in Glasfasern eingekoppelt zu werden. Über die Glasfaser wird das Licht dann auf die hocheffiziente Tandemzelle geleitet. Die erzielte Lichtintensität entspricht in diesem Fall einer 1 000fachen Solarstrahlung. Die Zellen sind auf speziellen Kupfer-Keramikplatten montiert, diese wiederum werden auf Kühlkörper aufgelötet.

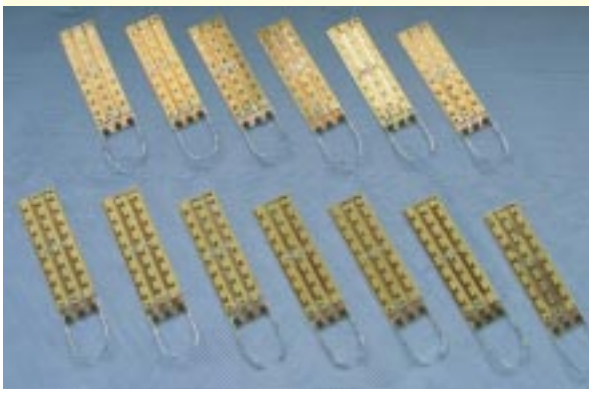


Abb. 2: Konzentratorsolarzellen-Empfängermodule, die wir im Rahmen des Projektes PV-Fibre entwickelten. 24 Tandemzellen, geeignet für eine 1 000fache Konzentration, sind auf eine Kupfer-Keramik-Platte aufgebracht. Diese Platte wird auf einen Kühlkörper gelötet. Die Zellen werden durch Schutz-Dioden geschützt.

Abbildung 3 zeigt ein Ergebnis, das wir im Rahmen des europäisch geförderten Projekts HICON erzielten. Die Aufgabenstellung besteht in der Entwicklung einer Technologie zur Verschaltung mehrerer GaAs-Zelleinheiten auf einem Wafer. Es gelang uns, 25 Einheiten seriell auf einer Fläche von 1,6x2,4 cm^2 zu verschalten. Ihre Anwendung finden solche Zellen direkt im Fokus eines Parabolspiegels oder eines Turmkraftwerkes. Auch hier wird eine 1 000fache Konzentration des Sonnenlichtes erreicht. Bedingt durch die serielle Verschaltung können die Widerstandverluste bei den hohen Strömen minimiert werden.

Ein weiteres Anwendungsfeld, das wir mit unseren III-V Photovoltaik-Zellen bedienen, sind drahtlose Energieübertragungssysteme. Dort wandeln die PV-Zellen monochromatisches Licht mit einem Wirkungsgrad von über 45% in elektrische Energie um. Die Fertigung solcher Zellen erfolgt nach kundenspezifischen Anforderungen. Abbildung 4 zeigt als Beispiel Zellen, die in Transistorgehäusen montiert wurden.

In der Thermophotovoltaik wiederum setzen wir unsere infrarot-empfindlichen PV-Zellen auf GaSb-Basis ein. pn-Übergänge für diese Zellen werden entweder mittels einer einfachen Zn-Diffusionstechnologie oder der MOVPE-Technologie hergestellt. Um eine für ein effizientes TPV-System wichtige hohe Flächenbedeckung zu gewährleisten, nutzen wir die Schindeltechnik. Hierbei werden die Zellen ohne Flächenverlust seriell verschaltet. Als Unterlage dient ein gut wärmeleitendes AlN-Substrat, wie in Abbildung 5 gezeigt.

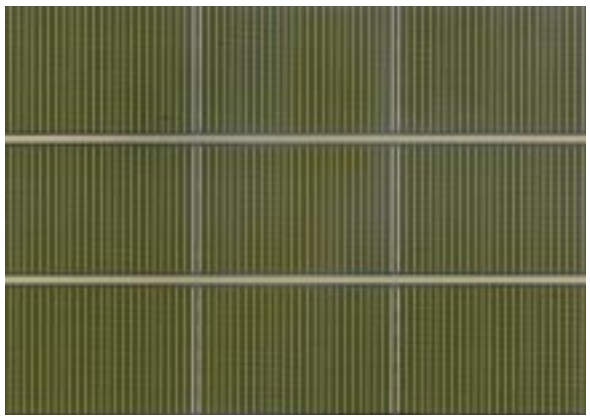


Abb. 3 oben: Querschnitt eines monolithisch integrierten Moduls (MIM). Zu sehen ist der Verbindungsgraben zweier Zellsegmente. Bis zu 25 PV-Segmente werden seriell verbunden und liefern Spannungen über 25 V;
unten: neun 1,6x2,4 cm^2 MIM Zellen auf einem 100 mm^2 Wafer.

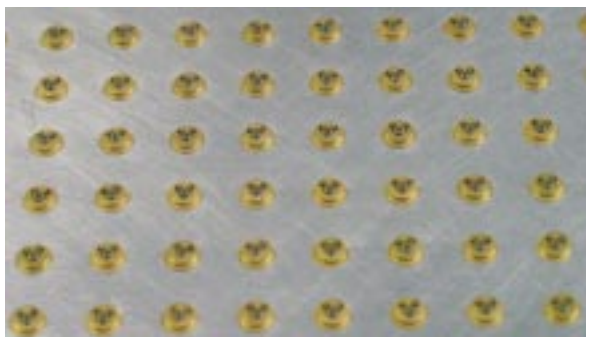


Abb. 4: Photo von auf Transistorgehäusen montierten Laserleistungszellen, die Lichtenergiekonversionswirkungsgrade über 45% erzielen.

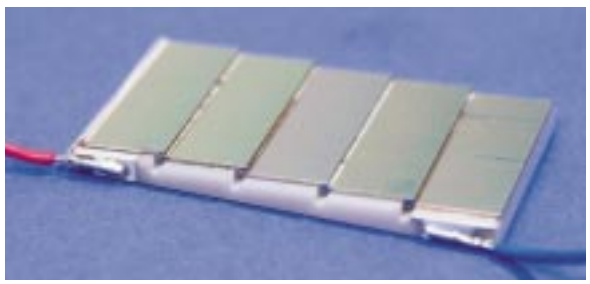


Abb. 5: Das Photo zeigt ein Modul mit geschindelten GaSb Photovoltaikzellen für den Einsatz in einem Thermophotovoltaik (TPV)-Generator.

Fertigungstechnologie für Farbstoff- und Organische Solarzellen

Farbstoff- und Organische Solarzellen basieren auf neuen Technologien mit dem Potenzial sehr kostengünstiger Herstellungsmethoden und neuer Anwendungsfelder. Wesentliche Fragestellungen wie Langzeitstabilität, ausreichender Wirkungsgrad und einfache Produktionstechniken sind trotz der Fortschritte in den letzten Jahren noch nicht genügend geklärt. In Zusammenarbeit mit der Industrie und weiteren Forschungseinrichtungen arbeiten wir am Fraunhofer ISE an diesen Fragestellungen.

Udo Belledin*, Markus Glatthaar*, **Andreas Hinsch**, Sarmimala Hore*, Rainer Kern, Michael Niggemann, Moritz Riede*, Ronald Sastrawan*, Uli Würfel*, Birger Zimmermann

* Albert-Ludwigs-Universität, Freiburger Materialforschungszentrum FMF

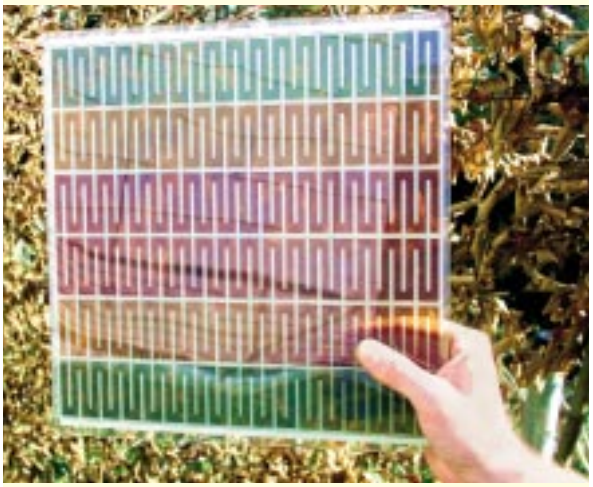


Abb. 1: Foto eines am Fraunhofer ISE gefertigten Moduls aus Farbstoffsolarzellen. Die Farbigkeit des Designs wird durch die Verwendung von photoaktiven, selektiv das Licht absorbierenden metall-organischen Komplexen (Farbstoffen) erzielt. Das Modul ist mit einer am Fraunhofer ISE entwickelten Glaslöttechnik langzeitstabil versiegelt.

Eine wichtige Voraussetzung für die Markteinführung von Farbstoffsolarzellen sehen wir in den gestalterischen Möglichkeiten, die diese Technologie bietet. Unsere jüngsten Arbeiten befassten sich daher mit Design-Fragen. Um das in Farbe und graphischer Struktur variable Design von Farbstoffsolarzellen zu testen, stellten wir am Fraunhofer ISE verschiedenfarbige Module her. Wir verwendeten dazu als photovoltaisch effizient bekannte metall-organische Komplexe. Eine farblich ansprechende Gestaltung wie sie uns in Abbildung 1 beispielhaft gelungen ist, macht diese Technik für vielfältige Anwendungen in Glasfassaden, Oberlichtern oder Anzeigetafeln interessant. Die farblichen Effekte könnten ebenso mit dem Einsatz reiner organischer Farbstoffe erzielt werden.

Bei Organischen Solarzellen liegt der Schwerpunkt unserer Arbeit vorrangig in der Entwicklung geeigneter Fertigungstechnologien für Laborzellen sowie deren Charakterisierung. So entwickelten wir ein Laborverfahren zur gleichzeitigen Fertigung von jeweils zehn Testzellen auf einem gemeinsamen Substrat unter Schutzgasatmosphäre. Mit diesem Verfahren können wir eine große Anzahl organischer Testzellen mit reproduzierbaren Eigenschaften herstellen (Abbildung 2), die uns als Basis für eine effiziente und automatische Prüfung von Herstellungsparametern und Materialvariationen dienen.

Mit der Elektrischen Reflexionsspektroskopie (ERS) etablierten wir am Fraunhofer ISE ein neues Messverfahren für Organische Solarzellen, welches die Bestimmung des eingebauten elektrischen Feldes ermöglicht. Diese Messung dient dazu, geeignete Elektrodenmaterialien für Organische Solarzellen auswählen zu können.

Abb. 2: Am Fraunhofer ISE entwickelte Testeinrichtung zur automatisierten Charakterisierung von Organischen Solarzellen. Auf neun Substraten sind jeweils zehn identisch hergestellte Testzellen angeordnet. Damit ist die erforderliche Genauigkeit für vergleichende Parameterstudien gewährleistet (s. auch Text).

Neues Messverfahren für die örtliche Verteilung von Defekten in Silicium-Wafern

Die Analyse der Temperaturabhängigkeit der Trägerlebensdauer im Silicium erlaubt Rückschlüsse auf die Identität von Defekten, die entscheidend zur Minderung der Materialqualität beitragen. Insbesondere werden Verunreinigungen und Kristalldefekte identifiziert. Hierfür entwickelten wir eine ortsaufgelöste Methode, die die Vorteile von nicht ortsaufgelöster Lebensdauerspektroskopie (TDLS) und ortsaufgelöster Lebensdauermessung (Emissions-CDI) zu Thermal Defect Imaging (TDI) verbindet.

Martin Schubert, Jörg Isenberg*, Stefan Rein*, Stephan Riepe, Stefan Glunz, **Wilhelm Warta**

* Albert-Ludwigs-Universität, Freiburger Materialforschungszentrum FMF

Die Detektion und Identifikation von Lebensdauer reduzierenden Faktoren im Silicium ist für die Bewertung von Material und Prozessen für die Solarzellenherstellung wesentlich. Bisher stehen für die nicht ortsaufgelöste Lebensdauerspektroskopie (Lebensdauer von Minoritätsladungsträgern) verschiedene Messmethoden bereit. Besonders hervorzuheben sind Deep Level Transient Spectroscopy (DLTS) und Temperature Dependent Lifetime Spectroscopy (TDLS). Letztere ermittelt aus temperaturabhängigen Lebensdauermessungen mittels mikrowellendetektierter Photoleitfähigkeitsabklingmessung (MW-PCD) die Energie eines Defektniveaus, welches für den dominierenden verunreinigenden Stoff charakteristisch ist. Unter bestimmten Voraussetzungen läßt sich daraus der Lebensdauer mindernde Defekt identifizieren.

Uns ist es nun mit Erfolg gelungen, die jüngst entwickelte, ortsaufgelöste Lebensdauermesstechnik Emission Carrier Density Imaging (Emission-CDI) mit der TDLS-Methode zu verbinden. Wir realisierten einen Aufbau, der temperaturabhängige Lebensdauermessungen im Bereich von 30 °C bis 270 °C ermöglicht, aus denen sich analog zur TDLS effektive Defektniveaus bestimmen lassen.

Die neu entwickelte Thermal Defect Imaging (TDI)-Methode ließ sich anhand einer mit Molybdän absichtlich kontaminierten Siliciumprobe validieren (Abbildung 1). Ein Vergleich mit TDLS bestätigte die TDI-Messung.

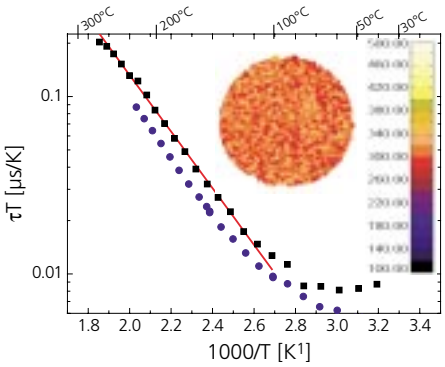


Abb. 1: Lebensdauerspektroskopie an einer mit Molybdän verunreinigten Siliciumprobe. Die schwarzen Quadrate beschreiben die gemittelte Lebensdauer der TDI-Messung, die Vergleichsmessung mit der TDLS ist mit blauen Punkten gekennzeichnet. Aus der angepassten, rot eingezeichneten Geraden lässt sich das Energieniveau bestimmen. Die für jeden Bildpunkt getrennt aufgenommene Messung ermöglicht die oben rechts in der Grafik dargestellte ortsaufgelöste Messung (Durchmesser 2 cm, Ortsauflösung 350 µm). Die Farbskala bezeichnet das errechnete Energieniveau in meV.

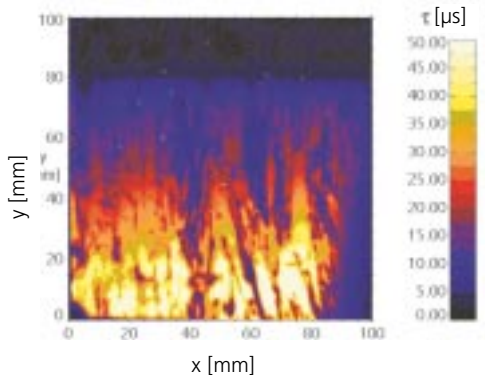


Abb. 2: Mit Emission-CDI ermittelte Trägerlebensdauer einer vertikal geschnittenen multikristallinen Siliciumprobe aus dem Kappenbereich eines Siliciumsblocks.

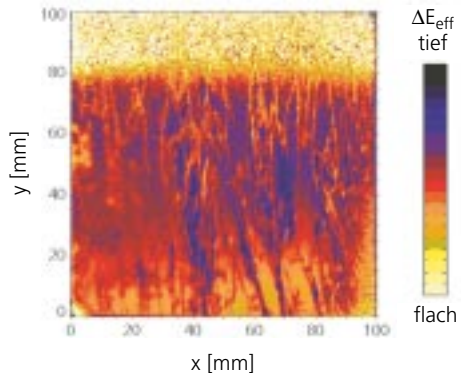


Abb. 3: Ortsaufgelöste Darstellung von effektiven Defektniveaus in relativen Einheiten, gemessen mit TDI an der Probe aus Abbildung 2. Im oberen Teil des Bildes ist die Sensitivitätsgrenze aufgrund zu kleiner Lebensdauern erreicht. Flache Defektniveaus befinden sich näher an der Bandkante als tiefe.

Der bedeutende Vorteil der neuen Messtechnik liegt in der Möglichkeit, Proben mit inhomogener Defektverteilung charakterisieren zu können. Von besonderem Interesse ist die Messmethode für industriell hochrelevantes multikristallines Silicium. Unsere ersten Untersuchungen an diesem Material (Abbildung 2 und 3) lassen auf eine inhomogene Defektverteilung schließen.

Untersuchung der Modulgebrauchsdauer: Neuer Teststand zur UV-Alterung

Solarzellen werden zum Schutz vor Umwelteinflüssen eingekapselt. Dies geschieht mittels Kunststoffen und Glas. Kunststoffe sind jedoch aufgrund ihrer Molekülstruktur anfällig gegen Schädigung durch ultraviolette Strahlung (UV). Wir untersuchen das Alterungsverhalten von Solarzellenverkapselungen durch gezielte Belastung mit UV-Strahlung. Ziel dieser Untersuchung ist die Verlängerung der Modulgebrauchsdauer durch Veränderung der Zelleinkapselung.

Stefan Brachmann, Stefan Gschwander, Markus Heck, Michael Köhl,
Helge Schmidhuber

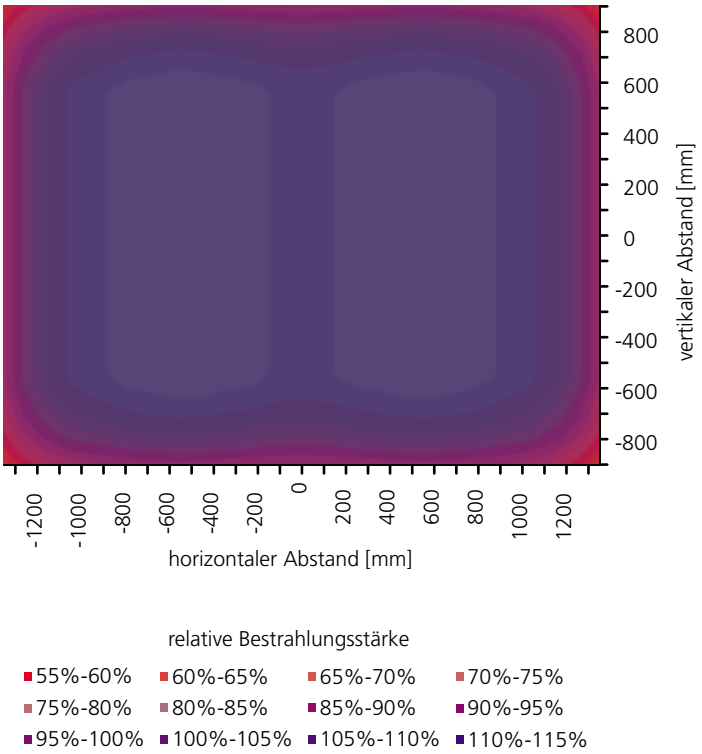


Abb. 1: Messung der UV-A-Bestrahlungsstärke in Abhängigkeit des horizontalen und vertikalen Abstands von der Prüffeld-Mitte. Blaue Bereiche geben hohe, rote Bereiche geben niedrige Bestrahlungsstärke wieder. Eine Strahlungshomogenität von ±15% wird in der Probenebene erreicht.

Die internationale Norm IEC 61345 stellt detaillierte Anforderungen an eine UV-Prüfungsanlage für PV-Module. Wir haben für unsere Arbeiten zur Gebrauchsdauerverlängerung von Photovoltaik-Modulen einen neuartigen UV-Teststand konzipiert, der diese Anforderungen erfüllt. Dieser enthält keine Quecksilber-Dampflampen wie konventionelle Teststände, sondern spezielle Leuchtstoffröhren. Die Röhren sind so angeordnet, dass eine Strahlungshomogenität in Probenebene besser als ±15% erreicht wird (siehe Abbildung 1). Ein kontinuierliches Monitoring von UV-A und UV-B Intensität sowie Proben- und Lampentemperatur sichern die Qualität der Prüfungen.

Ein Vorteil der Verwendung von Röhrenlampen gegenüber den üblichen Dampflampen ist die auf den UV-Bereich begrenzte Strahlungsemission sowie die besonders wirtschaftliche Betriebsweise. Aufgrund des begrenzten spektralen Strahlungsbereichs müssen die Solarmodule nicht aufwändig gekühlt werden, um die Spezifikationen der IEC 61345 einzuhalten. Durch den Aufbau unseres Teststands können sowohl Probentemperaturen über als auch unter den in der Norm vorgeschriebenen 60 °C realisiert werden. Ebenso können die Proben mit Intensitätsüberhöhungen zwischen 3 und 7 im UV-A Bereich und zwischen 30 und 62 im UV-B Bereich gegenüber dem Normspektrum AM1.5 bestrahlt werden (Abbildung 2).

Mit unserem Teststand führen wir fertigungsbegleitende Qualitätskontrollen und materialspezifische Alterungsuntersuchungen durch. Dies ermöglicht uns und unseren Kunden die Auswahl von Einkapselungsmaterialien mit erhöhter Alterungsbeständigkeit.

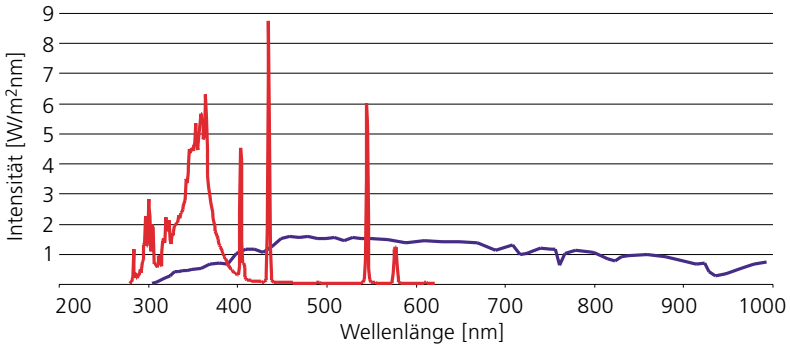


Abb. 2: Spektrale Intensität des UV-Teststands in 100 mm Abstand von der Lampenebene (rote Kurve) und genormtes Sonnenspektrum AM1.5 (blaue Kurve). Die Überhöhung der Strahlung liegt dabei im UV-A Bereich bei einem Faktor von 7 und im UV-B Bereich bei 60.

Laserlöten von kristallinen Solarzellen

Die Verschaltung von Solarzellen zu sogenannten Strings geschieht durch das Auflöten von Zellverbinderbändchen auf die Vorder- und Rückseite der Zelle. Die Qualität der Kontakte bestimmt den Wirkungsgrad und maßgeblich das Alterungsverhalten eines Solarmoduls. Wir untersuchen neuartige Methoden zur qualitativ hochwertigen Ausformung von Lötverbindungen mittels Laser.

Gernot Emanuel, Ralf Preu,
Helge Schmidhuber

Solarzellen müssen elektrisch miteinander in einem Modul verschaltet werden. Dies geschieht in fast allen Fällen durch Auflöten von verzinnten Kupferbändchen, wobei entweder Strahlungs- oder Kontaktlötverfahren angewendet werden.

Eine Direktive der Europäischen Union schreibt vor, dass ab 2006 nur noch bleifreie Lote zur Kontaktierung verwendet werden dürfen. Vor diesem Hintergrund untersuchen wir die Verwendung von Lasern zur Kontaktherstellung. Der Vorteil von Lasern gegenüber anderen Verfahren ist der effiziente und gut regelbare Wärmeeintrag in die Fügstelle. Somit können auch bleifreie Lote, die bei höheren Temperaturen als bleihaltige Lote aufschmelzen, sicher und reproduzierbar verarbeitet werden.

Zur Herstellung der Lötverbindung wird ein verzinntes Kupferbändchen mit einem Flussmittel beschichtet. Dieses Bändchen wird auf die Solarzelle gebracht und mit dem Laser an mehreren Stellen verlötet (Abbildung 1).

Mit unseren Industriepartnern aus dem Expertengremium SOLPRO V (Innovative und rationelle Fertigungsverfahren für Silicium-Photovoltaikmodule) entwickelten wir einen Laserprozess, der uns eine sehr gute Ausformung der elektrischen und mechanischen Kontakte zwischen Zellverbinder und Solarzelle ermöglicht (Abbildung 2).

Neben den technologischen Untersuchungen führten wir gemeinsam mit dem Fraunhofer-Institut für Produktionstechnologie IPT auch eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung durch. Daraus ergab sich, dass das Laserlöten technologisch gleichwertig und ohne finanziellen Mehraufwand die neue EU-Norm erfüllen kann.

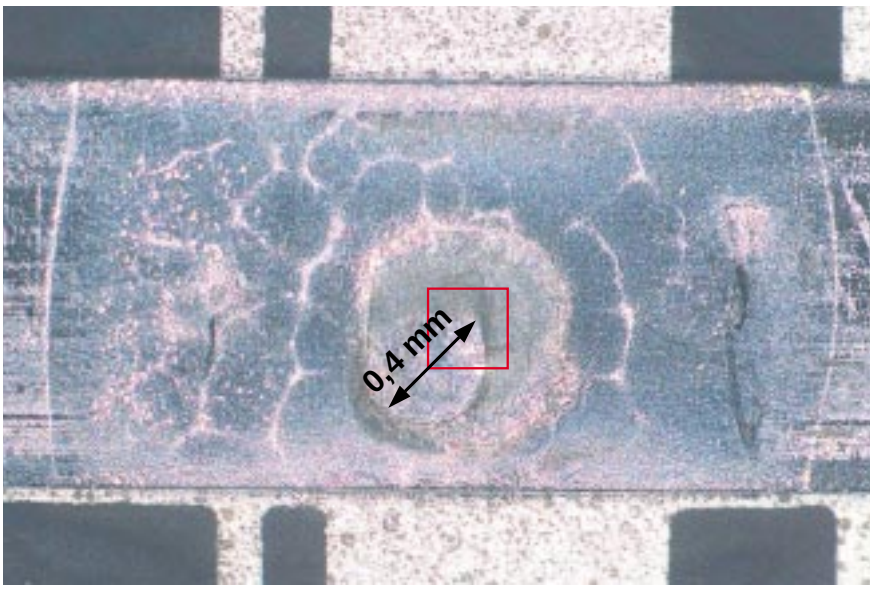


Abb. 1: Foto einer Lötstelle auf der Solarzellenrückseite. In der Mitte sieht man das Gebiet der Energieeinbringung mittels Laser. Hierzu wird der Laser mit einem Fokusdurchmesser von 0,4 mm auf einem Quadrat mit 0,3 mm Kantenlänge (rot markiert) bewegt. Von diesem Gebiet der Energieeinbringung aus verläuft die Aufschmelzung des Lotes radial nach außen. Durch die Lotaufschmelzung und die damit verbundene Aktivierung des Flussmittels wird ein mechanischer und elektrischer Kontakt zwischen Zellverbinderbändchen und Solarzelle hergestellt. So kann mittels einer sehr begrenzten Energieeinbringungsfläche ein großflächiger Lötkontakt realisiert werden. (Quelle: Trumpf Laser).

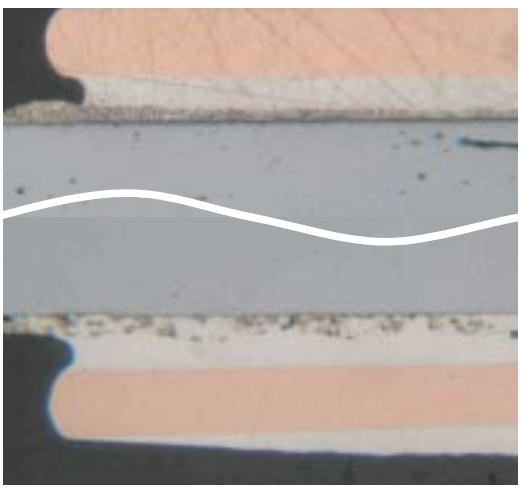
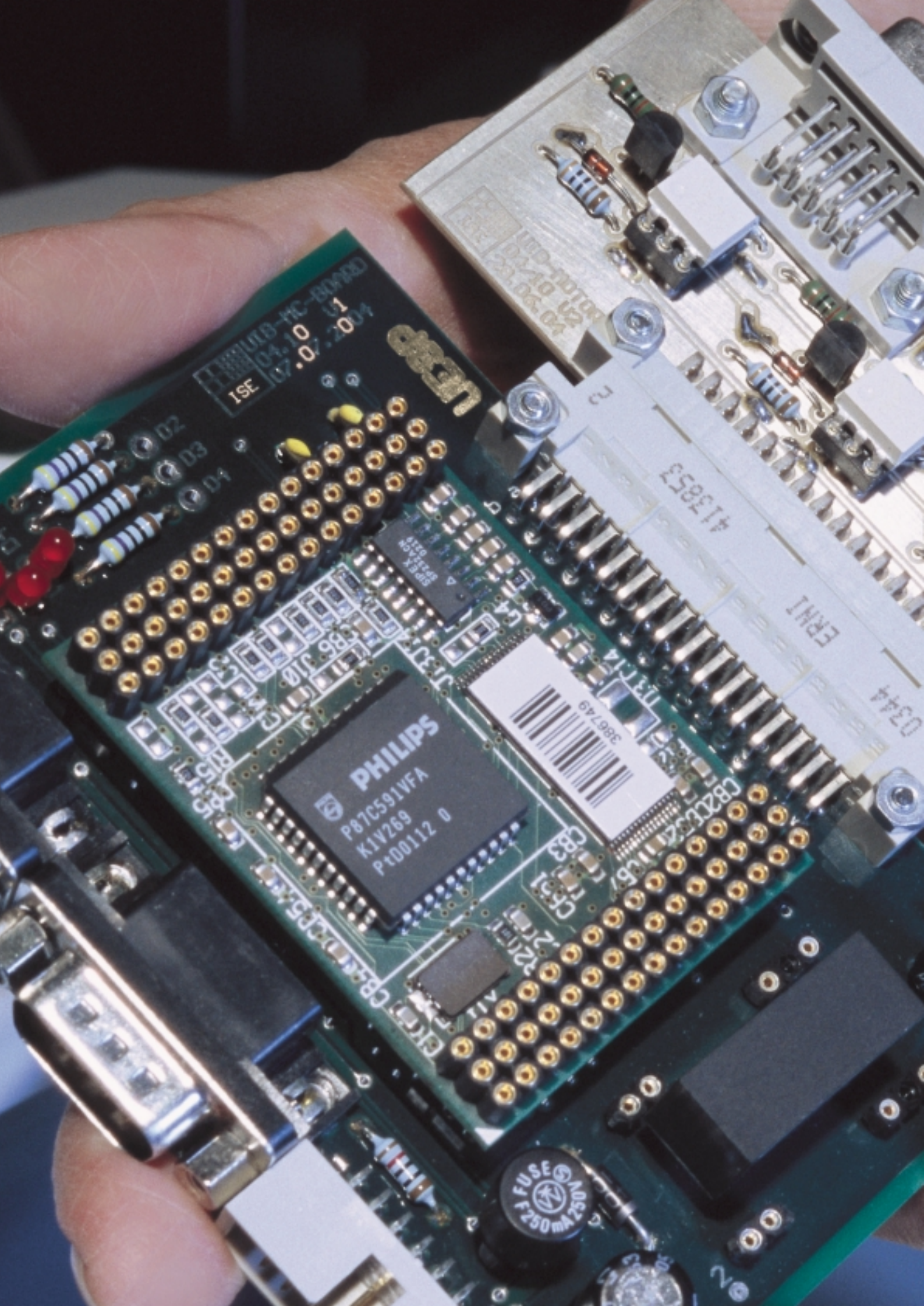
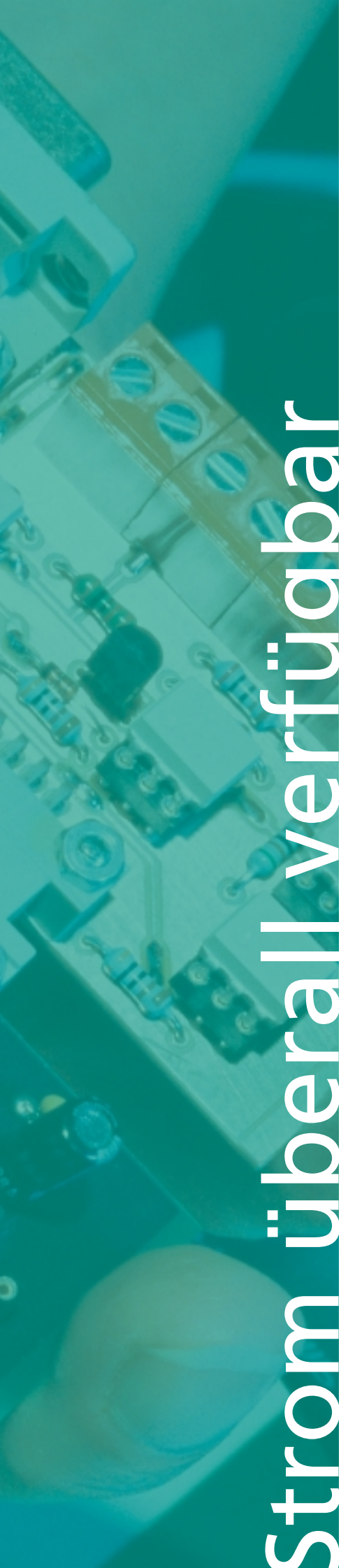


Abb. 2: Querschliff einer lasergelöteten Solarzellenvorderseite und -rückseite. Die dunkelgrauen Bereiche stellen das Silicium der Solarzelle dar, welches zur Kontaktierung mit einer metallhaltigen Paste bedruckt wurde. Das hellgraue Lötzinn bildet mit der Vorder- und Rückseitenpaste einen guten elektrischen und mechanischen Kontakt aus. Auf der Rückseite entsteht zusätzlich eine sehr homogene Diffusionszone. Die Lötverbindung wurde mit Flussmittel hergestellt. (Quelle: Deutsche Solar).


PHILIPS
P87C591VFA
K1V269
Pt00112 0
FUSE
T250mA250V



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 innovative Energiewandler eingesetzt. Rund 30% 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 wirtschaftlicher als Einwegbatterien, Netzausbau oder Versorgung mit Dieselgeneratoren.

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

Sowohl in der ländlichen Elektrifizierung als auch bei der Stromversorgung von technischen Anlagen hat sich die Qualität der Komponenten und der Systeme in den letzten Jahren spürbar verbessert, es gibt aber immer noch große Entwicklungspotenziale. Deshalb unterstützen wir Unternehmen sowohl bei der Komponentenentwicklung als auch bei der Systemplanung und der Markterschließung. Unsere Kompetenzfelder umfassen insbesondere hocheffiziente Leistungs- und Regelungselektronik, Batteriemodellierung, Ladestrategien, 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 kann der nachhaltige Aufbau von Vertrieb und Service – und damit der langfristige Betrieb der aufgebauten Systeme – gesichert werden.

Für tragbare Geräte haben insbesondere Mikrobrennstoffzellen ein großes Potenzial. Hierfür entwickeln wir die Technologie einschließlich der zugehörigen Leistungs- und Regelungselektronik. Der Vorteil der Mikrobrennstoffzellen 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.

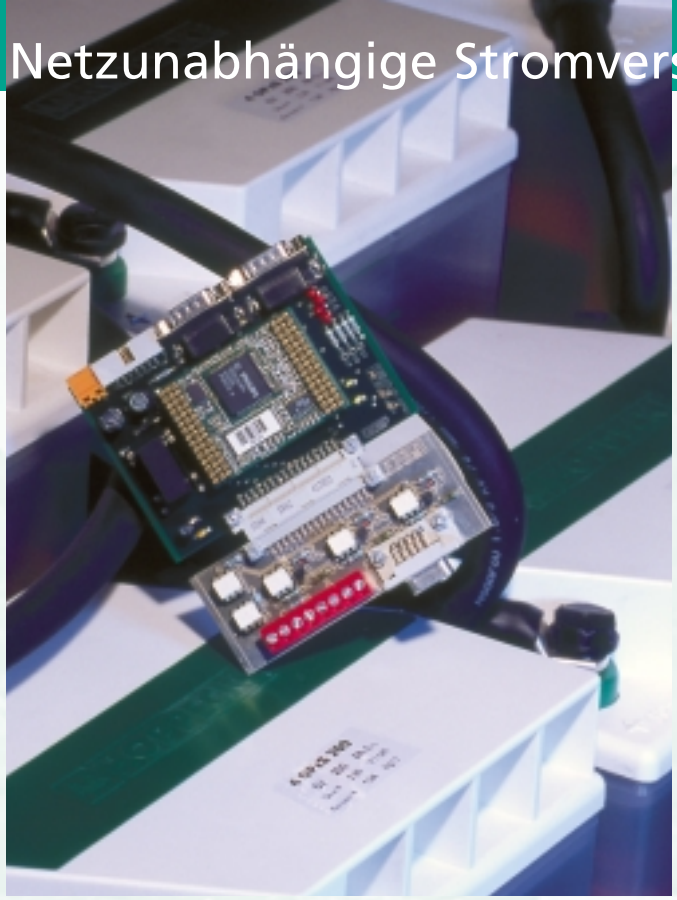
Im Geschäftsfeld »Netzunabhängige Stromversorgungen« unterstützen wir Komponentenhersteller, Systemintegratoren, Planer und Dienstleister durch unsere Kompetenzen in den Bereichen:

- Elektronikentwicklung
- Batteriemodellierung
- kleine Brennstoffzellen
- Systemauslegung und -optimierung
- Systembetriebsführung und Energiemanagementsysteme
- Trink- und Brauchwasser-Aufbereitungssysteme und entsprechende Technologien
- Sozio-Ökonomie

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

- Wechselrichterlabor
- hochpräzise Leistungsmessgeräte für Wechselrichter und Laderegler
- Präzisionsmessgeräte zur Charakterisierung von induktiven und kapazitiven Bauelementen
- 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



Diese vielseitig einsetzbare Schnittstelle für das Universal Energy Supply Protocol UESP entstand in gemeinsamer Entwicklung mit acht Industriepartnern. In autarken Photovoltaik-Hybridsystemen können damit die einzelnen Komponenten wie Batterien, Zusatzstromerzeuger und Verbraucher miteinander und mit dem zentralen Energiemanagementsystem kommunizieren. Die Vorteile der Neuentwicklung bestehen in größerer Flexibilität bei der Anlagenauslegung und -erweiterung, höherer Betriebszuverlässigkeit sowie verbesserter Wirtschaftlichkeit durch kostenoptimierte Betriebsführung (Beitrag Seite 57).

Ansprechpartner

Systeme zur netzunabhängigen Stromversorgung	Dipl.-Phys. Felix Holz	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-52 19 E-Mail: Felix.Holz@ise.fraunhofer.de
Leistungselektronik und Regelungstechnik	Dr. Bruno Burger	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-52 37 E-Mail: Bruno.Burger@ise.fraunhofer.de
Elektrische Speichersysteme	Dipl.-Phys. Felix Holz	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-52 19 E-Mail: Felix.Holz@ise.fraunhofer.de
Brennstoffzellensysteme	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	Dipl.-Ing. Ulrike Seibert	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-52 40 E-Mail: Ulrike.Seibert@ise.fraunhofer.de
Thermische Solaranlagen, Verfahren zur Wasserentsalzung und -entkeimung	Dipl.-Phys. Matthias Rommel	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-51 41 E-Mail: Matthias.Rommel@ise.fraunhofer.de
Monokristalline Silicium-Solarzellen	Dr. Stefan Glunz	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-51 91 E-Mail: Stefan.Glunz@ise.fraunhofer.de
Photovoltaische Module	Dr. Helge Schmidhuber	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-51 93 E-Mail: Helge.Schmidhuber@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. Tim Meyer	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-52 29 E-Mail: Tim.Meyer@ise.fraunhofer.de
Wasserstofftechnologie	Dr. Christopher Hebling	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-51 95 E-Mail: Christopher.Hebling@ise.fraunhofer.de
Solarzellen	Priv. Doz. Dr. Gerhard Willeke	Tel.: +49 (0) 7 61/45 088-52 66 E-Mail: Gerhard.Willeke@ise.fraunhofer.de

Monitoring von Dorfstromversorgungsanlagen in China

Im Rahmen der technischen Zusammenarbeit zwischen China und Deutschland planen und begleiten wir das technische Monitoring und die Wartung für 120 Dorfstromversorgungsanlagen in der chinesischen Provinz Qinghai. Die Praxiserfahrungen aus dem Projekt fließen in die Beratung weiterer Programme zur Dorfstromversorgung ein.

Georg Bopp, Andreas Steinhüser

Abb. 1: Die PV-Wind-Hybridanlage im Dorf Jangkang in der chinesischen Provinz Qinghai ist eine von sieben Dorfstromversorgungsanlagen, die vom Fraunhofer ISE begutachtet wurden und die jetzt im Rahmen des Monitoringprogramms überwacht wird.

Abb. 2: In fast allen chinesischen Dorfstromversorgungsanlagen werden wie hier im Dorf Dousong ausschließlich Bleivliesbatterien mit einer Systemgleichspannung von 220 Volt betrieben. Da bei dieser Batterieart immer wieder einzelne Zellen unerwartet ausfallen, werden die Anlagen durch Monitoring kontinuierlich überwacht.

China will im Rahmen des »Brightness Programme« bis zum Ende des Jahrzehnts 23 Millionen Menschen in netzfernen Regionen mit Strom aus erneuerbaren Energien versorgen. Dazu wurden bis Ende 2004 in den Westprovinzen rund 1 000 weit abgelegene Dörfer mit einer zentralen Photovoltaikanlage im Leistungsbereich von 10 bis 40 Kilowatt ausgerüstet. Im Rahmen der technischen Zusammenarbeit zwischen Deutschland und China wurde das Fraunhofer ISE von der Gesellschaft für technische Zusammenarbeit (GTZ) beauftragt, ein Monitoring- und Trainingsprogramm zu entwickeln, mit dem Betrieb und Leistungsfähigkeit für 120 PV-Anlagen in der Provinz Qinghai nachhaltig gesichert werden können.

Auf der Grundlage unserer langjährigen Erfahrung im Monitoring von PV-Hybridsystemen im Alpenraum sowie unter Anwendung der von uns entwickelten Trainingswerkzeuge veranstalteten wir im Jahr 2003 einen Kurs »Train the Trainer« für die Anlagenbetreiber und das Wartungspersonal vor Ort. Hierfür arbeiteten wir eng mit dem Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung (ZSW) zusammen. 2004 entwarfen wir nach einer Bestandsaufnahme vor Ort das technische Monitoring sowie ein langfristiges Wartungskonzept unter Einbindung ortsnaher Firmen. Im Kontext dieser Maßnahmen erstellen wir derzeit ein Wartungshandbuch.

Für das Anlagenmonitoring füllen in allen 120 Dörfern die örtlichen Betreiber täglich Datenblätter mit den Erzeugungs- und Verbrauchswerten aus. In zwölf Dörfern werden zusätzlich die Daten mit Hilfe eines Datenloggers erfasst und analysiert. Die Daten werden mit Unterstützung des Fraunhofer ISE und des ZSW ausgewertet. Durch diese Analyse können Fehler früh erkannt und die Anlagen technisch und ökonomisch optimiert werden.

Erschließung erneuerbarer Energieträger als Basis für die regionale Wirtschaftsentwicklung

Im Rahmen unserer interdisziplinären Arbeiten entwickelten wir ein sozialwissenschaftliches Analyse- und Beratungsverfahren zur Akzeptanz von erneuerbaren Energien. Damit können regionale Behörden und Unternehmen feststellen, welche Techniken aufgrund ihrer Akzeptanz besonders als Wegbereiter für eine innovative regionale Energie- und Wirtschaftsstrategie geeignet sind.

Sebastian Gölz

In vielen Regionen Europas bieten sich attraktive Chancen, erneuerbare Energien gleichzeitig für eine nachhaltige Energieversorgung wie für die regionale Wirtschaftsentwicklung zu nutzen. Allerdings ist nicht jede Technik als Wegbereiter für eine innovative Wirtschaftsstrategie gleich gut geeignet. Erforderlich hierfür ist neben einem ausreichenden Energiepotenzial und günstigen ökonomischen Rahmenbedingungen auch die Übereinstimmung mit dem grundlegenden Meinungsbild und dem Selbstverständnis der Bevölkerung. Ebenso ist ein ausreichend stark geknüpftes wirtschaftliches und politisches Netzwerk notwendig.

Im Rahmen unserer interdisziplinären Arbeiten entwickelten wir daher ein sozialwissenschaftliches Analyse- und Beratungsverfahren für Regionalbehörden und Unternehmen, die erneuerbare Energien in ihre Entwicklungsstrategie einbeziehen wollen.

Die Analyse der Region Shannon in Westirland zeigte zum Beispiel, dass die Erschließung des hohen Windenergiepotenzials auf erheblichen Widerstand in der Bevölkerung stoßen würde. Hingegen kann die Nutzung von Biomasse mit einer relativ hohen Zustimmung rechnen. Zusammen mit den lokalen Projektpartnern formulierten wir dementsprechend ein Aktions- und Kommunikationskonzept, das zunächst den Aufbau von Netzwerken zwischen Behörden und Unternehmen sowie die Erschließung des Biomassepotenzials anhand von Demonstrationsprojekten vorbereitet. Durch dieses Vorgehen wird die Akzeptanz gegenüber erneuerbaren Energien ausgebaut und kann später auf andere Techniken übertragen werden. Das Analyse- und Beratungsverfahren steht als Dienstleistungsangebot weiteren Regionen zur Verfügung.

Abb. 1: Windenergie hat in der westirischen Region Shannon aufgrund der Küstenlage ein hohes Energiepotenzial. Die Bevölkerung steht einer Nutzung jedoch ablehnend gegenüber. Sie fürchtet den Verbau der touristisch attraktiven Landschaft. Statt Windenergie soll daher zunächst die Biomassenutzung ausgebaut werden, um die Akzeptanz gegenüber erneuerbaren Energien zu fördern.

Die Arbeiten entstanden im Rahmen des EU-Projekts CORE Business.

Hocheffizente DC/DC-Wandler

Der am Fraunhofer ISE neu entwickelte DC/DC-Wandler für Brennstoffzellen hat einen wesentlich höheren Wirkungsgrad als herkömmliche Modelle. Er zeichnet sich durch ein innovatives Bauteil- und Schaltungskonzept aus. Gleichzeitig kann er kleiner, leichter und billiger als konventionelle Modelle hergestellt werden. Durch den modularen Aufbau kann man den Wandler auch als PV-Laderegler oder zur Speisung von Elektrolyseuren nutzen.

Bruno Burger, Christoph Siedle,
Heribert Schmidt

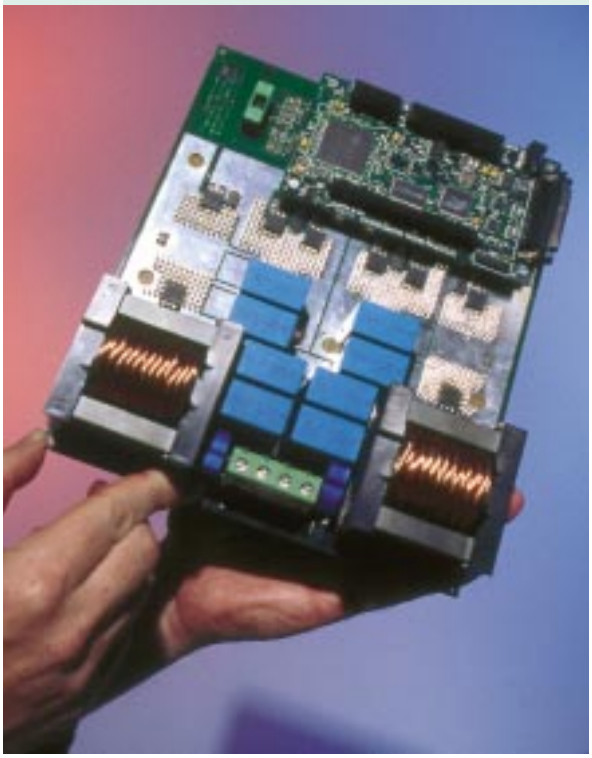


Abb. 1: Der neue DC/DC-Wandler kann aufgrund seiner kleinen Ausmaße zum Beispiel leicht in Brennstoffzellensysteme integriert werden.

DC/DC-Wandler werden eingesetzt, um eine variable Gleichspannung in eine konstante Ausgangsspannung umzuwandeln. Zur Kopplung von Brennstoffzellen an Batterien werden spezielle DC/DC-Wandler benötigt, die an ihrem Eingang den Arbeitspunkt der Brennstoffzelle regeln und an ihrem Ausgang die Batterie nach vorgegebenen Strategien laden. In unsere Demonstrationsanlage auf dem Rappenecker Hof (siehe Beitrag Seite 56) bauten wir 2003 eine Brennstoffzelle mit einem industriell gefertigten DC/DC-Wandler ein. Die Messungen an der Anlage zeigten, dass der Wandler die Brennstoffzelle nur unbefriedigend regelte. Auch erreichte er lediglich einen Wirkungsgrad von etwa 75%. Daraufhin entwickelten wir für diese Anlage einen neuen Wandler mit einem wesentlich höheren Wirkungsgrad, der zugleich kleiner, leichter und billiger herzustellen ist.

Um dieses Ziel zu erreichen, wurde der Wandler aus zwei Hochsetzstellern aufgebaut, die um 180 Grad versetzt getaktet werden. Dadurch verringert sich die Spannungswelligkeit am Ein- und Ausgang und es können Folien- statt Elektrolytkondensatoren verwendet werden. Dies verlängert die Lebensdauer erheblich. Beide Hochsetzsteller besitzen einen Synchrongleichrichter. Dadurch steigt der Wirkungsgrad stark an. Die Regelung basiert vollständig auf einem digitalen Signalprozessor, so dass sie leicht an verschiedene Betriebszustände angepasst werden kann. Außerdem sahen wir einen Eingang für die Fernsteuerung vor. Durch die minimalen elektrischen Verluste kann auch bei einer Wandlerleistung von bis zu zwei Kilowatt auf einen Kühlkörper vollständig verzichtet werden. Die Verwendung von SMD-Transistoren ermöglicht einen einfachen und kostengünstigen Aufbau. Alle Bauteile sind direkt auf der Platine platziert, so dass keine externen Bauteile wie z. B. Drosseln mehr verdrahtet werden müssen. Der neue Wandler wird zur Zeit am Rappenecker Hof getestet und steht für weitere Anwendungen zur Verfügung.

	herkömmliches Gerät	Neuentwicklung
Gewicht	43 kg	1,5 kg
Maße (mm)	600 x 330 x 600	235 x 200 x 55
Volumen	118,8 dm^3	2,5 dm^3
Wirkungsgrad	75%	98%

Tabelle: Aus groß mach klein: Der am Fraunhofer ISE entwickelte DC/DC-Wandler hat nur noch ein Bruchteil der Ausmaße und des Gewichts des ursprünglichen Geräts. Gleichzeitig wurde der Wirkungsgrad um 23 Prozentpunkte auf 98 Prozent verbessert.

Optimale Batterieauswahl für autarke Stromversorgungssysteme

Autarke Stromversorgungssysteme stellen sehr unterschiedliche Anforderungen an Batterien, je nach Energieangebot, Lastprofil und Umgebungsbedingungen. Um angepasste Lösungen zu erleichtern, entwickelten wir ein internetbasiertes Verfahren, mit dem Stromversorgungssysteme entsprechend ihres Anforderungsprofils kategorisiert werden können. Planer sind damit in der Lage, für jedes System den optimalen Batterietyp zu bestimmen. Und Batteriehersteller können testen lassen, für welche Systemkategorien ihre Batterien geeignet sind.

Georg Bopp, **Rudi Kaiser**

Eine Analyse der Anlagen- und Betriebsdaten von über 140 autarken Stromversorgungssystemen in Deutschland, Asien und Lateinamerika ergab, dass die Anforderungen an die jeweiligen Batterien sehr unterschiedlich sind. Bestimmende Faktoren sind die klimatischen Bedingungen, das Energieangebot und das Lastprofil sowie die verwendeten Komponenten.

Batterien wiederum werden diesen Ansprüchen – wie Tiefentladefestigkeit, Zyklenbelastbarkeit oder hoher Wirkungsgrad – je nach Typ und Technologie unterschiedlich gerecht. Um für ein bestimmtes System die optimale Batterie bestimmen zu können definierten wir gemeinsam mit Projektpartnern sechs so genannte Stressfaktoren. Diese beschreiben, wie ein System eine Batterie beansprucht. Mit Hilfe der Stressfaktoren analysierten wir die Anlagen- und Betriebsdaten und zeigten, dass autarke Stromversorgungssysteme prinzipiell in sechs Gruppen mit jeweils charakteristischen Belastungsprofilen eingeteilt werden können (Abbildung 1). Dieses Verfahren zur Kategorisierung autarker Stromversorgungssysteme ist im Internet unter www.benchmarking.eu.org verfügbar. Es erlaubt Planern, mit Hilfe der Daten eines Auslegungsprogramms den optimalen Batterietyp für ihr autarkes Stromversorgungssystem zu bestimmen. Zudem ermöglicht es die Optimierung bestehender Anlagen.

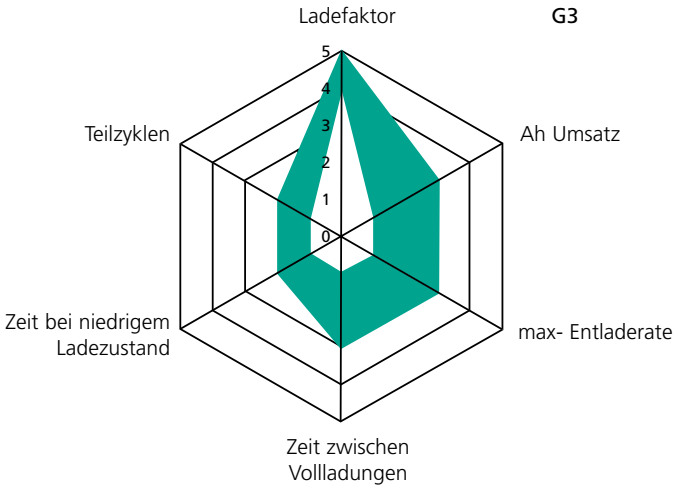


Abb. 1: Mit Hilfe von sechs sogenannten »Stressfaktoren« wird ermittelt, wie ein autarkes Stromversorgungssystem eine Batterie beansprucht. Das Anspruchsprofil lässt sich dann einer von sechs Gruppen zuordnen. Das Bild zeigt beispielhaft das normierte Anspruchsprofil der dritten Gruppe G3.

Parallel zu diesem Kategorisierungsverfahren entwickelten wir einen umfangreichen Batterieprüfzyklus. Batteriehersteller können damit testen lassen, für welche der sechs Systemgruppen ihre jeweiligen Batterietypen geeignet sind, und diese entsprechend kennzeichnen. Auch unterschiedliche Batterietechnologien können mit dem Prüfzyklus verglichen werden. Die Arbeiten entstanden im Rahmen des EU-Projekts »Development of test procedures for benchmarking components in renewable energy systems«.

Langzeiterfahrungen mit Brennstoffzellen im Feldbetrieb

Seit Oktober 2003 wird durch das Fraunhofer ISE eine Brennstoffzelle mit einer Leistung von 1,2 Kilowatt unter Feldbedingungen in einem autarken Stromversorgungssystem ausführlich getestet. Die Erfahrungen fließen in die Entwicklung künftiger PV-Hybridsysteme mit Brennstoffzellen ein. Außerdem liefern sie Herstellern von Brennstoffzellen wichtige Erkenntnisse.

Andreas Steinhüser, Felix Holz

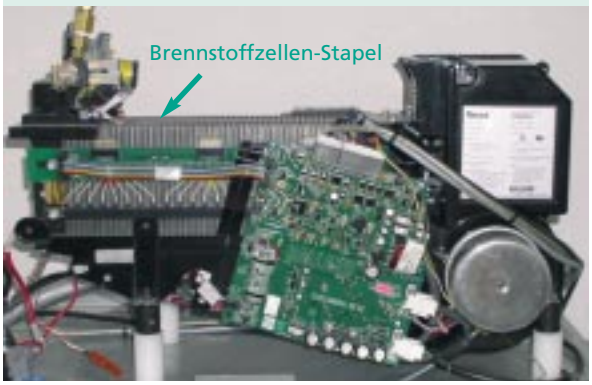


Abb. 1: Von Oktober 2003 bis Juli 2004 wurde diese Polymer-Elektrolyt-Membran-Brennstoffzelle (Stapel sind im Hintergrund erkennbar) unter realen Nutzungsbedingungen getestet. Sie erreichte eine Betriebsdauer von über 2 000 Stunden. Inzwischen befindet sich eine zweite, baugleiche Zelle im Einsatz.

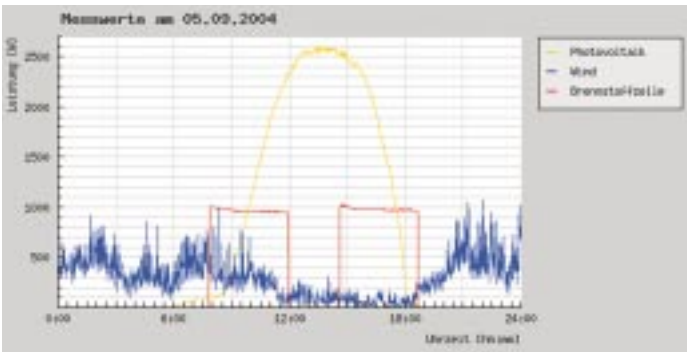


Abb. 2: Bei günstigen Witterungsverhältnissen kann die Photovoltaik – in Kombination mit der Windenergieanlage und der Brennstoffzelle – den Energiebedarf des Rappenecker Hofs vollständig abdecken. Im Tagesverlauf übernimmt zunehmend die PV-Anlage die Stromversorgung (gelb). Gegen Abend steigt dann wiederum die Stromproduktion aus der Windenergieanlage an (blau). Während der Vormittags- und Nachmittagsstunden reichen die Sonnenenergie und die Windkraft nicht aus, um den Energiebedarf der Gaststätte voll zu decken. Zu diesen Zeiten wird die Brennstoffzelle zugeschaltet (rot).

Seit 1987 betreibt das Fraunhofer ISE auf dem Rappenecker Hof – einer Wandergaststätte auf dem Schauinsland – eine Demonstrationsanlage, um Komponenten und Systemtechnik für autarke Photovoltaik-Hybridsysteme unter realen Nutzungsbedingungen zu testen und um Praxiserfahrungen zu sammeln. Im Sommer 2003 erweiterten wir die Anlage und bauten eine Brennstoffzelle vom Typ Nexa des Herstellers Ballard ein. Sie soll langfristig den Dieselgenerator als Zusatzstromerzeuger ersetzen. Damit kann das Verhalten einer serienmäßig gefertigten Brennstoffzelle unter Feldbedingungen analysiert werden.

Im realen Betrieb von Systemen treten Phänomene auf, die in einem Testlabor nicht zu erkennen wären. So stellten wir zum Beispiel fest, dass der interne Wasserstoffsensor des Systems durch andere, systemfremde Gase aus dem Betriebsraum, wie zum Beispiel Lösungsmitteln, gestört wurde. Bei der Analyse der Betriebsweise zeigte sich weiterhin, dass der eingesetzte DC/DC-Spannungswandler die Brennstoffzelle nicht im optimalen Arbeitspunkt betreibt und zudem einen relativ niedrigen Wirkungsgrad aufweist. Deshalb entwickelten wir einen speziell an die Erfordernisse angepassten Spannungswandler, der außerdem direkt von der Brennstoffzelle angesteuert werden kann (siehe Beitrag Seite 54).

Hinsichtlich der Lebensdauer können wir ein positives Ergebnis verzeichnen. Obwohl die Lebensdauer vom Hersteller mit 1 500 Stunden angegeben wird, gelang es uns, die Brennstoffzelle über 2 000 Stunden mit lediglich einem Ausfall zu betreiben. Inzwischen wurde die Brennstoffzelle durch eine baugleiche Zelle ersetzt. Während des weiteren Betriebs wollen wir insbesondere die Abstimmung zwischen Brennstoffzelle und Spannungsaufbereitung sowie die Betriebsführung weiter optimieren.
Das Projekt wird finanziell unterstützt durch den Innovationsfonds Klima- und Wasserschutz der badenova AG & Co. KG, Freiburg sowie durch die Projektpartner Familie Riesterer, Oberried und die Firma Phocos AG, Ulm. Der Wasserstoff wird von der Firma basi Schöberl GmbH und Co, Rastatt, kostenlos zur Verfügung gestellt.

Innovatives Energiemanagementsystem für autarke PV-Hybridsysteme

Um den Aufwand für Planung, Anpassung und Wartung autarker Stromversorgungssysteme erheblich reduzieren zu können, entwickeln wir ein universelles Energiemanagementsystem UESP. Das Kürzel steht für Universal Energy Supply Protocol. Die Arbeiten am Kommunikationsprotokoll sowie an den Schnittstellen für Photovoltaikanlagen, Batterien, Dieselgeneratoren und Lasten wurden 2004 abgeschlossen. Ab 2005 werden Prototypen eines UESP-fähigen Hybridsystems erprobt und optimiert.

Felix Holz, Hans-Georg Puls, Christof Wittwer

In autarken PV-Hybridsystemen steuert ein Energiemanagementsystem (EMS) das Zusammenspiel von Photovoltaikmodulen, Batterien, Zusatzstromerzeugern und weiteren Komponenten. In der Praxis kommt es jedoch häufig vor, dass die tatsächlichen Leistungsanforderungen der Verbraucher oder die Nutzungsbedingungen von den geplanten bzw. prognostizierten abweichen. Werden Komponenten ausgewechselt oder erweitert, muss auch das EMS angepasst werden. Deshalb wünschen sich Planer und Betreiber von einem innovativen EMS mehr Flexibilität in der Systemauslegung und -erweiterung, eine höhere Betriebszuverlässigkeit durch Fernüberwachung sowie eine höhere Wirtschaftlichkeit durch eine kostenoptimierte Betriebsführung.

Um diesen Anforderungen Rechnung zu tragen, entwickeln wir zusammen mit acht Industriepartnern ein universell einsetzbares Energiemanagementsystem, das Universal Energy Supply Protocol UESP. Nach dem Prinzip »Plug & Play« können mit dem UESP Komponenten im laufenden Betrieb abgetrennt und neue angeschlossen werden. Das Managementsystem erkennt die Komponenten automatisch und passt die Betriebsführung jeweils an die neue Systemkonfiguration an.

2004 entwarfen wir das Protokoll selbst sowie intelligente Kommunikationsschnittstellen (UESP Interface Boxes, UIB) für Photovoltaikanlagen, Batterien, Dieselgeneratoren und einen Kühlschrank als Beispiel für eine steuerbare Last.

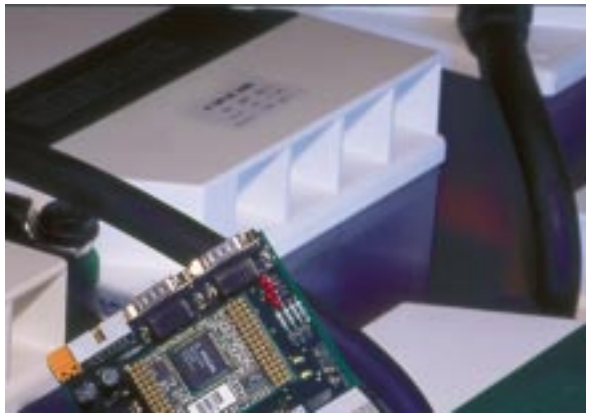


Abb. 1: Auch »dumme« Komponenten ohne eigene Steuerungsintelligenz wie Batterien, können in ein UESP-System integriert werden. Hierfür entwickelten wir eine spezielle Kommunikationsschnittstelle (UIB), die dem zentralen Energiemanagement Betriebsdaten, zum Beispiel Ladezustand und Kosten, übermittelt.

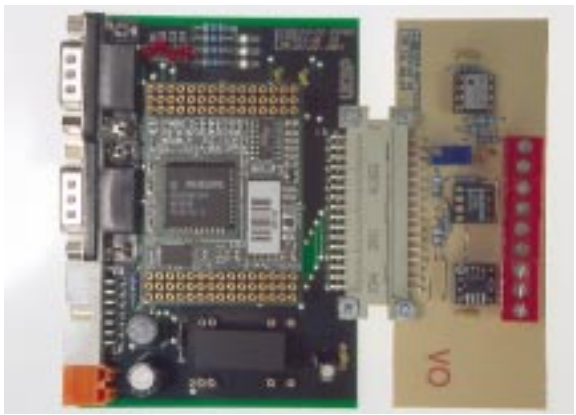


Abb. 2: Die UESP-Inferface Box besteht aus zwei Platinen. Die erste (im Bild links) ist für den Datenaustausch mit dem Energiemanagementsystem (EMS) zuständig und ist für alle Komponenten identisch. Der zweite Teil ist komponentenspezifisch und beherbergt die Steuerungsverfahren, wie hier zum Beispiel für eine Batterie (im Bild rechts).

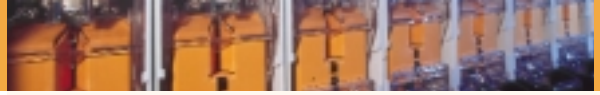
2005 wird in einer Demonstrationshalle die erste UESP-Prototypanlage mit diesen Komponenten betrieben und optimiert. Weitere Komponenten werden folgen. Am Ende der Projektlaufzeit wird das Protokoll veröffentlicht. Komponentenhersteller können dann eigene UIBs und EMS entwickeln und am Fraunhofer ISE testen und zertifizieren lassen. Das Projekt wird vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit gefördert.

Stromerzeugung vernetzt

Regenerative Stromerzeugung im Netzverbund

Der Bau von netzgekoppelten Anlagen ist heute der weltweit größte Markt der Photovoltaikbranche. Gut ausgestattete Markteinführungsprogramme vor allem in Japan, Deutschland und einigen Staaten der USA sorgen für hohe Wachstumsraten. Um dieses Marktwachstum weiter aufrecht zu erhalten, müssen 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 PV-Anlagen müssen Projektierer die Rendite-Erwartungen erfüllen und kritische Fragen von Investoren hinsichtlich der Zuverlässigkeit von Ertragsprognosen, der Systemplanung sowie der Qualität der eingesetzten Komponenten beantworten. 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 mit die höchste Genauigkeit und gelten als Referenz.

Neben den photovoltaischen können mittelfristig auch solarthermische Kraftwerke einen wichtigen Beitrag zur umweltfreundlichen Stromerzeugung leisten. Hierfür forschen wir an verbesserten Materialien, optimieren die Regelung und führen Systemsimulationen durch.

Daneben können auch optisch konzentrierende PV-Systeme die Kosten von Solarstrom senken. So entwickeln wir neben Hochleistungssolarzellen ein preisgünstiges Verfahren zur Herstellung von Fresnellinsen in Konzentratormodulen und testen Module im Feldeinsatz.

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

Im Geschäftsfeld »Regenerative Stromerzeugung im Netzverbund« unterstützen wir Komponentenhersteller, Anlagenplaner und -betreiber sowie Energieversorger bei der

- Wechselrichterentwicklung
- Qualitätssicherung und Monitoring von Komponenten und Anlagen
- Untersuchung von Konzepten der verteilten Erzeugung
- Integration von Strom- und Wärmeerzeugern und Speichern in Netze und Gebäude zur Optimierung von Lastflüssen und Verbesserung von Versorgungs- und Spannungsqualität
- Konzeption und Technologieentwicklung für photovoltaische und solarthermische Kraftwerke.

Dabei greifen wir unter anderem auf folgende Ausstattung zurück:

- Wechselrichterlabor
- hochpräzise Leistungsmessgeräte für Wechselrichter und Laderegler
- Präzisionsmessgeräte zur Charakterisierung von induktiven und kapazitiven 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 Solarkomponenten
- Entwicklungsumgebungen für Regelungen auf der Basis von »embedded systems«
- Labor zur Entwicklung von Lade- und Betriebsstrategien für Batterien
- Prüfeinrichtungen für Batterien in weitem Strom-, Spannungs- und Temperaturbereich

Regenerative Stromerzeugung im Netzverbund

Immer häufiger wird Strom in dezentralen Kraftwerken auf Mittel- und Niederspannungsebene nah am Verbraucher erzeugt. Dadurch stellen sich Netzbetreibern vielfältige Qualitäts- und Managementfragen. In der »Solarsiedlung Schlierberg« in Freiburg untersucht das Fraunhofer ISE die Auswirkung einer hohen Dichte von Photovoltaikanlagen in einem Niederspannungsnetz. Im Bild zu sehen ist das 400 V Verteilerfeld der Transformatorstation, wo ca. 130 Wechselrichter den Strom von etwa 330 kWp Photovoltaik einspeisen (zum Thema Einspeisung in Niederspannungsnetze s. auch Beitrag Seite 63).

Ansprechpartner

Verteilte Erzeugung	Dr. Thomas Erge	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-53 37 E-Mail: Thomas.Erge@ise.fraunhofer.de
Leistungselektronik und Regelungstechnik	Dr. Bruno Burger	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-52 37 E-Mail: Bruno.Burger@ise.fraunhofer.de
Elektrische Speichersysteme	Dipl.-Phys. Felix Holz	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-52 19 E-Mail: Felix.Holz@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	Dipl.-Phys. Hansjörg Lerchenmüller	Tel.: +49 (0) 7 61/40166-91 E-Mail: Hansjoerg.Lerchenmueller@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. Tim Meyer	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-52 29 E-Mail: Tim.Meyer@ise.fraunhofer.de
Solarzellen	Priv. Doz. Dr. Gerhard Willeke	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-52 66 E-Mail: Gerhard.Willeke@ise.fraunhofer.de
Gebäude und technische Gebäudeausrüstung	Priv. Doz. Dr. Volker Wittwer	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-51 40 E-Mail: Volker.Wittwer@ise.fraunhofer.de

Höhere Erträge durch verbesserte Auslegung der Wechselrichterleistung

Wechselrichter für Photovoltaikanlagen wurden in der Vergangenheit oft zu klein ausgelegt. Dadurch ging ein Teil des Ertrags unnötigerweise verloren. Dies ist das Ergebnis von Simulationsrechnungen auf der Basis von Momentanwerten – statt Stundenmittelwerten. Statt bis zu 35% sollte die Modulleistung bei gut ausgerichteten Anlagen nur noch 15 bis 20% über der Wechselrichterleistung liegen. Diese Empfehlung des Fraunhofer ISE wurde bereits von zahlreichen Wechselrichterherstellern übernommen.

Bruno Burger

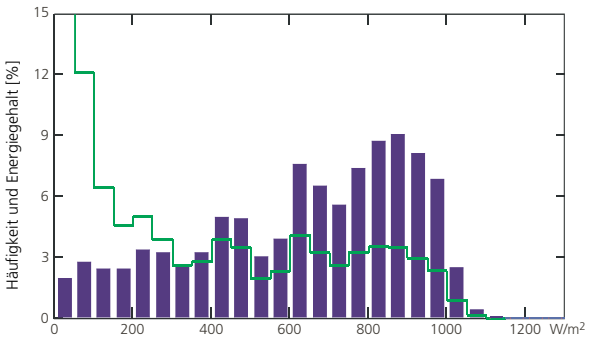


Abb. 1: Jährliche Häufigkeitsverteilung (grün) und Energiegehalt verschiedener Einstrahlungsklassen bei einer Berechnung mit 8 760 Stundenmittelwerten.

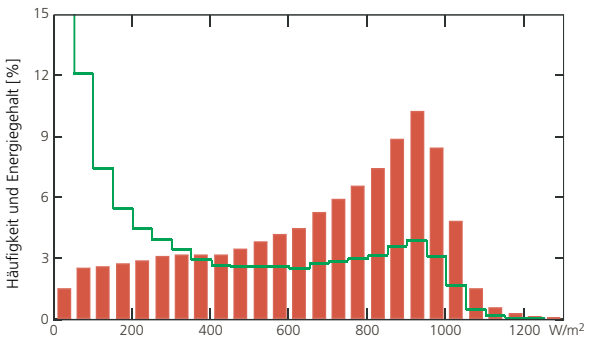


Abb. 2: Werden statt Stundenmittelwerten ca. 3,1 Millionen Momentanwerte für die Simulation herangezogen, zeigt das Ergebnis eine deutlich andere Häufigkeitsverteilung (grün).

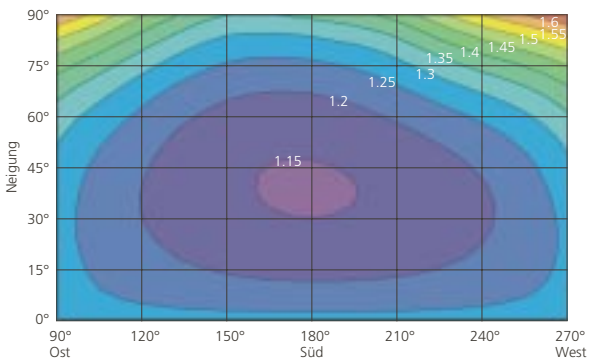


Abb. 3: Nach der neuen Auslegungsempfehlung des Fraunhofer ISE sollte das Verhältnis von Solargenerator- zu Wechselrichterleistung bei gut ausgerichteten Anlagen (dunkelblaue und violette Fläche) nur noch 1,15 bis 1,2 betragen. Berechnet mit Stundenmittelwerten ergibt sich hingegen ein Verhältnis von 1,3 bis 1,35.

Bei der Auslegung von Photovoltaikanlagen wurde bisher in der Regel eine um 20 bis 35% höhere Modulleistung im Vergleich zur Wechselrichterleistung gewählt. Dies war wirtschaftlich sinnvoll, weil eine Photovoltaikanlage erstens nur selten die volle Nennleistung liefert und zweitens Wechselrichter mit einem schlechten Wirkungsgrad im unteren Leistungsbereich dadurch häufiger in höheren Leistungsbereichen mit besseren Wirkungsgraden arbeiten. Der Nachteil einer solchen Auslegung ist allerdings, dass der Wechselrichter bei hoher Sonneneinstrahlung früher überlastet wird. Aufgrund der internen Leistungsbegrenzung wird dann Energie verschenkt.

Vor dem Hintergrund des verbesserten Wirkungsgradverlaufs moderner Wechselrichter sowie der gestiegenen Qualität der Module überprüften wir diese Auslegungspraxis. In einer Simulationsreihe zogen wir hierfür neben den üblichen 8 760 Stundenmittelwerten auch rund 3,1 Millionen im Zehn-Sekundenabstand gemessene Momentanwerte der Solarstrahlung heran. Wie in Abbildung 1 und 2 dargestellt, ändern sich dadurch deutlich die Häufigkeitsverteilung sowie der energetische Anteil verschiedener Einstrahlungsklassen. Kurzzeitige Strahlungsspitzen werden bei der Rechnung mit Momentanwerten nicht mehr herausgemittelt, sondern können jetzt bei der Dimensionierung des Wechselrichters mit berücksichtigt werden.

Dies führte zu einer deutlich korrigierten Auslegungsempfehlung. Unter der Annahme, dass maximal 0,5% der erzeugten Energiemenge durch Leistungsbegrenzung des Wechselrichters verloren gehen darf, sollte der Solargenerator um nicht mehr als 20% – statt wie bisher bis zu 35% – überdimensioniert werden (Abbildung 3). Dies gilt für mitteleuropäische Anlagen mit einer Ausrichtung des Modulfelds im Bereich zwischen plusminus 60 Grad vom Süden und einer Neigung im Bereich zwischen 15 und 60 Grad. Zahlreiche Wechselrichterhersteller haben diese Empfehlung übernommen und in ihre Auslegungsprogramme integriert.

PoMS – ein Energiemanagementsystem für Niederspannungsnetze mit dezentraler Stromerzeugung

Um den Betrieb von Niederspannungsnetzen technisch und ökonomisch optimieren zu können entwickeln wir das Energiemanagementsystem PoMS. PoMS steht für Power and Power Quality Management System und wird im Rahmen des EU-Projekts DISPOWER in vier lokalen Netzen in Deutschland, Italien und Spanien in der Praxis getestet. Damit werden wichtige Voraussetzungen geschaffen für einen Übergang zu einer dezentralen Stromversorgung.

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

* PSE Projektgesellschaft Solare Energiesysteme mbH, Freiburg

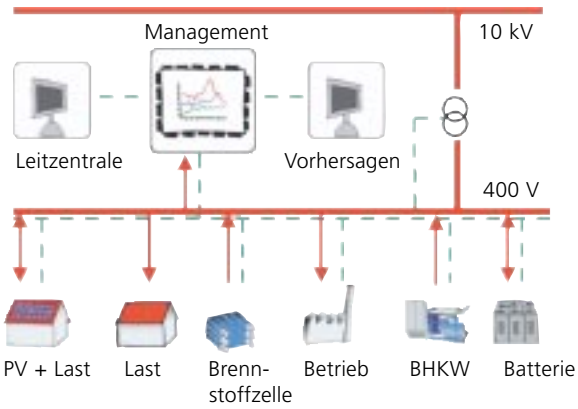


Abb. 1: Mit Hilfe von PoMS können einzelne Niederspannungsnetzabschnitte (230/400 Volt) nach technischen oder ökonomischen Kriterien optimal betrieben werden. Hierfür steuert ein zentrales Managementsystem (PCU) über ein eigenes Kommunikationsnetz (grüne Linien) Netzkomponenten wie zum Beispiel Photovoltaikanlage, Brennstoffzellen, BHKWs, Batterien sowie steuerbare Lasten.

Angetrieben durch die Liberalisierung und Harmonisierung des europäischen Strommarktes sowie durch den zunehmenden Einsatz dezentraler Solar-, Wind- und Kraft-Wärme-Kopplungs (KWK)-Anlagen zeichnet sich in der Stromversorgung in den kommenden Jahren ein grundlegender Strukturwandel ab. Statt ausschließlich in wenigen Großkraftwerken wird künftig der Strom immer mehr auch in dezentralen Kraftwerken auf Mittel- und Niederspannungsebene nah am Verbraucher erzeugt. Dadurch ergeben sich für die Netzbetreiber vielfältige Qualitäts- und Managementprobleme, aber auch Chancen. So können beispielsweise durch dezentrale Photovoltaik- und KWK-Anlagen die Versorgungssicherheit und die Netzqualität verbessert werden. Bei entsprechenden Tarifmodellen kann lokal erzeugter Strom nicht nur für die Anlagenbetreiber, sondern auch für die Netzbetreiber ökonomisch attraktiv sein. Um diese Chancen zu nutzen, benötigen wir aber ein intelligentes und auf Niederspannungsnetze zugeschnittenes dezentrales Energiemanagementsystem, das erlaubt, den Netzbetrieb anhand technischer und ökonomischer Ziele zu optimieren.

Zusammen mit unseren Projektpartnern entwickeln wir derzeit ein solches »Power and Power Quality Management System«, kurz PoMS. Nach Labortests wird PoMS ab Ende 2004 in Testnetzen des Energieversorgers MVV Energie in Mannheim, der Stadtwerke Karlsruhe sowie weiterer Energieversorgungsunternehmen eingesetzt. Damit können wir in der Praxis untersuchen, wie dezentral organisierte Niederspannungsnetze mit einem großen Anteil fluktuierender Erzeuger, zum Beispiel Solarstrom, ökonomisch und technisch optimal betrieben werden können. Die Optimierungskriterien werden dabei vom jeweiligen Netzbetreiber vorgegeben. Bei den Demonstrationsanlagen in Mannheim und Karlsruhe sollen zum Beispiel Netz, Zusatzstrom-

Abb. 2: Der Dialog zwischen dem zentralen Energiemanagementsystem und den Komponenten läuft über die am Fraunhofer ISE entwickelten »PoMS Interface Boxen«. Durch sie werden Vorgaben des zentralen Managements umgesetzt sowie Erzeugungsprognosen für bestimmte Komponententypen wie zum Beispiel Photovoltaikanlagen erstellt.

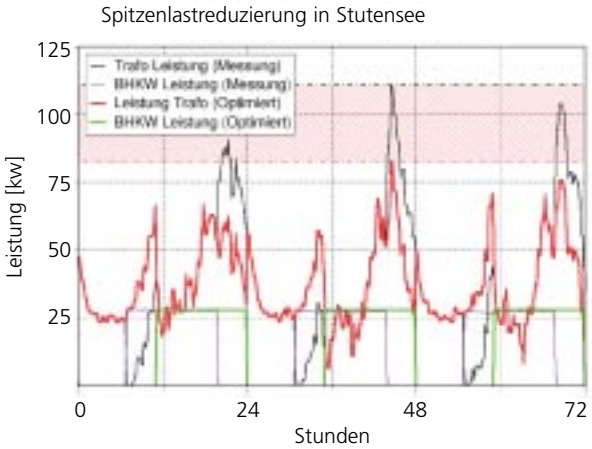


Abb. 3: Die Graphik zeigt beispielhaft für drei Tage, wie durch eine Verschiebung der Betriebszeiten eines Blockheizkraftwerks (BHKW, grüne statt lilafarbene Linie) die Spitzenlast am Mittelspannungstrafo der Siedlung (schwarze Linie) um 30 Kilowatt reduziert werden konnte (rote Linie). Durch eine optimierte Betriebsführung mit PoMS können so teure Spitzenlastbezüge vermindert werden.

erzeuger und Lasten auf den Betrieb von Photovoltaikanlagen und größeren Batteriespeichern abgestimmt werden. Hierfür entwickelten wir geeignete Last- und Erzeugungsprognoseverfahren, die es PoMS ermöglichen, die Netzkomponenten über flexible Betriebsfahrpläne optimal zu steuern. Berücksichtigt werden dabei auch lokale Strompreisangaben sowie die Zustandsparameter der jeweiligen Komponenten.

Technisch besteht das PoMS aus einer zentralen Steuerungseinheit PCU (PoMS Central Unit) sowie komponentenspezifischen, dezentral installierten intelligenten Kommunikationseinheiten, sogenannten PoMS Interface Boxes (PIB, Abbildung 2). Die PCU und die PIBs sind über ein eigenes Kommunikationsnetz verbunden. Die von uns mit Hilfe von integrierten Mikrocontrollern (embedded systems) entwickelten, flexibel programmierbaren PIBs bieten universelle und innovative Möglichkeiten zur Steuerung von dezentralen Erzeugern, Speichern und von Lasten. Sie stellen dem Energiemanagement neben einer einheitlichen Kommunikationsschnittstelle standardisierte Parameter zur Verfügung. Damit eignen sich diese Boxen auch zur intelligenten Kommunikation und Betriebsführung in anderen Anwendungen. Realisiert in einem »schlanken« Hardware-Design bieten wir damit für Anwender im Energiebereich kostengünstige Systemlösungen für die Steuerung von Komponenten an.

Die Arbeiten werden im Rahmen des Projekts DISPOWER von der EU gefördert.

Garantierte Erträge bei solaren Großkraftwerken

Bei steigender Größe von Photovoltaikanlagen spielt die Qualitätssicherung eine zunehmend wichtige Rolle, denn jeder Prozentpunkt Leistungseinbuße wirkt sich unmittelbar auf die Rendite der oft knapp kalkulierten Projekte aus. Für Investoren und Anlagenbetreiber haben wir deshalb ein Bündel von Verfahren entwickelt, mit denen die Qualität der Planung, der Komponenten, des Baus und des Betriebs gesichert werden kann.

Thomas Erge, Wolfgang Heydenreich, **Klaus Kiefer**, Hermann Laukamp, Frank Neuberger, Christian Reise, Christof Wittwer

Durch die zunehmende Anlagengröße und durch den Einstieg von kapitalkräftigen Investmentgesellschaften in den Photovoltaikmarkt stellen sich erhöhte Anforderungen an die Qualitätssicherung von Photovoltaikkraftwerken. Auf der Basis unserer Erfahrungen aus langjährigen Monitoring-Programmen entwickelten wir ein Paket von Qualitätssicherungsmaßnahmen, mit denen Planer und Anlagenbetreiber diesen Anforderungen gerecht werden können. Die Maßnahmen reichen von der professionellen Ertragsprognose bis zum Monitoring des Anlagenbetriebs.

Ertragsprognosen werden in der Regel mit relativ präzisen Simulationsmodellen erstellt, die den Ertrag mit einer Gesamtunsicherheit von ±4% angeben können. Die Hauptquelle der verbleibenden Unsicherheit sind die Genauigkeit der Einstrahlungswerte und die Umrechnung auf die geneigte Fläche. Eine Ursache für vermeidbare Qualitätseinbußen sind unbeachtete Verschattungsprobleme. Nicht nur bei Dachanlagen, sondern auch bei Freiflächenanlagen werden immer wieder Schattenquellen, wie zum Beispiel Strommasten, übersehen oder als nicht relevant eingeschätzt. Ebenso wird die gegenseitige Verschattung der Modulreihen, vor allem bei nachgeführten Anlagen, häufig unterschätzt. In unserer Ertragsprognose-Berechnung werden deshalb Modelle eingesetzt, die Verschattungen sehr genau simulieren können. Dadurch erreichen wir eine höhere Ertragssicherheit.

Abb. 1: Über 57 000 Solarmodule wurden für den 10-Megawatt-Solarpark Bavaria auf einachsigen Nachführungssystemen installiert. Der amerikanische Projektierer PowerLight Corp. beauftragte das Fraunhofer ISE mit allen Stufen der Qualitätssicherung – von der Ertragsprognose bis zum Monitoring.

Abb. 2: Das neue Solarkraftwerk mit 90 Kilowatt Leistung auf der Nordtribüne des Freiburger badenova-Stadions ist die erste Anlage des 1-Megawatt-Projekts »Regiosonne«. Auch hier übernahm das Fraunhofer ISE das gesamte Qualitätsmanagement.

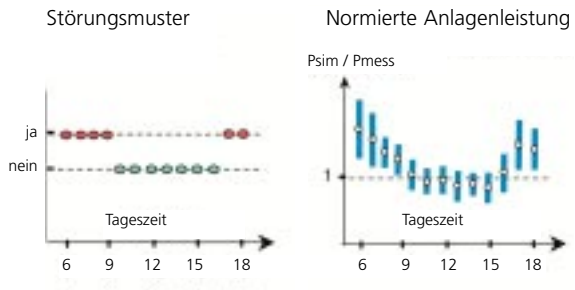


Abb. 3: Das am Fraunhofer ISE entwickelte Monitoringprogramm überprüft bei einer Photovoltaikanlage laufend, ob die gemessene Leistung (P_{mess}) den simulierten Werten entspricht (simulierte Leistung P_{sim} / P_{mess} gleich 1). Bei Abweichungen, die größer sind als der Messfehler (blauer Balken) – hier im Beispiel vor 9 Uhr sowie nach 17 Uhr – vergleicht das Programm die Abweichungen mit einer Reihe von Störungsmustern. In diesem Beispiel liegt eine Störung vor, die auf eine Abschattung am Morgen und am Abend hindeutet.

Die Ertragsprognosen stützen sich auf die Angaben der Hersteller von Solarmodulen. In verschiedenen Testreihen in unserem Kalibrierlabor konnten wir feststellen, dass die Modulleistungen sich zwar meistens innerhalb der garantierten Toleranzen bewegten, aber bei mehr als der Hälfte der getesteten Module lagen sie deutlich unter dem vom Hersteller angegebenen Nennwert. Für Investoren und Betreiber bieten wir daher eine statistisch repräsentative Prüfung der Solarmodule in unserem Kalibrierlabor an. Damit 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 1% geringere Modulleistung bei einer Megawattanlage bereits einen Verlust von rund 100 000 Euro.

Zur Qualitätssicherung der Bauleistungen als Ganzes führen wir eine Abnahme des Solarkraftwerks durch. Dabei prüfen wir neben der fach- und normenkonformen Ausführung der Anlage auch die Kennlinien der Einzelstränge. Dadurch können Fehler in der Verschaltung, fehlerhafte Module und auch zu große Leistungsabweichungen der Einzelstränge identifiziert werden.

Um sicher zu stellen, dass die Anlage über den geplanten Zeitraum von 20 Jahren die garantierten Erträge liefert, ist schließlich eine Betriebsüberwachung notwendig, die eine Anlagenstörung zeitnah erkennen kann. Hierfür entwickelten wir ein Monitoring-Verfahren, das innerhalb von 24 Stunden nicht nur die Abweichungen des Anlagenertrags von den prognostizierten Werten, sondern auch die Fehlerursache, wie zum Beispiel Wechselrichterprobleme oder Verschattungen, erkennen kann. Dieses Verfahren wird zur Zeit weiter optimiert, um mit Hilfe von anlagenintegrierten Mikrocontrollern (»embedded systems«) in Echtzeit Abweichungen erkennen und über einen Internet-Anschluss an den Betreiber melden zu können.

Geometrieoptimierung von solarthermischen Fresnel-Kollektoren

Fresnel-Kollektoren haben das Potenzial, die Kosten für Strom aus solarthermischen Kraftwerken zu reduzieren. Die geometrischen Eigenschaften solarthermischer Fresnel-Kollektoren können in weitem Umfang variiert werden. Alle Variationen wirken sich sowohl auf die Kollektorkosten als auch auf die Stromerträge aus. Wir entwickelten ein Simulationsverfahren, das eine kostenoptimale Auslegung des Kollektors und damit eine Minimierung der Stromgestehungskosten ermöglicht.

Hansjörg Lerchenmüller, Max Mertins*, Gabriel Morin, Andreas Häberle**

* Universität Karlsruhe
** PSE GmbH Forschung Entwicklung Marketing, Freiburg

Abb. 1: Visualisierung eines Fresnel-Kollektor-Solarfelds. In der horizontalen Ebene ist das facettierte Spiegelfeld zu sehen. Die Spiegel werden einzeln der Sonne nachgeführt, so dass die Solarstrahlung auf dem linearen Absorberrohr oben gebündelt wird.

Der Fresnel-Kollektor ist ein viel versprechendes Konzept, um die Stromgestehungskosten von solarthermischen Kraftwerken zu senken. Im Rahmen einer Machbarkeitsstudie zu linear fokussierenden Fresnel-Kollektoren konnten wir technische und wirtschaftliche Aspekte dieses Kollektortyps analysieren. Im Vergleich mit Parabolrinnen-Kraftwerken haben Fresnel-Kollektoren einen auf die Spiegelfläche bezogenen geringeren optischen Wirkungsgrad. Wegen der einfacheren Bauweise und den damit plausibel anzunehmenden geringeren Kollektorkosten werden dennoch geringere Stromgestehungskosten erwartet. Dies gilt insbesondere dann, wenn das Potenzial, das in der Optimierung der Kollektorgeometrie liegt, voll ausgeschöpft wird.

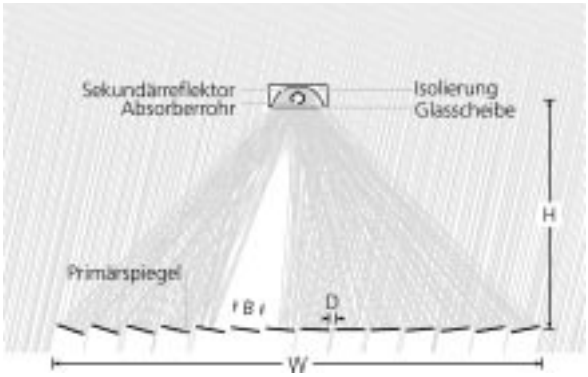
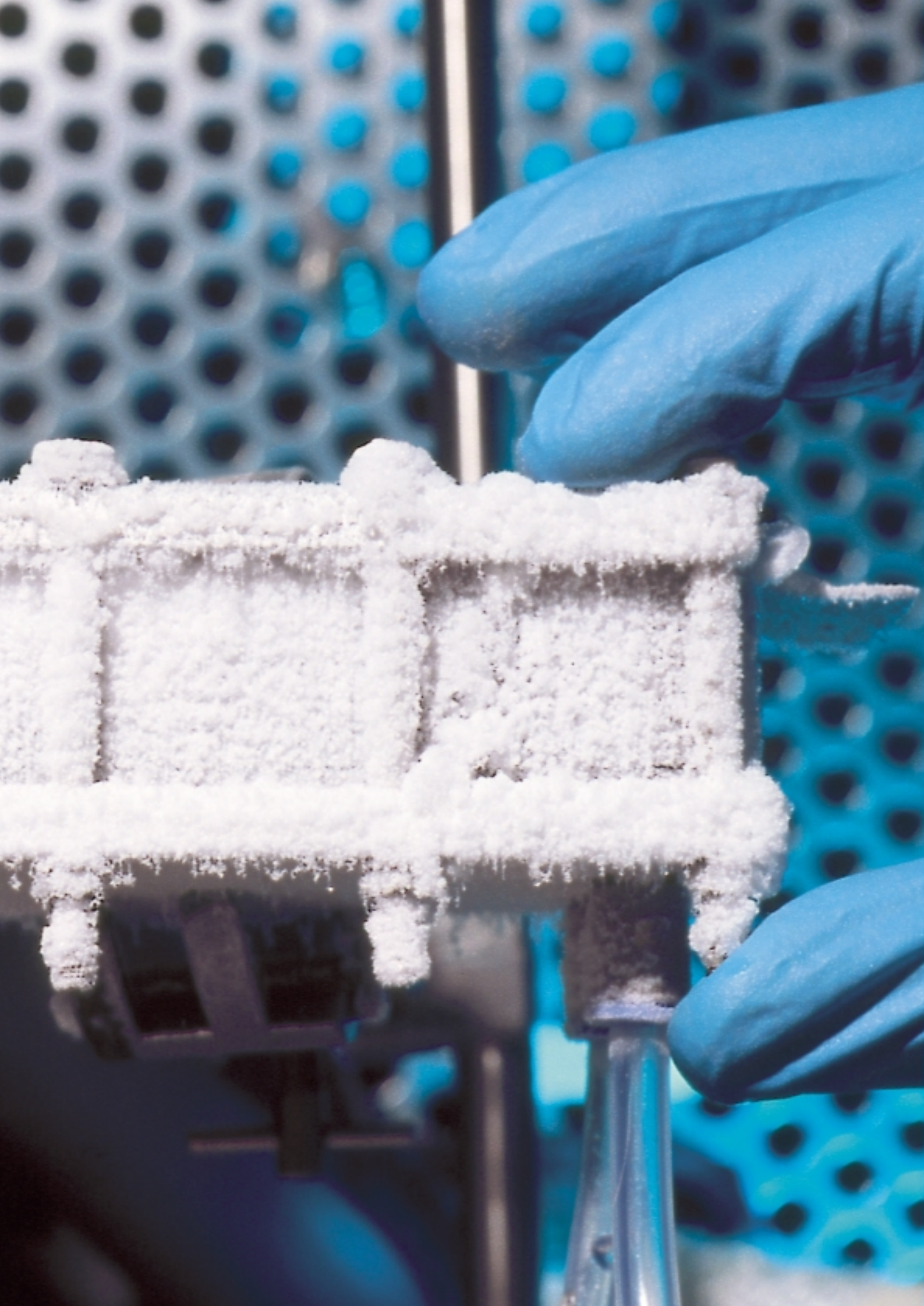


Abb. 2: Prinzipskizze eines solarthermischen Fresnel-Kollektors. Durch Variation der Kollektorbreite W, des Spiegelabstandes D, der Spiegelbreite B und der Höhe H des Absorberrohres über dem Primärspiegelfeld lässt sich die Kollektorgeometrie so optimieren, dass die Stromgestehungskosten über Jahressimulationen minimiert werden.

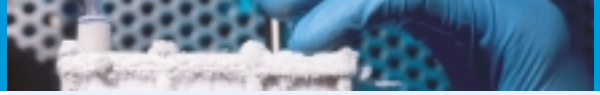
Wir führten detaillierte Systemsimulationen durch, um den Stromertrag von Fresnel-Kraftwerken in Abhängigkeit von den optischen Eigenschaften der Kollektoren zu bestimmen. Eine Vielzahl geometrischer Parameter, wie zum Beispiel die Absorberhöhe sowie Anzahl, Größe und Abstand der Primärspiegel, beeinflussen die optischen Verluste durch wechselseitige Spiegelabschattungen (Abbildung 2). Auch das Abblocken von reflektierten Sonnenstrahlen durch benachbarte Spiegel sowie der Anteil der Solarstrahlung, der den Absorber verfehlt, wird durch geometrische Parameter bestimmt. Die optische Leistungsfähigkeit eines Kollektors ermittelten wir über Jahressimulationen auf der Basis von stündlichen Wetterdaten. Um die Kostenunterschiede verschiedener Kollektor-Auslegungen zu bestimmen, wurden den geometrischen Parametern Kostenfaktoren zugewiesen. Auf der Basis dieser Kostenfaktoren und der Jahressimulationen entwickelten wir ein Verfahren, um den Kollektor in Bezug auf die Stromgestehungskosten zu optimieren. Verglichen mit einer herkömmlichen Kollektorauslegung auf einen einzelnen Betriebspunkt lassen sich mit unserem Verfahren Kostenvorteile von bis zu 15% erzielen.



Wasserstoff-technologie

Wasserstoff setzt bei der kontrollierten Reaktion mit Sauerstoff in einer Brennstoffzelle nutzbare Energie in Form von Strom und Wärme frei. Da Wasserstoff in der Natur nicht in Reinform vorliegt, muss er jedoch aus seinen vielfältigen chemischen Verbindungen gewonnen werden. Das geschieht unter Einsatz von Energie, im Idealfall erneuerbarer Energie, z. B. durch Elektrolyseverfahren mit regenerativ erzeugtem Strom oder durch Reformierung von gasförmigen oder flüssigen Brennstoffen.

So ist Wasserstoff zwar keine Energiequelle, als universeller Energieträger wird er aber ein wichtiger Baustein einer künftigen nachhaltigen Energiewirtschaft sein. Dabei wird Wasserstoff zeitlich fluktuierende erneuerbare Energie so aufbereiten, dass alle gewünschten Energiedienstleistungen mit der gewohnten Zuverlässigkeit bereit gestellt werden. Forscher und Technologen arbeiten mit Hochdruck an der Realisierung dieser Vision. Das Anwendungspotenzial von Wasserstoff ist gewaltig: In der



dezentralen Energieversorgung können Brennstoffzellen Wärme und Strom aus Erdgas mit bis zu 80% Gesamtwirkungsgrad erzeugen. Brennstoffzellen dienen in mobilen Anwendungen zusammen mit Elektromotoren als schadstofffreie Antriebsaggregate für Automobile, LKWs und Busse. Außerdem können Brennstoffzellen in Auxiliary Power Units (APU) für die Bordnetz-Stromversorgung sorgen. Schließlich eignen sich Mikrobrennstoffzellen-Systeme wegen der hohen Energiedichte der Brennstoffe hervorragend als Ergänzung oder Alternative zu Batterien und Akkus in der netzfernen Stromversorgung oder in Elektrogeräten.

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 und komplette Wasserstoffanlagen für eine kostengünstige und umweltfreundliche Energiewirtschaft.

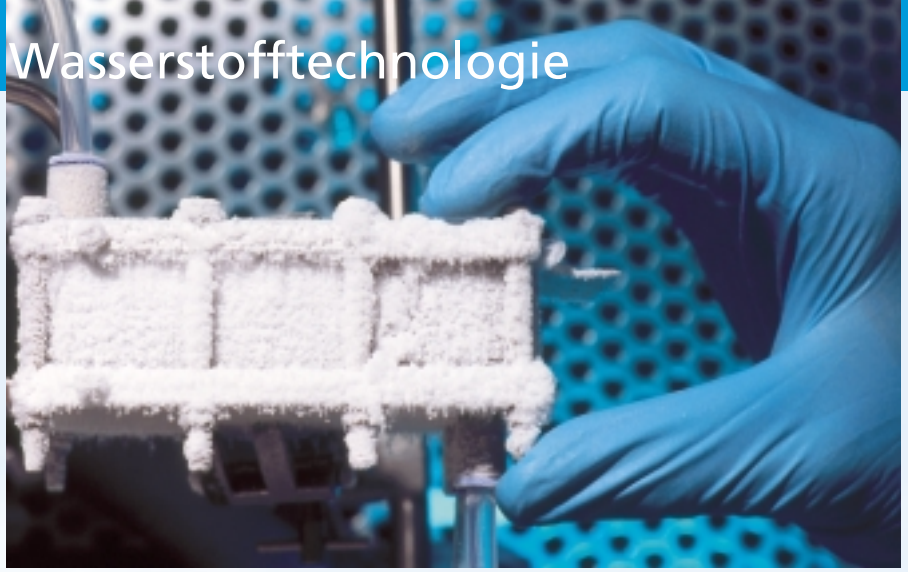
Wir entwickeln Reformersysteme zur Umwandlung flüssiger Brennstoffe. Die Anlagen umfassen den eigentichen Reformierreaktor und, abhängig vom Typ der nachgeschalteten Brennstoffzelle, auch eine Gasaufbereitung zur Erhöhung der Wasserstoffausbeute und Reduzierung des Kohlenmonoxidanteils im Produktgas. Die Einsatzgebiete dieser Systeme reichen von stationärer Kraft-Wärme-Kopplung über Bordstromversorgung bis hin zur portablen Energieversorgung.

Für die Wasserstoffgewinnung aus Wasser realisieren wir geregelte Membran-Elektrolyseure mit Leistungen von wenigen Watt bis 2 kW. Zum vertieften Verständnis der Vorgänge an den Elektroden setzen wir unterschiediche Charakterisierungsmethoden wie Rasterelektronenmikroskop oder Zyklovoltammetrie ein.

Als effiziente, umweltfreundliche, geräusch- und wartungsarme Energiewandler im Leistungsbereich von mW bis ca. 300 W setzen wir auf Membranbrennstoffzellen für den Betrieb mit Wasserstoff oder Methanol.

Neben der Komponenten- und Anlagenentwicklung arbeiten wir an der Integration von Brennstoffzellen-Systemen in übergeordnete Systeme. Wir konzipieren und realisieren die elektrische Auslegung inklusive Spannungsaufbereitung und Sicherheitstechnik. Damit schaffen wir die Grundlagen für eine marktfähige Wasserstoffwirtschaft. Unser Angebot umfasst dezentrale Brennstoffzellen-Kraftwerke zur kombinierten Strom- und Wärmeerzeugung ebenso wie Brennstoffzellen-Systeme zur Bordnetzversorgung in Lastkraftwagen, auf Schiffen oder in Flugzeugen sowie autonome Stromversorgungen für netzferne Anwendungen und Kleinsysteme zur portablen Energieversorgung.

Wasserstofftechnologie



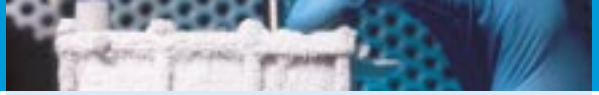
Die Erweiterung des Betriebstemperaturbereichs von Mikro-Brennstoffzellen auf Außentemperaturen unter dem Gefrierpunkt bzw. auf hochsommerliche 40 °C stellt eine neuartige Herausforderung dar. Im Bild zu sehen ist ein Brennstoffzellenstapel beim Tieftemperaturtest. Dieser wird in ein außentaugliches, seriennahes Brennstoffzellensystem für den Temperaturbereich von -20 °C bis +40 °C integriert. Ein möglicher Anwendungsbereich ist die Mess- und Regelungstechnik. Die Tendenz zur dezentralen, netzunabhängigen Energieversorgung von Systemkomponenten wie Sensoren und Aktoren birgt den Vorteil größerer Flexibilität und das Potenzial zur Kostensenkung (Beitrag Seite 74).

Ansprechpartner

Brennstoffzellensysteme	Dr. Thomas Aicher	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-51 94 E-Mail: Thomas.Aicher@ise.fraunhofer.de
Elektrolyse	Dipl.-Ing. Ursula Wittstadt	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-52 04 E-Mail: Ursula.Wittstadt@ise.fraunhofer.de
Membranbrennstoffzellen	Dipl.-Ing. Mario Zedda	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-52 07 E-Mail: Mario.Zedda@ise.fraunhofer.de
Integration von Brennstoffzellen in autonome Stromversorgungen	Dipl.-Phys. Felix Holz	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-52 19 E-Mail: Felix.Holz@ise.fraunhofer.de
Leistungs- und Regelungs-elektronik für Brennstoffzellen	Dr. Bruno Burger	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-52 37 E-Mail: Bruno.Burger@ise.fraunhofer.de
Regelungsstrategien von Brennstoffzellen-Blockheiz-kraftwerken 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 und Integration von BHKW in Stromnetze	Dr. Tim Meyer	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-52 29 E-Mail: Tim.Meyer@ise.fraunhofer.de
Gebäude und technische Gebäudeausrüstung	Priv. Doz. Dr. Volker Wittwer	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-51 40 E-Mail: Volker.Wittwer@ise.fraunhofer.de



Charakterisierung von Brennstoffzellen

Wir charakterisieren Polymer-Elektrolyt-Membran (PEM)-Brennstoffzellen durch ortsaufgelöste Messmethoden. Hierfür messen wir an segmentierten Test-Brennstoffzellen die Verteilung des Stroms und der Temperatur. Des weiteren visualisieren wir die Wasserproduktion in den Gasverteilerkanälen. Im Rahmen unserer Entwicklung mathematischer Modelle gelang es uns, die Verteilung von flüssigem Wasser unter dynamischen Betriebsbedingungen in der Brennstoffzelle zu berechnen.

Dietmar Gerteisen, Alexander Hakenjos, Christopher Hebling, Karsten Kühn, Mario Ohlberger*, **Jürgen Schumacher**, Christoph Ziegler

* Abteilung für Angewandte Mathematik, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg

Ortsaufgelöste Messung

Für die Analyse des Betriebsverhaltens von Brennstoffzellen messen wir die Verteilung der ortsabhängigen Stromproduktion und der Temperaturverteilung in Testzellen. Damit erhalten wir Aufschluss über die Kopplung des Wasser- und Wärmehaushalts in Niedertemperatur-Brennstoffzellen. Wir untersuchen den Einfluss verschiedener Materialen der Brennstoffzellenkomponenten auf das Betriebsverhalten. Außerdem dienen die Messergebnisse zur Validierung eines ortsaufgelösten mathematischen Modells.

Es gelang uns, die Temperaturverteilung, die Stromverteilung sowie die Wasserentstehung in einer Test-Brennstoffzelle zu bestimmen. Wir konnten die elektrische Impedanz zeitgleich auf den Segmenten einer Test-Brennstoffzelle messen.

Mit dem Messverfahren finden wir heraus, in welchen Betriebszuständen der Testzelle die Bildung von flüssigem Wasser erfolgt und wie sich die Wasserentstehung auf die Leistung der Zelle auswirkt. Kritische Betriebszustände der Testzelle können in Bezug auf die Wärme- und Wasserentstehung analysiert werden. Aus den ortsaufgelösten in-situ Impedanzmessungen erhalten wir die protonische Leitfähigkeit der Membran als ein Maß für deren ortsabhängige Befeuchtung.

Für unsere Kunden entwickeln wir Test-Brennstoffzellen und wir entwerfen Messeinrichtungen für die ortsaufgelöste Charakterisierung. Als Dienstleistung führen wir die Messung und Analyse des Betriebsverhaltens von Brennstoffzellen und Brennstoffzellenstapeln durch. Darüber hinaus validieren wir ortsaufgelöste Brennstoffzellenmodelle.

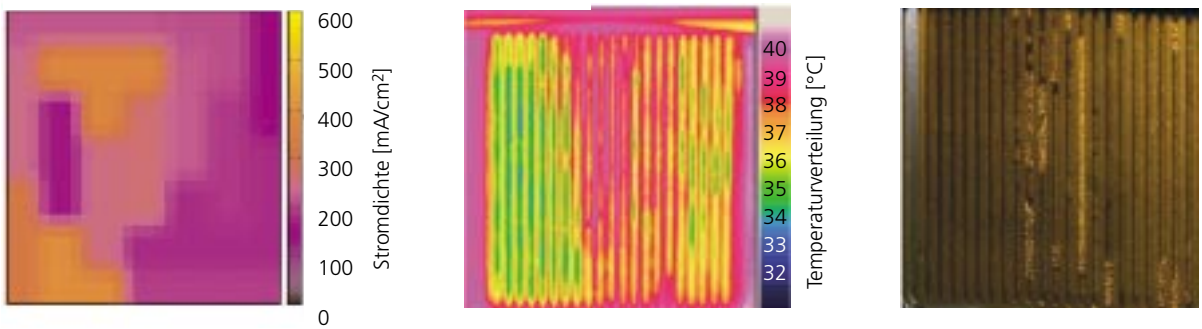


Abb. 1: Simultane Messung der Stromdichte (linkes Teilbild) und der Temperaturverteilung (Mitte) in einer Brennstoffzelle mit mäanderförmigem Gaskanal. Im Foto rechts ist die Bildung von Wasser in den Gaskanälen zu erkennen. Die Kondensationswärme des Wassers hat einen entscheidenden Einfluss auf die Temperaturverteilung in der Testzelle.

Dynamische zweiphasige BZ-Simulation

Wir modellieren das zeitabhängige Verhalten von PEM-Brennstoffzellen. Mit unseren mathematischen Modellen berechnen wir den Einfluss von Wasserproduktion und -transport auf das dynamische Verhalten der Brennstoffzelle. Dabei berechnen wir ihre elektrischen und thermischen Eigenschaften.

Zwei Zielsetzungen sind es, die wir mit unseren Arbeiten verfolgen: Einerseits entwickeln wir effiziente vereinfachte Brennstoffzellenmodelle für die Systemsimulation. Andererseits arbeiten wir an einem ortsaufgelösten dynamischen Strömungsmodell zur detaillierten Analyse und zum Design von Brennstoffzellen. Zum Beispiel haben wir ein eindimensionales dynamisches Brennstoffzellenmodell entwickelt, das den Transport von flüssigem und gasförmigem Wasser in den porösen Schichten einer PEM-Brennstoffzelle berücksichtigt. In Abbildung 2 ist die mit dem Modell berechnete zeitliche Entwicklung von Strom und Spannung dargestellt. Die Rechnung wurde mit einer zeitabhängigen Randbedingung für das elektrische Potenzial an der Kathode durchgeführt. Die instationäre Strom-Spannungskurve zeigt eine Hystereseform, die durch Messungen bestätigt wurde. Darüber hinaus liefert das Modell die orts- und zeitabhängige Verteilung von flüssigem Wasser in der Membran-Elektrodeneinheit (Abbildung 3). Das Modell bildet die Basis für Systemsimulationen, bei denen die Bildung und der Transport von flüssigem Wasser in der PEM-Brennstoffzelle berücksichtigt werden.

Für unsere Kunden entwickeln wir mathematische Modelle beispielsweise für die am Markt etablierten Simulationsumgebungen Matlab und Femlab. Wir führen stationäre und zeitabhängige Simulationsrechnungen für PEM-Brennstoffzellen durch und bieten dynamische Systemsimulationen mit vereinfachten Modellen der Brennstoffzelle an. Stationäre Strömungssimulationen in Brennstoffzellen zählen des weiteren zu unseren Dienstleistungen. Ebenso charakterisieren wir Betriebszustände von Brennstoffzellen durch eine Kombination von Messung und Simulation.

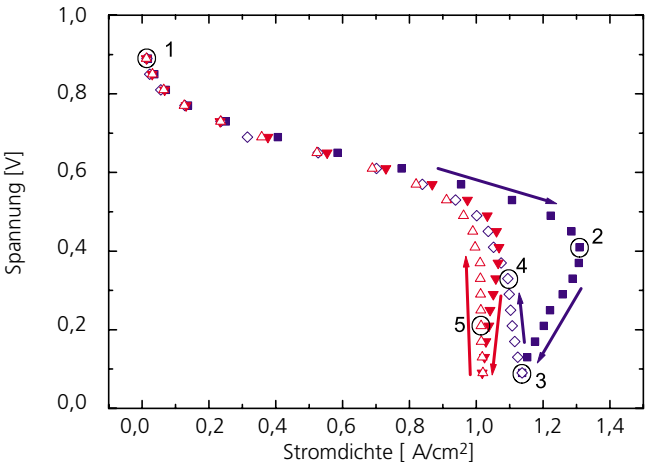


Abb. 2: Zeitabhängige Simulation von Strom und Spannung einer PEM-Brennstoffzelle. Es wurde eine zeitlich veränderliche Spannung (4,5 mV/s) an die Brennstoffzelle angelegt. Die Zyklusdauer beträgt 400 s. Die Punkte 1, 2 und 3 liegen auf der Vorwärtskennlinie, Punkt 4 liegt auf der Rückwärtskennlinie des ersten Zyklus (blau). Punkt 5 liegt auf der Kennlinie des zweiten Zyklus (rot). Durch das flüssige Wasser tritt ein Hystereseeffekt auf.

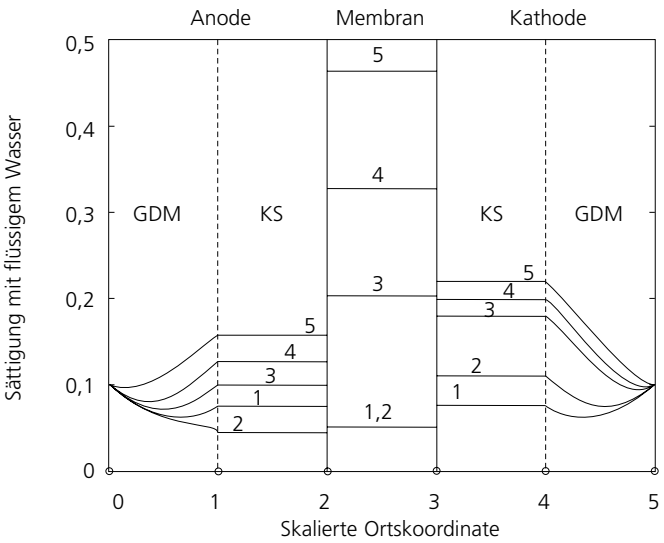
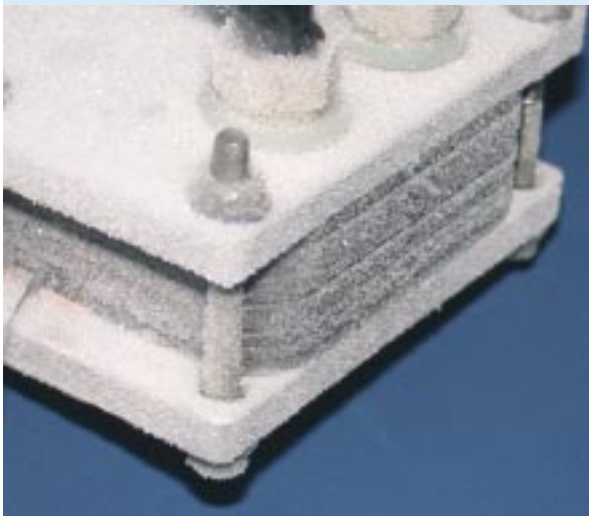


Abb. 3: Orts- und zeitaufgelöste Sättigung mit flüssigem Wasser. Die Sättigung beschreibt den relativen mit Wasser gefüllten Anteil des Porenraums. Die mit 1 bis 5 bezeichneten Kurven gehören zu den in Abbildung 2 durch Kreise markierten Betriebspunkten. Ein Vergleich zwischen den Betriebspunkten 1 und 5 zeigt einen Anstieg der Sättigung mit flüssigem Wasser. (KS: Katalysatorschicht, GDM: Gasdiffusionsmedium)

Mikro-Brennstoffzellensystem für einen breiten Temperaturbereich

In der Mess- und Regelungstechnik beobachten wir einen Trend zur dezentralen Energieversorgung von Systemkomponenten. Die Netzunabhängigkeit von Sensoren und Aktoren schafft Flexibilität und birgt ein Potenzial zur Kostensenkung. Für dieses Anwendungsfeld entwickeln wir ein außentaugliches, seriennahes Brennstoffzellensystem für den Temperaturbereich von -20 °C bis +40 °C. Unsere Arbeitsschwerpunkte sind die Untersuchung von Heiz- und Kühlstrategien sowie die detaillierte Analyse des Kaltstartvorgangs von portablen Brennstoffzellensystemen.

Dietmar Geckeler, Jan Hesselmann, Michael Junghardt, Michael Oszcipok, Dirk Riemann, Maik Wodrich, **Mario Zedda**



Die Regelung des Wasser- und Wärmehaushalts unserer Brennstoffzellensysteme ermöglicht uns eine stabile und zuverlässige Versorgung elektrischer Verbraucher. Durch die Erweiterung des Betriebstemperaturbereiches auf Außentemperaturen unter dem Gefrierpunkt bzw. hochsommerliche 40 °C entsteht eine neuartige Herausforderung. Bei tiefen Temperaturen gefriert das Produktwasser in der Brennstoffzelle, während bei hohen Temperaturen die Membran-Elektroden-Einheit austrocknet. In beiden Fällen war bisher ein Betrieb der Brennstoffzelle nicht möglich. Diese extremen Betriebsbedingungen können wir mit Hilfe eines vollautomatisierten Brennstoffzellen-Teststands mit integrierter Klimakammer nachbilden (Abbildung 1).

Mit unseren Brennstoffzellenstapeln ist ein rein passiver, also nicht durch Fremdenergie erwirkter Kaltstart bei -20 °C bereits möglich. Zur Beschleunigung des Kaltstarts arbeiten wir an einem neuartigen Heizkonzept, das ohne zusätzliche verfahrenstechnische Komponenten auskommt. So können wir die Kaltstartstrategie in Effizienz und Dauer an die Erfordernisse der Anwendung anpassen.

Abb. 1: Ein Brennstoffzellenstapel bei -20 °C in der Klimakammer. Wird er in diesem Zustand definiert belastet, so erreicht er ohne jegliche Fremdheizung innerhalb von 15 Minuten die 0 °C-Marke. Bei einer Außentemperatur von -20 °C beträgt die Temperatur im Betriebspunkt 50 °C.

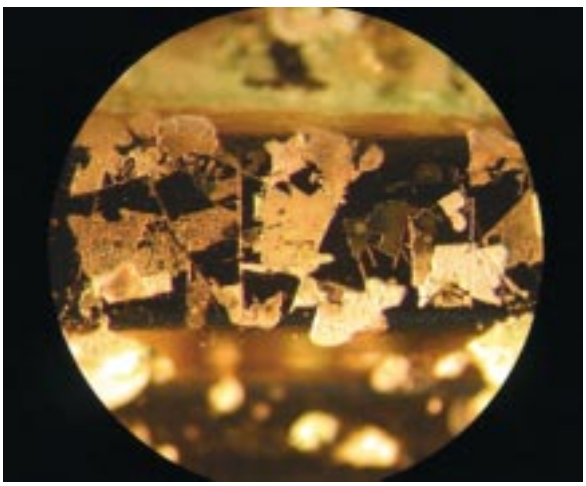


Abb. 2: Mikroskopische Aufnahme von Korrosion auf einer metallischen Bipolarplatte. Die nur 0,1 mm dünnen Platten ermöglichen eine rasche Aufheizung des Brennstoffzellenstapels und reduzieren dessen Gewicht. An der Entwicklung korrosionsbeständiger Materialien wird noch gearbeitet.

Den Betrieb unseres Brennstoffzellensystems bei +40 °C haben wir in der Klimakammer erfolgreich getestet. Ein von uns entwickelter Membranbefeuchter nutzt das an der Kathode anfallende Produktwasser zur anodenseitigen Befeuchtung des Wasserstoffs. Gleichzeitig begrenzen wir die Temperatur des Zellstapels durch eine elektronisch geregelte Lüfterkühlung. Durch die geschickte Führung der kalten und warmen Luftströme unterstützt unser innovatives Gehäusekonzept passiv die Heizung bzw. Kühlung des Systems.

Um Eisbildung und Austrocknung zu vermeiden, beeinflussen wir den Wasserhaushalt unserer Brennstoffzellen sowohl durch die Regelung der Systemperipherie als auch durch die Optimierung der Materialeigenschaften der Brennstoffzellen-Komponenten. Hauchdünne metallische Bipolarplatten ermöglichen uns aufgrund der geringen Wärmekapazität und der guten Wärmeleitfähigkeit eine rasche Aufheizung des Zellstapels. Gleichzeitig kann die Wärme bei hohen Außentemperaturen effizient über die Bipolarplatten abgeführt werden. Da metallische Bipolarplatten im Brennstoffzellenstapel korrodieren können (Abbildung 2), testen wir verschiedene Träger- und Beschichtungsmaterialien.

Unsere Kaltstartstrategien für Brennstoffzellensysteme basieren auf Ergebnissen aus der Grundlagenforschung zum Verhalten einzelliger Brennstoffzellen bei isothermen Bedingungen. Durch statistisch basierte, empirische Modelle sowie impedanzspektroskopische Untersuchungen wissen wir, welche Vorgänge innerhalb einer Zelle ablaufen, wo Wasser entsteht, in welchen Schichten es zu Eisbildung kommen kann und wie Degradationseffekten begegnet werden muss.

Es ist uns gelungen, die entscheidenden Betriebsparameter herauszufinden, mit denen es möglich ist, Kaltstarts zu optimieren. Dieses Wissen übertragen wir auf unsere portablen Brennstoffzellensysteme und optimieren so deren Startverhalten. Thermische Modelle beschreiben das dynamische Aufheizverhalten von Brennstoffzellenstapeln und dienen als Grundlage zur Erstellung von Effizienzanalysen verschiedener Startstrategien.

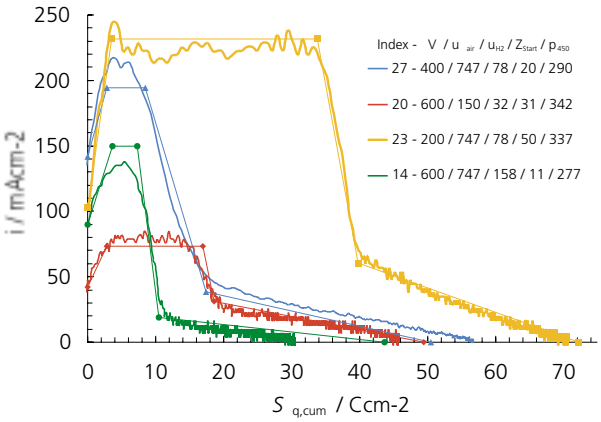


Abb. 3: Verfall der Stromdichte i bei isothermem Kaltstart, aufgetragen über der kumulierten Ladungsmenge $S_{q,cum}$. Statistische Regressionsmodelle beschreiben die Vorgänge in einzelligen Brennstoffzellen während eines Kaltstarts bei -10 °C. Dadurch wissen wir welche Betriebsparameter für Tieftemperaturstarts entscheidend sind und können optimale Startstrategien entwickeln.

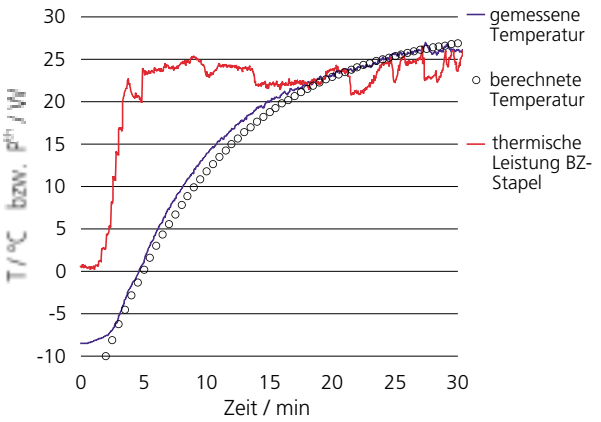


Abb. 4: Experimenteller Versuch und thermische Simulation des Kaltstarts eines sechszelligen Brennstoffzellenstapels (15 W) in einer Klimakammer bei -10 °C. Nach vier Minuten erreicht die Temperatur 0 °C bei einer mittleren Abwärme des Zellstapels von 22 W während des Betriebs.

Optimierung von Membran-Elektroden-Einheiten für die Elektrolyse

Hohe Wirkungsgrade bei niedrigen Kosten zu erreichen, ist das Ziel der Entwicklung von Membran-Elektroden-Anordungen für die Wasserelektrolyse. Eine weit gefächerte Charakterisierung erlaubt es uns, durch gezielte Änderungen im Herstellungsprozess die Elektroden zu verbessern. Dabei wenden wir die Methode der statistischen Versuchsplanung an.

José Roberto Flores Hernandez, Stefan Klinke, Susanne Lehmberg, **Ursula Wittstadt**

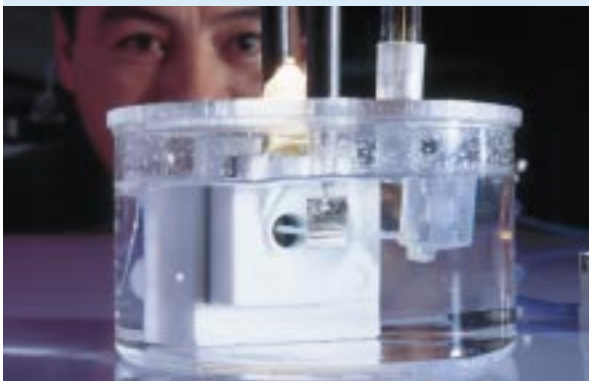


Abb. 1: Elektrochemische Halbzelle für zyklovoltammetrische Messungen. Damit bestimmen wir die aktive Oberfläche der auf die Membran aufgebrachten Elektroden. Als Referenz dient eine Silber/Silberchlorid-Elektrode.

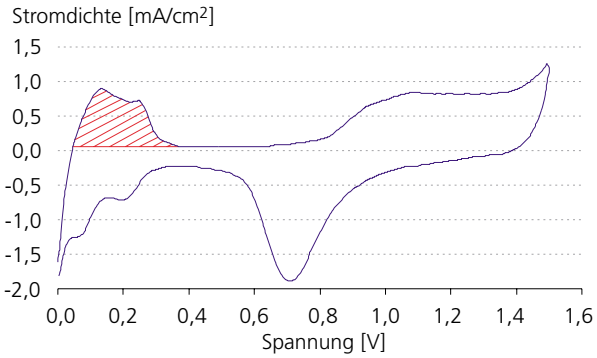


Abb. 2: Zyklovoltammogramm der Platinkathode einer Membran-Elektroden-Anordnung. Aus der schraffierten Fläche lässt sich die katalytisch aktive Oberfläche des Platins berechnen.

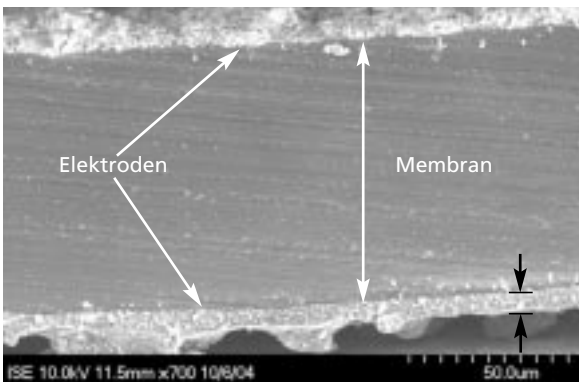


Abb. 3: Rasterelektronenmikroskop-Aufnahme: Querschnitt einer Membran-Elektroden-Anordnung; zu sehen sind oben die Kathodenseite mit Platin als Katalysator, unten die mit Iridium beschichtete Anode. Mit Hilfe dieser Aufnahmen können wir die Schichtdicke der Elektroden bestimmen.

Mit dem Ziel eines verbesserten Betriebsverhaltens bei verringerten Material- und Kostenaufwendungen entwickeln wir Membran-Elektroden-Anordnungen (MEAs) für die Wasserelektrolyse. Dabei beschichten wir protonenleitende Membranen mit Katalysatoren wie Platin oder Iridium. Für die Weiterentwicklung der Beschichtungsmethoden stehen uns umfangreiche Charakterisierungsmöglichkeiten zur Verfügung.

Im Elektrolysebetrieb charakterisieren wir die MEAs in einer eigens hierfür entwickelten Laborzelle. Diese ist über einen weiten Bereich temperierbar (5–100 °C). Während einer Messung nehmen wir nicht nur Spannungs- und Stromkennwerte auf, sondern erfassen auch die produzierte Gasmenge sowie deren Reinheit in Echtzeit. Zusammen mit der Stromstärke bestimmen wir so den Wirkungsgrad der Wasserstoffproduktion. Mit Hilfe der Impedanzspektroskopie ist es uns möglich, unterschiedliche Einflussfaktoren auf die Leistungscharakterisik (z. B. des Massentransports oder der kinetischen Hemmung) getrennt zu untersuchen.

Weiteren Aufschluss über das Verhalten von MEAs erhalten wir über ex-situ Analysemethoden. Bei der Variation im Beschichtungsverfahren wird mittels Raster-Elektronen-Mikroskopie (REM) die Struktur der Elektroden untersucht. Die Methode der Zyklovoltammetrie verwenden wir, um in elektrochemischen Halbzellen die aktive Katalysatorfläche der auf die Membran aufgebrachten Elektroden zu charakterisieren.

Mit diesen Werkzeugen sowie der Methode der statistischen Versuchsplanung können wir neue Katalysatoren und geänderte Herstellungsverfahren schnell und unkompliziert auf ihre Eignung hin untersuchen.

Technische Lebensdauermessungen in realen Elektrolyse-Zellen ergänzen die detaillierten Untersuchungen und erlauben uns zusätzliche Aussagen über die Einsetzbarkeit der MEAs in der Praxis.

Neues Verfahren zur Verdampfung von Diesel

Da sich Diesel nicht ohne Bildung von Krusten und anderen Rückständen verdampfen lässt, muss er in flüssiger Form mit Hilfe von Düsen in Reformierreaktoren eingebracht werden, was eine gleichmäßige Gemischbildung sehr schwierig gestaltet.

In Zusammenarbeit mit einem Schweizer Ingenieurbüro entwickelten und untersuchten wir ein neues Verfahren, mit dem es möglich ist, Diesel rückstandsfrei zu verdampfen. Dieses Verfahren bietet große Vorteile bei der Reformierung von Diesel.

Thomas Aicher

Abb. 1: Neuer Verdampfer im Betrieb; durch den geöffneten Austritt entweicht der »gasförmige« Diesel, zu erkennen an den weißen Nebelschwaden.

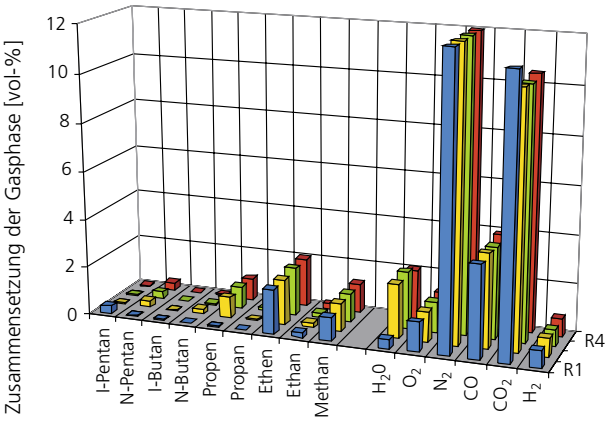


Abb. 2: Zusammensetzung des Verdampfer-Produktgases, experimentell bestimmt durch Gaschromatographie. Nicht analysiert wurden die höheren Kohlenwasserstoffe (ab Hexan), die ebenfalls im Produktgas vorhanden sind. Die Konzentrationen von Stickstoff (N_2) sind bei 12% abgeschnitten worden und liegen in der Größenordnung von 74 vol-%.

Die partielle Oxidation ist das bevorzugte Reformierverfahren für viele Brennstoffzellen-basierte APU (Auxiliary Power Unit)-Systeme, weil sich dadurch das Mitführen von Wasser oder die aufwändige Rückgewinnung von Wasser aus dem Produktgas der Brennstoffzelle an Bord des Fahrzeugs vermeiden lässt. Allerdings ist die partielle Oxidation ein Reformierverfahren, das sehr leicht zur Rußbildung führt, besonders wenn der Brennstoff ein höherer Kohlenwasserstoff ist und er beim Eintritt in den Reaktor nicht ausreichend gut mit der Reaktionsluft vermischt wird. Dies ist besonders kritisch bei Diesel, weil er – im Gegensatz zu anderen flüssigen Kohlenwasserstoffen – bei der Verdampfung Rückstände bildet. Daher musste Diesel bislang in flüssiger Form mit Hilfe von Einspritzdüsen in den Reaktionsraum eines Reformers eingesprüht werden. Dies macht allerdings eine gleichmäßige Gemischbildung über einen großen Lastbereich sehr unsicher.

Genau an dieser Stelle setzt ein neuartiges Verfahren ein, das wir 2004 in Zusammenarbeit mit einem Schweizer Ingenieurbüro entwickelten und untersuchten. Dieses patentierte Verfahren überführt Diesel in die Gasphase ohne die Bildung von Ruß oder Rückständen. Dabei läuft der Diesel am Boden eines leicht geneigten Zylinders entlang und verdampft dadurch, dass er von oben durch die Wärmestrahlung eines heißen Katalysatornetzes erhitzt wird. Das Netz wird aufgeheizt, indem ein kleiner Teil des Diesels an der Katalysatoroberfläche mit einer ganz geringen Menge Luft verbrannt wird.

In den Messungen variierten wir die Betriebsparameter Luft- und Diesel-Durchsatz und untersuchten so deren Einfluss auf die Katalysator-Temperatur und die Zusammensetzung des Produktgases. Typische Ergebnisse sind in Abbildung 2 gezeigt. Die flüchtigen Kohlenwasserstoffe Methan, Ethen und Propen sind Crack-Produkte, die bei der partiellen Oxidation des Diesels im Verdampfer entstehen, weil die längerkettigen Kohlenwasserstoffe, aus denen Diesel besteht, schon zum Teil aufgebrochen werden.

Integration eines Erdgas-Dampfreformers in ein Brennstoffzellen-Blockheizkraftwerk

Im März 2004 konnte ein am Fraunhofer ISE entwickelter Erdgas-Dampfreformer erfolgreich in ein vollautomatisch gesteuertes und geregeltes Brennstoffzellen-Blockheizkraftwerk (BZ-BHKW) integriert werden. Ein Wechselrichter wandelt den von der Membranbrennstoffzelle (PEM-BZ) produzierten Gleichstrom in Wechselstrom um und speist ihn in das Hausnetz ein. Die von Reformer und BZ produzierte thermische Energie wird über einen Kühlwasserkreislauf abgeführt. Das BZ-BHKW wurde seitdem einer Reihe von Betriebstests in Bezug auf Lastwechsel und Gesamtverhalten unterzogen.

Thomas Aicher, **Robert Szolak**

Das vom Fraunhofer ISE und vom Zentrum für Sonnenenergie und Wasserstofftechnik (ZSW) entwickelte Brennstoffzellen-Blockheizkraftwerk (BZ-BHKW) befindet sich in einem Laborprüfstand am Institut für Werkstoffe der Elektrotechnik (IWE) der Universität Karlsruhe. Es wird über eine Siemens SPS (speicherprogrammierbare Steuerung) vollautomatisch gesteuert und geregelt. Über das Programm ProTool können alle prozessrelevanten Größen beobachtet und verändert werden, somit ist eine variable Betriebsführung – beispielsweise die Variation der Reformiertemperatur, das molare Verhältnis von Wasserdampf zu Kohlenstoff – möglich. Bei Über- bzw. Unterschreitung bestimmter Parameter – zu wenig Prozesswasser, zu hoher Druck – wird die Anlage vollautomatisch in einen sicheren Betriebszustand gebracht.

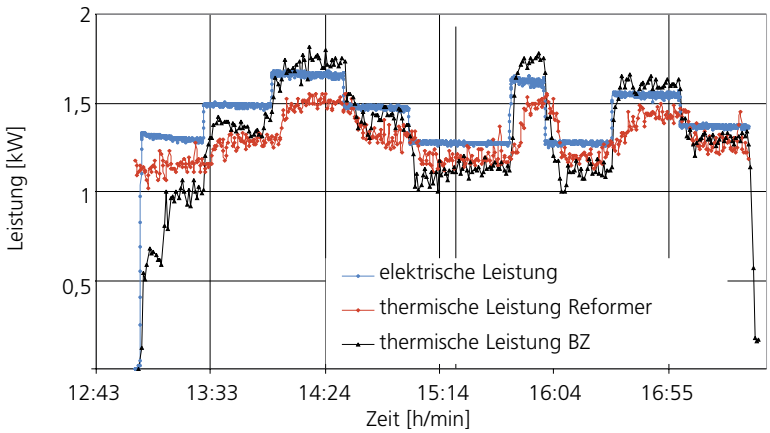


Abb. 1: Die Wasserstoffleistung im Erdgas-Dampfreformer wurde zwischen 21,5 Nl/min und 28,4 Nl/min variiert. Die elektrische Leistung im System folgt ohne Zeitverzögerung. Die maximale gemessene elektrische Leistung beträgt bei 28,4 Nl/min Wasserstoff 1,7 kW_{el}. Die dabei gewonnene thermische Leistung aus Reformer und Brennstoffzelle beträgt 3,3 kW.

Der Reformer ist im Bereich von 21,5 bis 33 Nl/min Wasserstoff stufenlos regelbar. Der Kohlenmonoxidgehalt wird dabei in einer Gasreinigungstufe auf kleiner 0,3 Vol-% (bezogen auf den trockenen Gasstrom) reduziert. Hierfür haben wir ein System entwickelt, in dem das wasserstoffreiche Produktgas vor der Gasreinigung mit Wasser angereichert wird. Wir konnten zeigen, dass die Kohlenmonoxidkonzentration um das 10fache gesenkt wurde. Die bei der Gasreinigung anfallende Wärme wird über einen Luftkühler abgeführt. Das Verdampfen und Überhitzen des für den Prozess notwendigen Wassers findet über integrierte Wärmetauscher statt. Dabei wird das Brennerabgas und das wasserstoffreiche Produktgas abgekühlt. Die gemessene Gaszusammensetzung nach dem Reformer und nach der Gasreinigung entspricht dem thermodynamischen Gleichgewicht. Der Erdgas-Dampfreformer verbrennt neben dem zugeführten Erdgas auch den nicht umgesetzten Wasserstoff (plus Restmethan und Spuren von Kohlenmonoxid) aus der Brennstoffzellen-Anode. Dadurch wird der Gesamtwirkungsgrad im System deutlich verbessert.

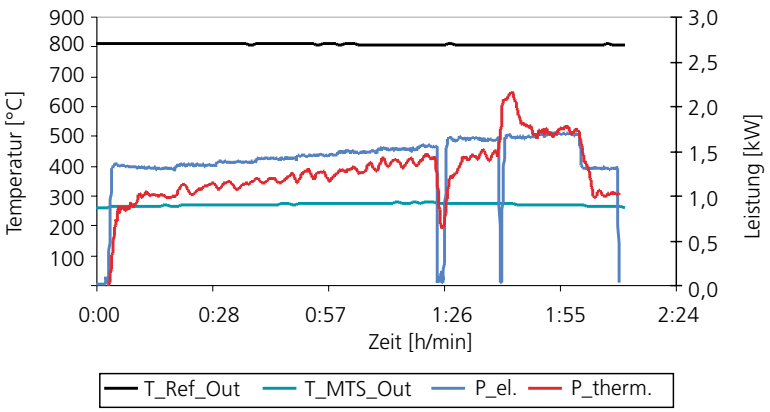


Abb. 2: Zeitlicher Verlauf der gemessenen Temperaturen (Austritt Reformierreaktor und Austritt Shiftstufe) und der produzierten Leistungen (elektrisch und thermisch). Die Lastsprünge wurden in Zehn-Minuten-Schritten durchgeführt. Auch hier ist keine Verzögerung der elektrischen Leistung erkennbar. Der Reformer reagiert sehr schnell auf Laständerungen und stellt den Wasserstoff in ausreichender Gasqualität (CO-Gehalt < 0,3 Vol-%) zur Verfügung. Das BZ-BHKW besitzt ein gutes dynamisches Verhalten. (Die elektrische Leistung brach in dem dargestellten Zeitbereich auf Grund zweier kurzer Störungen des Wechselrichters ein.)

Wasserstofferzeugung aus Diesel für die Stromversorgung an Bord von Schiffen

Für die Dauer von über 500 Stunden betrieben wir einen Dieselreformer, der Synthesegas für eine Hochtemperatur-Brennstoffzelle erzeugt. Die Anlage wurde im letzten Jahr entwickelt und in Betrieb genommen. Mit dem Dauerversuch testeten wir das Zeitstandverhalten zweier Katalysatoren. Messungen des Reformers bezüglich der Zusammensetzung des Produktgases ergaben keine nennenswerte Degradation der Katalysatoren. Auch die Bildung von Ruß und höheren Kohlenwasserstoffen konnte durch geeignete Betriebsparameter sicher unterdrückt werden.

Thomas Aicher, Christian Siegel

Zur Stromversorgung an Bord von Schiffen (APU = auxiliary power unit) bieten Reformer/Brennstoffzellen-Systeme einige Vorteile gegenüber konventionellen Verbrennungsmotor/Generator-Systemen. Vor allem geringe Emissionen und niedrige Lärmpegel stellen einen bedeutenden Vorteil dar, besonders wenn das Schiff im Hafen liegt. Ein weiterer wichtiger Vorteil der Brennstoffzellen-basierten Bordstromversorgung ist der höhere elektrische Wirkungsgrad. Da der eigentliche Schiffsmotor mit Diesel betrieben wird, ist dieser Kraftstoff auch der Brennstoff für die APU. Da sich Diesel nicht direkt in einer Brennstoffzelle umsetzen lässt, muss er zuvor in einem Reformer in ein wasserstoffreiches Gasgemisch umgewandelt werden.

Im Rahmen einer Zusammenarbeit mit der italienischen Firma Ansaldo Fuel Cell SpA (AFCo) in Genova entwickelten wir am Fraunhofer ISE eine solche Reformer-Anlage, die Diesel durch autotherme Reformierung in ein Synthesegas umwandelt. Diese Pilotanlage besitzt eine Leistung von 100 kW, bezogen auf den Heizwert von Diesel. Das produzierte Synthesegas, ein Gemisch aus Wasserstoff und Kohlenmonoxid, kann in einer Schmelzkarbonat-Brennstoffzelle (MCFC) verstromt werden.

Nach erfolgreicher Inbetriebnahme der Reformer-Pilotanlage untersuchten wir das Zeitstandverhalten zweier unterschiedlicher kommerzieller Katalysatoren in Dauerversuchen. Dazu musste die Sicherheitstechnik der Anlage erweitert werden, um sie unbeaufsichtigt betreiben zu können. Im Dauerbetrieb beobachteten wir den Temperaturverlauf innerhalb der Katalysatorwabe

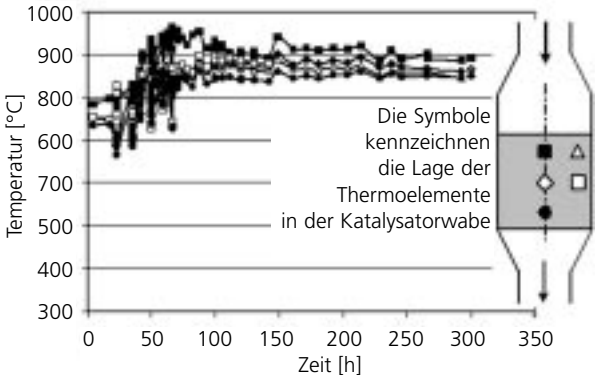


Abb. 1: Gemessener Temperaturverlauf im Reaktor für einen Katalysator. Im rechten Teil der Abbildung ist eine Skizze des Reformierreaktors mit den unterschiedlichen Temperaturmessstellen gezeigt. Während der ersten 100 Stunden wurden die Betriebsparameter variiert, um den Prozess zu optimieren. Dies erklärt die starke Streuung der Temperaturen zu Beginn des Dauerversuchs.

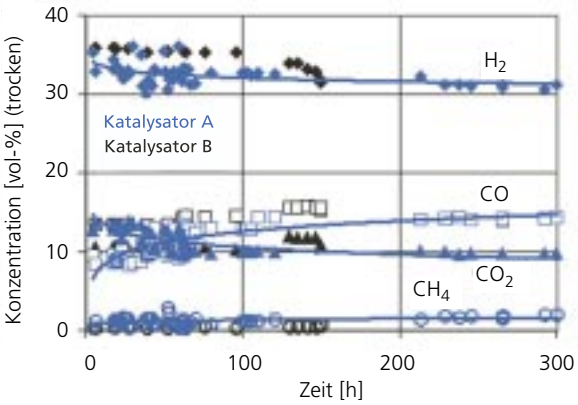


Abb. 2: Gemessene Gaszusammensetzung am Reaktorausgang (trocken) für zwei unterschiedliche Katalysatoren im Dauerversuch. Gezeigt sind Messwerte für Wasserstoff, Kohlenmonoxid, Kohlendioxid und Methan.

und die zeitliche Veränderung der Produktgaszusammensetzung. Die Ergebnisse sind in Abbildung 1 und 2 dargestellt. Wir konnten feststellen, dass sich im Zeitraum von 150 bis 300 Stunden (Katalysator A und B) keine wesentlichen Verschlechterungen beobachten lassen. Außerdem konnte festgestellt werden, dass bei den gewählten Betriebsparametern kein Ruß im Reaktor gebildet wird und der Anteil an höheren Kohlenwasserstoffen ($C6^+$) im Produktgas unter 10 ppm liegt. Letzteres ist ein Wert, der für eine MCFC völlig unbedenklich ist.

Derzeit wird von einer Anlagenbaufirma in Zusammenarbeit mit unseren Ingenieuren ein Technologie-Demonstrator aufgebaut, der im Laufe das Jahres 2005 mit einer 350 kW_{el} MCFC von AFCo kombiniert werden wird.

Mehr als Solarenergie

Millionen von Menschen in abgelegenen Regionen haben weder Zugang zu hygienisch einwandfreiem Trinkwasser noch Anschluss an eine Stromversorgung. Ihre Lebensqualität kann durch dezentrale und wartungsarme Trinkwasseraufbereitungsanlagen erheblich verbessert werden. Für kleine Anlagen ist es besonders wichtig, Rohwasser wie zum Beispiel Meerwasser, Brackwasser oder mikrobiell verunreinigtes Oberflächenwasser in möglichst wenigen Prozessschritten aufzubereiten. Im Bild zu sehen ist eine Flachmembranzelle zur chemikalienfreien Wasseraufbereitung mit in-situ Ultraschallreinigungsverfahren (Beitrag Seite 86).

Arbeiten in besonderen Kompetenzbereichen

Zusätzlich zu den in den Geschäftsfeldern beschriebenen Arbeiten betreibt das Fraunhofer ISE auch Forschung und Entwicklung in Bereichen, die nicht der Solarenergienutzung zuzurechnen sind bzw. in solartechnischen Feldern, die nicht unter einem der Geschäftsfelder zu subsumieren sind. Mit diesen Arbeiten eröffnet sich das Institut strategisch neue Felder. Die bereits seit längerem am Fraunhofer ISE etablierte Entwicklung mikrostrukturierter funktionaler Oberflächen zählt hierzu ebenso wie die etwas jüngeren Gebiete der Meerwasserentsalzung und der Trinkwasseraufbereitung.

Im Bereich der thermischen Verfahren zur Meerwasserentsalzung haben wir erfolgreich eine kleine kompakte, vollständig solar betriebene Versuchsanlage aufgebaut. Für dezentral und solar betriebene Trinkwasseraufbereitungsanlagen entwickeln wir wartungsarme Desinfektionsverfahren. Die dabei eingesetzten Membranen werden mit Ultraschall gereinigt.

Aus dem Bereich mikrostrukturierter funktionaler Oberflächen stellen wir ein Verfahren vor, mit dessen Hilfe die optische Modellierung der gewünschten Eigenschaften optimiert werden kann. Dies geschieht auf der Basis schneller Rechenmethoden, bei denen geometrisch-optische Modellansätze genutzt und diffraktive Effekte berücksichtigt werden.

Optische Modellierung mikrostrukturierter Oberflächen im refraktiv-diffraktiven Übergangsbereich

Das Mikrostrukturieren von Oberflächen erlaubt die gezielte Beeinflussung ihrer optischen Eigenschaften. Wir entwerfen Mikrostrukturen für großflächige Anwendungen und stellen Prototypen her. Für das Design und die Optimierung der Strukturen entwickeln wir schnelle Rechenmethoden, bei denen geometrisch-optische Modellansätze genutzt und diffraktive Effekte berücksichtigt werden.

Andreas Gombert, Wolfgang Hoßfeld, **Peter Nitz**

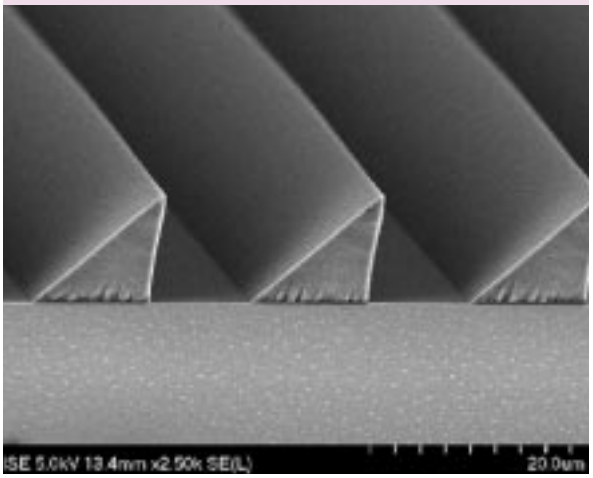


Abb. 1: Rasterelektronenmikroskop-Aufnahme einer prismatisch strukturierten Oberfläche. Die Strukturen sind so klein, dass sie vom Auge nicht mehr aufgelöst werden können. Die Periode der Struktur beträgt 17 µm. Sie ist damit etwa 30fach größer als die Wellenlänge des Lichts. Ihre optische Funktion ist daher im Wesentlichen refraktiv.

Mikrostrukturierte Oberflächen bieten eine Vielzahl optischer Funktionen für unterschiedliche Anwendungen. In Abhängigkeit von den Materialeigenschaften der Oberfläche sowie der Größe und Form der Strukturen können wir diese Funktionen kontrollieren. Anwendungsbeispiele sind Antireflex- und Antiglare-Oberflächen für Displays, Diffusoren für Beleuchtungen, lichtlenkende Oberflächen für Gebäudeverglasungen und thermische Strahlungsemitter für die Thermophotovoltaik.

Mit dem Ziel, kleinste Strukturen auf großen Oberflächen kostengünstig herstellen zu können, arbeiten wir an der Weiterentwicklung der Interferenzlithographie. Derzeit stellen wir auf Flächen bis zu 1,2x1,2 m^2 Strukturen zwischen 200 Nanometern und 50 Mikrometern her. Durch den lithographischen Prozess erhalten wir sogenannte Master-Strukturen. Davon werden durch Galvanisierung Kopien in Metall angefertigt. Diese Kopien dienen als Prägestempel für die großtechnische Abformung der Strukturen in Kunststoffplatten, Folien oder Schichten auf Glas.

Bei der Umsetzung innovativer Anwendungen auf der Basis von mikrostrukturierten Oberflächen erstellen wir für unsere Industriepartner Modellrechnungen. Mit Hilfe dieser Modellrechnungen können wir die gewünschten Eigenschaften der Oberfläche optimal einstellen.

Ein aktuelles Forschungsgebiet sind lichtlenkende Strukturen wie z.B. Mikroprismen (Abbildung 1). Diese Oberflächenstrukturen haben Perioden von mehreren Mikrometern. Sie sind so klein, dass ihre Struktur mit dem bloßen Auge nicht mehr aufgelöst werden kann. Da die Abmessungen

aber noch deutlich größer als die Wellenlänge des Lichts sind, kann ihre Wirkungsweise im Wesentlichen durch die Strahlenoptik verstanden werden. Dennoch spielen diffraktive Effekte wie die Beugung an den Prismenkanten eine wichtige Rolle und müssen beim Design der Strukturen berücksichtigt werden. Hierfür untersuchten wir geeignete Modellierungs-Methoden. Mit sogenannten rigorosen Lösungsmethoden, die die Maxwell-Gleichungen der Elektrodynamik numerisch lösen, können die optischen Eigenschaften sehr genau berechnet werden. Rigorose Methoden benötigen jedoch viel Rechenzeit. Außerdem geben sie keine direkte Antwort auf die Frage, welche Beugungs- oder Interferenzeffekte dafür verantwortlich sind, dass die optische Funktionalität unter Umständen deutlich vom strahlenoptisch vorhergesagten Verhalten abweicht. Um ein quantitatives Verständnis für diese Effekte zu bekommen, sind approximative Methoden besser geeignet. Sie erlauben eine getrennte Analyse verschiedener Beugungs- und Interferenzeffekte, die für die Optimierung der Strukturen verwendet werden kann.

Im Rahmen des vom Bundeswirtschaftsministerium geförderten Projekts MIKROFUN II verfolgten wir einen neuen Ansatz zur Modellierung periodischer Oberflächen im diffraktiv-refraktiven Übergangsbereich. Dabei werden die Wellenfelder durch eine Überlagerung von an den Grenzflächen gebrochenen oder reflektierten ebenen Wellen dargestellt (Abbildung 2) mit von den Kanten ausgehenden Zylinderwellen (Abbildung 3). Dieser additive Ansatz erlaubt durch ein besseres Verständnis die gezielte Optimierung der Mikrostrukturen.

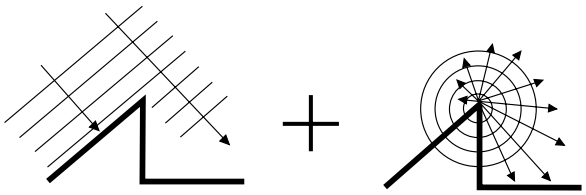


Abb. 2: In einer neu entwickelten Näherungsmethode werden winkelabhängig gewichtete Zylinderwellen, die von den Kanten ausgehen, zu den ebenen Wellen der geometrischen Optik addiert. Dadurch können Beugungseffekte auf einfache Weise berücksichtigt und ihr Einfluss auf die optische Wirkungsweise der Oberfläche abgeschätzt werden.

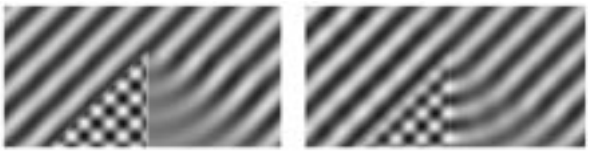


Abb. 3: Vergleich der berechneten Feldverteilung an einer prismatischen Oberfläche nach (a) der neu entwickelten Näherungsmethode und (b) einer rigorosen Methode, bei der die Maxwell-Gleichungen numerisch gelöst werden. Die schachbrettartigen Muster innerhalb der Prismen entstehen durch Überlagerung der einfallenden Welle und der an der senkrechten Flanke totalreflektierten Welle. Durch Beugung an der oberen Prismenspitze wird die schräg von oben links einfallende Welle in den Schattenbereich gebeugt. Beide Phänomene werden durch die Näherungs-Methode ausreichend beschrieben.

Entwicklung kleiner kompakter Meerwasserentsalzungssysteme

Mit dem Aufbau der ersten Versuchsanlage einer kleinen kompakten, vollständig solar betriebenen Meerwasserentsalzungsanlage erreichten wir einen Meilenstein im Rahmen unserer Aktivitäten zur solarthermischen Meerwasserentsalzung. Die Anlage kann als autarkes System betrieben werden. Thermische Solarkollektoren liefern die Energie für die Entsalzung nach dem Membrandestillationsverfahren. Die Pumpe und die Steuerungskomponenten werden über ein Photovoltaik-Modul versorgt.

Robert Anti, Sebastian Basel,
Joachim Koschikowski, Heiko Rebmann,
Matthias Rommel, Marcel Wieghaus

Für die dezentrale Anwendung in infrastrukturschwachen Gebieten entwickeln wir Entsalzungseinheiten auf der Basis des Membrandestillations-Verfahrens (Schema, Abbildung 2). Dies ist ein thermisch getriebenes Verfahren, das sich besonders gut für die solarthermische Wasserentsalzung eignet. Es ermöglicht einen besonders einfachen Systemaufbau aus nur wenigen Komponenten und ohne großen Regelaufwand. Ein weiterer Vorteil besteht darin, dass kein hoher Aufwand der Wasservorbehandlung notwendig ist. Dies sind wichtige Voraussetzungen solar betriebener Wasserentsalzungsanlagen für den dezentralen Einsatz in Gebieten mit schwach ausgebildeter Infrastruktur. Die Anlagen müssen netzfern betrieben werden können. Der Kapazitätsbereich, in dem diese Technik voraussichtlich sinnvoll eingesetzt werden kann, liegt zwischen Anlagen für 100 Liter pro Tag bis etwa 20 m^3 pro Tag.

Für die Entwicklung von Membrandestillations-Wickelmodulen, in Kooperation mit einem Industriepartner, konstruierten wir eine Wickelmaschine (Abbildung 1). Diese ist sehr flexibel einsetzbar und eignet sich für die Fertigung von Prototypen oder auch Kleinserien von Modulen. Mit Hilfe dieser Anlage erstellten wir für die erste kompakte Versuchsanlage ein Entsalzungsmodul mit interner Wärmerückgewinnung. Dabei erreichten wir einen spezifischen Energiebedarf von nur 100 kW_{th} pro m^3 entsalztem Wasser. Das bedeutet, dass durch die Wärmerückgewinnung des Entsalzungsmoduls nur etwa

Abb. 1: Am Fraunhofer ISE konstruierte und gebaute Wickelmaschine für die Herstellung von Prototypen von Membrandestillations-Wickelmodulen.

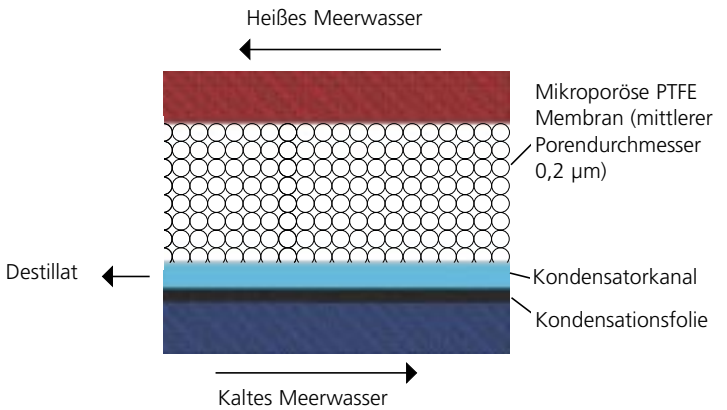


Abb. 2: Prinzipskizze zur Membrandestillation: Das zu entsalzende Meerwasser befindet sich in der Abbildung auf der oberen Seite der Membran. Auf der unteren Seite fließt im Gegenstrom das kalte Meerwasser. Durch den Temperaturgradienten besteht eine Differenz der Wasserdampfpartialdrücke. Diese bildet den Antrieb dafür, dass Wasserdampf durch die Membran diffundiert und an der kalten Seite kondensiert. Dabei wird die Kondensationsenergie an das kalte Speisewasser übertragen und wärmt dieses vor. Diese Wärmerückgewinnung reduziert den Energiebedarf wesentlich.

ein Siebtel der Energie aufgebracht werden muss, die für die Verdampfung des Wassers benötigt wird. Gleichzeitig kommt es bei unserer Entwicklung darauf an, dass der Druckverlust des Entsalzungsmoduls nicht zu groß wird, damit der Hilfsenergiebedarf für den Antrieb der Systempumpe durch die PV-Module möglichst gering ist. Um diese Aufgaben bearbeiten zu können, bauten wir verschiedene Teststände im Labor auf. Mit einem Leistungsteststand können wir unsere Membrandestillationsmodule oder auch andere thermisch angetriebene Entsalzungseinheiten charakterisieren. Mit dem Salzwasserteststand lassen sich sämtliche Systemkomponenten wie Pumpen, Ventile, Entgaser oder das Verrohrungsmaterial auf die Eignung für den Betrieb mit Meerwasser testen. Für Untersuchungen zur thermodynamischen Verbesserung der Membrandestillationsmodule bauten wir den in Abbildung 5 dargestellten Teststand, um zum Beispiel verschiedene Abstandshalter und Membranen bewerten zu können. Diese Einrichtungen können auch für andere Entwicklungsaufgaben von interessierten Industrie- und Forschungspartnern eingesetzt werden.

Abbildung 3 zeigt unsere erste Versuchsanlage der vollständig durch Solarenergie betriebenen kompakten Meerwasserentsalzungsanlage. Mit einem weiteren Industriepartner entwickelten wir die hier verwendeten Kollektoren speziell für höhere Betriebstemperaturen bis 90 °C. Sie sind zweifach verglast, wobei Glasscheiben mit Antireflex-Beschichtung eingesetzt werden. Diese Kollektoren sind auch für andere Prozesswärme-Anwendungen bis 120 °C geeignet.

Abbildung 4 zeigt das Membranmodul der Versuchsanlage, die für eine Kapazität von 100 Litern Destillat pro Tag ausgelegt ist. Im Dezember 2004 wurde sie auf dem Testgelände unseres Projektpartners in Gran Canaria aufgebaut. Danach werden wir drei weitere Anlagen bei unseren Projektpartnern in Marokko, Ägypten und Jordanien installieren. Die Projekte werden von der EU gefördert.

Abb. 3: Erster Versuchsaufbau der vollständig durch Solarenergie autark betriebenen kompakten Meerwasserentsalzungsanlage, wie sie im Oktober 2004 auf dem Dach des Fraunhofer ISE aufgestellt wurde. Die thermische Energie für die Membrandestillation wird durch drei Solarkollektoren bereitgestellt. Die Pumpe und die Steuerungskomponenten werden über ein Photovoltaik-Modul versorgt.

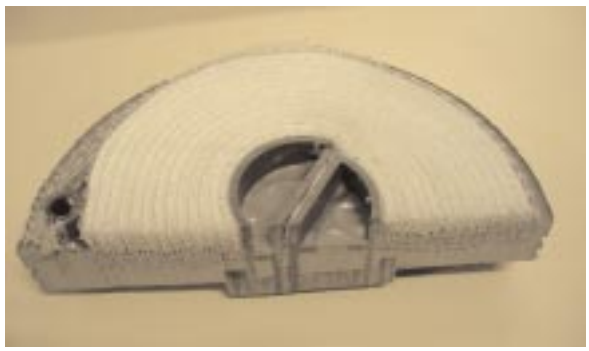


Abb. 4: Dieses aufgeschnittene Modul gibt einen Eindruck vom inneren Aufbau der Membrandestillationsmodule mit den durch Spacer getrennten Membran- und Kondensationsfolien. Die Module haben typischerweise einen Durchmesser von etwa 30 cm und eine Höhe von 40 bis 100 cm.

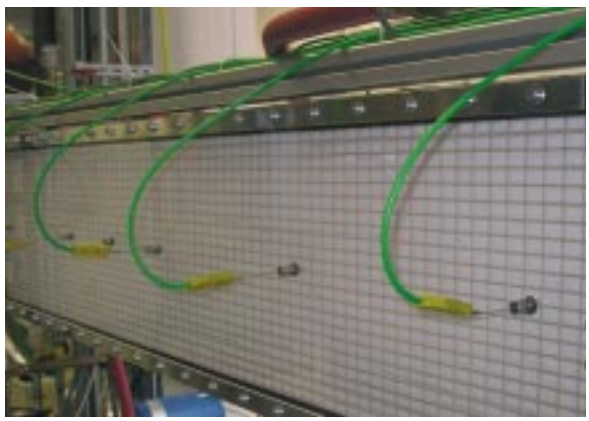


Abb. 5: Fraunhofer ISE Teststand für Untersuchungen zur thermodynamischen Verbesserung von Membrandestillationsmodulen (Schema Abbildung 2). Er ermöglicht z. B. die Bewertung verschiedener Spacer (Abstandshalter) und Membranen. Zu sehen sind eingesteckte Thermoelemente zur Temperaturmessung.

Dezentrale Trinkwasserversorgung in netzfernen Regionen

Für eine sichere und zuverlässige Wasserversorgung von Menschen in abgelegenen Regionen ohne Zugang zu Strom haben insbesondere kleine, solar betriebene Trinkwasseraufbereitungsanlagen ein hohes Marktpotenzial. Wir entwickeln hierfür wartungsarme Desinfektionsverfahren, deren Membranen mit Ultraschall gereinigt werden. Im Rahmen eines EU-Projekts koordinieren wir ein Programm zur Implementierung von lokal angepassten Entsalzungsanlagen im Mittelmeerraum.

Ulrike Seibert, Gisela Vogt, Joachim Went, Felix Holz

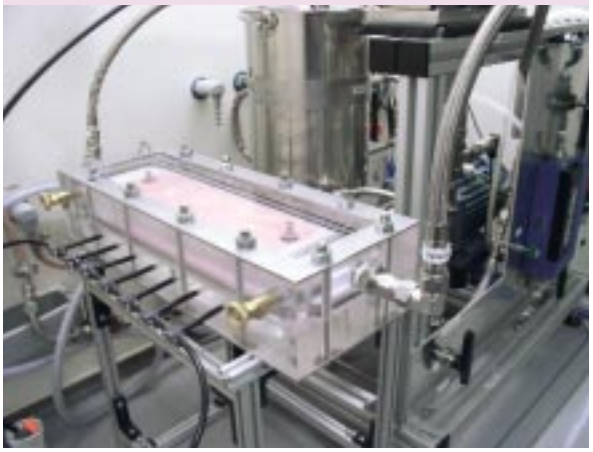


Abb. 1: Um die Wirkung der Prozessparameter von Ultraschallreinigungsverfahren wie zum Beispiel Frequenz, Beschallungszeit und Anordnung untersuchen zu können, wird auf dem Versuchsstand ein Verfahren entwickelt, mit dem in einer transparenten Flachmembranzelle reproduzierbare Beläge mit definierten Eigenschaften aufgebaut werden können.

Eine Milliarde Menschen leben sowohl ohne Zugang zu elektrischem Strom als auch ohne Zugang zu hygienisch einwandfreiem Trinkwasser. Um eine zuverlässige Versorgung dieser Menschen mit Trinkwasser zu gewährleisten, müssen Technologien und Nutzungskonzepte zur Trinkwasseraufbereitung an die Bedingungen in netzfernen Regionen angepasst werden. Für diese Regionen sind insbesondere solar betriebene Kleinanlagen mit einer Tagesleistung im Bereich 0,1 bis 10 Kubikmetern vielversprechend.

Technologieentwicklung

Für kleine Anlagen ist es besonders wichtig, Rohwasser wie zum Beispiel Meerwasser, Brackwasser oder mikrobiell verunreinigtes Oberflächenwasser in möglichst wenigen Prozessschritten aufzubereiten. Nur so können die Anlagen kompakt, einfach sowie kostengünstig gebaut werden. Weniger Anlagenkomponenten bedeuten auch einen geringeren Wartungs- und Planungsaufwand, denn es müssen nur noch wenige Komponenten auf die Eigenschaften des zu reinigenden Wassers ausgelegt werden. Allerdings nimmt mit der Reduktion von Vorreinigungsstufen die Belagbildung (Fouling) auf der Haupttrennstufe, dem Membranmodul, zu. Deshalb sind Verfahren zur Belagvermeidung insbesondere für dezentrale, kleine Trinkwasseraufbereitungsanlagen eine wichtige Voraussetzung für die Markteinführung. In dem Projekt ISUS (In-situ Ultraschallabreinigung für Kleinmembransysteme in der Trinkwasseraufbereitung) untersuchen wir den Einsatz von Ultraschall zur Reinigung von Membranen. Durch eine neue physikalische Reinigungsmethode wollen wir eine wartungsarme Anlage entwickeln, in der Ablagerungen auf den Membranen im laufenden Betrieb (in-situ) entfernt werden und die ohne den Zusatz von Chemikalien auskommt.

Hierzu untersuchen wir verschiedene Mechanismen einer ultraschallbasierten Belagvermeidung. Mit Hilfe einer am Fraunhofer ISE weiterentwickelten transparenten Flachmembrantestzelle (Abbildung 1) können wir die Anlagerung und die anschließende Abreinigung der Deckschicht untersuchen. Das Projekt wird im Rahmen des Programms Innonet vom Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit gefördert.

Felderprobung

Im Rahmen des Projekts ADIRA entwickeln wir multidisziplinäre Konzepte zur nachhaltigen Trinkwasserversorgung ländlicher Regionen. Die Abkürzung steht für »Autonomous desalination system concepts for sea water and brackish water in rural areas with renewable energies - Potentials, Technologies, Field Experience, Socio-technical and Socio-economic Impacts«. Im Rahmen einer interdisziplinären Analyse untersuchen wir, welche technischen, ökonomischen, umweltrelevanten, organisatorischen, rechtlichen und sozio-ökonomischen Aspekte wichtig sind, um eine zuverlässige dezentrale Wasserversorgung zu gewährleisten. Durch die Planung und den Aufbau von Demonstrationsanlagen in Ägypten, Jordanien, Marokko, Zypern und der Türkei entwickeln wir praxisrelevante Strategien für Regionen mit unterschiedlichen Voraussetzungen und Rahmenbedingungen. Hierfür passen wir bereits marktverfügbare Wasseraufbereitungssysteme unterschiedlicher Hersteller so an, dass sie mit regenerativen Energien betrieben werden können. Die Ergebnisse des Projekts fließen unter anderem in einen Planungsleitfaden ein, der Behörden, Unternehmen und interessierte Privatpersonen bei der Auswahl, der Auslegung und dem Bau eines geeigneten Wasseraufbereitungssystems unterstützt. Das Projekt wird von Europe Aid gefördert.

Abb. 2: Millionen von Menschen in abgelegenen Regionen wie hier in Marokko haben weder Zugang zu hygienisch einwandfreiem Trinkwasser noch Anschluss an eine Stromversorgung. Ihre Lebensqualität kann durch dezentrale Trinkwasseraufbereitungsanlagen erheblich verbessert werden.

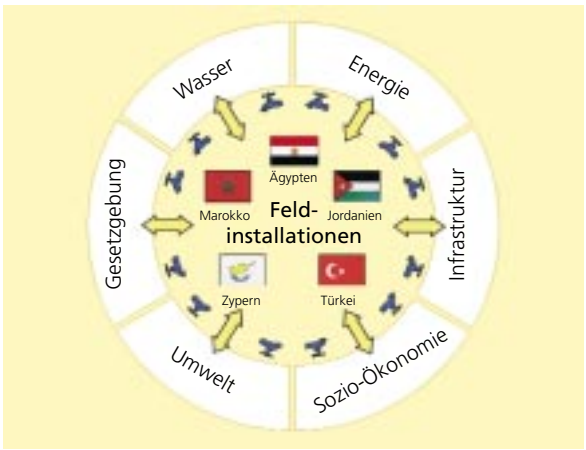
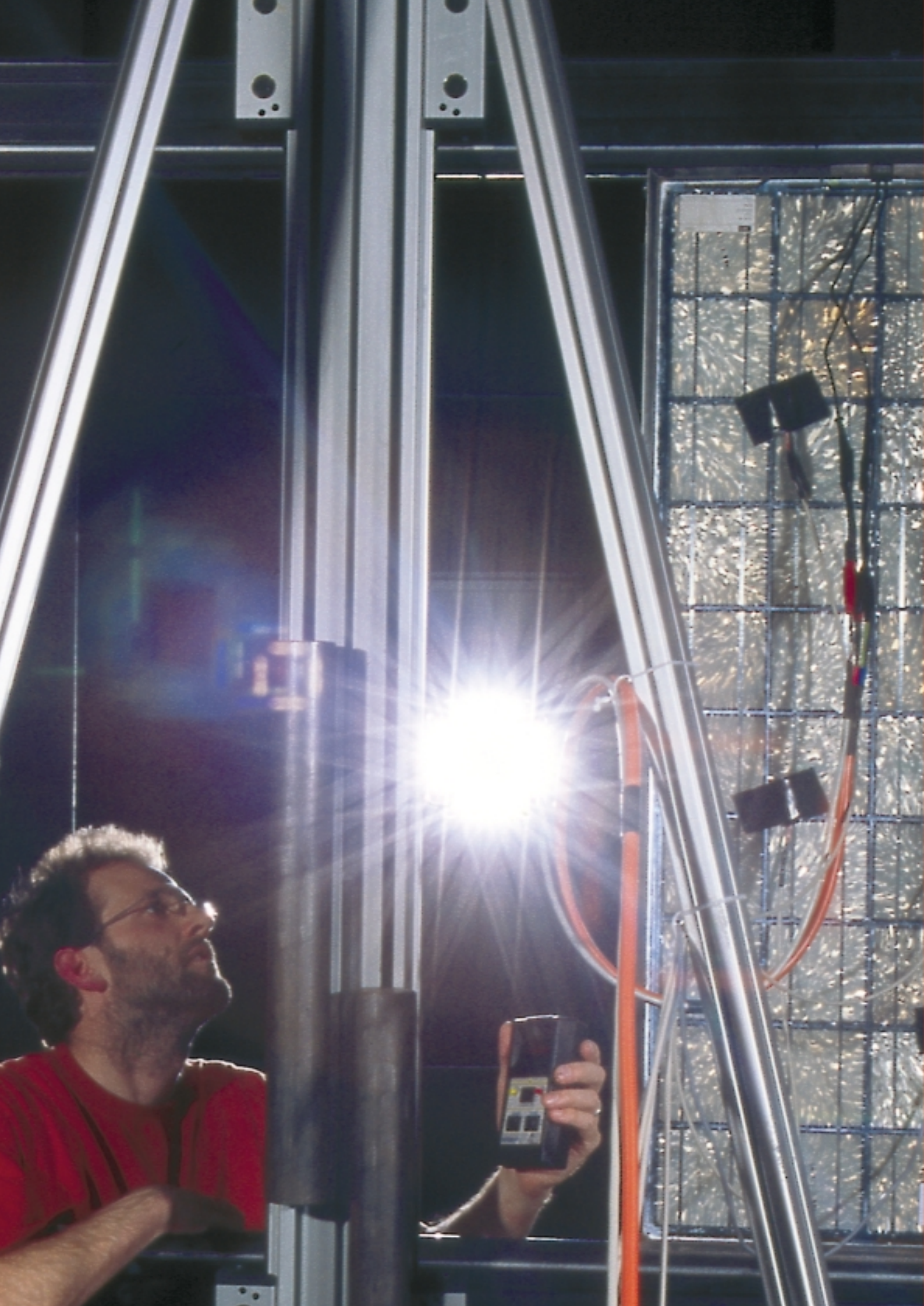


Abb. 3: Für den erfolgreichen Aufbau einer nachhaltigen dezentralen Trinkwasserversorgung werden im Projekt ADIRA vielfältige technische, ökologische und sozio-ökonomische Faktoren berücksichtigt. Mit Hilfe von Demonstrationsanlagen in beteiligten Ländern werden unterschiedliche Aufbaustrategien entwickelt und erprobt.



Servicebereiche

Qualitätssicherung wird in allen Bereichen solarer Energiesysteme großgeschrieben. Nur dadurch kann dauerhaftes Vertrauen in eine nachhaltige Technologie geweckt und gestärkt werden. Am Fraunhofer ISE unterstützen wir unsere Kunden durch die Bewertung von Produkten nach vereinbarten Qualitätskriterien.

Wir tun dies sowohl durch Messen, Prüfen und Beurteilen als auch durch Kalibrieren und Zertifizieren der Leistungsdaten. Das reicht von einzelnen Komponenten bis zu kompletten Systemen und richtet sich nach nationalen und internationalen Normen und Verfahren. Unsere Mess- und Prüflabors sind unabhängig und international anerkannt. Wir können Ihre Produkte sowohl wetterunabhängig im Labor unter Standardbedingungen testen als auch unter realistischen Einsatzbedingungen im Freiland. Das geht schnell, zuverlässig, kostengünstig und ist vertraulich. In einigen Bereichen geben wir unser Wissen zu Prüfung und Qualifizierung in Form von Schulungen weiter.

Zu unserer Servicepalette gehören ein Kalibrierlabor für Solarzellen und -module, ein Prüfzentrum für thermische Solaranlagen, ein Prüfstand für Lüftungs-Kompaktgeräte, ein Thermisch-Optisches Prüflabor, ein Fassadenprüfstand, Tageslichtmessräume, eine Wechselrichtercharakterisierung, ein Batterieprüflabor, ein DC-Prüf- und Entwicklungslabor sowie ein Licht-Messlabor.

Ansprechpartner

ISE CalLab			
	Zellkalibrierung	Dr. Wilhelm Warta	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-51 92 E-Mail: Wilhelm.Warta@ise.fraunhofer.de
		Dipl.-Ing. Britta Hund	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-51 46 E-Mail: Britta.Hund@ise.fraunhofer.de
	Modulkalibrierung	Dipl.-Ing. Klaus Kiefer	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-52 18 E-Mail: Klaus.Kiefer@ise.fraunhofer.de
		Dipl.-Ing. Frank Neuberger	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-52 80 E-Mail: Frank.Neuberger@ise.fraunhofer.de
Prüfzentrum für Thermische Solaranlagen (PZTS)			
	Innen- und Außen-Teststand für Solarkollektoren	Dipl.-Phys. Matthias Rommel	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-51 41 E-Mail: Matthias.Rommel@ise.fraunhofer.de
		Dipl.-Ing. Arim Schäfer	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-53 54 E-Mail: Arim.Schaefer@ise.fraunhofer.de
	Solarkollektor-Teststand	Dipl.-Ing. Carsten Hindenburg	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-53 53 E-Mail: Carsten.Hindenburg@ise.fraunhofer.de
Vermessung von Fassaden und transparenten Bauteilen			
	Thermisch-Optisches Prüflabor (TOPLAB)	Dipl.-Ing. Tilmann Kuhn	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-52 97 E-Mail: Tilmann.Kuhn@ise.fraunhofer.de
	Tageslicht-messräume	Dipl.-Ing. Jan Wienold	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-51 33 E-Mail: Jan.Wienold@ise.fraunhofer.de
	Fassadenprüfstand (FASTEST)	Dr. Werner Platzer	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-51 31 E-Mail: Werner.Platzer@ise.fraunhofer.de
Gebäudekonzepte und Simulation			
	Prüfstand für Lüftungs-Kompaktgeräte	Dr. Andreas Bühring	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-52 88 E-Mail: Andreas.Buehring@ise.fraunhofer.de
Photovoltaik-Systemkomponenten			
	Charakterisierung von Wechselrichtern	Dr. Bruno Burger	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-52 37 E-Mail: Bruno.Burger@ise.fraunhofer.de
Qualifizieren und Optimieren von DC-Komponenten für PV-Systeme			
	DC-Prüf- und Entwicklungslabor	Dipl.-Ing. Norbert Pfanner	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-52 24 E-Mail: Norbert.Pfanner@ise.fraunhofer.de
	Licht-Messlabor	Dipl.-Ing. Norbert Pfanner	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-52 24 E-Mail: Norbert.Pfanner@ise.fraunhofer.de
	Batterie-Prüflabor	Dipl.-Ing. Rudi Kaiser	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-52 28 E-Mail: Rudi.Kaiser@ise.fraunhofer.de

Das Fraunhofer ISE CalLab ist eines der weltweit führenden Kalibrierlabore für Solarzellen und PV-Module. Für Hersteller und Investoren wird die Aussage über den möglichen Stromertrag einer Solarstromanlage jetzt noch präziser. Mit dem im Bild zu sehenden neuen Flasher können für PV-Module präzise Messungen auf einer Fläche von 4 m^2 vorgenommen werden. Die Homogenität der Ausleuchtung ist besser als ±1%. Die Messgenauigkeit des Flashers liegt für Präzisionsmessungen auf 4 m^2 Fläche unter ±2,5%.

ISE CalLab: Kalibrieren von Solarzellen und Modulen

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

Britta Hund, Klaus Kiefer,
Frank Neuberger, Wilhelm Warta

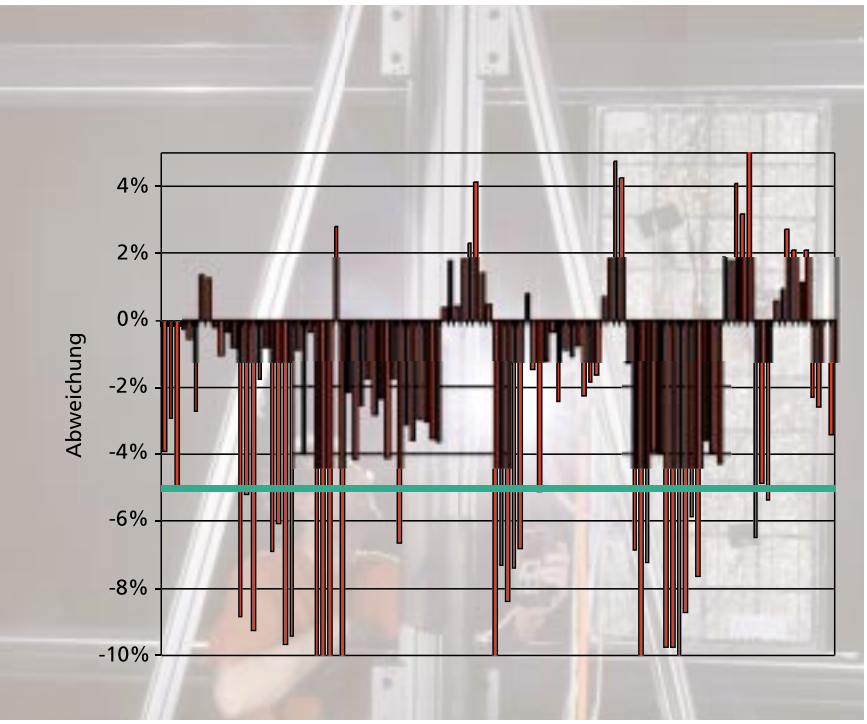


Abb. 1: Seit Juli 2004 kann am Fraunhofer ISE die Leistung von Photovoltaik-Modulen mit einem neuen Präzisionsflasher auf einer Fläche von 4 m^2 vermessen werden (Seite 91). Die Messgenauigkeit ist besser als ±2,5% für Präzisionsmessungen und besser als ±4% für Standardmessungen. Eine Reihenmessung über 100 PV-Module zeigt, Qualitätssicherung ist wichtig. 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.

Das ISE CalLab zählt zu den weltweit führenden Photovoltaik-Kalibrierlabors. Forscher aus aller Welt kommen mit ihren Neuentwicklungen nach Freiburg. Auch international renommierte Hersteller sowie der TÜV Rheinland lassen ihre Referenzzellen vom ISE CalLab vermessen. Unsere Kunden erhalten in punkto Sicherheit und Service außergewöhnliche Leistungen, denn

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

Zellkalibrierung – Referenz für Industrie und Forschung

Für die Zellkalibrierung übernehmen wir die komplette Charakterisierung von Solarzellen und Detektoren bis 15x15 cm^2. Unser Leistungsangebot umfasst:

- Kalibrierung von Referenzzellen, Standardsolarzellen, 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 m^2 umfasst unser Leistungsangebot:

- Modulpräzisionsmessung mittels Flasher
- Modulmessung im Freiland
- Bestimmung der NOCT Temperatur und Leistung
- Messung der Winkel- und Temperaturabhängigkeit der Modulparameter.

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

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 und unterstützen unsere Kunden bei der Entwicklung von solarthermischen Anlagenkomponenten. Der Innenteststand mit großem Solarsimulator hat sich für Prüfungs- und Entwicklungsarbeiten sehr bewährt.

Carsten Hindenburg, Joachim Koschikowski, Matthias Rommel, Arim Schäfer, Thorsten Siems

Innen-Teststand mit Solarsimulator.

Zertifizierung von Sonnenkollektoren

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

- 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.
- SOLARKEYMARK Label

Kollektor- und Systementwicklung

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

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

Innen-Teststand für Kollektoren

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

- Größe der Prüffläche 2,4x2,0 m^2; andere Geometrien der Prüffläche sind möglich (maximal 3,5x3,0 m^2)
- Bestrahlungsintensität 1 200 W/m^2 ohne künstlichen Himmel, 1 000 W/m^2 mit künstlichem Himmel
- Homogenität dabei ±10%
- Neigungswinkel des Lampenfeldes 0° bis 90°

Solarluftkollektor-Teststand

Seit letztem Sommer betreiben wir 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 m^3/h bis 1 000 m^3/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 Solarluftkollektor-Systeme
- Entwicklung von kundenspezifischer Auslegungssoftware für Solarluftkollektor-Systeme.

Messen und Prüfen von Lüftungsgeräten

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

Andreas Bühring, Martina Jäschke*, Christian Bichler*, Michael Schossow, Sebastian Herkel

* PSE Projektgesellschaft Solare Energiesysteme mbH, Freiburg

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

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

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

Prüfstand für Lüftungs-Kompaktgeräte

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

Monitoring

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

Luftdichtigkeitsmessungen und Luftwechselbestimmung

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

Vermessung von Fassaden und transparenten Bauteilen

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

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

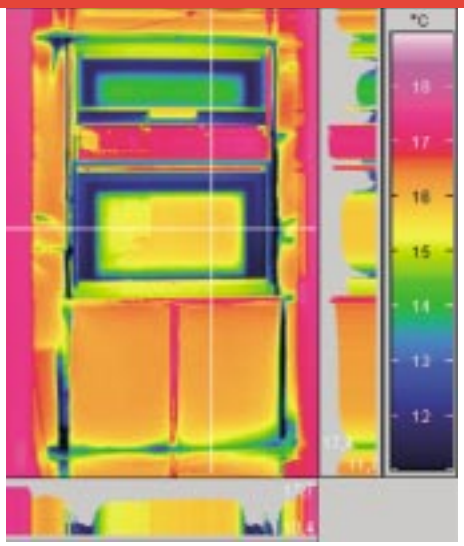


Abb. 1: Thermographische Aufnahme eines raumhohen Fassadenmoduls in einem Testraum (Aufnahme von innen).

Thermisch-Optisches Prüflabor TOPLAB

Die Eigenschaften von Verglasungen und Fassadenaufbauten mit komplexer Funktionalität können mit bestehenden Messverfahren wie DIN EN 410 nicht ausreichend gut bestimmt werden. Deshalb haben wir Prüfverfahren entwickelt, mit denen wir energetische und lichttechnische Effekte exakt charakterisieren können. Unsere Apparaturen ermöglichen Messungen an Elementen bis über 1 m^2 mit:

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

Beispiele der Apparaturen:

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

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

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

Das Labor darf baurechtlich bei der Bestimmung des bauphysikalischen Kennwertes g (Gesamtenergiedurchlassgrad) einbezogen werden. Die Entwicklung der Prüfverfahren wurde teilweise öffentlich gefördert.

Tageslichtmessräume

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

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

Fassadenprüfstand FASTEST

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

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

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 auch Gleichspannungskomponenten wie Leuchten, Batterien oder Fernsehgeräte.

Rudi Kaiser, Norbert Pfanner, Bruno Burger, Jürgen Ketterer, Heribert Schmidt

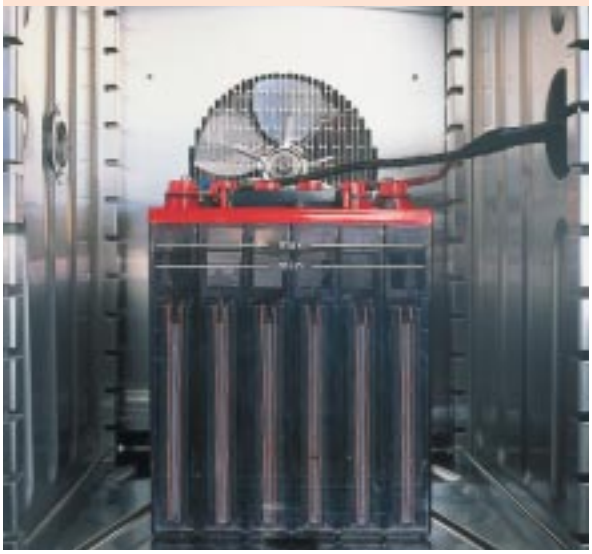


Abb. 1: Neben Wirkungsgrad und Kapazität kann auch die Temperaturabhängigkeit der Eigenschaften wie Alterungs- und Ladeverhalten von Batteriespeichern untersucht werden – hier im Bild die Klimakammer des Batterie-Prüflabors am Fraunhofer ISE.

Abb. 2: Kugel-Photometer zur Lichtstrommessung an DC-Lampen und -Leuchten.

Wechselrichterlabor

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

Batterie-Prüflabor

Hersteller, Systemintegratoren und Anwender können Batterien aller gängigen Technologien bei uns testen und qualifizieren lassen. 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 Ladereglern können ihre Geräte testen und optimieren lassen.

DC-Prüf- und Entwicklungslabor

Wir vermessen, prüfen und beurteilen Komponenten hinsichtlich Energieverbrauch und Wirkungsgrad, Betriebsführungsverhalten, Fehlerverhalten, Schutz gegen Fehlbedienung sowie elektromagnetische Verträglichkeit. Dauer- und Stress-Tests erlauben praxisnahe Aussagen bezüglich der Lebensdauer und der Zuverlässigkeit. Ergänzend bieten wir Schulung und Ausbildung von Technikern und Ingenieuren im Bereich Prüfung und Qualifizierung an.

Licht-Messlabor

Leuchtmittel und Leuchten für Photovoltaiksysteme untersuchen wir auf elektrische Eigenschaften wie Wirkungsgrad, Betriebsführungsverhalten, Fehlerverhalten und auf die Lebensdauer. Ebenso führen wir präzise Messungen lichttechnischer Größen wie Lichtstrom und Lichtausbeute, Leuchtdichte und lichttechnisches Betriebsverhalten durch.

Fakten im Überblick

Gastwissenschaftler

Mitarbeit in Gremien

Kongresse, Tagungen und Seminare

Vorlesungen und Seminare

Messebeteiligungen

Patente

Promotionen

Pressearbeit

Vorträge

Veröffentlichungen

Abkürzungen

Gastwissenschaftler

Dipl-Phys. Benjamin Diaz
Universidad de La Laguna
Teneriffa, Spanien
15.7.2004–31.1.2005
Arbeitsgebiet: Poröses Silicium und Siliciumnitrid, Antireflexschichten für die Solarzellentechnologie

Prof. Abdelmajid El Bouardi
Université Abdelmalek Essadi
Tétouan, Marokko
1.7.–30.8.2004
Arbeitsgebiet: Kollektoren und Kollektorsysteme, natürliche Baustoffe für Wärmespeicherung in Gebäuden

Prof. Dr. Ashok Gopinath
Naval Postgraduate School
Monterey, CA – USA
1.7.2003–30.6.2004
Arbeitsgebiet: TPV-Generator

José Roberto Flores Hernández
Instituto de Investigaciones Electricas (IEE)
Puebla, Mexiko
1.10.2001–30.9.2005
Arbeitsgebiet: Elektrolyse

Gorka Bueno Mendieta
Escuela de Ingenieros de Bilbao
Instituto de Tecnología Microelectrónica
Bilbao, Spanien
Arbeitsgebiet: Charakterisierung von mulitkristallinem Silicium mit CDI-Technik
1.7.–30.7.2004

Prof. Ricardo Rüther
LABSOLAR, UFSC
Florianopolis-SC, Brasilien
28.5.–3.7.2004
Arbeitsgebiet: Vergleich der Erträge von PV-Anlagen in Brasilien und Deutschland

Dr. Nikolay Sadchikov
A.S. Ioffe-Physico-Technical Institute
St. Petersburg, Russland
29.8.–23.11.2004
Arbeitsgebiet: Herstellung und Entwicklung von FLATCON™-Modulen

Prof. Dr. Hongmei Yu
Dalian Institute of Chemical Physics
Chinese Academy of Science
Dalian, China
1.7.2003–31.12.2004
Arbeitsgebiet: Untersuchung von Membran-Elektrodeneinheiten für Brennstoffzellen

Mitarbeit in Gremien

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

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

Deutsche Physikalische Gesellschaft
- Arbeitskreis »Energie«

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

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

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

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

European Photovoltaic Industry Association (EPIA)
- assoziiertes Mitglied

European Solar Thermal Industry Federation (ESTIF)
- Mitglied

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

Fachverband Transparente Wärmedämmung
- Fachausschuss »Produktkennwerte«

FitLicht – Fördergemeinschaft innovative Tageslichtnutzung
- Mitglied

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

Forschungsverbund Sonnenenergie (FVS)
- Mitglied, Tagungsbeirat

Fraunhofer-Gesellschaft
- Senat

Fraunhofer-Verbund Energie
- Geschäftsführung

Global Network on Energy for Sustainable Development (GNESD)
- Mitglied

Global Research Alliance (GRA)
- Koordination Schwerpunktbereich Energie

Hahn-Meitner-Institut (HMI)
- Wissenschaftlicher Beirat

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

Institut für Solare Energieversorgungstechnik (ISET)
- Wissenschaftlicher Beirat

International Energy Agency IEA, Paris, Frankreich:
Solar Heating & Cooling Programme SHCP
- Task 25: »Solar Assisted Air-Conditioning of Buildings«
- Task 27: »Performance of Solar Facade Components«
- Task 28: »Sustainable Solar Housing«
- Task 33/4 »Solar Heat for Industrial Processes«
- Energy Conservation in Buildings and Community Systems ECBCS

Symposium Photovoltaische Solarenergie
- Wissenschaftlicher Beirat

Verein Deutscher Ingenieure (VDI)
VDI-Gesellschaft Energietechnik
- Fachausschuss »Regenerative Energien« (VDI-FARE)
VDI-Gesellschaft Technische Gebäudeausrüstung
- Richtlinienausschuss 6018

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

Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (WBGU)
- Mitglied

World Technology Network (WTN)
- Mitglied

Zeitschrift »Physik Journal«, Wiley-VCH
- Sprecher des Kuratoriums

Zentrum für Solarenergie und Wasserstoff (ZSW)
- Kuratorium

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

7. Fachforum Innovative Lüftung in Gebäuden
Regensburg, 27./28.1.2004

OTTI-Energie-Kolleg
10. Symposium Innovative Lichttechnik in Gebäuden
Bad Staffelstein, Kloster Banz, 29./30.1.2004

SOLTRAIN Train-the-Trainer Workshop
Freiburg, 1.–13.2.2004

OTTI-Energie-Kolleg
19. Symposium Photovoltaische Solarenergie
Bad Staffelstein, Kloster Banz, 10.–12.3.2004

Fraunhofer-Forum Südlicher Oberrhein
Photovoltaik-Monitoring
Freiburg, 15.3.2004

Freiburger ISR und InWEnt
Netzferne PV-Energieversorgung in Entwicklungsländern
Freiburg, 5.–16.4.2004

8. Europäische Passivhaustagung
Krems, 16./17.4.2004

15. Symposium Thermische Solarenergie
Bad Staffelstein, Kloster Banz, 27.–29.4.2004

OTTI-Profiforum
Wiederaufladbare Batterien
Ulm, 5./6.5.2004

7. Deutsches Weltbankforum
Gemeinschaftsstand mit
Fraunhofer IML, IGB, IPK
München, 12.5.–10.8.2004

Hyforum 2004
Peking, China, 25.–28.5.2004

TPV 6th Conference on Thermophotovoltaic Generation of Electricitiy
Freiburg, 14.–16.6.2004

EuroSun2004 – 5th ISES Europe Solar Conference
14. Internationales Sonnenforum der DGS e.V.
Freiburg, 20.–23.6.2004

Intersolar
Kompaktseminar Photovoltaik-Technologie
Freiburg, 25.6.2004

2. Symposium Forschungsallianz Kristalline Silicium-Solarzellentechnologie (FAKT)
Freiburg, 26.6.2004

OTTI-Energie-Kolleg
Kompaktseminar Solaranlagen erfolgreich verkaufen
Freiburg, 26.6.2004

European Fuel Cell Forum
Luzern, Schweiz, 28.6.–2.7.2004

Fraunhofer Solar Building Innovation Center SOBIC*
Qualitätssicherung bei der Finanzierung von Solarstromanlagen
Freiburg, 6.7.2004

Fraunhofer Solar Building Innovation Center SOBIC*
Qualitätssicherung bei der Finanzierung von Solarstromanlagen
Freiburg, 21.9.2004

Fraunhofer Solar Building Innovation Center SOBIC*
Wärmeversorgung von Passivhäusern
Freiburg, 19.10.2004

2. Forum Wärmepumpe
Berlin, 21./22.10.2004

14th Marie Curie Sustainable Energy Fellows Conference
Freiburg/ Stuttgart, 23.–28.10.2004

Fraunhofer Solar Building Innovation Center SOBIC*
Sommerlicher Wärmeschutz, Blendschutz und Tageslichtnutzung im Verwaltungsbau – Grundlagen
Freiburg, 2./3.11.2004

Fraunhofer Solar Building Innovation Center SOBIC* und OTTI Profiforum
Fachseminar EMV und Blitzschutz in Photovoltaik-Anlagen
Freiburg, 24./25.11.2004

Jahrestagung Forschungsverbund Sonnenenergie (FVS)
Berlin, 25./26.11.2004

Fraunhofer Solar Building Innovation Center SOBIC*
Wärmeversorgung von Passivhäusern
Osnabrück, 8.12.2004

Fraunhofer Solar Building Innovation Center SOBIC*
Nachhaltige Energieversorgung in Krankenhäusern
Freiburg, 9.12.2004

Workshop Deutsche Gesellschaft für Kristallwachstum und Kristallzüchtung e.V. (DGKK)
Freiburg, 9./10.12.2004

** Fraunhofer SOBIC ist das gemeinsame Demonstrationszentrum des Fraunhofer IBP und Fraunhofer ISE.*

Vorlesungen und Seminare

Dr. Dietmar Borchert
Photovoltaik
Vorlesung SS 04
Technische Fachhochschule Georg Agricola Bochum

Dr. Bruno Burger
Leistungselektronische Systeme für regenerative Energiequellen
Vorlesung WS 04/05
Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik
Universität Karlsruhe

Dr. Andreas Gombert
Mikrostrukturierte Oberflächen mit optischen Funktionen
Vorlesung SS 04 und WS 04/05
Fakultät für Angewandte Wissenschaften
Albert-Ludwigs-Universität Freiburg

Sebastian Herkel
Bauökologie und Solare Energiesysteme
Vorlesung SS 04
Staatliche Akademie der Bildenden Künste Stuttgart

Prof. Joachim Luther
Photovoltaische Energiekonversion
Vorlesung SS 04
Thermische Solarenergiewandlung
Vorlesung WS 04/05
Solare Energiekonversion
Oberseminar SS 04 und WS 04/05
Albert-Ludwigs-Universität Freiburg

Jens Pfafferott
Klimagerechtes Bauen – Passive Kühlung
Vorlesung WS 04/05
Fachhochschule Biberach

Prof. Roland Schindler
Halbleitertechnologie II (Bauelemente)
Vorlesung SS 04
Photovoltaik II
Vorlesung SS 04
Hableitertechnologie I (Technologie),
Vorlesung WS 04/05
Photovoltaik I
Vorlesung WS 04/05
Fernuniversität Hagen

Dr. Heribert Schmidt
Photovoltaik Systemtechnik
Vorlesung SS 04
Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik
Universität Karlsruhe

Dr. Jürgen O. Schumacher
Brennstoffzellen: Grundlagen und Anwendung
Vorlesung SS 04
Interdisziplinäres Seminar
Albert-Ludwigs-Universität Freiburg

Priv. Doz. Dr. Gerhard Willeke
Halbleitertechnologie und Physik der Solarzelle
Vorlesung SS 04
Universität Konstanz

Priv. Doz. Dr. Volker Wittwer
Energieversorgung für Mikrosysteme
Vorlesung SS 04 und WS 04/05
Fakultät für Angewandte Wissenschaften
Albert-Ludwigs-Universität Freiburg

Messebeteiligungen

34. Convegno Mostra Expo Comfort,
Gemeinsam mit Associazione Italiana Condizionamento dell'Aria Riscaldamento e Refrigerazione (AICARR)
Mailand, Italien, 2.–6.3.2004

1st ClimaMed Trade Fair and Conference,
Gemeinsam mit Associação Portuguesa da Indústria de Refrigeração e Ar Condicionado (APIRAC)
Lissabon, Portugal, 16.–20.4.2004

Hannover Messe Industrie, HMI 2004
Hannover, 19.–24.4.2004

Weltkonferenz »renewables 2004«
»Woche der Umwelt« im Park der Villa Hammerschmidt
Bonn, 1.–5.6.2004

Optatec
Frankfurt/Main, 22.–25.6.2004

19th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition
Paris, 7.–11.6.2004

Intersolar 2004
Internationale Fachmesse und Kongress für Solartechnik
Freiburg, 24.–26.6.2004

5th Annual Staff Exchange Program & Knowledge Sharing Conference and Expo
Gemeinschaftsstand Fraunhofer-Gesellschaft und Freistaat Bayern
Washington D.C., U.S.A. 28./29.6.2004

f-cell 2004
Stuttgart, 27./28.9.2004

Eingereichte Patente

Andreas Hinsch, Udo Belledin, Ronald Sastrawan, Andreas Georg
»Anordnung und Verfahren zur Herstellung einer Photoelektrochemischen Solarzelle«

Michael Oszcipok, Peter Schossig
»Verfahren zum Betrieb einer Brennstoffzelle«

Lisbeth Rochlitz, Jörg Martin
»Vorrichtung und Verfahren zur Erzeugung eines teerfreien Schwachgases durch Vergasung von Biomasse«

Felix Holz
»Verfahren zur Verringerung und Vermeidung der Ausbildung von biologischem Bewuchs (Biofouling) in Membrananlagen für die Behandlung wässriger Lösungen«

Eric Schneiderlöchner, Jochen Rentsch, Ralf Preu
»Verfahren zur flächigen Strukturierung einer Halbleiteroberfläche zur Verringerung der optischen Reflexion«

Peter Nitz
»Solarkollektor mit transluzenter Abdeckung«

Alexander Disch, Claas Müller, Benedikt Bläsi, Jörg Mick
»Flächensubstrat mit einer Makro- und Mikrostrukturen aufweisenden Substratoberfläche sowie Verfahren zur Herstellung eines derartigen Flächensubstrates«

Daniel Biro, Josef Gentischer
»Transporteinrichtung mit speziellen Kettengliedern zum Transport von prozessierenden Elementen durch eine Temperaturzone«

Rüdiger Löckenhoff
»Halbleiterbauelement mit hoher Strombelastbarkeit und Verfahren zu seiner Herstellung«

Axel Maurer, Christian Siegel, Klaus Wanninger
»Verfahren und Reaktor zur Reformierung«

Frank Dimroth
»Transparenter Kontakt und Verfahren zu dessen Herstellung«

Stefan Reber
»Verfahren zur gleichzeitigen Rekristallisierung und Dotierung von Halbleiterschichten und nach diesem Verfahren hergestellte Halbleiterschichtsysteme«

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

Andreas Georg
»Gaschromes Verglasungselement mit Zusatzschicht«

Erteilte Patente

Andreas Georg, Anneke Hauch
»Photovoltaisch selbstladendes Speichersystem«

Benedikt Bläsi, Volkmar Boerner, Andreas Gombert, Michael Niggemann
»Vorrichtung zur anisotropen Lichtstreuung sowie Verfahren zur Herstellung der Vorrichtung«

Andreas Georg, Wolfgang Graf, Volker Wittwer
»Verglasungselement«

Harry Wirth, Volker Wittwer
»Lichtumlenkelement zur Tageslichtnutzung«

Ralf Lüdemann
»Dünnschichtsolarzellenanordnung sowie Verfahren zur Herstellung derselben«

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

Daniel Biro
»Transportvorrichtung und Verfahren zum Transport von zu prozessierenden Elementen durch eine Hochtemperaturzone«

Jörg Jungjohann
»Sonnenschutzvorrichtung aus einem für Sonnenlicht transparenten Material«

Andreas Bühring, Pedro da Silva
»Lüftungsanordnung für Gebäude«

Andreas Georg
»Optisches Bauelement«

Daniel Kray, Gerhard Willeke
»Verfahren und Vorrichtung zum Zerteilen von Körpern«

Heribert Schmidt
»Strahlungssensor mit reduzierter Störsignalempfindlichkeit«

Dominik Marin Huljic
»Verfahren zur temperaturgeregelten Prozessierung von Substraten«

Adolf Goetzberger
»Verfahren und Vorrichtung zur großflächigen Herstellung von Solarzellen«

Bruno Burger, Robert Hahn, Christopher Hebling, Andreas Schmitz
»Brennstoffzellen-System in Leiterplattenbauweise und Verfahren zu dessen Herstellung«

Konstantin Ledjeff, Roland Nolte
»Polymer-Brennstoffzelle«

Promotionen

Jörg Isenberg
»Neue Infrarotmesstechniken für die Photovoltaik«
Dissertation Universität Konstanz
Konstanz, 2004

Stefan Peters
»Rapid Thermal Processing of Crystalline Silicon Materials and Solar Cells«
Dissertation Universität Konstanz
Konstanz, 2004

Jens Pfafferott
»Enhancing the Design and the Operation of Passive Cooling Concepts«
Dissertation Universität Karlsruhe (T.H.)
Karlsruhe, 2004

Thomas Rampe
»Experimentelle Untersuchung der Bioethanolreformierung – Entwicklung eines allothermen Reformers«
Dissertation Universität Essen
Essen, 2004

Stefan Rein
»Lifetime Spectroscopy - a Method of Defect Characterization in Silicon for Photovoltaic Applications«
Dissertation Universität Konstanz
Konstanz, 2004

Helge Schmidhuber
»Neue Materialien in der Photovoltaikmodul-Produktion und ihr Einsatz in hocheffizienten Kleinmodulen«
Dissertation Universität Bremen
Bremen, 2004

Ferdinand Schmidt
»Optimizing Adsorbents for Heat Storage Applications: Estimation of Thermo-dynamic Limits and Monte Carlo Simulations of Water Adsorption in Nanopores«
Dissertation Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
Freiburg, 2004

Eric Schneiderlöchner
»Laserstrahlverfahren zur Fertigung kristalliner Silizium-Solarzellen«
Dissertation Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
Freiburg, 2004

Roland Schregle
»Daylight Simulation with Photon Maps«
Dissertation Universität Saarbrücken
Saarbrücken, 2004

Benoit Sicre
»Energieversorgung von Niedrigstenergie- und Passivhäusern mittels erneuerbarer Energie, Wärmepumpen und Kraft-Wärmekopplung im Kleinstleistungsbereich«
Dissertation TU Chemnitz, Fakultät für Maschinenbau und Verfahrenstechnik
Chemnitz, 2004

Klaus Tüber
»Experimentelle Untersuchung und numerische Simulation von Polymer-Elektrolyt-Membran-Brennstoffzellen für portable, elektrische Verbraucher im Leistungsbereich bis 50 Watt im Hinblick auf den Wasser- und Wärmehaushalt«
Dissertation Universität Duisburg
Duisburg, 2004

Matthias Vetter
»Modellbildung und Regelstrategien für Erdgas betriebene Brennstoffzellen BHKWs auf PEM-Basis«
Dissertation Universität Karlsruhe
Karlsruhe, 2004

Jochen Wagner
»Modellierung von Farbstoffsolarzellen mit polymerem Lochleiter«
Dissertation Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
Freiburg, 2004

Pressearbeit

Presseinformationen
www.ise.fraunhofer.de/german/press

20.2.2004
Neue Einspeisevergütungen machen Solarstrom für Investoren interessant – Geld verdienen mit Photovoltaik

20.4.2004
Neue Wege zur erfolgreichen Integration sozialer Aspekte in ländliche Elektrifizierung mit Photovoltaik – Training für Projektleiter und Exportunternehmen

8.3.2004
Fraunhofer SOBIC
Von Forschung profitieren: Fraunhofer Demonstrationszentrum für Solares Bauen eröffnet

30.3.2004
Umweltfreundliche Energieversorgung mit Wasserstoff – Fraunhofer ISE präsentiert in Hannover Entwicklungen für den Markt

26.5.2004
Maßgeschneidertes Lichtmanagement: Kleine Strukturen ganz groß – Britisches Unternehmen investiert in Fraunhofer ISE-Ausgründung Holotools

30.6.2004
Freiburger Forscher erzielen Solarzellen-Weltrekord – Multikristalline Silicium-Solarzelle mit 20,3% Wirkungsgrad

30.7.2004
Enormes Potenzial für Passivhäuser und Niedrigstenergie-Häuser – Fraunhofer ISE stellt Marktstudie vor

21.9.2004
Fraunhofer ISE und badenova
Energiezukunft zum Anfassen: Tag der offenen Tür am Rappenecker Hof – Projekt aus dem badenova-Innovationsfonds

Vorträge

Agert, C.
»Erneuerbare Energien im Vergleich«, Erneuerbare Energien für Entwicklung, Potsdam, Germany, 29.3.2004

Agert, C.
»Energiewende zur Nachhaltigkeit«, Umweltforum RWTH Aachen, Aachen, Germany, 15.7.2004

Aicher, T.; Siegel, C.; Federici, F.[1]; Parodi, L.[1]; Caprile, L.[1]
»Design and Operation of a 20 kW_{el} Autothermal Diesel Reformer«, International Symposium & Workshop on Fuel Cells and Hydrogen for Aerospace & Maritime Applications, Hamburg, Germany, 16./17.9.2004
([1]: Ansaldo Fuel Cells S.p.A, Italy)

Aicher, T.
»Grundlagen der Reformierung«, Gast-Vortrag im Rahmen der Vorlesung »Brennstoffzellen und Batterien« von Prof. Ivers-Tiffee an der TU Karlsruhe, Germany, 15.12.2003

Aicher, T.; Lenz, B.; Gschnell, F., Groos, U., Federici, F.; Caprile, L.; Parodi, L.
»Fuel Processors for FC AOU Applications«, 9th Ulm Electrochemical Talks, Ulm 17./18.5.2005

Aicher, T.
»Erdgasreformer für BZ-BHKWs – Stand der Entwicklungen und Aussichten«, Gastvortrag am Engler-Bunte-Institute der Universität Karlsruhe, Germany, 21.6.2004

Aicher, T.; Kästner, P.; Mittermaier, M.; Gopinath, A.; Bett, A. W.; Schlegl, T.; Gombert, A.; Hebling, C.; Luther, J.
»Development of a Novel TPV Power System«, 6th Conference on Thermophotovoltaic Generation of Electricity TPV6, 14.6.2004, Freiburg, Germany

Aicher, T.; Specht, M.[1]; Höhlein, D.[2]
»Wasserstoffgewinnung aus Erdgas – Anlagenentwicklung und Systemtechnik kleiner Wasserstofferzeuger«, in: Tagungsband, Jahrestagung Forschungsverbund Sonnenenergie FVS, Berlin, Germany, 25./26.11.2004,
([1]: Zentrum für Sonnenenergie und Wasserstoffforschung ZSW Stuttgart, Germany)
([2]: Forschungszentrum Jülich FZ, Germany)

Bett, A.W.
»III-V Solar Cells: Their Technologies and Applications«, Seminar of Physics Department, University of Ferrara, Italy, 3.2.2004

Bopp, G.; Dohlen, K. v.[1]
»Blitzschutz ohne Beeinträchtigung der PV«, OTTI-Energie-Kolleg 19. Symposium Photovoltaische Solarenergie, Bad Staffelstein, Germany, 10.–12.3.2004
([1]: Erhardt + Leimer Elektroanlangen GmbH, Augsburg, Germany)

Bopp, G.
»Electrical Safety, Lightning Protection, EMC«, SOLTRAIN Train-the-Trainer Workshop, Freiburg, Germany, 1.–13.2.2004

Bopp, G.
»Elektrische Lastbestimmung für SHS und PV Hybrid Systeme«, Seminar Netzferne PV-Energieversorgung in Entwicklungsländern, Freiburg, Germany, 5.–16.4.2004

Bopp, G.
»DC/AC Wechselrichter: Funktionsweise, Wirkungsgrad, Anforderungen«, Seminar Netzferne PV-Energieversorgung in Entwicklungsländern, Freiburg, Germany, 5.–16.4.2004

Bopp, G.
»Inwieweit tragen PV-Anlagen zum Elektrosmog bei«, Otti-Profiforum EMV und Blitzschutz für Solaranlagen, Freiburg, Germany, 24./25.11.2004

Bopp, G.
»Welche EMV Normen und Grenzwerte sind für Solaranlagen relevant?«, Otti-Profiforum EMV und Blitzschutz für Solaranlagen, Freiburg, Germany, 24./25.11.2004

Bopp, G.; Dohlen, K. v.[1]
»Beispielhaft ausgeführter Blitzschutz bei Kollektor- und PV-Anlagen«, Otti-Profiforum EMV und Blitzschutz für Solaranlagen, Freiburg, Germany, 24./25.11.2004
([1]: Erhardt + Leimer Elektroanlangen GmbH, Augsburg, Germany)

Borchert, D.[1]
»Multikristalline Silicium-Solarzellen«, Friedrich-Schiller-Universität Jena, Jena, Germany, 30.4.2004
([1]: Fraunhofer ISE Labor- und Servicecenter Gelsenkirchen, Germany)

Borchert, D.[1]
»Characterization Methods for Solar Cells«, University of La Laguna, Tenerife, Spain, 21.10.2004
([1]: Fraunhofer ISE Labor- und Servicecenter Gelsenkirchen, Germany)

Borchert, D. [1]
»Multicrystalline Silicon Solar Cells«, University of La Laguna, Tenerife, Spain, 25.10.2004
([1]: Fraunhofer ISE Labor- und Servicecenter Gelsenkirchen, Germany)

Borchert, D. [1]
»Silicon Heterojunction Solar Cells on P-Type Silicon: Present Status of Technology«, University of La Laguna, Tenerife, Spain, 28.10.2004
([1]: Fraunhofer ISE Labor- und Servicecenter Gelsenkirchen, Germany)

Borchert, D.[1]; Brammer, T.[2]; Stiebig, H.[2]; Voigt, O.[3]; Gronbach, A.; Rinio, M.; Kenanoglu, A.[1]; Willeke, G.1; Nositschka, A.[4]; Kurz, H.[4]
»Large Area (N) A-SI:H/(P) C-SI Heterojunction Solar Cells With Low Temperature Screen Printed Contacts«, 19th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Paris, France, 7.–11.6.2004
([1]: Fraunhofer ISE Labor- und Servicecenter Gelsenkirchen, Germany) ([2]: Institute of Photovoltaics, Jülich, Germany) ([3]: Shell Solar, Gelsenkirchen, Germany) ([4]: RWTH Aachen, Chair and Institute of Semiconductor Electronics, Aachen, Germany)

Bühring, A.
»Messung an Lüftungs-Kompaktgeräten: Ergebnisse«, 8th Europäische Passivhaustagung, Krems, Austria, 16./17.4.2004

Bühring, A.
»Teststand – und Feldmessungen mit Lüftungs-Kompaktgeräten mit Abluftwärmepumpe und deren Weiterentwicklung«, 2. Forum Wärmepumpe, Berlin, Germany, 21./22.10.2004

Bühring, A.
»Messergebnisse und neue Entwicklungen zu Passivhaus-Kompaktgeräten mit Abluftwärmepumpe«, in: Protokollband der 26. Sitzung des Arbeitskreises Kostengünstiges Passivhaus, Darmstadt, Germany, 17.3.2004

Bühring A.
»Mini-KWK-Anlagen im Wohnungsbereich: Umweltpotenziale, Marktfähigkeit und Zusammenwirken mit thermischen Solaranlagen«, OTTI-Energie-Kolleg 14. Symposium Thermische Solarenergie, Bad Staffelstein, Germany, 12.–14.5.2004

Bühring, A.
»Forschungsergebnisse für Lüftungs-Kompaktgeräte mit Abluftwärmepumpe – Messergebnisse, Marktübersicht, Vergleich», Fachtagung »Haustechnik im Passivhaus«, Linz, Austria, 7.10.2004

Diez, S.; Vedde, J.[1]; Shoulga, Y. G. [2]; Vlasenko, T. V.2; Glunz, S. W.; Warta, W.; Willeke, G.
»Alternatives to Boron-Doped Czochralski for Silicon Solar Cell Processing«, 19th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Paris, France, 7.–11.6.2004
([1]: Topsil Semiconductor Materials A/S, Frederikssund, Denmark) ([2]: Pillar Joint Stock Company, Kiev, Ukraine)

Dimroth, F.; Baur, C.; Bett, A. W.; Volz, K.[1]; Stolz, W. [1]
»Comparison of Dilute Nitride Growth on a Single- and 8x4-inch Multiwafer MOVPE System«, 12th International Conference on Metal Organic Vapor Phase Epitaxy, Lahaina, Maui, Hawaii, 30.5.–4.6.2004
([1]: Materials Sciences Center and Department of Physics, Philipps-University Marburg, Marburg, Germany)

Ell, J.; Georg, Andreas; Graf, W.; Wittwer, V.
»Switching Mechanism and Kinetics of Magnesium-Nickel Switchable Mirrors«, 6th International Meeting on Electrochromism, Brno, Czechia, 29.8–2.9.2004

Georg, Andreas; Georg, Anneke; Krasovec, U. O.[1]
»Optical, Structural and Kinetic Properties of a New Photoelectrochromic Device«, EuroSun 2004, Freiburg, Germany, 20.–23.6.2004
([1]: Faculty of Electrical Engineering, University of Ljubljana, Ljubljana, Slovenia)

Georg, Andreas; Georg, Anneke; Krasovec, U. O.[1]
»New Photoelectrochromic Window«, 5th International Conference on Coatings on Glass, Saarbrücken, Germany, 4.–8.7.2004
([1]: Faculty of Electrical Engineering, University of Ljubljana, Ljubljana, Slovenia)

Georg, Andreas; Georg, Anneke
»Optisch schaltbare Schichten – ein Ausblick«, BMWA-Statusseminar, Statusbericht ENOPT, Freiburg, Germany, 5./6.5.2004

Glatthaar, M.[1]; Hinsch, A.; Luther, J.; Niggemann, M.; Riede, M.; Sastrawan, R.[1]; Wagner, J.[1]; Zimmermann, B.
»The Wrap Through Electrode Concept for Organic Solar Cells«, EuroSun 2004, Freiburg, Germany, 20.–23.6.2004
([1]: Freiburger Materialforschungszentrum FMF, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Germany)

Glunz, S. W.
»New Concepts for High-Efficiency Silicon Solar Cells«, 14th International Photovoltaic Science and Engineering, Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand, 26.–30.1.2004

Glunz, S. W.; Schneiderlöchner, E.; Kray, D.; Grohe, A.; Hermle, M.; Kampwerth, H.; Preu, R.; Willeke, G.
»Laser-Fired Contact Silicon Solar Cells on p- and n-Substrates«, 19th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Paris, France, 7.–11.6.2004

Glunz, S. W.
»Stand und Perspektiven der Photovoltaik für die Stromerzeugung«, Frühjahrssitzung des Arbeitskreises Energie (AKE) der Deutschen Physikalischen Gesellschaft (DPG), Bad Honnef, Germany, 15./16.4.2004

Gölz, S.; Vogt, G.; Bopp, G.; Fleißner, D.; Roth, W.
»Bedarfsorientiertes Trainingsangebot im Bereich Photovoltaik – Vermittllung sozialer, technischer und betriebswirtschaflicher Kompetenzen«, OTTI-Energie-Kolleg 19. Symposium Photovoltaische Solarenergie, Bad Staffelstein, Germany, 10.–12.3.2004

Gölz, S.; Wienold, J.; Schüler, K.; Christoffersen, J.[1]
»A New Perspective for the Concept of Discomfort Glare Index«, EuroSun 2004, Freiburg, Germany, 20.–23.6.2004
([1]: Danish Building and Urban Research, Energy and Indoor Climate Division, Hoersholm, Denmark)

Gölz, S.; Vogt, G.; Bopp, G.; Roth, W.; Holz, F.
»Closing the Experience Gap in the Field of PV Energy with Training of Social, Technical, Financial and Business Management Skills«, EuroSun 2004, Freiburg, Germany, 20.–23.6.2004

Gölz, S.
»German Experiences with Renewable Energies«, Workshop Internazionale Stato dell´arte e prospettive delle energie rinnovabili in Europa, Polaris, Sardinia, Italy, 24.9.2004

Gölz, S
»Socio-Economic Misconceptions, Barriers and Opportunities. Overcome Missing Acceptance and Objection of PV«, SOLTRAIN Train-the-Trainer Workshop, Freiburg, 1.–13.2.2004

Goetzberger, A.; Walze, G.
»Application of Bifacial Modules«, 14th International Photovoltaic Science and Engineering, Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand, 26.–30.1.2004

Gombert, A.
»Mikrostrukturen auf transparenten Oberflächen«, Jahrestagung Spritzgießen, Baden-Baden, Germany, 11.–12.2.2004

Gombert, A.; Forberich, K.; Bläsi, B.; Mick, J.[1]; Hoßfeld, W.; Kübler, V.; Boerner, V.
»Large-Area Origination and Replication of Microstructures with Optical Functions«, Photonics Europe, Strasbourg, France, 26.–30.4.2004
([1]: Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Institut für Mikrosystemtechnologie, Freiburg, Germany)

Gombert, A.; Bläsi, B.; Hoßfeld, W.; Kübler, V.; Niggemann, M.; Nitz, P.; Walze, G.; Mick, J.[1]
»Micro-Structured Surfaces for Solar Applications – an Overview«, EuroSun 2004, Freiburg, Germany, 20.–23.6.2004
([1]: Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Institut für Mikrosystemtechnologie, Freiburg, Germany)

Gombert, A.
»On the Suitability of Diffractive Optical Elements in Solar Applications«, DOMO – Diffractive Optics and Micro Optics, Rochester, USA, 9.–13.10.2004

Groos, U.
»Portable Brennstoffzellen – Entwicklungsstand, Aussichten«, Weiterbildungszentrum Brennstoffzelle Ulm: »Portable Brennstoffzellen – die Batterie der Zukunft?«, Ulm, Germany, 20.2.2004

Groos, U.
»Mikrobrennstoffzellen und Solarzellen als Batterieersatz?«, Hannover Messe Industrie HMI, ZVEI-Workshop: »Life Needs Power – Perspektiven für Energienutzung«, Hannover, Germany, 19.–24.4.2004

Groos, U.
»Mikroenergietechnik am Fraunhofer ISE, Mikrobrennstoffzellen – innovative Technik im Spannungsfeld zwischen Solarzellen und Batterien«, Kompetenz + Innovationszentrum Brennstoffzelle KIBZ, Treffpunkt Brennstoffzelle, Stuttgart, Germany, 13.7.2004

Groos, U.
»Mikroenergietechnik für die energieautarke Sensorik – Energieversorgung mit miniaturisierten Brennstoffzellen und Solarmodulen«, VDE/VDI Gesellschaft Mikroelektronik, Mikro- und Feinwerktechnik GMM, GMM-Workshop: »Energieautarke Sensorik«, Kassel, Germany, 16./17.9.2004

Hakenjos, A.; Hebling, C.
»Spatially Resolved Measurement of PEM Fuel Cells«, Scientific Advances in Fuel Cell Systems, Munich, Germany, 6.–7.10.2004

Hebling, C.
»Micro Fuel Cells as a Supplement or a Substitute to Batteries«, MRS Frontiers of Materials Research, Boston, USA, 1.–4.12.2004

Hebling, C.
»Micro Fuel Cells as a Power Supply for Portable Electronic Devices«, Hyforum, Peking, China, 2004

Hebling, C.
»Micro Fuel Cell Systems from Simulation to Production Technology«, SME – Advanced Energy and Fuel Cell Technologies Conference, Livonia, USA, 2004

Hebling, C.
»Spatially Resolved In-Situ Measurements of PEM Fuel Cells«, German-Japanese Meeting of Electrochemists, Toray Human Resources Development Center, Mishima, Japan, 29.11.2004

Hebling, C.
»Micro Energy Technology by Means of Micro Fuel Cells, Thermophotovoltaics and Device Intergrated Solar Cells«, University of Tokyo, Tokyo, Japan, 1.12.2004

Henning, H.-M.
»Wirtschaftlichkeitsanalyse solarthermischer Kühlung«, 3. Symposium »Solares Kühlen in der Praxis«, Stuttgart, Germany, 26./27.4.2004

Henning, H.-M.
»Solare Kühlung«, 1. Aachener Solarenergie – Symposium: Schwerpunkt Solare Prozesswärme und KWK, Aachen, Germany, 12.11.2004

Henning, H. M.
»Techniken zur Solaren Kühlung«, Solares Heizen und Kühlen, Intersolar 2004, Freiburg, Germany, 25.6.2004

Henning, H.-M.
»Realisierte solare Kühlanlagen und Nutzungspotentiale«, Tagung »Solares Kühlen«, Vienna, Austria, 7.5.2004

Henning, H.-M.
»Solare Klimatisierung – Stand der Entwicklung«, Tagung »Solares Kühlen«, Vienna, Austria, 7.5.2004

Henning, H.-M.
»Solar Assisted Air-Conditioning of Buildings«, EuroSun 2004, Freiburg, Germany, 20.6.–23.6.2004

Henning, H.-M.
»Solar Assisted Air-Conditioning of Buildings«, National Seminar on Renewable Energy Use in Costa Rica«, San Jose, Costa Rica, 15.11.2004

Henning, H.-M.
»Focus R&D sur la Climatisation Solaire – Les Technologies Existantes sur le Marché et leurs Différentes Performances (Marktverfügbare Technologien und Einsatzgebiete)», »Congrès Energie Solaire et Bâtiment«, Paris, France, 14./15.10.2004

Henning, H.-M.
»Trends and Developments Under Special Consideration of Material Properties in Solar Cooling«, Deutsches Kunstoff Institut DKI, Workshop on »Materials in Solar Thermal Systems«, Freiburg, Germany, 23.6.2004

Henning, H. M.
»Design and Performance of a New Thermally Driven Air-Conditioning System for Mediterranean Climates«, Conferenza Internazionale Euromediterranea »Local Utilities and Sustainable Development in the Mediterranean Area«, Palermo, Italy, 3.–5.6.2004

Herkel, S.
»Solarbau Monitor: Geplant, Gebaut, Geprüft«, Gebäudeforum Biberach, Biberach, Germany, 29.1.2004

Hermann, M.
»FracTherm – Fraktale Hydraulikstrukturen für energieeffiziente Wärmetauscher», Interne Arbeitssitzung des GVC-Fachausschusses »Wärme- und Stoffübertragung«, Schwäbisch Hall, Germany, 22./23.3.2004

Hindenburg, C.; Schnabel, L.; Geucke, T.
»Solare Sorptionsgestützte Klimatisierung – Erfahrungen mit einer Pilotanlage mit Solarluftkollektoren«, VDI-Tagung Kältetechnik in der Technischen Gebäudeausrüstung 4, Dortmund, Germany, 6.11.2003

Hinsch, A.; Niggemann, M.; Gombert, A.
«Micro- and Nano-Patterned Electrodes for Organic Solar Cells and other Interface Dominated Solar Cells«, 16th Workshop on Quantum Solar Energy Conversion, Bad Gastein, Austria, 14.–20.3.2004

Hinsch, A.; Niggemann, M.; Gombert, A.
«Farbstoff- und Organische Solarzellen – hohes Anwendungspotential in der Zukunft«, Workshop Europäische Forschungsgesellschaft Dünne Schichten e.V. , Frankfurt, Germany, 1.4.2004

Hinsch, A.
«Neue Potenziale in der Solarenergieforschung durch Nanotechnologie», Symposium «Nano meets Umwelttechnik», Fraunhofer IAO, Stuttgart, Germany, 2.7.2004

Holz, F..
»Deployment Concepts for Rural Electrification – Technical Financial and Social Aspects«, Fachforum der Exportinitiative Erneuerbare Energien »Photovoltaics for Rural Electrification«, Intersolar 2004, Freiburg, Germany, 24.6.2004

Hurrle, A.; Reber, S.; Schillinger, N.; Haase, J.[1]; Reichart, J. G.[1]
»High-Throughput Continuous CVD Reactor for Silicon Deposition«, 19th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Paris, France, 7.–11.6.2004
([1]: centrotherm GmbH & Co., Blaubeuren, Germany)

Isenberg, J.; Warta, W.; Riepe, S.; Schubert, M. C.; Glunz, S. W.
»Spatially Resolved Ir-Measurement Techniques for Solar Cells«, 19th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Paris, France, 7.–11.6.2004

Kiefer, K.; Hoffmann, V.
»Betriebserfahrungen und Messergebnisse von netzgekoppelten Photovoltaik-Anlagen in Deutschland – eine Langzeitstudie«, OTTI-Energie-Kolleg, 19. Symposium Photovoltaische Solarenergie, Bad Staffelstein, Germany, 10.–12.3.2004

Kiefer, K
»Quality Control of Grid Connected PV Systems« , SOLTRAIN Train-the-Trainer Workshop, Freiburg, Germany, 1.–13.2.2004

Kiefer, K.
»Mit der Zukunft Geld verdienen – neue Einspeisevergütungen machen Solarstrom für Investoren interessant«, Fraunhofer-Forum Südlicher Oberrhein, IHK Südlicher Oberrhein, Freiburg, Germany, 15.3.2004

Kiefer, K.
»Photovoltaik-Anlagen Erfahrungsbericht, Energieausbeutung Einspeisevergütung«, Stadtwerke Karlsruhe, Regenerative Energie – Sonne, Karlsruhe, Germany, 6.4.2004

Kiefer, K.
»Qualitätsmerkmale bei Solarmodulen«, Partnertag der Solar-Fabrik Freiburg, Freiburg, Germany, 14.5.2004

Kiefer, K.
»Langzeiterfahrungen mit netzgekoppelten Photovoltaik-Anlagen«, Fraunhofer ISE Kompaktseminar Photovoltaik-Technologie, Intersolar 2004, Freiburg, Germany, 25.6.2004

Kiefer, K.
»Garantierte Erträge von netzgekoppelten Photovoltaik-Anlagen«, OTTI-Profiseminar, Freiburg, Germany, 23.6.2004

Kiefer, K.
»Konzepte und Komponenten: Stand der Technik bei Solarstromanlagen«, Fraunhofer Solar Building Innovation Center SOBIC, Fachseminar Qualitätssicherung bei der Finanzierung von Solarstromanlagen, Freiburg, Germany, 21.9.2004

Kiefer, K.
»Betriebserfahrungen 1993 bis 2003 und Bewertungsgrößen für Solarstromanlagen«, Fraunhofer Solar Building Innovation Center SOBIC, Fachseminar Qualitätssicherung bei der Finanzierung von Solarstromanlagen, Freiburg, Germany, 21.9.2004

Kiefer, K.
»Qualitätskontrolle bei Bau und Betrieb von Solarstromanlagen«, Fraunhofer Solar Building Innovation Center SOBIC, Fachseminar Qualitätssicherung bei der Finanzierung von Solarstromanlagen, Freiburg, Germany, 21.9.2004

Kiefer, K.
»Leistung und Haltbarkeit von Solarmodulen«, Freiburger Forum Solarfonds, Freiburg, Germany, 10.11.2004

Köhl, M.
»Spectal Measurements in the Mid-Infrared«, Kolloquiumsvortrag an der Universität Malaga, Spain, 5.12.2003

Köhl, M.; Heck, M.; Kübler, V.
»Optimisation of the Micro-Climate in Solar Collectors«, EuroSun 2004, Freiburg, Germany, 20.–23.6.2004

Köhl, M.; Heck, M.; Kübler, V.
»Prüfung und Optimierung des Mikroklimas in Solarkollektoren«, OTTI-Energie-Kolleg 14. Symposium Thermische Solarenergie, Bad Staffelstein, Germany, 12.5.–14.5.2004

Koschikowski, J.; Rommel, M.; Wieghaus, M.
»Solar Thermal-Driven Membrane Distillation for Small-Scale Desalination Plants«, EuroSun, Freiburg, Germany, 20.–23.6.2004

Kray, D.; Kampwerth, H.; Schneiderlöchner, E; Grohe, A.; Kamerewerd, F. J.; Leimenstoll, A.; Osswald, D.; Schäffer, E.; Seitz, S.; Wassie, S.; Glunz, S. W.; Willeke G. P.
»Comprehensive Experimental Study on the Performance of Very Thin Laser-Fired Solar Cells«, 19th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Paris, France, 7.–11.6.2004

Kuhn, T.
»Sommerlicher Wärmeschutz – Bewertung unter Berücksichtigung der Nutzung«, EMPA Akademie, Tagung »Innovative Fassaden – Planung und Umsetzung«, Dübendorf, Switzerland, 18.11.2004

Kuhn, T.
»Sonnenschutz im Verwaltungsbau«, Seminar »Glas im konstruktiven Ingenieurbau«, FH München, Munich, Germany, 16.9.2004

Kuhn, T.
»Stand der Technik bei Sonnen- und Blendschutzsystemen«, Fraunhofer Solar Building Innovation Center SOBIC Sonnenschutzseminar, Freiburg, Germany, 2.11.2004

Kuhn, T.
»Ermittlung der Sonnenschutzwirkung«, Fraunhofer Solar Building Innovation Center SOBIC Sonnenschutzseminar, Freiburg, Germany, 3.11.2004

Kuhn, T.
»Stand der Normung bei Sonnenschutzsystemen«, Fraunhofer Solar Building Innovation Center SOBIC Sonnenschutzseminar, Freiburg, Germany, 3.11.2004

Laukamp, H.; Erge, T.; Meyer, T.; Thoma, M.
»Stromüberschüsse aus Photovoltaik im Niederspannungsnetz – ein technisches Problem?«, OTTI-Energie-Kolleg 19. Symposium Photovoltaische Solarenergie, Bad Staffelstein, Germany, 10.–12.3.2004

Lenz, B.
»Performance of a Combined Reformer/SOFC System for Aircraft Application«, Conference The Fuel Cell World, Lucerne, Switzerland, 28.6.–2.7.2004

Lenz, B.; Aicher, T.
«Catalytic Autothermal Reforming for Aerospace Applications«, International Symposium & Workshop on Fuel Cells and Hydrogen for Aerospace & Maritime Applications, Hamburg, Germany, 16./17.9.2004

Lerchenmüller, H.; Mertins, M.; Morin, G.; Häberle, A.[1]; Fruth, M.[2]; Ewert, M.[2]; Griestop, T.[2]; Dersch, J.[3]
»Technische und wirtschaftliche Machbarkeits-Studie zu horizontalen Fresnel-Kollektoren«, Abschluss-Seminar Solarthermische Stromerzeugung«, Berlin, Germany, 10.5.2004
([1]: PSE GmbH, Freiburg, Germany) ([2]: E.ON Energie AG, Munich, Germany) ([3]: German aerospace Centre (DLR), Cologne, Germany)

Lerchenmüller, H.; Mertins, M.; Morin, G.; Häberle, A.[1]; Bockamp, S.[2]; Ewert, M.[2]; Fruth, M.[2]; Griestop, T.[2]; Dersch, J.[3]
»Fresnel-Collectors in Solar Thermal Power Plants with High Solar Shares», EuroSun 2004, Freiburg, Germany, 20.–23.6.2004,
([1]: PSE GmbH, Freiburg, Germany) ([2]: E.ON Energie AG, Munich, Germany) ([3]: German Aerospace Centre (DLR), Cologne, Germany)

Luther, J.
«Welt im Wandel: Energiewende zu Nachhaltigkeit«, Sitzung «Arbeitskreis Energie der Deutschen Physikalischen Gesellschaft», (AKE) Frühjahr 2004, Bad Honnef, Germany, 15./16.4.2004

Luther, J.
»Global Research and Development on Renewables – Needs, Contexts and Structures», Science Forum im Rahmen der Konferenz »Renewables 2004«, Bonn, Germany, 1.–4.6.2004

Luther, J.
»Research and Development on Photovoltaics in Germany - Main Emphasis and Approach» im Rahmen der Konferenz »Renewables 2004«, Bonn, Germany, 1.–4.6.2004

Luther, J.
»Status und globale Perspektive der technischen Sonnenenergienutzung«, Einweihung »SolarZentrum des CiS Institut für Mikrosensorik», Erfurt, Germany, 13.5.2004

Luther, J.
»Research and Development on Renewables in Germany«, Sino–European Bilateral Meeting European Materials Research Society (E–MRS), Nice, France, 6.–8.12.2004

Meusel, M.[1]; Dimroth, F.; Baur, C.; Siefer, G.; Bett, A. W.; Volz–Koch, K.[2]; Stolz, W.[2]; Strobl, G.[3]; Signorini, C.[4]; Hey, G.[5]
»European Roadmap for the Development of III-V Multi-Junction Space Solar Cells«,19th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Paris, France, 7.–11.6.2004
([3]: Freiburger Materialforschungszentrum FMF, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Germany) ([2]: Philipps-Universität, Marburg, Germany) ([3]: RWE Space Solar Power GmbH, Heilbronn, Germany) ([4]: European Space Research & Technology Centre ESTEC, Noordwijk, The Netherlands) (5: German Aerospace Center DLR, Bonn, Germany)

Meusel, M.; Baur, C.; Siefer, G.; Dimroth, F.; Bett, A. W.; Warta, W.
»Characterization of Monolithic III-V Multi-Junction Solar Cells – Challenges and Application«, 14th International Photovoltaic Science and Engineering, Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand, 26.–30.1.2004

Meyer, T.
»Dezentrale Stromerzeugung und ihre Einbindung in die Elektrizitätsversorgung«, Fachhochschule Mannheim, Mannheim, Germany, 13.5.2004

Meyer, T., Laukamp, H.; Thomas, M.; Erge, T.
»Impact of a Large Capacity of Distributed PV Production on the Low Voltage Grid«, 19th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Paris, France, 7.–11.6.2004

Meyer, T.
»Wasserstofftechnik in stationären autonomen Stromversorgungen«, Jahrestagung Forschungsverbund Sonnenenergie FVS 2004, Berlin, Germany, 25./26.11.2004

Morin, G.; Lerchenmüller, H.; Mertins, M.; Ewert, M.[1]; Fruth, M.[2]; Bockamp, S.[2]; Griestop, T.[2]; Häberle, A.[3]
»Plug-In Strategy for Market Introduction of Fresnel-Collectors«, 12th SolarPACES Internationales Symposium, Oaxaca, Mexico, 6.–8.10.2004,
([1]: E.ON Energie AG, Munich, Germany) ([2]: E.ON Engineering GmbH, Gelsenkirchen, Germany) ([3]: PSE GmbH, Freiburg, Germany)

Niggemann, M.; Glatthaar, M.; Gombert, A.; Hinsch, A.; Wittwer, V:; Zimmermann, B.
»Micro Prisms and Buried Nano-Electrodes – Cell Architectures for Organic Solar Cells«, EuroSun 2004, Freiburg, Germany, 20.–23.6.2004

Niggemann, M.; Glatthaar, M.; Gombert, A.; Hinsch, A.; Riede, M.; Wittwer, V.; Zimmermann, B.
»Investigation of Device Architectures for Organic Solar Cells Based on Microstructured Substrates«, SCELL-2004, Badajoz, Spain, 13.–15.5.2004

Nitz, P.
»Sonnenschutz und Lichtlenkung durch mikrostrukturierte Oberflächen«, Glasforum der deutschen Glastechnischen Gesellschaft, Fraunhofer ISC, Würzburg, Germany, 16.3.2004

Nitz, P.; Gombert, A.; Bläsi, B.; Georg, A.; Walze, G.; Hoßfeld, W.
»Lichtlenkende Mikrostrukturen mit optisch-funktionalen Beschichtungen«, 10. Symposium Innovative Lichttechnik in Gebäuden, Bad Staffelstein, Germany, 29./30.1.2004

Nitz, P.; Gombert, A.; Georg, A.; Mick, J.; Hossfeld, W.; Walze, G.
»Verbundprojekt MIKROFUN 2 – Teilprojekt »Optimierung der Strukturen und Beschichtungen und Entwicklung von Produktionstechniken««, BMWA-Statusseminar Energieoptimiertes Bauen ENOB, Freiburg, Germany, 5./6.5.04

Núnez, T.; Mittelbach, W.[1]; Henning, H.-M.
»Entwicklung und Nutzungspotential eines Sorptionsreaktors zur solaren Heizung und Kühlung«, Gleisdorf Solar 2004, Gleisdorf, Austria, 8.–11.9.2004
([1]: SorTech AG, Freiburg, Germany)

Oedegaard, A.; Hebling, C.
»Development and Characterisation of a DMFC Stack and a Methanol Feeding Concept«, Scientific Advances in Fuel Cell Systems, Munich, Germany, 6./7.10.2004

Oszcipok, M.
»Low Temperature Operation and Influence Parameters on the Cold Start Ability of Portables PEMFCs«, 9th Ulm Electrochemical Talks, Neu-Ulm, Germany, 17./18.5.2004

Pfafferott, J.
»Geplant – Gebaut – Geprüft. Passive Kühlung im Fraunhofer Haus München«, IHK München, »Energieeffiziente Büro- und Verwaltungsgebäude«, Munich, Germany, 15.6.2004

Pfafferott, J.
»Welche Energie für welches Gebäude? Über das Zusammenspiel von Architektur und Energieversorgungstechnik«, Energiemanagement in Gebäuden, EMiG 2004, Aachen, Germany, 23.9.2004

Pfanner, N.
»Leuchtdioden (LED) als innovatives Leuchtmittel – Ein Überblick zum Stand der Technik und den Chancen der neuen Technologie«, Zehntes Symposium Innovative Lichttechnik in Gebäuden, Kloster Banz, Bad Staffelstein, Germany, 29./30.1.2004

Pfanner, N.; W. Roth
»Qualität in photovoltaischen Systemen«, Seminar Netzferne PV-Energieversorgung in Entwicklungsländern, Freiburg, Germany, 5.–16.4.2004

Pfanner, N.
»Pre-Payment Solar-Home-Systeme mit Datenerfassung«, Seminar Netzferne PV – Energieversorgung in Entwicklungsländern, Freiburg, Germany, 5.–16.4.2004

Pfanner, N.
»Photovoltaisch versorgte Beleuchtungssysteme«, Seminar Netzferne PV – Energieversorgung in Entwicklungsländern, Freiburg, Germany, 5.–16.4.2004

Pfanner, N.
»Laderegler – Funktionsprinzipien und Anforderungen«, Seminar Netzferne PV-Energieversorgung in Entwicklungsländern, Freiburg, Germany, 5.–16.4.2004

Puls, H.G.
»Computer-Aided Design and Simulation of PV Systems«, SOLTRAIN Train-the-Trainer Workshop, Freiburg, Germany, 1.–13.2.2004

Reber, S.
»Kristalline Silicium-Dünnschichtsolarzellen – der Hochtemperaturansatz«, Workshop »Materialien und Verfahren zur Herstellung von Dünnschichtsolarzellen« der Europäischen Forschungsgesellschaft Dünne Schichten e.V., Frankfurt, Germany, 1.4.2004

Reber, S.; Bau, S.; Waldenmayer, B.; Schillinger, N.
»Progress in High-Temperature Silicon Epitaxy Using the RTCVD160 Processor«, 19th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Paris, France, 7.–11.6.2004

Rein, S.; Glunz, S. W.
»Advanced Lifetime Spectroscopy – Methodology and Experimental Proof«, 19th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Paris, France, 7.–11.6.2004

Reise, C.
»Power Flow Estimation for Future Solar Electricity Grids«, EuroSun 2004, Freiburg, Germany, 20.–23.6.2004

Riede, M.[1,2]; Glatthaar, M.[1]; Niggemann, M.[1,2]; Zimmermann, B.[1,2]; Hinsch, A.[1,2]
»Interface Studies in Organic Solar Cells«, EuroSun 2004, Freiburg, Germany, 20.–23.6.2004
([1]: Freiburger Materialforschungszentrum FMF, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Germany)
([2]: Fraunhofer ISE, Freiburg, Germany)

Roth,W.
»Einführung in die Nutzung von PV-Solarenergie für netzferne Anwendungen«, Seminar Netzferne PV-Energieversorgung in Entwicklungsländern, Freiburg, Germany, 5.4.–16.4.2004

Roth, W.
»Solarzellen und Module«, Seminar Netzferne PV-Energieversorgung in Entwicklungsländern, Freiburg, Germany, 5.–16.4.2004

Roth, W.
»Allgemeine Konzepte von Photovoltaischen Energiesystemen«, Seminar Netzferne PV-Energieversorgung in Entwicklungsländern, Freiburg, Germany, 5.–16.4.2004

Roth, W.
»Fundamentals of Solar Energy Use«, SOLTRAIN Train-the-Trainer Workshop, Freiburg, Germany, 1.–13.2.2004

Roth, W.
»General Concepts of PV Power Supply Systems«, SOLTRAIN Train-the-Trainer Workshop, Freiburg, Germany 1.–13.2.2004

Roth, W.
»Stand Alone Electricity Power Supply with PV Power – General Introduction«, SOLTRAIN Train-the-Trainer Workshop, Freiburg, Germany 1.–13.2.2004

Roth, W.
»Application: Industrial Applications, Telematic and Telecommunication«, SOLTRAIN Train-the-Trainer Workshop, Freiburg, Germany 1.–13.2.2004

Roth, W.
»Fuel Cells as Power Generators in PV Hybrid Systems«, SOLTRAIN Train-the-Trainer Workshop, Freiburg, Germany, 1.–13.2.2004

Roth, W.
»Ländliche Stromversorgung mit Erneuerbaren Energien«, Asia Business Club, Internationale Projekte für Unternehmenskonsortien, Munich, Germany, 29.4.2004

Roth, W.; Schüler, K.
»Ländliche Stromversorgung mit Erneuerbaren Energien – Erfahrungen und Strategien der Themengruppe Energie«, Erschließung der Weltbank für Unternehmenskonsortien, Themengruppe Krankenhausmodernisierung, Munich, Germany, 27.10.2004

Schlegl, T.[1]; Dimroth, F.; Ohm, A.; Bett, A. W.
»TPV Modules Based on MOVPE Grown GaSb Structures«, 6th International Conference on Thermophotovoltaic Generation of Electricity TPV 6, Freiburg, Germany, 14.–16.6.2004
([1]: Freiburger Materialforschungszentrum FMF, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Germany)

Schmidhuber, H.
»Fertigungstechniken – Von der Zelle zum Modul«, Landesinitiative Zukunftsenergien NRW, Workshop »Photovoltaik-Modultechnik», Cologne, Germany, 2.12.2004

Schneiderlöchner, E.; Glunz, S. W.; Kray, D.; Preu, R.; Willeke, G.
»Laser-Fired Contacts – Technologie zur Herstellung von hocheffizienten Solarzellen auf ultradünnen Siliziumscheiben«, Workshop: »Materialien und Verfahren zur Herstellung von Solarzellen«, Frankfurt am Main, Germany, 1.4.2004

Schneiderlöchner, E.; Emanuel, G.; Grupp, G.; Lautenschlager, H.; Leimenstoll, A.; Glunz, S. W.; Preu, R.; Willeke, G.
»Silicon Solar Cells with Screen Printed Front Contact and Dielectrically Passivated, Laser-Fired Rear Electrode«, 19th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Paris, France, 7.–11.6.2004

Schubert, M. C.; Isenberg, J.; Rein, S.; Warta, W.
»Temperature Dependent Carrier Lifetime Images«, 19th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Paris, France, 7.–11.6.2004

Schultz, O.; Glunz, S. W.; Goldschmidt, J. G.; Lautenschlager, H.; Leimenstoll, A.; Schneiderlöchner, E.; Willeke, G.
»Thermal Oxidation Processes for High-Efficiency Multicrystalline Silicon Solar Cells«, 19th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Paris, France, 7.–11.6.2004

Schultz, O.; Riepe, S.; Glunz, S. W.
»Thermal Degradation and Gettering of Solar Grade Multicrystalline Silicon«, 19th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Paris, France, 7.–11.6.2004

Seibert, U.; Vogt, G.
»Autonomous Desalination System Concepts for Seawater and Brackish Water in Rural Areas with Renewable Energies – Potentials, Technologies, Field Experience, Socio-Technical and Socio-Economic Impacts (ADIRA)«, EuroMed 2004: »Desalination Strategies in South Mediterranean Countries«, Marrakech, Morroco, 30.5.–2.6.2004

Siefer, G.; Bett, A. W.; Emery, K.[1]
»One Year Outdoor Evaluation of a FLATCONTM Concentrator Module«, 19th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Paris, France, 7.–11.6.2004
([1]: National Renewable Energy Laboratory, Golden, Colorado, USA)

Steinhüser, A.
»Computer Simulation and Design Software for Grid-Connected PV Systems«, SOLTRAIN Train-the-Trainer Workshop, Freiburg, Germany, 1.–13.2.2004

Steinhüser, A.
»Solare Ressourcen und Standort Analyse«, Seminar Netzferne PV-Energieversorgung in Entwicklungsländern, Freiburg, Germany, 5.–16.4.2004

Steinhüser, A.
»Vorstellung von Planungstools für Hybridanlagen«, Seminar Netzferne PV-Energieversorgung in Entwicklungsländern, Freiburg, Germany, 5.–16.4.2004

Steinhüser, A.
»Solar Home System Tester«, Seminar Netzferne PV-Energieversorgung in Entwicklungsländern, Freiburg, Germany, 5.–16.4.2004

Steinhüser, A.
»Einführung ins Monitoring von PV-Systemen«, Seminar Netzferne PV-Energieversorgung in Entwicklungsländern, Freiburg, Germany, 5.–16.4.2004

Steinhüser, A.
»Brennstoffzellen zur dezentralen Stromversorgung auf dem Rappenecker Hof«, OTTI-Energie-Kolleg 19. Symposium Photovoltaische Solarenergie, Bad Staffelstein, Germany, 10.–12.3.2004

Steinhüser, A.
»Fuel Cells for Distributed Power Supply at the Rappenecker Hof«, EuroSun 2004, Freiburg, Germany, 20.–23.6.2004

Steinhüser, A.
»Photovoltaik-Hybridsysteme«, Vorlesung an der Universität Karlsruhe, Germany, 29.6.2004

Steinhüser, A.
»Computerunterstützte Auslegung von Photovoltaik-Systemen«, Vorlesung an der Universität Karlsruhe, Germany, 29.6.2004

Walze, G.; Nitz, P.; Gombert, A.; Bläsi, B.; Georg, A.; Hoßfeld, W.
»Combination of Microstructures and Optically Functional Coatings for Solar Control Glazing«, EuroSun 2004, Freiburg, Germany, 20.–23.6.2004

Wilson, H. R.
»Eine 220 mm-Ulbrichtkugel für das Lambda-900-Spektrometer: Designüberlegungen und Messergebnisse«, Kolloquium Optische Spektrometrie, Berlin, Germany, 13./14.9.2004, CD-ROM bei Perkin-Elmer erhältlich

Wilson, H. R.
»High-Performance Windows«, ISES Solar Acadamy, Freiburg, Germany, 29.8.–4.9.2004, CD-ROM bei International Solar Energy Society (ISES), Freiburg, Germany, erhältlich

Wittstadt, U.; Hacker, B.
»Small Electrolysers for Portable Fuel Cell Systems«, Conference The Fuel Cell World, Lucerne, Switzerland, 28.6.–2.7.2004

Yu, H. M.[1]; Schumacher, J. O.; Zobel, M.; Hebling, C.
»Analysis of Membrane Electrode Assembly (MEA) by Environmental Scanning Electron Microscope (ESEM)«, Grove Conference, Scientific Advances in Fuel Cell Systems, Munich, Germany, 6.–7.10.2004
([1]: Dalian Institute of Chemical Physics, Chinese Academy of Sciences, P. R. China)

Ziegler, C.; Yu, H. M.[1]; Schumacher, J. O.
»Investigation of the Dynamics of the PEM Fuel Cell«, Grove Conference, Scientific Advances in Fuel Cell Systems, Munich, Germany, 6.–7.10.2004
([1]: Dalian Institute of Chemical Physics, Chinese Academy of Sciences, P. R. China)

Veröffentlichungen

Aicher, T.; Siegel, C.; Federici, F.[1]; Caprile, L.[1]; Parodi, L.[1]
»Design and Operation of a 20 kW_{el} Autothermal Diesel Reformer«, in: Tagungsband, International Symposium & Workshop on Fuel Cells and Hydrogen for Aerospace & Maritime Applications, Hamburg, Germany, 16./17.9.2004, pp. 243–248
([1]: Ansaldo Fuel Cells S.p.A, Genova, Italy)

Aicher, T.; Kästner, P.; Gopinath, A.[1]; Gombert, A.; Bett, A. W.; Schlegl, T.; Hebling, C.; Luther, J.
»Development of a Novel TPV Power Generator«, in: AIP Conference Proceedings, New York: American Institute of Physics, 2004, im Druck
([1]: Naval Postgraduate School, Monterey, CA, USA)

Aicher, T.; Specht, M.[1]; Höhlein, D.[2]
»Wasserstoffgewinnung aus Erdgas – Anlagenentwicklung und Systemtechnik kleiner Wasserstofferzeuger«, Jahrestagung Forschungsverbund Sonnenenergie FVS-, Berlin, Germany, 25./26.11.2004
([1]: ZSW Stuttgart, Germany) ([2]: FZ Jülich, Germany)

Antón, I.[1]; Sala, G.[1]; Silva, D.[1]; Bett, A.W.; Siefer, G.; Lange, G.; Luque-Heredia, I.[2]; Trebst, T.[3]
»The PV Fibre Project – An European Initiative for Indoor Operation of 1000X MJ Solar Cells«, in: Proceedings, 19th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Paris, France, 7.–11.6.2004, im Druck
([1]: Instituto de Energía Solar UPM, Madrid, Spain) ([2]: INSPIRA, Las Matas, Madrid, Spain) ([3]: CeramOptec GmbH, Bonn, Germany)

Araki, K.[1]; Kondo, M.[1]; Uozumi, H.; Kemmoku, Y.[1]; Egami, T.[2]; Hiramatsu, M.[2]; Miyazaki, Y.[2]; Ekins-Daukes, N.[3]; Yamaguchi, M.[3]; Bett, A.; Siefer, G.;
»A 28% Efficient, 400 X and 200 WP Concentrator Module«, in: Proceedings, 19th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Paris, France, 7.6.–11.6.2004, im Druck
([1]: Toyohashi Sozo College, Ushikawa, Toyohashi, Aichi, Japan) ([2]: Daido Metal Co., Maehara, Inuyama, Aichi, Japan) ([3]: Toyota Technological Institute, Hisakata, Tempaku, Nagoya, Japan)

Becker, R.; Wittwer, C.
»Regelung und Monitoring von Solaranlagen mit vernetzten embedded systems«, in: Tagungsband, OTTI-Energie-Kolleg 14. Symposium Thermische Solarenergie, Bad Staffelstein, Germany, 12.–14.5.2004, pp. 424–428

Becker, R.; Wittwer, C.
»Control and Monitoring of Solar Systems with Networked Embedded Systems«, in: Proceedings, EuroSun 2004, Freiburg, Germany, 20.–23.6.2004, pp. 1/114–1/119

Benoit, S.; Vetter, M.; Bühring, A.
»Mikro-KWK-Anlagen für Wohngebäude: Umweltpotenziale, Marktfähigkeit und Zusammenwirken mit thermischen Solaranlagen«, in: Tagungsband, OTTI-Energie-Kolleg 14. Symposium Thermische Solarenergie, Bad Staffelstein, Germany, 12.–14.5.2004, pp. 174–180

Benz, J.; Holz, F.; Meyer, T.; Müller, M.[1]; Roth, W.
»Universal Energy Supply Protocol (UESP)«, in: Tagungsband, OTTI-Energie-Kolleg 19. Symposium Photovoltaische Solarenergie, Bad Staffelstein, Germany, 10.–12.3.2004, pp. 282–287
([1]: Steca GmbH, Memmingen, Germany)

Benz, J.; Holz, F.; Meyer, T.; Müller, M.[1]; Roth, W.
»Universal Energy Supply Protocol (UESP)«, in: Proceedings, EuroSun 2004, Freiburg, Germany, 20.–23.6.2004, vol. 3, pp. 267–272
([1]: Steca GmbH, Memmingen, Germany)

Benz, J.; Wittstadt, U.; Hacker, B.; Isorna, F.[1]; Chaparro, A. M.[2]; Daza, L.[3]
»Autonomous PV-Hybrid System with Electrolyser and Fuel Cell: Operating Experience«, in: Proceedings, EuroSun 2004, Freiburg, Germany, 20.–23.6.2004, pp. 3/058–3/063
([1]: INTA, Madrid, Spain) ([2]: Ciemat, Madrid, Spain) ([3]: Ciemat & CSIC, Madrid, Spain)

Bett, A.W.
»III-V Konzentrator Kraftwerke«, in: Energiespektrum, 12/2003, pp. 40–41

Bett, A. W.; Dimroth, F.; Glunz, S.W.; Lange, G.[1]; Mohr, A.; Siefer, G.; Willeke, G.
»FLATCON TM and FLASHCON TM: Concepts for High Concentration PV«, in: Proceedings, 19th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Paris, France, 7.–11.6.2004, im Druck
([1]: GEP Umwelttechnik, Eitorf, Germany)

Biro, D.; Preu, R.; Willeke, G.; Untied, D.[1]; Wandel, G.[2]; Gentischer, J.[3]
»Transport Systems for Industrial In-Line Diffusion of Silicon Solar Cells«, in: Proceedings, 19th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Paris, France, 7.–11.6.2004, im Druck
([1]: Fraunhofer-Institut für Produktionstechnologie IPT, Aachen, Germany) ([2]: Centrotherm Photovoltaics GmbH, Blaubeuren, Germany) ([3]: ACR Automation in Cleanroom GmbH, Niedereschach, Germany)

Bopp, G.; von Dohlen, K.[1]
»Blitzschutz ohne Beeinträchtigung der PV«, in: Tagungsband, OTTI-Energie-Kolleg 19. Symposium Photovoltaische Solarenergie, Bad Staffelstein, Germany, 10.–12.3.2004, pp. 250–255
([1]: Erhard & Leimer Elektroanlagen GmbH, Augsburg, Germany)

Borchert, D.[1]; Gronbach, A.[1]; Schäfer, B.[1]; Rinio, M.[1]; Kenanoglu, A.[1]; Willeke, G.[1]
»Large Area RF Deposition of Thin Films for Silicon Solar Cells«, in: Proceedings, 19th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Paris, France, 7.–11.6.2004, im Druck
([1]: Fraunhofer ISE Labor- und Servicecenter Gelsenkirchen, Germany)

Borchert, D.[1]; Brammer, T.[2]; Stiebig, H.[2]; Voigt, O.[3]; Gronbach, A.; Rinio, M.; Kenanoglu, A.[1]; Willeke, G.[1]; Nositschka, A.[4]; Kurz, H.[4]
»Large Area (N) A-SI:H/(P) C-SI Heterojunction Solar Cells With Low Temperature Screen Printed Contacts«, in: Proceedings, 19th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Paris, France, 7.–11.6.2004, im Druck
([1]: Fraunhofer ISE, Labor- und Servicecenter Gelsenkirchen) ([2]: Institute of Photovoltaics, Jülich, Germany) ([3]: Shell Solar, Gelsenkirchen, Germany) ([4]: RWTH Aachen, Chair and Institute of Semiconductor Electronics, Aachen, Germany)

Bühring, A.; Bichler, C.
»Teststand- und Feldmessungen mit Lüftungs-Kompaktgeräten mit Abluftwärmepumpe und deren Weiterentwicklung«, in: Tagungsband, 2. Forum Wärmepumpe, Berlin, Germany, 21./22.10.2004, pp. 98–105

Bühring, A.; Leuchtner, J.[1]; Krug, P.[1]; Schüle, R.[2]
»Marktpotenzial für Passivhäuser und 3-Liter-Häuser«, in: energieeffizientes bauen, 2/2004, pp. 5–8
([1]: Büro für Solarmarketing, Freiburg, Germany) ([2]: Energieagentur Regio Freiburg GmbH, Germany)

Bühring, A.;
»Messergebnisse und neue Entwicklungen zu Passivhaus-Kompaktgeräten mit Abluftwärmepumpe«, in: Protokollband der 26. Sitzung des Arbeitskreises Kostengünstiges Passivhaus, Darmstadt, Germany 17.3.2004

Bühring, A.
»Forschungsergebnisse für Lüftungs-Kompaktgeräte mit Abluftwärmepumpe – Messergebnisse, Marktübersicht, Vergleich», in: Tagungsband, Fachtagung »Haustechnik im Passivhaus«, Linz, Austria, 7.10.2004
Canizo, C.; Warta, W.; Caballero, L. J.[1]; Luque, A.[2]; Roberts, S.[2]; Gledhill, S.[2]; Bruton, T.[2]; Vedde, J.[3]; Shoulga, Y. G. [4]; Vlasen, T. V. [4]; Diez, S.; Glunz, S.
»Towards 20% Efficient Industrial Silicon Solar Cell«, in: Proceedings, 19th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Paris, France, 7.–11.6.2004, im Druck
([1]: Universidad Politécnica de Madrid, Spain) ([2]: BP Solar Lmt, Middlesex, UK) ([3]: Topsil Semiconductor Materials A/S, Frederikssund, Denmark) ([4]: Pillar Joint Stock Company, Kiev, Ukraine)

Carlsson, B.[1]; Brunold, S.[2]; Gombert, A.; Heck, M.
»Assessment of Durability and Service Lifetime of some Static Solar Energy Materials«, in: Proceedings, EuroSun, Freiburg, Germany, 20.–23.6.2004, pp. 2/774–2/783
([1]: Swedish National Testing & Research Institute, Boras, Sweden) ([2]: SPF Institut für Solartechnik Hochschule Rapperswil HSR, Rapperswil, Switzerland)

Diez, S.; Vedde, J.[1]; Shoulga, Y. G. [2]; Vlasenko, T. V.[2]; Glunz, S. W.; Warta, W.: Willeke, G.
»Alternatives to Boron-Doped Czochralski for Silicon Solar Cell Processing«, in: Proceedings, 19th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Paris, France, 7.–11.6.2004, im Druck
([1]: Topsil Semiconductor Materials A/S, Frederikssund, Denmark) ([2]: Pillar Joint Stock Company, Kiev, Ukraine)

Ell, J.; Georg, Andreas; Graf, W.; Wittwer, V.
»Switching Mechanism and Kinetics of Magnesium Nickel Switchable Mirrors«, in: Proceedings, 6th International Meeting on Electrochromism, Brno, Czech Republic, 29.8.–2.9.2004, pp. 156–160
([1]: Faculty of Electrical Engineering, University of Ljubljana, Ljubljana, Slovenia)

Eyer, A.; Haas, F.; Kieliba, T.[1]
»A Zone Melting Recrystallisation (ZMR) Processor for 400 MM Wide Samples«, in: Proceedings, 19th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Paris, France, 7.–11.6.2004, im Druck
([1]: ErSol Solar Energy AG, Erfurt, Germany)

Georg, Andreas, Georg, Annette; Krasovec, U. O.[1]
»New Photoelectrochromic Window«, in: Proceedings, 5th International Conference on Coatings on Glass, Saarbrücken, Germany, 4.–8.7.2004, pp. 771–778
([1]: Faculty of Electrical Engineering, University of Ljubljana, Ljubljana, Slovenia)

Georg, Andreas; Georg, Anneke; Krasovec, U. O.[1]
»Optical, Structural and Kinetic Properties of a New Photoelectrochromic Device«, in: Proceedings, EuroSun 2004, Freiburg, Germany, 20.–23.6.2004, pp. 2/784–2/791
([1]: Faculty of Electrical Engineering, University of Ljubljana, Ljubljana, Slovenia)

Georg, Andreas; Georg, Anneke
»Optisch schaltbare Schichten – ein Ausblick«, in: Tagungsband, BMWA-Statusseminar, Statusbericht ENOPT, Freiburg, Germany, 5./6.5.2004, pp. 14–19

Georg, Andreas; Georg, Anneke; Krasovec, U. O.[1]; Wittwer, V.
»New Photochromic Device«, in: Proceedings, 6th International Meeting on Electrochromism, Brno, Czech Republic, 29.8.–2.9.2004, pp. 149–149
([1]: Faculty of Electrical Engineering, University of Ljubljana, Ljubljana, Slovenia)

Giesen, Ch.[1]; Heuken, M.[1]; Dimroth, F.; Bett, A. W.; Hannappel, T.[2]; Kollonitsch, Z.[2]; Möller, K.[2]; Seip, M.[3]; Greiling, A.[3]
»MOVPE Growth of Sb-Based Semiconductors in a 9x2 inch Planetary, Reactor«, in: Proceedings, 6th International Conference on Thermophotovoltaic Generation of Electricity«, Freiburg, Germany, 14.–16.6.2004, im Druck
([1]: AIXTRON AG, Aachen, Germany) ([2]: Hahn-Meitner-Institut, Berlin, Germany) ([3]: AKZO NOBEL HPMO GmbH, Marburg, Germany)

Glunz, S. W.; Schneiderlöchner, E.; Kray, D.; Grohe, A.; Kampwerth, H.; Preu, R.; Willeke, G.
»Laser-Fired Contact Silicon Solar Cells on P- and N-Substrates«, in: Proceedings, 19th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Paris, France, 7.–11.6.2004, im Druck

Glunz, S. W.
»New Concepts for High-Efficiency Silicon Solar Cells«, in: Proceedings, 14th International Photovoltaic Science and Engineering, Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand, 26.–30.1.2004, pp. 631–634

Glunz, S. W.; Schneiderlöchner, E.; Kray, D.; Grohe, A.; Hermle, M.; Kampwerth, H.; Preu, R.; Willeke, G.
»Laser-Fired Contact Silicon Solar Cells on p- and n-Substrates«, in: Proceedings, 19th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Paris, France, 7.–11.6.2004, im Druck

Gölz, S.; Vogt, G.; Bopp, G.; Fleißner, D.; Roth, W.
»Bedarfsorientiertes Trainingsangebot im Bereich Photovoltaik – Vermittlung sozialer, technischer und betriebswirtschaftlicher Kompetenzen«, in: Tagungsband, OTTI-Energie-Kolleg 19. Symposium Photovoltaische Solarenergie, Bad Staffelstein, Germany, 10.–12.3.2004, pp. 113–118

Gölz, S.; Bopp, G.; Fleißner, D.; Holz, F.; Roth, W.; Ullrich, M.; Vogt, G.
»User-Oriented Training of Social, Technical, Financial, and Business Managment Skills in the Field of PV Solar Electricity«, in: Proceedings, 19th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Paris, France, 7.–11.6.2004, im Druck

Gölz, S.; Wienold, J.; Schüler, K.; Christoffersen, J.[1]
»A New Perspective for the Concept of Discomfort Glare Index«, in: Proceedings, EuroSun 2004, Freiburg, Germany, 20.–23.6.2004, vol. 2, pp. 229–235
([1]: Danish Building and Urban Research, Energy and Indoor Climate Division, Hoersholm, Denmark)

Gölz, S.; Wiencke, M.
»Entwicklung von Promotions-Strategien für Projekte mit Erneuerbaren Energien«, in: IPUblic, Nr. 7, 1/2004, Publikation der Initiative Psychologie im Umweltschutz e.V., pp. 6–15

Gölz, S.; Bopp, G.; Holz, F.; Roth, W.; Vogt, G.
»Closing the Experience Gap in the Field of PV Energy with Training of Social, Technical, Financial and Business Management Skills«, in: Proceedings, EuroSun 2004, Freiburg, Germany, 20.–23.6.2004, vol. 3, pp. 687–692

Goetzberger, A.; Walze, G.
»Application of Bifacial Modules«, in: Conference Digest, 14th International Photovolatic Science and Engineering, Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand, 26.–30.1.2004, Nummer 28.2

Gombert, A.
»Mikrostrukturen auf transparenten Oberflächen«, in: Tagungsband, Jahrestagung Spritzgießen, Baden-Baden, Germany, 11.–12.2.2004, pp. 313–327

Gombert, A.; Bläsi, B.; Hoßfeld, W.; Forberich, K.; Mick, J.; Boerner, V.[1]
»Large-Area Origination and Replication of Micro Structures with Optical Functions«, in: SPIE Proceedings vol. 5454, Photonics Europe 2004, Strasbourg, France, 26.–30.4.2004, pp. 129–136
([1]: Holotools GmbH, Freiburg, Germany)

Gombert, A.; Bläsi, B.; Hoßfeld, W.; Kübler, V.; Niggemann, M.; Nitz, P.; Walze, G.
»Micro-Structured Surfaces for Solar Applications – an Overview«, in: Proceedings, EuroSun 2004, Freiburg, Germany, 20.–23.6.2004, pp. 2/792–2/798

Gopinath, A.; Hebling, C.
»Micro-TPV Devices for Large Power Densities«, in: Tagungsband, Power MEMS 2003, Tokyo, Japan, 4./5.12.2003

Groos, U.
»Mikroenergietechnik für die energieautarke Sensorik – Energieversorgung mit miniaturisierten Brennstoffzellen und Solarmodulen«, in: Proceedings, GMM-Workshop, Energieautarke Sensorik, Kassel, Germany, 16./17.9.2004

Gschwander, S.
»Mikroverkapselte Phasenwechselmaterialen in Fluiden zur Erhöhung der Wärmekapazität«, in: Tagungsband, OTTI-Energie-Kolleg 14. Symposium Thermische Solarenergie, Bad Staffelstein, Germany, 12.–14.5.2004, pp. 348–353

Hakenjos, A.; Zobel, M.; Hebling, C.
»Spatially Resolved Measurement of PEM Fuel Cells«, in: Proceedings, Scientific Advances in Fuel Cell Systems, Munich, Germany, 6.–7.10.2004, O3A.3

Hakenjos, A.; Clausnitzer, J.; Hebling, C.
»Simultaneous Electrical Impedance Spectroscopy of Single Cells in a PEM Fuel Cell Stack«, in: Proceedings, 9th Ulm Electrochemical Talks, Neu-Ulm, Germany, 17.–18.5.2004, p. 71

Hakenjos, A. Hebling, C.
»Diagnostic Tools for PEM Fuel Cells and Stacks«, in: Proceedings, Fuel Cell Seminar 2004, San Antonio/Texas, USA, 1.–5.11.2004

Haussmann, T.; Schossig, P.; Henning, H.-M.
»Latentmaterialen in Baustoffen«, in: Tagungsband, OTTI-Energie-Kolleg 14. Symposium Thermische Solarenergie, Bad Staffelstein, Germany, 12.–14.5.2004, pp. 512–516

Hebling, C.
»Wasserstoff und Brennstoffzellen – Ein Blick in die Zukunft der Energieversorgung«, in: Hot & Cool (2004)

Hebling, C.
»Planar Series Connected Fuel Cells Based on Printed Circuit Board Material«, in: Tagungsband, Small Fuel Cells Conference, Arlington, USA, 3.–7.5.2004

Hebling, C.
»Micro Fuel Cells for Portable Electronic Applications«, in: Tagungsband, 1st Forum Fraunhofer Gesellschaft-Samsung, Dresden, Germany, 9./10.9.2004

Hebling, C.
»Mini-Brennstoffzellen als Ergänzung oder Ersatz von Batterien«, in: Tagungsband, f-cell, Stuttgart, Germany, 27./28.9.2004

Hebling, C.; Aschaber, J.; Gopinath, A.
»Modelling of Energy Conversion in a TPV System«, in: Tagungsband, 6th Conference on Thermophotovoltaic Generation of Electricity, Freiburg, Germany, 13.–14.6.2004, im Druck

Hebling, C.
»Micro Fuel Cell Systems – from Simulations to System Technology«, in: Proceedings Power MEMS 2004, Kyoto, Japan, 28.–30.11.2004, p.137

Henner, K.; Rein, S.; Glunz, S.
»Accurate Determination of Bulk Lifetime and Surface Recombination Velocity by a Comprehensive Thinning Experiment«, in: Proceedings, 19th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Paris, France, 7.–11.6.2004, im Druck

Henning, H.-M.
»A Breath of Fresh Air – Use of Solar-Assisted Air Conditioning in Buildings«, in: Renewable Energy World, 1/2004, pp. 94–103

Henning, H.-M.; Wiemken, E.
»Solar unterstützte Gebäudeklimatisierung – eine Übersicht«, in: KI Klima- und Kältetechnik, Heft 12/2003, pp. 565–573

Henning, H.-M.
»Solar Assisted Air-Conditioning of Buildings – An Overview«, in: Proceedings, 44. Convegno Internazionale AICARR 2004, Milano, Italy, 3./4.3.2004, pp. 1111–1130

Henning, H.-M.
»Solar Assisted Air-Conditioning of Buildings – Overview on Technologies and State-of-the-Art«, in: Proceedings, Climamed 2004, Lisbon, Portugal, 16./17.4.2004, CD-ROM

Henning, H.-M.
»Klimatisieren mit Sonne und Wärme«, in: BINE Informationsdienst, Themen-Info I/04, 4/2004, pp.1–12

Henning, H.-M.
»Wirtschaftlichkeitsanalyse solarthermischer Kühlung«, in: Tagungsband, Solares Kühlen in der Praxis, Stuttgart, Germany, 26./27.4.2004, pp. 25–45

Henning, H.-M.; Pagano, T.[1]; Mola, S.[2]; Wiemken, E.; Menardi, L.[2]
»Micro Tri-Generation System for Indoor Air Conditioning«, in: Proceedings, 3rd International Conference on Heat Powered Cycles, Larnaca, Cyprus, 11.–13.10.2004, auf CD
([1]: AMG Energia S.p.A., Palermo, Italy)
([2]: Centro Ricerche Fiat/Fiat Research Center, Orbassno (TO), Italy)

Henning, H.-M.
»Realisierte solare Kühlanlagen und Nutzungspotentiale«, in: Tagungsband, Tagung »Solares Kühlen«, Vienna, Austria, 7.5.2004, pp. 3/1–3/15

Henning, H.-M.
»Solare Klimatisierung – Stand der Entwicklung«, in: Tagungsband, Tagung »Solares Kühlen«, Vienna, Austria, 7.5.2004, pp. 2/1–2/22

Henning, H.-M.
»Focus R&D sur la Climatisation Solaire – Les Technologies Existantes sur le Marché et leurs Différentes Performances (Marktverfügbare Technologien und Einsatzgebiete)», in: Tagungsband, »Congrès Energie Solaire et Bâtiment«, Paris, France, 14./15.10.2004

Herkel, S.
»Energieeffiziente Bürogebäude«, in: Das Bauzentrum, 11/2003, pp. 6–11

Herkel, S.; Pfafferott, J.;
»Summer 2003 – Impacts on Design of Active and Passive Cooling», in: Proceedings, EuroSun 2004, Freiburg, Germany, 20.–23.6.2004, pp. 2/600–2/608

Herkel, S.; Löhnert, G.; Wagner, A.; Voss, K.
»Schlanke Gebäude – das Förderkonzept Solarbau«, in: Deutsches Architektenblatt, Band 3, 3/2004, pp. 8–11

Herkel, S.; Pfafferott, J.
»Lüftungskonzepte für schlanke Gebäude«, in: Tagungsband, OTTI-Energie-Kolleg Innovative Lüftung in Gebäuden, Regensburg, Germany, 27./28.1.2004, pp. 231–235

Hermann, M.
»FracTherm – Fractal Hydraulic Structures for Energy Efficient Solar Absorbers and Other Heat Exchangers», in: Proceedings, EuroSun 2004, Freiburg, Germany, 20.–23.6.2004, vol. 1, pp. 332–338

Hindenburg, C.; Schnabel, L.; Geucke, T.
»Solare Sorptionsgestützte Klimatisierung – Erfahrungen mit einer Pilotanlage mit Solarluftkollektoren«, in: VDI Bericht Nr. 1783 zur Tagung »Kälteversorgung«, pp.17–25

Hindenburg, C.; Schnabel, L.; Geucke, T.
»Klimatisieren durch Sonne und Wasser – Erfahrungen mit einer Pilotanlage zur sorptionsgestützten Klimatisierung mit Solarluftkollektoren«, in: Beratende Ingenieure, 6/2004, pp. 20–23

Hofmann, M.; Schneiderlöchner, E.; Wolke, W.; Preu, R.
»Silicon Nitride – Silicon Oxide Stacks for Solar Cell Rear Side Passivation«, in: Proceedings, 19th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Paris, France, 7.–11.6.2004, im Druck

Hohl-Ebinger, J.; Warta, W.
»Investigation of Large Area Cell and Module Spectral Response Measurement«, in: Proceedings, 19th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Paris, France, 7.–11.6.2004, im Druck

Hohl, Ebinger, J.; Hinsch, A.; Sastrawan, R.; Warta, W.; Würfel, U.
»Dependence of Spectral Response of Dye Solar Cells on Bias Light Illumination«, in: Proceedings, 19th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Paris, France, 7.–11.6.2004, im Druck

Holz, F.; Meyer, T.; Roth, W.; Benz, J.; Müller, M.[1]
»Universal Energy Supply Protocol (UESP)«, in: Tagungsband, OTTI-Energie-Kolleg 19. Symposium Photovoltaische Solarenergie, Bad Staffelstein, Germany, 10.–12.3.2004, pp. 282–286
([1]: Steca GmbH, Memmingen, Germany)

Hube, W.[1]; Platzer, W.; Schwarz, D.[2]
»Entwicklung eines flüssigkeitsdurchströmten Fassadensystems zur Solarenergiekontrolle und -nutzung«, in: Tagungsband, OTTI-Energie-Kolleg 14. Symposium Thermische Solarenergie, Bad Staffelstein, Germany, 12.–14.5.2004, pp. 342–347
([1]: PSE Projektgesellschaft Solare Energiesysteme, Freiburg, Germany) ([2]: Schwarz Architektur, Domat/Ems, Schwitzerland)

Huljic, D.[1]; Grupp, G.; Horzel, J.[2]; Preu, R.
»Comprehensive Study of Rapid Thermal Firing for Industrial Production of Crystalline Silicon Thick-Film Solar Cells«, in: Proceedings, 19th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Paris, France, 7.–11.6.2004, im Druck
([1]: Q Cells AG, Talheim, Germany)
([2]: RWE SCHOTT Solar, Alzenau, Germany)

Hurrle, A.; Reber, S.; Schillinger, N.; Haase, J. [1]; Reichart, J. G.[1]
»High-Throughput Continuous CVD Reactor for Silicon Deposition«, in: Proceedings, 19th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Paris, France, 7.–11.6.2004, im Druck
([1]: Centrotherm GmbH+Co, Blaubeuren, Germany)

Isenberg, J.; Warta, W.
»Illuminated Lock-In Thermography (ILT) – New Method for Spatially Resolved Assessment of Power Losses in Solar Cells«, in: Proceedings, 19th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Paris, France, 7.–11.6.2004, im Druck

Isenberg, J.; Riepe, S.; Schubert, M.; Glunz, S.; Warta, W.
»Spatially Resolved IR-Measurement Techniques For Solar Cells«, in: Proceedings, 19th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Paris, France, 7.–11.6.2004, im Druck

Janz, S.; Bau, S.; Lutz, F.; Schetter, C.; Reber, S.
»PECVD-SIC As Intermediate Layer for Crystalline Silicon Thin-Film Solar Cells on Ceramic Substrates«, in: Proceedings, 19th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Paris, France, 7.–11.6.2004, im Druck

Kaiser, R.; Wenzl, H.[1]
»Development of Test Procedures for Benchmarking Components in Renewable Energy Systems Applications, in particular Energy Storage Systems«, in: Proceedings, EuroSun 2004, Freiburg, Germany, 20.–23.6.2004, p. 9
([1]: Beratung für Batterien und Energietechnik, Germany)

Kampwerth, H.; Rein, S.; Glunz, S.
»Accurate Determination of Bulk Lifetime and Surface Recombination Velocity by a Comprehensive Thinning Experiment«, in: Proceedings, 19th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Paris, France, 7.–11.6.2004, im Druck

Kenanoglu, A.[1]; Borchert, D.[1]; Rinio, M.[1]; Abusnina, M.[1]; Diez, S.
»Deposition of A-SINX:H on Solar Cells at 13.56 MHZ«, in: Proceedings, 19th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Paris, France, 7.–11.6.2004, im Druck
([1]: Fraunhofer ISE Labor- und Servicecenter Gelsenkirchen, Germany)

Kiefer, K.; Hoffmann, V.
»Betriebserfahrungen und Messergebnisse von netzgekoppelten Photovoltaik-Anlagen in Deutschland – eine Langzeitstudie«, in: Tagungsband, OTTI-Energie-Kolleg 19. Symposium Photovoltaische Solarenergie, Bad Staffelstein, Germany, 10.–12.3.2004, pp. 75–80

Köhl, M.; Orel, B.[1]
»Farbige selektive Lacke für Solarfassaden«, in: Tagungsband, OTTI-Energie-Kolleg 14. Symposium Thermische Solarenergie, Bad Staffelstein, Germany, 12.–14.5.2004, pp. 123–127
([1]: National Institute of Chemistry, Ljubljana, Slovenia)

Köhl, M.; Heck, M.; Kübler, V.
»Prüfung und Optimierung des Mikroklimas in Solarkollektoren«, in: Tagungsband, OTTI-Energie-Kolleg 14. Symposium Thermische Solarenergie, Bad Staffelstein, Germany, 12.–14.5.2004, pp. 467–473

Köhl, M.; Heck, M.; Brunold, S.[1]; Frei, U.[1]; Carlsson, B.[2]; Kenneth, M.[2]
»Gebrauchsdauerabschätzung von Solarabsorbern«, in: Tagungsband, OTTI-Energie-Kolleg 14. Symposium Thermische Solarenergie, Bad Staffelstein, Germany, 12.–14.5.2004, pp. 204–209
([1]: SPF Institut für Solartechnik Hochschule Rapperswil HSR, Rapperswil, Switzerland)
([2]: Swedish National Testing & Research Institute, Boras, Sweden)

Köhl, M.; Heck, M.; Kübler, V.
»Optimisation of the Micro-Climate in Solar Collectors«, in: Proceedings, EuroSun, Freiburg, Germany, 20.–23.6.2004, pp. 1/393–1/401

Koschikowski, J.; Rommel, M.; Wieghaus, M.
»Solar Thermal-Driven Membrane Distillation for Small-Scale Desalination Plants«, in: Proceedings, EuroSun, Freiburg, Germany, 20.–23.6.2004, pp. 1/412–1/421

Kračovec, U. O.; Georg, Anneke; Georg, Andreas; Wittwer, V., Luther, J.; Topic, M.
«Performance of a Solid-State Photoelectrochromic Device», in: Solar Energy Materials & Solar Cells, 84/2004, pp. 369–380

Kray, D.; Kampwerth, H.; Schneiderlöchner, E; Grohe, A.; Kamerewerd, F. J.; Leimenstoll, A.; Osswald, D.; Schäffer, E.; Seitz, S.; Wassie, S.; Glunz, S. W.; Willeke G. P.
»Comprehensive Experimental Study on the Performance of Very Thin Laser-Fired Solar Cells«, in: Proceedings, 19th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Paris, France, 7.–11.6.2004, im Druck

Kuhn, T.; Platzer, W. J.
»Stand der Technik bei Sonnenschutz und Tageslichtnutzung«, in: Tagungsband, OTTI-Energie-Kolleg 14. Symposium Thermische Solarenergie, Bad Staffelstein, Germany, 12.–14.5.2004, pp. 533–538

Kuhn, T. E.; Wienold, J.
»Leistungsfähigkeit der neuen Sonnenschutzsysteme von Clauss Markisen und Hüppelux«, in: Tagungsband, OTTI-Energie-Kolleg Innovative Lüftung in Gebäuden, Regensburg, Germany, 27./28.1.2004, pp. 533–539

Kuhn, T. E.; Pfafferott, J.
»Wege zu einem guten Arbeitsklima«, in: Licht, Architektur, Technik, 4/2004, pp. 48–49

Laukamp, H.; Erge, T.; Meyer, T.; Thoma, M.
»Stromüberschüsse aus Photovoltaik im Niederspannungsnetz – ein technisches Problem?«, in: Tagungsband, OTTI-Energie-Kolleg 19. Symposium Photovoltaische Solarenergie, Bad Staffelstein, Germany, 10.–12.3.2004, pp.173 ff

Laukamp, H.; Thomas, M.; Erge, T.; Meyer, T.
»Impact of a Large Capacity of Distributed PV Production on the Low Voltage Grid«, in: Proceedings, 19th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Paris, France, 7.–11.6.2004, im Druck

Lee, J. Y.; Glunz, S.
»Boron-Back Surface Field with Spin-On Dopants by Rapid Thermal Processing«, in: Proceedings, 19th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Paris, France, 7.–11.6.2004, im Druck

Lenz, B.; Aicher, T.
»Auf dem Weg zur Brennstoffzelle im Flugzeug – Fortschritte bei der Kerosinreformierung«, in: 56 BWK (2004), pp. 31–32

Lenz, B.
»Performance of a Combined Reformer/SOFC System for Aircraft Application«, in: Proceedings, Sixth European Solid Oxide Fuel Cell Forum, Lucerne, Switzerland, 28.6.–2.7.2004, pp. 1544 ff

Lenz, B.
«Catalytic Autothermal Reforming for Aerospace Applications«, in: Tagungsband, International Symposium & Workshop on Fuel Cells and Hydrogen for Aerospace & Maritime Applications, Hamburg, Germany, 16./17.9.2004, pp. 109–118

Lerchenmüller, H.; Mertins, M.; Morin, G.; Häberle, A.[1]; Bockamp, S.[2]; Ewert, M.[2]; Fruth, M.[2]; Griestop, T.[2]; Dersch, J.[3]
»Fresnel-Collectors in Solar Thermal Power Plants with High Solar Shares», in: Proceedings, EuroSun 2004, Freiburg, Germany, 20.–23.6.2004, pp. 1/901–1/910
([1]: PSE GmbH, Freiburg, Germany) ([2]: E.ON Energie AG, Munich, Germany) ([3]: German Aerospace Centre (DLR), Cologne, Germany)

Lerchenmüller, H.; Morin, G.; Mertins, M.; Ewert, M.[1]; Fruth, M.2; Bockamp, S.[2]; Griestop, T.[2]; Häberle, A.[3]
»Plug-In Strategy for Market Introduction of Fresnel-Collectors«, in: Proceedings, 12th SolarPACES Internationales Symposium, Oaxaca, Mexico, 6.–8.10.2004, im Druck
([1]: E.ON Energie AG, Munich, Germany) ([2]: E.ON Engineering GmbH, Gelsenkirchen, Germany) ([3]: PSE GmbH, Freiburg, Germany)

Létay, G.[1]; Baur, C.; Bett, A. W.
»Theoretical Investigations of III-V Multi-Junction Concentrator Cells Under Realistic Spectral Conditions«, in: Proceedings, 19th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Paris, France, 7.–11.6.2004, im Druck
([1]: Freiburger Materialforschungszentrum FMF, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Germany)

Löckenhoff, R.; van Riesen, S.[1]; Bett, A.
»Monolithisch Integrierte Module als Konzentrator-Solarzellen«, in: Tagungsband, Deutsche Physikalische Gesellschaft, Frühjahrstagung, Regensburg, Germany, 8.–12.3.2004, p. 190
([1]: Freiburger Materialforschungszentrum FMF, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Freiburg, Germany)

Luque, A.[1]; Martí, A.[1]; Cuadra, L.[1]; Algora, C.[1]; Wahnon, P.1; Sala, G.[1]; Benítez, P.[1]; Bett, A. W.; Gombert, A.; Andreev, V. M.[2]; Jaussaud, C.[3]; van Roosmalen, J.[4]; Alonso, J.[5]; Räuber, A.[6]; Stroble, G.[7]; Stolz, W.[8]; Bitnar, B.[9]; Stanley, C.[10]; Conesa, J. C.[11]; Van Sark, W.[12]; Barnham, K.[13]; Danz, R.[14]; Meyer, T.[15]; Luque-Heredia, I.[16]; Kenny, R.[17]; Christofides, C.[18]
»FULLSPECTRUM: A New PV Wave of More Efficient Use of the Solar Spectrum«, in: Proceedings, 19th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Paris, France, 7.–11.6.2004, im Druck
([1]: Universidad Politécnica de Madrid IES-UPM, Madrid, Spain) ([2]: Ioffe Physicotechnical Institute, St Petersburg, Russia) ([3]: CEA Dep. pour les Technologies des Energies Nouvelles, Grenoble, France) ([4]: ECN, Petten, The Netherlands) ([5]: Isofotón, Málaga, Spain) ([6]: Projektgesellschaft Solare Energiesysteme, Freiburg, Germany) ([7]: RWE Solar Space Power, Heilbronn, Germany) ([8]: Philipps-Universität Marburg, Germany) ([9]: PSI, Villigen, Switzerland) ([10]: University of Glasgow, Glasgow, Scottland) ([11]: ICP-CSIC, Madrid, Spain) ([12]: University of Utrecht, Utrecht, The Netherlands) ([13]: Imperial College, London, UK) ([14]: Fraunhofer-Institut für Angewandte Polymerforschung IAP, Golm, Germany) ([15]: Solaronix, Aubonne, France) ([16]: Inspira, Las Rozas, Madrid, Spain) ([17]: European Commission, DG JRC, Ispra, Italy) ([18]: University of Cyprus, Nicosia, Cyprus)

Mertins, M.[1]; Häberle, A.[2]; Lerchenmüller, H.
»Geometry Optimization of Fresnel-Collectors with Economic Assessment», in: Proceedings, EuroSun 2004, Freiburg, Germany, 20.–23.6.2004, pp. 1/918–1/925
([1]: Universität Karlsruhe, Germany) ([2]: PSE GmbH, Freiburg, Germany)

Meusel, M.[1]; Dimroth, F.; Baur, C.; Siefer, G.; Bett, A. W.; Volz-Koch, K.[2]; Stolz, W.[2]; Strobl, G.[3]; Signorini, C.[4]; Hey, G.[5]
»European Roadmap for the Development of III-V Multi-Junction Space Solar Cells«, in: Proceedings, 19th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Paris, France, 7.–11.6.2004, im Druck
([1]: Freiburger Materialforschungszentrum FMF, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Germany) ([2]: Philipps-Universität, Marburg, Germany) ([3]: RWE Space Solar Power GmbH, Heilbronn, Germany) ([4]: European Space Research & Technology Centre ESTEC, Noordwijk, The Netherlands) ([5]: German Aerospace Center DLR, Bonn, Germany)

Meusel, M.; Baur, C.; Siefer, G.; Dimroth, F.; Bett, A. W.; Warta, W.
»Characterization of Monolithic III-V Multi-Junction Solar Cells – Challenges and Application«, in: Proceedings, 14th International Photovoltaic Science and Engineering, Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand, 26.–30.1.2004, pp.113–116

Meyer, T.; Wittwer, C.
»Dezentralisierung der Energieversorgung: Herausforderungen und Chancen verteilter Erzeugung in Niederspannungsnetzen und Gebäuden«, in: Verein Beratende Ingenieure, Juli/Aug.2004, pp. 37–40

Mohr, A.; Hermle, M.; Roth, T.; Glunz, S. W.
»Influence of Grid Finger and Bus Bar Structure on the Performance of Rear-Line-Contacted Silicon Concentrator Cells«, in: Proceedings, 19th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Paris, France, 7.–11.6.2004, im Druck

Mohr, A.; Roth, T.; Glunz, S. W.
»Silicon Concentrator Cells with Compound Parabolic Concentrators«, in: Proceedings, 19th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Paris, France, 7.–11.6.2004, im Druck

Morin, G.; Lerchenmüller, H.; Mertins, M.; Ewert, M.[1]; Fruth, M.2; Bockamp, S.[2]; Griestop, T.[2]; Häberle, A.[3]
»Plug-In Strategy for Market Introduction of Fresnel-Collectors«, in: Proceedings, 12th SolarPACES Internationales Symposium, Oaxaca, Mexico, 6.–8.10.2004, im Druck
([1]: E.ON Energie AG, Munich, Germany) ([2]: E.ON Engineering GmbH, Gelsenkirchen, Germany) ([3]: PSE GmbH, Freiburg, Germany)

Motta, M.; Henning, H.-M.
»An Advanced Solar Assisted Sorption Cylce for Building Air-Conditioning: the ECOS Potential and Performance Assessment«, in: Proceedings, EuroSun 2004, Freiburg, Germany, 20.6.–23.6.2004, pp. 2/069–2/076

Motta, M.; Henning, H. M.
»An Original Heat Driven Air-Conditioning Concept: Advanced Desiccant and Evaporative Cooling Cycle Numerical Analysis«, in: Proceedings, Aicarr International Conference, Milan, Italy, 3./4.3.2004, pp. 1149–1166

Müller, T.[1]; Wagner, W.[1]; Hausner, R.[1]; Köhl, M.; Herkel, S.; Orel, B.[2]; Höfler, K.[3]
»Colourface – Farbige Fassadenkollektoren«, in: Proceedings, Internationales Symposium für Sonnenenergienutzung, Gleisdorf, Austria, 8.–11.9.2004, pp. 79–93
([1]: AEE-INTEC, Gleisdorf, Austria) ([2]: National Institute of Chemistry, Ljubljana, Slovenia) ([3]: TB für Bauphysik, Graz, Austria)

Müller, T.[1]; Wagner, W.[1]; Hausner, R.[1]; Köhl, M.; Herkel, S.; Orel, B.[2]; Höfler, K.[3]
»Colourface – Coloured Collector Facades for Solar Heating Systems and Building Insulation«, in: Proceedings, EuroSun, Freiburg, Germany, 20.–23.6.2004, pp. 1/500–1/508
([1]: AEE-INTEC, Gleisdorf, Austria) ([2]: National Institute of Chemistry, Ljubljana, Slovenia)
([3]: TB für Bauphysik, Graz, Austria)

Niggemann, M.; Glatthaar, M.; Gombert, A.; Hinsch, A.; Wittwer, V.; Zimmermann, B.
»Micro Prisms and Buried Nano-Electrodes – Cell Architectures for Organic Solar Cells«, in: Proceedings, EuroSun 2004, Freiburg, Germany, 20.–23.6.2004, pp. 3/340–3/344

Nitz, P.
»Sonnenschutz und Lichtlenkung durch mikrostrukturierte Oberflächen«, in: Protokoll des Glasforums, Glasforum der deutschen Glastechnischen Gesellschaft, Fraunhofer-Institut für Silicatforschung ISC, Würzburg, Germany, 16.3.2004, pp. 19–32

Nitz, P.; Gombert, A.; Bläsi, B.; Georg, A.; Walze, G.; Hoßfeld, W.
»Lichtlenkende Mikrostrukturen mit optisch-funktionalen Beschichtungen«, in: Tagungsband, OTTI-Energie-Kolleg 10. Symposium Innovative Lichttechnik in Gebäuden, Bad Staffelstein, Germany, 29./30.1.2004, pp. 30–35

Nitz, P.
»Die nächsten 40 Jahre – ein Blick in die Zukunft«, Gastbeitrag in Firmenjubiläumsbrochüre »dialog«, von elero, 2/2004, p. 3

Nitz, P.; Gombert, A.; Georg, A.; Mick, J.; Hossfeld, W.; Walze, G.
»Verbundprojekt MIKROFUN 2 – Teilprojekt »Optimierung der Strukturen und Beschichtungen und Entwicklung von Produktionstechniken««, in: Tagungsband, BMWA-Statusseminar, Statusbericht ENOB, Freiburg, Germany, 5./6.5.04, pp. 57–63

Núnez, T.; Mittelbach, W.[1]; Henning, H.-M.
»Development of an Adsorption Chiller and Heat Pump for Domestic Heating and Air-Conditioning«, in: Proceedings, 3rd International Conference on Heat Powered Cycles, Larnaca, Cyprus, 11.–13.10.2004, erhältlich auf CD, ISBN 01874418353, Dokument Nr. 2216
([1]: SorTech AG, Freiburg, Germany)

Núnez, T.; Mittelbach, W.1; Henning, H.-M.
»Entwicklung und Nutzungspotential eines Sorptionsreaktors zur solaren Heizung und Kühlung«, in: Tagungsband, Gleisdorf Solar 2004, Gleisdorf, Austria, 8.–11.9.2004, pp. 193–199
([1]:SorTech AG, Freiburg, Germany)

Peters, S.; Preu, R.; Hickel, P.-E.[1]; Horzel, J.[2]; Noel, S.[3]
»On the Photon-Enhanced Diffusion of Phosphorus in Silicon Wafers during Rapid Thermal Isothermal Processing«, in: Proceedings, 19th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Paris, France, 7.–11.6.2004, im Druck
([1]: Qualiflow-Jipelec, Montpellier, France)
([2]: RWE SCHOTT Solar, Alzenau, Germany)
([3]: CEA-GENEC, Grenoble, France)

Pfafferott, J.; Herkel, S.
»Passive Kühlung im Energiekonzept – Ergebnisse aus fünf Monitoringprojekten«, in: Tagungsband, OTTI-Energie-Kolleg 14. Symposium Thermische Solarenergie, Bad Staffelstein, Germany, 12.–14.5.2004, pp. 540–544

Pfafferott, J.; Herkel, S.; Wagner, A.[1]
»Sommer 2003: Müssen unsere Bürogebäude klimatisiert werden?«, in: HLH, 3/2004, pp. 24–31
([1]: Universität Kalrsruhe, fbta, Karlsruhe, Germany)

Pfafferott, J.; Herkel, S.; Seeberger, P.[1]
»Kühlen ohne Klimaanlage?«, in: Solares Bauen, Sonderheft der Sonnenergie, 10/2004, pp. 69–73.
([1]: Fachhochschule für Technik, Fachbereich Bauphysik, Stuttgart, Germany)

Pfafferott, J.
»Passive Kühlung mit Nachtlüftung«, in: Loseblattsammlung Facility Management, dwd Verlag, Ergänzungslieferung 9/2004, Kapitel 6.13.

Pfafferott, J.
»Pro-Statement zur Frage »Ist Klimaanlagen vermeiden ein primäres Planungsziel?««, in: cci-print, Ausgabe 7/2004, p.18

Pfafferott, J.; Herkel, S.; Knapp, U.
»Hybrid Ventilation And User Behaviour In Summer«, in: Proceedings, 25th Conference of the Air Infiltration and Ventilation Centre, Prague, Czech Republic, 15.–17.9.2004, pp. 287–292

Pfanner, N.
»Leuchtdioden (LED) als innovatives Leuchtmittel – Ein Überblick zum Stand der Technik und den Chancen der neuen Technologie«, in: Tagungsband, OTTI-Energie-Kolleg 10. Sym–posium Innovative Lichttechnik in Gebäuden, Bad Staffelstein, Germany, 29./30.1.2004, pp.18–22

Pfanner, N.
«Leuchtdioden als innovatives Leuchtmittel. Ein Überblick zum Stand der Technik und den Chancen der neuen Technologie«, in: Licht, 4/2004, pp. 6–8

Pfanner, N.
»LED – innovative Technologie für neue Beleuchtungssysteme«, in: Elektrojournal, 11/2004, pp. 60–63

Platzer, W.
»Energetische Bewertung von Fassaden – Anforderungen und Umsetzung der EU-Richtlinie zur Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden in nationales Recht«, in: Tagungsband, OTTI-Energie-Kolleg 14. Symposium Thermische Solarenergie, Bad Staffelstein, Germany, 12.–14.5.2004, pp. 326–335

Platzer, W.
»Measurement of Angle-Dependent Properties of Different Solar Protection Devices«, in: Proceedings, EuroSun 2004, Freiburg, Germany, 20.–23.6.2004, pp. 2/842–2/851

Polato, P.[1]; Rossi, G.[2]; Roucour, J.[3]; Simons, J.[4]; Wilson, H. R.;
»Spectrophotometric Determination of Visible and Solar Parameters of Sand-Blasted Glass Panes and Translucent Glass Laminates«, in: Revista della Stazione Sperimentale del Vetro, vol. 5/2003, pp. 5–18
([1]: Stazione Sperimentale del Vetro, Murano-Venezia, Italy) ([2]: IEN Galileo Ferraris, Torino, Italy) (3: Glaverbel R&D, Jumet, Belgium)
([4]: Institut Interuniversitaire de Silicates, Sols et Materiaux, Mons, Belgium)

Poortmans, J.; Reber, S.; Gall, S.; Zahedi, C.; Alonso, J.
»European Cluster on High- and Intermediate Temperature Thin-Film Crystalline SI Solar Cells R&D: An Overview of Running Projects and Underlying Roadmap«, in: Proceedings, 19th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Paris, France, 7.–11.6.2004, im Druck

Preu, R.; Emanuel, G.; Untiedt, D.[1]; Klappert, S.[1]; Schmidhuber, H.; Biro, D.; Voyer, C.; Wolke, W.; Schneiderlöchner, E.
»Innovative and Efficient Production Processes for Silicon Solar Cells and Modules – SOLPRO IV«, in: Proceedings, 19th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Paris, France, 7.–11.6.2004, im Druck
([1]: Fraunhofer-Institut für Produktionstechnologie IPT, Aachen, Germany)

Reber, S.; Schmidhuber, H.; Lautenschlager, H.; Lutz, F.
»Solar Mini Module Made with Epitaxial Crystalline Silicon Thin-Film Wafer Equivalents«, in: Proceedings, 19th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Paris, France, 7.–11.6.2004, im Druck

Reber, S.; Bau, S.; Waldenmayer, B.; Schillinger, N.
»Progress in High-Temperature Silicon Epitaxy Using the RTCVD160 Processor«, in: Proceedings, 19th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Paris, France, 7.–11.6.2004, im Druck

Rein, S.; Glunz, S. W.
»Advanced Lifetime Spectroscopy – Methodology and Experimental Proof«, in: Proceedings, 19th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Paris, France, 7.–11.6.2004, im Druck

Rein, S.; Diez, S.; Glunz, S. W.
»Temperature- and Injection-Dependent Lifetime Spectroscopy (T-IDLS): Advanced Analysis«, in: Proceedings, 19th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Paris, France, 7.–11.6.2004, im Druck

Reis, M. A.[1]; Chaves, P. C.[1]; Corregidor, V.[1]; Barradas, N. P.[2]; Alves, E.[2]; Dimroth, F.; Bett, A. W.
»Grazing Detection Geometry for PIXE Characterization of Thin Films«, in: Proceedings, 10th International Conference on Particle Induced X-ray Emission (PIXE) and its Analytical Applications, Portoro, Slovenia, 4.–8.6.2004, 829/1–829/3
([1]: ITN, Sacavém, Portugal) ([2]: ITN, Sacavém, Portugal und Centro de Fisica Nuclear da Universidade de Lisboa, Lisbon, Portugal)

Reise, C.
»Power Flow Estimation for Future Solar Electricity Grids«, in: Proceedings, EuroSun 2004, Freiburg, Germany, 20.–23.6.2004, pp. 3/879–3/888

Reise, C.
»Tageslicht und Sonnenschutz«, in: Lpi Leuchten Pro-In, November 2004, pp. 12–14

Rentsch, J.; Sparber, W.; Preu, R.; Glunz, S. W.; Peters, S.[1]; Neuhaus, H.[1]; Lüdemann, R.[1]
»Production Experience and Lifetime Investigations of Industrially Fabricated p-Type Cz-Silicon Solar Cells«, in: Proceedings, 19th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Paris, France, 7.–11.6.2004, im Druck
([1]: Deutsche Cell GmbH, Freiberg/Sachsen, Germany)

Rentsch, J.; Binaie, F.; Schetter, C.; Schlemm, H.[1]; Roth, K.[1]; Theirich, D.[2]; Preu, R.
»Dry Phosphorus Silicate Glass Etching for Crystalline Si Solar Cells«, in: Proceedings, 19th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Paris, France, 7.–11.6.2004, im Druck
([1]: Roth & Rau AG, Hohenstein-Ernstthal, Germany) ([2]: fmt, Wuppertal, Germany)

Riepe, S.; Ghosh, M.[1]; Müller, A.[1]; Lautenschlager, H.; Grote, D.; Warta, W.; Schindler, R.
»Increased Wafer Yield for Solar Cells in Top and Bottom Regions«, in: Proceedings, 19th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Paris, France, 7.–11.6.2004, im Druck
([1]: Deutsche Solar AG, Freiberg, Germany)

Rinio, M.[1]; Ballif, C.[2]; Buonassisi, T.[3]; Borchert, D.[1]
»Defects in the Deteriorated Border Layers of Block-Cast Multicrystalline Silicon Ingots«, in: Proceedings, 19th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Paris, France, 7.–11.6.2004, im Druck
([1]: Fraunhofer ISE Labor- und Servicecenter Gelsenkirchen, Germany) ([2]: EMPA Swiss Federal Laboratories, Thun, Switzerland) ([3]: Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, USA)

Rommel, M.; Siems, T.; Becker, R.; Schüle, K.
»Experimental Investigations on the Stagnation Behaviour of Single Collector Modules and Conclusions on the Behaviour of Complete Collector Fields«, in: Proceedings, EuroSun 2004, Freiburg, Germany, 20.–23.6.2004, pp. 611–616

Rommel, M.
»Overview on New Developments of Solar Thermal Collectors for the Temperature Range of 80° to 250°«, in: Proceedings, EuroSun 2004, Freiburg, Germany, 20.–23.6.2004, pp. 1/617–1/625

Rommel, M.
»Neue Kollektorentwicklung für den Mitteltemperaturbereich bis 250°C«, in: Tagungsband, Gleisdorf Solar 2004, Gleisdorf, Austria, 8.–11.9.2004, pp.167–175

Roth, K.[1]; Rentsch, J.; Binaie, F.; Schetter, C.; Preu, R.; Schlemm, H.[1]
»Inline Plasma Etching of Silicon Oxides and Nitrides for Dry Processing in Silicon Solar Cells Fabrication«, in: Proceedings, 19th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Paris, France, 7.–11.6.2004, im Druck
([1]: Roth & Rau AG, Hohenstein-Ernstthal, Germany)

Roth, T.; Mohr, A.; Glunz, S. W.
»Fast Acquisition of the Characteristics of Silicon Concentrator Solar Cells«, in: Proceedings, 19th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Paris, France, 7.–11.6.2004, im Druck

Roth, W.; Steinhüser, A.; Nawrath, I.[1]
»Bereitstellung von Wasserstoff in autonomen Stromversorgungssystemen«, in: Tagungsband, OTTI-Energie-Kolleg 19. Symposium Photovoltaische Solarenergie, Bad Staffelstein, Germany, 10.–12.3.2004, pp. 430–435
([1]: basi Schöberl GmbH & Co.KG, Rastatt, Germany)

Russ, C.; Hastings, R.[1]
»Efficient Building Design for Low Energy Housing«, in: Proceedings, EuroSun 2004, Freiburg, Germany, 20.–23.6.2004, pp. 2/405–2/412
([1]: Architektur, Energie und Umwelt GmbH, Wallisellen, Switzerland)

Russ, C.; Voss, K.; Hastings, R.
»Zukunft für Zuhause – Effiziente Wohngebäude mit solar unterstützter Energieversorgung«, in: Sonnenenergie 2, 3/2004, pp. 31–35

Russ, C.
»Solares Bauen – Mehr Marktnähe für Ergebnisse aus Forschung und Entwicklung«, in: Sonderheft Solares Bauen, oct. 2004, pp. 90–92

Schlegl, T.[1]; Dimroth, F.; Ohm, A.; Bett, A. W.
»TPV Modules Based on GaSb Structures«, in: AIP Conference Proceedings, 6th Conference on Thermophotovoltaic Generation of Electricity TPV 6, Freiburg, Germany, 2004, im Druck
([1]: Freiburger Materialforschungszentrum FMF, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Germany)

Schlegl, T.[1]; Abbott, P.; van Riesen, S.; Bett, A. W.
»Degradation Study of MOVPE-Grown and Zinc-Diffused GaSb Cells for Thermophotovoltaic Applications«, in: AIP Conference Proceedings, 6th Conference on Thermophotovoltaic Generation of Electricity TPV 6, Freiburg, Germany, 2004, im Druck
([1]: Freiburger Materialforschungszentrum FMF, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Germany)

Schlegl, T[1].; Sulima, O. V.; Bett, A. W.
»The Influence of Surface Preparation on Zn-Diffusion Processes in GaSb«, in: AIP Conference Proceedings, 6th Conference on Thermophotovoltaic Generation of Electricity TPV 6, Freiburg, Germany, 2004, im Druck
([1]: Freiburger Materialforschungszentrum FMF, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Germany)

Schmidhuber, H.; Hebling, C.
»A Novel Module Concept for High Efficient Device Integrated Solar Cells«, in: Proceedings, EuroSun 2004, Freiburg, Germany, 20.–23.6.2004, pp. 3/300–3/307

Schnabel, L.; Hindenburg, C.; Geucke, T.
»Detailed Monitoring Results of the First Thermally Solar Autonomous Air Conditioning System in Germany«, in: Proceedings, EuroSun 2004, Freiburg, Germany, 20.–23.6.2004, pp. 2/113–2/122

Schneiderlöchner, E.; Emanuel, G.; Grupp, G.; Lautenschlager, H.; Leimenstoll, A.; Glunz, S. W.; Preu, R.; Willeke, G.
»Silicon Solar Cells with Screen Printed Front Contact and Dielectrically Passivated, Laser-Fired Rear Electrode«, in: Proceedings, 19th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Paris, France, 7.–11.6.2004, im Druck

Schneiderlöchner, E.; Glunz, S. W.; Kray, D.; Preu, R.; Willeke, G.
»Laser-Fired Contacts – Technologie zur Herstellung von hocheffizienten Solarzellen auf ultradünnen Siliciumscheiben«, in: Proceedings, Materialien und Verfahren zur Herstellung von Solarzellen, Frankfurt am Main, Germany, 1.4.2004

Schossig, P.; Henning, H.-M.; Haussmann, T.
»Microencapsulated Phase Change Materials Integrated into Construction Materials«, in: Proceedings, EuroSun 2004, Freiburg, Germany, 20.–23.6.2004, pp. 2/413–2/421

Schubert, M.; Isenberg, J.; Rinio, M.; Warta, W.
»Temperature Dependent Carrier Lifetime Images«, in: Proceedings, 19th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Paris, France, 7.–11.6.2004, im Druck

Schultz, O.; Glunz, S. W.; Goldschmidt, J. G.; Lautenschlager, H.; Leimenstoll, A.; Schneiderlöchner, E.; Willeke, G.
»Thermal Oxidation Processes for High-Efficiency Multicrystalline Silicon Solar Cells«, in: Proceedings, 19th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Paris, France, 7.–11.6.2004, im Druck

Schultz, O.; Riepe, S.; Glunz, S. W.
»Thermal Degradation and Gettering of Solar Grade Multicrystalline Silicon«, in: Proceedings, 19th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Paris, France, 7.–11.6.2004, im Druck

Seibert, U.; Holz, F.; Vogt, G.; Brennig, C.; Gebhard, R.
»Autonomous Desalienation System Concepts for Sea Water and Brackish Water in Rural Areas with Renewable Energies – Potentials, Technologies, Field Experience, Socio-Technical and Socio-Economic Impacts – ADIRA«, in: Proceedings, 19th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Paris, France, 7.–11.6.2004, im Druck

Sicre, B.; Bühring A.; Vetter, M.
»Mikro-KWK-Anlagen für Wohngebäude: Umweltpotenziale, Marktfähigkeit und Zusammenwirken mit thermischen Solaranlagen«, in: Tagungsband, OTTI-Energie-Kolleg 14. Symposium Thermische Solarenergie, Bad Staffelstein, Germany, 12.–14.5.2004, pp. 174–180

Sicre, B.; Bühring, A.; Vetter, M.
»CHP Plants in Residential Buildings: Environmental Potential and Economic Feasibility when Combined with Thermal Solar Systems«, in: Proceedings, EuroSun 2004, Freiburg, Germany, 20.–23.6.2004, pp. 3/620–3/627

Sicre, B.; Ullah, S.; Bühring, A.
»Energy Economic Assessment of Solid Oxide Fuel Cell Applications in Residential Buildings«, in: Proceedings, TRNSYS Usertag 2004, Stuttgart, Germany, 26.3.2004

Siefer, G.; Bett, A. W.; Emery, K.[1]
»One Year Outdoor Evaluation of a FLATCONTM Concentrator Module«, in: Proceedings, 19th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Paris, France, 7.–11.6.2004, im Druck
([1]: National Renewable Energy Laboratory, Golden, Colorado, USA)

Steinhüser, A.; Kaiser, R.; Reich, N.; Roth, W.; Schneider, M.[1]; Höcker, V.[1]
»Brennstoffzellen zur dezentralen Stromversorgung auf dem Rappenecker Hof«, in: Tagungsband, OTTI-Energie-Kolleg 19. Symposium Photovoltaische Solarenergie, Bad Staffelstein, Germany, 10.–12.3.2004, pp.105–112
([1]: Phocos AG, Ulm, Germany)

Steinhüser, A.; Kaiser, R.; Kosack, F.; Reich, N.; Adelmann, P.[1]
»Photovoltaics and Fuel Cells for a Decentralised Power Supply at the Rappenecker Hof«, in: Proceedings, 19th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Paris, France, 7.–11.6.2004, im Druck
([1]: Phocos AG, Ulm, Germany)

Steinhüser, A.; Kaiser, R.; Kosack, F.; Reich, N.; Adelmann, P.[1]
»Fuel Cells for Distributed Power Supply at the Rappenecker Hof«, in: Proceedings, EuroSun 2004, Freiburg, Germany, 20.–23.6.2004, pp. 3/324–3/329
([1]: Phocos AG, Ulm, Germany)

Stokkan, G.[1]; Biro, D.; Hagen, G.[1]; Isenberg, J.; Warta, W.
»Nafion, Polymer Film as a Low-Temperature Passivation for Lifetime Measurements on Silicon Wafers«, in: Proceedings, 19th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Paris, France, 7.–11.6.2004, im Druck
([1]: Norwegian University of Science and Technology, Trondheim, Norway)

Strobl, G.[1]; Dietrich, R.[1], Köstler, W.[1]; Kern, R.[1]; Hilgarth, J.[1]; LaRoche, G.[1]; Nell, M.[1]; Rothenbacher, S.[1]; Zimmermann, W.[1]; Bett, A. W.; Dimroth, F.; Meusel, M.; Taylor, S.[2]; Signorini, C.[2]; Hey, G.[3]
»Development and Qualification Status of European Triple Junction Solar Cells for Space Applications«, in: Proceedings, 19th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Paris, France, 7.–11.6.2004, im Druck
([1]: RWE Space Solar Power GmbH, Heilbronn, Germany) ([2]: ESA/ESTEC, Noordwijk, The Netherlands) ([3]: DLR, Bonn, Germany)

Susdorf, A.; Chigapov, A. N.[1]
»Low-Temperature CO Removal by SelOx and WGSR on Cu-Based Catalyst«, in: Proceedings, The 13th International Congress on Catalysis, Paris, France, 11.–16.6.2004, P4–146
([1]: Ford Forschungszentrum, Aachen, Germany)

Van Riesen, S.[1]; Löckenhoff, R.; Bett, A. W.; Dimroth, F.
»GaAs-Monolithically Interconnected Modules (MIMs) with an Efficiency above 20%«, in: Proceedings, 19th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Paris, France, 7.–11.6.2004, im Druck
([1]: Freiburger Materialforschungszentrum FMF, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Germany)

Van Roekel, G.[1]; Gölz, S.; Westra, C.[1]; Gomez, V.[2]; Montero, M.[2]; Ramirez, E.; Vogt, G.
»Social Practice for Renewable Energy Systems in Rural Electrification SOPRA-RE«, in: Projektbroschüre, im Rahmen des EU-Projektes SOPRA-RE, March 2004
([1]: Netherlands Energy Research Foundation ECN, LE Petten, The Netherlands) ([2]: University Carlos III of Madrid, Department of Political Science & Sociology, Getafe, Madrid, Spain) ([3]: Trama Tecnoambiental, Barcelona, Spain)

Vogt, G; Bopp, G.; Fleißner, D.; Gölz, S.; Roth, W.; Sauer, D. U.
»Bedarfsorientiertes Trainingsangebot im Bereich Photovoltaik – Vermittlung sozialer, technischer und betriebswirtschaftlicher Kompetenzen«, in: Tagungsband, OTTI-Energie-Kolleg 19. Symposium Photovoltaische Solarenergie, Bad Staffelstein, Germany, 10.–12.3.2004, pp. 163–168

Voyer, C.; Biro, D.; Emanuel, G.; Preu, R.; Koriath, J.[1]; Wanka, H.[1]
»Evaluation of Dopant Sources and Deposition Methods Suitable for In-line Diffusion in the PV Industry«, in: Proceedings, 19th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Paris, France, 7.–11.6.2004, im Druck
([1]: Centrotherm GmbH+Co, Blaubeuren, Germany)

Wagner, E.; Wittstadt, U.; Jungmann, T.
»Membrane Electrode Assemblies for Unitised Regenerative Polymer Electrolyte Fuel Cells«, in: Proceedings, Scientific Advances in Fuel Cell Systems, Munich, Germany, 6.–7.10.2004, P2.37

Walze, G.; Nitz, P.; Ell, J.; Georg, A.; Gombert, A.; Bläsi, B.; Hoßfeld, W.
»Combination of Microstructures and Optically Functional Coatings for Solar Control Glazing«, in: Proceedings, EuroSun 2004, Freiburg, Germany, 20.–23.6.2004, pp. 2/481–2/488

Warta, W.; Sala, G.[1]; Kenny, R.[2]; Siefer, G.; Kern, R.[3]; Spiess, F. P.[4]; Linares, A.[4]
»Results and Conclusions of the C-Rating Project: An European Initiative for Normalisation and Rating of PV Concentrating Systems«, in: Proceedings, 19th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Paris, France, 7.–11.6.2004, im Druck
([1]: Instituto de Energía Solar, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, Spain) ([2]: European Commission Joint Research Center, Ispra, Italy) ([3]: RWE Space Solar Power GmbH, Heilbronn, Germany) ([4]: ITER Granadilla, Tenerife, Spain)

Warta, W.; Isenberg, J.
»Illuminated Lock-In Thermography (ILT) – New Method for Spatially Resolved Assessment of Power Losses in Solar Cells«, in: Proceedings, 19th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Paris, France, 7.–11.6.2004, im Druck

Wiemken, E.; Motta, M.; Hindenburg, C.; Henning, H.-M.
»Design and Planning Support for Solar Assisted Air-Conditioning: Guidelines and Tools«, in: Proceedings, EuroSun 2004, Freiburg, Germany, 20.–23.6.2004, pp. 2/129–2/138

Wienold, J.; Reetz, C.; Schregle, R.; Topor, A.
»Weiterentwicklung von Tageslichtsimulationstools«, in: Tagungsband, OTTI-Energie-Kolleg 10. Symposium Innovative Lichttechnik in Gebäuden, Bad Staffelstein, Germany, 29./30.1.2004, pp. 148–153

Wilson, H. R.
»High-Performance Windows«, in: Solar Academy Proceedings, Freiburg, Germany, 29.8.–4.9.2004, CD-ROM erhältlich bei International Solar Energy Society ISES, Freiburg, Germany

Wittstadt, U.; Hacker, B.
»Small Electrolysers for Portable Fuel Cell Systems«, in: Proceedings, Conference The Fuel Cell World, Lucerne, Switzerland, 28.6.–2.7.2004, pp.175–181

Wolke, W.; Preu, R.; Wieder, S.; Ruske, M.
»SiN: H Anti-Reflection Coatings for C-Si Solar Cells by Large Scale Inline Sputtering«, in: Proceedings, 19th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Paris, France, 7.–11.6.2004, im Druck

Veröffentlichungen in rezensierten Zeitschriften

Amariei, A.[1]; Dimroth, F.; Polychroniadis, E. K.[1]; Bett, A. W.
»Growth and Structural Characterization of GaInAsSb Films on GaSb Substrates«, in: Journal of Crystal Growth, im Druck
([1]: Department of Physics, Aristotle University of Thessaloniki, Thessaloniki, Greece)

Ballif, C.[1]; Dicker, J.; Borchert, D.[1]; Hofmann, T.
»Photovoltaic Glass with Industrial Porous SiO_2 Antireflection Coating: Measurements of Module Properties Improvement and Modelling of Yearly Energy Yield Gain«, in: Solar Energy Materials & Solar Cells, vol. 82 (2004), pp. 331–344
([1]: Fraunhofer ISE Labor- und Servicecenter Gelsenkirchen, Germany)

Barradas, N. P.; Alves, E.; Ruiz, C. M.; Digues, E.; Dimroth, F.; Chenot, M. A.; Bett, A. W.
»RBS Analysis of AlGaSb Thin Films«, in: Nuclear Instruments and Methods in Physic Research B, 219–220 (2004), pp. 928–932

Buonassisi, T.[1]; Vyvenko, O.F.[1]; Istratov, A.A.[1], Weber, E.R.[1]; Hahn, G.[2]; Geiger, P.[2]; Rakatoniaina, J.P.[3]; Breitenstein, O.[3]; Isenberg, J.[4]; Schindler, R.
»Observation of Transition Metals at Shunt Locations in Multicrystalline Silicon Solar Cells«, in: Journal of Applied Physics, 95 (3). (2004) pp. 1556–1561
([1]: University of California, Lawrence Berkeley National, USA) ([2]: Universität Konstanz, Fakultät Physik, Germany) ([3]: Max-Planck-Institut für Mikrostrukturphysik, Halle, Germany) (4: Freiburger Materialforschungszentrum FMF, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Germany)

Carlsson, B.[1]; Möller, K.[1]; Köhl, M.; Heck, M.; Brunold, S.[2]; Frei, U.[2]; Marechal, J.-C.[3]; Jorgensen, G.[4]
»The Applicability of Accelerated Life Testing for Assessment of Service Life of Solar Thermal Components«, in: Solar Energy Materials and Solar Cells vol. 84/1-4, pp. 255–274
([1]: Swedish National Testing & Research Institute, Boras, Sweden) ([2]: SPF Institut für Solartechnik Hochschule Rapperswil HSR, Rapperswil, Switzerland) ([3]: CSTB, Grenoble, France) ([4]: National Renewable Energy Lab, Golden, Colorado, USA)

Corregidor, V.[1]; Dimroth, F.; Chaves, P. C.[1]; Reis, M. A.[1]; Barradas, N. P.[1,2]; Alves, E.; Bett, A. W.; Mendez, B.[3]; Piqueras, J.[3]
»Composition Control of Quaternary GaInAsSb Films Grown by MOVPE«, in: Journal of Crystal Growth, im Druck
([1]: Instituto Tecnológico e Nuclear, Sacavém, Portugal) ([2]: Centro de Física Nuclear da Universidade de Lisboa, Lisboa, Portugal) ([3]: Departamento de Física de Materiales, Universidad Complutense, Madrid, Spain)

Dimroth, F.; Bett, A. W.; Giesen, C.[1]; Heuken, M.[1]
»Optimized 9x2-inch MOVPE Reactor for the Growth of Al-Containing Antimonides«, in: Journal of Crystal Growth, im Druck
([1]: Aixtron AG, Aachen, Germany)

Dimroth, F.; Baur, C.; Bett, A. W.; Volz, K.[1]; Stolz, W.[1]
»Comparison of Dilute Nitride Growth on a Single- and 8x4-inch Multiwafer MOVPE System for Solar Cells«, in: Journal of Crystal Growth, im Druck
([1]: Material Sciences Center, Philipps-Universität Marburg, Germany)

Georg, A.; Wittwer, V.; Datz, M.; Ell, J.; Graf, W.; Walze, G.
»Gasochromic Windows«, in: Solar Energy Materials and Solar Cells, vol. 84, 25.5.2004, pp. 305–314

Glunz, S. W.
»New Concepts for High-Efficiency Silicon Solar Cells«, in: Solar Energy Materials and Solar Cells, im Druck

Gombert, A.; Bläsi, B.; Bühler, Ch.; Nitz, P.; Mick, J.[1]; Hoßfeld, W.; Niggemann, M.
»Some Application Cases and Related Manufacturing Techniques for Optically Functional Micro Structures on Large Areas«, in: Optical Engineering, vol. 43 (11), pp. 2525–2533
([1]: Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Institut für Mikrosystemtechnologie, Freiburg, Germany)

Gombert, A.; Bühler, C.; Hoßfeld, W.; Mick, J.[1]; Bläsi, B.; Walze, G.; Nitz, P.
»A Rigorous Study of Diffraction Effects on the Transmission of Linear Dielectric Micro Reflector Arrays«, in: Journal of Optics A: Pure and Applied Optics, 6/2004, pp. 952–960
([1]: Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Institut für Mikrosystemtechnologie, Freiburg, Germany)

Hakenjos, A.; Tüber, K.; Schumacher, J. O.; Hebling, C.
»Characterising PEM Fuel Cell Performance Using Current Distribution Measurement in Comparison with a CFD Model«, in: Fuel Cells, vol. 3, 8/2004, pp.185–189

Hakenjos, A.; Muenter, H.; Wittstadt, U.; Hebling, C.
»A PEM Fuel Cell for Combined Measurement of Current and Temperature Distribution, and Flow Field Flooding«, in: Journal of Power Sources, vol. 131, 14.5.2004, pp. 213–216

Hinsch, A.; Niggemann, M.; Gombert, A.
»Micro- and Nano-Patterned Electrodes for Organic Solar Cells and other Interface Dominated Solar Cells», in: Thin Solid Films, vol. 619–623 (2004), pp. 451–452

Hoppe, H.; Niggemann, M.; Winder, C.; Kraut, J.; Hiesgen, R.; Hinsch, A.; Meissner, D.; Sariciftci, N. S.
»Nanoscale Morphology of Conjugated Polymer/Fullerene Based Bulk-Heterojunction Solar Cells, in: Advanced Functional Materials, vol. 14/2004, 1005

Isenberg, J.[1]; Warta, W.
»Realistic Evaluation of Power Losses in Solar Cells by Using New Thermographic Methods«, in: Journal of Applied Physics, 95 (9), (2004) pp. 5200–5209
([1]: Freiburger Materialforschungszentrum FMF, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Germany)

Isenberg, J.[1]; Warta, W.
»Spatiallay Resolved Evaluation of Power Losses in Industrial Solar Cells by Illuminated Lock-In Thermography«, in: Progress in Photovoltaics, vol. 12 (5), (2004) pp.339–353
([1]: Freiburger Materialforschungszentrum FMF, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Germany)

Isenberg, J.[1]; Biro, D.; Warta, W.
»Fast and Spatially Resolved Measurement of Sheet Resistance by Infrared Method«, in: Progress in Photovoltaics, vol. 12 (7), (2004) pp. 539–552
([1]: Freiburger Materialforschungszentrum FMF, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Germany)

Isenberg, J.[1]; Warta, W.
»Free Carrier Absorption in Heavily Doped Silicon Layers«, in: Applied Physics Letters, vol. 84(13), (2004) pp. 2265–2267
([1]: Freiburger Materialforschungszentrum FMF, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Germany)

Köhl, M.; Heck, M.; Brunold, S.[1]; Frei, U.[1]; Carlsson, B.[2]; Kenneth, M.[2]
»Advanced Procedure for the Assessment of the Lifetime of Solar Absorber Coatings«, in: Solar Energy Materials and Solar Cells, vol. 84, issues 1-4 , 10/2004, pp. 275–289
([1]: SPF Institut für Solartechnik Hochschule Rapperswil HSR, Rapperswil, Switzerland) ([2]: Swedish National Testing & Research Institute, Boras, Sweden)

Macdonald, D.[1]; Deenapanray, P. N. K.[2]; Diez, S.
»Onset of Implant-Related Recombination in Self-Ion Implanted and Annealed Crystalline Silicon«, in: Journal of Applied Physics, vol. 96, no. 7, 1.10.2004, pp. 3687–3691
([1]: Department of Engineering, Faculty of Engineering and Information Technology, The Australian National University, Canberra, ACT 0200, Australia) ([2]: Center for Sustainable Energy Systems, Department of Engineering, Faculty of Engineering and Information Technology, The Australian National University, Canberra, ACT 0200, Australia)

Meusel, M.; Baur, C.; Létay, G.; Bett, A.W.; Warta, W.; Fernandez, E.[1]
»Spectral Response Measurement of Monolithic GaInP/ga(in)As/Ge Triple-Junction Solar Cells- Measuremnet Artifacts and their Explanation«, in: Progress in Photovoltaics, Res. Appl. vol. 11/2003, pp. 499–514
([1]: European Space Agency (ESTEC), Noordwijk, The Netherlands)

Meusel, M.[1]; Baur, C.; Siefer, G.; Dimroth, F.; Bett, A. W.; Warta, W.
»Characterization of Monolithic III-V Multi-Junction Solar Cells – Challenges and Application«, in: Solar Energy Materials & Solar Cells, im Druck
([1]: Freiburger Materialforschungszentrum FMF, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Germany)

Meyer, T.; Luther, J.
»On the Correlation of Electricity Spot Market Prizes and Photovoltaic Energy Generation«, in: Energy Conversion and Management, vol. 45/17, 10/2004, pp. 2639–2644

Niggemann, M.; Glatthaar, M., Gombert, A., Hinsch, A., Wittwer, V.
»Diffraction Gratings and Buried Nano-Electrodes – Architectures for Organic Solar Cells«, in: Thin Solid Films, vol. 451-452/2004, pp. 619–623

Oedegaard, A.; Hufschmidt, S.; Wilmshoefer, R[1].; Hebling, C.
»Portable Size DMFC-Stack«, in: Fuel Cells – From Fundamentals to Systems, vol. 4 issue 3, 8/2004, pp. 219–224
([1]: Fachhochschule Koblenz, Koblenz, Germany)

Oedegaard, A.; Hebling, C.; Schmitz, A.; Moller-Holst, S.; Tunold, R.
»Influence of Diffusion Layer Properties on Low Temperature«, in: Journal of Power Sources, vol. 127/1-2, 10.3.2004, pp. 187–196

Pfafferott, J.; Herkel, S.; Wambsganß, M.
»Design, Monitoring and Evaluation of a Low Energy Office Building with Passive Cooling by Night Ventilation, in: Energy and Building, vol. 36/2004, pp. 455–465

Pfafferott, J.; Herkel, S.; Jäschke, M.
»Design of Passive Cooling by Night Ventilation: Evaluation of a Parametric Model and Building Simulation with Measurements«, in: Energy and Building, 35/2003, pp. 1129–1143

Rein, S.; Glunz, S.
»Electronic Properties of the Metastable Defect in Boron Doped Cz-Si: Unambiguous Determination by Advanced LS«, in: Applied Physics Letters, vol. 82, n. 7, 17.2.2003, pp.1054–1056

Reufer, M.[1]; Riechel, S. [1]; Lupton, J.M. [1]; Feldmann, J. [1]; Lemmer, U.[2]; Schneider, D.[3]; Benstem, T.[3]; Dobbertin, T.[3]; Kowalsky, W.[3]; Forberich, K.; Gombert, A.; Wittwer, V.; Scherf, U.[4]
»Efficient Polymeric Distributed Feedback Lasers with Metallic Contacts«, in: Applied Physics Letters, 2004, vol. 84, n. 17, 26.4.2004, pp. 3262–3264
([1]: Photonics and Optoelectronics Group, Department of Physics and CeNS, University of Munich, Munich, Germany) ([2]: Lichttechnisches Institut, Universität Karlsruhe, Karlsruhe, Germany) ([3]: Institut für Hochfrequenztechnik, Technische Universität Braunschweig, Braunschweig, Germany) ([4]: FB Chemie, Universität Wuppertal, Wuppertal, Germany)

Reufer, M.[1]; Riechel, S.[1]; Lupton, J. M.[1]; Feldmann, J.[1]; Lemmer, U.[2]; Schneider, D.[3]; Benstem, T.[3]; Dobbertin, T.[3]; Kowalsky, W.[3]; Gombert, A.; Forberich, K.; Wittwer, U.; Scherf, U.[4]
»Low-Threshold Polymeric Distributed Feedback Lasers with Metallic Contacts«, in: Applied Physics Letters, vol. 84, 26.4.2004, pp. 3262–3264
([1]: Photonics and Optoelectronics Group, Department of Physics and CeNS, University of Munich, Munich, Germany) ([2]: Lichttechnisches Institut, Universität Karlsruhe, Karlsruhe, Germany) ([3]: Institut für Hochfrequenztechnik, Technische Universität Braunschweig, Braunschweig, Germany) ([4]: FB Chemie, Universität Wuppertal, Wuppertal, Germany)

Schmitz, A.; Wagner, S.[1]; Hahn, R.[1]; Uzun, H.[1]; Hebling, C.
»Stability of Planar PEMFC in Printed Circuit Board Technology«, in: Journal of Power Sources, vol. 127 (2004), pp. 197–205
([1]: Fraunhofer-Institut für Zuverlässigkeit und Mikrointegration IZM, Berlin, Germany)

Schmitz, A.; Hahn, R.[1]; Wagner, S.[1]; Reichl, H.[1]
»Development of a Planar Micro Fuel Cell with Thin Film and Micro Patterning Technologies«, in: Journal of Power Sources, vol. 131, 14.5.2004, pp. 73–78
([1]: Fraunhofer IZM, Berlin, Germany)

Schmitz, A.; Wagner, S.[1]; Hahn, R.[1]; Weil, A.; Schneiderlöchner, E.; Tranitz, M.; Hebling, C.
»MEA Segmentation Using LASER Ablation«, in: Journal of Fuel Cells, 4/2004, vol. 3, pp. 190–195
([1]: Fraunhofer Institute for Reliability and Micro Integration IZM, Berlin, Germany)

Schumacher, J. O.; Gemmar, P.[1]; Denne, M.[1]; Zedda, M.; Stueber, M.[1]
»Control of Miniature Proton-Exchange Membrane Fuel Cells Based on Fuzzy Logic«, in: Journal of Power Sources, 2004, vol. 129(2): 143–151
([1]: Institute for Innovative Computer Science Applications, Fachhochschule Trier, Germany)

Schubert, M. C.; Isenberg, J.; Riepe, S.; Warta, W.;
»Thermographic Imaging of Free Carrier Density in Silicon«, in: Proceedings Qirt 2004, Belgium, vol. 1, no. 1, 6/2004, pp. 89–98

Schultz, O.; Glunz, S.W.; Willeke, G. P.
»Multicrystalline Silicon Solar Cells Exceeding 20% Efficiency«, in: Progress in Photovoltaics, Res. Appl. 2004; vol. 12, pp. 553–558

Seibert, U.; Vogt, G.; Brennig, G.; Holz, F.; Gebhard, R.
»Autonomous Desalination System Concepts For Sea Water And Brackish Water in Rural Areas With Renewable Energies – Potentials, Technologies, Field Experience, Socio-Technical and Socio-Economic Impacts – ADIRA«, in: DESALINATION, vol. 168/2004, pp. 29–37

Stogards, J.; Méndez, J.; Piqueras, M.; Chenot, F.; Dimroth, F.; Bett, A. W.
»Characterization of GaSb-based Heterostrucutres by Scanning Electron Microscope Cathodoluminescence and Scanning Tunnelling Microscope«, Journal of Physics: Condensed Matter 16/2004, pp. 251–260

Tüber, K.; Oedegaard, A.; Hebling, C.; Hermann, M.
»Investigation of Fractal Flow Fields in Portable PEMFC and DMFC«, in: Journal of Power Sources vol. 131/1-2, 14.5.2004, pp. 175–181

Van Riesen, S.; Bett, A. W.
«Degradation Study of III-V Solar Cells for Concentrator Applications«, in: Progress in Photovoltaicss, im Druck

Wagner, J.[1, 2]; Pielichowski, J.[1]; Hinsch, A.; Pielichowski, K.[1]; Pajda, M.1; Kurek, S. S.[3]; Burczyk, A.[1]
»New-Carbazole-Based Polymers for Dye Solar Cells with Hole Conducting Polymer«, in: Synthetic Metals, vol. 146/2004, pp. 159–165
([1]: Department of Chemistry and Technology of Polymers, Cracow University of Technology, Kraków, Poland) ([2]: Freiburger Materialforschungszentrum FMF, Albert-Ludwigs-Universität, Freiburg, Germany) ([3]: Department of Physical Chemistry, Cracow University of Technology, Kraków, Poland)

Wienold, J.; Schregle, R.
»Physical Validation of Global Illumination Methods: Measurement and Error Analysis», in: Computer Graphics Forum, vol. 25, no. 4, 12/2004, pp. 761–781

Wittstadt, U.; Wagner, E.; Jungmann, T.
»Membrane Electrode Assemblies for Regenerative Polymer Electrolyte Fuel Cells«, in: Journal of Power Sources, Munich, Germany, 6./7.10.2004

Ziegler, C.; Schmitz, A.; Tranitz, M.; Fontes, E.[1]; Schumacher, J. O.
»Modeling Planar and Self-Breathing Fuel Cells for Use in Electronic Devices«, in: Journal of the Electrochemical Society, vol. 151(12), 2004, pp. A2028–A2041
([1]: Comsol AB, Stockholm, Sweden)

Bücher und Beiträge zu Büchern

Carlsson, B. [1]; Möller, K.[1]; Köhl, M., Heck, M.; Brunold, S.[2]; Marechal, J.[3]; Jorgensen, G.[4]
»Assessment of Service Life of Solar Thermal Components by Accelerated Life Testing», in: Natural and Artificial Ageing of Polymers, 2004, pp. 183–199
ISBN No. 3-9808382-5-0
([1]: SP Swedish National Testing and Research Institute, Boras, Sweden)) ([2]: Institut für Solartechnik SPF, Rapperswil, Switzerland) ([3]: CSTB Centre Scientific et Technique du Bâtiment, Saint-Martin d´Hères, France) ([4]: National Renewable Energy Laboratory NREL, Golden, USA)

Forberich, K.[1]; Riechel, S.[2]; Pereira, S.[3]; Gombert, A.; Busch, K.[3]; Feldmann, J.[2]; Lemmer, U.[2,4]
»Polymeric Photonic Crystal Lasers«, in: Photonic Crystals, Eds. K. Busch, S. Lölkes, R.B. Wehrspohn, and H. Föll, Wiley-VCH Verlag, 2004, pp. 247–265
ISBN 3-527–40432-5
([1]: Freiburger Materialforschungszentrum FMF, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg) ([2]: Ludwig-Maximilians-Universität München, Munich, Germany) ([3]: Institut der kondensierten Materie, Universität Karlsruhe TH, Germany) ([4]: Lichttechnisches Institut, Universität Karlsruhe TH)

Jorgensen, G.;[1] Brunold[2], S.; Carlsson[3], B.; Heck, M.; Köhl, M.; Möller[3], K.
»Durability of Polymeric Glazing Materials for Solar Applications«, in: Natural and Artificial Ageing of Polymers, 2004, pp. 201–215
ISBN No. 3-9808382-5-0
([1]: National Renewable Energy Laboratory, Golden CO, USA) ([2]: Hochschule für Technik Rapperswil, Institut für Solartechnik SPF, Rapperswil, Switzerland) ([3]: Swedish National Testing and Research Institute, Borås, Sweden)

Hebling, C., Yu, H.
»Fuel Cells: Micro Systems«, in: Encyclopedia of Materials: Science and Technology, im Druck

Köhl, M.; Carlsson, B.[1]; Jorgensen, G.J.[2]; Czanderna, A. W.[3]; Herausgeber
»Perfomance and Durability Assessment: Optical Materials for Solar Thermal Systems«, Elsevier, 2004, pp. 1–6
ISBN 0-08-04440
([1]: Swedish National Testing and Research Institute, Borås, Sweden) ([2]: National Renewable Energy Laboratory, Golden CO, USA) ([3]: Denver, USA)

Meyer, T.
»PV Energy: Stand Alone and Grid Connected Systems«, Encyclopedia of Energy, vol. 5, Elsevier Verlag, 2004, pp. 35–46
ISBN0-12-176485-0

Abkürzungen

AC	Alternating Current
ADIRA	Autonomous Desalination System Concepts for Sea Water and Brackish Water in Rural Areas with Renewable Energies
AFCo	Ansaldo Fuel Cell SpA
Ag	Silber
Al	Aluminium
AlGaAs	Aluminiumgalliumarsenid
AlN	Aluminium-Nitrit
AM	Air Mass
APCVD	Atmospheric Pressure Chemical Vapour Deposition
APU	Auxiliary Power Unit
ASTM	American Society for Testing and Materials
Bi	Wismut
BFC	Bifacial Cell
BHKW	Blockheizkraftwerk
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
BSF	Back Surface Field
BZ	Brennstoffzelle
CalLab	Kalibrierlabor
CDI	Carrier Density Imaging
CFD	Computational Fluid Dynamics
CIS	Copper Indium Diselenide
CNRS	Centre Nationale de la Recherche Scientifique
CO	Kohlenmonoxid
CO_2	Kohlendioxid
CPC	Compound Parabolic Concentrator
c-Si	Kristallines Silicium
CV	Capacitance/Voltage
CVD	Chemical Vapour Deposition
Cz	Czochralski
DAP	Deutsches Akkreditierungssystem Prüfwesen
DC	Direct Current
DIN	Deutsches Institut für Normung
DLTS	Deep Level Transient Spectroscopy
DMFC	Direct Methanol Fuel Cell
EBIC	Electron Beam Induced Current
EBR	Etchback Regrowth
ECR	Electron Cyclotron Resonance
EFG	Edge-Defined Film-Fed Growth
EMC	Electromagnetic Compatibility
EMS	Energiemanagementsystem
EMV	Elektromagnetische Verträglichkeit
EN	Europäische Norm
ERS	Elektrische Reflexionsspektroskopie
EU	Europäische Union
FASTEST	Fassadenprüfstand
FCKW	Fluor-Chlor-Kohlenwasserstoffe
FLATCON	Fresnel Lense All-Glass Tandem Cell Concentrator
FF	Füllfaktor
FhG	Fraunhofer-Gesellschaft
FZ	Floating Zone
GaAs	Galliumarsenid
GaInP	Galliumindiumphosphid
GaSb	Galliumantimonid
GDM	Gasdiffusionsmedium
Ge	Germanium
GSM	Global System for Mobile Communication
GTZ	Gesellschaft für technische Zusammenarbeit
IAM	Einstrahlwinkelkorrekturfaktor
IEA	International Energy Agency
in-situ	im laufenden Betrieb
ITO	Indium-Zinnoxid
IR	Infrarot
K	Kelvin
KMU	Kleine und Mittlere Unternehmen
KS	Katalysatorschicht
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
kW_p	Kilowatt Peak (Spitzenleistung)
LBIC	Light Beam Induced Current
LBSF	Local Back Surface Field
LED	Light Emitting Diode
LFC	Laser Fired Contact
LPE	Liquid Phase Epitaxy
mc	Multikristallin
MCFC	Molten Carbonate Fuel Cell
mc-Si	Multikristallines Silicium
MEA	Membran-Elektroden-Anordnung
MFCA	Modulated Free Carrier Absorption
MgF_2	Magnesiumfluorid
MIM	Monolithically Integrated Module
MOCVD	Metal Organic Chemical Vapour Deposition
MOVPE	Metal Organic Vapour Phase Epitaxy
MPP	Maximum Power Point
MSC	Miniature Solar Cell Mapping
MW-PCD	Microwave-detected Photoconductance Decay Point
N_2	Stickstoff
NOCT	Nominal Operating Cell Temperature
PCM	Phase Change Material
PCS	Phase Change Slurries
PCU	PoMS Central Unit
PCVD	Photocurrent and Voltage Decay
Pd	Palladium
PDA	Personal Digital Assistant
PECVD	Plasma Enhanced Chemical Vapour Deposition
PEM	Polymermembran
PEMFC	Proton Exchange Membrane Fuel Cell
PERC	Passivated Emitter and Rear Cell
PIB	PoMS Interface Box
POA	Power Optimised Aircraft
PoMS	Power and Power Quality Management System
Pt	Platin
PV	Photovoltaik
PV-TEC	Photovoltaik Technologie Evaluations-Center
PZTS	Prüfzentrum für Thermische Solaranlagen
RCC	Rear Contacted Cell
RCWA	Rigorous Coupled Wave Analysis
RIE	Reactive Ion Etching
REM	Rasterelektronenmikroskop
RPHP	Remote Plasma Hydrogen Passivation (Wasserstoffpassivierung)
RP-PERC	Random Pyramid, Passivated Emitter and Rear Cell
RRC	Realistic Reporting Conditions
RTCVD	Rapid Thermal Chemical Vapour Deposition
RTP	Rapid Thermal Processing
S/C	Steam/Carbon-Ratio Dampf-/Kohlenstoffverhältnis
SFG	Solare Fassaden und Gebrauchsdaueranalyse
SGK	Sorptionsgestützte Klimatisierung
Si	Silicium
SIMOX	Separation by IMplanted OXygen
SiN_x	Siliciumnitrid
SiO_2	Siliciumdioxid
SMD	Surface Mounted Device
Sn	Zinns
SOFC	Solid Oxide Fuel Cell
SPS	speicherprogrammierbare Steuerung
SPV	Surface Photovoltage
SSP	Silicon Sheets from Powder
SR	Spectral Response
SR-LBIC	Spatially Resolved Light Beam Induced Current
TCO	Transparent Conducting Oxide
TDLS	Temperature Dependent Lifetime Spectroscopy
TDI	Thermal Defect Imaging
Ti	Titan
TiO_2	Titandioxid
TOPLAB	Thermisch-Optisches Prüflabor
TPV	Thermophotovoltaik
TWD	Transparente Wärmedämmung
UESP	Universal Energy Supply Protocol
UIB	UESP-Interface Box
UV	Ultraviolette Strahlung
V_{OC}	Leerlaufspannung
WO_3	Wolframoxid
WPVS	World Photovoltaic Scale
ZMR	Zone Melting Recrystallisation
Zn	Zink
ZSW	Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung
η	Wirkungsgrad

Die Fraunhofer Gesellschaft

Die Fraunhofer-Gesellschaft betreibt anwendungsorientierte Forschung zum direkten Nutzen für Unternehmen und zum Vorteil der Gesellschaft. Vertragspartner und Auftraggeber sind Industrie- und Dienstleistungsunternehmen sowie die öffentliche Hand. Im Auftrag und mit Förderung durch Ministerien und Behörden des Bundes und der Länder werden zukunftsrelevante Forschungsprojekte durchgeführt, die zu Innovationen im öffentlichen Nachfragebereich und in der Wirtschaft beitragen.

Mit technologie- und systemorientierten Innovationen für ihre Kunden tragen die Fraunhofer-Institute zur Wettbewerbsfähigkeit der Region, Deutschlands und Europas bei. Dabei zielen sie auf eine wirtschaftlich erfolgreiche, sozial gerechte und umweltverträgliche Entwicklung der Gesellschaft.

Ihren Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern bietet die Fraunhofer-Gesellschaft die Möglichkeit zur fachlichen und persönlichen Entwicklung für anspruchsvolle Positionen in ihren Instituten, in anderen Bereichen der Wissenschaft, in Wirtschaft und Gesellschaft.

Die Fraunhofer-Gesellschaft betreibt derzeit rund 80 Forschungseinrichtungen, davon 57 Institute, an über 40 Standorten in ganz Deutschland. Rund 12 700 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, überwiegend mit natur- oder ingenieurwissenschaftlicher Ausbildung, bearbeiten das jährliche Forschungsvolumen von über 1 Milliarde €. Davon fallen mehr als 900 Millionen € auf den Leistungsbereich Vertragsforschung. Rund zwei Drittel dieses Leistungsbereichs erwirtschaftet die Fraunhofer-Gesellschaft mit Aufträgen aus der Industrie und mit öffentlich finanzierten Forschungsprojekten. Ein Drittel wird von Bund und Ländern beigesteuert, auch um damit den Instituten die Möglichkeit zu geben, Problemlösungen vorzubereiten, die in fünf oder zehn Jahren für Wirtschaft und Gesellschaft aktuell werden.

Niederlassungen in Europa, in den USA und in Asien sorgen für Kontakt zu den wichtigsten gegenwärtigen und zukünftigen Wissenschafts- und Wirtschaftsräumen.

Mitglieder der 1949 gegründeten und als gemeinnützig anerkannten Fraunhofer-Gesellschaft sind namhafte Unternehmen und private Förderer. Von ihnen wird die bedarfsorientierte Entwicklung der Fraunhofer-Gesellschaft mitgestaltet.

Namensgeber der Gesellschaft ist der als Forscher, Erfinder und Unternehmer gleichermaßen erfolgreiche Münchner Gelehrte Joseph von Fraunhofer (1787-1826).

Fraunhofer-Gesellschaft
Presse- und Öffentlichkeitsarbeit
Postfach 19 03 39
80603 München
www.fraunhofer.de.de

Impressum

Redaktion
Rosemarie Becker
Karin Schneider (Leitung)
Presse und Public Relations

Externe Fotografen
Peter Ferstl, Regensburg
Sigrid Gombert, Freiburg
Guido Kirsch, Freiburg
Sabine Schnell, Freiburg
Volker Steger, München

Gestaltung und Druck
www.netsyn.de
Joachim Würger, Freiburg

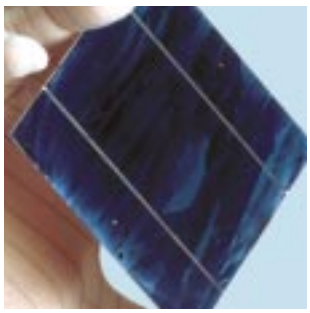
Anschrift der Redaktion
Fraunhofer-Institut für
Solare Energiesysteme ISE
Presse und Public Relations
Heidenhofstr. 2
79110 Freiburg
Tel. +49 (0) 761/45 88-51 50
Fax. +49 (0) 761/45 88-93 42
info@ise.fraunhofer.de
www.ise.fraunhofer.de

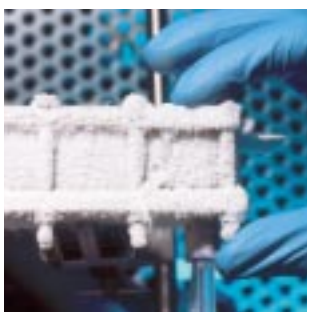
Bestellung von Publikationen
Bitte per E-Mail oder per Fax.

Bei Abdruck ist die Einwilligung der
Redaktion erforderlich.

©Fraunhofer-Institut für
Solare Energiesysteme ISE
Freiburg, 2005

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