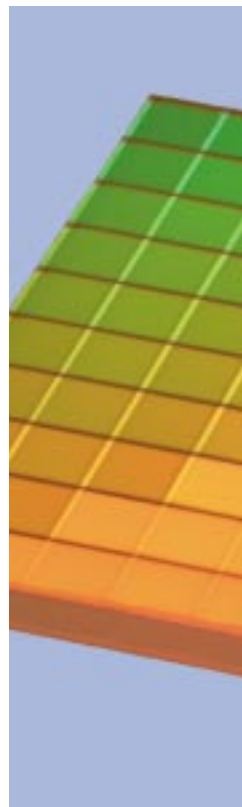




Fraunhofer Institut
Solare Energiesysteme

Jahresbericht 2003

Leistungen und Ergebnisse





links

Silicium-Konzentratorsolarzelle für den Einsatz in einem photovoltaischen Konzentratorsystem: Die benötigte Fläche der Solarzelle wird stark reduziert und durch eine vorgeschaltete konzentrierende Optik wie Linsen oder Parabolspiegel »ersetzt«. Am Fraunhofer ISE entwickeln wir zweistufige optische Systeme, die trotz einachsiger Nachführung relativ hohe Konzentrationen von über 300 erreichen (Beitrag S. 37).

Mitte

Interferenzlithographisch mikrostrukturiertes Kunststoffsubstrat als Grundlage für organische Laser: Organische Laser sind eine neuartige Art von Lasern, die aufgrund der verwendeten Materialien einen kostengünstigen Herstellungsprozess versprechen. Sie können zudem großflächig und auf flexiblen Substraten hergestellt werden. Im Rahmen des vom Bundesforschungsministerium geförderten Projektes »Durchstimmbare Photonische Kristall-Laser auf Kunststoffbasis« stellt das Fraunhofer ISE in Zusammenarbeit mit Arbeitsgruppen an der Universität Karlsruhe und an der Universität Kassel neuartige durchstimmbare organische Laser her (Beitrag S. 80).

rechts

Mikroverkapselte Phasenwechselmaterialien: Eine neue Klasse von Baustoffen mit mikroverkapseltem Paraffin erhöht die Wärmespeicherfähigkeit von Innenputzen und Trockenbauplatten für Leichtbauwände drastisch. Eine 6 mm dicke Deckschicht kann im Tageszyklus genauso viel Wärme aufnehmen wie eine massive Ziegelwand. Mikroverkapselte Paraffine integriert in Deckschichten für Raumwände dienen insbesondere bei Leichtbauten ohne aktive Kühlung als wärmespeicherndes Baumaterial (Beitrag S. 23).

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.

Vorwort	4	
Organisationsstruktur	6	
Das Institut im Profil	8	
Das Institut in Zahlen	9	
Höhepunkte des Jahres 2003	10	
Kuratorium	12	
Gebäude und technische Gebäudeausrüstung	14	
- Passive Kühlung von Gebäuden mit Nachtlüftung	18	
- Drei Beispiele für gelungene Fassadenplanung	20	
- Optimierung von Regelstrategien für Fassadensysteme	21	
- Integration und Bewertung von schaltbaren Elementen in Fassaden	22	
- Baustoffe mit Phasenwechselmaterialien erhöhen thermischen Komfort	23	
- Planungswerkzeuge für die solare Klimatisierung	24	
- Monitoring – energetische Bewertung der Wärmeversorgungstechnik in Passivhäusern	25	
- Lüftungs-Kompaktgeräte im Test	26	
- Wärme fürs Passivhaus – Entwicklung eines neuen Lüftungs-Kompaktgeräts mit Abluftwärmepumpe und Zuluft-heizung	27	
- Kraft-Wärmekopplung versöhnt mit Sonnenwärme	28	
- Farbige Sonnenkollektoren	29	
- Entwicklung neuer doppeltverglaster Flachkollektoren mit Antireflex-Glas	30	
- Photoelektrochrome Fenster mit festem Ionenleiter	31	
Solarzellen	32	
- Hocheffiziente Silicium-Solarzellen auf dünnen Wafern	36	
- Silicium-Konzentratorsolarzellen für zweistufige Konzentratorsysteme	37	
- Analyse des metastabilen Defektes in bordotiertem Czochralski-Silicium	38	
- Erhöhte Materialausbeute bei blockkristallisiertem Silicium durch verbesserte Solarzellenprozesse	39	
- ZMR400 – ein Prozessor für die Zonenschmelz-Rekristallisation von großflächigen Silicium-Schichten	40	
- Photovoltaikzellen mit höchsten Wirkungsgraden auf Basis von III-V Halbleitern	41	
- Farbstoff- und Organische Solarzellen	42	
- Thermographische Methoden in der Solarzellen-Charakterisierung	43	
- Neue Technologie zur Prozessierung von kristallinen Silicium-Solarzellen	44	
- Labor- und Servicecenter Gelsenkirchen	45	
- Innovative und rationelle Fertigungsverfahren für Silicium-Photovoltaikmodule – SOLPRO IV	46	
- Neue Einkapselungsmaterialien für Photovoltaik-Module	47	
Netzunabhängige Stromversorgungen	48	
- Brennstoffzellen zur dezentralen Energieversorgung in Photovoltaik-Hybridsystemen	52	
- Technologieentwicklung für die Betriebsführung autonomer Stromversorgungen	54	
- Neue Wege zur Energieverteilung für photovoltaische Dorfstromversorgung	55	
- Bedarfsorientiertes Training für nachhaltigen Erfolg bei ländlicher Elektrifizierung	56	
- Intelligente Batteriespeicher für autonome Stromversorgungssysteme	57	
Regenerative Stromerzeugung im Netzverbund	58	
- Kommunikation für vernetzte Regelungssysteme	62	
- Managementkonzepte für verteilte Energieversorgungssysteme	63	
- Spannungsqualität und Messkonzepte für Niederspannungsnetze	64	
- »MikroSolar« - Energieversorgungs-Plattform für autonome Mikro-systemtechnik	65	

Fakten im Überblick

- Solarthermische Kraftwerke mit Biomassezufuhr	66
- Photovoltaik-Monitoring macht Optimierungspotenziale deutlich	67
Wasserstofftechnologie	68
- Produktentwicklung einer portablen PEM-Brennstoffzelle	72
- Charakterisierung liefert Optimierungskriterien für Brennstoffzellen	74
- Miniaturisiertes Elektrolyse-System auf dem Weg zur Serienreife	75
- Zuverlässige Wasserstoffproduktion für die Hausenergie-Zentrale der Zukunft	76
- Diesel zu Synthesegas – die Bordstromversorgung auf Schiffen	77
Besondere Kompetenzbereiche	78
- Organische Laser auf der Basis mikrostrukturierter Oberflächen	80
- Meerwasserentsalzung mit Sonnenenergie	82
- Photovoltaisch betriebene Trinkwasseraufbereitung für netzferne ländliche Gebiete	83
Servicebereiche	84
- ISE Callab: Kalibrieren von Solarzellen und Modulen	88
- Prüfzentrum für Thermische Solaranlagen	89
- Teststand für Solare Sorptionsgestützte Klimatisierungsanlagen	90
- Vermessung von Fassaden und transparenten Bauteilen	91
- Messen und Prüfen im Gebäude	92
- Charakterisierung von Wechselrichtern	93
- Qualifizieren und Optimieren von DC-Komponenten für Photovoltaik-Systeme	94

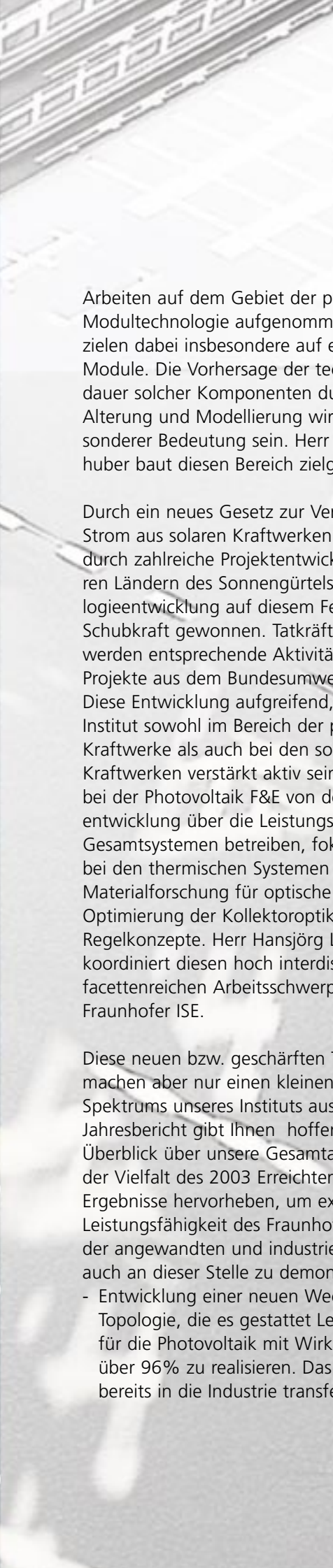
Gastwissenschaftler	96
Mitarbeit in Gremien	96
Kongresse, Tagungen und Seminare	97
Vorlesungen und Seminare	98
Messebeteiligungen	98
Patente	98
Promotionen	99
Pressearbeit	99
Unternehmensgründungen	99
Vorträge	100
Veröffentlichungen	103
Abkürzungen	112
Impressum	113



Das Fraunhofer ISE konnte erfreulicherweise auch 2003 sein stetiges Wachstum fortsetzen. Die Möglichkeit hierzu gab uns eine vergleichsweise gute Auftragslage in der Industrieforschung, bei europäischen Gemeinschaftsprojekten und eine stabile Unterstützung durch die öffentliche Hand. Wir haben die sich hieraus ergebende Chance zum einen dazu genutzt, das Profil einiger Forschungsbereiche zu schärfen und zum anderen, unser F&E-Spektrum weiter zu arrondieren.

Geschäft, verstärkt und gebündelt haben wir unsere Aktivitäten auf den Feldern »Heizungs-, Lüftungs- und Klimatechnik (HLK) für solare Niedrigstenergiegebäude« sowie »Betriebsführung und Steuerung von Energieanlagen«. Letzteres bezieht sich auf elektrische und thermische Systeme vor allem für solare und energieeffiziente Gebäude sowie auf dezentrale Energieversorgungsanlagen. Unsere Expertise liegt vor allem auf den Gebieten modellbasierter Verfahren und vernetzter Regelungssysteme. Im HLK-Bereich werden wir uns maßgeschneiderten Techniken für innovative Gebäude widmen. Die beiden Technologie-Schwerpunkte werden mit viel Engagement von Herrn Dr. Andreas Bühring (HLK) und den Herren Dr. Christof Wittwer und Hans-Georg Puls geleitet.

In den Geschäftsfeldern der Photovoltaik war das Fraunhofer ISE bisher auf den Feldern Solarzellen und Solarzellenmaterialien sowie in der Systemtechnik aktiv. Wir haben hier unser Spektrum abgerundet, indem wir verstärkt



Arbeiten auf dem Gebiet der photovoltaischen Modultechnologie aufgenommen haben. Wir zielen dabei insbesondere auf extrem langlebige Module. Die Vorhersage der technischen Lebensdauer solcher Komponenten durch beschleunigte Alterung und Modellierung wird dabei von besonderer Bedeutung sein. Herr Dr. Helge Schmidhuber baut diesen Bereich zielgerichtet aus.

Durch ein neues Gesetz zur Vergütung von Strom aus solaren Kraftwerken in Spanien sowie durch zahlreiche Projektentwicklungen in anderen Ländern des Sonnengürtels hat die Technologieentwicklung auf diesem Feld wieder an Schubkraft gewonnen. Tatkräftig unterstützt werden entsprechende Aktivitäten durch F&E-Projekte aus dem Bundesumweltministerium. Diese Entwicklung aufgreifend, wird unser Institut sowohl im Bereich der photovoltaischen Kraftwerke als auch bei den solarthermischen Kraftwerken verstärkt aktiv sein. Während wir bei der Photovoltaik F&E von der Solarzellenentwicklung über die Leistungsoptik bis hin zu Gesamtsystemen betreiben, fokussieren wir uns bei den thermischen Systemen auf Themen der Materialforschung für optische Komponenten, Optimierung der Kollektoroptik und zugehöriger Regelkonzepte. Herr Hansjörg Lerchenmüller koordiniert diesen hoch interdisziplinären und facettenreichen Arbeitsschwerpunkt am Fraunhofer ISE.

Diese neuen bzw. geschärften Tätigkeitsfelder machen aber nur einen kleinen Teil des F&E-Spektrums unseres Instituts aus. Der vorliegende Jahresbericht gibt Ihnen hoffentlich einen guten Überblick über unsere Gesamtaktivitäten. Aus der Vielfalt des 2003 Erreichten möchte ich drei Ergebnisse hervorheben, um exemplarisch die Leistungsfähigkeit des Fraunhofer ISE im Bereich der angewandten und industrienahen Forschung auch an dieser Stelle zu demonstrieren:

- Entwicklung einer neuen Wechselrichter-Topologie, die es gestattet Leistungselektronik für die Photovoltaik mit Wirkungsgraden von über 96% zu realisieren. Das Konzept wurde bereits in die Industrie transferiert.

- Realisierung der weltweit ersten monolithischen 5-fach Solarzelle auf der Basis von III-V Materialien. Die Zelle besteht aus 34 vollautomatisch erzeugten Epitaxieschichten. Weltraumanwendungen stehen im Fokus dieser Arbeiten.
- Entwicklung neuartiger Deckschichten für Gebäudewände, die durch eine sehr hohe Wärmespeicherkapazität ausgezeichnet sind. Die neuen Baustoffe enthalten mikroverkapselte Paraffine als zusätzliches Speichermedium. Entsprechende mit Industriepartnern marktreif entwickelte Produkte sollen vor allem in Gebäuden eingesetzt werden, in denen auf Anlagen zur Kühlung gänzlich verzichtet wird.

Auch dieses Jahr hat uns wieder ein leitender Wissenschaftler verlassen, um an einer Universität ein neues Aufgabenfeld zu übernehmen: Herr Dr. Dirk Uwe Sauer trat eine Juniorprofessur an der RWTH Aachen im Bereich »Elektrochemische Energiewandlung und Speichersystemtechnik« an. Das Fraunhofer ISE hat Herrn Sauer als hoch innovativem und integrativem Wissenschaftler ausgesprochen viel zu verdanken. Ich möchte ihm auch an dieser Stelle für seinen unermüdlichen Einsatz im Namen des gesamten Instituts von Herzen danken. Als Nachfolger von Herrn Sauer auf den Feldern »Netzunabhängige Stromversorgung« und »Ländliche Elektrifizierung« leitet Herr Felix Holz diese Bereiche seit Herbst 2003 tatkräftig und mit viel Engagement.

Es ist mir ein Bedürfnis, allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern unseres Instituts für das 2003 Geleistete auch an dieser Stelle nachdrücklich zu danken. Ihre kreative, hoch motivierte und erfolgreiche Arbeit verdient uneingeschränkte Bewunderung! Mein besonderer Dank gilt unseren Auftraggebern in Wirtschaft, Ministerien und der Europäischen Union. Erst durch ihr Interesse und Vertrauen wird unsere Arbeit möglich.



Prof. Joachim Luther

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.

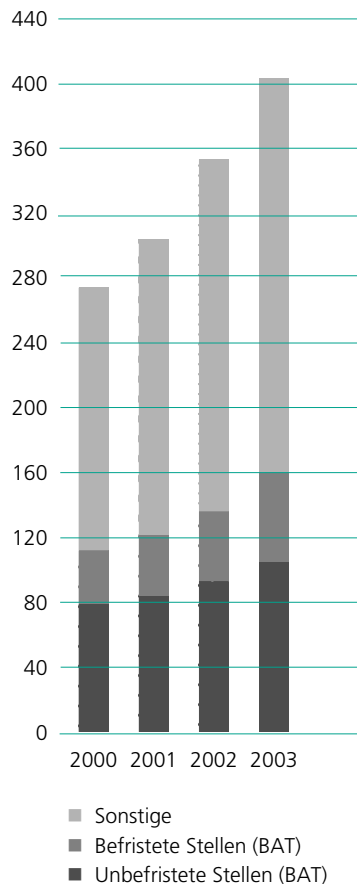
Forschungs- und Dienstleistungsangebot

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.

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

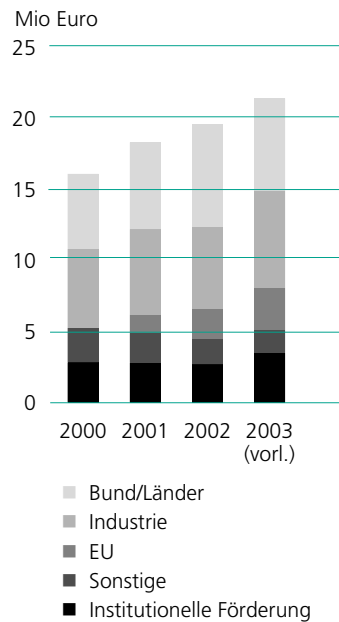
Personalentwicklung



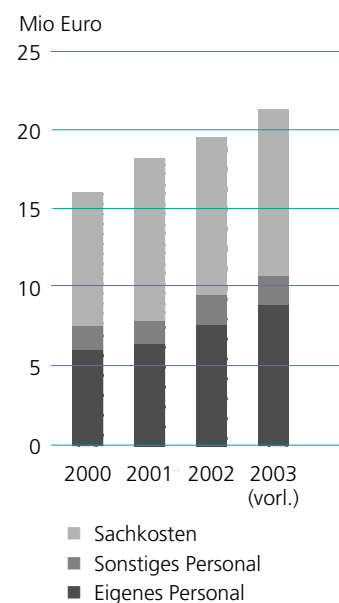
Eine wichtige Stütze des Instituts sind die »sonstigen« Mitarbeiter, welche die Arbeit in den Forschungsprojekten unterstützen und so wesentlich zu den erzielten wissenschaftlichen Ergebnissen beitragen. Im Dezember 2003 waren dies 54 Doktoranden, 48 Diplomanden, 27 Praktikanten, 6 Auszubildende sowie 107 wissenschaftliche und 1 weitere Hilfskraft. 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 2003 Investitionen in Höhe von 2,4 Mio Euro.

Erträge



Kosten



Forschung und Entwicklung

- Deckschichten für Raumwände mit integrierten mikroverkapselten Paraffinen als wärme speicherndes Baumaterial für Gebäude – insbesondere Leichtbauten ohne aktive Kühlung - zur Marktreife entwickelt und erfolgreich getestet
- Kleine Lüftungskompaktgeräte als exzellente Technik zur Wärmeversorgung von Wohnungen in Solar-Passivhäusern erfolgreich in die Praxis überführt
- Automatisierte interferenzlithographische Belichtung von unterschiedlichen 2D-Photonischen Kristallstrukturen auf einem Substrat entwickelt
- Nanostrukturierte Oberflächen in 60 cm x 80 cm Größe hergestellt
- Bewertungsmethodik für Blendung durch Tageslichtsysteme weiterentwickelt und getestet
- Erstes Wickelmodul für thermische Meerwasserentsalzungssysteme erfolgreich getestet
- 37 μm dünne 2 x 2 cm^2 monokristalline Si-Solarzelle mit 20,2% Wirkungsgrad hergestellt, Rückseitenkontaktierung mit Laser Fired Contact LFC Technologie
- 17,8% Wirkungsgrad auf 2 x 2 cm^2 multi-kristalliner Si-Solarzelle erzielt
- 10 x 10 cm^2 monokristalline Si-Solarzelle mit Siebdruckkontakten auf der Vorderseite und LFC (Laser Fired Contact) auf der Rückseite erreicht 17% Wirkungsgrad
- Silicium-Konzentratorzelle erreicht 24,1% Wirkungsgrad bei einer optischen Konzentration 100
- Diffusionsanlage mit Hubschurtransport sowie Plasmaätzenanlage und Nitridsputteranlage im Technikumsmaßstab entwickelt
- Kleinmodul mit vier Zellen (10 x 10 cm^2) aus epitaktischen Dünnschicht-Waferäquivalentzellen auf »reclaim-wafern« erzielt 12,2% Wirkungsgrad in Außentests
- Epitaxie-Prozess zur Herstellung von 27%-AM0-Tripel-Zellen für Weltraumanwendung entwickelt
- Weltweit erste Fünffach-Solarzelle mit 4,8 V Zellspannung hergestellt
- Erste MIM-Zellen (monolithically integrated modules) auf GaAs-Basis entwickelt. Zehn 1 cm^2 große in Reihe geschaltete Zellen (10V) erzielen 20% AM1,5D Wirkungsgrad
- Erfolgreich GaSb-Zellen mit MOVPE und Zn-Diffusion entwickelt
- Mit Hellthermographie und Emissions-CDI (Carrier Density Imaging) neue thermographische Methoden zur Bestimmung von Leistungsverlusten in Solarzellen vorgestellt
- Erdgasreformer zur Wasserstoffproduktion mit CO-Anteil < 10 ppm für den Einsatz in der Hausenergieversorgung entwickelt
- Elektrolyseur mit 1 kW elektrischer Leistung bei 15 bar erfolgreich im Feldtest untersucht
- Methanolbetriebener Brennstoffzellen-Stapel mit 30 W Dauerleistung entwickelt
- Kerosinreformer für die Anwendung im Flugzeug in Betrieb genommen
- »Brennstoffzellen-Powerbox« mit integrierter Regelungselektronik und Spannungsbereitstellung zum seriennahen Prototypen entwickelt und auf der Hannover Messe vorgestellt
- Energieversorgung durch eine Brennstoffzelle für professionelle Fernsehkamera entwickelt
- Neue Schaltungstopologie für Wechselrichter mit bis zu 96,5% Wirkungsgrad entwickelt und erfolgreich in die Industrie übertragen
- Netzferne PV-Hybridanlage der Wandergaststätte Rappenecker Hof durch Brennstoffzelle als Zusatzstromerzeuger sowie durch hoch innovative Batteriesystemtechnik ergänzt
- Umfassendes Schulungsangebot im Bereich nicht-technischer Aspekte bei der ländlichen Elektrifizierung entwickelt, erste Veranstaltungen wurden mit Firmen und öffentlichen Institutionen durchgeführt

Rufe an Universitäten und Preise

Herr Prof. Karsten Voss trat eine C3 Professur an der Bergischen Universität Wuppertal, Lehrstuhl für Bauphysik und Technische Gebäudeausrüstung, an.

Herr Dr. Dirk Uwe Sauer trat eine Juniorprofessur an der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule RWTH Aachen im Bereich »Elektrochemische Energiewandlung und Speichersystemtechnik an.

Herr Dr. Andreas Gombert lehnte den Ruf auf eine Professur (Physik mit Vertiefung Mikrooptik) an der FH Darmstadt ab.

Auf der World Conference on Photovoltaic Energy Conversion (WCPEC) in Osaka gingen ein Young Researcher Award, ein Paper Award und ein Poster Award an das Fraunhofer ISE:

WCPEC Young Researcher Award, Osaka, 16. Mai 2003

S. van Riesen, A.W. Bett, G.P. Willeke
»Accelerated ageing test on III-V solar cells«

WCPEC Paper Award, Osaka, 16. Mai 2003

S. W. Glunz, E. Schäffer, S. Rein, K. Bothe*, J. Schmidt*
»Analysis of the defect activation in Cz-silicon by temperature-dependent bias-induced degradation of solar cells«

* Institut für Solarforschung Hameln ISFH

WCPEC Poster Award, Osaka 16. Mai 2003

S. Rein, P. Lichtner, S. W. Glunz
»Advanced lifetime spectroscopy: unambiguous determination of the electronic properties of the metastable defect in boron-doped Cz-Si«

Dr. Meyer-Struckmann-Wissenschaftspreis 2003 der Brandenburgischen Technischen Universität Cottbus

Der Preis ging an Ralf Preu und Eric Schneiderlöchner für eine Arbeit mit dem Thema »Der Laser-gefeuerte Solarzellenrückkontakt: ein innovatives hocheffizientes Verfahren für die industrielle Fertigung«.

Architecture + Technology Award 2003

Europäischer Architekturpreis für Architektur und Technik, von der Messe Frankfurt erstmals ausgelobt im Rahmen der ISH - Fachmesse für Gebäude- und Energietechnik 2003

Der erste Preis ging an die Solvis Nullemissionsfabrik, für die das Fraunhofer ISE das Energiekonzept erstellt hat.

Eine besondere Belobigung erging an das dänische Architektenbüro Dissing+Weitling für den Institutsneubau des Fraunhofer ISE.

Innovationspreis R+T - Internationale Fachmesse Rollläden, Tore und Sonnenschutz 2003

Einer von zehn Innovationspreisen der R+T ging an ein von Tilmann Kuhn, Fraunhofer ISE, mit der Firma clauss markisen Projekt GmbH entwickeltes transparentes Sonnenschutzsystem aus Edelstahlhohlprofilen.

Das Kuratorium begutachtet die Forschungsprojekte und berät die Institutsleitung und den Vorstand der Fraunhofer-Gesellschaft bezüglich des Arbeitsprogrammes des Fraunhofer ISE.
Stand: 31.12.2003

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

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, Berlin

Gerhard Warnke

MAICO Ventilatoren, Villingen-Schwenningen

Geschäftsfelder

Gebäude und technische
Gebäudeausrüstung

Solarzellen

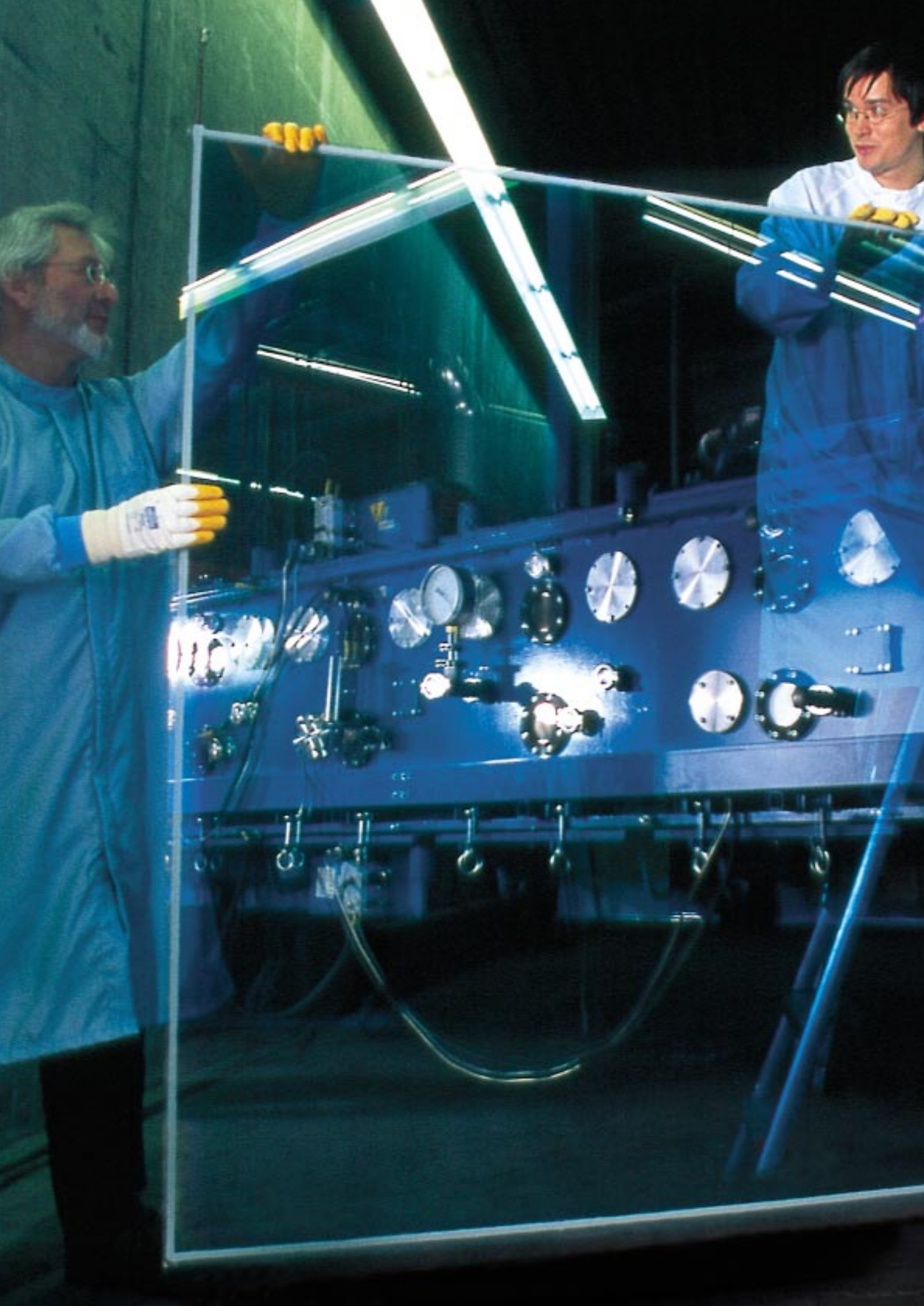
Netzunabhängige
Stromversorgungen

Regenerative Stromerzeugung
im Netzverbund

Wasserstofftechnologie

Arbeiten in besonderen
Kompetenzbereichen

Servicebereiche

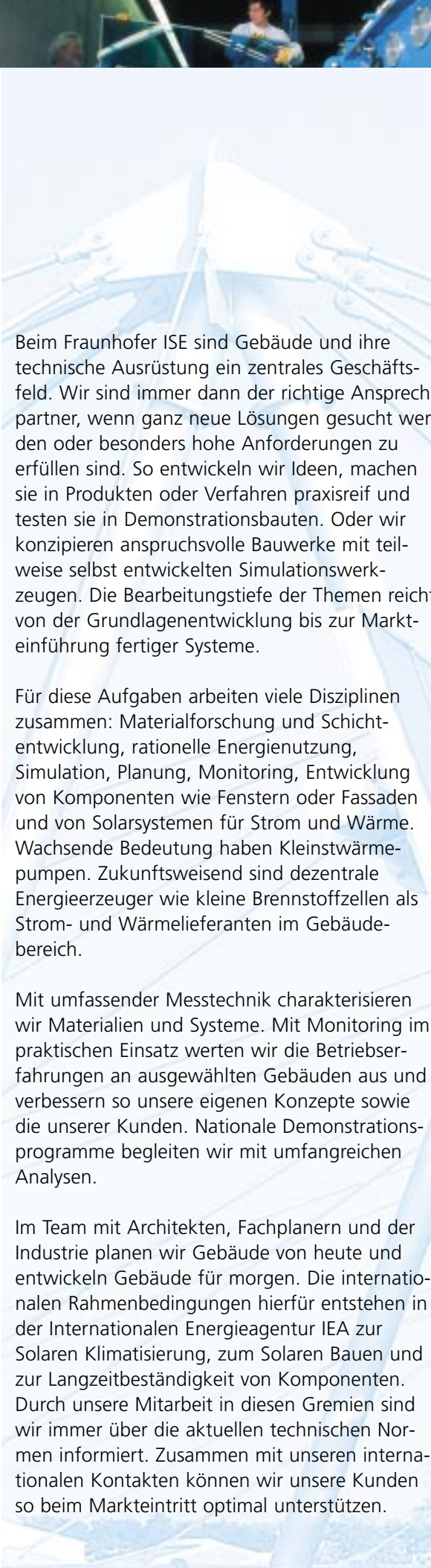


Gebäude und technische Gebäudeausrüstung

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 in den nächsten Jahren Millionen Heizanlagen saniert werden. 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 Fenstern oder Fassaden und von Solarsystemen für Strom und Wärme. Wachsende Bedeutung haben Kleinstwärmepumpen. Zukunftsweisend sind dezentrale Energieerzeuger wie kleine Brennstoffzellen 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 eigenen Konzepte sowie die unserer Kunden. Nationale Demonstrationsprogramme begleiten wir mit umfangreichen Analysen.

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

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

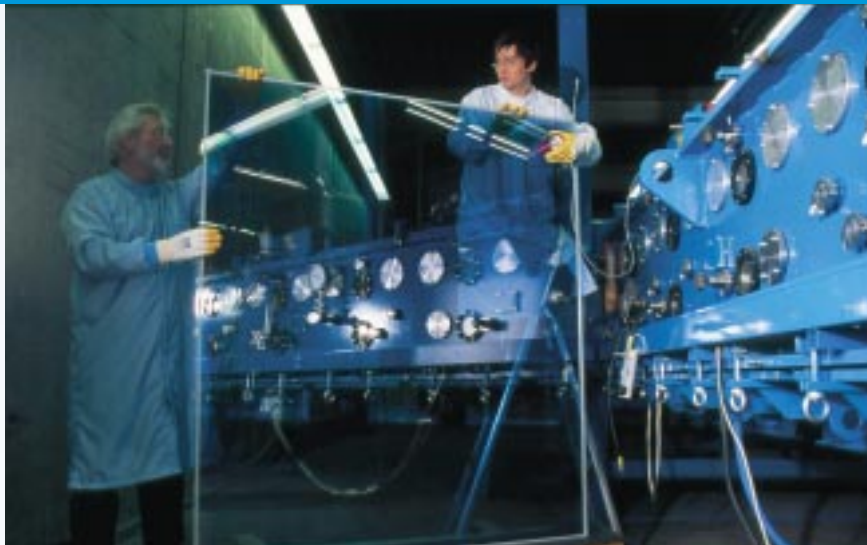
Unsere Apparaturen und Messverfahren entwickeln wir ständig weiter. Einige Beispiele:

- große Laserbelichtungstische, um bis zu 60 cm x 80 cm große Mikrostrukturen herzustellen
- Vakuumbeschichtungsanlage zur industrienahe 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
- 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.

Fraunhofer SOBIC - Solar Building Innovation Center

Im Frühjahr 2004 wird das Fraunhofer Solar Building Innovation Center SOBIC eröffnet. Das Demonstrationszentrum für solares Bauen ist ein gemeinsames Projekt der beiden Fraunhofer-Institute für Bauphysik IBP in Stuttgart sowie des Fraunhofer ISE. Es hat zum Ziel, Forschungsergebnisse des energieeffizienten und solaren Bauens rasch an die Wirtschaft und die Endkunden weiterzugeben. Der Freiburger Standort des Zentrums ist im solar info center, einem privatwirtschaftlich betriebenen Kompetenzzentrum für Planen und Bauen mit Neuen Energien. Ein weiterer Fraunhofer SOBIC Standort ist Fellbach.



Gaschromes Fensterelement vor einer Anlage, auf der Produktionsverfahren für Sputterbeschichtungen entwickelt werden. Auf der Anlage können ebenfalls Demonstratoren bis 1,4 m x 1,8 m hergestellt werden.

Ansprechpartner

Gebäudekonzepte und Simulation	Dipl.-Ing. Sebastian Herkel	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-51 17 E-Mail: Sebastian.Herkel@ise.fraunhofer.de
Fassaden und Fenster	Dr. Werner Platzer	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-51 31 E-Mail: Werner.Platzer@ise.fraunhofer.de
Heizungs-, Lüftungs- und Klimatechnik	Dr. Andreas Bühring	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-52 88 E-Mail: Andreas.Buehring@ise.fraunhofer.de
	Dr. Hans-Martin Henning	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-51 34 E-Mail: Hans-Martin.Henning@ise.fraunhofer.de
Sorptive und Phasenwechsel-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
Brennstoffzellen-Anlagen und Wasserstoffherzeugung	Dr. Thomas Aicher	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-51 94 E-Mail: Thomas.Aicher@ise.fraunhofer.de
	Dipl.-Ing. Ursula Wittstadt	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-52 04 E-Mail: Ursula.Wittstadt@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
Beschleunigte Alterungsanalysen	Dipl.-Phys. Michael Köhl	Tel.: +49 (0) 7 61/4 01 66-82 E-Mail: Michael.Koehl@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

Passive Kühlung von Gebäuden mit Nachtlüftung

Der Sommer 2003 war für alle Gebäude – egal ob Wohngebäude, Fertigungshalle oder Bürogebäude, ob mit oder ohne Klimaanlage – der Härtestest für das Raumklima. Messkampagnen im Sommer 2003 belegen, dass auch während Hitzeperioden allein mit natürlichen Wärmesenken gekühlt werden kann. Der Energiebedarf für die aktive Kühlung, wo erforderlich, lässt sich auf ein Minimum beschränken. Vorausgesetzt, Gebäudetechnik und Architektur sind konsequent auf einander abgestimmt.

Sebastian Herkel, **Jens Pfafferott**,
Jan Wienold, Tilmann Kuhn



Abb. 1: Im stark verglasten Fraunhofer-Haus (17 Stockwerke) in München kann der Kühlenergiebedarf für die Bauteilkühlung durch Nutzung natürlicher Wärmesenken (kühle Nachtluft) stark reduziert werden, da die Doppelfassade eine freie Tag- und Nachtlüftung möglich macht. Das Bild zeigt den Blick in ein Stockwerk der nach Süd-Osten orientierten Doppelfassade.

Ein Quervergleich des Langzeit-Monitorings in fünf passiv gekühlten Gebäuden zeigt, dass – durch die sorgfältige Abstimmung von Wärmegewinn, -verlust und -speicherung – komfortable Raumtemperaturen ohne Einsatz von Klimaanlagen erzielt werden können. Im Extremsommer 2003 konnten durchgängig komfortable Raumtemperaturen nur in den Gebäuden gewährleistet werden, in denen neben der kühlen Nachtluft eine weitere Wärmesenke zur Verfügung steht, z. B. ein Erdwärmetauscher oder eine Bauteilkühlung.

Wir planen Gebäudekonzepte mit passiver Kühlung, wobei der Schwerpunkt auf der Einbeziehung des Nutzerverhaltens und der Energiebilanz für den Raum liegt. Minimierung der Wärmelast, effiziente Wärmeabfuhr und Nutzung der Bauteile als thermische Speicher stehen dabei im Mittelpunkt. Zur Planung setzen wir thermische Gebäudesimulation ein, um das Gebäudekonzept, die Anlagentechnik und deren Betriebsführung zu optimieren. Mit Hilfe der Strömungssimulation werten wir Messdaten sehr detailliert aus, um den Wärmeübergang zwischen Luft und Bauteilen oder die Strömung im Raum zu bestimmen.

Mit den Messdaten aus Lang- und Kurzzeitmessungen (z. B. Luftwechsellmessungen, Thermographie, Komfortmesstechnik, Temperaturen, Meteorologie und Nutzerverhalten) bewerten wir nicht nur realisierte Konzepte, sondern validieren auch die Planungswerkzeuge. Ergebnis ist eine erhöhte Planungssicherheit.

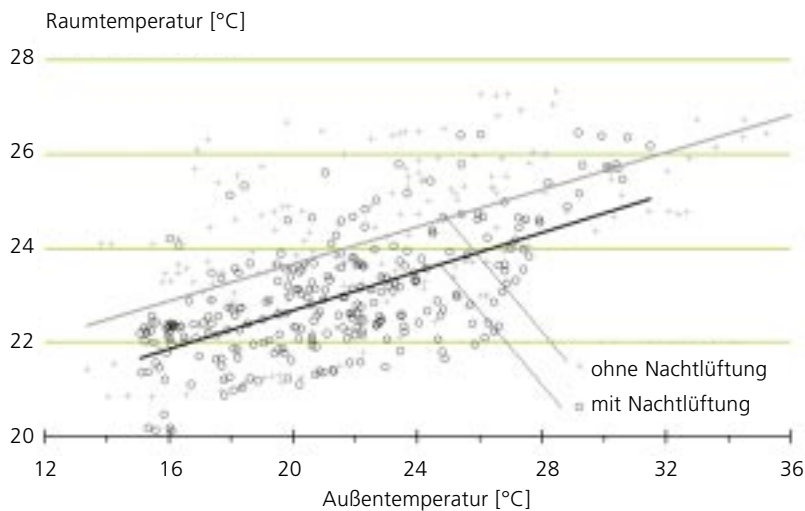


Abb. 2: Gemessene Raumtemperatur in einem Büro am Fraunhofer ISE vom 1. Juni bis 31. August 2002. Die Nachtlüftung war zwischen dem 1. Juni und dem 14. Juli außer Betrieb, vom 15. Juli bis zum 31. August in Betrieb. Wie der Vergleich der Ausgleichsgeraden für die beiden Zeiträume zeigt, senkt die Nachtlüftung die Raumtemperatur während der Betriebszeit um 1,2 K.

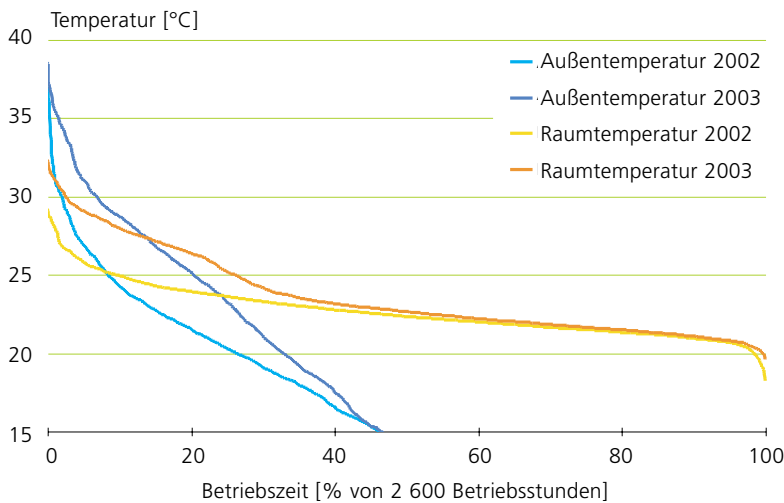


Abb. 3: Der Sommer 2003 war rund 4 °C wärmer als der Sommer 2002. Die Raumtemperaturen im Fraunhofer ISE lagen im Sommer 2003 über mehrere Wochen entsprechend 3 °C über denen in 2002. Die kurze Hitzeperiode in 2002 wurde durch das Gebäude gut gedämpft. Im Extremsommer 2003 senkte die Nachtlüftung zwar die Raumtemperatur, konnte aber wegen der hohen Nachttemperaturen kein durchgehend komfortables Raumklima gewährleisten.

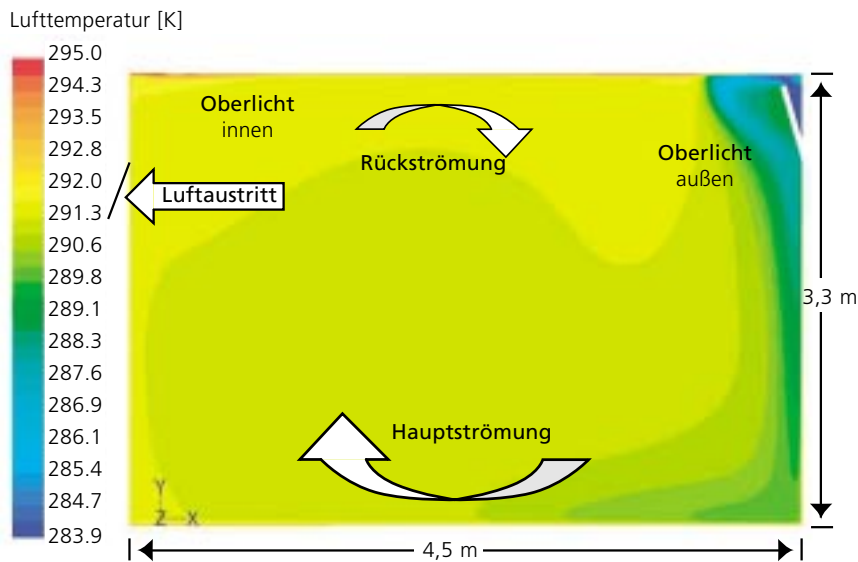


Abb. 4: Temperaturfeld in einem Büroraum um 2:00 Uhr Nachts. Die Strömungssimulation entstand auf Basis einer umfangreichen Modellvalidierung an Hand von Temperatur- und Luftwechsellmessungen. Die kühle Nachtluft strömt von oben in den Raum ein (Oberlicht), fällt in einem ca. 80 cm breiten Schleier zum Boden, erwärmt sich und wird gegenüber vom Einlass über der Tür (Klappe) mechanisch in den angrenzenden Flur abgeführt. Innerhalb des Raumes bildet sich durch den thermischen Auftrieb eine Walze aus.

Drei Beispiele für gelungene Fassadenplanung

Der extrem heiße Sommer 2003 stellte die Gebäude in Deutschland vor überaus harte Anforderungen in Bezug auf den sommerlichen Wärmeschutz. Drei Gebäude, an deren Fassadenplanung das Fraunhofer ISE beteiligt war, wurden damit gleich im ersten Sommer nach Bezug einem Härtestest unterzogen. Alle drei – jeweils unterschiedliche – Fassadenkonzepte haben diese Feuertaufe bestanden.

Tilman Kuhn, Jan Wienold



Abb. 1: Das neue Hochhaus der Dresdner Bank in Frankfurt (Main). Die einschalige Fassade ermöglicht die natürliche Belüftung der Räume. Eine einschalige Fassade ist nicht nur wegen der Investitionskosten wirtschaftlich, sondern auch, weil der vermietbare Raum wegen der geringeren Wanddicke größer ist.



Abb. 2: Der Messturm in Basel, Schweiz. Beim höchsten Haus der Schweiz wird die Abluft aus dem Raum durch den Fassadenzwischenraum abgesaugt. Sie kühlt damit den Fassadenzwischenraum und den Sonnenschutz, der von der Abluft umspült wird. Auf dem Bild zu sehen ist die Anbringung der Fassadenelemente.



Abb. 3: Das Fraunhofer-Haus in München. Die Fassade ist doppelschalig ausgeführt und wird zur Belüftung der Büros verwendet.

Gallileo, Frankfurt (Main): Das Hochhaus der Dresdner Bank hat eine einschalige, vollverglaste Fassade mit innenliegendem Sonnenschutz und Parallel-Ausstellfenstern, die geöffnet werden können. Das Gebäude hat eine Bauteilkühlung und eine Luftkühlung. Zentrales Ziel war es, die Fassade »robust« gegen vermeintliche Bedienungsfehler auszulegen. Für mehrere Fassadenvarianten haben wir hierzu die Auswirkung unterschiedlicher Nutzungsarten auf die Sonnenschutzwirkung mit Hilfe einer neu entwickelten Methodik analysiert. Zudem prüften wir den g-Wert von mehreren Fassadenvarianten im Labor.

Messturm Basel, Schweiz: Für den Messturm Basel haben wir gemeinsam mit Bug AluTechnic ein Fassadenkonzept entwickelt. Das Gebäude ist klimatisiert und hat eine vollverglaste Abluftfassade. Bei diesem Fassadentyp mit zwei hintereinander angeordneten Zweifach-Verglasungen wird die Büroabluft durch den Spalt zwischen der inneren und der äußeren Doppelverglasung abgesaugt. Die Abluft kühlt den in diesem Zwischenraum befindlichen Sonnenschutz. Dadurch konnten extrem niedrige g-Werte von $0,06 \pm 0,02$ (geschlossene Jalousie) und $0,10 \pm 0,02$ (Lamellen in Arbeitsstellung) realisiert und bei Laborprüfungen nachgewiesen werden.

Fraunhofer-Haus München: Für den 17-stöckigen Neubau mit Doppelfassade der Fraunhofer-Gesellschaft ist natürliche Lüftung und Kühlung ohne raumluftechnische Anlage oder Kältemaschine das zentrale Thema. Das Fraunhofer ISE übernahm hier die Fassadenoptimierung und das Energiekonzept. Anhand von Messungen und Simulationen haben wir Frischluftführung und Hinterlüftung der Doppelfassade sowie den Sonnenschutz und die internen Wärmequellen (z. B. Verwendung energiesparender PCs und TFT Bildschirme, Drucker zentral) optimiert. Um Überhitzung zu vermeiden, wird eine Bauteilkühlung eingesetzt, die mit nächtlicher, natürlicher Umgebungskälte arbeitet. Zufriedene Nutzer und Messungen im Sommer 2003 zeigen, dass die vorgegebenen Komfortkriterien eingehalten wurden.

Optimierung von Regelstrategien für Fassadensysteme

Sonnen- und Blendschutzsysteme werden in den meisten Fällen nach visuellen Gesichtspunkten vom Nutzer eingestellt oder nachgeregelt. Für die Ermittlung eines optimierten Schaltpunkts für ein automatisiertes gaschromes System ist daher die Berücksichtigung des Tageslichts und insbesondere die Fassadenleuchtdichte von Bedeutung. Im Rahmen des EU-Projektes SWIFT haben wir ein Verfahren entwickelt, das es erlaubt unterschiedlichste Regelstrategien unter realistischen Bedingungen zu evaluieren.

Jan Wienold, Werner Platzer

Um Regelstrategien von Fassadensystemen im Vorfeld per Simulation evaluieren zu können, sind gekoppelte thermische und tageslichttechnische Simulationen unerlässlich. Der Unterschied unserer neu entwickelten Methode zu bestehenden Verfahren besteht in der Verwendung realistischer Nutzerprofile, die im Rahmen von Forschungsprojekten entwickelt wurden. Diese Profile ergeben, dass der Nutzer den Blendschutz auch nach visuellen Komfortgesichtspunkten einstellt, wie z. B. Fassadenleuchtdichte und das potenzielle Eindringen direkten Sonnenlichts auf Arbeitsfläche und Gesicht. Neben der optimierten Lamellenstellung des Blendschutzes berücksichtigt das Profil auch das typische Nutzerverhalten, das in einer »Nachjustierung« der Jalousien erst bei drastischen Veränderungen der Bedingungen besteht. Die verwendete Berechnungsmethode erlaubt darüber hinaus die Untersuchung beliebiger anderer Regelstrategien, ohne dass aufwändige neue Simulationen notwendig sind. Alle erforderlichen Daten werden im ersten Simulationsschritt ermittelt und anschließend mit Hilfe von Regelalgorithmen ausgewertet.

Als Ergebnis der Tageslichtsimulation erhalten wir Lastprofile der elektrischen Beleuchtung, die die realistische Bedienung des Sonnenschutzes/ Blendschutzes berücksichtigen. Diese Lastprofile werden von der thermischen Simulation verwendet, um die raumklimatischen Verhältnisse zu berechnen. Für gaschrome Fassadensysteme haben wir damit optimierte Schaltpunkte für verschiedene Varianten (Klimazonen, Orientierung, Fassadenfläche und Verbauung) ermittelt. Die Optimierungsstellgröße war in allen Simulationen die auftreffende Fassadenstrahlung in W/m^2 , minimiert wurde dabei der Energiebedarf

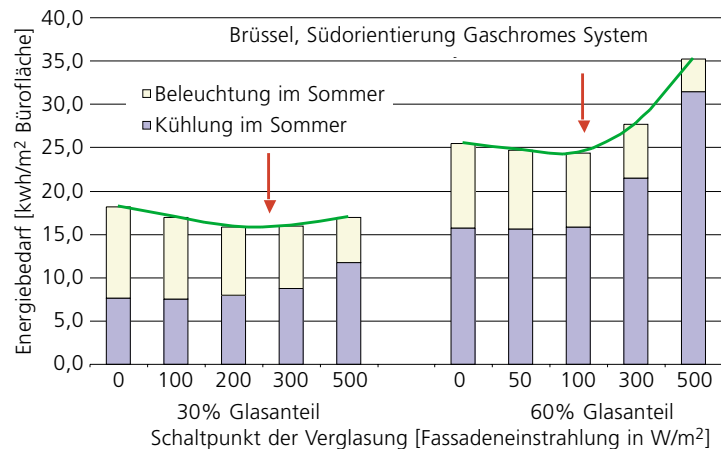


Abb. 1: Ergebnisse der gekoppelten thermischen und tageslichttechnischen Simulation. Die Minimierung der Summe aus Kühlung und Beleuchtung ergibt den optimalen Schaltpunkt für die schaltende Fassade. Dargestellt für zwei Verglasungsvarianten und mitteleuropäisches Klima (Brüssel). Bei 30% Verglasungsanteil liegt der optimale Schaltpunkt bei ca. 250 W/m^2 , bei 60% Verglasungsanteil liegt er bei ca. 100 W/m^2 Fassadenbestrahlung.

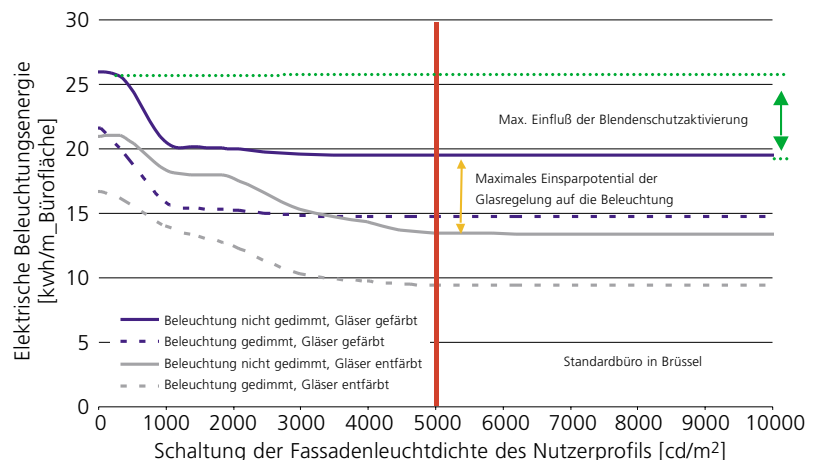


Abb. 2: Das verwendete Nutzerprofil bedient den Blendschutz so, dass die vom Nutzer gesehene Fassadenleuchtdichte einen Zielwert nicht überschreitet. Dargestellt ist in der Grafik der Einfluss verschiedener Leuchtdichte-Zielwerte auf den Energiebedarf der elektrischen Beleuchtung. Die rote Linie markiert die im Rahmen von Nutzeruntersuchungen ermittelte max. Fassadenleuchtdichte von 5000 cd/m^2 , die in der Folge von allen Simulationen weiter verwendet wurde. Dargestellt ist ebenfalls der maximal mögliche Einfluss auf die Beleuchtungsenergie einer Regelung sowohl für die schaltenden Scheiben als auch für die Bedienung des Blendschutzes.

für Kühlung und Beleuchtung. Die Ergebnisse unserer Simulationsstudie sind in eine Design-Broschüre für schaltende Fassadensysteme eingeflossen. Mit der neuen Methode können wir den Effekt unterschiedlicher Sonnenschutz- und Regelvarianten auf den Kunstlicht- und Kühlbedarf bzw. thermischen Komfort quantifizieren.

Integration und Bewertung von schaltbaren Elementen in Fassaden

Elektrochrome und gaschrome Verglasungen steuern dynamisch den Licht- und Energiestrom durch die Fassade. Zur Unterstützung für die baupraktische Integration dieser neuen Technologien haben wir Methoden und eine Datenbasis für den Planungsprozess entwickelt. Es wurden primärenergetische Einsparpotenziale bei Kunstlicht, Kühlung und Heizung bei simultaner Optimierung des thermischen und visuellen Komforts untersucht.

Markus Heck, Michael Köhl, Florian Pfeifer, **Werner Platzer**, Jan Wienold, Helen Rose Wilson*

* Interpane Entwicklungs- und Beratungsgesellschaft mbH, Lauenförde

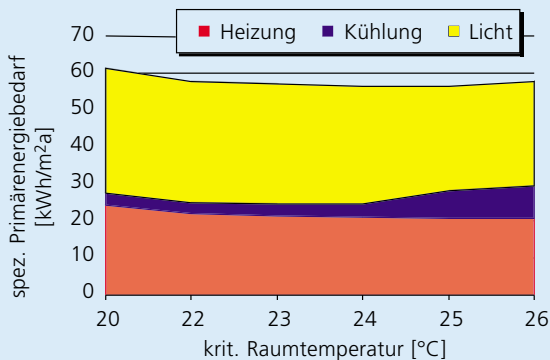


Abb. 1: Primärenergetische Optimierung des Schaltpunktes einer Regelung nach Raumtemperatur. Im Beispiel ist ein fiktives Bürogebäude mit Süd- und Nordbüros und Standort Brüssel mit einem zusätzlichen innenliegenden Blendschutz ausgestattet, um den visuellen Komfort sicherzustellen. Der Schaltpunkt der Fassade sollte 2 K unter dem der Raumkühlung liegen (26 °C), andernfalls erhöht sich der Kühlbedarf stark (Verdoppelung bei 26 °C gegenüber 24 °C). Die Beleuchtungsenergie ist wegen des Primärenergiefaktors von drei der dominante Anteil des Jahresbedarfs.



Abb. 2: Blick aus einem Fraunhofer ISE-Büro mit schaltbarer Verglasung. Die rechte Scheibe ist blau eingefärbt. Das linke Fenster steht offen. Selbst im tief eingefärbten Zustand mit einem Gesamtenergiedurchlassgrad um 15% bleibt die Durchsicht erhalten.

Die dynamischen optischen und thermischen Eigenschaften der schaltbaren Fassaden wurden im Labor geprüft und über längere Zeiträume in Testfassaden vermessen. Um die Fassaden mittels Simulation für verschiedene Klimazonen, Nutzungen und Gebäudetypen zu untersuchen, haben wir Simulationsmodelle der Fassaden aus den Messdaten abgeleitet und validiert. Die Untersuchung der Haltbarkeit und Belastbarkeit erfolgte in beschleunigten Kurzzeittests und in Langzeituntersuchungen der Außenwitterung. Aufgrund der Neuartigkeit der Systeme mussten dazu bewährte Prüfverfahren angepasst und sinnvoll weiterentwickelt werden.

Die Bewertung der Regelung der schaltbaren Elemente ist abhängig von den Zielvorgaben: Thermischer und visueller Nutzerkomfort stehen in Konkurrenz zu einer Minimierung des Primärenergieverbrauchs für Beleuchtung, Kühlung und Heizung. Verschiedene Regelungsansätze haben wir simulatorisch an unserem Referenzbüro erprobt, das wir in internationaler Zusammenarbeit mit der IEA Task 27 »Performance of solar facade components« entwickelt haben. Damit können wir nun die Auswirkung unterschiedlicher Sonnenschutz- und Regelungsvarianten auf Primärenergieverbrauch und Komfort quantifizieren. Die Minimierung der Primärenergie stand im Vordergrund bei der Simulation zu Abb. 1. In einem weiteren Beitrag (s. Seite 21) wurde die Regelung nach visuellen Gesichtspunkten optimiert. In beiden Fällen haben wir gekoppelte thermische und tageslichttechnische Simulationen mit realistischen Nutzerprofilen verwendet.

Ergebnisse von Simulationsstudien, Nutzerbefragungen und technischen Untersuchungen sind in ein Planerhandbuch für schaltende Fassadensysteme eingeflossen.

Die Arbeiten wurden im Rahmen des Projekts SWIFT von der EU gefördert. Planerhandbuch und weitere Information: www.eu-swift.de

Baustoffe mit Phasenwechselmaterialien erhöhen thermischen Komfort

Die Wärmekapazität verschiedenster Materialien lässt sich durch das Einbringen von Phasenwechselmaterialien (PCM) drastisch erhöhen. Die Mikroverkapselung der PCM's bietet die Möglichkeit, sie herkömmlichen Baustoffen beizumischen. Bei Gebäuden in Leichtbauweise ist diese Kapazitätserhöhung wünschenswert, um an heißen Sommertagen die auftretenden thermischen Lastspitzen abzapfend. Dies führt zu einem geringeren Klimatisierungsbedarf und zu einer Erhöhung des Nutzungskomforts. Auch Wärmeträgerfluide lassen sich durch diese Additive optimieren.

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



Abb. 1: Einbringen des PCM-Putzes in den Neubau des Energieversorgers badenova in Offenburg. Die Handhabung des Materials auf der Baustelle unterscheidet sich nicht von der eines herkömmlichen Gipsputzes.

Mit dem Ziel, den PCM-Effekt exakt aus Messungen zu quantifizieren, haben wir zwei identische Leichtbau-Testräume mit detaillierter Messtechnik ausgestattet und in mehreren Test-

reihen mit PCM-Produkten versehen. In unserer aktuellen Messreihe haben wir die Testzellen mit 12 mm starken Gipsputzen der Firma maxit ausgestattet und vermessen. Dabei konnten wir einen Temperaturunterschied von bis zu 4 K in der Wand und 3 K in der Luft erreichen. Die Anzahl der Stunden mit Temperaturen über 26 °C in der PCM-Zelle wurde deutlich reduziert. Der Einsatz einer Verschattung ist trotzdem sinnvoll. Ebenso ist eine kontrollierte Nachtlüftung unbedingt erforderlich, um den Speicher über Nacht wieder zu entladen. Die an unserem Teststand gewonnenen Daten zeigen trotz des Rekordsommers 2003 deutlich das Potenzial von PCM-haltigen Baumaterialien. Der Klimatisierungsbedarf sinkt und der Komfort des Raumklimas steigt.

Erste PCM-haltige Produkte sind seit Anfang 2003 auf dem Markt verfügbar. Damit wurden bereits Referenzobjekte realisiert. So stattete der Energieversorger badenova den Neubau seines Verwaltungsgebäudes in Offenburg mit PCM-haltigem Putz aus und verzichtete auf eine aktive Klimatisierung.

Unsere Partner in dem vom Bundeswirtschaftsministerium geförderten Projekt sind die Firmen BASF, DAW, maxit und Sto.

Durch das Beimischen mikroverkapselter PCM's in Wärmeträgerfluide kann auch deren Wärmekapazität im gewünschten Temperaturbereich erhöht werden. Dadurch reduzieren sich sowohl die benötigte Pumpenenergie als auch die Wärmeverluste im Leitungsnetz. Bestehende Netze können durch Einbringen von PCM-Fluiden in Ihrer Kapazität erhöht werden.

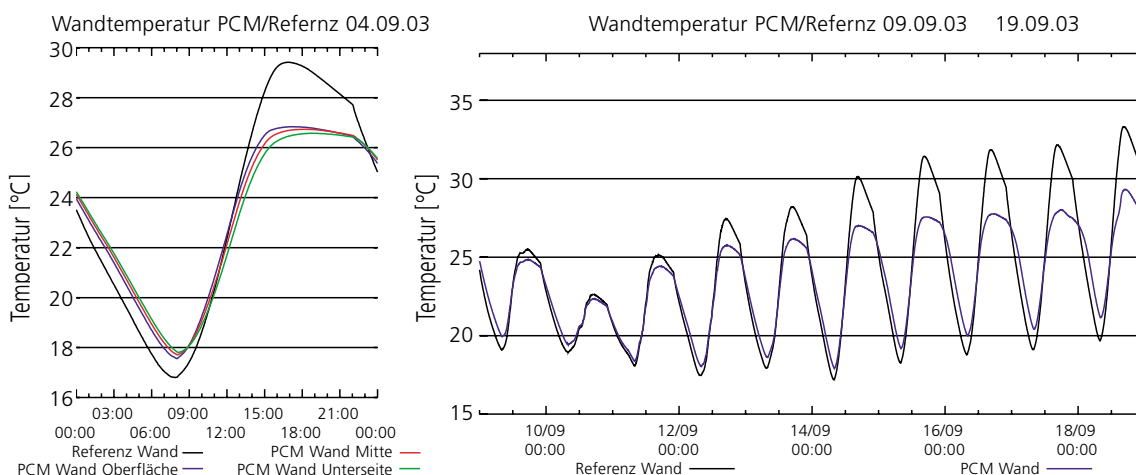


Abb. 2: Wandtemperaturen der PCM-Zelle (blau) und der konventionellen Referenzzelle (schwarz) in einem dreiwöchigen Zeitraum. Deutlich ist zu sehen, dass die Wandtemperatur der PCM-Zelle regelmäßig etwa 3–4 K unter jener der Referenzzelle liegt. Im Schmelzbereich des PCM (24–27 °C) steigt die Temperatur der PCM-Wand deutlich langsamer gegenüber der herkömmlichen Wand an. Zusätzlich wird das Temperaturmaximum durch das PCM um etwa 1 bis 2 Stunden in den Abend auf ca. 18 Uhr verschoben, was den Einsatz vor allem in Bürogebäuden attraktiv macht.

Planungswerkzeuge für die solare Klimatisierung

Sommerliche Klimatisierung ist eine aussichtsreiche Anwendung für die Nutzung der Solarthermie im Gebäude. Allerdings gibt es bislang wenige standardisierte Konzepte für die Systemauslegung. Im Rahmen verschiedener Projekte haben wir am Fraunhofer ISE in der Vergangenheit unterschiedliche Planungshilfsmittel mit unterschiedlicher Detaillierung erarbeitet, die je nach Stand der Ausführung zum Einsatz kommen können.

Hans-Martin Henning, Edo Wiemken,
Carsten Hindenburg, Lena Schnabel,
Mario Motta, Tim Selke

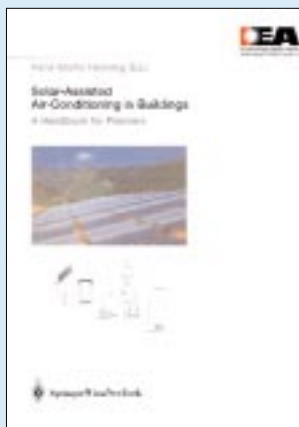


Abb. 1: Deckblatt des Handbuchs: »Solar Assisted Air Conditioning in Buildings – A Handbook for Planners« (Springer-Verlag Wien, ISBN 3-211-00647-8)

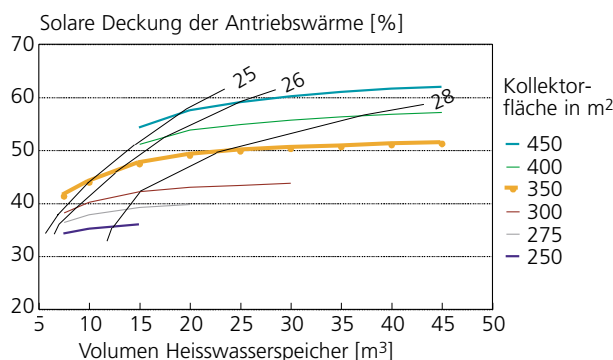


Abb. 2: Solarer Deckungsbeitrag zur Raumkühlung als Funktion der Größe des Pufferspeichers für unterschiedliche Kollektorflächen. Die Anlage soll beim Umweltbundesamt UBA Dessau installiert werden. Der solare Deckungsbeitrag beschreibt den Anteil an der gesamten Antriebsenergie der Kältemaschine, die von der solarthermischen Anlage bereitgestellt wird. Die mit Zahlen (25, 26, 28) markierten Linien sind Iso-Linien des jährlichen Netto-Kollektor-Nutzungsgrades: der Wert 25 bedeutet z. B., dass der jährliche Netto-Kollektor-Nutzungsgrad 25% beträgt. Der jährliche Kollektornutzungsgrad ist das Verhältnis aus der für die Kälteerzeugung nutzbaren solaren Antriebswärme und der jährlichen Einstrahlungssumme auf die Solaranlage.

Unter Leitung des Fraunhofer ISE entstand im Rahmen der Task 25 »Solar Assisted Air-Conditioning of Buildings« des Solar Heating & Cooling Programme der Internationalen Energie-Agentur (IEA) ein Handbuch für Planer. Es enthält eine Übersicht über die wichtigsten Techniken und gibt Planungshinweise (Abb. 1). Ein einfaches Auslegungsprogramm erlaubt einen Vorentwurf des Solarsystems in solar unterstützten Klimatisierungsanlagen. Das Programm entstand im Rahmen des von der EU geförderten Projektes »SACE – Solar Air Conditioning in Europe« und ist frei verfügbar:

www.ocp.tudelft.nl/ev/res/sace.htm. Eine detaillierte Systemauslegung von Anlagen der solaren Klimatisierung bedarf heute noch vielfach einer umfangreicheren Systemsimulation, da die Technikplaner nur auf wenig Erfahrung aus der Praxis zurück greifen können. Deshalb haben wir am Fraunhofer ISE spezielle Computerprogramme entwickelt, mit denen in relativ kurzer Zeit eine detaillierte Anlagensimulation durchgeführt werden kann. Gleichzeitig haben wir für die in der solarthermischen Anlagentechnik verbreitete Software TRNSYS spezielle Unterprogramme zur Modellierung der kälte- und klimatechnischen Komponenten entwickelt und in verschiedenen Studien zur Unterstützung der Anlagenplanung eingesetzt. Als Beispiel zeigt Abb. 2 die Auslegung der solarthermischen Klimatisierungsanlage für die Computerräume des Neubaus des Umweltbundesamtes in Dessau. Die Anlage ist kombiniert mit einer teilweise solar angetriebenen Adsorptionskältemaschine.

Monitoring – energetische Bewertung der Wärmeversorgungstechnik in Passivhäusern

Untersuchungen zur Energieeffizienz der Wärmeversorgung von Passivhäusern sind Gegenstand dieses Monitoringprogramms. Schwerpunkt ist die Bewertung einer integralen Wärmeversorgung mit Abluft-Wärmepumpen in Kombination mit thermischen Solaranlagen. Die Ergebnisse des Monitorings zur Wärmeversorgung von Passivhäusern auf der Basis von Kleinstwärmepumpensystemen bestätigen die angestrebte Energieeffizienz ebenso wie den Wohnkomfort für die Nutzer.

Andreas Bühring, Christel Russ,
Benoit Sicre, Marek Miara

Mit dem Ziel der Qualitätssicherung von Anlagen und Gebäuden untersuchen wir in zahlreichen Monitoring-Projekten Wärmeversorgungssysteme mit Wärmepumpen in Passivhäusern (Abb. 1). In mehr als 65% aller bewerteten Ein- und Mehrfamilien-Passivhäuser haben wir einen Primärenergieverbrauch von weniger als 60 kWh/m²a ermittelt (Abb. 2). Dabei konnten wir feststellen, dass in Gebäuden mit einer gut abgestimmten Steuer- und Regelungstechnik für die unterschiedlichen Komponenten des Wärmeversorgungssystems der Primärenergiebedarf so niedrig ist, dass er den nach Energieeinsparverordnung EnEV 2002 zulässigen Grenzwert um bis zum Faktor vier unterschreitet.

Die im Rahmen des Monitoring untersuchten Versorgungssysteme in den Passivhäusern umfassen:

- modular aufgebaute Systeme mit Lüftungsgerät, Erdreich-Wärmepumpe und Solarkollektor

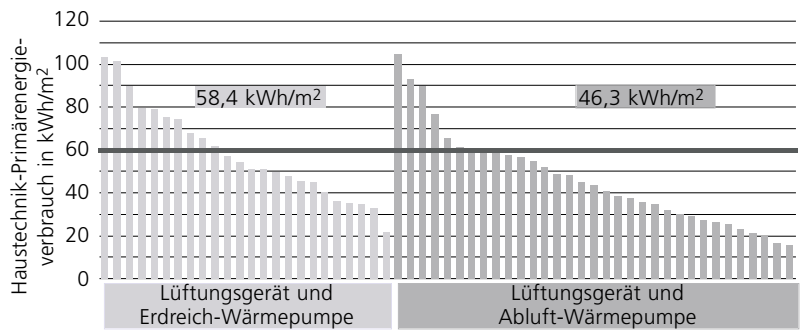


Abb. 2: Für das Jahr 2002 wurde der spezifische Primärenergieverbrauch für die Wärme- und Trinkwassererwärmung sowie für die Lüftung in Passivhäusern mit modular aufgebauten Erdreich-Wärmepumpensystemen und Lüftungsgeräten mit Abluftwärmepumpe oder Lüftungs-Kompaktgeräten ermittelt. Der Zielwert von 60 kWh/m² beheizter Nutzfläche pro Jahr wurde in den meisten Passivhäusern unterschritten. Nur wenige Gebäude haben einen höheren Primärenergieverbrauch. Durch Optimierungen im Steuer- und Regelungssystem kann der Energieverbrauch in diesen Gebäuden noch gesenkt werden.

- Lüftungs-Kompaktgeräte (Lüftung mit Wärmerückgewinnung und Abluft-Wärmepumpe) sowie Solarkollektoren
- zentrale Wärmeversorgung über Wärmepumpe oder Nahwärmeanschluss in Kombination mit einer Solaranlage und haus- oder wohnungsweisen Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung

Durch die energetische Bewertung festgestellte Schwachstellen in der Versorgungstechnik sind wertvolle Hinweise für Planer und Gerätehersteller.

Ein weitreichendes Monitoring-Programm zur Qualitätssicherung der Wärmeversorgungstechniken mit Wärmepumpen in Passivhäusern konnten wir dank der fördernden Unterstützung der EnBW Energie Baden-Württemberg, der Stiftung Energieforschung Baden-Württemberg sowie der Deutschen Bundesstiftung Umwelt durchführen.



Abb. 1: Passivhäuser aus dem Monitoring-Programm der EnBW Energie Baden-Württemberg AG. Die Wärmeversorgung erfolgt mit erdreichgekoppelten Wärmepumpen, Lüftungsgeräten mit Wärmerückgewinnung bzw. Lüftungskompaktgeräten und thermischen Solaranlagen.

Lüftungs-Kompaktgeräte im Test

Lüftungs-Kompaktgeräte mit integrierter Abluftwärmepumpe sind eine sehr effiziente Versorgungslösung für Passivhäuser. In der Phase der Entwicklung der Geräte sind qualitativ hochwertige Messungen an Prototypen und Versuchsmustern ein wichtiges Instrument der Optimierung. Wir haben für die Entwicklungsunterstützung ein Versuchsfeld aufgebaut, mit dem wir die Geräte unserer Kunden entsprechend der Messnorm, aber auch unter individuell festgelegten stationären und dynamischen Bedingungen messen können.

Andreas Bühring, Sebastian Bundy, Wolfgang Guter, Jan van Wersch, Martina Jäschke, Michael Schossow, Michael Krieg

Auf unserem Teststand für Lüftungs-Kompaktgeräte testen wir Geräte für unsere Kunden auf Effizienz und Betriebssicherheit. Dabei können wir die Randbedingungen des Einsatzes in einem weiten Bereich fest einstellen oder auch dynamische Lastverläufe frei vorgeben.

Besondere Anforderungen stellt die Testvorschrift nach Euronorm EN 255 Teil 2 und Teil 3. Bei der Wassererwärmung wird ein mehrtägiger Testzyklus durchfahren, bei dem die Regelung des Teststands fortlaufend die Messwerte prüfen und auf die Betriebszustände des Verdichters reagieren muss. Wir haben dieses Messverfahren vollautomatisiert und bieten es auch für zusätzliche Betriebspunkte an. Dies gilt auch für den gekoppelten Betrieb einer Wärmepumpe für Heizung und Trinkwassererwärmung.

Um einen schnellen Ablauf der Messungen zu gewährleisten, haben wir zwei gleichwertige Messplätze realisiert. Während der noch laufenden Vermessung eines Lüftungs-Kompaktgerätes können wir ein weiteres bereits aufbauen und mit Sensorik ausstatten. Die Anlage erlaubt einen sehr schnellen Wechsel zwischen beiden Plätzen. Auf diese Weise haben wir in diesem

Abb. 1: Auf dem Teststand vermessene Lüftungs-Kompaktgeräte. Das Gerät oben ist speziell für den Einsatz im Mehrfamilien-Passivhaus entwickelt und hat einen kleinen, integrierten Trinkwasserspeicher von 200 Litern. Das Gerät unten, mit einem integrierten Speicher von 240 Litern mit Anschlüssen für einen Solarkollektor, kann einen zusätzlichen Außenluftstrom als weitere Wärmequelle nutzen und im Sommer auch zur Kühlung der Zuluft eingesetzt werden.

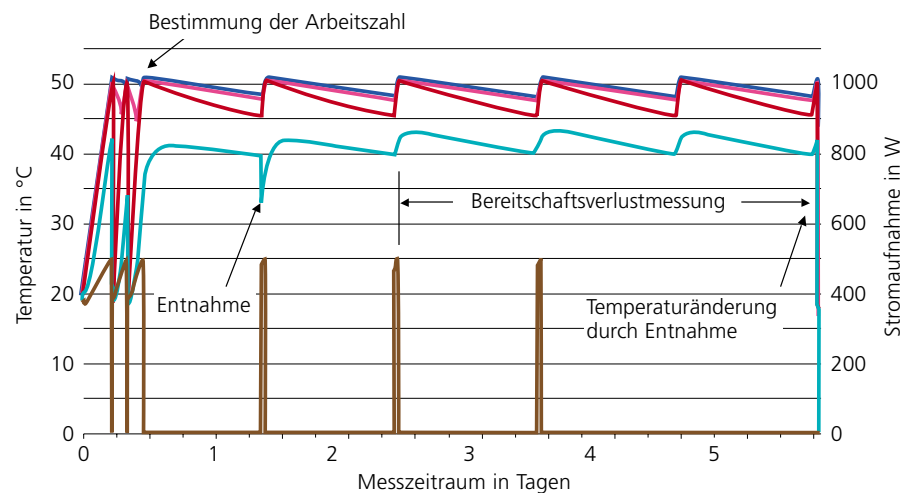


Abb. 2: Speichertemperaturen und Verdichter-Leistungsaufnahme der integrierten Abluftwärmepumpe eines vermessenen Lüftungs-Kompaktgeräts. Die Messung entsprechend EN 255-3 dauert mehrere Tage und liefert einige Kennwerte des Geräts. In der Anfangsphase wird nach einer ersten Aufheizung mehrmals das halbe Speichervolumen gezapft und der Speicher anschließend wieder erwärmt. Dabei wird die Arbeitszahl für die Nachheizung bestimmt. Anschließend werden die entnehmbaren Wassermengen bei 40 °C bestimmt, ebenso die mittlere Leistungsaufnahme der Wärmepumpe zur Deckung der Wärmeverluste des Speichers in den Stillstandszeiten der Anlage.

Jahr für mehrere Hersteller Lüftungs-Kompaktgeräte mit Abluftwärmepumpe vermessen und analysiert.

Der Schwerpunkt unserer Arbeiten liegt in der Unterstützung unserer Kunden bei der Weiterentwicklung ihrer Geräte. Wir messen Prototypen oder Nullseriengeräte und ermitteln die Potenziale zur Verbesserung. Dazu zählt auch die kundengerechte Optimierung von Seriengeräten.

Wärme fürs Passivhaus – Entwicklung eines neuen Lüftungs-Kompaktgeräts mit Abluftwärme und Zuluftheizung

Neue Wohngebäude zeichnen sich durch steigende Energieeffizienz und geringen Wärmeverbrauch aus. Passiv- und Null-emissionshäuser stellen veränderte Anforderungen an die Versorgungstechnik und eröffnen neue Möglichkeiten. Zusammen mit unseren Kunden entwickeln wir dafür optimierte Techniken. Im Mittelpunkt steht dabei die Weiterentwicklung der Lüftungs-Kompaktgeräte für Passivhäuser, eine Technologie, mit der unsere Kunden neue Märkte erschließen.

Andreas Bühring, Christian Bichler*, Jeannette Wapler**, Wolfgang Guter

* PSE Projektgesellschaft Solare Energiesysteme mbH, Freiburg

** PSE GmbH Forschung Entwicklung Marketing, Freiburg

Gemeinsam mit unseren Industriepartnern entwickeln wir die Technik der Lüftungs-Kompaktgeräte mit integrierter Abluftwärmepumpe weiter. Diese Geräte dienen der Lüftung, der Beheizung und der Trinkwassererwärmung speziell in Passivhäusern, also hocheffizienten Wohngebäuden. In einem Lüftungs-Kompaktgerät wird mit Hilfe eines Luft-Luft-Wärmetauschers und einer nachgeschalteten Wärmepumpe der Abluft soviel Energie entzogen, dass der Wärmebedarf des Hauses und der Bewohner damit gedeckt werden kann.

Im Mittelpunkt unserer derzeitigen Arbeiten steht die Entwicklung einer besonders effizienten Wärmepumpe für eine neue Gerätegeneration. Dabei wird eine am Institut entwickelte Reihenschaltung des Kältemittelkreises umgesetzt (patentiert). Statt der bisher meist verwendeten klimaschädlichen Fluor-Kohlenwasserstoffe wird ein reiner Kohlenwasserstoff eingesetzt. Außerdem wird das neue Gerät eine Möglichkeit zur passiven Kühlung des Gebäudes enthalten.

Für die Entwicklung optimierter Geräte führen wir Simulationsstudien durch, beraten bei der Komponentenauswahl und erstellen Baugruppenanordnungen und Versuchsmuster.

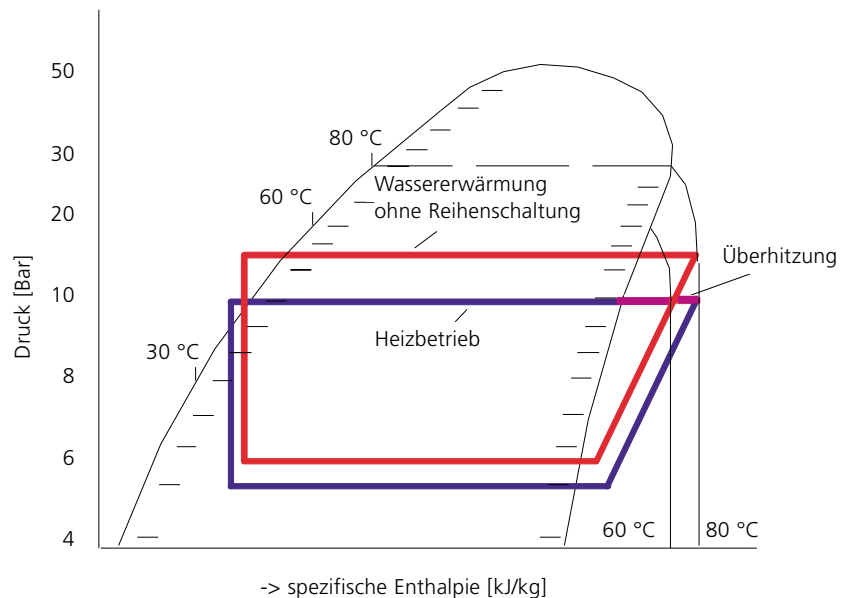


Abb. 1: Zustände des Kältemittelkreises der neuen Wärmepumpe im Druck-Enthalpie-Diagramm. Die rote Kurve zeigt einen typischen Prozess bei der Trinkwassererwärmung. Für die geforderten Temperaturen ist ein hoher Druck im Kreislauf erforderlich, der mit hoher elektrischer Antriebsenergie erzeugt werden muss. Während des Heizbetriebs (blaue Kurve) sind nur geringere Drücke nötig, also auch weniger Strom. Durch die neue Reihenschaltung kann aber trotzdem ein Teil der Energie (lila) bei hoher Temperatur für die Trinkwassererwärmung genutzt werden, ohne den Druck dafür zu erhöhen. Dadurch steigt die Effizienz der Wärmepumpe, also die Leistungszahl COP, und der Stromverbrauch sinkt.

Ebenso zählen die Entwicklung der Regelung und die Vermessung der ersten Geräte auf unserem Teststand (s. Seite 26) und in Feldversuchen zu unseren Dienstleistungen. Ein besonderes Augenmerk legen wir auf eine hohe Energieeffizienz, Naturfreundlichkeit sowie auf geringe Produktionskosten und die Möglichkeit der Kopplung mit solaren Technologien.

Die Arbeiten erfolgen im Rahmen des BMWA-Leitprojektes »Neue Gesamtenergiekonzepte für Gebäude – NEGEV« im Auftrag und in Zusammenarbeit mit den Firmen Maico in Villingen-Schwenningen, Solvis in Braunschweig und Resol in Hattingen.

Kraft-Wärme-Kopplung versöhnt mit Sonnenwärme

Zwischen thermischen Solaranlagen und dezentralen KWK-Anlagen herrscht derzeit ein Verdrängungswettbewerb. Im Auftrag des Bundesumweltministeriums haben wir untersucht, wie mit leichten Änderungen der vorhandenen Förderinstrumente diese negativen Effekte vermieden werden können. Durch eine geringfügige Änderung des Zeitmusters des gegenwärtig gezahlten KWK-Zuschlags für eingespeisten Strom können die Verdrängungsmechanismen weitgehend beseitigt werden, ohne dass dafür zusätzliche Fördermittel benötigt werden.

Andreas Bühring, Werner Hube*,
Benoit Sicre, Matthias Vetter

* PSE Projektgesellschaft Solare Energiesysteme mbH,
Freiburg

Dezentrale Anlagen zur Kraft-Wärme-Kopplung KWK (z. B. Brennstoffzellen-Hausenergieversorgungen) stehen bei den gültigen Regularien im Verdrängungswettbewerb mit thermischen Solaranlagen. Dies betrifft sowohl die Investitionsentscheidung als auch die Betriebsweise im gekoppelten Einsatz. In Simulationsstudien haben wir diese Problematik genauer untersucht und Maßnahmen zur Lösung entwickelt.

Zur Erwirtschaftung hoher Stromeinspeisevergütungen besteht ein großes Interesse an einer langen Laufzeit der KWK-Anlage. Die Laufzeit wird durch die thermische Nutzung von Solarenergie jedoch gesenkt, so dass sich ein ökonomischer Nachteil ergibt, der die Investitionsentscheidung für einen Kollektor verhindern kann. Im gekoppelten Betrieb kann es zur Verdrängung von möglichen Solarerträgen durch

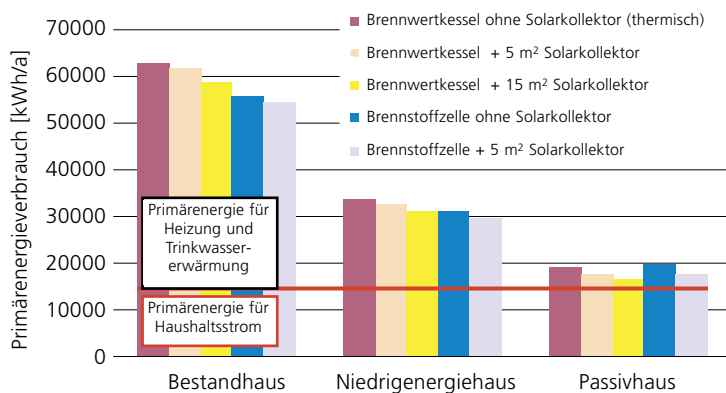


Abb. 1: Primärenergieverbrauch verschiedener Haustechniken bei unterschiedlichen Dämmstandards. Für das Passivhaus ist eine PEM-Brennstoffzellen-Hausenergieversorgung mit 1 kW_{el} und für die beiden anderen Gebäude eine mit 2 kW_{el} angenommen. Die Randbedingungen sind: ein elektrischer Wirkungsgrad von 30%, ein thermischer Wirkungsgrad von 50% sowie ein Wirkungsgrad der öffentlichen Stromerzeugung von 39%, Haushaltsstrom 5 500 kWh/a, Warmwasserwärmeverbrauch 2 600 kWh/a. Durch den verbesserten Gebäudestandard kann wesentlich mehr Energie gespart werden als durch die Anlagentechnik. Bei gutem Dämmstandard spart eine Solaranlage mehr ein als eine Brennstoffzellen-Hausenergieversorgung.

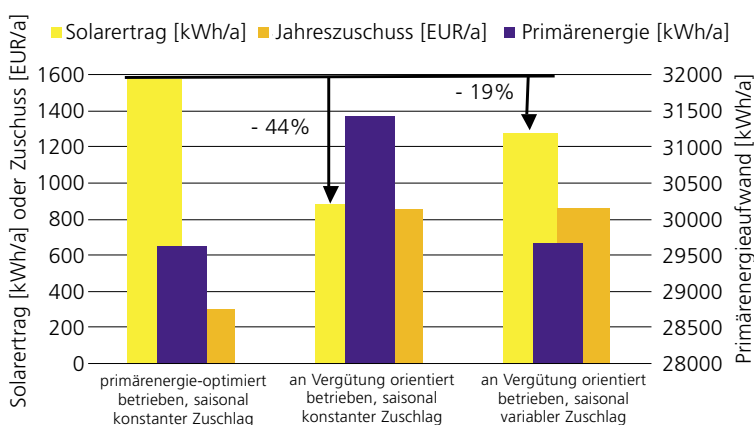


Abb. 2: Bei variabler Stromvergütung in Anlehnung an die Preise am Spotmarkt und einer an den Erträgen orientierten Betriebsweise kommt es zu einer starken Verdrängung von Solarerträgen. Ein jahreszeitabhängiger KWK-Zuschlag, der im Winter angehoben wird und dafür im Sommer entfällt, mindert diesen Effekt und senkt den Primärenergieverbrauch, ohne den Jahreszuschuss (Summe der erwirtschafteten Zuschläge pro Jahr) zu erhöhen.

die KWK-Anlage kommen, wenn diese z. B. den Speicher so weit aufheizt, dass der Solarkollektor kaum noch Erträge bringt.

Wir haben den Vorschlag einer wählbaren Option der Jahreszeitabhängigkeit des sonst konstant gewährten KWK-Zuschlags von gegenwärtig 5,11 Cent/kWh erarbeitet. Dies bedeutet, dass der Zuschlag in den Sommermonaten entfällt, dafür aber in den restlichen Monaten des Jahres soweit erhöht wird, dass im Jahresmittel der gleiche KWK-Zuschuss gezahlt wird. Mit dieser einfachen Änderung des vorhandenen Instruments zur Förderung von KWK-Anlagen wird im wesentlichen der Anreiz beseitigt, sommerliche Solarerträge mit der KWK-Anlage zu ersetzen.

Die Arbeiten erfolgten im Rahmen des Verbundprojektes »Umweltauswirkungen, Rahmenbedingungen und Marktpotenziale des dezentralen Einsatzes stationärer Brennstoffzellen« im Auftrag des Bundesumweltministeriums.

Farbige Sonnenkollektoren

Bei der Fassadenintegration von Sonnenkollektoren hat sich immer wieder das ästhetische Erscheinungsbild der relativ großen schwarzen Flächen als Hemmnis erwiesen. Dem kann durch farbige selektive Absorberschichten entgegen gewirkt werden. Entsprechende Entwicklungsprojekte begleiten wir mit unserer besonderen Kompetenz bei der optischen Charakterisierung und der Beständigkeitsprüfung von funktionalen Beschichtungen.

Michael Köhl, Stefan Brachmann, Franz Brucker, Markus Heck, Sebastian Herkel

Bei der Entwicklung farbiger selektiver Absorberschichtungen werden zwei Wege beschritten. Bei selektiven Schichten, die durch physikalische Methoden (PVD) hergestellt werden, kann durch Variation der Schichtdicke der obersten Schicht eine Änderung der Farbe des reflektierten Lichtes erzielt werden. Diese Interferenzfarben sind leider nicht unabhängig vom Blickwinkel des Betrachters, haben dafür aber vorzügliche optische Eigenschaften, d.h. einen hohen solaren Absorptionsgrad und einen geringen thermischen Emissionsgrad.

Der zweite Weg besteht in der Entwicklung farbiger, selektiver Solarlacke. Hierbei wird die Selektivität durch das Beimischen von Infrarot reflektierenden Pigmenten, üblicherweise Aluminiumflitter, erreicht. Die Farbe erzielt man durch die Zugabe entsprechender Pigmente. Zwar können die strahlungsphysikalischen Eigenschaften nicht mit jenen der marktüblichen PVD-Schichten konkurrieren, der Vorteil besteht jedoch darin, dass der Kollektorhersteller diese Farbe selbst applizieren kann.

Wir haben die von unseren Projektpartnern entwickelte Fassadenbeschichtung auf ihre Witterungsbeständigkeit geprüft und die bauphysikalischen Aspekte der Gebäudeintegration untersucht. Die positiven Ergebnisse führten zur Umsetzung in verglasten Solarfassaden im Rahmen von Pilotprojekten. Sowohl die Entwicklungsarbeiten selbst als auch diese Pilotprojekte werden von der EU gefördert. Unverglaste Solarfassaden sind wesentlich härteren Anforderungen hinsichtlich der Witterungsbeständigkeit ausgesetzt. Im Rahmen eines weiteren EU-Projektes koordiniert das Fraunhofer ISE die Entwicklung von selektiven Farben und Fassadenkollektoren für unverglaste Stahlfassaden.



Abb. 1: Design-Studie über farbige Fassadenkollektoren (Quelle: AEE Intec).

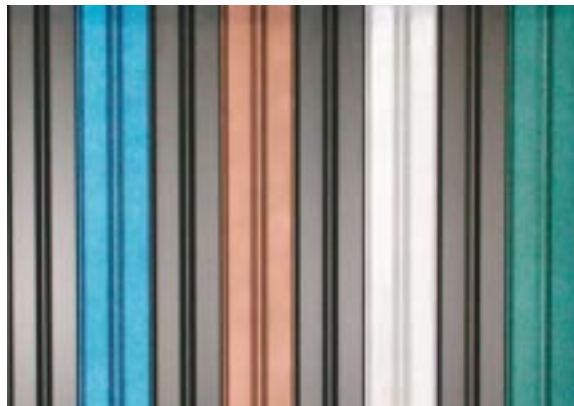


Abb. 2: Muster eines Absorbers für Flachkollektoren aus Aluminiumstrangpressprofilen, die alternierend mit konventionellem schwarzen Lack und mit farbigen selektiven Solarlacken beschichtet sind.

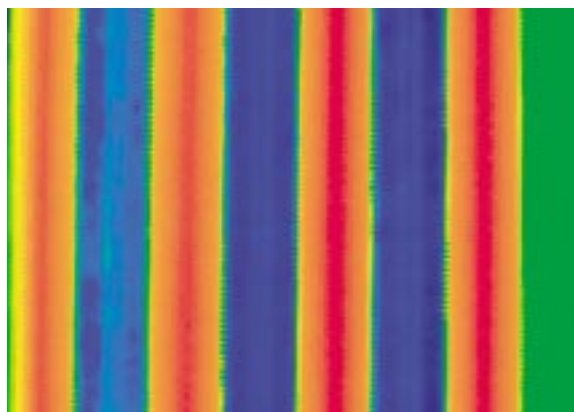


Abb. 3: Thermographieaufnahme des Absorbers in Abb. 2 bei Durchströmung mit konstant auf 80 °C temperiertem Fluid. Die selektiven Farben $\epsilon(\text{blau}) = 0,43$, $\epsilon(\text{rot}) = 0,36$, $\epsilon(\text{grau}) = 0,17$, $\epsilon(\text{grün}) = 0,45$ zeigen deutlich weniger Wärmeabstrahlung als der schwarze Solarlack $\epsilon(\text{schwarz}) = 0,95$.

Entwicklung neuer doppelverglaster Flachkollektoren mit Antireflex-Glas

Aktuelle Forschungsarbeiten zeigen neue Entwicklungsmöglichkeiten für doppelverglaste Flachkollektoren mit Antireflex(AR)-Glas. Dies gilt insbesondere für Anwendungen im Temperaturbereich von 80 bis 120 °C für 2-fach abgedeckte AR-Kollektoren. Um dieses Potenzial zu erschließen befassen wir uns mit der dafür notwendigen Anpassung des Gesamtkollektoraufbaus.

Matthias Rommel, Arim Schäfer, Thorsten Siems

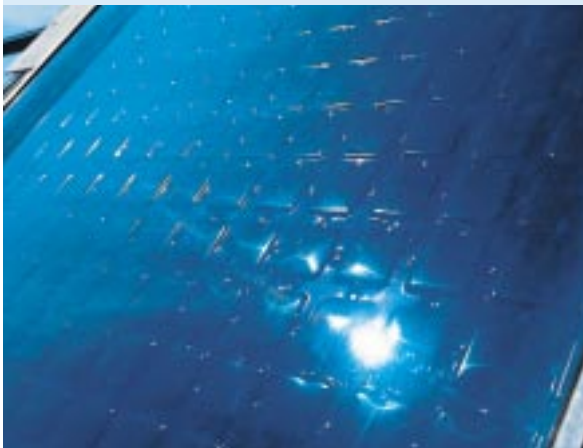


Abb. 1: Flachkollektor mit selektivem Absorber und beidseitig beschichtetem Antireflex-Glas.

Bislang galt als gesichertes Erkenntnis, dass ein mit gutem selektivem Absorber versehener Flachkollektor keine Doppelverglasung benötigt. Die Bedingungen für eine solche Feststellung haben sich jedoch grundlegend geändert: Durch erfolgreiche Forschungs- und Entwicklungsarbeiten wurden Antireflex-Beschichtungen entwickelt, mit denen die Reflexionsverluste für Solarstrahlung an einer Glasscheibe von etwa 8% auf 3% reduziert werden.

Die Grafik zeigt einen Vergleich der Wirkungsgradkennlinien eines Standard-Flachkollektors mit 1-fach, 2-fach und 3-fach verglasten Antireflex(AR)-Kollektoren. Durch Messungen an Testkollektoren konnten wir die vorausgesetzten Parameter verifizieren. Unsere Untersuchungen zeigen, dass insbesondere für Anwendungen im Temperaturbereich von 80 bis 120 °C für 2-fach abgedeckte AR-Kollektoren ein großes Entwicklungspotenzial besteht. Um dieses zu erschließen, muss der Gesamtkollektoraufbau angepasst werden. Dabei berücksichtigen wir insbesondere die erhöhten Temperaturbelastungen für die Kollektorkomponenten. Ebenso spielt bei der Materialwahl zum Beispiel auch das Ausgasungsverhalten der eingesetzten Wärmedämmstoffe und Dichtungsmaterialien eine wichtige Rolle.

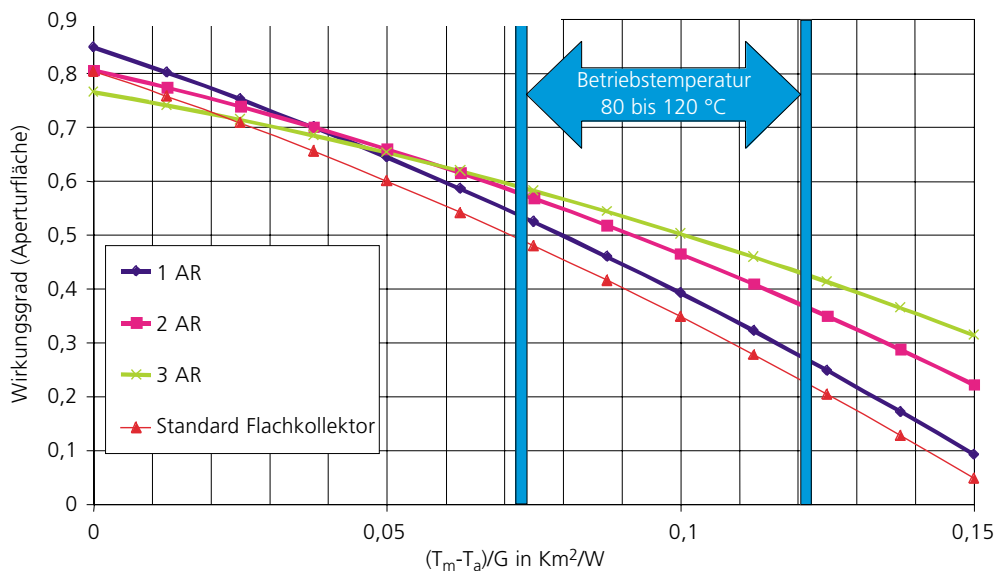


Abb. 2: Vergleich der Wirkungsgradkennlinien eines mit üblichem Solarglas abgedeckten Standard-Flachkollektors mit einem 1-fach, 2-fach und 3-fach abgedeckten beidseitig beschichteten Antireflex-Kollektor.

(Der Parameter $(T_m - T_a)/G$ beschreibt die Betriebsbedingung des Kollektors:

T_m = mittlere Fluidtemperatur K

T_a = Umgebungslufttemperatur K

G = Globalstrahlung in Kollektorebene W/m²

Km²/W = physikalische Einheit des Parameters $(T_m - T_a)/G$

Photoelektrochrome Fenster mit festem Ionenleiter

Photoelektrochrome Fenstersysteme lassen sich in ihrer optischen Transmission schalten. Die Energie zum Verfärben liefert das Sonnenlicht. Uns gelang es, ein System ausschließlich aus festen Komponenten zu entwickeln. Insbesondere lässt sich in diesem System auch der Ionenleiter fest, als Polymer, gestalten. Potenzielle Anwendungen der Fenstersysteme sind Überhitzungs- und Blendschutz z. B. im Gebäude- oder KFZ-Bereich.

Andreas Georg, Anneke Georg, Wolfgang Graf, Volker Wittwer

Photoelektrochrome Systeme sind eine Kombination aus einer elektrochromen Zelle und einer elektrochemischen Solarzelle, der sogenannten Farbstoff-Solarzelle. Eine mit einem Farbstoff belegte poröse Titandioxid-Schicht injiziert unter Beleuchtung Elektronen in eine ebenfalls poröse elektrochrome Wolframoxid-Schicht, die sich dann von transparent zu blau verfärbt. Für den Ladungsausgleich sorgt ein Redoxsalz (Lithium-iodid), das in einem Ionenleiter gelöst ist. Die schnelle Entfärbung wird durch eine dünne Katalysatorschicht aus Platin ermöglicht, die auf der Gegenelektrode aufgebracht ist. Durch das An- und Ausschalten der elektrischen Verbindung der Oxidschichten zur Gegenelektrode kann das System unter Beleuchtung eingefärbt und jederzeit wieder entfärbt werden.

Der Ionenleiter muss sowohl die Poren der Oxidschichten als auch einen Zwischenraum zur Gegenelektrode ausfüllen. Dies konnten wir durch ein Ormosilan – ein polymeres, organisch modifiziertes Silan – erreichen. Durch den Einsatz von Ormosilan und eine verbesserte Versiegelung wurde die Stabilität deutlich erhöht.

Das System kommt ohne äußere Spannungsversorgung aus. Es ist manuell schaltbar, kann aber auch in einem Automatik-Modus betrieben werden. Dieser passt die Färbung automatisch der Lichtintensität an. Bei Bedarf lässt sich die Scheibe auch mit Hilfe einer äußeren Spannung unabhängig von der Beleuchtung schalten.

Der besondere Schichtaufbau des photo-elektrochromen Fensterelements macht die Färbezeit – im Gegensatz zu gewöhnlichen elektrochromen Systemen – von der Fläche unabhängig.

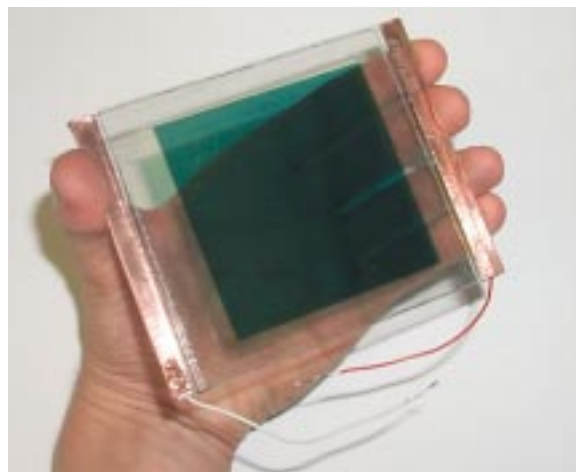
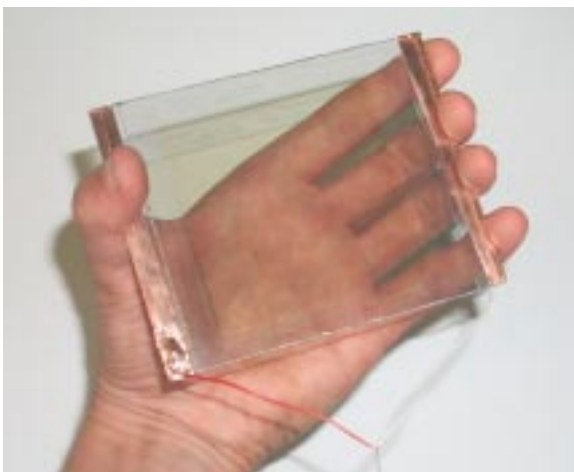


Abb. 1: Photoelektrochromes Element mit polymerem Ionenleiter: im entfärbten Zustand unter Kurzschließen der beiden Elektroden (links) und im gefärbten Zustand nach einer Beleuchtung mit einem Sonnensimulator (offene elektrische Verbindung, rechts). Ein typisches Muster schaltet in ca. 15 min. in seiner visuellen Transmission von 62% auf 1,6% und in seiner energetischen solaren Transmission von 41% auf 0,8%.



Solarzellen

Die Photovoltaik erlebt weltweit einen Boom mit Wachstumsraten von etwa 30% pro Jahr. In Deutschland haben das Erneuerbare-Energien-Gesetz und das Hunderttausend-Dächer-Programm dazu geführt, dass allein 2002 über 80 MW Leistung neu installiert wurden – vor wenigen Jahren entsprach das noch dem Volumen des Weltmarkts.

Über 90% der Solarzellen sind aus kristallinem Silicium. Preis / Leistungsverhältnis, Langzeitstabilität und belastbare Kostenreduktionspotenziale sprechen dafür, dass dieser Leistungsträger der terrestrischen Photovoltaik zumindest in den nächsten zehn Jahren marktbeherrschend bleiben wird.

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 unserer Pilotlinie bereits komplett prozessiert werden. Wir arbeiten an Verfahren zur direkten Herstellung dieser dünnen Folien aus Kristallen.

Bei der kristallinen Silicium-Dünnschichtsolarzelle forschen wir verstärkt am Konzept des Wafer-äquivalents. 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 $> 0,5 \text{ m}^2$ noch gezeigt werden. Organische Solarzellen befinden sich derzeit im Stadium der anwendungsorientierten 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 Module
- Herstellung kleiner Serien von Hochleistungs-solarmodulen und kundenspezifischen Testobjekten
- Charakterisierung von Halbleitermaterialien und Solarzellen
- Entwicklung von Halbleitercharakterisierungsverfahren
- Erstellung von Photovoltaik-Studien.

Dabei greifen wir unter anderem auf folgende Ausstattung zurück:

- Reinraumlabor für Si- und III-V Halbleiter
- Standardsolarzellentechnologie
- industrienähe Fertigungslinien für kristallines Silicium (Sieb- und Tampondruck, RTP-Durchlaufofen, RTP-Durchlaufdiffusionsofen)
- Gasphasen-Abscheideverfahren für Si, RTCVD
- MOVPE für III-V Epitaxie
- semiautomatisierte Produktion von Farbstoffsolarzellen und Modulen
- Plasmaätzanlage
- optische Heizanlagen für die Silicium-Herstellung und -bearbeitung
- Schichttechnologie: Plasmaabscheidung, Aufdampfen, Galvanik, Kontaktieren
- Charakterisierung von Materialien: Röntgenbeugung, Trägerlebensdauer, Photolumineszenz, Ellipsometer, IR-Fourierspektrometer, Glow-Discharge-Massenspektrometer, Rasterelektronenmikroskop mit EBIC, ECV-Profilung, MW-PCD, MFCA, DLTS, CDI, CV, SPV, Schichtwiderstands-Mapping, Stripping Hall, SRP
- Charakterisierung von Solarzellen: I/U-Kennlinie, SR, LBIC, PCVD, MSC, Diffusionslängentopographie, Shunt-Analyse.



Papierdünne kristalline Siliciumsolarzelle mit industrienaher Zellstruktur (lasergefeuerte Rückseitenkontaktpunkte). Trotz einer Dicke von weniger als 50 µm, wurde ein Wirkungsgrad von mehr als 20% erreicht.

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
Hocheffiziente Solarmodule für die Geräteintegration	Dr. Christopher Hebling	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-51 95 E-Mail: Christopher.Hebling@ise.fraunhofer.de

Hocheffiziente Silicium-Solarzellen auf dünnen Wafern

Ein aufmerksamer Blick auf aktuelle Meldungen aus der Photovoltaikbranche zeigt, dass die Nutzung dünnerer Wafer und die stetige Erhöhung der Wirkungsgrade im Mittelpunkt der Bemühungen der Photovoltaik-Industrie stehen. Die Notwendigkeit für beide Ziele ergibt sich aus den relativ hohen Kosten für den Siliciumwafer selbst. Um diese Entwicklung zu unterstützen, haben wir eine Zellstruktur entwickelt, die auch auf sehr dünnen Wafern sehr hohe Wirkungsgrade ermöglicht.

Sybille Baumann, **Stefan Glunz**,
Andreas Grohe, Franz J. Kamerewerd,
Henner Kampwerth, Joachim Knobloch,
Daniel Kray, Ji Youn Lee, Antonio Leimenstoll,
Daniela Oßwald, Ralf Preu, Elisabeth Schäffer,
Eric Schneiderlöchner, Oliver Schultz,
Siwita Wassie, Gerhard Willeke

Abb. 1: Hocheffiziente Solarzellen auf einem ultradünnen und flexiblen Wafer (40 µm). Die Zellen wurden mit der LFC Technik (Laser-Fired Contacts) gefertigt, die bei kostengünstiger Herstellung sehr hohe Wirkungsgrade auch auf dünnen Wafern zulässt (in diesem Beispiel 20%).

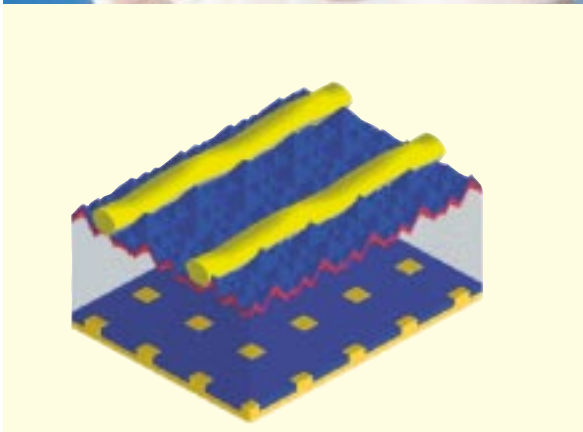


Abb. 2: Die Abbildung zeigt die zugrundeliegende Zellstruktur. Charakteristisch ist dabei die lokale Kontaktierung auf der Rückseite. Nur 1% der Fläche sind dabei mit Metall kontaktiert, während der Rest mit einer Schicht aus Siliciumdioxid bzw. Siliciumnitrid bedeckt ist. Mit der LFC-Technik wird diese sonst aufwändige Kontaktierung elegant gelöst. Wir dampfen die Aluminiumschicht direkt auf die Passivierungsschicht und feuern dann mit einem Laser durch die Passivierungsschicht in das darunterliegende Silicium.

Die Erhöhung des Solarzellen-Wirkungsgrades und die Reduzierung der Zelldicke stehen in enger Beziehung zueinander. Einfache Zellstrukturen bringen mit abnehmender Zelldicke normalerweise einen starken Einbruch im Wirkungsgrad mit sich. In der Laborentwicklung gibt es aber schon seit einiger Zeit Zellstrukturen, die sowohl auf dicken wie auf dünnen Wafern hohe Wirkungsgrade zeigen. Sie zeichnen sich durch eine perfekte Reduzierung der schädlichen Ladungsträgerrekombination an den Zelloberflächen mittels dielektrischer Schichten wie Siliciumdioxid oder Siliciumnitrid aus. Allerdings war die Herstellung dieser Zellstrukturen bisher sehr aufwändig und kostenintensiv und somit eine Umsetzung in die industrielle Zellfertigung nicht möglich.

Unsere neu entwickelte LFC-Zelle (Laser Fired Contacts) bietet die ideale Möglichkeit, hohes Wirkungsgradpotenzial mit niedrigen Herstellungskosten zu verbinden. Hierbei wird zuerst die dielektrische Passivierungsschicht auf die Rückseite der Zelle aufgebracht. In den herkömmlichen Laborprozessen mussten nun aufwändig kleine Löcher in dieser isolierenden Schicht geöffnet werden, um danach die Rückseitenelektrode aus Aluminium aufzudampfen. Bei der LFC-Prozessierung dampfen wir die Aluminiumschicht direkt auf die Passivierungsschicht und feuern dann mit einem Laser durch die Passivierungsschicht in das darunterliegende Silicium, um so die lokalen Kontakte zu bilden. Dieser patentierte Prozess ist extrem schnell (1 sec/Zelle) und kostengünstig. Trotzdem haben wir auf normal dotiertem Silicium die gleichen Wirkungsgrade wie mit der klassischen Laborprozessierung erreicht (21,5% auf 0.5 Ω cm). Auf Wafern mit geringen Dotierkonzentrationen ist der Wirkungsgrad im Vergleich sogar besser (20% auf 100 Ω cm). Ein sehr erfreuliches Ergebnis ist, dass wir auch auf ultradünnen (40 µm) und flexiblen Wafern sehr hohe Wirkungsgrade von über 20% erreichen konnten.

Silicium-Konzentratorsolarzellen für zweistufige optische Konzentratorsysteme

Photovoltaische Konzentratorsysteme bieten die interessante Möglichkeit, die Fläche der eigentlichen Solarzelle stark zu reduzieren und durch eine vorgeschaltete, konzentrierende Optik wie Linsen oder Parabolspiegel »zu ersetzen«. Eine elegante Variante sind hierbei zweistufige Systeme, die trotz einachsiger Nachführung relativ hohe Konzentrationen von über 300 erreichen. Ein solches System inklusive der zugehörigen hocheffizienten Silicium-Konzentratorsolarzellen entwickeln wir derzeit am Fraunhofer ISE.

Andreas Bett, Armin Bösch, **Stefan Glunz**,
Gerrit Lange, Andreas Mohr, Thomas Roth,
Gerhard Willeke

Eine wichtige Voraussetzung für ein kostengünstiges optisches Konzentratorsystem ist, dass die konzentrierende Optik und die motorische Einheit, die das System der Sonne nachführt, preisgünstig und zuverlässig sind. Erfolgversprechend sind hierbei hochkonzentrierende, zweistufige Systeme, die nur einachsig nachgeführt werden müssen.

In dem am Fraunhofer ISE entwickelten System erreicht ein rinnenförmiger Parabolspiegel eine Konzentration von ungefähr 40. Das konzentrierte Licht trifft auf eine zweite Konzentratorstufe, einen parabolisch zulaufenden massiven Kunststoffkörper, auch CPC (Compound Parabolic Concentrator) genannt, der die Konzentration durch interne Totalreflexion abermals um einen Faktor 7,7 erhöht. So können Konzentrationen von über 300 erreicht werden. Dieser Bereich ist sehr gut für Siliciumsolarzellen geeignet. Die Zellen müssen jedoch speziell auf diese hohe Konzentration optimiert sein, was eine Erhöhung der Herstellungskosten im Vergleich zu Standardzellen zur Folge hat. Diese Mehrkosten werden jedoch durch die nun extrem geringe benötigte Zellfläche deutlich überkompensiert. Natürlich müssen auch die Systemkosten für Optik und Nachführung möglichst niedrig gehalten werden, um so eine Reduzierung der Energiegestehungskosten zu erreichen.

Da die Solarzellen direkt an die Rückseite des CPCs montiert werden sollen, bietet es sich an, sowohl den n- als auch den p-Kontakt auf die Rückseite der Zelle zu legen. Dies hat zudem den Vorteil, dass keine Abschattung durch die Kon-

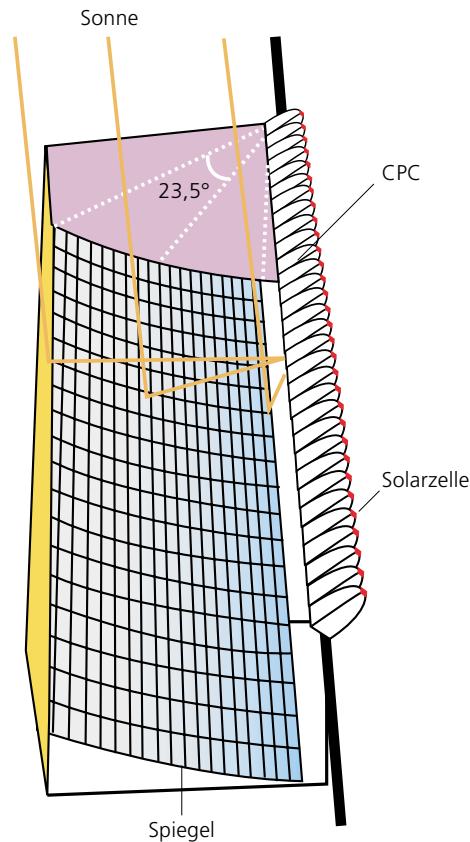


Abb. 1: Zweistufiges photovoltaisches Konzentratorsystem. Trotz einachsiger Nachführung wird eine geometrische Konzentration von über 300 erreicht. Die zweite Konzentratorstufe (CPC) wird direkt auf die speziell hierfür entwickelten Silicium-Konzentratorsolarzellen aufgeklebt (siehe unteres Bild). Die nur 4,5 x 4,5 mm² großen Zellen weisen einen Wirkungsgrad von 24% bei hundert Sonnen auf.

takte erzeugt wird. Mit dieser Zielsetzung haben wir unsere sogenannten Rückseitenlinienkontaktzellen, kurz RLCC, entwickelt. Diese nur 4,5 x 4,5 mm² großen Zellen weisen derzeit einen Wirkungsgrad von 24% bei hundert Sonnen, d.h. einer hundertfachen Solareinstrahlung, auf. Die Zellen werden mittels einer speziell angepassten Technik elektrisch kontaktiert. Hierbei haben wir auch darauf geachtet, dass die durch die hohe Konzentration erzeugte Erwärmung gut an einen rückseitigen Kühlkörper abgeführt wird, so dass die Zellen selbst bei einer einfachen passiven Luftkühlung ausgezeichnete Eigenschaften in unserem Konzentratorsystem aufweisen.

Analyse des metastabilen Defektes in bordotiertem Czochralski-Silicium

Mehr als 40% aller Solarzellen werden aus monokristallinem Czochralski-Silicium hergestellt. In diesen Zellen kommt es bei Beleuchtung anfänglich zu einer Degradation des Wirkungsgrades um 5-10% relativ, bis nach ca. einem Tag ein stabiler Endwert erreicht wird. Betrachtet man die Menge der hergestellten Zellen, so ist eine Untersuchung des zugrundeliegenden Defektes nicht nur von wissenschaftlichem sondern auch von hohem wirtschaftlichen Interesse.

Stephan Diez, **Stefan Glunz**, Stefan Rein, Wilhelm Warta

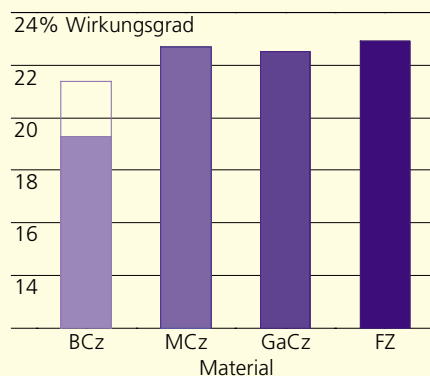


Abb. 1: Wirkungsgrad von Solarzellen auf verschiedenen Typen von Czochralski-Silicium und Float-Zone-Silicium vor und nach Bestrahlung mit Licht für 24 h. Während bei bordotiertem Cz-Silicium (BCz) der Wirkungsgrad durch die licht-induzierte Degradation stark abgesenkt wird, kann mit sauerstoffarmem Magnetic-Cz-Silicium (MCz) und galliumdotiertem Cz-Silicium (GaCz) ein stabiler Wert erreicht werden, der jenem auf hochreinem Float-Zone-Silicium (FZ) ebenbürtig ist.

Im Rahmen mehrerer wissenschaftlicher Studien konnte nachgewiesen werden, dass die Hauptkomponenten des zugrundeliegenden metastabilen Defektes Sauerstoff und Bor sind. Beides ist in normalem Czochralski (Cz)-Silicium in großen Mengen vorhanden. Obwohl dieser Defekt eine solch starke Auswirkung auf die Solarzelle hat, lässt er sich nicht mit klassischen Charakterisierungsmethoden wie z. B. DLTS (Deep-level Transient Spectroscopy) nachweisen. Wichtigstes Werkzeug unserer Analyse war deshalb die temperaturabhängige Lebensdauerspektroskopie. Mit dieser sensitiven Methode, die maßgeblich in unserer Gruppe entwickelt wurde, gelang es, die genaue elektronische Position des Defektes ($E_c - E_t = 0,41$ eV) in der Bandlücke zu ermitteln und so den wichtigsten »Fingerabdruck« des Defektes zu sichern. Eine weitere wichtige Aussage unserer Untersuchungen ist, dass der Defekt durch elektrische Rekombinationsprozesse aktiviert wird und nicht durch die Bestrahlung mit Licht direkt.

Neben diesen wissenschaftlich interessanten Ergebnissen, die zur mikroskopischen Entschlüsselung der Defektstruktur sehr wichtig sind, steht die Frage im Mittelpunkt, wie sich dieser Defekt vermeiden lässt. Dazu haben wir mehrere Strategien entwickelt und technologisch umgesetzt. Zum einen ist es möglich, den Dotierstoff Bor durch Gallium zu ersetzen. Tatsächlich zeigen diese Zellen trotz des im Material vorhandenen Sauerstoffs keine Degradation und sehr hohe Wirkungsgrade. Eine zweite Variante ist die starke Reduzierung des Sauerstoffgehalts in Cz-Silicium, was durch den Einsatz eines starken Magnetfeldes während des Kristallziehverfahrens in sogenanntem MCz erreicht werden kann. Auch mit dieser Variante konnten wir sehr hohe und stabile Wirkungsgrade erzielen. Weiterhin ist es möglich, die Defektkonzentration durch am Fraunhofer ISE optimierte Hochtemperaturschritte maßgeblich zu verringern und so auch mit Standard-Czochralski-Silicium gute Ergebnisse zu erzielen.

Erhöhte Materialausbeute bei block-kristallisiertem Silicium durch verbesserte Solarzellenprozesse

Durch eine angepasste Solarzellentechnologie mit optimierten Diffusionsschritten kann die Ausbeute an Siliciumscheiben aus einem Siliciumblock beträchtlich erhöht werden.

Harald Lautenschlager, Stephan Riepe,
Roland Schindler, Wilhelm Warta

Die Randbereiche eines Siliciumblocks nach Kristallisation weisen geringere Minoritätsträgerlebensdauern auf als der überwiegende Kernbereich des Blockes. Sie werden daher nicht für die Herstellung von Solarzellen verwendet. Die Wirtschaftlichkeit eines bestimmten Kristallisationsverfahrens wird aber ganz wesentlich durch die Gesamtausbeute der für die Solarzellenherstellung nutzbaren Siliciumscheiben mitbestimmt. Bei der Herstellung von Solarzellen erhöht sich durch das üblicherweise integrierte Phosphordiffusionsgettern die Minoritätsträgerlebensdauer. Dies trifft jedoch nur in ganz geringem Maße auf die Randbereiche der Blöcke zu, so dass die Materialausbeute des Blockes nach wie vor eingeschränkt ist.

Durch die Optimierung des integrierten Getterschrittes bei der Herstellung von Solarzellen konnten wir die Minoritätsträgerlebensdauer für Wafer aus den Randbereichen beträchtlich erhöhen. Dies ist den Abb. 1 und 2 zu entnehmen. An senkrecht geschnittenen Siliciumscheiben aus dem Boden- und Kappenbereich eines Blockes wurde die Veränderung der Minoritätsträgerlebensdauer durch unterschiedliche Diffusionen und Getterschritte untersucht. Wir konnten zeigen, dass im Boden- und Kappenbereich durch optimierte Prozessierung etwa 4 cm an nutzbarer Blockhöhe für die Solarzellenherstellung gewonnen werden können. Dies entspricht bei gängiger Scheibengröße und Blockdimension einem Gewinn von nahezu 3 kWp Solarzellenleistung.

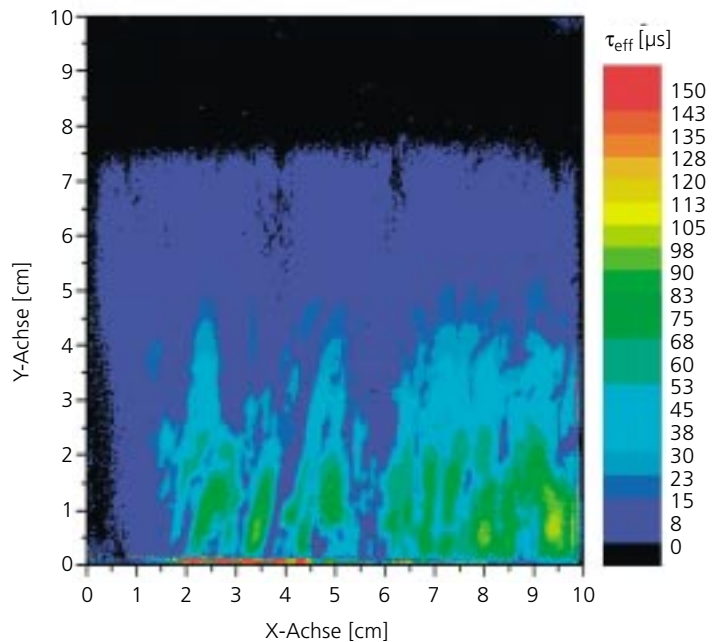


Abb. 1: Ausgangsverteilung der Minoritätsträgerlebensdauer an senkrecht geschnittenen Scheiben im Kappenbereich eines Siliciumblockes (Vertikalschnitt).

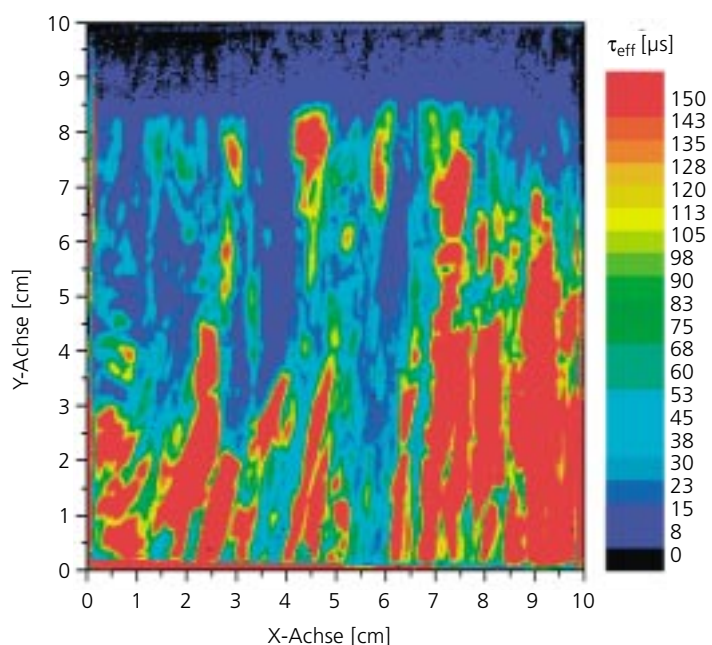


Abb. 2: Verteilung der Minoritätsträgerlebensdauer im Kappenbereich eines Siliciumblockes (Vertikalschnitt) nach optimierter Diffusion.

ZMR400 – ein Prozessor für die Zonenschmelz-Rekristallisation von großflächigen Silicium-Schichten

Für einen möglichen Einsatz zur Fertigung von Dünnschicht-Solarzellen und Halbleiterbauelementen haben wir einen Prozessor der nächsten Generation für Proben bis 400 x 400 mm² gebaut. Der ZMR400 heizt mit Stab-Halogenlampen die Proben in hochreiner Umgebung homogen bis 1 300 °C auf und rekristallisiert mit fokussierter Lampenstrahlung die dünnen Silicium-Schichten auf vielfältigen Substratmaterialien durch einen vollautomatischen, geregelten Zonenschmelzprozess.

Achim Eyer, Fridolin Haas, Thomas Kieliba

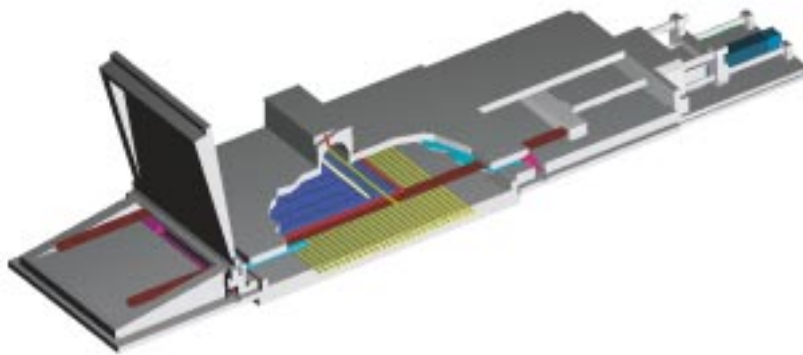


Abb. 1: 3D-Computersimulation des ZMR400: links Beladeklappe, Mitte Reaktionsraum mit aufgesetzter Zonenheizung und darunter liegender großflächiger Heizung, rechts Linearantrieb außerhalb des Reaktionsraumes (Lampen gelb, Probe blau).

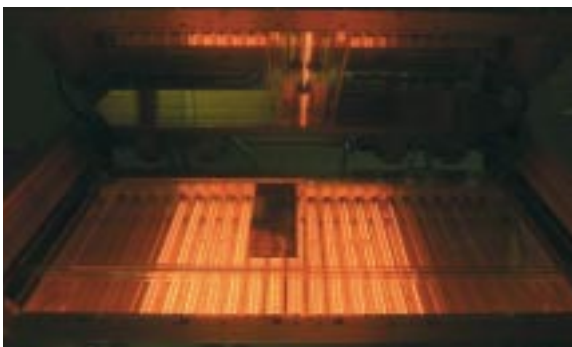


Abb. 2: Reaktionsraum des ZMR400 mit einer Silicium-Probe 100 x 400 mm²; die obere Abdeckung des Reaktors mit der aufgesetzten Zonenheizung ist hochgeklappt. 28 von 48 Lampen der großflächigen Heizung sind mit minimaler Leistung aktiv. Sie spiegeln sich in der oberen Abdeckung.

Die Zonenschmelz-Rekristallisation (ZMR: Zone Melting Recrystallisation) wird in der Fertigung von Halbleiterbauelementen bei der sogenannten SOI-Technologie (Silicon on Insulator) und in der Herstellung von kristallinen Silicium-Dünnschicht-Solarzellen eingesetzt. Bei beiden Technologien werden dünne Silicium-Schichten auf unterschiedlichen Substratmaterialien durch den ZMR-Prozess in ihren Eigenschaften entscheidend verbessert. Dabei werden große Flächen angestrebt. Aufbauend auf unseren Erfahrungen mit kleineren Prozessoren haben wir den ZMR400 für Substratgrößen bis 400 x 400 mm² entwickelt.

Die Beheizung mit Halogen-Stablampen ermöglicht bei Bedarf auch sehr kurze Aufheiz- und Abkühlzeiten. Eine großflächige Unterhitze mit 48 Lampen à 8 kW erlaubt eine homogene Erwärmung der Substrate bis ca. 1 300° C. Die linienförmige Schmelzzone auf der Probenoberfläche wird durch Fokussieren der Strahlung einer einzigen Stablampe mittels eines elliptisch gekrümmten Zylinderspiegels erzeugt. Ein Linearantrieb bewegt das Substrat, so dass die Schmelzzone über die gesamte Oberfläche wandert. Der Prozess findet in hochreiner Atmosphäre in einem Aluminium-Kaltwandreaktor statt. Die Beladung des Reaktors erfolgt manuell, der gesamte Prozess wird vollautomatisch über einen PC gesteuert. Video-Kameras beobachten die Schmelzzone, ihr Signal wird auch zur Regelung der Zonenheizung benutzt, sodass die Schmelzzonenbreite mit einer Genauigkeit von 5% konstant bei ca. 1,5 mm bleibt. Diese Gleichmäßigkeit ist für die Qualität der rekristallisierten Silicium-Schichten von entscheidender Bedeutung.

Mit diesem Verfahren haben wir Dünnschicht-Solarzellen bis 13,5% Wirkungsgrad auf mc-Si, 10,7% auf SiC Keramik, je mit SiO₂ Zwischenschicht, hergestellt. Da 400 x 400 mm² große Substrate nicht zur Verfügung standen, haben wir die Leistungsfähigkeit der Anlage durch Aneinanderfügen kleinerer Substrate demonstriert.

Photovoltaikzellen mit höchsten Wirkungsgraden auf Basis von III-V Halbleitern

Auf der Basis von III-V Halbleitermaterialien stellen wir Tandem-Konzentratorsolarzellen mit Wirkungsgraden von 30% her. Erste PV-Zellen mit 5 pn-Übergängen stehen zur Verfügung. Laserleistungs- und Thermophotovoltaik (TPV)-Zellen entwickeln wir kundenspezifisch. FLATCON™-Module erzielen Wirkungsgrade von über 22,7% in Außentests.

Carsten Baur, **Andreas Bett**, Armin Bösch, Marc Chenot, **Frank Dimroth**, Ines Druschke, Gerrit Lange, Gergö Léty, Rüdiger Löckenhoff, Astrid Ohm, Matthias Meusel, Sascha van Riesen, Gerald Siefer, Thomas Schlegl, Sivita Wassie

III-V Halbleitermaterialien sind die Basis für Solarzellen mit den höchsten realisierten Wirkungsgraden. Wir nutzen dabei den Vorteil, dass bei diesen Materialien die Bandlücke gezielt eingestellt werden kann. Dadurch haben wir die Möglichkeit, sogenannte Mehrfachzellen herzustellen. Dies sind Photovoltaik-Zellen, bei denen mehrere pn-Übergänge, die in unterschiedlichen Materialien realisiert werden, übereinander angeordnet sind. Das Sonnenspektrum kann so energetisch besser genutzt werden. Derzeit werden solche Zellen in Satelliten im Weltraum angewandt. Die dafür notwendigen Solarzellenstrukturen stellen wir mittels der metallorganischen Gasphasenepitaxie (MOVPE) her. Dabei optimieren wir mit unserer Industrie-Abscheideanlage neben der Schichtenfolge auch die Abscheidebedingungen für 3-fach Solarzellen auf Germanium-Substraten. Die Ergebnisse transferieren wir direkt an unsere Kunden. Ein Höhepunkt unserer Arbeit ist die Entwicklung der ersten 5-fach Solarzelle weltweit. Abb. 1 zeigt, dass es uns auch gelungen ist, die externe Quanteneffizienz einer solchen Zellen zu bestimmen.

Mehrfachsolarzellen finden auch zunehmend Interesse für die terrestrische Anwendung. Kostengünstig können diese Zellen allerdings nur unter konzentriertem Licht eingesetzt werden. Wir entwickeln für unsere Kunden Tandemzellen mit Wirkungsgraden um 30% bei einer Konzentration von bis zu 1 000 Sonnen (Abb. 2). Dazu stellen wir kundenspezifische Frontkontaktstrukturen her. Ein weiteres Anwendungsfeld, das wir mit unseren III-V-PV-Zellen bedienen,

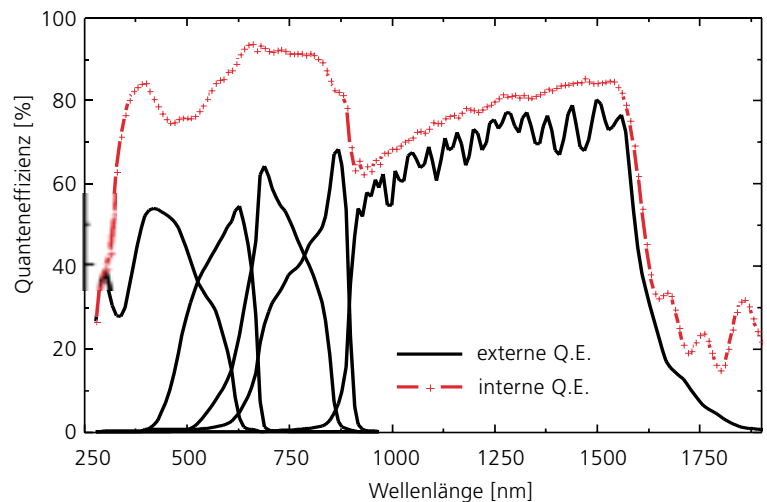


Abb. 1: Die externe und die interne Quanteneffizienz der weltweit ersten 5-fach Solarzelle. Die externe Quanteneffizienz der einzelnen Unterzellen ist deutlich zu erkennen (schwarze Linien). Diese Unterzellen werden mittels Tunnel-dioden intern seriell verschaltet, so dass äußerlich eine 5-fach Zelle von einer Standardzelle nicht zu unterscheiden ist. Messungen der hier demonstrierten Art sind aufwändig, stehen aber als Dienstleistung auch unseren Kunden zur Verfügung. In rot ist die interne Quanteneffizienz der Gesamtzelle gezeigt.

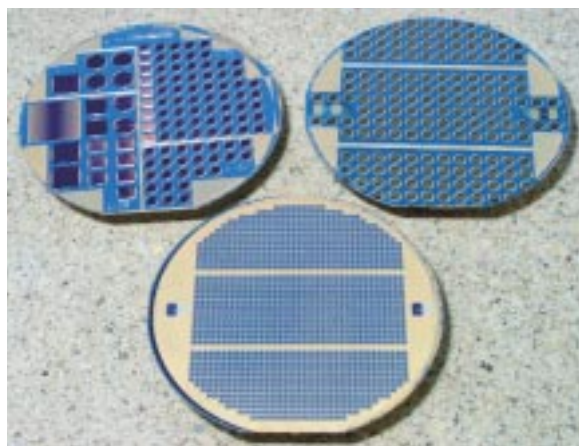


Abb. 2: Beispiele für die Entwicklung kundenspezifischer Konzentratorsolarzellen auf 2-Zoll Substraten. Links: Teststrukturen unterschiedlicher Größe und Konzentration. Rechts: 165 3,53 mm²-große Zellen für eine optische Konzentration von 500; vorne: 1280 0,67 mm² große Zellen für eine optische Konzentration von 1 000.

sind drahtlose Energieübertragungssysteme. Dort wandeln die Zellen monochromatisches Licht mit einem Wirkungsgrad von über 45% in elektrische Energie um. In der Thermophotovoltaik wiederum werden unsere infrarot-empfindlichen PV-Zellen auf GaSb-Basis eingesetzt.

Farbstoff- und Organische Solarzellen

Farbstoff- und Organische Solarzellen basieren auf neuen Technologien mit dem Potenzial einer besonders kostengünstigen Herstellung. Bis zur Fertigung kommerzieller Produkte sind noch wesentliche Fragestellungen wie Langzeitstabilität, Wirkungsgrad und Produktionstechniken zu klären. In Kooperation mit der Industrie und weiteren Forschungseinrichtungen arbeiten wir an Lösungen für den Weg zur Marktreife.

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

* Albert-Ludwigs-Universität, Freiburger
Materialforschungszentrum FMF

Abb. 1 : Photo eines 30 cm x 30 cm großen Moduls aus Farbstoffsolarzellen in Durchsicht gegen die Sonne. Das Modul ist mit einem am Fraunhofer ISE entwickelten thermischen Verfahren versiegelt, bei dem im Siebdruck Glaslote aufgebracht werden.

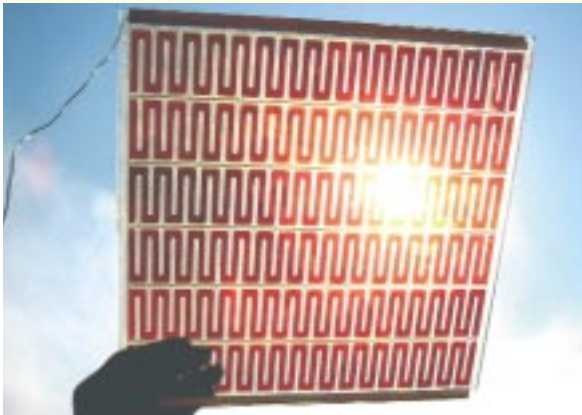
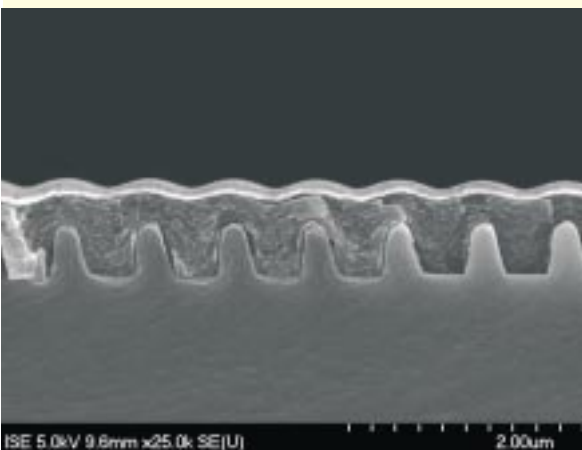


Abb. 2: Querschnitt durch eine Organische Solarzelle, aufgebaut auf einer nanostrukturierten Substratfolie (REM-Aufnahme). Die Seitenflanken der senkrechten Strukturen sind selektiv mit einem Metall bedampft und stellen den Frontkontakt dar. Die Zwischenräume sind mit organischem photovoltaisch aktivem Material gefüllt. Abschließend ist oben eine flächige Rückelektrode aufgedampft.



Das Fraunhofer ISE besitzt im Bereich der Farbstoffsolarzellen insbesondere vertieftes Wissen über Schlüsseltechnologien wie Versiegelungsmethode mittels Glasloten und Synthese von nanokristallinen Oxiden. Sämtliche zur Herstellung von Testzellen (Masterplates) und kompletten Modulen (30 cm x 30 cm) erforderlichen Siebdruckpasten werden am Institut entwickelt. Weiterhin verfügen wir über Erfahrung zur Charakterisierung und Modellierung von Farbstoffsolarzellen.

Bei Testzellen haben wir reproduzierbar einen solaren Wirkungsgrad von 7% für Farbstoffsolarzellen erreicht. Ein erfolgreicher Schritt in der Modulfertigung ist uns mit der hermetischen Versiegelung der Zellen mit Hilfe eines thermischen Verfahrens gelungen.

Bei Organischen Solarzellen liegen die Kompetenzen des Instituts vor allem in der Herstellung von Testzellen unter Schutzgasatmosphäre sowie in der Fertigung von mikro- und nanostrukturierten Substraten. Die Strukturierung dient einer verbesserten Lichteinkopplung und einem optimalen Ladungstransport in der dünnen organischen Absorberschicht. Die Strukturen werden in einem leicht aufskalierbaren Prägeverfahren erzeugt. Weiterhin haben wir erstmals für Organische Solarzellen invertierte und durchkontaktierte Zellkonzepte entwickelt und deren Machbarkeit experimentell nachgewiesen.

Aktuell liegt der solare Wirkungsgrad unserer Organischen Solarzellen bei 2,5%. Im Rahmen der Substratentwicklung haben wir erste Versuche mit am Institut großflächig gesputterten, transparenten Silberschichtsystemen auf Glas- und Foliensubstraten durchgeführt. Die Ergebnisse zeigen die Möglichkeit auf, einen kostengünstigen Ersatz für die gegenwärtig verwendeten teuren, mit Indium-Zinnoxid beschichteten Substrate zu finden. Dies ist ein wichtiger Schritt auf dem Weg zur Kommerzialisierung von Organischen Solarzellen.

Thermographische Methoden in der Solarzellen-Charakterisierung

Während Wärmebildmethoden in der Werkstoffprüfung breite Anwendung finden, steht die Entwicklung ihrer Nutzbarmachung für die Solarzellenentwicklung und -produktion erst am Anfang. Wir haben am Fraunhofer ISE neue Verfahren zur Abbildung der Dichte freier Ladungsträger entwickelt. Dabei nutzen wir die Emission von Infrarotstrahlung durch die freien Ladungsträger (Emissions-CDI-Carrier Density Imaging). Mit einer weiteren neuen Thermographiemethode können wir lokale Leistungsverluste im Betriebszustand einer Solarzelle darstellen.

Jörg Isenberg, Stephan Riepe, Martin Schubert, Wilhelm Warta

Thermographiemessungen werden für die Charakterisierung von Leckströmen (Shunts) in Solarzellen seit einigen Jahren im Labor eingesetzt. Ein (Dunkel-) Strom wird elektrisch injiziert, die lokale Erwärmung zeigt Orte und Struktur der Verluste an. Um die erforderlichen extrem hohen Temporaufösungen ($10 \mu\text{K}$) zu erreichen, wird digitale Lock-In Technik eingesetzt. Bisher wurde hierfür eine an die Solarzelle angelegte Vorspannung moduliert. Bei der von uns entwickelten Hell-Thermographie wird statt dessen die Solarzelle mit moduliertem Licht beleuchtet. So wird ein Lock-In Thermographiebild unter den Betriebsbedingungen der Solarzelle gewonnen. Vorteile dieses Verfahrens sind zum einen die Möglichkeit, die wesentlichen Leistungsverluste quantitativ so zu bewerten, wie sie auch im Betrieb der Zelle auftreten. Zum anderen wird eine deutliche Steigerung der Empfindlichkeit erreicht. So konnten mit Hell-Thermographie erstmals die Verluste an einzelnen Korngrenzen in multikristallinen Solarzellen sichtbar gemacht werden (Abb. 1). Abb. 2 zeigt ein Beispiel, in dem verschiedene Verlustmechanismen auftreten.

Eine Weiterentwicklung der Carrier Density Imaging (CDI) Technik gelang uns mit der Emissions-CDI. Bislang wurde zur Abbildung der optisch erzeugten Dichte freier Ladungsträger und Ermittlung der Verteilung der Trägerlebensdauer die Absorption an freien Ladungsträgern genutzt. Mit unserem neuen Verfahren nutzen

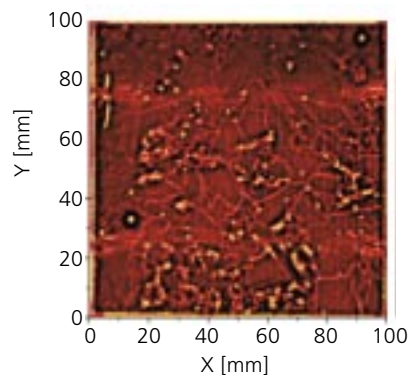


Abb. 1: Die neue Methode der Hell-Thermographie erlaubt erstmals die Darstellung der elektrischen Verluste an den Korngrenzen einer multikristallinen Siliciumsolarzelle. Aufgetragen ist das Kamerasignal in relativen Einheiten. Helle Linien zeigen hohe Leistungsverluste.

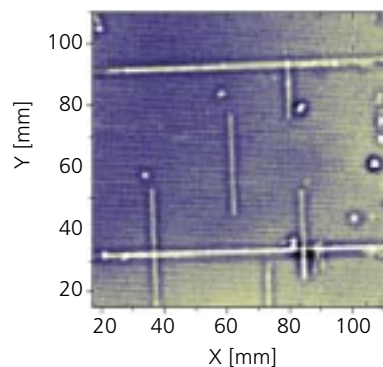


Abb. 2: Das Hell-Thermographie-Bild einer einkristallinen, nach einem industriell durchführbaren Prozess gefertigten Siliciumsolarzelle läßt Verluste ganz unterschiedlicher Herkunft erkennen: Die waagrecht breiten Streifen zeigen die Rekombinationsverluste unter den Metallkontakten. Die senkrechten Linien sind korreliert mit Rissen, die durch mechanische Beschädigung der Zelle entstanden. Die punktförmigen Wärmequellen stellen lokale Kurzschlüsse des Emitters dar. Die schwachen waagrecht breiten Linien zeigen die Verluste an den in diesem Fall linienförmig mit dem Laser eingefeuerten Rückseitenkontakten. Das Bild ist bei Leerlaufspannung aufgenommen, am Punkt maximaler Leistung treten die Verluste an den Kontaktlinien nicht mehr in Erscheinung. Helle Flächen zeigen hohe Leistungsverluste.

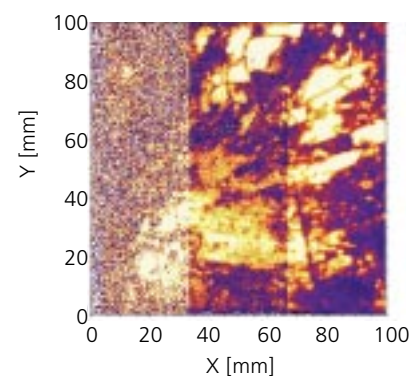


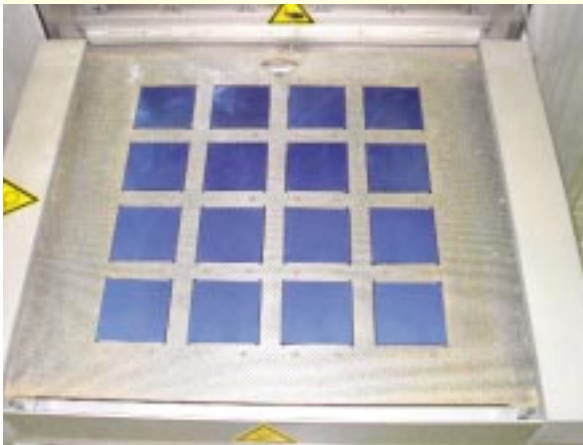
Abb. 3: Bilder der Infrarot-Emission optisch generierter freier Ladungsträger. Die Temperatur der Probe ist in den Streifen von links nach rechts von 40°C auf 59°C und 100°C erhöht. Die von Stufe zu Stufe bessere Auflösung der Kristallstrukturen ist deutlich zu erkennen. Das Signal ist innerhalb jedes Streifens auf den Mittelwert des entsprechenden Streifens normiert.

wir mit dem gleichen Ziel die gesteigerte Emission der freien Ladungsträger aufgrund einer Erwärmung des Wafers. Entscheidender Vorteil ist wieder die erhebliche Steigerung der Empfindlichkeit (Abb. 3). Mit dieser Entwicklung wird dem Einsatz der CDI-Methode ein breiteres Feld insbesondere bei industriell relevanten Siliciumproben eröffnet.

Neue Technologien zur Prozessierung von kristallinen Silicium-Solarzellen

Hocheffiziente Zellstrukturen für dünne Siliciumscheiben mit kostengünstigen, industriell umsetzbaren Technologien zu realisieren – das ist unser Ziel. Hierfür entwickeln und evaluieren wir in enger Kooperation mit der Industrie Prozesse und Anlagen bis zum Demonstrationsstadium.

Frederik Bamberg, Faramarz Binaie, Daniel Biro, Ingo Brucker, Gernot Emanuel, Andreas Grohe, Günther Grupp, Marc Hoffmann, Dominik Huljic, **Ralf Preu**, Isolde Reis, Jochen Rentsch, Christian Schetter, Eric Schneiderlöchner, Wolfram Sparber, Catherine Voyer, Dimitri Weilert, Winfried Wolke



Wir untersuchen Technologien, die es uns ermöglichen, hocheffiziente Solarzellen-Strukturen kostengünstig herzustellen, d.h. schnell, voll-automatisiert und unter sparsamem Einsatz teurer Materialien. In der industriellen Solarzellenfertigung mit Durchsatzraten von über 1 000 Siliciumscheiben pro Stunde kommt einem guten Materialfluss eine besondere Bedeutung zu. Deshalb setzen wir bevorzugt auf sogenannte Durchlaufverfahren, bei denen die Scheiben liegend und kontinuierlich durch die einzelnen Prozessbereiche transportiert werden. Die hiermit verbundene schonende Handhabung wird zukünftig den industriellen Einsatz von dünnen Siliciumscheiben ermöglichen und somit ein großes Kosteneinsparungspotenzial erschließen. Es ist für uns essenziell, den gesamten Weg vom Laborprozess zum Produktionsverfahren gemeinsam mit der Industrie zu gehen. Hierzu haben wir ein Demonstrationslabor aufgebaut, in dem wir die Prozessentwicklung auf Anlagen im Pilotstadium durchführen. Unterstützt werden wir bei unserer Forschungs- und Entwicklungsarbeit von unseren industriellen Partnern und dem Bundesministerium für Umwelt.

Abb. 1: Diese Scheiben wurden mit unserer Kathodenzerstäubungs-Durchlaufanlage zur Herstellung von Antireflexschichten aus Siliciumnitrid beschichtet. Diese Technologie erlaubt eine besonders homogene Schichtdickenverteilung auf großen Flächen. Die Anlage wurde in Zusammenarbeit mit der Firma Applied Films, Alzenau entwickelt.

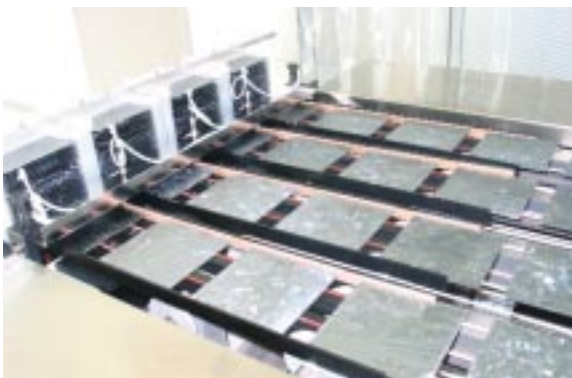


Abb. 2: Vierspuriger Hubschnurtransport. Die Entwicklung des patentierten Transportsystems erfolgte in Zusammenarbeit mit der Firma Centrotherm, Blaubeuren. Das System ermöglicht eine kontaminationsarme Bewegung der Siliciumscheiben durch eine Hochtemperaturzone.

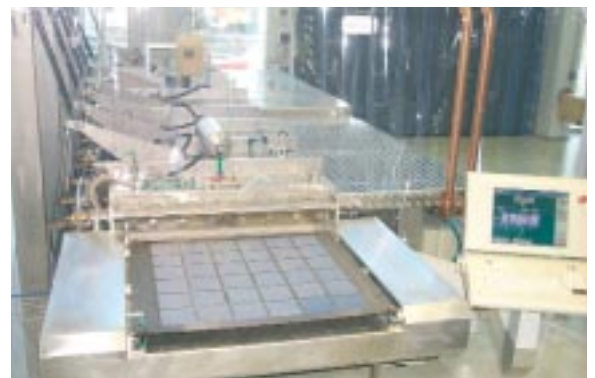


Abb. 3: Durchlaufvakuumanlage zum Plasmaätzen von Silicium und dünnen dielektrischen Schichten. Die Anlagenkonzeption und Prozessentwicklung erfolgte in Zusammenarbeit mit der Firma Roth&Rau, Wüstenbrand.

Labor- und Servicecenter Gelsenkirchen

In unserem Labor- und Servicecenter in Gelsenkirchen betreiben wir Forschung und Entwicklung vor Ort, die es uns z. B. erlaubt, Prozesse von Solarzellenherstellern im Labor nachzufahren und zu verbessern, ohne das Risiko einer Produktionsstörung einzugehen.

Nico Ackermann, Mohammed Abusnina, Christoph Ballif, **Dietmar Borchert**, Markus Dabrock, Andreas Gronbach, Martin Hosenberg, Ali Kenanoglu, Stefan Müller, Stefan Peters, Markus Rinio, Björn Schäfer, Mark Scholz, Thomas Zerres, Gerhard Willeke

Durch die Optimierung des Herstellungsprozesses in unserer Durchlauf-Pilotlinie für multikristallines Silicium erreichen wir derzeit Wirkungsgrade von 15,2% auf 10x10 cm². Für die siebgedruckten Kontakte wurden dabei Füllfaktoren von 79,2% auf multi- und 80,5% auf monokristallinem Silicium erzielt. Damit steht uns ein leistungsfähiger Referenzprozess insbesondere für Materialuntersuchungen zur Verfügung.

Ein weiterer Schwerpunkt unserer Arbeiten liegt in der Beschleunigung des Diffusionsprozesses in Durchlauf-Produktionsanlagen. Auf unserem Durchlauf-Diffusionsofen mit Schnurtransport haben wir Diffusionsprozesse mit Diffusionszeiten von 40 sec. bis 5 min. etabliert. In einem Test mit zwei verschiedenen Substraten in der Produktionslinie eines Solarzellenherstellers konnten wir zeigen, dass unser 5 min. Diffusionsprozess die gleichen Wirkungsgrade liefert wie der längere Referenzprozess des Solarzellen-Herstellers.

Die optimale Charakterisierung des Einflusses von Prozessschritten auf die Materialqualität erfolgt üblicherweise durch Lebensdauer-messungen an Siliciumnitrid beschichteten Substraten (Abb. 1). Wir haben für unsere Durchlauf-Plasmaanlage einen Passivierungsprozess entwickelt, mit dem wir bei einer Abscheidetemperatur von 375 °C eine Oberflächen-Rekombinationsgeschwindigkeit von 10 cm/s erreichen. Bei einem Durchsatz von bis zu 15 100 cm² großen Scheiben pro Beschichtung haben wir nun die Möglichkeit, aufwändige Untersuchungen zu Veränderungen der Materialqualität in Herstellungsprozessen bei erheblich reduziertem Zeitaufwand durchzuführen.

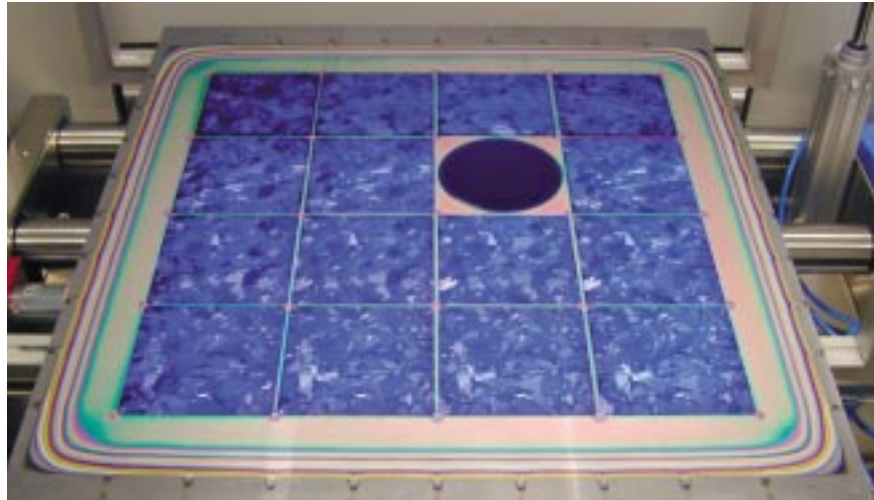


Abb. 1: Graphit-Trägerplatte der Durchlauf-Plasmaanlage bestückt mit 15 multi- und einer mono-kristallinen Siliciumscheibe nach der Beschichtung mit Siliciumnitrid.

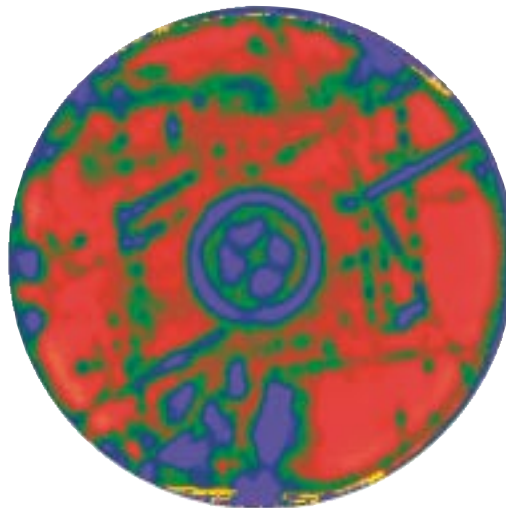


Abb. 2: Ortsaufgelöste Lebensdauer-messung der Minoritätsladungsträger an einer beidseitig mit amorphem Silicium beschichteten monokristallinen FZ-Siliciumscheibe. Rot gefärbte Stellen repräsentieren Bereiche hoher Lebensdauer mit 350 μ s, in den blauen Bereichen liegt die Lebensdauer bei 140 μ s. Die runde Struktur in der Mitte der Scheibe wurde durch ein kontaminiertes Transportsystem verursacht.

Alternativ zur Passivierung mit Siliciumnitrid haben wir einen Passivierungsprozess entwickelt, bei dem wir die Substrate bei 180 °C beidseitig mit einer undotierten Schicht aus amorphem Silicium beschichten. Damit erreichen wir ebenfalls Oberflächen-Rekombinationsgeschwindigkeiten von unter 10 cm/s, sowohl auf p- als auch auf n-Typ Material. Abb. 2 zeigt als Beispiel eine Lebensdauer-messung an einer beidseitig mit amorphem Silicium beschichteten monokristallinen Siliciumscheibe.

Innovative und rationelle Fertigungsverfahren für Silicium- Photovoltaikmodule – SOLPRO IV

Eine enge Kooperation von Industrie und Forschungsinstituten bildet die Basis für Fortschritte in der industriellen Fertigung von Solarzellen und photovoltaischen Modulen. Im Rahmen des Expertenkreises SOLPRO koordinieren wir zusammen mit dem Fraunhofer IPT die Kooperation von 13 Industrieunternehmen aus der Photovoltaik-Produktion. Auch in SOLPRO IV konnten viele innovative Fertigungsverfahren identifiziert, bewertet und zur Umsetzung angestoßen werden.

Daniel Biro, Gernot Emanuel, Dominik Huljic,
Ralf Preu, Eric Schneiderlöchner,
Catherine Voyer, Dimitri Weilert,
Winfried Wolke

Kostenreduktionspotenziale für die Photovoltaik liegen vor allem auch in der Fertigung von Solarzellen und Modulen. Vor diesem Hintergrund erarbeiten, testen und bewerten wir in einem Expertenkreis rationelle und innovative Fertigungskonzepte. Das Ziel von SOLPRO ist es, neue Technologieansätze mit hohem Kostenreduktionspotenzial zu identifizieren und deren Umsetzung auf den Weg zu bringen. Das Konsortium setzt sich aus Wafer-, Zell- und Modulproduzenten sowie Maschinen-, Anlagen- und Komponentenherstellern zusammen. Gemeinsam mit Kollegen vom Fraunhofer IPT koordinieren wir das Projekt nach einer bewährten Methodik. Jährlich finden zwei Tagungen statt, in denen wir die aktuellen Trends in Forschung und Entwicklung vor dem Hintergrund des Photovoltaik-Marktes präsentieren und mit den Projektpartnern diskutieren. Es werden drei Themen ausgewählt, für die Projektteams aus den jeweiligen Know-how-Trägern gebildet werden. Für das folgende Halbjahr erarbeiten wir die Problemstellung durch Recherche, Experimente, Simulationen und Kostenanalysen, um abschließend eine fundierte Bewertung der betrachteten Technologien vornehmen zu können. Diese bilden dann den Ausgangspunkt für aufbauende Entwicklungsprojekte. In SOLPRO IV haben wir beispielsweise alternative Verfahren zur industriell etablierten Kantenisolation durch Plasmaätzen identifiziert und experimentell untersucht. Als Ergebnis haben wir u.a. gefunden, dass sich durch einen optimierten Laserprozess bei deutlich verbessertem Materialfluss in der Produktion gleiche oder sogar bessere Leistungswerte der Zellen erreichen lassen als mit dem herkömmlichen Plasmaverfahren.

Der in der Photovoltaik F&E einzigartige SOLPRO-Ansatz wird durch die Industriepartner und das Bundesministerium für Umwelt gefördert. SOLPRO IV wurde zum 31.12.2003 erfolgreich abgeschlossen.

Mehr Informationen unter: www.solpro.de



Abb. 1: Expertenkreis SOLPRO. Beteiligt sind die folgenden Unternehmen: ACR GmbH, Niedereschach; Applied Films GmbH & Co.KG, Alzenau; centrotherm GmbH, Blaubeuren; Deutsche Cell GmbH, Freiberg/Sachsen; EKRA GmbH, Bönningheim; ErSol Solar Energy AG, Erfurt; Ferro AG, Hanau; m+w zander Facility Engineering GmbH, Stuttgart; RENA Sondermaschinen GmbH, Gütenbach; Roth & Rau Oberflächen GmbH, Wüstenbrand; RWE SCHOTT Solar GmbH, Alzenau; SGG-Saint-Gobain Glass Solar, Aachen; TRUMPF Laser GmbH + Co.KG, Schramberg und die beiden Fraunhofer Institute für Produktionstechnologie IPT und Solare Energiesysteme ISE.

Neue Einkapselungsmaterialien für Photovoltaik-Module

Bei der Herstellung eines Photovoltaik-Moduls nimmt die Modulfertigung 30 bis 40% der Gesamtkosten ein. Gleichzeitig ist die Qualität der Einkapselung der Solarzellen im Modulverbund ausschlaggebend für die Lebensdauer eines PV-Systems. So besteht gerade im Modulbereich ein Kostensenkungs- und Qualitätserhöhungspotenzial. Im Marktbereich Photovoltaische Module untersuchen wir neue Materialien und Konzepte im Hinblick auf Tauglichkeit und Alterungsverhalten in PV-Modulen.

Georg Bahr*, Dietmar Borchert,
Stefan Brachmann, Wolfgang Graf,
Stefan Gschwander, Markus Heck,
Michael Köhl, **Helge Schmidhuber**

* INAP Institut für Angewandte Photovoltaik GmbH

Solarzellen müssen zum Schutz vor Umwelteinflüssen eingekapselt werden. Hierzu werden in Standardsolarmodulen Glas, Ethylen-Vinylacetat (EVA) und eine Rückseitenfolie bestehend aus Polyvinylfluorid (PVF) und Polyethylen-terephthalat (PET) bzw. Aluminium verwendet. EVA ist auch nach umfangreicher Entwicklungsarbeit durch Industrie und Forschungsinstitute nicht ausreichend UV- und oxidationsstabil, um in Regionen mit starker Sonneneinstrahlung eine Langzeitstabilität für das PV-Modul zu gewährleisten, wie wir in Klimakammerversuchen nachgewiesen haben (Abb. 1).

Alternativ zur Weiterentwicklung von EVA untersuchen wir Materialien aus der Automobil- und Bauverglasung. So haben wir durch die Verwendung von Polyvinylbutyral (PVB) eine Erhöhung der Adhäsion gegenüber EVA zwischen Glas und Kunststoff erreicht. Hierfür haben wir in Zusammenarbeit mit einem Industriepartner einen Prozess zur Verarbeitung von PVB in einem Standardlaminiator entwickelt. PVB wird als Zwischenlage in Verbundsicherheitsgläsern verwendet und hat Vorteile gegenüber EVA: Seine Haftung ist in weiten Bereichen einstellbar, es ist uneingeschränkt für die Überkopfmontage zugelassen und es ist kosteneffektiv. Neben PVB untersuchen wir andere Materialien wie Polyurethane und Ethylen-Copolymere auf ihre Anwendbarkeit und ihr Alterungsverhalten in PV-Modulen (Abb. 2).

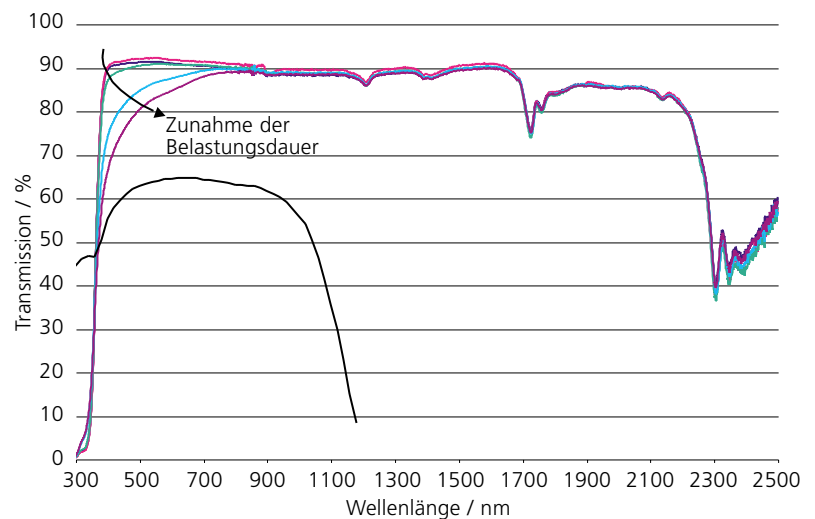
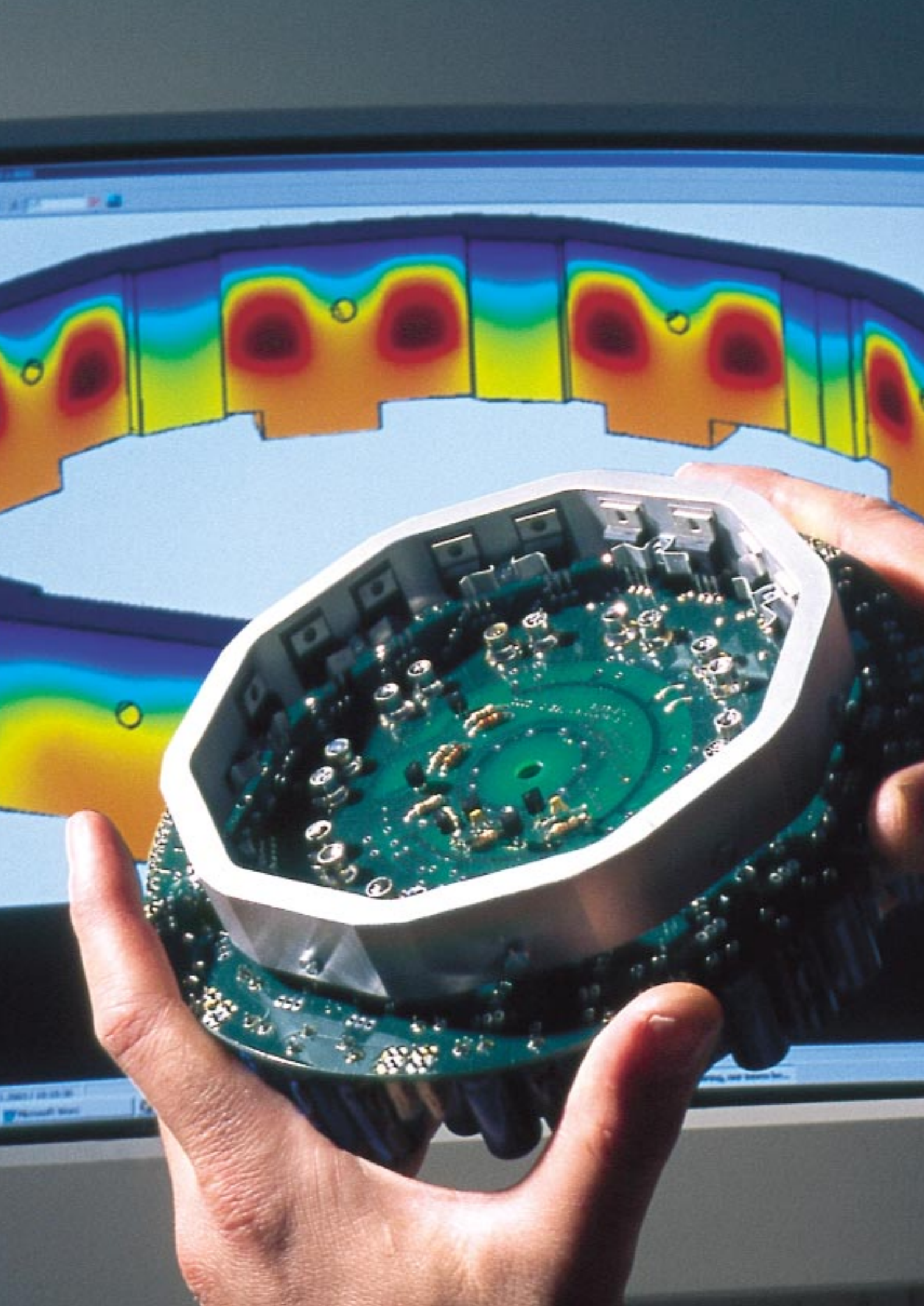


Abb. 1: Spektraler Transmissionsverlauf einer handelsüblichen EVA-Folie. Die Folie wurde zwischen zwei eisenarme Gläser laminiert und unter UV-Bestrahlung und Wärmezufuhr in einer Klimakammer für 70 Tage gealtert. Nach Zeiten von 7, 20 und 49 Tagen wurden Proben aus der Kammer entnommen, um den Alterungsverlauf zu dokumentieren. Im Wellenlängenbereich zwischen 370 und 780 nm beobachtet man eine Abnahme der Transmission. Diese zeigt sich ebenfalls in einer Gelbfärbung der EVA-Folie. Die untersuchten 70 Tage entsprechen je nach Standort einer Expositionsdauer von 7 bis 15 Jahren im Freiland. Zur besseren Veranschaulichung ist die externe Quanteneffizienz einer monokristallinen Solarzelle dargestellt (schwarze Kurve).



Abb. 2: Doppel-Klimakammer zur Prüfung von Fenstern, solaren Fassaden und Solarmodulen am Fraunhofer ISE. In der Prüfkammer können die Auswirkungen von Klimagradienten in der Gebäudehülle in kontrollierter und überhöhter Weise untersucht werden.

Mit dem Ziel des gänzlichen Verzichts auf Kunststoffe bei der Moduleinkapselung entwickeln wir neuartige Modulkonzepte. Hierbei werden die Solarzellen in einer Art Glascontainer hermetisch dicht eingekapselt. Mit so gefertigten Modulen erwarten wir eine technische Lebensdauer von etwa 40 Jahren.



Netzunabhängige Stromversorgungen

Zwei Milliarden Menschen ohne Strom, eine Vielzahl technischer Stromversorgungen in Telematik, Telekommunikation oder Umweltmesstechnik sowie vier Milliarden tragbare Elektronikgeräte in den Industrieländern haben eines gemeinsam: Sie alle brauchen netzunabhängigen Strom. Den liefern regenerative Energien oder innovative Energiewandler wie Brennstoffzellen nach Maß. Etwa 30% der weltweit verkauften Photovoltaikmodule gehen daher in netzunabhängige Stromversorgungen. Hier existieren derzeit die größten natürlichen Märkte für Photovoltaiksysteme, die schon heute oft wirtschaftlicher sind als Batterien, 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 technischen Stromversorgungen hat sich die Qualität der Komponenten und des Systemdesigns in den letzten Jahren spürbar verbessert. Zu oft stimmen aber Qualität oder Kosten der Stromversorgung noch nicht. Es wird daher zunehmend auf sorgfältige Planung, hochwertige Komponenten und ausgefeilte Betriebsführung geachtet. Wir bieten unseren Kunden das spezifische Know-how für die Erschließung der Märkte für ländliche Elektrifizierung. Dazu zählen die Analyse der Einflussfaktoren ebenso wie die Entwicklung von Leistungs- und Regelungselektronik, Batteriemodellierung, Ladestrategien, Anlagenbetriebsführung, Energiemanagement, Systemsimulation und nicht zuletzt Fragen im sozio-ökonomischen Umfeld.

Brennstoffzellen haben ein großes Potenzial als netzunabhängige Stromversorgungen – insbesondere als Mikrobrennstoffzellen in tragbaren Geräten. Ihr entscheidender Vorteil ist die hohe erreichbare Energiedichte der Speicher für Wasserstoff oder Methanol gegenüber heutigen Sekundärbatterien. Das kann bei gleicher Baugröße oder gleichem Gewicht die Betriebszeiten der Geräte wesentlich verlängern.

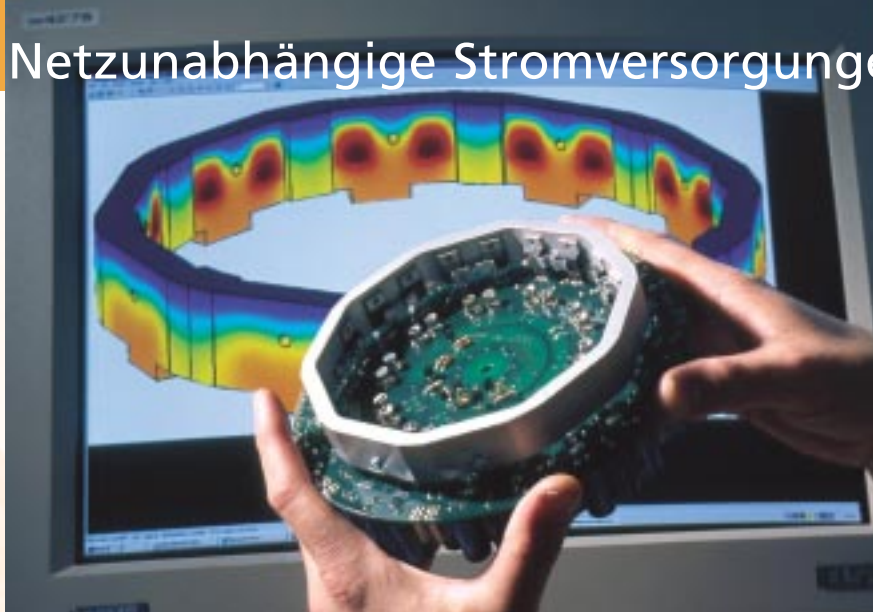
Für die Firmen, die sich in der ländlichen Elektrifizierung engagieren, sind neue Geschäftsmodelle und angepasste Strategien zur Markterschließung wichtig. Nur so kann der nachhaltige Aufbau von Vertrieb und Service – und damit der langfristige Betrieb der aufgebauten Systeme gesichert werden. Wer die Märkte der ländlichen Elektrifizierung erschließen will, muss deshalb sozio-ökonomische Methoden und Erkenntnisse in Unternehmensplanung und Produktdesign einfließen lassen.

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
- temperierte Teststände für vielzellige Batterien und Hybridspeicher
- Teststände für Brennstoffzellen im Betrieb mit Wasserstoff und Methanol
- orts aufgelöste Charakterisierung von Brennstoffzellen
- Kalibrierlabor für Solarmodule
- Freiland-Testfeld zur Erprobung von Solarkomponenten
- Pumpenteststand
- Test- und Entwicklungslabor für Trinkwasseraufbereitungssysteme
- parallele Linux-Farm für Optimierungsrechnungen komplexer Systeme.



Batterie-Management-System zum optimalen Betrieb von in Reihe geschalteten Batterien. Der Bildschirm zeigt die nach der Methode der Finiten Elemente berechnete Wärmeverteilung im Kühlkörper des Leistungsteils.

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
Mikroenergietechnik: Brennstoffzellen, geräteintegrierte Solarzellen, Thermophotovoltaik	Dr. Christopher Hebling	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-51 95 E-Mail: Christopher.Hebling@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

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 88-52 66 E-Mail: Gerhard.Willeke@ise.fraunhofer.de

Brennstoffzellen zur dezentralen Energieversorgung in Photovoltaik-Hybridsystemen

Erstmals wurde eine Brennstoffzelle unter realen Betriebsbedingungen in einem Photovoltaik-Hybridsystem zur Energieversorgung einer abseits vom öffentlichen Stromnetz gelegenen Wandergaststätte eingesetzt. Die Erfahrungen aus dieser Anlage fließen in die Entwicklung zukünftiger PV-Hybridsysteme mit Brennstoffzellen ein. Gleichzeitig gibt das Projekt der weiteren Verbreitung der Brennstoffzellentechnologie wichtige Impulse.

**Andreas Steinhüser, Rudi Kaiser,
Dirk Uwe Sauer**



Abb. 1: Rappenecker Hof mit Solargenerator. Links daneben der Gasbereitstellungsraum für die Energieversorgung der Brennstoffzelle.

Bisher wurden Photovoltaik-Hybridsysteme in der Regel mit einem Dieselgenerator als Zusatzstromerzeuger kombiniert. Jetzt haben wir erstmals eine Brennstoffzelle in der autarken Energieversorgung einer Gaststätte eingesetzt. Sie soll mittelfristig die Rolle des Dieselgenerators als Zusatzerzeuger vollständig übernehmen. Der Rappenecker Hof – auf dem Schauinsland vor den Toren Freiburgs gelegen – wurde 1987 zum ersten solarversorgten Gasthaus in Europa. Ein Photovoltaik(PV)-/Wind-/Diesel-Hybridsystem versorgte das Gebäude mit Energie. Um die Systemtechnik an den aktuellen Stand anzupassen und wegen des gestiegenen Energiebedarfs durch ein geändertes Bewirtschaftungskonzept wurde eine Modernisierung des Systems notwendig.

Ausgangspunkt für die Planung des neuen Energieversorgungskonzeptes war die Überlegung, dass beim Systemumbau der Charakter des Rappenecker Hofs als Pionieranlage für autonome Stromversorgungen weitergeführt und gestärkt werden sollte. Mit dieser Zielsetzung haben wir auf dem Rappenecker Hof die Zusatzstromversorgung durch eine Brennstoffzelle realisiert. Solargenerator und Windgenerator werden auch weiterhin ca. 70% der Jahresenergie liefern. Eine 48 Volt Batterie stellt den Ausgleich zwischen Nachfrage- und Angebotschwankungen sicher. Die Brennstoffzelle wird in Zeiten zu geringen Angebots seitens der regenerativen Stromerzeuger die Versorgung sicherstellen.

Um die Versorgungssicherheit der Anlage zu jedem Zeitpunkt insbesondere auch in der Erprobungsphase zu gewährleisten, haben wir den bereits vorhandenen Motorgenerator in das Energieversorgungskonzept integriert. Bei unzureichender Leistung oder Ausfall der Brennstoffzelle übernimmt der Motorgenerator die Nachladung der Batterie.

Zum Einsatz kam eine wasserstoffbetriebene Polymer-Elektrolyt-Membran-Brennstoffzelle (PEM-Bz) mit einer Leistung von 1,2 kW. Das Brennstoffzellensystem des Projektpartners Phocos basiert auf einer Ballard-Brennstoffzelle.

Das PEM-Brennstoffzellenaggregat benötigt zum Betrieb reinen Wasserstoff und Luftsauerstoff. Für die Anlage am Rappenecker Hof haben wir zunächst eine Wasserstoff-Versorgung aus kommerziellen Gasflaschen realisiert. Das flexible Anlagenkonzept soll aber die Nachrüstung eines Reformers ermöglichen, der Wasserstoff aus kohlenstoffhaltigen Energieträgern (Erdgas, Methan, Biogas, Ethanol, etc.) erzeugt.

Neben der Modernisierung der Energieversorgung auf dem Rappenecker Hof ist das Ziel des Projekts, den Einsatz von Brennstoffzellen als mögliches Versorgungselement netzferner Anlagen zu demonstrieren. Wichtig für die Weiterentwicklung von Brennstoffzellen ist der Einsatz in realen Anlagen unter Feldtestbedingungen. In diesem Sinne nimmt der Rappenecker Hof eine Pilotfunktion ein.

Gleichzeitig mit der erstmaligen Integration einer Brennstoffzelle in einem PV-Hybridsystem haben wir ein innovatives Batteriemanagementsystem auf dem Rappenecker Hof eingesetzt. Die Batterie besteht aus vier Strängen, von denen einer neu ist und drei bereits seit drei Jahren im Einsatz sind. Die einzelnen Stränge können separat ge- und entladen werden, so dass auch gezielte Pflegeladungen durchgeführt werden können. Wir gehen davon aus, dass dadurch die verfügbare Kapazität der älteren Batterien wieder wesentlich gesteigert wird.

Zudem erwarten wir von dieser neuen Technik eine deutliche Verlängerung der Batterielebensdauer.

Die Modernisierung der Stromversorgung auf dem Rappenecker Hof wurde möglich dank der Förderung durch den Innovationsfonds Klima- und Wasserschutz der badenova AG & Co. KG, Freiburg. Die beteiligten Projektpartner Familie Riesterer, Oberried sowie Phocos AG – Deutschland, Illerkirchberg und das Fraunhofer ISE beteiligten sich ebenfalls mit beträchtlichen Eigenmitteln an der Finanzierung dieses Projekts.

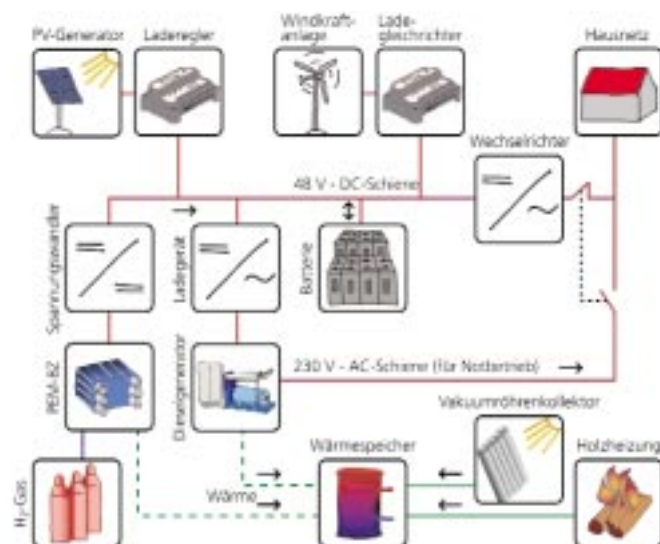


Abb. 2: Blockschaftbild der Energieversorgung des Rappenecker Hofes. Die Nutzung der Abwärme der Brennstoffzelle und des Dieselgenerators ist bereits konzeptionell vorgesehen, aber noch nicht realisiert.



Abb. 3: Am Rappenecker Hof wird eine wasserstoffbetriebene Polymer-Elektrolyt-Membran-(PEM)-Brennstoffzelle (Leistung 1,2 kW) eingesetzt. Die PEM-Brennstoffzelle (Stacks sind im Hintergrund erkennbar) benötigt zum Betrieb reinen Wasserstoff und Luftsauerstoff.



Abb. 4: Die Steuerung der gesamten Hausenergieversorgung.

Technologieentwicklung für die Betriebsführung autonomer Stromversorgungen - UESP

UESP (Universal Energy Supply Protocol) vereinfacht die Planung und Installation von Photovoltaik-Hybridsystemen und führt gleichzeitig zu einem kostenoptimierten und zuverlässigen Betrieb des Systems. Basis des Konzepts ist ein zentrales Energiemanagementsystem EMS, das über standardisierte Protokolle mit den Systemkomponenten kommuniziert. Das zentrale EMS kann ohne Konfigurations- und Programmieraufwand mit beliebigen Kombinationen von Stromgeneratoren, Energiespeichern und Verbrauchern zusammenarbeiten.

Jochen Benz, **Felix Holz**, Tim Meyer, Werner Roth

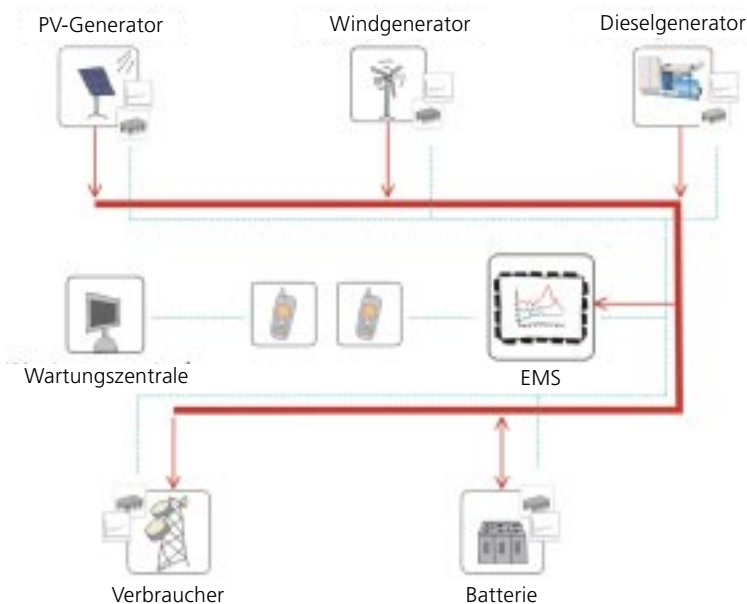


Abb. 1: Das Energiemanagementsystem EMS bilanziert Energieerzeugung und -verbrauch, empfängt Statusmeldungen und überwacht die Komponenten. Ferner ermittelt es zu jedem Zeitpunkt die ökonomisch sinnvollste Betriebsweise des Systems. Dazu liefern die Komponenten an das EMS Größen wie momentane und zukünftige kostenorientierte Gebote für Strombezug oder -lieferung. Diese werden anhand aller Kostenfaktoren des Betriebes sowie aus der prognostizierten Verfügbarkeit von Energie (Sonne, Wind, Dieselfüllstand etc.) erzeugt. In einer Art Strombörse wird dann ein Preis ermittelt, aus dem sich die Einsatzpläne der einzelnen Komponenten ergeben.

Heute werden autonome Stromversorgungen typischerweise individuell für einen gegebenen Standort und eine gegebene Aufgabe ausgelegt und zusammengestellt. Dies erfordert einen hohen Planungsaufwand, die Systemkomponenten und die Parameter für die Betriebsführung müssen jeweils gezielt angepasst werden. Die Folgen sind hohe Kosten in der Planung und oft eine reduzierte Lebensdauer und Zuverlässigkeit der Systeme. UESP ist eine neue Systemphilosophie, mit deren Hilfe Planung und Betriebsführung autonomer Stromversorgungen erheblich vereinfacht werden. Schlüssel ist die Verteilung von Intelligenz und komponentenspezifischen Informationen im System. Ein zentrales EMS steht über standardisierte Kommunikationsschnittstellen mit den Systemkomponenten in Verbindung. Für die Komponenten, die in ein solches System integriert werden, sind ebenfalls Standards für die Funktionalität und die Schnittstelle definiert. Das zentrale EMS holt sich die spezifischen Informationen wie Betriebseigenschaften, aktuelle Kosten der entsprechenden Strombereitstellung und Verfügbarkeit von den Komponenten und kann dann ohne spezielle Anpassung eine optimale Betriebsführung realisieren.

Für die Anlagenersteller und -betreiber stellt sich UESP als »Plug&Play-System« dar, das flexibel aufgebaut und erweitert werden kann. Eine kontinuierliche Zustandskontrolle erfasst die Systemdaten, bewertet diese und sendet sie auf Wunsch an eine Wartungszentrale. Dort lassen sich dann z. B. Servicepläne erstellen. Das neue Konzept erlaubt damit z. B. den Betreibern von Telekommunikationsanlagen eine kostengünstige und zuverlässige Versorgung an netzfernen Standorten.

Gemeinsam mit acht Industriepartnern führen wir die Arbeiten in diesem vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit geförderten Projekt durch.

Neue Wege zur Energieverteilung für photovoltaische Dorfstromversorgung

Um eine gerechte Energieverteilung bei netzfernen PV-Dorfstromversorgungen zu gewährleisten, haben wir mit der spanischen Firma TramaTecnoAmbiental den »Energy Dispenser« entwickelt. Damit wird ein unkontrollierter – meist übermäßiger – Energieverbrauch, Unzufriedenheit der Nutzer mit der Energiebegrenzung und daraus resultierende schwindende Zahlungsbereitschaft vermieden und eine zuverlässige Energieversorgung ermöglicht.

Georg Bopp, **Sebastian Gölz**, Claudia Rittner, Gisela Vogt

Der Einsatz von Photovoltaik-Systemen für die zentrale Dorfstromversorgung in Gebieten ohne Netzversorgung war bisher durch typische Risiken wie Übernutzung der Energieversorgung durch die Endverbraucher, Unzufriedenheit aufgrund der Limitierung der verfügbaren Energie und mangelnde Zahlungen umstritten. Wir haben gemeinsam mit der spanischen Firma TramaTecnoAmbiental eine technische Komponente entwickelt, die sowohl den Bedürfnissen der Nutzer nach Flexibilität entgegenkommt als auch einen technisch zuverlässigen Betrieb und eine dauerhafte finanzielle Abwicklung ermöglicht.

Wesentliches Konzept des »Energy Dispenser«: Der Kunde wählt und bezahlt eine Tarifklasse, die ihm eine spezifische Energiemenge und Leistung garantiert. Die Einführung von Tarifen ermöglicht eine zuverlässige Dimensionierung der PV-Anlage. Durch Preisanreize wird der Endnutzer dazu animiert, selbst Energiemanagement zu betreiben und damit die verfügbare Solarenergie optimal auszunutzen.

Der »Energy Dispenser« wurde in einem EU-Projekt in Demonstrationsanlagen in Spanien und Ecuador installiert. Ausführliche Messdaten aus einem spanischen Dorf zeigen, dass die Nutzer sehr zufrieden mit dem Verteilungs- und Finanzierungskonzept sind. Durch geschicktes Nutzen der Anreize gelingt es einigen Kunden, mehr als die vertraglich vereinbarte Energie zu nutzen, ohne höhere Kosten zu bezahlen oder die Stromverfügbarkeit für andere zu gefährden.



Abb. 1: Der »Energy Dispenser« garantiert – je nach Tarifklasse – eine bestimmte Energiemenge pro Tag. Nicht genutzte Energie wird dem Nutzer bis zu einer bestimmten Menge gutgeschrieben. Steht im System insgesamt viel Energie zur Verfügung (z. B. bei Sonnenschein), können die Nutzer doppelt soviel Energie für den gleichen Preis verbrauchen. Im umgekehrten Fall (z. B. nachts bei fast leerer Batterie) wird für den gleichen Preis nur die Hälfte der Energie geliefert. Weitere Flexibilität bietet ein elektronischer Schlüssel, der das Energieguthaben »enthält« und der auch in anderen Haushalten eingesetzt werden kann.

Bedarfsorientiertes Training für nachhaltigen Erfolg bei ländlicher Elektrifizierung

Der Einsatz neuer Technologien in ländlichen Regionen erfordert weitreichende Kompetenzen technischer, sozialer und betriebswirtschaftlicher Art. Ein interdisziplinäres Team des Fraunhofer ISE hat im Rahmen verschiedener Projekte Ausbildungsveranstaltungen zu unterschiedlichen Themenschwerpunkten erarbeitet und bereits erfolgreich durchgeführt. Trainingskurse – speziell auf Kundenwünsche zugeschnitten – ermöglichen eine erfolgreiche Projektplanung und -umsetzung.

Georg Bopp, Dorika Fleißner, Sebastian Goelz, Werner Roth, Dirk Uwe Sauer, Mark Ullrich
Gisela Vogt



Abb. 1: Training zur Integration sozialer Aspekte in Projekte zur ländlichen Elektrifizierung am Fraunhofer ISE, Juni 2003.

Abb. 2: Die Tabelle zeigt eine Aufstellung relevanter Themen, die in ein Training zur Integration sozialer Aspekte einfließen können. Es handelt sich dabei um wesentliche Kompetenzen für eine erfolgreiche Durchführung ländlicher Elektrifizierungsprojekte. Die Kernthesen werden einzelnen Projektphasen zugeordnet, wesentliche Lernziele werden benannt.

Topic	Learning Target
Preparation Phase	
Analysis and assessment of regional and local context	➤ Analysis of energy needs
	➤ Survey of social and socio-economic data
	➤ Transfer of local cultural information into a code of practice
Construction of a financial concept	➤ Design of transparent payment schemes that will be accepted by the users
	➤ The match of payment schemes with organisation for operation
	➤ Awareness of organisational problems concerning regular payments
Installation & Operation Phase	
Promotion/Introduction concept	➤ Improvement of promotional activities
	➤ Planning of promotion strategies
	➤ Optimal communication policy
Training for end users & local technicians	➤ Practice of pedagogical methods
	➤ Development of training conception for illiterate people
	➤ Handling of cultural problems
Monitoring and Evaluation Phase	
Monitoring and Evaluation	➤ Monitoring & evaluation of the projects' progress and results
	➤ Assessment of non-technical parameters e.g. user satisfaction
	➤ The application of monitoring and evaluation results for optimisation

Bei der ländlichen Elektrifizierung ist für die Nachhaltigkeit der Projekte und für eine erfolgreiche Marktentwicklung ein umfangreiches Know-how erforderlich, das über den rein technischen Aspekt der Photovoltaik hinausgeht. Für die an ländlichen Elektrifizierungsprojekten beteiligten Firmen, Organisationen und Anwender ist daher eine bedarfsorientierte Wissensvermittlung auf unterschiedlichen – auch nicht technischen – Gebieten von größtem Nutzen.

Im Marktbereich »Systeme zur Netzunabhängigen Stromversorgung« entwickeln wir Konzepte und Materialien für technisches und nichttechnisches Training mit unterschiedlichen inhaltlichen Schwerpunkten. In Teilen haben wir diese Konzepte bereits erfolgreich umgesetzt und evaluiert. Das Gesamtangebot, erarbeitet und durchgeführt von interdisziplinären Teams, umfasst Seminare zur Bewusstseinsbildung bei Politikern, Geldgebern und Entscheidungsträgern ebenso wie theoretische und praktische Seminare zur Ausbildung von technischem Personal. Auch Schulungen der Nutzer im Umgang mit den Anlagen gehören dazu.

Die Trainingsveranstaltungen werden spezifisch und bedarfsangepasst, d.h. zielgruppenorientiert gestaltet. In einem ersten Schritt der Trainingskonzeption ermitteln wir den Trainingsbedarf der Kursteilnehmer, indem wir deren Aufgabengebiete und die damit verbundenen Probleme analysieren. Mit Hilfe der gewonnenen Informationen werden dann die erforderlichen Schulungsinhalte in Absprache mit den Teilnehmern zusammengestellt und umgesetzt. Um unser Angebot kontinuierlich zu verbessern, bewerten wir jedes Training nach vorab definierten Lernzielen und führen eine umfassende Evaluierung durch.

Die Arbeiten finden im Rahmen der von der EU geförderten Projekte »SOPRA-RE« und »Soltrain« sowie in Zusammenarbeit mit mehreren europäischen Partnern statt.

Intelligente Batteriespeicher für autonome Stromversorgungssysteme

Batterien stellen weltweit den größten Teil der verwendeten Energiespeicher für autonome Stromversorgungssysteme dar. Durch erhebliche Belastungen im Teilzyklenbereich sowie mangelnde Vollladungen ist die Lebensdauer von Batterien jedoch im Vergleich zu den übrigen Systemkomponenten gering. Um die Möglichkeiten moderner Batterien vollständig nutzen zu können und die Lebensdauer zu erhöhen, haben wir einen intelligenten Batteriespeicherverbund entwickelt, der diesen Anforderungen im höchsten Maße gerecht wird.

Georg Bopp, Rudi Kaiser, Dirk Uwe Sauer

Autonome oder netzferne Stromversorgungen stellen unterschiedlichste Anforderungen an den Batteriespeicher, die von einem einzigen Batterietypus nicht optimal erfüllt werden können. Bei der Auswahl und Verwendung eines einzigen Batteriespeichers muss somit immer ein Kompromiss eingegangen werden, der die Lebensdauer negativ beeinflusst. Die Nutzung verschiedener Batterietechnologien oder unterschiedlicher Bleibatterietypen stellt für diese Herausforderung eine geeignete Lösung dar.

Wir haben eine Batteriespeichereinheit entwickelt, die den unterschiedlichen Anforderungen durch den Einsatz verschiedener Batteriespeicher gewachsen ist. Das System verschaltet auf intelligente Weise verschiedene Batterietypen so, dass zyklensfeste Batterien den benötigten Tagesumsatz abdecken und Batterien mit geringer Selbstentladung als Langzeitspeicher dienen (Abb. 2). Da die interne Verschaltung zwischen den Batterien universell möglich ist, können sie in speziellen Modi betrieben werden, die in konventionellen Anlagen nicht möglich sind.

Präzise Algorithmen im Batteriemanagementsystem (BMS) bestimmen neben dem Ladezustand (SOC) auch den Alterungszustand (SOH) der Batterien. Dies geschieht während des normalen Betriebs, ohne dass beim Alterungstest Energie verschwendet wird. Mit Hilfe dieser Informationen können wir spezielle Ladeverfahren durchführen, die die typischen Alterungseffekte im Vergleich zu herkömmlichen Ladeverfahren reduzieren und damit die Lebensdauer der

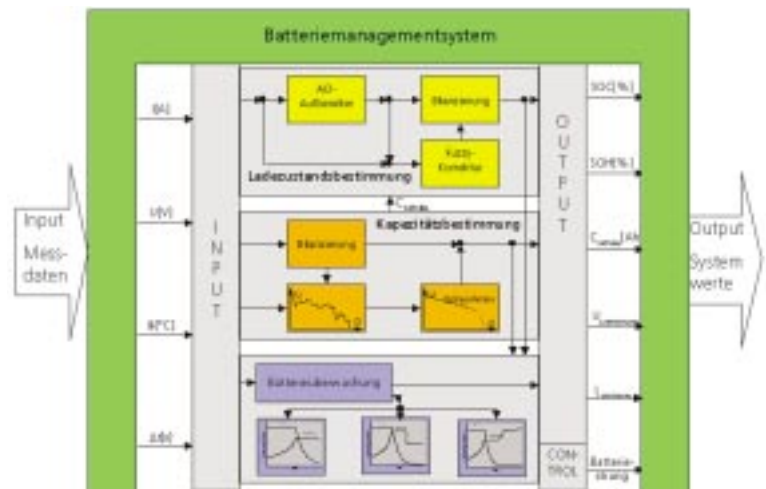


Abb. 1: Die Algorithmen im Batteriemanagementsystem (BMS) ermitteln den Ladezustand (SOC) und den Alterungszustand (SOH) über die äußeren messbaren Batteriewerte (Strom, Spannung und Temperatur). Mit Hilfe eines Expertensystems in Fuzzy-Logik werden hier sehr genaue Ergebnisse erzielt, die dem BMS immer den aktuellen Zustand der Batterien übermitteln. Mit Hilfe dieser Informationen ist das BMS stets selbstständig in der Lage, individuell auf die einzelnen Zustände der Batterie-Stränge zu reagieren und über ihre jeweilige Anwendung im gesamten Batteriespeicher zu entscheiden. Es wird damit die von außen zur Verfügung stehende Energie immer optimal genutzt und gleichzeitig die Lebensdauer des Batteriespeichers erhöht.

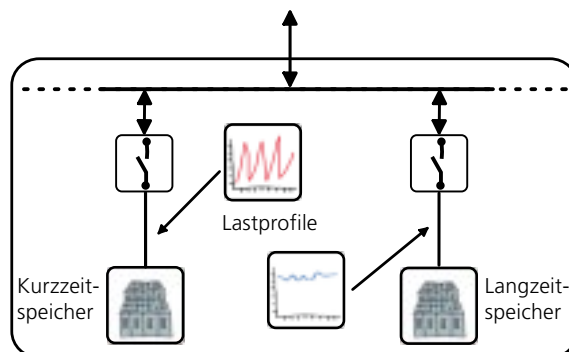


Abb. 2: Das entwickelte Batteriesystem wirkt nach außen wie ein konventioneller Batteriespeicher. Intern werden mehrere unterschiedliche Batterietypen verwendet, wie hier im Bild symbolisch durch zwei Batterien dargestellt. Die verschiedenen Batterietypen sind für unterschiedliche Anforderungen ausgelegt und werden dementsprechend mit verschiedenartigen Lade- und Entladeprofilen beaufschlagt. Im Beispiel ist dies an einer zyklensfesten Batterie (links) und einem Langzeitspeicher (rechts) illustriert. Das Zu- und Abschalten der einzelnen Batterien wird durch ein Batteriemanagementsystem gesteuert, das die Batteriegrößen (U, I, T, SOC, SOH u. a.) bestimmt und daraus entscheidet wie jede einzelnen Batterie im System zu behandeln ist.

Batterien wesentlich erhöhen. Weiterhin wird die von den Energieerzeugern zur Verfügung stehende Energie besser genutzt, da immer genau die Batterie geladen wird, die eine Nachladung am nötigsten hat.

MANUAL
SWITCH

4x1X35mm²/42m

22

PQ

5x4mm²

16

3xTAURUS 3000/8



4



13

0/8



PV ROOF 2
1KWp

E3 PV FIELD CABINET

Regenerative Stromerzeugung im Netzverbund

Netzgekoppelte Anlagen bilden heute weltweit den größten Markt für die Photovoltaik. Gut ausgestattete Markteinführungsprogramme vor allem in Japan, Deutschland und einigen Staaten der USA sorgen für hohe Wachstumsraten. Die bisher erzielten und zum stabilen Wachstum weiter nötigen Kostensenkungen von PV-Systemen liegen dabei zu einem großen Teil in der Systemtechnik: Wechselrichter, Dachintegrations-, Montage- und Verkabelungssysteme. Um Wartungs- und Reparaturkosten über Anlagenlebensdauern von 20 Jahren gering zu halten, muss die Qualität der Komponenten steigen. Genauso spielen Qualitätssicherung und Betriebsüberwachung von Anlagen eine immer wichtigere Rolle.

Wirkungsgrade und Qualität von Wechselrichtern für die Netzeinspeisung von Photovoltaikstrom haben einen hohen Stand erreicht. Dennoch gibt es noch erhebliche Verbesserungspotenziale durch neue Schaltungskonzepte, digitale Regelungstechnik, Fortschritte bei Leistungshalbleitern und passiven Bauelementen. Wir bieten Spezial-Know-how in den Bereichen Schaltungsdesign und -auslegung sowie Dimensionierung und Implementierung von analogen und digitalen Reglern.



Gerade große, kommerzielle PV-Anlagen stellen Planer und Betreiber vor Fragen der Qualitätssicherung. Wir beraten bei der Anlagenplanung, erstellen Ertragsgutachten, charakterisieren Solarmodule, führen Abnahmemessungen durch und entwickeln Konzepte für die Anlagenüberwachung im Betrieb oder die Visualisierung von Betriebsdaten z. B. im Internet.

Für die mittelfristige Zukunft können solarthermische Kraftwerke einen wichtigen Beitrag zur regenerativen Stromerzeugung leisten. Wir entwickeln Materialien, optimieren die Regelung und führen Systemsimulationen durch.

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

PV-Anlagen und andere dezentrale Stromerzeuger wie Blockheizkraftwerke interagieren mit den Stromnetzen und den Gebäuden, in die sie integriert werden. Wegen der Liberalisierung der Strommärkte und der Markteinführung klimaschonender Energietechnologien nimmt ihre Anzahl schnell zu. Fragen der Betriebssicherheit, Versorgungssicherheit und Spannungsqualität sowie der Integration von Wärmeerzeugern in die Steuerung der Gesamtenergieversorgung erhalten zunehmend Gewicht. Viele kleine Erzeuger und beeinflussbare Lasten interagieren und werden aktiv geregelt. Dies führt zu völlig neuen Forderungen an Regelung, Betriebsführung, Kommunikation und Datenmanagement in Stromnetzen und Gebäuden. Wir erarbeiten Konzepte, Elektronik, Planungs- und Managementwerkzeuge für diese Fragen

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

- Wechselrichterentwicklung
- Qualitätssicherung und Monitoring von Komponenten und Anlagen
- Untersuchung von Konzepten der verteilten Erzeugung
- Integration von Strom- und Wärmeerzeugern sowie 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
- Prüfeinrichtungen für Batterien in weitem Strom-, Spannungs- und Temperaturbereich
- Labor zur Entwicklung von Lade- und Betriebsstrategien für Batterien
- Entwicklungsumgebungen für Regelungen auf der Basis von »Embedded Systems«.



Die Einspeisung vieler dezentraler Strom- und Wärme-erzeuger in moderne Energieversorgungssysteme stellt auch hohe Anforderungen an die Kommunikations-technologie. Dazu entwickeln wir auf der Basis von »Embedded Systems« Betriebsführungskonzepte, die über Handy und Internet administrierbar sind.

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

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

Kommunikation für vernetzte Regelungssysteme

Das Energiemanagement von Energieversorgungssystemen und von gebäudetechnischen Anlagen erfordert neuartige Kommunikationskonzepte, die den Anforderungen eines optimierten Betriebs gerecht werden. Sowohl im Bereich technischer Anlagen als auch bei der Leittechnik werden vernetzte Regelungssysteme benötigt, die auf dezentrale Informationen aus dem Netzwerk zurückgreifen können. Wir realisieren Systeme auf Basis etablierter Feldbuskonzepte wie auch neuartige Lösungen mit standardisierter Internet-Technologie.

Christof Wittwer, Jochen Benz, Rainer Becker, Hans-Georg Puls

Energieeffiziente Gebäude haben einen stark reduzierten Primärenergieverbrauch. Ihr Restbedarf an Energie erfordert Versorgungskonzepte wie beispielsweise die Einbindung von solarthermischen Systemen (Abb. 1). Dabei gilt es, regenerative Energieträger möglichst optimal in die Versorgung einzubinden und die Wechselwirkungen zu konventionellen Energieversorgungsanlagen zu optimieren.

Die Vernetzung von Regelungskomponenten spielt dabei eine zentrale Rolle. Während bisher sehr viele autonome Systeme existieren, die unabhängig voneinander arbeiten, ist zunehmend die Vernetzung von Teilsystemen erforderlich. Beispielsweise ist bei vorhandenem Solareintrag der Kollektoranlage die konventionelle Nachheizung ggf. zu unterbinden, es wird also eine Kommunikation zwischen Solar- und Kesselregelung erforderlich. Wir erarbeiten kommunikationsfähige Software- und Hardwarelösungen sowie innovative Managementstrategien, die diesen Anforderungen gerecht werden.

Auf die spezifischen Bedürfnisse der Kunden ausgerichtet, entwickeln wir Regelungssysteme, die netzwerkfähig sind und sich in eine bestehende Infrastruktur einbinden lassen. Dabei decken wir den Bereich klassischer Mikrocontroller-Systeme (Abb. 2) ebenso ab wie jenen der »Embedded Systems«, die sich durch die Netzwerkfähigkeit und die Verfügbarkeit eines Betriebssystems auszeichnen.

Typische Systemlösungen stellen beispielsweise Gateways dar, die sich über die Netzwerkschnittstelle an das Internet anbinden lassen (z. B. XML-RPC), andererseits auch eine Feldbusschnittstelle benutzen, die den Zugriff auf marktverfügbare Geräte (z. B. Messgeräte mit Modbus Interface) gestatten.

Abb. 1: Internet-basiertes Kommunikationskonzept für eine große thermische Solaranlage: »Embedded Systems« erlauben den ortsunabhängigen Zugriff auf den Anlagenzustand. Strahlungsdaten aus dem Internet werden hierbei auf Basis des XML-RPC Protokolls (über TCP/IP) übertragen.

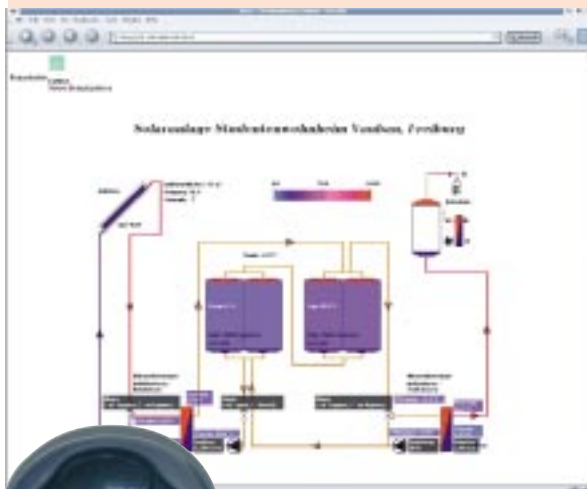


Abb. 2: Das GSM-Wap Interface erlaubt den Fernzugriff auf den Anlagenbetrieb über ein Mobiltelefon. Im Störfall wird vom Regelungssystem eine SMS (short message service) abgesetzt.

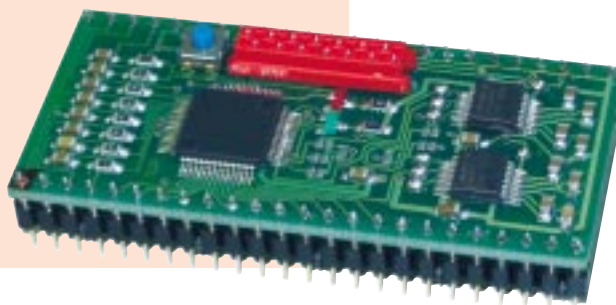


Abb. 3: Hardwareprototyp für den Einsatz von verteilten Regelungskonzepten: Mikrocontroller-Einheit mit stromsparender Architektur zur Ansteuerung von Sensorik und Aktorik sowie Feldbussystemen. »Embedded System Einheit«, zur Einbindung in ein Gebäudenetzwerk auf der Basis von Ethernet, TCP/IP Protokoll.

Managementkonzepte für verteilte Energieversorgungssysteme

Im Unterschied zu einem klassischen netzfernen Stromversorgungssystem ergeben sich beim Management von regenerativen Erzeugern im Netzverbund ganz neue Anforderungen hinsichtlich Betriebssicherheit, Flexibilität, Skalierbarkeit und Anzahl der Komponenten. Wir entwickeln komplette Managementsysteme, die diesen neuen Anforderungen gerecht werden.

Hans-Georg Puls, Christof Wittwer, Jochen Benz, Thomas Erge, Malte Thoma, Anselm Kröger-Vodde*

* PSE GmbH Forschung Entwicklung Marketing, Freiburg

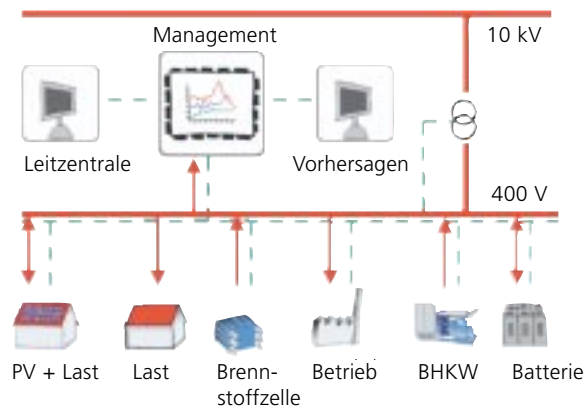


Abb. 1: Mit der Einführung dezentraler Stromerzeuger kann sich die unidirektionale Versorgungsrichtung von der Hoch- über die Mittel- zur Niederspannungsebene umkehren. Die Spannungsqualität im Netz und die Ökonomie des Betriebs aller Komponenten werden beeinflusst. Das dargestellte Managementsystem erfüllt die dadurch entstehenden neuen Anforderungen und verfügt über Kommunikationsverbindungen zu den Komponenten.

Die Anzahl dezentraler Stromerzeuger im Netzverbund nimmt nicht zuletzt wegen günstiger gesetzlicher Rahmenbedingungen zu. Energieversorger und Netzbetreiber stehen vor der Aufgabe, diese Erzeuger in ihre Netz- und Betriebsplanung einzubeziehen und gleichzeitig weiterhin eine hohe Versorgungssicherheit und -qualität zu gewährleisten. Intelligent gesteuert können dezentrale Erzeuger Lastspitzen abdecken oder die Belastung von Betriebsmitteln verringern und damit Kosten sparen.

Für die Niederspannungsebene entwickeln wir im Rahmen des EU geförderten Projektes DISPOWER ein intelligentes Managementsystem. Neben der technisch und ökonomisch optimierten Steuerung der Komponenten Erzeuger, Lasten und Speicher ermöglicht das System die Fernüberwachung aller Komponenten sowie ein Monitoring. Abb. 1 zeigt die Einbindung eines solchen Systems in ein Niederspannungsnetz.

Um den Anforderungen bezüglich Flexibilität und zukünftiger Erweiterbarkeit gerecht zu werden, müssen neue Wege im Bereich des Managements beschritten werden. Die zentrale Steuereinheit darf nicht mehr für jede Komponente im Detail zuständig sein. Wir nutzen daher kleine, dezentrale Einheiten (Abb. 2), um eine oder mehrere Komponenten an die zentrale Steuerung anzubinden. Energiebedarf und Erzeugungspotenzial werden unter Berücksichtigung von Randbedingungen in Kostenfunktionen abgebildet, die zentral in einem Minibörsenmodell ausgewertet werden, um den Betrieb zu optimieren. Die Minibörse ermittelt zu einem gegebenen Zeitpunkt den kostengünstigsten Betriebszustand, wobei sie Faktoren wie Strompreis, Wirkungsgrad der Komponenten etc. berücksichtigt (Abb. 3).

Ähnliche Management-Konzepte für netzferne Energieversorgungssysteme entwickeln wir im Rahmen des vom Bundeswirtschaftsministerium geförderten Projekts UESP.



Abb. 2: Die gewünschte Flexibilität und Skalierbarkeit eines Energieversorgungssystems ist nur zu erreichen, wenn den Komponenten dezentrale, intelligente Einheiten zugeordnet sind. Das Bild zeigt den Prototyp einer solchen Einheit.

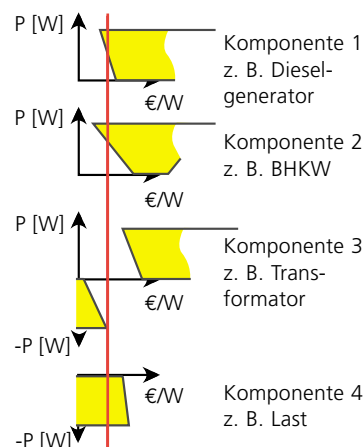


Abb. 3: Alle Kombinationen aus Preis (€/W) und Leistung (P) innerhalb der gelben Flächen sind von der jeweiligen Komponente angebotene gültige Betriebszustände. Das Minibörsenmodell erhöht, ausgehend von Null, den aktuellen Preis, der hier als senkrechte, rote Linie dargestellt ist, bis für alle Komponenten ein gültiger Zustand erreicht ist. Die Festlegung der exakten Leistungen und die technische Prüfung der gefundenen Lösung erfolgen in weiteren Arbeitsschritten. Fällt die Prüfung negativ aus, werden weitere Lösungen bei höheren Preisen gesucht und wiederum technisch geprüft.

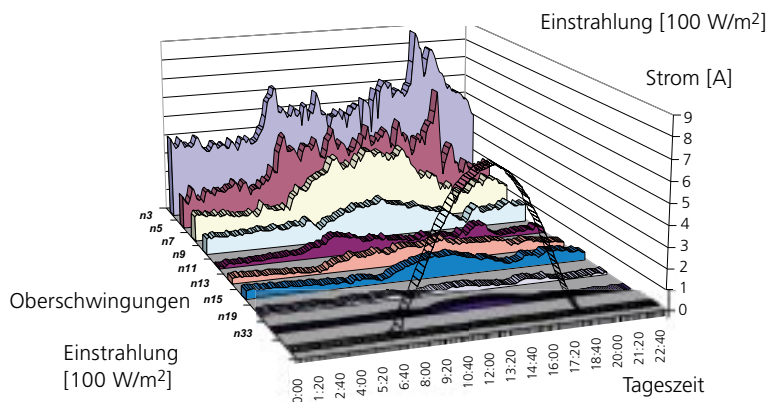
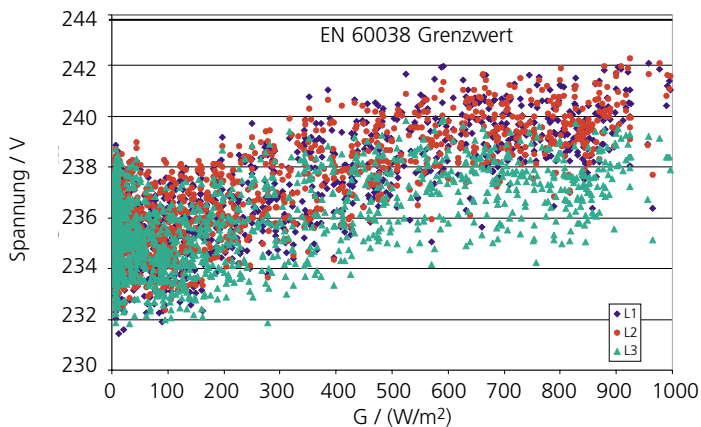
Spannungsqualität und Messkonzepte für Niederspannungsnetze

Mehr und mehr dezentrale Stromerzeuger kennzeichnen das europäische Stromnetz. Vor diesem Hintergrund ergeben sich neue Fragestellungen an die einzelnen Netzsegmente und die Netzqualität. Mit hochpräzisen Messgeräten ermitteln wir die Qualitätsparameter.

Thomas Erge, Hermann Laukamp,
Tim Meyer, Malte Thoma



Abb. 1: In dieser Solarsiedlung in Freiburg sind derzeit etwa 40 Wohneinheiten mit zusammen etwa 260 kWp Photovoltaik in Betrieb. Circa 100 dezentrale Wechselrichter speisen den Solarstrom in das Niederspannungsnetz.



Die Stromwirtschaft wird sich in den kommenden Jahren sehr wandeln. Dezentrale Stromerzeugung durch erneuerbare Energieträger sowie aus Kraft-Wärmekopplungsanlagen wird europaweit politisch gefördert. In den nächsten zwei Jahrzehnten steht ein großer Teil des deutschen Kraftwerksparks zur Erneuerung an. Wir erwarten daher eine starke Zunahme von dezentraler Stromerzeugung.

Schon heute gibt es Segmente im Niederspannungsnetz, in denen die hohe installierte Erzeugerleistung dazu führt, dass zeitweise mehr Strom produziert als verbraucht wird. Wir vermessen derartige Netzsegmente, um die Rückwirkungen der dezentralen Einspeisung auf Netzbetrieb und Spannungsqualität zu bestimmen. Mit hochpräzisen Messgeräten werden die Netzqualitätsparameter ermittelt. Die zusätzliche Erfassung von Solarstrahlung oder Windgeschwindigkeit erlaubt, den Einfluss dieser Größen auf den Netzbetrieb festzustellen. Unsere Messgeräte können standardmäßig die Netzqualität nach der Norm EN 50160 ermitteln, aber auch dynamische Vorgänge mit hoher zeitlicher Auflösung aufzeichnen um spezielle Netzzustände zu erfassen. Aus solchen Messungen und begleitenden Simulationsrechnungen ermitteln wir – auch im Kundenauftrag – die tatsächliche Situation in Niederspannungsnetzen. Auf dieser Basis entwickeln wir Optimierungsmaßnahmen, z. B. über eine angepasste Betriebsführung von Eigenerzeugungsanlagen.

Abb. 2: In einer Wohnung am Ende des Kabelstrangs, der die Siedlung erschließt, wurde die Netzspannung aller drei Phasen gemessen. Hier ist der Effekt des im Verlauf des Kabelstrangs eingespeisten Solarstroms deutlich zu sehen. Die Spannung steigt näherungsweise proportional mit der Solarstrahlung. Die Norm EN 60038 wird jedoch nicht verletzt. Die Spannungslage in Phase L3 (grün) ist gegenüber den Phasen L1 und L2 verringert. Das liegt an der geringeren Zahl der Wechselrichter, die in diese Phase einspeisen.

Abb. 3: Direkt am Ortsnetztransformator der Solarsiedlung werden die Oberschwingungsströme gemessen. Für einen sonnigen Tag sind die Oberschwingungen n3 bis n33 mit zunehmender Ordnungszahl von hinten nach vorne dargestellt. Die vorderste Kurve zeigt den Verlauf der Solarstrahlung. Hauptsächlich treten die dritte und die fünfte Harmonische auf. Diese Oberschwingungen sind mit der Solarstrahlung und damit mit der Ausgangsleistung der Wechselrichter nur schwach korreliert. Die Pegel der höheren Oberschwingungen zeigen teilweise einen ähnlichen Verlauf wie die Solarstrahlung. Diese Oberschwingungen stammen also von den Wechselrichtern. Alle Oberschwingungspegel liegen unterhalb der zulässigen Werte.

Die Messungen wurden von der Europäischen Union im Rahmen des Projektes »DISPOWER« unterstützt.

»MikroSolar« - Energieversorgungs-Plattform für autonome Mikrosystemtechnik

Batterieversorgte Mikrosysteme mit Funkanbindung als Teile von Leitsystemen erfassen Messgrößen, kommunizieren und steuern. Im Rahmen eines Verbundprojekts mit Industriepartnern und weiteren Forschungseinrichtungen entwickeln wir ein Konzept zur autonomen Energieversorgung für derartige Systeme.

Bruno Burger, Jürgen Ketterer,
Heribert Schmidt, Christoph Siedle

Im Hausinstallationsbereich kommen zunehmend per Funk angebundene Sensoren wie Bewegungs- und Präsenzmelder, Temperatur- und Helligkeitssensoren sowie Schalter zum Einsatz. Diese Systeme werden üblicherweise mit Primärbatterien versorgt. Im Rahmen des Verbundprojekts »MikroSolar« entwickeln wir Konzepte und Schaltungen zur autonomen Versorgung solcher Systeme mittels Photovoltaik.

Der Einsatz von photovoltaisch betriebenen Systemkomponenten im Hausinstallationsbereich stößt meistens auf das Problem einer geringen und kaum vorhersehbaren Einstrahlung, oft bei Kunstlicht. Zudem lassen räumliche Beschränkungen aufgrund der vorgegebenen Einbaumöglichkeiten in herkömmliche Unterputz-Schalterdosen nur wenig Fläche für die Solarzellen zu. Diesen Randbedingungen kann nur durch darauf optimierte Solarzellen sowie eine Schaltungstechnik mit durchgängigem Low-Power-Design genügt werden.

Vor dem Hintergrund der genannten Herausforderungen erstellten wir mit den Projektpartnern die Spezifikationen für ein solarversorgtes

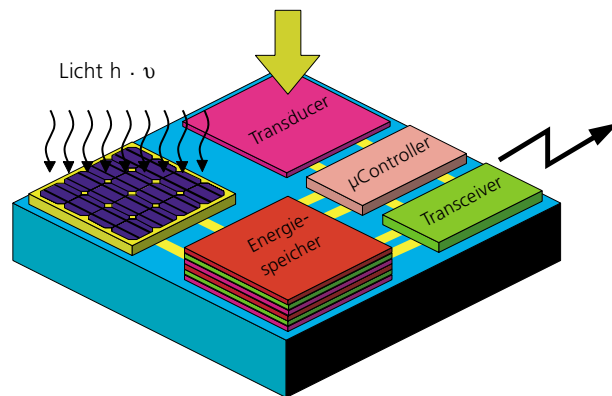


Abb. 1: Schematische Darstellung eines autonomen Mikrosystems; Komponenten sind Funktionseinheit (z. B. Sensor, Kommunikation, Steuerung elektrischer Antriebe), Energie-wandlung, Energiespeicher, Energiemanagement und Transceiver zur drahtlosen Anbindung an die Umgebung.

Mikrosystem mit PIR-Sensor (passive infrared). Anhand dieser Vorgaben wurden Prototypen der Komponenten Batterie (Li-Ion) und Solarzelle entwickelt. Durch die Konzeption der Schaltung als konsequentes Low-Power-Design sowie durch ein optimales Timing konnten wir den Energieverbrauch gegenüber einer herkömmlichen batterieversorgten Lösung um mehr als den Faktor 50 reduzieren. Auf ein Schaltungsdetail wurde ein Patent erteilt.

Unsere messtechnische Ausstattung erlaubt die genaue Erfassung des Energieverbrauchs auch bei den hier auftretenden hochdynamischen Stromverläufen im μW -Bereich.

Das Projekt wurde in Teilen durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung BMBF gefördert.

Solarthermische Kraftwerke mit Biomassezuführung

Solarthermische Kraftwerke generieren elektrische Energie, indem solar erzeugter Dampf in konventionellen Dampfturbinen entspannt wird. Aufgrund des fluktuierenden Angebots an Solarstrahlung ist die Kopplung mit einem Biomassekessel sowohl technisch als auch unter Klimaschutzaspekten sinnvoll. Gemeinsam mit der E.ON Energie AG haben wir am Fraunhofer ISE die technische und wirtschaftliche Machbarkeit eines Solar-Biomasse-Hybridkraftwerks für sonnenreiche Standorte untersucht.

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

*PSE GmbH Forschung Entwicklung Marketing, Freiburg

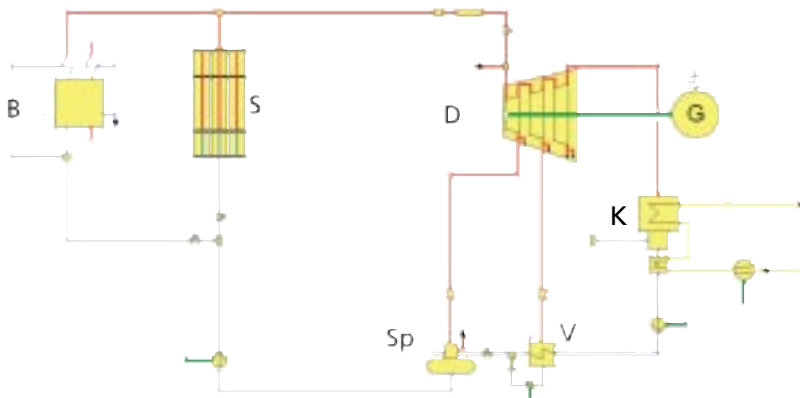


Abb. 1: Schaltbild eines solarthermischen Kraftwerks mit einem parallel geschalteten Biomassekessel. Der Generator (G) wird durch die Dampfturbine (D) angetrieben, der Biomassekessel (B) und das Solarfeld (S) sind parallel verschaltet, so dass auch ohne solare Einstrahlung gesicherte Leistung zur Verfügung gestellt werden kann. In der Grafik sind ebenfalls der Kondensator (K), ein Vorwärmer (V) sowie der Speisewasserbehälter (Sp) zu erkennen.

Solarthermische Kraftwerke können in sonnenreichen Ländern eine wichtige Rolle zum Ausbau der regenerativen Stromerzeugung spielen. Eine interessante Variante eines solarthermischen Kraftwerks ist die Kopplung eines solaren Dampferzeugers mit einem Biomassekessel.

Gemeinsam mit der E.ON Energie AG haben wir Jahresertragssimulationen für Kraftwerke mit 20 und 50 MW Leistung durchgeführt. Die Auslegung wurde so gewählt, dass der Biomassekessel je nach solarem Strahlungsangebot zwischen 50% und 100% des Dampfmassenstroms liefert. Als solarer »Kessel« wurde in den Simulationen ein direktverdampfender Fresnel-Kollektor – eine Variante der Parabolrinne – verwendet. Über Strahlverfolgungsberechnungen und Wärmeverlustmessungen an einem Testkollektor konnten wir den optischen und thermischen Wirkungsgrad des Fresnel-Kollektors bestimmen und optimieren. Unter den in Spanien gegebenen solaren sowie ökonomischen Randbedingungen wurde das Solarfeld nach wirtschaftlichen Kriterien optimal ausgelegt.

Als Ergebnis kann festgehalten werden, dass mit einem derartigen Konzept über das Jahr gerechnet ein Solaranteil von etwa 20% erreicht wird. Die erwarteten solaren Stromgestehungskosten (jährliche Kosten für das Solarfeld geteilt durch solare Stromerzeugung) liegen bei 0,13 €/kWh. Damit stellt dieses Konzept eine sehr wirtschaftliche Art der solaren Stromerzeugung dar. Durch den Hybridbetrieb mit einem Biomassekessel ist ein stabiler und berechenbarer Betrieb in einem zu 100% aus erneuerbaren Energien gespeisten Kraftwerk möglich.

Das Bundesumweltministerium unterstützte die Arbeiten im Rahmen des Zukunftsinvestitionsprogramms.

Photovoltaik-Monitoring macht Optimierungspotenziale deutlich

Für das Vorhaben »Kirchengemeinden für die Sonnenenergie« führt das Fraunhofer ISE seit Beginn des Jahres 1999 im Auftrag der Deutschen Bundesstiftung Umwelt DBU ein Monitoring durch. Von sämtlichen Photovoltaik-Anlagen werden die technischen Stammdaten und die monatlichen Erträge erfasst und ausgewertet.

Alfons Armbruster, Klaus Kiefer, Wolfgang Heydenreich, Carola Zerjeski, Stefan Haug



Abb. 1: Titelblatt »Jahresauswertung 2002 – Kirchengemeinden für die Sonnenenergie«.

Neben der Leistungs- und Ertragsüberprüfung ist auch die Ermittlung von Optimierungspotenzialen ein Ziel des Monitorings von Photovoltaik-Anlagen. Im Rahmen des Förderprogramms der Deutschen Bundesstiftung Umwelt »Kirchengemeinden für die Sonnenenergie« liegen uns für das Jahr 2002 von 220 Photovoltaik-Anlagen die kompletten Jahreswerte der Solarstromerzeugung vor. Der Mittelwert des Energieertrags für die insgesamt 107 Anlagen in Süddeutschland beträgt 840 kWh/kWp. In Norddeutschland erreichen die 113 betrachteten Anlagen im Mittel 730 kWh/kWp.

Für 200 Standorte wurde für das Jahr 2002 die Performance Ratio – eine neutrale Vergleichsmessgröße – ermittelt. Sie erlaubt eine vom Standort, von der Ausrichtung und dem Neigungswinkel des Solargenerators nahezu unabhängige Bewertung der Anlageneffizienz. Die große Anzahl der Anlagen im Jahr 2002 bietet eine ausreichende Statistik für die technische Bewertung der Solaranlagen. Die Tatsache, dass im Jahr 2002 etwa ein Drittel der untersuchten Anlagen deutliche Mindererträge bzw. eine zu geringe Performance Ratio aufweisen, macht das Optimierungspotenzial deutlich.

Anteil in Prozent

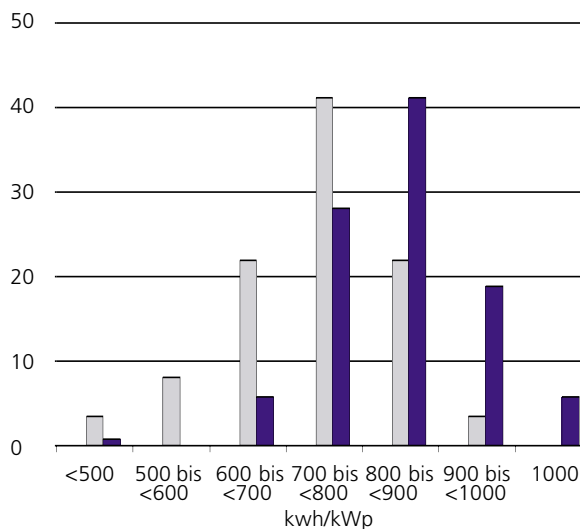


Abb. 2: Verteilung des spezifischen Jahresertrages 2002 in Nord- (grau) und Süddeutschland (blau). Anteil in Prozent bezieht sich auf die insgesamt betrachteten Anlagen. Die von der Photovoltaik-Anlage ins Netz eingespeisten Kilowattstunden (kWh) werden mit einem geeichten Zähler gemessen und mit dem Netzbetreiber abgerechnet. Teilt man die so ermittelte Jahreserzeugung durch die Nennleistung der Anlage (Spitzenleistung des Solargenerators in kWp), erhält man den Anlagenertrag in kWh pro kWp. Der Wert wird sehr stark davon beeinflusst, wie exakt die Hersteller die Leistung der Module (Spitzenleistung in kWp) klassifizieren.

Gleichzeitig fördern die vielen positiven Beispiele von Anlagen mit hohen Erträgen und Spitzenwerten bei der Anlageneffizienz (Performance Ratio) sowie mit architektonisch gelungener Integration von größeren Solarflächen auf oder in Dächer die Verbreitung der Solarenergie. Auf Basis dieser und anderer Monitoring-Kampagnen bietet das Fraunhofer ISE Beratung und Begleitung von PV-Programmen an. Weitere Informationen finden Sie auf den Websites: www.solar-monitoring.de

Anzahl Anlagen

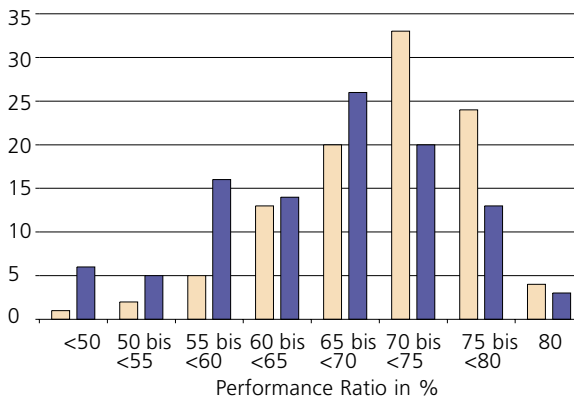
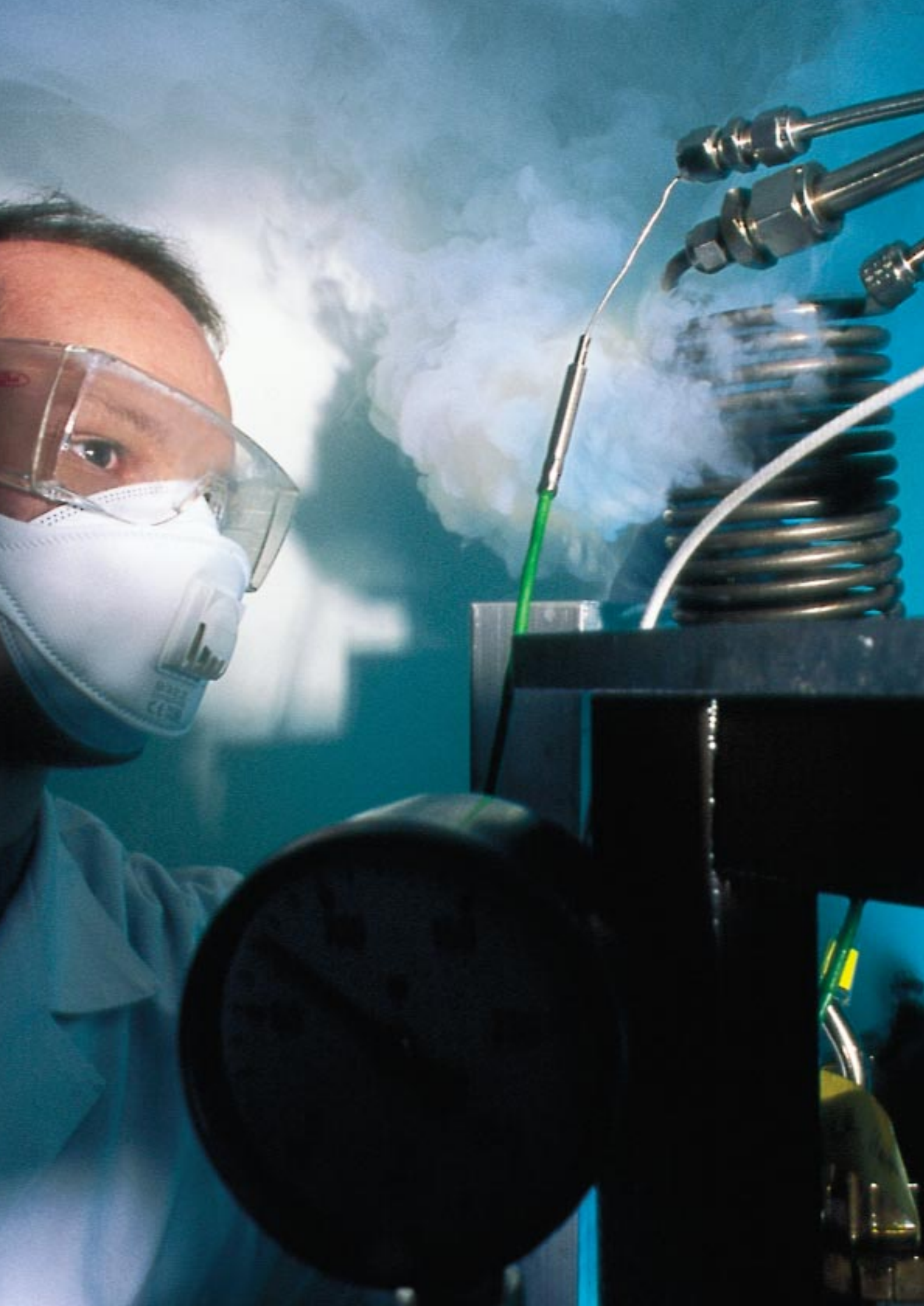


Abb. 3: Performance Ratio (siehe Text) von 205 Anlagen für das Jahr 2002 (Süd gelb; Nord blau).



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 biogenen und fossilen 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 dieser Vision.



Das Anwendungspotenzial von Wasserstoff ist gewaltig: In der Hausenergieversorgung können Brennstoffzellen Wärme und Strom aus Erdgas mit bis zu 80% Gesamtwirkungsgrad erzeugen. Im lokalen Verbund von Tausenden solcher Brennstoffzellen-Blockheizkraftwerke entstehen so »verteilte Kraftwerke«. 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 Wasserstoff oder Methanol hervorragend als Ergänzung oder Alternative zu Batterien und Akkus 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 oder gasförmiger Brennstoffe. Für die Wasserstoffgewinnung aus Wasser realisieren wir geregelte Elektrolyseure bis 2 kW Leistung. Außerdem forschen wir an der katalytischen Verbrennung von Gasen wie Wasserstoff, Propan und Synthesegas. Als effiziente, umweltfreundliche, geräusch- und wartungsarme Energiewandler im niedrigen Leistungsbereich setzen wir auf die Membranbrennstoffzelle. Schließlich entwickeln wir Mikrobrennstoffzellen für die Stromversorgung portabler Elektrogeräte. Sie ergänzen unsere Aktivitäten zu geräteintegrierten Solarmodulen und thermophotovoltaischen Systemen im Marktbereich Mikroenergietechnik.

Neben der Komponenten- und Anlagenentwicklung arbeiten wir an der Integration von Wasserstoffanlagen in übergeordnete Systeme. Wir konzipieren und realisieren die elektrische Auslegung inklusive Spannungsaufbereitung und Sicherheitstechnik. Damit schaffen wir die Grundlagen für eine marktfähige Wasserstoffwirtschaft. Sie umfasst Wasserstoff-Tankstellen ebenso wie Brennstoffzellen-Blockheizkraftwerke zur kombinierten Strom- und Wärmeerzeugung, autonome Stromversorgungen für netzferne Anwendungen und Kleinsysteme zur portablen Energieversorgung.



Neuartiges Verfahren zur rückstandsfreien Verdampfung flüssiger Kohlenwasserstoffe: Mit Hilfe eines Katalysators und geringer Luftzufuhr wird Diesel ohne Bildung von Rückständen in die Gasphase überführt. Das dabei entstehende Produktgas wird anschließend in einem Reformierreaktor in Synthesegas für Brennstoffzellen-Anwendungen umgewandelt.

Ansprechpartner

Brennstoffzellen-Anlagen und Wasserstofferzeugung	Dr. Thomas Aicher	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-51 94 E-Mail: Thomas.Aicher@ise.fraunhofer.de
	Dipl.-Ing Ursula Wittstadt	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-52 04 E-Mail: Ursula.Wittstadt@ise.fraunhofer.de
Elektrolyse	Dipl.-Ing. Ursula Wittstadt	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-52 04 E-Mail: Ursula.Wittstadt@ise.fraunhofer.de
Mikroenergietechnik: Brennstoffzellen, geräteintegrierte Solarzellen Thermophotovoltaik	Dr. Christopher Hebling	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-51 95 E-Mail: Christopher.Hebling@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 Regelungselektronik für Brennstoffzellen	Dr. Bruno Burger	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-52 37 E-Mail: Bruno.Burger@ise.fraunhofer.de
Regelungsstrategien von Brennstoffzellen-Blockheizkraftwerken in Gebäuden	Dr. Christof Wittwer	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-51 15 E-Mail: Christof.Wittwer@ise.fraunhofer.de
Marketing	Dipl.-Ing. Ulf Groos	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-52 02 E-Mail: Ulf.Groos@ise.fraunhofer.de

Übergreifende Koordination

Wasserstofftechnologie	Dr. Christopher Hebling	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-51 95 E-Mail: Christopher.Hebling@ise.fraunhofer.de
Netzunabhängige Stromversorgungen 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

Produktentwicklung einer portablen PEM-Brennstoffzelle

Portable Brennstoffzellen dienen als autarke Stromversorger für elektronische Geräte. Wir entwickeln neben Prototypen serientaugliche Komplettsysteme. Unsere Arbeitsgebiete umfassen die Bereiche Brennstoffzellen-Stacks, Wasser- und Wärmemanagement, Peripherie, Packaging, Hardware-Regelungen und Brennstoffzellen-Charakterisierung.

Jochen Benz, Bruno Burger, Jan Hesselmann, David Pocza, Marco Zobel



Abb. 1: Brennstoffzellenversorgung für portable elektronische Geräte. Im Vordergrund des Behälters (rechts im Bild) der Metallhydridspeicher mit 250 NI Wasserstoff, dahinter der Brennstoffzellen-Stack mit über 100 W Spitzenleistung.

Die Betriebszeit von netzunabhängigen elektronischen Geräten ist oft durch eine unzureichende Kapazität oder eine fehlende Lademöglichkeit der Batterien eingeschränkt. Portable Brennstoffzellen unterliegen diesem Nachteil nicht. Gerade bei hohen Kapazitäten weisen Brennstoffzellensysteme deutlich höhere äquivalente Energiedichten als herkömmliche Akkumulatoren auf. Entsprechend der erforderlichen Nutzungsdauer ist die Bevorratung des Energieträgers Wasserstoff in Speichern mit unterschiedlichen Volumina möglich. Die elektrische Leistung ist hauptsächlich durch die Größe der Brennstoffzelle definiert.

Für die kundenspezifische Anwendung konstruieren und entwickeln wir die erforderliche Brennstoffzelle. Neben der Funktionalität liegt dabei ein weiterer Schwerpunkt in der industriellen Serienfertigung. Die hierfür notwendigen Grundlagen wie Materialauswahl, Herstellungsverfahren und Prozessschritte finden bereits in der Konzeptionsphase Berücksichtigung.

In intensiver Zusammenarbeit mit dem Markt-bereich Leistungselektronik und Regelungstechnik entwickeln wir hocheffiziente DC/DC-Wandler sowie Hardware-Regelungskonzepte, die den zuverlässigen Dauerbetrieb unserer Brennstoffzellensysteme gewährleisten. Die

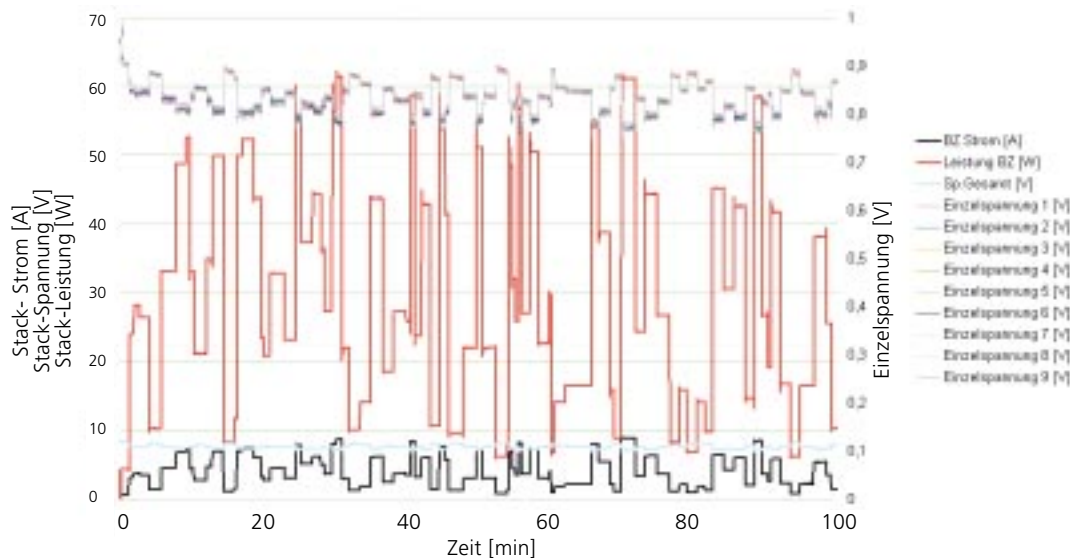


Abb. 2: $I(t)$, $U(t)$, $P(t)$ - Kurve des neunzelligen Stacks der »Mobilen Power Box« bei dynamischer Belastung. Der fast synchrone Verlauf aller neun Einzelspannungen bei Lastsprüngen resultiert in einem stabilen Betriebsverhalten des Stacks.

speziell entwickelten Reglerstrukturen werden auf Mikrocontrollern implementiert. Mit diesen schnellen leistungsfähigen Regelungseinheiten ist ein stabiles Betriebsverhalten bei dynamischen Lastsprüngen im Millisekundenbereich garantiert. Weitere Kompetenzen im Bereich Feuchte- und Wärmemanagement ermöglichen uns die Anpassung von portablen Brennstoffzellen an unterschiedlichste Betriebsbedingungen.

In speziellen Testständen, die die Gewinnung der erforderlichen Kenngrößen ermöglichen, können alle klimatischen Verhältnisse nachgebildet werden. Hier erfolgt die Charakterisierung der Brennstoffzellensysteme und die Spezifizierung ihrer Regelung. Dabei gewährleistet uns die Regelungssoftware kurze Anpassungszyklen und Entwicklungszeiten. Die Kernkompetenz unserer Aktivitäten liegt in der Entwicklung von Teilkomponenten sowie von kompletten Brennstoffzellensystemen, die sowohl durch eine einfache Bedienung als auch durch hohe Zuverlässigkeit gekennzeichnet sind. Bei speziellen Anwendungen kann es erforderlich sein, Komponenten zu modifizieren bzw. neu zu entwickeln. Hier haben wir die Möglichkeit in der hausinternen feinmechanischen Werkstatt unsere konstruktiven Ideen umzusetzen. Die Implementierung der Einzelkomponenten in ein Gehäuse wird mit Hilfe von 3D-Software optimiert. Somit können im Bereich des Packaging kundenspezifische Wünsche bezüglich der Systemgeometrie, also des Formfaktors umgesetzt werden. Als Ergebnis präsentieren wir kompakte Systeme mit hohen Leistungsdichten.

Gemeinsam mit der Firma Masterflex AG in Gelsenkirchen entwickelt das Fraunhofer ISE ein portables Brennstoffzellensystem mit einer Dauerleistung von 50 W. Der Stack ist aus neun Einzelzellen aufgebaut, eine Pumpe versorgt die Brennstoffzelle mit Luftsauerstoff. Die »Mobile Power Box« bietet eine unabhängige Energieversorgung für elektronische Geräte. Ein auf 300 Wh ausgelegter Metallhydridspeicher versorgt beispielsweise einen Laptop mindestens zehn Stunden mit Energie.

Das Konzept sieht die Möglichkeit der Ankopplung unterschiedlicher Speichergrößen für die Wasserstoffversorgung vor. So wird eine hohe Flexibilität in der Anwendung erreicht. DC/DC-Wandler erlauben zudem die Einstellung definierter Spannungsniveaus am Ausgang.

Der Nachweis eines stabilen Dauerbetriebs erfolgte während der achtstündigen Besucherzeiten auf der Hannover Messe 2003. Entscheidende Fortschritte haben wir durch eine spezielle Wasserstoffzuführung erreicht. Gekoppelt mit einer neuentwickelten Regelung ist ein stabiles Betriebsverhalten und eine benutzerfreundliche Handhabung garantiert. Somit steht der Markteinführung 2004 nichts mehr im Wege.

Ein weiteres Brennstoffzellensystem haben wir mit dem Industriepartner Ambient Recording GmbH entwickelt. Das kompakte 40 W System versorgt eine Profi-Kamera einen Drehtag (8 h) lang mit Energie. Häufiges Akkuwechseln unterbricht bislang die Arbeit des Kameramanns. Mit dem genau auf die Anwendung zugeschnittenen Brennstoffzellensystem ist dieses Problem gelöst. In der Handhabung ergeben sich keinerlei Komplikationen, da das System an die Kamera angekoppelt ist. Das System ist aus vier Stacks mit je 19 Einzelzellen aufgebaut, Lüfter versorgen die kathodenseitig offenen Brennstoffzellen mit Luftsauerstoff.

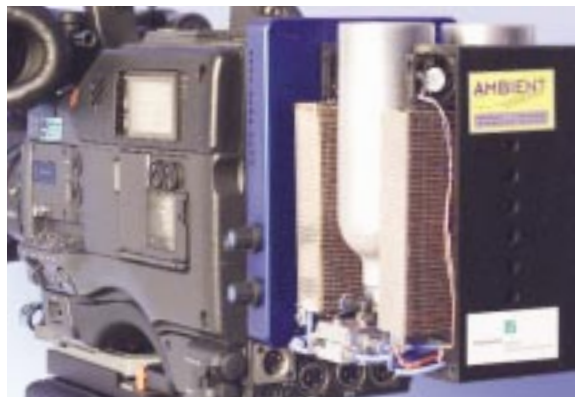


Abb. 3: Professionelle TV-Kamera mit Brennstoffzellensystem inklusive zweier Metallhydridspeicher mit je 100 NI Wasserstoff (Abdeckung entfernt).

Charakterisierung liefert Optimierungskriterien für Brennstoffzellen

Wir analysieren PEM-Brennstoffzellen mit Hilfe numerischer Modelle. Berechnet werden dabei die Temperaturverteilung, der Wassergehalt der protonenleitenden Membran, die Feuchte der Gase und die Gaskonzentrationen in der Zelle. Durch die modellbasierte Analyse von Impedanzspektren können wir charakteristische Parameter aus Messdaten extrahieren. Wir wenden Mehrkanal-Impedanzspektroskopie an, um orts aufgelöste Informationen des Betriebszustands segmentierter Testzellen zu ermitteln.

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

* Institut für Angewandte Mathematik, Freiburg

Für die Optimierung von Brennstoffzellen ist das Verständnis der Verlustmechanismen bei der elektrochemischen Energiewandlung unabdingbar. Zu diesem Zweck analysieren wir die verschiedenen Betriebszustände von PEM-Brennstoffzellen für den Einsatz in portablen elektronischen Geräten. Ein Beispiel für unsere aktuellen Untersuchungen ist ein mathematisches Modell für selbstatmende PEM-Brennstoffzellen in planarer Bauweise. Unser Modell berücksichtigt alle wesentlichen Transportvorgänge, d.h. Stoff-, Wärme- und Ladungstransport – darüber hinaus werden die elektrochemischen Reaktionen in den Elektroden berücksichtigt (Abb. 1).

Zu unseren Dienstleistungen zählt die Analyse des miteinander gekoppelten Wasser- und Wärmehaushalts von PEM-Brennstoffzellen. Wir haben ein dynamisches Brennstoffzellenmodell entwickelt, das den Transport von flüssigem und gasförmigem Wasser in den porösen Gasdiffusionsschichten in zwei Dimensionen berechnet. Damit können wir die Flutung der Gasdiffusionsschicht und Austrocknung der Membran zeitabhängig simulieren.

Mit unserem Messplatz für Mehrkanal-Impedanzspektroskopie messen wir Impedanzspektren orts aufgelöst an segmentierten Testzellen. Zur Analyse von Impedanzspektren verwenden wir eindimensionale Modelle, in denen die Gasanreicherung in der Diffusionsschicht und Elektrode berücksichtigt wird. Durch Anpassen berechneter Impedanzspektren an Messungen können wir eine Parameteridentifikation der Gasdiffusionsschicht und der Elektrode auf der Kathodenseite vornehmen.

Anode: Molenbruch Wasser (Isolinien), Membran: Wasserfluss
Kathode: Molenbruch Sauerstoff (Farbkodierung)

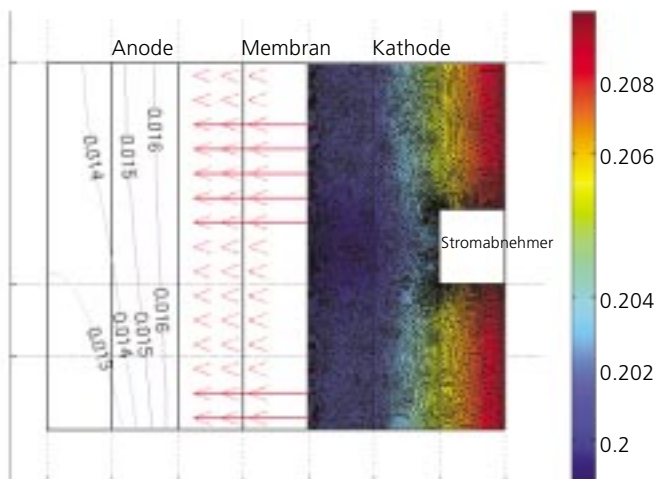
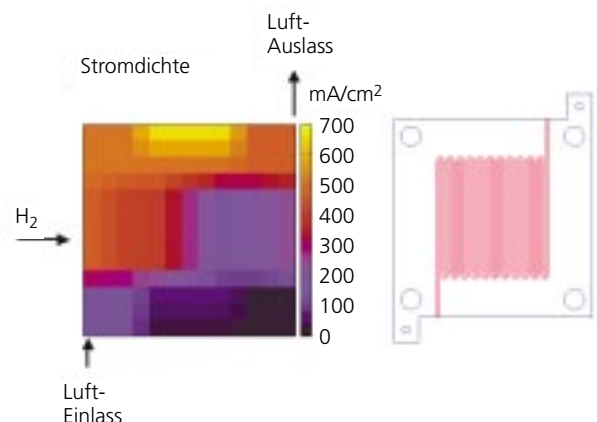


Abb. 1: Die Graphik zeigt ein Simulationsergebnis, das mit unserem Modell für selbstatmende planare Brennstoffzellen berechnet wurde. Die Sammlung von Elektronen an der Kathode der Brennstoffzelle erfolgt durch den rechteckigen metallischen Steg. Die Luft diffundiert durch den nicht vom Steg bedeckten Bereich in die Zelle. Die Pfeile zeigen die Richtung des elektroosmotischen Transports von Wasser von der Kathode zur Anode. Die Isolinien auf der linken Seite zeigen die Verteilung der Molenfraktion von Wasserdampf im Gaskanal und in der Gasdiffusionsschicht der Anode. Auf der Kathodenseite (rechts) ist ein Teil des Diskretisierungsgitters dargestellt.

Abb. 2: Wir charakterisieren PEM-Brennstoffzellen durch orts aufgelöste Messungen. Im Bild ist die ortsabhängige Verteilung der elektrischen Stromdichte einer segmentierten Testzelle mit mäanderförmiger Gasverteilerstruktur gezeigt. Man erkennt eine inhomogene Verteilung der Stromdichte, d.h. die Zelle wird nicht optimal betrieben. Die Analyse des Betriebsverhaltens führt zu einem verbesserten Design der Brennstoffzellen.



Miniaturisiertes Elektrolyse-System auf dem Weg zur Serienreife

Nach kundenspezifischen Anforderungen entwickeln wir Elektrolyseeinheiten im Kleinleistungsbereich, zur Erzeugung von reinem Wasserstoff und Sauerstoff. Jüngstes Beispiel ist ein wartungsfreies System mit serientauglichem Design, das als Basis für die Schaltung von gaschromen Fenstern dient.

Thomas Jungmann, Ursula Wittstadt,
Beatrice Hacker, Josef Steinhart,
Wolfgang Graf, Andreas Georg

Gaschrome Scheiben, wie sie im Marktbereich Fenster und Fassaden entwickelt werden, erlauben als Sonnenschutz- und Gestaltungselement moderner Architektur ein nutzergesteuertes Schalten der Licht- und Wärmetransmission von Fenstern. Für den Schaltvorgang benötigen sie Wasserstoff beziehungsweise Sauerstoff mit einer hohen Reinheit. Im Geschäftsfeld Wasserstofftechnologie haben wir für diese Anwendung eine miniaturisierte Elektrolyse-Einheit entwickelt, die eine Integration in die Fassade ermöglicht.

Die für die Elektrolyse-Einheiten verwendeten strukturierten Kunststoff-Platten bieten den Vorteil einer preiswerten Serienfertigung durch Spritzgießen. Die nötige Leitfähigkeit für den Elektrolysebetrieb erhält die Zelle durch eine metallische Beschichtung der Oberfläche. Um die Montage zu vereinfachen, haben wir die Geometrie so gewählt, dass die Einzelteile durch Snap-In-Montage miteinander verbunden werden und gleichzeitig eine Fixierung der Membran-Elektroden-Anordnung (MEA) ermöglicht wird.

Da die Gasversorgungsgeräte direkt an die gaschrome Scheibe angeschlossen sind, wird das entstehende Gas innerhalb der Elektrolysezelle getrocknet. So realisieren wir ein geschlossenes Gesamtsystem. Die nach Ende eines Schaltvorganges nicht mehr benötigten Gase werden recycelt und bleiben so dem System erhalten. Dank dieser gezielten Wasserrückgewinnung kann das System wartungsfrei betrieben werden.

Die Arbeiten werden in enger Zusammenarbeit mit unseren Partnern Interpane Entwicklungs- und Beratungsgesellschaft mbH & Co, Werner Herr GmbH sowie FuMA-Tech GmbH durchgeführt und vom Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit (BMWA) unterstützt.

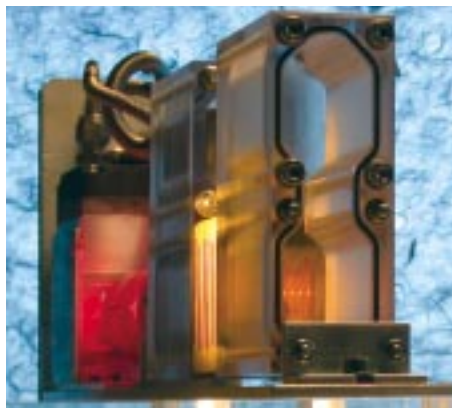


Abb. 1: Gesamtsystem einer Elektrolyseeinheit zur Gasversorgung von gaschromen Scheiben. Im Vordergrund sind die Elektrolyse-Einheit (gelb) und das durchsichtige Tankgehäuse (70 mm x 120 mm x 40 mm) zu sehen. Dahinter befindet sich die Pumpe (rot/silber).

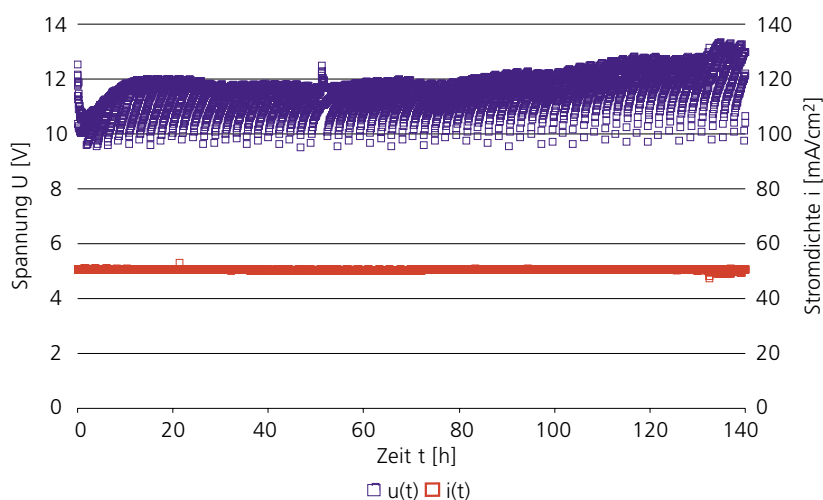


Abb. 2: Langzeittest eines Elektrolysesystems. Beschleunigte Alterung wird durch im Vergleich zum realen Betrieb kurze, häufige Schaltzyklen realisiert. Die Bestimmung von Strom (i) und Spannung (U) in einem Zeitraum von 100 Stunden (t) mit einem Schaltzyklus von drei Minuten im Labor entspricht einer realen Betriebsdauer von mehr als zwei Jahren. Mit diesen Untersuchungen können wir Rückschlüsse auf das Alterungsverhalten von im Feld eingebauten Geräten ziehen.

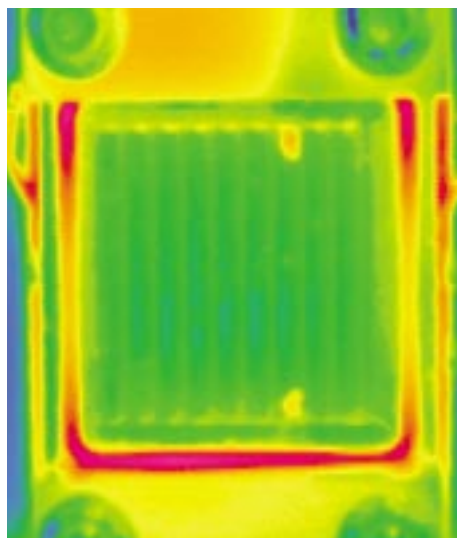


Abb. 3: Thermographie-Aufnahme einer Elektrolyse-Einheit im Betrieb (ca. 40 mm x 60 mm). Die einheitliche Grünfärbung im Reaktionsbereich (Mitte) zeigt eine homogene und verlustfreie Gasproduktion in der Verteilerstruktur. Mit dieser Methode werden Zonen mit geringer Reaktivität – und damit geringer Wärmeentwicklung – identifiziert. Dies dient uns als Basis für die Optimierung von Verteilerstruktur und Membran-Elektroden-Anordnung.

Zuverlässige Wasserstoffproduktion für die Hausenergie-Zentrale der Zukunft

Durch Reformierung gewonnenes Produktgas muss beim Einsatz in PEM-Brennstoffzellen eine möglichst geringe CO-Konzentration aufweisen. Auf der Basis eines neuen Methanisierungsreaktors haben wir eine vollautomatische Reformieranlage entwickelt, die Erdgas in PEM-Brennstoffzellen-tauglichen Wasserstoff mit einem CO-Gehalt < 20 ppm in allen Betriebszuständen umwandelt. Der Reformer wird im Laufe des nächsten Jahres in ein Brennstoffzellen-Blockheizkraftwerk integriert.

Thomas Aicher, Robert Szolak



Abb. 1: Teilansicht des neu entwickelten Erdgasreformers. Zu sehen ist die Dosierung der Edukte sowie die Brennergasversorgung. Oben rechts: Feuerungsautomat, Mitte: Regelung der Eduktströme, unten: Zufuhr der Edukte.



Abb. 2: Gesamtansicht des Erdgasreformers mit angebrachter thermischer Isolation. Der Reformier-Reaktor selbst befindet sich im unteren Teil der Anlage, CO-Shift und Methanisierungsreaktor befinden sich darüber.

Brennstoffzellen-BHKWs sind Hausenergie-Zentralen der Zukunft. Für ein Demonstrationsystem entwickelten wir einen neuen Erdgasreformer, der Wasserstoff für Brennstoffzellen produziert. Das Brennstoffzellen BHKW wird bei Vollast 2 kW elektrischen Strom und 5 kW thermische Energie bei ca. 60 – 80 °C liefern.

Mit dem Erdgasreformer gelang es uns, eine vollautomatische Anlage zu entwickeln, die sicher und zuverlässig über Leistungsbereiche von 50 bis 100% Last Wasserstoff mit weniger als 20 ppm CO produziert. Damit ist das Produktgas des Reformers für die PEM-Brennstoffzelle des Gesamtsystems geeignet.

Um sicher auf CO-Konzentrationen unter 20 ppm zu kommen, entwickelten wir einen neuen Methanisierungsreaktor (selektive Methanisierung von CO), der die Temperaturen im Reaktor in einem engen Bereich halten kann. Damit ist gewährleistet, dass die Methanisierungsreaktion bei optimalen Bedingungen abläuft und die CO-Konzentration deutlich unter 20 ppm bleibt. Möglich wurde dies durch eine neuartige Luftkühlung, mit der sich die Temperatur im Reaktor genau kontrollieren lässt. Beim Methanisierungs-Katalysator handelt es sich um einen keramischen Wabenkörper, der mit einer Edelmetallmischung beschichtet ist. Er stammt von einem unserer Industriepartner.

Die PEM-Brennstoffzelle des Systems wird Anfang 2004 vom Projektpartner Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoffforschung (ZSW) geliefert. Im Herbst 2004 erfolgt am Weiterbildungszentrum Brennstoffzelle in Ulm (WBZU e.V.) die Integration zu einem Brennstoffzellen-BHKW.

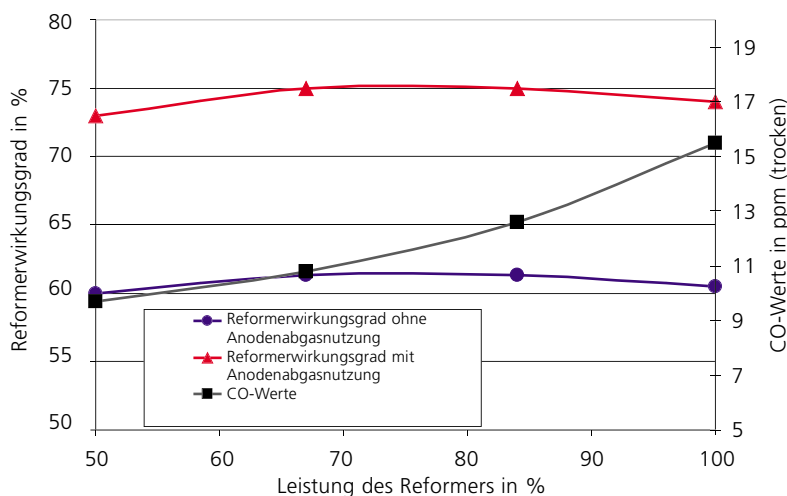


Abb. 3: Gemessene Wirkungsgrade der Anlage – ohne Anodenrestgas-Rückführung von der Brennstoffzelle (blaue Kurve). Nach Integration der Reformer-Anlage in das BZ-BHKW wird das Anodenabgas der Brennstoffzelle, das nicht umgesetzten Wasserstoff enthält, im Brenner der Reformer-Anlage verbrannt. Dadurch steigt der Wirkungsgrad weiter an (siehe rote Kurve). Zusätzlich sind die gemessenen CO-Konzentrationen im Produktgas des Reformers gezeigt (schwarze Kurve).

Diesel zu Synthesegas – die Bordstromversorgung auf Schiffen

Als wesentlichen Beitrag zur Bordstromversorgung mit Brennstoffzellen auf Schiffen entwickelten wir einen autothermen Dieselreformer. Diese Anlage wandelt Diesel mit Luft und Wasserdampf in Synthesegas um. Im Mittelpunkt der Entwicklung stand ein Reaktor, der eine optimale Durchmischung der Reaktionsedukte gewährleistet, um so die Rußbildung, die bei der Reformierung von Diesel sehr häufig ein Problem darstellt, zu verhindern.

Thomas Aicher, Christian Siegel

Die Umsetzung flüssiger Kohlenwasserstoffe zu Wasserstoff ist ein zentraler Baustein auf dem Weg zur Brennstoffzellen betriebenen Bordstromversorgung großer Fahrzeuge. Für die Bordstromversorgung (APU, auxiliary power unit) eines Schiffes (500 kW_{el}) planten und bauten wir eine Reformieranlage, die Diesel in Synthesegas umwandelt. Das Synthesegas, ein Gemisch aus Wasserstoff und Kohlenmonoxid, dient als Brennstoff für eine Karbonatschmelz-Brennstoffzelle (MCFC, molten carbonate fuel cell).

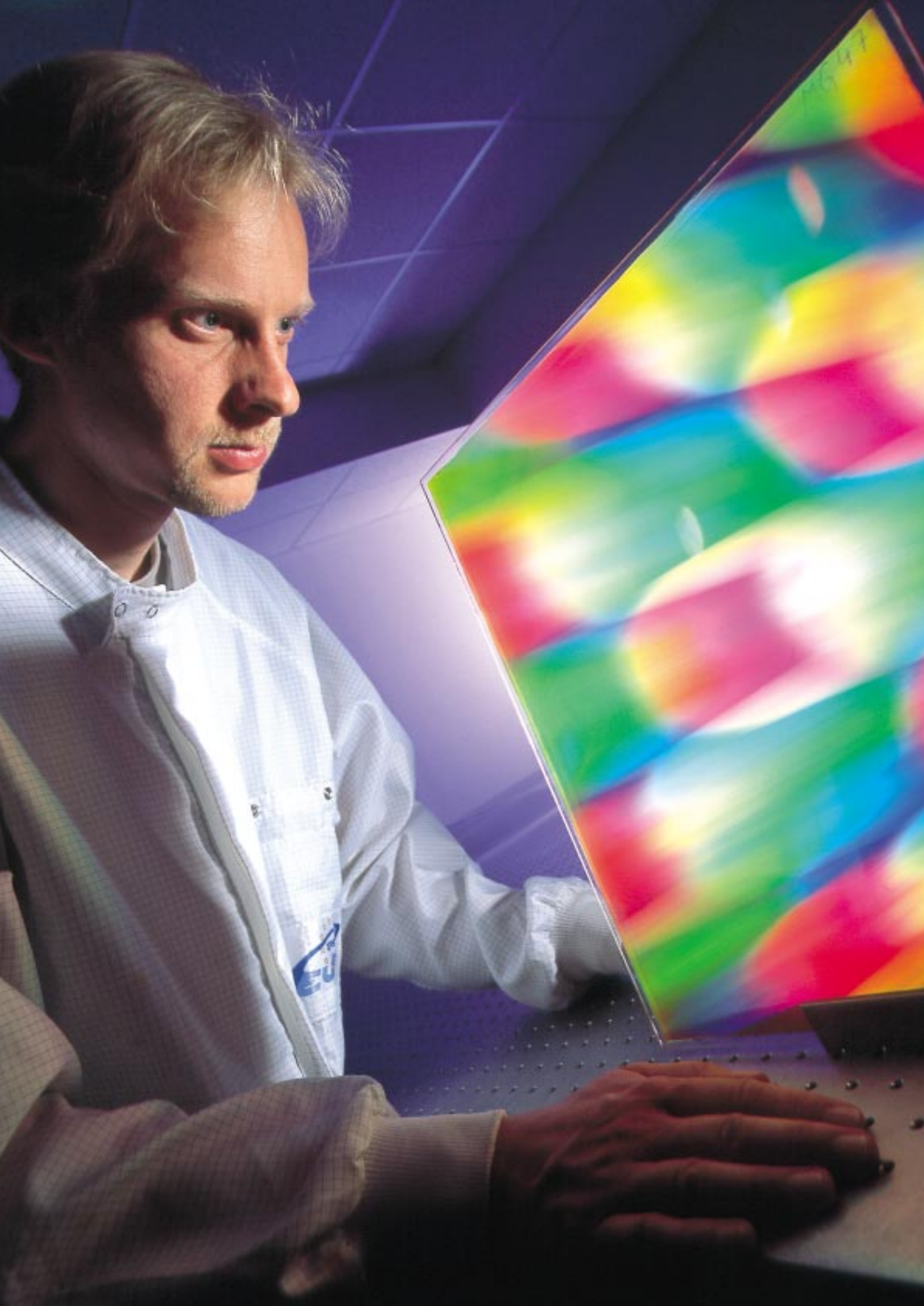
Die Anlage beruht auf dem Verfahren der autothermen Reformierung, bei dem der Diesel mit Wasserdampf und Luft an einer Katalysatoroberfläche bei 750 bis 850 °C umgesetzt wird. Großes Augenmerk legten wir dabei auf die Strömungsverteilung im Reaktor, damit die Reaktionsedukte optimal vermischt werden, um Rußbildung zu vermeiden.

Der neu entwickelte Reaktor ist auch für die autotherme Reformierung anderer flüssiger Kohlenwasserstoffe, wie Benzin und Kerosin, einsetzbar.

Die Diesel-Reformieranlage wurde im Rahmen eines Projekts mit dem Industriepartner Ansaldo Fuel Cells S.p.A. aus Italien entwickelt und produziert ausreichend Synthesegas für eine 20 kW_{el} MCFC. Aufbauend auf den Entwicklungsarbeiten am Fraunhofer ISE wird diese Anlage im Laufe des Jahres 2004 um den Faktor 15 größer gebaut und mit einer 350 kW_{el} MCFC zu einem »Technologiedemonstrator« kombiniert werden. Dieser soll zwar noch nicht die Meere dieser Welt bereisen, doch zumindest auf einem Schiff getestet werden.



Abb. 1: Explosionszeichnung des Reaktors. Einlass oben, Auslass unten. Die Reaktorwabe ist nicht gezeigt. Der Durchmesser des Reaktorrohrs beträgt 124 mm und die Länge 400 mm.



Dekorative Aspekte spektraler Farbzerlegung: Mit Hilfe der Interferenzlithographie kann eine Oberfläche in wenigen Minuten mit Billionen von mikro- bis nanometerkleinen Strukturen versehen werden. Als Ergebnis erzielt man funktionale, z. B. antireflektierende Oberflächen, kontrastreichere Displays oder Sonnenschutz für Fenster und Fassaden.

Arbeiten in besonderen Kompetenzbereichen

Neben den unter den Geschäftsfeldern beschriebenen Arbeiten betreibt das Fraunhofer ISE aufgrund seiner besonderen Kompetenzen 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. Im folgenden sind die Meerwasserentsalzung und Trinkwasseraufbereitung aufgezeigt. Ebenso wird spezielles Wissen, wie im Bereich der mikrostrukturierten funktionalen Oberflächen, auch anderen Technologiebereichen zur Verfügung gestellt. Ein Beispiel aus der Lasertechnologie ist hier dargestellt.

Organische Laser auf der Basis mikrostrukturierter Oberflächen

Im Rahmen des vom Bundesforschungsministerium geförderten Projekts »Durchstimmbare Photonische Kristall-Laser auf Kunststoffbasis« werden in Zusammenarbeit mit Arbeitsgruppen an den Universitäten Karlsruhe und Kassel neuartige durchstimbare organische Laser hergestellt. Am Fraunhofer ISE erzeugen wir hierfür interferenzlithographisch mikrostrukturierte Kunststoffsubstrate, die als Grundlage für die organischen Laser dienen.

Andreas Gombert, Karen Forberich

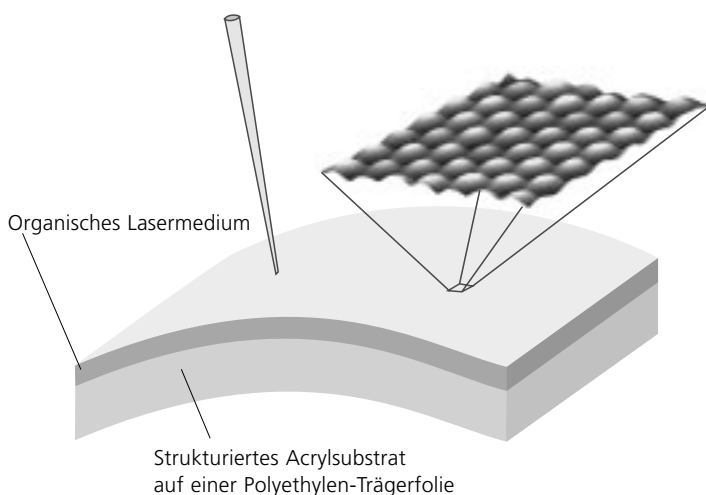


Abb. 1: Organischer Laser basierend auf einem flexiblen mikrostrukturierten Kunststoffsubstrat. Das Substrat ist in einer Rasterkraftmikroskop-Aufnahme gezeigt. Das aktive Lasermaterial wird durch einen weiteren Laser, der auf die Probe fokussiert wird, optisch gepumpt. Die Funktionsweise eines solchen Lasers ist im Beitrag beschrieben.

Organische Laser sind neuartige Laser, die aufgrund der verwendeten Materialien einen kostengünstigen Herstellungsprozess versprechen. Die Herstellung erfolgt durch Aufbringen eines organischen Halbleiters auf ein mikrostrukturiertes Kunststoffsubstrat (Abb. 1). Das Substrat kann dabei großflächig und flexibel sein.

Wird nun der Halbleiter optisch gepumpt, streuen die Mikrostrukturen einen Teil des vom Halbleiter emittierten Lichts so zurück, dass sich die rückgestreuten Teilwellen konstruktiv überlagern. Es kommt zu der für die Lasertätigkeit notwendigen Rückkopplung und Verstärkung (Abb. 2).

Die Laserwellenlänge wird durch die Periode der Mikrostruktur, den Brechungsindex des Halbleiters und die Schichtdicke der aufgetragenen Halbleiterschicht bestimmt. Durch eine lokale Variation der Periode können daher auf einem mikrostrukturierten Substrat verschiedene Laserwellenlängen erzeugt werden.

Die optische Charakterisierung bzw. die Synthesisierung geeigneter Halbleiter werden von den Projektpartnern an den Universitäten Karlsruhe und Kassel erforscht. Am Fraunhofer ISE stellen wir die benötigten mikrostrukturierten Substrate her, Grundlage dafür ist unsere langjährige Erfahrung mit der Erzeugung mikrostrukturierter Oberflächen durch Interferenzlithographie, insbesondere auf großen Flächen von bis zu 0,5 m². Solche Oberflächen werden für viele optische Anwendungen eingesetzt, beispielsweise zur Entspiegelung oder zur Lichtlenkung.

Interferenzlithographie bedeutet, dass ein Laserstrahl zunächst in zwei oder mehrere Teilstrahlen aufgeteilt wird, die am Ort einer mit einem lichtempfindlichen Lack (Photoresist) beschichteten Glasplatte wieder überlagert werden. Das Interferenzmuster der Laserstrahlen wird durch eine Belichtung und nachfolgende Entwicklung in ein Oberflächenprofil im Photoresist übertragen. Von diesem Profil kann galvanisch eine Nickelpolie hergestellt werden, mit der sich dann wiederum größere Mengen von Kunststoffen prägen lassen.

Im Gegensatz zu unseren bisherigen Arbeiten ist die Aufgabenstellung in diesem Projekt nicht die homogene Strukturierung der gesamten Photoresist-Platte, sondern die Variation der Mikrostruktur auf einem Substrat. Hierfür entwickeln und testen wir Konzepte, mit denen sich Proben mit unterschiedlichen Gitterperioden herstellen lassen. Dabei handelt es sich sowohl um Proben mit schrittweise als auch mit kontinuierlich variierender Gitterperiode.

Die Gitterperiode wird bei einem interferenzlithographischen Aufbau durch die Einfallswinkel der beiden interferierenden Strahlen auf die Photoresist-Platte bestimmt. Es wurde nach Möglichkeiten gesucht, diese Winkel auf einem Substrat lokal zu verändern.

Durch Belichten mit einer ebenen und einer stark divergenten Welle konnten wir eine kontinuierliche Periodenvariation von 70 nm auf einer Strecke von 75 mm erzielen.

Für die schrittweise Variation der Gitterperiode haben wir einen automatisierten drehbaren Probenhalter konstruiert und gebaut. Bei diesem fällt ein Strahl direkt, der andere über einen im rechten Winkel angebrachten Spiegel auf die Probe.

Auf diese Weise wird ein symmetrisches Interferenzmuster erzeugt, dessen Periode nur vom Drehwinkel des Probenhalters abhängt. Die Photoplatte kann hinter einer spaltförmigen Maske verfahren werden, so dass bei jeder Periode ein separates Feld belichtet wird. In Abb. 3 ist eine mit diesem Verfahren hergestellte Probe zu sehen.

Mit dem automatisierten Belichtungs Aufbau können jetzt auch Strukturentwicklungen für andere Anwendungen durch die Nutzung kombinatorischer Methoden sehr effizient durchgeführt werden.

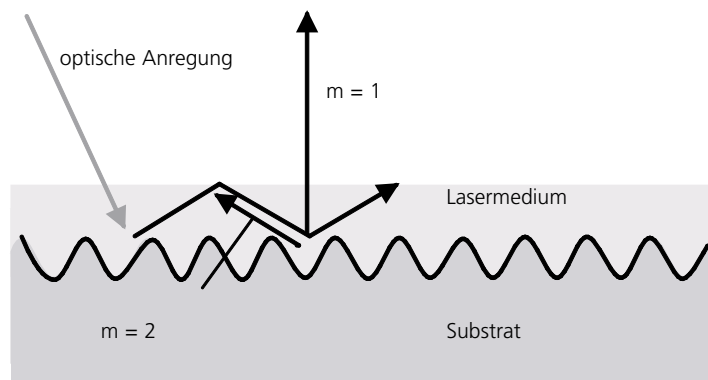


Abb. 2: Funktionsprinzip eines organischen Lasers auf der Basis eines mikrostrukturierten Substrats. Die Mikrostruktur wird in zweiter Beugungsordnung ($m=2$) zur Rückkopplung und in erster ($m=1$) zur Auskopplung des Laserlichts senkrecht zur Oberfläche genutzt.

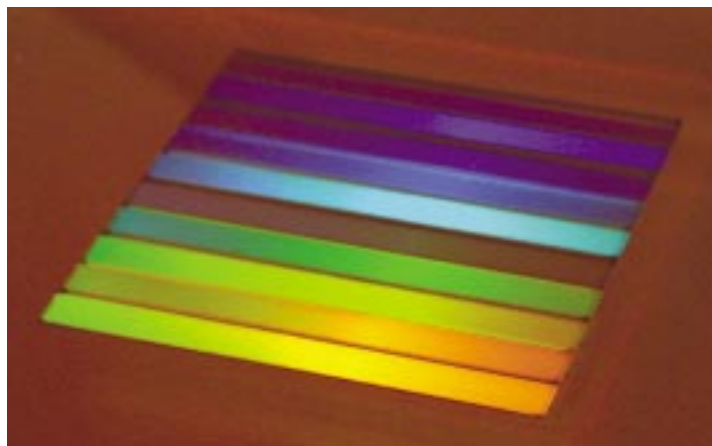


Abb. 3: Mit dem im Rahmen des Projekts neu konstruierten Aufbau hergestellte mikrostrukturierte Probe. Es wurden nacheinander einzelne Felder mit unterschiedlichen Gitterperioden belichtet, indem der Winkel der Probe zum einfallenden Licht verändert und die Probe hinter einer Maske verschoben wurde. Gezeigt sind zehn Felder der Größe $5 \times 50 \text{ mm}^2$, die Gitterperioden von 250 nm bis 385 nm aufweisen.

Meerwasserentsalzung mit Sonnenenergie

In ariden und semi-ariden Gebieten herrscht oft Mangel an Trinkwasser. Gleichzeitig ist in diesen Gebieten häufig eine sehr hohe Solar-einstrahlung anzutreffen. Diese Bedingungen sind hervorragend geeignet für die Nutzung der Solarenergie zur Entsalzung, Aufbereitung, und Verteilung von Wasser. Damit kann ein kleiner Beitrag dazu geleistet werden, in den genannten Gebieten die Trinkwasserversorgung zu verbessern. Jedes Jahr sterben ca. fünf Millionen Menschen an Krankheiten, deren Ursache in schlechter Trinkwasserversorgung liegt.

Matthias Rommel, Joachim Koschikowski*, Marcel Wieghaus

* PSE Projektgesellschaft Solare Energiesysteme mbH, Freiburg



Abb. 1: Ansicht der Wickelmaschine zur Herstellung von Membrandestillationsmodulen. Die Maschine verfügt über acht Wellen zur Aufnahme von Materialrollen und zehn Leitwalzen, die das Material zu einem Verbund zusammenführen. Mit der Maschine können Prototypen und Kleinserien gefertigt werden.

Für die Meerwasserentsalzung sind zahlreiche Verfahren bekannt, weltweit werden großtechnische Anlagen eingesetzt. Jedoch in entlegenen Gebieten mit nur schwach ausgebildeter Infrastruktur und ohne Verbindungen zu zentralen Versorgungsstrukturen oder Elektrizitätsnetzen sind kleine, dezentrale, autark mit Solarenergie betriebene Anlagen zur Entsalzung von Meer- oder Brackwasser sowie zur Aufbereitung von Trinkwasser von allergrößtem Interesse. Damit könnten kleinere Siedlungen und vereinzelt stehende Höfe oder Häuser mit sauberem Trinkwasser versorgt werden.

Im Rahmen von zwei neuen Forschungsprojekten entwickeln wird derzeit mit Solarstrom und Solarthermie angetriebene Entsalzungssysteme. Das angewendete Entsalzungsverfahren beruht auf der Membrandestillation. Ziel unserer Arbeiten sind Anlagen, die netzfern betrieben werden können und die einem Kapazitätsbereich von 150 bis 20 000 Litern entsalztem Wasser pro Tag entsprechen. Die dafür neu entwickelten Wickelmodule sollen einen spezifischen Energiebedarf von nur $100 \text{ kWh}_{\text{th}}$ pro m^3 entsalztem Wasser erreichen. Die thermische Energie muss auf einem Temperaturniveau von etwa 80°C für den Prozess bereitgestellt werden. In den Testanlagen der Projekte sollen dazu Prozesswärmekollektoren eingesetzt werden.

Beide Projekte werden von der EU gefördert. Unsere internationalen Forschungspartner kommen aus Marokko, Ägypten, Jordanien, Türkei, Spanien und Deutschland.

Photovoltaisch betriebene Trinkwasseraufbereitung für netzferne ländliche Gebiete

Die Trinkwasseraufbereitung in netzfernen ländlichen Gebieten stellt eine vielseitige Herausforderung dar, nicht nur im technischen Bereich. Besondere Sorgfalt erfordert die Verknüpfung mit der photovoltaischen Energieversorgung.

Ulrike Seibert, Andreas Steinhüser, Felix Holz

Gebiete ohne Stromversorgung weisen häufig auch eine mangelnde Verfügbarkeit von Trinkwasser auf. Der naheliegende Ansatz, eine zu installierende lokale Trinkwasser-Versorgung photovoltaisch zu betreiben bedarf einer sorgfältigen Planung.

So spielen z. B. die beim Anschalten von Pumpen auftretenden elektrischen Ströme eine wesentlich größere Rolle als Anlagenbauer in der Wasserversorgung dies üblicherweise erwarten. Mit einem gezielt auf die exakte Vermessung von Pumpen ausgerichteten Prüfstand ermitteln wir die Daten, mit denen eine zuverlässige Anlagenauslegung möglich wird.

Um den sicheren, wartungs- und chemikalienarmen (-freien) Betrieb zu unterstützen, optimieren wir Reinigungs-, Rückspül- und energieeffiziente Desinfektionsstrategien für Filtrations- und Membrananlagen.

Darüber hinaus charakterisieren wir Membranen zur Trinkwasseraufbereitung und -erzeugung. Der Bereich umfasst dabei die Mikro-, Ultra- und



Abb. 1: Nachweis der Desinfektions- und Entsalzungsleistung von dezentralen Anlagen für die Trinkwasseraufbereitung.

Nanofiltration sowie die Umkehrosmose. Ziel ist es, besonders für den Einsatz unter rauen Bedingungen geeignete Materialien und Materialkombinationen zu identifizieren.

Im Rahmen eines internationalen Konsortiums, das wir federführend koordinieren, erarbeiten wir derzeit eine Marktübersicht der verfügbaren Kleinanlagen zur Meerwasserentsalzung. Die Ergebnisse bilden die Grundlage für eine Optimierung der Wasserversorgungssysteme im kombinierten Einsatz mit photovoltaischen und anderen erneuerbaren Energien. Das auf mehrere Jahre angelegte Projekt berücksichtigt darüber hinaus auch die nicht-technischen länderspezifischen Rahmenbedingungen, die bei der Einführung autonomer Trinkwassersysteme zu berücksichtigen sind.

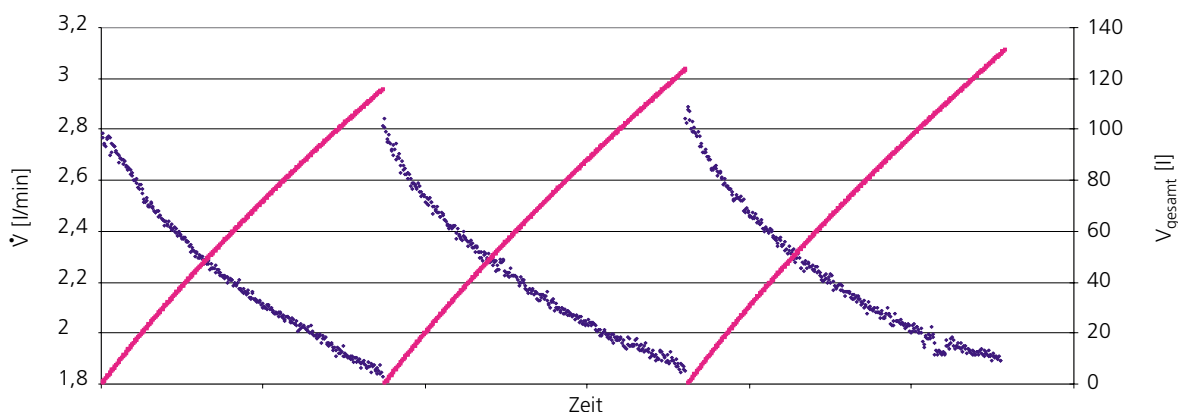


Abb. 2: Verhalten einer Mikrofiltrationsanlage bei der Aufbereitung von feststoffbeladenem Rohwasser. Die blaue Kurve zeigt die Abnahme des spezifischen Flusses, die rote das gesamte in derselben Zeit erzeugte Trinkwasser. Filter, die in der Trinkwasseraufbereitung eingesetzt werden, verblocken je nach Rohwasserbelastung unterschiedlich schnell. Durch regelmäßiges Rückspülen kann die Filterleistung meist wieder verbessert werden. Dadurch werden die Standzeiten verlängert und der Wartungsaufwand verringert. Geeignete Rückspülstrategien erhöhen so die Anlagenwirtschaftlichkeit und ermöglichen oft erst einen langzeitigen Einsatz.



Servicebereiche

Qualitätssicherung wird in allen Bereichen solarer Energiesysteme großgeschrieben. Nur dadurch kann nachhaltiges 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 thermisch-optisches Prüflabor, ein Lichtmesslabor, Tageslichtmessräume, ein Fassadenprüfstand, ein Teststand für solare, sorptionsgestützte Klimatisierung, ein Prüfzentrum für thermische Solaranlagen, ein Batterieprüflabor und eine Wechselrichtercharakterisierung.

Ansprechpartner

ISE CallLab

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-Test-stand für Solarkollektoren	Dipl.-Phys. Matthias Rommel	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-51 41 E-Mail: Matthias.Rommel@ise.fraunhofer.de
	Dipl.-Ing. Arim Schäfer	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-53 54 E-Mail: Arim.Schaefer@ise.fraunhofer.de
Solarluftkollektor-Teststand	Dipl.-Ing. Carsten Hindenburg	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-53 53 E-Mail: Carsten.Hindenburg@ise.fraunhofer.de

Solare Klimatisierung

Teststand für Solare Sorptionsgestützte Klimatisierungsanlagen (SSGKTEST)	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

Messen und Prüfen im Gebäude

Luftwechsellmessungen mit Tracergas	Dipl.-Ing. Sebastian Herkel	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-51 17 E-Mail: Sebastian.Herkel@ise.fraunhofer.de
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



Auf unserem vollautomatisierten Prüfstand werden Kennlinien von Pumpen aufgenommen, Anlaufströme vermessen und das Verhalten der Pumpen unter Belastung ermittelt. Diese Daten fließen dann in eine optimierte Anlagenauslegung ein.



ISE CallLab: 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 bei Produktvergleichen sowie bei der Dimensionierung und Abnahme von Photovoltaik-Systemen.

Britta Hund, Klaus Kiefer,
Frank Neuberger, Wilhelm Warta

Das Photovoltaik-Kalibrierlabor des Fraunhofer ISE (ISE CallLab) zählt mit seinen Dienstleistungen zu den führenden Labors weltweit. Vergleiche zwischen diesen Labors und mit der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt in Braunschweig sorgen für ständige Qualitätssicherung. International renommierte Hersteller, aber auch der TÜV Rheinland lassen ihre Referenzzellen vom ISE CallLab vermessen. Forscher aus aller Welt kommen mit ihren Neuentwicklungen nach Freiburg, denn eine Messung des ISE CallLab wird auf Kongressen und in Fachzeitschriften anerkannt.

Durch unsere lange Erfahrung in der PV-Messtechnik und durch den breiten Forschungshintergrund des Instituts, bieten wir unseren Kunden in punkto Sicherheit und Service hervorragende Leistungen:

- Garantie zuverlässiger Ergebnisse durch regelmäßige Messvergleiche mit anderen international anerkannten Laboratorien
- Einhalten internationaler Standards in allen Kalibrierschritten sowie bei der Verwendung von Referenzelementen und Messeinrichtungen
- schnelle, unbürokratische Abwicklung
- streng vertrauliche Behandlung der Aufträge.

Zellkalibrierung – Referenz für Industrie und Forschung

Wir übernehmen die komplette Charakterisierung von Solarzellen und Detektoren bis 30 x 30 cm²:

- Kalibrierung von Standardsolarzellen
- Kalibrierung von Konzentratorzellen sowie von Tandemzellen
- Kalibrierung von Referenzzellen
- Messung der spektralen Empfindlichkeit

- Bestimmung der Temperaturabhängigkeit des Stroms
- Bestimmung des Jahreswirkungsgrads von Solarzellen.

Modulkalibrierung – eine effiziente Methode zur Qualitätssicherung

Immer mehr Großhändler und Installateure lassen von uns Stichproben größerer Modulbestellungen vermessen. Hier geht es vor allem um die Überprüfung der Leistungsdaten der Hersteller.

Die Notwendigkeit solcher Prüfungen zeigt Abbildung 1. Die Statistik von etwa 100 Modulen zeigt, dass über die Hälfte der bei uns gemessenen Module mehr als 5% unter der Nennleistung liegen.

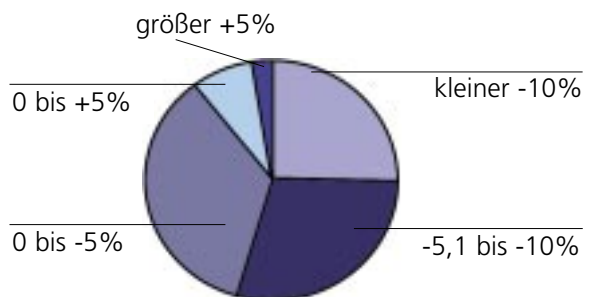


Abb. 1: Dargestellt ist die Abweichung der Messwerte von den heute üblichen Herstellertoleranzen von +/- 5%. Von 100 vermessenen Modulen liegen 55 außerhalb dieses Toleranzbereichs.

Sind die Solarmodule erst einmal auf dem Dach installiert und verschaltet, ist eine nachträgliche Leistungsmessung meist sehr aufwändig. Wir charakterisieren PV-Module bis zu einer Größe von 2 x 2 m²:

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

Internet

Für detaillierte Informationen nutzen Sie einfach unsere Internet-Seiten unter www.callab.de. Dort können Sie auch Messaufträge sehr einfach per E-Mail übermitteln.

Prüfzentrum für Thermische Solaranlagen (PZTS)

Wir betreiben einen Freilandteststand für thermische Sonnenkollektoren. Das PZTS ist eine durch DIN CERTCO anerkannte Prüfstelle und strebt im Jahr 2004 die volle Akkreditierung durch DAP (Deutsches Akkreditierungssystem Prüfwesen) an. 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



Innenteststand 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 $2,4 \times 2 \text{ m}^2$; andere Geometrien der Prüffläche sind möglich (maximal $3,5 \times 3 \text{ m}^2$)
- Bestrahlungsintensität 1200 W/m^2 ohne künstlichen Himmel, 1000 W/m^2 mit künstlichem Himmel
- Homogenität dabei $\pm 10\%$
- 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 $50 \text{ m}^3/\text{h}$ bis $1000 \text{ m}^3/\text{h}$ mit einer Messunsicherheit von maximal $\pm 1\%$ bestimmt werden.

Unsere Dienstleistungen:

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

Teststand für Solare Sorptionsgestützte Klimatisierungsanlagen (SSGKTEST)

Seit zwei Jahren betreiben wir einen Teststand für sorptionsgestützte Klimatisierungssysteme (SGK). Durch die Einbindung von zwei Solar Kollektorfeldern und eines Pufferspeichers kann das Zusammenspiel mit der Solarstrahlung unter realen Bedingungen untersucht werden. Wir unterstützen Gerätehersteller bei der Entwicklung von Komponenten und Systemen und optimieren Schaltungsvarianten energetisch. Durch die zuschaltbare Außenluftkonditionierung und die flexible Hydraulik können wir verschiedenste hydraulische Schaltungsvarianten untersuchen und ihren Energieverbrauch optimieren. Der Teststand ermöglicht schnelle und nutzerunabhängige Messungen.

Carsten Hindenburg,
Volker Kallwellis, Mario Motta



Abb. 1: Die Anlage zur Luftbehandlung bildet die zentrale Einheit des SSGKTEST.

Komponentenentwicklung

Der modulare Aufbau des Teststandes erlaubt es, verschiedene Komponenten wie Sorptionsrad, Wärmerückgewinnungsrad oder Befeuchter unabhängig voneinander auszutauschen. Je nach Kundenwunsch können wir diese Komponenten weiter entwickeln oder sie in-situ vermessen. Dabei steht den Auftraggebern auch unser Thermoanalyselabor zur Verfügung. Es charakterisiert und optimiert Sorptionsmaterialien.

Optimierung von Gesamtsystemen

Eine umfangreiche Mess- und Regelungstechnik ermöglicht uns, SGK-Systeme auch als komplette Einheit zu charakterisieren und zu verbessern.

So können wir diese hinsichtlich Energie und Wasserverbrauch optimieren. Simulationsprogramme, die zum Teil am Institut entwickelt wurden, verkürzen die Messzyklen und damit die Entwicklungszeit insgesamt.

Entwicklung von Standardreglern

Durch die Flexibilität der hydraulischen Verschaltung kann mit dem SSGKTEST das Regelverhalten von fünf Anlagenkonzepten untersucht werden – ideale Voraussetzungen für die Entwicklung von Standardreglern für Sorptionsgestützte Klimatisierungsanlagen.

Feldtests von Solarkollektorfeldern

Mit dem Teststand können wir auch komplette Felder von Solarkollektoren oder Solarluftkollektoren bis zu 20 m² vermessen. Folgende Dienstleistungen bieten wir an:

- Vermessung des Systemwirkungsgrades von Solarkollektorfeldern für definierte Verbraucher. Das ermöglicht realistische Ertragsprognosen, sowohl für Klimatisierungsanwendungen als auch für Brauchwassererwärmung oder Heizungsunterstützung
- gezielte Entwicklung von Kollektoren für die Klimatisierung.

Kundenspezifische Auslegungsoftware

Wir entwickeln im Kundenauftrag Auslegungs- und Simulationssoftware. Dabei arbeiten wir ständig unsere Erfahrungen am SSGKTEST und aus Demonstrationsprojekten ein. Mit den Programmen können sowohl klassische Klimaanlage als auch Sorptionsgestützte Klimatisierungssysteme berechnet werden. Auf Wunsch können hydraulische Schaltungen mit Solarnergieeinbindung oder Verschaltungen nach Kundenwunsch abgebildet werden. Programm-Module zur Wirtschaftlichkeitsberechnung vergleichen verschiedene Konfigurationen nicht nur energetisch, sondern auch ökonomisch miteinander.

Merkmale des SSGKTEST

- Nennvolumenstrom: 4 000 m³/h
- 20 m² Flachkollektoren mit flüssigem Wärmeträger
- 20 m² Solarluftkollektoren
- 2 m³ Pufferspeicher
- Nachheizung über Gaskessel
- Simulation beliebiger Außenluftzustände
- Simulation von Raumlasten.

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 Tageslichtcontainer und einen Außenprüfstand.

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

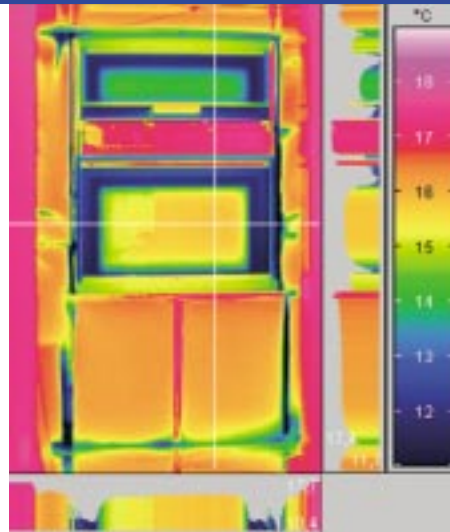


Abb. 1: Thermographische Aufnahme eines raumhohen Fassadenmoduls in einem Testraum (Aufnahme von innen).

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 m² mit:

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

Beispiele der Apparaturen:

- Solarkalorimeter zur Bestimmung des 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 wurden 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.

Messen und Prüfen im Gebäude

Wir überprüfen Ihre Gebäude durch Monitoring und Messungen vor Ort.

Andreas Bühring, Sebastian Herkel,
Jens Pfafferott, Christian Reise, Jan Wienold

Luftwechsellmessungen mit Tracergas

Die Einhaltung von Luftwechselraten in Gebäuden und von Luftvolumenströmen in Lüftungsanlagen sind wesentlich für die Raumlufthqualität.

Mit unserem Tracergas-Gaschromatographen ermitteln wir für Sie die Luftwechselraten von Räumen während des Betriebs nach der Konzentrationsabfallmethode. Zur Analyse von Lüftungsanlagen messen wir den Volumenstrom nach der Konstant-Injektionsmethode.

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.

Prüfstand für Lüftungs-Kompaktgeräte

Unsere Kunden unterstützen wir beim Entwickeln von Lüftungs-Kompaktgeräten mit integrierter Abluftwärmepumpe.

Laborprüfung

Auf unserem Teststand für Lüftungsgeräte messen wir die Energieeffizienz der Gesamtgeräte und ihrer Komponenten. Die Prüfbedingungen können wir in einer großen Bandbreite stationär wählen. Durch die Automatisierung des Teststandes können wir dynamisch veränderliche Bedingungen einstellen, z. B. entsprechend der Norm EN 255-3. Aus den Messungen leiten wir Empfehlungen ab für das Optimieren der Komponenten und ihres Zusammenwirkens.

Monitoring

In verschiedenen 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 Störungursachen werden schnell identifiziert und behoben. Aus den Messungen erarbeiten wir Vorschläge für die Optimierung von Geräten und der Regelung.

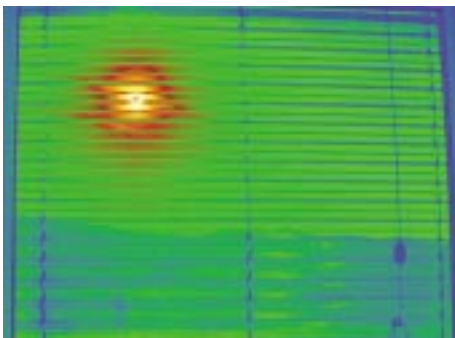


Abb. 1: Leuchtdichtemessungen an einem Tageslichtsystem in einem drehbaren Messraum.



Abb. 2: Visualisierung von Raumlufthströmungen zur Überprüfung des Luftwechsels in Gebäuden.



Abb. 3: Automatisierter Teststand mit zwei Testplätzen zur Messung von Lüftungsgeräten mit Abluftwärmepumpe.

Charakterisierung von Wechselrichtern

Wechselrichter sind das Bindeglied zwischen Gleichspannungsquellen wie PV-Generatoren oder Brennstoffzellen einerseits und dem öffentlichen Wechselspannungsnetz oder einem Inselnetz andererseits. Dabei haben Regelverhalten und Wirkungsgrad erheblichen Einfluss auf die Leistungsfähigkeit des Systems. Zudem sind eine Vielzahl von Normen einzuhalten, die für die Sicherheit des Bedienpersonals sorgen, den zuverlässigen Betrieb des Netzes sicherstellen und eine elektromagnetische Störung anderer Verbraucher ausschließen. Wir bieten die Charakterisierung von Wechselrichtern als Dienstleistung an.

Bruno Burger, Jürgen Ketterer,
Rainer Schätzle, Heribert Schmidt

Wir charakterisieren Ihre Wechselrichter in unseren Labors bezüglich:

- Wirkungsgrad
- MPP-Regelverhalten
- Elektromagnetischer Verträglichkeit (EMV)
- Burst und Surge Störungen
- Einhaltung der relevanten Normen
- Benutzerfreundlichkeit.

Folgende Energiequellen für die Wechselrichter stehen dabei zur Verfügung:

- verschiedene, frei konfigurierbare Solargeneratoren bis 10 kW
- sechs programmierbare Solarsimulatoren und
- vier Konstanter mit unterschiedlichen Spannungsbereichen bis zu einer Leistung von 21 kW.

Mit Präzisions-Leistungsmessgeräten können wir den Wirkungsgrad Ihrer Geräte exakt vermessen. Zur Charakterisierung des EMV-Verhaltens steht eine gut ausgestattete EMV-Messkammer von 4,8 m x 3,1 m Grundfläche und 3 m Höhe zur Verfügung. Auf Wunsch modifizieren erfahrene Leistungselektroniker Ihre Geräte im Rahmen der Messungen so, dass sie die EMV-Normen einhalten. Unsere Mitarbeiter, die selbst in Normungsgremien mitwirken, beraten Sie gerne bei technischen Fragen und bei Unsicherheiten bezüglich der einzuhaltenden Normen.

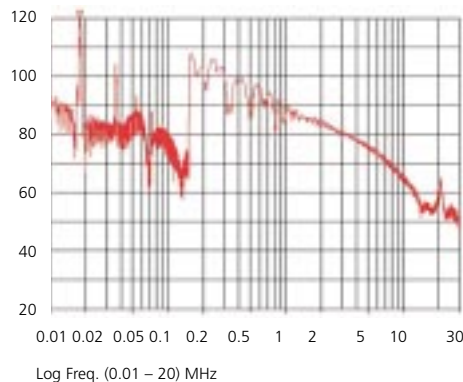


Abb. 1: EMV-Messung an einem transformatorlosen Wechselrichter auf der AC-Seite. Die von diesem Wechselrichter erzeugten Störspannungen liegen über den Grenzwerten.
x-Achse: Frequenz in MHz;
y-Achse: Störspannung in dBµV.

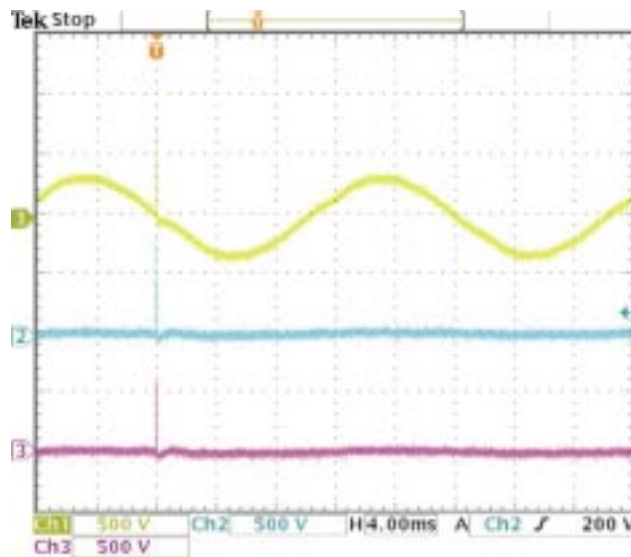


Abb. 2: Surge-Impuls mit einer Amplitude von 1000 V (nadelartige Spitze in allen drei Kurven) in der Netzspannung (gelbe Sinuskurve, oben) und dessen Auswirkung auf die Zwischenkreisspannung des Wechselrichters (blau, Mitte) und die Spannung an den Leistungshalbleitern (pink, unten). Ergebnis: Dieses Gerät ist nicht ausreichend gegen Störimpulse geschützt. Die von außen aufgeprägte Störung gelangt ungehindert in das Gerät und kann die Leistungshalbleiter zerstören.

x-Achse: 4 ms/div;
y-Achse: 500 V/div.

Die obere Kurve ist die Netzspannung mit 230 V_{eff}. Die Nulllinien der drei Kurven sind jeweils links markiert.

Qualifizieren und Optimieren von DC-Komponenten für Photovoltaik-Systeme

Technische Zuverlässigkeit und niedrige Kosten sind der Schlüssel für den dauerhaften Erfolg photovoltaisch versorgter Gleichspannungssysteme.

Häufig erweisen sich handelsübliche Verbraucher wie Campingleuchten, tragbare Radio- und Fernsehgeräte, aber auch bestimmte Systemkomponenten als nicht ausreichend angepasst für den Einsatz in PV-Systemen. Die Erfahrung zeigt, dass Wartung und Reparaturen dieser Systeme einen großen Teil der Betriebskosten beanspruchen.

Wir bieten unseren Kunden die Prüfung, Qualifizierung und Optimierung von DC-Verbrauchern, PV-Komponenten und -Systemen in drei mit hochwertigen Messgeräten und Prüfständen ausgestatteten Laboren an.

Rudi Kaiser, Norbert Pfanner



Abb. 1: Kugel-Photometer zur Lichtstrommessung an DC-Lampen und -Leuchten.

DC-Prüf- und Entwicklungslabor

Wir vermessen, prüfen und beurteilen komplette PV-Systeme oder einzelne Komponenten hinsichtlich Qualitätsanforderungen wie:

- Energieverbrauch und Wirkungsgrad
- Betriebsführungsverhalten
- Fehlerverhalten
- Schutz gegen Fehlbedienung
- Elektromagnetische Verträglichkeit.

Dauer- und Stress-Tests erlauben praxisnahe Aussagen bezüglich der Lebensdauer und der Zuverlässigkeit. Ergänzend bieten wir im DC-Labor Schulung und Ausbildung von Technikern und Ingenieuren im Bereich Prüfung und Qualifizierung an.

Licht-Messlabor

Wir untersuchen Leuchtmittel und Leuchten für Photovoltaik-Systeme auf elektrische Eigenschaften wie:

- Wirkungsgrad
- Betriebsführungsverhalten (Vorheizung, Zündspannung, Betriebsstrom und -Kurvenform etc.)
- Fehlerverhalten.

Und wir führen präzise Messungen lichttechnischer Größen durch:

- Lichtstrom und Lichtausbeute
- Leuchtdichte
- Lichttechnisches Betriebsverhalten.

Ein Schaltzyklen-Test gibt Auskunft über die zu erwartende Lebensdauer des Beleuchtungssystems im praktischen Einsatz.

Batterie-Prüflabor

Durch umfassende Qualifizierung von Batteriespeichern unterstützen wir unsere Kunden bei der Auswahl des geeigneten Batterietyps sowie der optimalen Betriebsführungs- und Ladestrategien. Dazu bestimmen wir die Charakteristiken aller gängigen Batterietechnologien:

- Kapazität neuer und alter Batterien
- Lade- und Entladekurven
- Ladeverhalten
- Temperaturabhängigkeiten
- Wirkungsgrad
- Selbstentladung.

Langzeittests im Labor oder in realen Anlagen erlauben realistische Aussagen zur Lebensdauer der Speicher.



Fakten im Überblick

Gastwissenschaftler

Mitarbeit in Gremien

Kongresse, Tagungen und Seminare

Vorlesungen und Seminare

Messebeteiligungen

Patente

Promotionen

Pressearbeit

Unternehmensgründungen

Vorträge

Veröffentlichungen

Abkürzungen

Gastwissenschaftler

Prof. Andres Cuevas
Australian National University
Canberra, Australien
6.8.–20.8.2003
Arbeitsgebiet: Analyse von Defekten in monokristallinem Silicium

Alessandro Dama
Dipartimento di Energetica, Polytechnico Milano,
Mailand, Italien
1.7.–31.12.2003
Arbeitsgebiet: Fenster und Fassaden,
Modellierung von innenliegendem
Sonnenschutz

José Roberto Flores Hernández
Instituto de Investigaciones Electricas (IEE)
Puebla, Mexiko
1.10.2001–30.9.2004
Arbeitsgebiet: Brennstoffzellen und Elektrolyse

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

Dr. Daniel Macdonald
Australian National University
Canberra, Australien
17.11.–30.11.2003
Arbeitsgebiet: Analyse von Defekten in monokristallinem Silicium

Anders Ødegård
Norwegian University for Science and
Technology (NTNU)
Trondheim, Norwegen
21.8.2000–28.2.2004
Arbeitsgebiet: Direkt-Methanol-Brennstoffzellen
im kleinen Leistungsbereich

Prof. Werner Osterhaus
School of Architecture, Victoria University of
Wellington, Neuseeland
12.10.–24.11.2003
Arbeitsgebiet: Solares Bauen

Gaute Stokkan
Universität Trondheim
Trondheim, Norwegen
1.9.2002–28.2.2003
Arbeitsgebiet: Charakterisierung
von mc-Silicium

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

Mitarbeit in Gremien

Bundesministerium für Wirtschaft und
Technologie BMWi
Bundesministerium für Wohnungsbau BMWo
- Lenkungsausschuss »Solar optimiertes
Bauen«

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

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

Deutsche Gesellschaft für Galvano- und
Oberflächentechnik DGO
- Fachausschuss »Mikrosysteme und
Oberflächentechnik«

Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie DGS
- Vorstand der Sektion Südbaden

Deutsche Physikalische Gesellschaft
- Arbeitskreis »Energie«

Deutscher Wasserstoff-Verein

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 Fuel Cell Group

European Photovoltaic Industry Association
EPIA
- assoziiertes Mitglied

European Solar Thermal Industry Federation
ESTIF
- Mitglied

Exportinitiative Erneuerbare Energien
- Kontaktgruppe Verbände

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

Forschungsallianz »Brennstoffzellen«,
Baden-Württemberg

Forschungsverbund Sonnenenergie FVS
- Sprecher

Global Network on Energy for Sustainable
Development GNESD
- Mitglied

Global Research Alliance GRA
- Mitglied

Hahn-Meitner-Institut (HMI)
- Wissenschaftlicher Beirat

Institut für Solare Energieversorgungs-
technik (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 31: »Daylighting Buildings in the 21th
Century«
- Energy Conservation in Buildings and
Community Systems ECBCS
- Task 42: »The Simulation of Building-
Integrated Fuel Cell and Other Cogeneration
Systems«

International Solar Energy Society Europe
(ISES-Europe)
- Governing Board

Kompetenznetzwerk Brennstoffzelle NRW,
Nordrhein Westfalen

Passivhaustagung 2003
- Wissenschaftlicher Beirat

Progress in Photovoltaics
- Editorial Board

Fraunhofer-Gesellschaft
- Senat

Renewables 2004
- Nationaler Begleitkreis

Symposium Photovoltaische Solarenergie
- Wissenschaftlicher Beirat

Verein Deutscher Elektrotechniker
- ETG-Fachausschuss »Brennstoffzellen«

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

Verein Deutscher Ingenieure, VDI-Gesellschaft Energietechnik
- Fachausschuss »Regenerative Energien«

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

Weiterbildungszentrum WBZU
»Brennstoffzelle«, Ulm

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

OTTI Energie-Kolleg
Neuntes Symposium »Innovative Lichttechnik in Gebäuden«
Bad Staffelstein, Kloster Banz, 23./24.1.2003

OTTI Energie-Kolleg
Sechstes Fachforum »Innovative Wohnungslüftung«
Regensburg, 28./29.1.2003

OTTI Energie-Kolleg
Fachseminar »Netzferne Stromversorgung mit Photovoltaik«
Freiburg, 5./6.2.2003

Passiv-Haus 2003
3. Tagung und Ausstellung für energieeffizientes Bauen und Sanieren
Böblingen, 14.–16.2.2003

OTTI Energie-Kolleg
Drittes Fachforum »Oberflächennahe Geothermie«
Garching bei München, 18./19.2.2003

7. Internationale Passivhaustagung mit Fachaussstellung
Hamburg, 21./22.2.2003

WorldSustainableEnergyDay 2003
Wels, Österreich 6./7.3.2003

OTTI Energie-Kolleg
18. Symposium »Photovoltaische Solarenergie«
Bad Staffelstein, Kloster Banz, 12.–14.3.2003

Trinationale Energiekonferenz
Freiburg, 26./27.3.2003

Fraunhofer-Solar Building Innovation Center SOBIC*
Fachseminar »Sommerlicher Wärmeschutz und Tageslichtnutzung in Verwaltungsbauten«
Freiburg, 27.3.03

Tagung von Eurosolar e. V. Energieagentur NRW
Dezentrale Energiespeicherung - Schlüssel zur wirtschaftlichen Entfaltung Erneuerbarer Energien
Wuppertal, 8./9.4.2003

Thermoidraulica Clima
Padua, Italien, 9.–12.4.2003

OTTI Energie-Kolleg
Fachseminar »Photovoltaik Anlagen«
Freiburg, 6.–7.5.2003

3rd World Conference on Photovoltaic Energy Conversion
Osaka, Japan, 11.–18.5.2003

OTTI Energie-Kolleg
13. Symposium »Thermische Solarenergie«
Bad Staffelstein, Kloster Banz, 14.–16.5.2003

EUREC Agency und AEE-INTEC
»Solarenergienutzung im Bürobau«
Graz, Österreich, 30./31.5.2003

ISES Solar World Congress 2003
Solar Energy for a Sustainable Future
Göteborg, Schweden, 14.–19.6.2003

Solar Promotion GmbH und Fraunhofer Solar Building Innovation Center SOBIC*
Solar assisted air-conditioning concepts and practical experience
Freiburg, 25./26.6.2003

OTTI Energie-Kolleg
Kompaktseminar »Solaranlagen erfolgreich verkaufen«
Freiburg, 26.6.2003

Sonderschau Ländliche Elektrifizierung + IndustrieForum, zusammen mit C.L.E. auf Intersolar 2003, Freiburg, 27.–29.6.2003

2nd European Polymer Electrolyte Fuel Cell Forum with Exhibition
Luzern, Schweiz, 30.6.– 4.7.2003

9th International Conference on Thermal Energy Storage Futurestock 2003
Warschau, Polen, 1.– 4.9.2003

Jahrestagung des Forschungsverbundes Sonnenenergie FVS
Photovoltaik Neue Horizonte
Berlin, 25./26. 9.2003

Fraunhofer ISE
SHC-Task 27 Workshop »Performance of Solar Facade Components«
Freiburg, 6.10.2003

OTTI Technologie-Kolleg
Brennstoffzellen
Berlin, 6./7.10.2003

Erstes Leobener Symposium
Polymeric Solar Materials
Leoben, Österreich 6.–7.11.2003

Fraunhofer Solar Building Innovation Center SOBIC*
Fachseminar »Wärmeschutz mit IR-reflektierenden Folien oder Beschichtungen«
Anforderungen an neue Baustoffe aus Zulassungen und EnEV«
Fellbach, 12.11.03

OTTI Energie-Kolleg und Fraunhofer Solar Building Innovation Center SOBIC*
Fachseminar »EMV und Blitzschutz in Photovoltaik-Anlagen«
Freiburg, 27./28.11.03

Fraunhofer-Solar Building Innovation Center SOBIC*
Fachseminar »Leichte Baustoffe – thermisch schwer«
Freiburg, 3.12.03

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

Vorlesungen und Seminare

Dr. Dietmar Borchert

Photovoltaik

Vorlesung SS 03

Technische Fachhochschule Georg Agricola
Bochum

Dr. Bruno Burger

Leistungselektronische Systeme für regenerative
Energiequellen

Vorlesung WS 03/04

Universität Karlsruhe

Dr. Andreas Gombert

Mikrostrukturierte Oberflächen mit optischen
Funktionen

Vorlesung SS 03 und WS 03/04

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg

Sebastian Herkel

Bauökologie und Solare Energiesysteme

Vorlesung SS 03

Staatliche Akademie der Bildenden Künste
Stuttgart

Prof. Joachim Luther

Photovoltaische Energiekonversion

Vorlesung SS 2003

Thermische Solarenergiewandlung

Vorlesung WS 03/04

Solare Energiekonversion

Seminar SS 03 und WS 03/04

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg

Jens Pfafferott

Konventionelle und regenerative

Energiewirtschaft

Vorlesung SS 03

Fachhochschule Biberach

Prof. Roland Schindler

Halbleitertechnologie I (Technologie)

Vorlesung WS 03/04

Halbleitertechnologie II (Bauelemente)

Photovoltaik II

Vorlesung SS 03

Fernuniversität Hagen

Dr. Heribert Schmidt

Photovoltaik Systemtechnik

Vorlesung WS 03/04

Universität Karlsruhe

Priv. Doz. Dr. Gerhard Willeke

Grundlagen von Halbleiterbauelementen und
der optischen Datenübertragung

Vorlesung SS 03

Universität Konstanz

Priv. Doz. Dr. Volker Wittwer

Energieversorgung für Mikrosysteme

Vorlesung SS 03

Innovative Energieversorgungssysteme

Vorlesung WS 03/04

Fakultät für Angewandte Wissenschaften

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg

Messebeteiligungen

R+T-2003

Internationale Fachmesse Rolladen, Tore und
Sonnenschutz

Stuttgart, 18.–22.2.2003

Fachausstellung anlässlich des 18. Symposium

»Photovoltaische Solarenergie«

Bad Staffelstein, Kloster Banz, 12.–14.3.2003

SEMICON Europe 2003

Messe München, 1.–3.4.2003

Hannover Messe Industrie, HMI 2003

Hannover, 7.–12.4.2003

European Coatings Show

Nürnberg, 8.–10.4. 2003

Gemeinschaftsstand mit Fraunhofer ISC, WKI,
POLO

fgm fenster/glas/metallbau

Internationale Fachmesse für

Fassadentechnologie

Stuttgart, 19.–21.6. 2003

Intersolar 2003

Internationale Fachmesse und Kongress für

Solartechnik

Freiburg, 27.–29.6.2003

Bundesministerium für Bildung und Forschung

BMBF

Ausstellung »Die Quelle – Energie und
Chemie«

Halle/Saale, 28.8.–7.9.2003

Dresden, 19.–28.9.2003

München, 2.–11.10.2003

*Das Fraunhofer ISE wird 2004 die sechste
internationale Thermophotovoltaik-Konferenz
in Freiburg ausrichten:*

6th Conference on Thermophotovoltaic

Generation of Electricity

Freiburg, 14.–16.6.2004

www.thermopv.org

Eingereichte Patente

Dr. Andreas Guntsch, Dr. Andreas Hinsch,

Stipan Katusic, Dr. Rainer Kern,

Dr. Günther Michael, Ronald Sastrawan

»Farbstoffsensibilisierte photovoltaische Zelle,
ein Verfahren zur Herstellung dieser photovol-
taischen Zellen sowie deren Verwendung«

Priv. Doz. Dr. Gerhard Willeke

»Einheit zum Konzentrieren von

Sonnenstrahlung auf eine Mikrosolarzelle«

Michael Hermann

»Verfahren zur Erstellung eines

Hydrauliknetzwerkes für einen optimierten
Wärmeübertragungs- und Stofftransport«

Dominik Marin Huljic

»Verfahren zur temperaturgeregelten
Prozessierung von Substraten«

Christian Bichler, Dr. Andreas Bühring

»Fluid- Luft- Kombiverdampfer und neues

Schaltkonzept für eine Wärmepumpe in einem
Lüftungsgerät«

Dr. Christopher Hebling, Anders Ødegård

»Vorrichtung und Verfahren zur Erhöhung der

Brennstoffkonzentration in einem der Anode

einer Brennstoffzelle zugeführten, einen

Brennstoff enthaltenden Flüssigkeitsstrom«

Michael Hermann, Werner Hube,

Dr. Werner Platzer

»Bauelement mit variierbaren optischen

Eigenschaften, Verfahren zur Beeinflussung

dessen optischer Eigenschaften sowie dessen

Verwendung«

Erteilte Patente

Dr. Andreas Gombert, Jörg Jungjohann,
Dr. Harry Wirth, Dr. Volker Wittwer
»Sonnenschutzvorrichtung nach Art einer
Jalousie«

Prof. Konstantin Ledjeff-Hey,
Dr. Alexander Schuler, Bernhard Vogel
»Vorrichtung zur Reformierung von
Kohlenwasserstoffe enthaltenden Edukten«

Dr. Andreas Bühring
»Wärmepumpen-Kompaktvorrichtung mit
integrierter Primärenergie-Wärmequelle zur
kontrollierten Lüftung und Wärmeenergiever-
sorgung von Niedrigenergie-Gebäude oder
Passivhäusern sowie Verfahren hierzu«

Volkmar Boerner, Dr. Andreas Gombert,
Andreas Heinzel, Priv. Doz. Dr. Volker Wittwer,
Christel Zanke
»Verfahren zur Herstellung von resonanten
Filtern«

Dr. Angelika Heinzel, Dr. Tim Meyer,
Dr. Roland Nolte, Dr. Heribert Schmidt
»Brennstoffzelle mit eingebautem
Spannungswandler«

Dr. Ralf Lüdemann
»Dünnschichtsolarzellenanordnung sowie
Verfahren zur Herstellung derselben«

Franz Brucker, Michael Köhl, Volker Lieske
»Vorrichtung zur photoaktivierten Produktion
von Singulett-Sauerstoff und Verfahren zur
Herstellung der Vorrichtung«

Franz Brucker, Michael Köhl, Volker Lieske
»Vorrichtung und Verfahren zur Produktion von
Singulett-Sauerstoff«

Dr. Dirk Uwe Sauer, Dr. Heribert Schmidt
»Vorrichtung zur Dichtebestimmung eines
Elektrolyten«

Dr. Andreas Bühring, Dr. Pedro Da Silva
»Lüftungsanordnung für Gebäude«

Franz Brucker, Michael Köhl
»Verfahren zur Beeinflussung der optischen
Eigenschaften von Polymeren«

Dr. Andreas Georg, Dr. Anneke Georg
»Photovoltaisch selbstladendes
Speichersystem«

Rudi Kaiser, Dr. Dirk Uwe Sauer
»Stromversorgungseinrichtung«

Dr. Andreas Hinsch, Dr. Andreas Georg,
Michael Niggemann
»Solarzelle sowie Verfahren zu deren
Herstellung«

Dr. Benedikt Bläsi, Dr. Christopher Bühler,
Dr. Andreas Gombert, Tilmann Kuhn,
Dr. Peter Nitz, Dr. Werner Platzer,
Priv. Doz. Dr. Volker Wittwer
»Sonnenschutzvorrichtung mit einer Vielzahl
von parallel zueinander orientierten Lamellen«

Promotionen

Sandra Bau
»High-temperature CVD silicon films for
crystalline silicon thin-film solar cells«
Dissertation Universität Konstanz
Konstanz, 2003

Daniel Biro
»Durchlaufdiffusion für die Photovoltaik«
Dissertation Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
Freiburg, 2003

Christopher Bühler
»Mikrostrukturen zur Steuerung von
Tageslichtströmen«
Dissertation Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
Freiburg, 2003

Jochen Dicker
»Analyse und Simulation von hocheffizienten
Silicium-Solarzellenstrukturen für industrielle
Fertigungstechniken«
Dissertation Universität Konstanz
Konstanz, 2003

Gergö Létay
»Modellierung von III-V Solarzellen«
Dissertation Universität Konstanz
Konstanz, 2003

Anneke Georg
»Photoelektrochrome Fenster«
Dissertation Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
Freiburg, 2003

Ji Youn Lee
»Rapid Thermal Processing of Silicon Solar
Cells – Passivation and Diffusion«
Dissertation Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
Freiburg, 2003

Christian Reise
»Entwicklung von Verfahren zur Prognose des
Ertrags großflächiger Energieversorgungs-
systeme auf der Basis von Satelliten-
informationssystemen«
Dissertation Carl von Ossietzky Universität
Oldenburg
Oldenburg, 2003

Dirk Uwe Sauer
»Optimierung des Einsatzes von Blei-Säure-
Akkumulatoren in Photovoltaik-Hybrid-
Systemen unter spezieller Berücksichtigung der
Batteriealterung«
Dissertation Universität Ulm
Ulm, 2003

Pressearbeit

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

24.2.2003
Baden-Württemberg und der internationale
Solarzellenmarkt – Forschungsallianz verbessert
Chancen mittelständischer Solarzellenindustrie

14.3.2003
Die neue Freiheit beim energiesparenden
Bauen – Fraunhofer SOBIC Seminar zu 3-Liter-
Häusern in Fellbach

21.3.2003
Erdgas-Reformer für Brennstoffzellen-Block-
heizkraftwerk – Fraunhofer ISE zeigt neue
Arbeiten zur Wasserstofferzeugung in
Hannover

25.3.2003
Stromversorgung ohne Netzanschluss – Mobile
Power Box des Fraunhofer ISE vor Markt-
einführung

28.3.2003
Innovationspreis für neu entwickeltes energie-
effizientes Sonnenschutzsystem – Integrale
Tageslichtplanung spart Energie und Kosten

15.5.2003
Club zur ländlichen Elektrifizierung C.L.E. e.V.
hat neuen Vorstand gewählt

16.6.2003
Transparenter Sonnenschutz: Wärme muss
draußen bleiben

26.6.2003
Solarstrom für eine Million Hütten – C.L.E. e.V.
fordert deutsches Programm zur ländlichen
Elektrifizierung

Juli 2003
Wachsweiche Wärmewickel fürs Haus –
Baumaterialien mit mikroverkapseltem Paraffin

11.8.2003
Kompaktes Regelungssystem steigert Effizienz
solarthermischer Großanlagen - Fraunhofer ISE
entwickelt vernetzte Energiemanagement-
Systeme

10.10.2003
Ein Schritt in die Energiezukunft – Brennstoff-
zelle am Rappenecker Hof gibt Vorgeschmack
auf das Wasserstoff-Zeitalter – badenova för-
dert Fraunhofer-Projekt mit 250.000 €

2.12.2003
Papierdünne 20%-Solarzellen mit neuer
Technologie

Unternehmensgründungen

IoLiTec G.b.R.
Engesserstraße 4b
79108 Freiburg
www.iolitec.de

Vorträge

Bett, A.W.; Dimroth, F.; Glunz, S.W.

»Development of Concentrator Solar Cells and Systems at Fraunhofer ISE«, 2nd Int. Solar Concentrator Conference for the Generation of Electricity or Hydrogen, Alice Springs, Australia, 10.–14.11.2003

Bett, A.W.; Baur, C.; Dimroth, F.; Lange, G.; Meusel, M.; van Riesen, S.; Siefert, G.; Andreev, V.M.¹; Rumyantsev, V.D.¹; Sadchikov, N.A.¹

»FLATCON™- Modules: Technology and Characterisation«, 3rd World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, Osaka, Japan, 11.–18.5.2003

(¹: Ioffe Institute, St Petersburg, Russia)

Bett, A.W.

»Multi-Junction Solar Cells and Their Applications«, University of New South Wales, Sydney, Australia, 17.11.2003 und Australian National University, ANU, Canberra, Australia, 20.11.2003

Bett, A.W.; Baur, C.; Dimroth, F.; Meusel, M.; van Riesen, S.; Siefert, G.

»III-V Solar Cells and Their Application«, EU-Russian Workshop »Efficient Use of Solar Spectrum in Photovoltaics«, St Petersburg, Russia, 2.–5.11.2003

Bläsi, B.

»Solare Energiesysteme – Technologie, Anwendung und Zukunftsperspektiven«, TU München, Ringvorlesung Umweltschutz, München, 22.1.2003

Bläsi, B.; Bühler, C.; Georg, A.; Gombert, A.; Hoßfeld, W.; Mick, J.¹; Nitz, P.; Walze, G.; Wittwer, V.

»Microstructured Surfaces in Architectural Glazings«, ISES Solar World Congress 2003, Gothenburg, Sweden, 18.6.2003

(¹: FMF, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg)

Bühning, A.;

„Wärmepumpen in Niedrigstenergie- und Passivhäusern“, 1. Forum Wärmepumpe, Berlin, 23. bis 24.10.2003

Bühning, A.;

„Heizen mit dem Lüftungssystem - vom Einfamilienhaus zum Geschosswohnbau“, Fachforum Innovative Wohnungslüftung, Otto-Energiekolleg, Regensburg, 28./29.1.2003

Dimroth, F.; Baur, C.; Meusel, M.; van Riesen, S.¹; Bett, A.W.

»5-Junction III-V Solar Cells for Space Applications«, 3rd World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, Osaka, Japan, 11.–18.5.2003

(¹: FMF, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg)

Dimroth, F.

»Growth of a Arsenides, Phosphides and Antimonides on AIX 2600-G3 Reactor at Fraunhofer ISE«, Aixtron User Meeting, Lecce, Italy, 8.6.2003

Dimroth, F.; Bett, A.W.

»III-V Halbleiter Konzentratorzellen«, FVS Jahrestagung, Berlin, 25.–26.9.2003

Disch, A.

»Interferenzlithographie«, Vorlesung: Lithographie, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg IMTEK, 21.7.2003

Glunz, S. W.

»Solar Cell Research at Fraunhofer ISE«, University of New South Wales, Sydney, Australia, 20.12.2002

Glunz, S.W.; Schäffer, E.; Rein, S.; Bothe, K.¹; Schmidt, J.¹

»Analysis of the Defect Activation in CZ-Silicon by Temperature-Dependent Bias-Induced Degradation of Solar Cells«, 3rd World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, Osaka, Japan, 11.–18.5.2003

(¹: Institut für Solarenergieforschung Hameln/Emmerthal ISFH, Emmerthal)

Glunz, S.W.

»Lebensdauerspektroskopie zur Analyse von Defekten in Silicium«, Vortrag im Kolloquium »Physikalische Elektronik«, IPE, Stuttgart, 2.6.2003

Glunz, S.W.

»New Concepts for High-Efficiency Silicon Solar Cells«, SWH (Solar, Wind, Hydrogen and Fuel Cells) Conference, Segovia, Spain, 7.–11.7.2003

Glunz, S.W.

»Lebensdauerspektroskopie zur Analyse von Defekten in Silicium«, Seminarvortrag, HMI, Berlin, 3.7.2003

Gölz, S.; Ruf, J.; Schüpach H.¹

»Increasing Renewable Energies in Future Energy Supplies – A Socio-Technical Approach to Include the Consumer into Overall Energy and Grid Management«, 5. Fachtagung Umweltpsychologie; Eindhoven, Netherlands, 3.9.2003

(¹: Albert-Ludwigs-Universität, Freiburg)

Gölz, S.; Vosseler, I.

»High Standard Energy Service By Multi-User PV Hybrid Grids (MSG): An Integrated Approach In »Veinat De Cal Peraire«, Catalonia, Spain«, 2nd European PV-Hybrid and Mini-Grid Conference, Kassel, 25.9.2003

Gombert, A.

»Mikrostrukturierte Kunststoffoberflächen«, 1. Leobener Symposium »Polymeric Solar Materials. Solartechnik – Neue Möglichkeiten für die Kunststoffbranche«, Leoben, Österreich, 6./7.11.2003

Gombert, A.

»Results of Durability Testing of Antireflective Glazing«, IEA Task 27 Dissemination Workshop, Freiburg, 6.10.2002

Hebling, C.; Groos, U.

»Brennstoffzellen im kleinen Leistungsbereich«, Zukunft Wasserstoff – Forum Brennstoffzelle, Linz, Austria, 14./15.10.2003

Hebling, C.

»Brennstoffzellen im Kleinstleistungsbereich zur Energieversorgung portabler Elektronikgeräte«, Fa. WILO, Dortmund, 28.1.2003

Hebling, C.

»Diagnostik und Simulation portabler PEM-BZ-Systeme«, Forum AGEF, Düsseldorf, 6.2.2003

Hebling, C.; Schumacher, J.O.; Hakenjos, A.; Gerteisen, D.

»Simulation and Characterisation of PEM Fuel Cells«, Otto-von-Guericke-Universität, Magdeburg, 21.3.2003

Hebling, C.

»Micro Energy Technology«, Naval Postgraduate School, Monterey, USA, 2.5.2003

Hebling, C.; Schumacher, J.O.

»Characterisation of Micro Fuel Cells at Fraunhofer ISE«, Fa. The Gillette Company, Boston, USA, 17.9.2003

Henning, H.M.

»Wärmespeicher mit Phasenwechselmaterialien und thermochemische Systeme – Einsatz von thermischen Speichern in Gebäuden«, Dezentrale Energiespeicherung – Schlüssel zur wirtschaftlichen Entfaltung Erneuerbarer Energien. Konferenz über die Technologien und Anwendungen dezentraler Energiespeicherung, Wuppertal, 8./9.4.2003

Henning, H.M.

»Fundamentals – Thermodynamics, Technical Overview, Solar Collectors«, Forum Solar-Assisted Air-Conditioning, Concepts and Practical Experiences, Intersolar 2003, Freiburg, 25./26.6.2003

Henning, H.M.

»Solar Assisted Air Conditioning of Buildings – Examples of Realised Plants and Ongoing Projects«, Forum Solar-Assisted Air-Conditioning, Concepts and Practical Experiences, Intersolar 2003, Freiburg, 25./26.6.2003

Henning, H.M.

»Techniques 2: Closed Cycles – Adsorption Machines«, Forum Solar-Assisted Air-Conditioning, Concepts and Practical Experiences, Intersolar 2003, Freiburg, 25./26.6.2003

Henning, H.M.

»Design Guidelines & Economic Issues«, Forum Solar-Assisted Air-Conditioning, Concepts and Practical Experiences, Intersolar 2003, Freiburg, 25./26.6.2003

Henning, H.M.

»Solar unterstützte Klimatisierung (SAC) – Techniken, Energetische Vorteile und Grenzen, Wirtschaftlichkeit«, Workshop »Zukunft zur solaren Klimatisierung«, Energieforum Berlin, Berlin, 26.9.2003

- Henning, H.M.
»Solar Assisted Air-Conditioning of Buildings – an Overview«, Fachhochschule Kozani, Greece, 29.9.2003
- Henning, H.M.
»Solarthermische Kühlung, Stand der Technik, Erfahrungen mit ersten Anlagen«, Symposium Umweltfreundliche Energieerzeugung in Griechenland – Solarenergie im Tourismussektor, Sani, Chalkidiki, Greece, 2.10.2003
- Herkel, S.
»Solarenergie und Energieeffizienz im Wohnungsbau«, Energiesparen im Gebäude, Landesgewerbeamt Karlsruhe, Karlsruhe 17.7.2003
- Herkel, S.
»Energieeffizienz und Solarenergie im Nicht-wohnungsbau – Technologien und Betriebsführung für schlanke Gebäude«, CUB-Forum Messe Computer und Bau, Stuttgart, 18.9.2003
- Hermann, M.
»FracTherm – Fraktale Hydraulikstrukturen für energieeffizienten Wärmetransport«, Universität Karlsruhe (TH), Seminar »Ausgewählte Themen über Strömungsmaschinen und -anlagen«, Karlsruhe, 3.7.2003
- Hübner, P. (Vortragender), Rampe, T.:
»Research on the Reforming of Ethanol«, LAM-NET Workshop, Brasilia, Brazil, 3.12.2002
- Hübner, P.
»Hydrogen Reforming for Stationary PEM Fuel Cells«, AICHEM 2003, Frankfurt, 19.–24.5.2003
- Kaltenbrunner, J.
»Wasserstoff als Energieträger der Zukunft«, Vortrag am WBZU im Rahmen des Workshops »Brennstoffzellen zur Hausenergieversorgung«, Ulm, 25.2.2003
- Köhl, M.
»Lebensdauerabschätzung bei Belastungen, die von Eigenschaften des Prüflings abhängen«, 32. Jahrestagung der Gesellschaft für Umweltsimulation GUS »Umwelteinflüsse erfassen, simulieren, bewerten«, Pfinztal bei Karlsruhe, 27.3.2003
- Köhl, M.
»The Experimental Assessment of the Effects of Non-Lambertian Surfaces on Integrating Sphere Measurement in the Mid-IR«, SPIE Annual Meeting, Optical Diagnostic Methods for Inorganic Materials III, San Diego, USA, 6.8.2003.
- Köhl, M.
»Assessment of Service Life of Solar Thermal Components by Accelerated Life Testing«, 1st European Weathering Symposium EWS, Prag, Czech Republic, 26.9.2003.
- Köhl, M.
»Performance, Durability and Sustainability of Advanced Windows and Solar Components For Building Envelopes«, Task 27 Dissemination Workshops, Freiburg, 6.10.2003
- Köhl, M.
»Beständigkeit von Kunststoffverglasungen in Kollektoren«, 1. Leobener Symposium »Polymeric Solar Materials. Solartechnik – Neue Möglichkeiten für die Kunststoffbranche«, Leoben, Österreich, 7.11.2003.
- Köhl, M.
»Reliability Assessment of Materials and Components for Solar Applications«, Universität Wellington, IEA Solar Heating and Cooling Programme, Wellington, New Zealand 18.11.2003
- Kuhn, T.; Wienold, J.
»Neue Regelstrategien zur simultanen Optimierung von Sonnenschutz, Blendschutz und Tageslichtversorgung«, 9. Symposium Innovative Lichttechnik in Gebäuden, Bad Staffelstein, 23./24.1.2003
- Kuhn, T.; Wienold, J.
»Solar Control«, Conference Tall Buildings and Transparency, Stuttgart, 5.–7.10.2003
- Lerchenmüller, H.
»Technische und wirtschaftliche Machbarkeits-Studie zu horizontalen Fresnel-Kollektoren«, 2. Statusseminar Hochtemperatur Solarthermische Stromerzeugung, Berlin, 21.3.2003
- Luther, J.
»Solare Kraftwerkstechnologien«, 7. Fachkongress Zukunftsenergien im Rahmen der Messe E-world energy & water, veranstaltet von Landesinitiative Zukunftsenergien NRW, Essen, 12.2.2003
- Luther, J.
»Thermophotovoltaic Generation of Electricity«, 3rd World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, Osaka, Japan, 11.–18.5.2003
- Luther, J.
»Photovoltaic Electricity Generation – Status and Perspectives«, ISES Solar World Congress 2003, Gothenburg, Sweden, 14.–19.6.2003
- Luther, J.
»Photovoltaik 2003 – Status und Perspektiven«, »Tag der Photovoltaik« der TU, Fak. IV Elektrotechnik u. Informatik, Inst. f. Hochfrequenz- u. Halbleiter-Systemtechnologie, Berlin, 4.7.2003
- Luther, J.
»PV Solar Electricity – the Importance of Research and Development«, Dinner-debate »PV Solar Electricity: One Among the New Millennium Industries«, European Energy Foundation, Brussels, Belgium, 26.8.2003
- Luther, J.
»Photovoltaik – Neue Horizonte«, Jahrestagung ForschungsVerbund Sonnenenergie (FVS), Berlin, 25./26.9.2003
- Lutz, F.
»Photovoltaikbeschichtungen«, Institut für Werkstoffe und Oberflächen IWO, Vortragstagung, Aalen, 23.5.2003
- Meyer, T.
»Autonome Stromversorgungen mit erneuerbaren Energiequellen: Stand heute und Innovationen von morgen«, Internationales Innovationsseminar Magdeburg, Magdeburg, 5./6.12.2002
- Meyer, T.; Schmid, J.¹
»DISPOWER – Elaboration of Strategies and Concepts for Grid Stability and System Control«, Doing Business in the Renewable Energy Market & The Transition to a More Decentralised Power System, Brussels, Belgium, 26./27.12.2002 (¹: Institut für Solare Energieversorgungstechnik ISET, Kassel)
- Meyer, T.
»Intelligente Verteilnetze der Zukunft: Herausforderungen und Chancen verteilter Erzeugung im Niederspannungsnetz«, 4. Deutscher Stromnetzkongress, Bonn, 1./2.4.2003
- Nitz, P.
»Sonnenschutz mit thermotropen Schichten«, 1. Symposium Polymeric Solar Materials, Leoben, Österreich, 5./6.11.2003
- Pfafferott, J., Herkel, S.
»Solares Bauen für Wohnen und Arbeiten – Konzepte für energiesparendes und ressourcenschonendes Bauen«, Energetisches Bauen, Neumarkt, 14.5.2003.
- Pfafferott, J., Herkel, S.
»Lüftungskonzepte für Niedrigenergie-Bürogebäude: Nachtlüftung und Erdwärmetauscher als Strategie der passiven Kühlung«, Energiefachtagung 2003, Bauhaus-Universität Weimar, 26.6.2003
- Pfafferott, J., Herkel, S.
»Bauen mit der Sonne«, Tagung Architektur + Technik, Hofheim, 1.11.2003.
- Pfafferott, J.
»Passive Kühlung / Nachtlüftung«, Fachseminar des Fraunhofer SÖBIC Sommerlicher Wärmeschutz, Freiburg, 27.3.2003.
- Pfafferott, J.
»Evaluation of a Parametric Model and Building Simulation for Design of Passive Cooling by Night Ventilation«, Doktorandensymposium in Bauphysik, Zurich, Switzerland, 12.–14.3.2003
- Pfafferott, J.
»Bauen mit der Sonne – Konzepte für energieeffiziente Büro- und Wohngebäude«, Fachschaftstagung Architektur und Technik des Cusanuswerks, Hofheim, 1.11.2003
- Platzer, W.
»Energy Performance of switchable glazings«, IEA Task 27 Dissemination Workshop, Freiburg, 6.10.2002
- Platzer, W.
»Performance Assessment for Solar Shading Devices – State-of-The-Art«, IEA Task 27 Dissemination Workshop, Freiburg, 6.10.2002

- Platzer, W.
»Eigenschaften und Einsatzkriterien für optisch schaltbare Fassaden bei Bürogebäuden«, 13. Symposium Thermische Solarenergie, Bad Staffelstein, 14.–16.5.2003
- Platzer, W.
»Switchable Facade Technology – Energy Efficient Office Buildings with Smart Facades«, ISES Solar World Congress 2003, Gothenburg, Sweden, 14.–19.6.2003
- Rein, S.¹; Lips, K.²; Schmidt, J.³
»Materialforschung mit neuen analytischen Methoden«, Jahrestagung Forschungsverbund Solarenergie 2003, Berlin, 25./26.9.2003
(¹: FMF, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg)
(²: Hahn-Meitner-Institut, Berlin) (³: Institut für Solarforschung Hameln, Emmerthal)
- Rein, S.¹; Glunz, S.W.; Willeke, G.
»Metastable Defect in Cz-Si: Electrical Properties and Quantitative Correlation with Different Impurities«, 3rd World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, Special Symposium on the Metastability of c-Si Solar Cells, Osaka, Japan, 11.–18.5.2003
(¹: FMF, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg)
- Rein, S.¹; Glunz, S.W.
»Advanced Lifetime Spectroscopy«, in: Proceedings, 13th Workshop on Crystalline Silicon Solar Cell Materials, Vail Mountain Resort, USA, 10.–13.8.2003, 18–25
(¹: FMF, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg)
- Roth, W.
»Netzferne Stromversorgung mit Photovoltaik«, Fachseminar Netzferne Stromversorgung mit Photovoltaik, OTTI-Energie-Kolleg, Freiburg, 5./6.2.2003
- Roth, W.
»Grundlagen zur Nutzung der Sonnenenergie«, Fachseminar Netzferne Stromversorgung mit Photovoltaik, OTTI-Energie-Kolleg, Freiburg, 5./6.2.2003
- Roth, W.
»Anwendungen – Industrieprodukte und Kleinsysteme«, Fachseminar Netzferne Stromversorgung mit Photovoltaik, OTTI-Energie-Kolleg, Freiburg, 5./6.2.2003
- Roth, W.
»Anwendungen – Telekommunikation und Telematik«, Fachseminar Netzferne Stromversorgung mit Photovoltaik, OTTI-Energie-Kolleg, Freiburg, 5./6.2.2003
- Roth, W.
»The Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE and its Activities in the Field of Rural Electrification and Off-Grid Power Supply«, NREL National Renewable Energy Laboratory, Golden, Colorado, USA, 23.5.2003
- Roth, W.
»The Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE and its Activities in the Field of Off-Grid Power Supply Systems«, NREL National Renewable Energy Laboratory, National Wind Technology Center, Boulder, Colorado, USA, 27.5.2003
- Roth, W.
»Validation of Hybrid 2 and HOMER with the Telecom Repeater Power Supply Data Set«, NREL National Renewable Energy Laboratory, Golden, Colorado, USA, 28.5.2003
- Roth, W.
»Fuel Cells in Photovoltaic Hybrid Systems for Stand-Alone Power Supplies«, 2nd European PV-Hybrid and Mini-Grid Conference, Kassel, 25.–26. 9.2003
- Sauer, D.U.
»Erschließung der Weltbank für Unternehmenskonsortien – Eine Gemeinschaftsinitiative der Fraunhofer-Gesellschaft und des Bayerischen Staatsministeriums für Wirtschaft, Verkehr und Technologie«, 18. Symposium Photovoltaische Solarenergie, Bad Staffelstein, 12.–14.3.2003
- Schumacher, J.O.; Fontes, E.¹; Gerteisen, D.; Hakenjos, A.; Kühn, K.; Ohlberger, M.²; Schmitz, A.; Tüber, K.; Ziegler, C.
»Modelling of Proton Exchange Membrane (PEM) Fuel Cells«, Forum Echem, Applied Electrochemistry, Vienna, Austria, 26.–28.2.2003
(¹: Comsol Burlington, MA, USA)
(²: Albert-Ludwigs-Universität Freiburg)
- Seibert, U.
»Anwendung – Wasseraufbereitung«, Fachseminar Netzferne Stromversorgung mit Photovoltaik, OTTI-Energie-Kolleg, Freiburg, 5./6.2.2003
- Sicre, B.; Henckes, L.¹
»Environmental Impact and Economical Potential of Small-Scale Stirling-CHP Units for Distributed Heat and Power Supply to Residential Buildings«, International Stirling Engine Conference, Rome, Italy, 19.–21.11.2003
(¹: ElFER, Karlsruhe)
- Siefer, G.; Bett, A.W.
»Characterisation of Multi-Junction Solar Cells«, 3rd Workshop: »The Path to Ultra High Efficient Photovoltaics«, JRC, Ispra, Italy, 2.–4.10.2003
- Steinhüser, A.
»Computerunterstützte Auslegung und Simulation von Photovoltaiksystemen«, Fachseminar Netzferne Stromversorgung mit Photovoltaik, OTTI-Energie-Kolleg, Freiburg, 5./6.2.2003
- Steinhüser, A.
»Simulationsprogramme«, Fachseminar Netzferne Stromversorgung mit Photovoltaik, OTTI-Energie-Kolleg, Freiburg, 5./6.2.2003
- Steinhüser, A.
»Photovoltaische Energieversorgungssysteme – Prinzipieller Systemaufbau und Einsatzmöglichkeiten«, Fachseminar Netzgekoppelte Photovoltaik-Anlagen, OTTI-Energie-Kolleg, Freiburg, 6./7.5.2003
- Steinhüser, A.
»Simulationsprogramme«, Fachseminar Netzgekoppelte Photovoltaik-Anlagen, OTTI-Energie-Kolleg, Freiburg, 6./7.5.2003
- Vogt, G.
»Training of Company Abilities to Integrate Social Aspects in PV-Projects for Rural Electrification«, 2nd European PV-Hybrid and Minigrd Conference, Kassel, 25./26.9.2003
- Will, S.
»Nicht-technische Aspekte der ländlichen Elektrifizierung«, Fachseminar Netzferne Stromversorgung mit Photovoltaik, OTTI-Energie-Kolleg, Freiburg, 5./6.2.2003
- Will, S.
»Training und Werkzeuge zu nicht-technischen Aspekten für Anbieter und Nutzer – Erhöhung der Nachhaltigkeit ländlicher Elektrifizierung mit PV-Systemen«, 18. Symposium Photovoltaische Solarenergie, Bad Staffelstein, 12.–14.3.2003
- Willeke, G.
»High Concentration Photovoltaics – State-Of-The-Art And Novel Approaches«, 3rd World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, Osaka, Japan, 11.–18.5.2003
- Willeke, G.; Räuber, A.
»Erfolge der Photovoltaik-Forschung, Silicium-Solarzellen«, Photovoltaik – Neue Horizonte Energieforum, International Solar Center Berlin, 25./26.9.2003

Veröffentlichungen

Balaras, C.A.¹; Michel, E.²; Argiriou, A.A.¹; Henning, H.M.

»Recent Activities on Solar Air Conditioning«, in: Ashrae Transactions, 2003, 251–260
(¹: National Observatory of Athens, Athen, Greece) (²: Comité Scientifique et Technique des Industries Climatiques COSTIC, St-Remy-les-Chevreuse, France)

Balaras, C.A.¹; Grossmann, G.²; Henning, H.-M.; Podesser, E.³; Wiemken, E.
»Solar Assisted Air Conditioning – A New Market for Solar Thermal Energy in Europe«, in: Tagungsband, European Solar Thermal Energy Conference ESTEC 2003, Freiburg, 26.–27.6.2003, 103–113
(¹: National Observatory of Athens, Athen, Greece) (²: Technion-Israel Institute for Technology, Haifa, Israel) (³: Joanneum Research, Graz, Austria)

Bau, S.¹; Janz, S.¹; Kieliba, T.¹; Schetter, C.; Reber, S.; Lutz, F.
»Application of a-SiC as Intermediate Layer in Crystalline Silicon Thin-Film Solar Cells«, in: Proceedings, 3rd World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, Osaka, Japan, 11.–18.5.2003, in Druck
(¹: FMF, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg)

Bau, S.¹; Rentsch, J.; Huljic, D.M.¹; Reber, S.; Hurre, A.; Willeke, G.
»Application of Screen-Printing Processes for Epitaxial Silicon Thin-Film Solar Cells«, in: Proceedings, 3rd World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, Osaka, Japan, 11.–18.5.2003, in Druck
(¹: FMF, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg)

Baur, C.; Bett, A.W.; Dimroth, F.; v. Riesen, S.¹; Kunert, B.²; Traversa, M.²; Volz, K.²; Stolz, W.²
»Development of a 1.0 eV (GaIn)(NAs) Solar Cell«, in: Proceedings, 3rd World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, Osaka, Japan, 11.–18.5.2003, in Druck
(¹: FMF, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg)
(²: Wissenschaftliches Zentrum für Materialwissenschaften, Philipps-Universität Marburg)

Becker, R.
»Vernetzte Embedded Systems und Visualisierung mit Java«, 16. Internationales Kolloquium über Anwendungen der Informatik und der Mathematik in Architektur und Bauwesen, Weimar, 10.–12. 6.2003, auf CD-Rom erh.

Benz, J.; Ortiz, B.; Roth, W.; Sauer, D.U.; Steinhüser, A.
»Fuel Cells in Photovoltaic Hybrid Systems for Stand-Alone Power Supplies«, in: Tagungsband, 2nd European PV-Hybrid and Mini-Grid Conference, Kassel, 25.–26.9.2003, 232–239

Benz, J.; Meyer, T.; Roth, W.; Müller, M.¹; Sauer, D.U.
»Universal Energy Supply Protocol (UESP)«, in: Proceedings, 2nd European PV-Hybrid and Mini-Grid Conference, Kassel, 25./26.9.2003, 340–345
(¹: Steca GmbH, Memmingen)

Bertani, A.¹; Bossi, C.¹; Delfino, B.²; Lewald, N.³; Massucco, S.²; Metten, E.⁴; Meyer, T.; Silvestro, F.²; Wasiak, I.⁵
»Electrical Energy Distribution Networks; Actual Situation and Perspectives for Distributed Generation«, in: Proceedings, CIRED 2004, Barcelona, Spain, 12.–15.5.2003
(¹: CESI, Milano, Italy) (²: Università degli Studi di Genova UGDIE, Genova, Italy) (³: Stadtwerke Karlsruhe, Karlsruhe) (⁴: MVV Energie AG, Mannheim) (⁵: Technical University of Lodz, Poland)

Bett, A.W.; Baur, C.; Dimroth, F.; Lange, G.; Meusel, M.; van Riesen, S.¹; Siefert, G.; Andreev, V.M.²; Rummyantsev, V.D.²; Sadchikov, N.A.²
»Flatcon-Modules: Technology and Characterisation«, in: Proceedings, 3rd World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, Osaka, Japan, 11.–18.5.2003, in Druck
(¹: FMF, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg)
(²: Ioffe Physico-Technical Institute, St. Petersburg, Russia)

Bläsi, B.; Bühler, C.; Georg, A.; Gombert, A.; Hoßfeld, W.; Mick, J.¹; Nitz, P.; Walze, G.; Wittwer, V.
»Microstructured Surfaces in Architectural Glazings«, in: Proceedings, ISES Solar World Congress 2003, Gothenburg, Sweden, 14.–19.6.2003, auf CD-Rom erh.
(¹: FMF, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg)

Bockamp, S.¹; Griestop, T.¹; Fruth, M.¹; Ewert, M.¹; Lerchenmüller, H.; Mertins, M.; Morin, G.; Häberle, A.²; Dersch, J.³
»Solar Thermal Power Generation«, in: Konferenzband, Power-Gen Europe 2003, Düsseldorf, 6.–8.5.2003, auf CD-Rom erh.
(¹: E.ON, Gelsenkirchen) (²: PSE GmbH, Freiburg) (³: Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, DLR, Köln)

Bühning, A.; Schmitz, G.¹; Voss, K.
»Modellbildung und Entwicklung von Kompressionswärmepumpen in Lüftungs-Kompaktgeräten für Solar-Passivhäuser«, in: HLH Heizung Lüftung/Klima Haustechnik, Nr. 2/2003, 43–50 und Nr. 3/2003, 55–61
(¹: Technische Universität Hamburg Harburg)

Bühning, A.
»Lüftungs-Kompaktgeräte vom Einfamilienhaus zum Mehrfamilienhaus, Konzepte und Messergebnisse«, in: Tagungsband zur 7. Europäische Passivhaustagung, 89–96, Hamburg, 21./22.2.2003

Bühning, A.; Schmitz, G.¹; Voss, K.
»Modelling and Development of Compression Heat Pumps in Integrated Ventilation and Heat Supply Units for Solar Passive Houses«, ASH-RAE Transactions to the Annual Meeting 2003 in Kansas City, Vol. 2, Part 2, No. 4651.
(¹: Technische Universität Hamburg Harburg)

Buschmann, S.¹; Wittwer, C.; Rommel, M.; Lustig, K.; Becker, R.
»Heizungsunterstützung mit solarthermischen Großanlagen«, in: Tagungsband, 13. Symposium Thermische Solarenergie, Bad Staffelstein 14.–16.5.2003, 192–197
(¹: Wilo GmbH, Dortmund)

Chigapov, A.¹; Susdorf, A.; Hübner, P.; Carberry, B.¹
»Low-Temperature CO Selective Oxidation in the Presence of H₂, H₂O and CO₂ on Cu - Containing Catalysts«, in: Proceedings, EURO-PACAT VI, Innsbruck, Austria, 31.8.–4.9.2003, auf CD-Rom erh.
(¹: Ford Forschungszentrum, Aachen)

Coutts, T.J.¹; Guazzoni, G.²; Luther, J.
»An Overview of the Fifth Conference on Thermophotovoltaic Generation of Electricity«, in: Semiconductor Science and Technology, Institute of Physics Publishing Bristol UK, 2003, ISSN 0268–1242, 144–150
(¹: National Renewable Energy Laboratory NREL, Golden, USA) (²: US Army CECOM C2SD, Ft. Monmouth, USA)

Degner, T.¹; Engler, A.¹; Schmid, J.¹; Strauß, P.¹; Viotto, M.¹; Meyer, T.; Erge, T.
»Integration erneuerbarer Energien in Versorgungsstrukturen – Inhalte europäischer Forschungsprojekte«, 18. Symposium Photovoltaische Solarenergie, Bad Staffelstein, 12.–14.3.2003, pp. 341–345
(¹: Institut für Solare Energieversorgungstechnik, ISET Kassel)

Dimroth, F.; Baur, C.; Meusel, M.; van Riesen, S.¹; Bett, A.W.
»5-Junction III-V Solar Cells for Space Applications«, in: Proceedings, 3rd World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, Osaka, Japan, 11.–18.5.2003, in Druck
(¹: FMF, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg)

Emanuel, G.; Wolke, W.; Preu, R.
»Process Induced Improvements of Carrier Lifetime Analysed by Spatially Resolved Measurements«, in: Proceedings, 3rd World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, Osaka, Japan, 11.–18.5.2003, in Druck

Emanuel, G.; Wolke, W.; Preu, R.
»Lifetime Improvements of Multicrystalline Silicon Analysed by Spatially Resolved Lifetime Measurements«, in: Proceedings, 3rd World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, Osaka, Japan, 12.–16.5.2003, in Druck

Erge, T.; Chin Haw, L.¹
»PV in Buildings for Malaysia: Prototype Solar House«, in: Proceedings, 3rd World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, Osaka, Japan, 11.–18.5.2003, in Druck
(¹: NLCC Architects, Kuala Lumpur, Malaysia)

Erge, T.; Rössler, E.¹; Gonzales Marsinach, A.²; Perpignan Lamigueiro O.²
»Photovoltaic Modules Integrated in Novel Noise Barrier Elements«, 5th European Conference on Noise Control, Naples, Italy, 19.–21. 2003, Acta Acustica united with Acustica, Vol. 89 (2003) Suppl.1, p. 31
(¹: freier Mitarbeiter) (²: Isofoton, Spain)

Faiman, D. ¹; Karnieli, A. ¹; Ninari, N. ¹; Melnichak, V. ¹; Karki, I. ¹; Bett, A.W.; Siefer, G.; van der Borg, N.J.C.M. ²; Burgers, A.R. ²; Dunlop, E.D. ³; Farhi, B. ⁴; King, D. ⁵; Boyson, W. ⁵; Kratochvil, J. ⁵; Myers, D. ⁶; Olivier, J. ⁷; Otani, K. ⁸; Sala, G. ⁹; Anton, I. ⁹; Pachon, D. ⁹

»Measurement and Comparison of the Ratio, of the Direct Beam to Normal Hemispherical Solar Spectra, in Various Parts of the World«, 3rd World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, Osaka, Japan, 11.–18.5.2003, in Druck

(¹: Ben-Gurion University of the Negev, Beer-Sheva, Israel) (²: Netherlands Energy Research Center, Petten, The Netherlands) (³: European Commission Joint Research Centre, Ispra, Italy) (⁴: Florida Solar Energy Center, Florida, USA) (⁵: Sandia National Laboratories, New Mexico, USA) (⁶: National Renewable Energy Laboratory, Colorado, USA) (⁷: Meteo-France, Carpentas, France) (⁸: National Institute of Advanced Industrial Science & Technology, Ibaraki, Japan) (⁹: Instituto de Energia Solar, Madrid, Spain)

Fontes, E. ¹; Byrne, P. ¹; Schumacher, J.O.; Vasileidas, N. ²; Parhammar, O. ³; Schmitz, A. ²
»Influence of the Microstructure of the Catalyst Layer on the Performance of the PEMFC Cathode«, in: Konferenzband, NanoTech 2003, San Francisco, USA, 23.–27.2.2003
(¹: COMSOL Inc. Burlington, MA, USA)
(²: Imperial College, London, UK)
(³: Catella Generics, Järfälla, Sweden)

Gerteisen, D.; Hakenjos, A.; Schumacher, J.O.
»Investigation of the Cathode Active Layer of PEM Fuel Cells Using AC Impedance Spectroscopy«, in: Proceedings, 2nd European Polymer Electrolyte Fuel Cell Forum, Lucerne, Switzerland, 30.6.–4.7.2003, 271–282

Glatthaar, M. ¹; Riede, M. ¹; Niggemann, M.; Zimmermann, B.; Hinsch, A.; Luther, J.
»Elektrische Modellierung von organischen Solarzellen«, in: Tagungsband, 12. FMF-Kolloquium, Titisee, 9./10.10.2003
(¹: FMF, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg)

Glunz, S.W.; Grohe, A.; Hermle, M.; Schneiderlöchner, E.; Dicker, J.; Preu, R.; Mäkel, H. ¹; Macdonald, D. ¹; Cuevas, A. ¹
»Analysis of Laser-Fired Local Back Surface Fields Using n⁺np⁺ Cell Structures«, in: Proceedings, 3rd World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, Osaka, Japan, 11.–18.5.2003, in Druck
(¹: Faculty of Engineering and IT, Australian National University, Canberra, Australia)

Glunz, S.W.; Schäffer, E.; Rein, S.; Bothe, K. ¹; Schmidt, J. ¹
»Analysis of the Defect Activation in CZ-Silicon by Temperature-Dependent Bias-Induced Degradation of Solar Cells«, in: Proceedings, 3rd World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, Osaka, Japan, 11.–18.5.2003, in Druck
(¹: Institut für Solarenergieforschung Hameln/Emmerthal ISFH, Emmerthal)

Goelz, S.; Rittner, C.; Vogt, G.; Vosseler, I. ¹; Ramírez, E. ¹; Vallvé, X. ¹; Joyce, A. ²; Rodrigues, C. ²; Ejarque, T. ³
»High Standard Energy Service by Multi-User PV Hybrid Grids (MSG): An Integrated Approach in »Veinat De Cal Peraire«, Catalonia, Spain«, in: Proceedings, 2nd European PV-Hybrid and Mini-Grid Conference, Kassel, 25./26.9.2003, auf CD-Rom erh.
(¹: TramaTecnAmbiental S.L., Barcelona, Spain)
(²: Instituto Nacional de Engenharia e Tecnologia Industrial, Lisbon, Portugal)
(³: Asociación SEBA, Barcelona, Spain)

Goetzberger, A.; Müller, M. ¹; Goller, M. ²
»Novel Glare Protection Element Based on Assymetric Fresnel Lenses«, in: Proceedings, ISES Solar World Congress 2003, Gothenburg, Sweden, 14.–19.6.2003, in Druck
(¹: Steca GmbH, Memmingen)
(²: Freiburg/Opfingen)

Gombert, A.
»Mikrostrukturierte Kunststoffoberflächen mit optischen Funktionen«, Transparente Kunststoffe, Würzburg, 28./29.4.2003, M/1–M/10

Gombert, A.
»Mikrostrukturierung von Oberflächen – Masterherstellung und Replikation«, in: Tagungsband, 4. Wörlitzer Workshop Funktionelle Schichten – Adhäsive und antiadhäsive Oberflächen, Wörlitz, 27.5.2003

Gombert, A.
»Oberflächentechniken für solare Energiesysteme«, in: Oberflächen und Schichten – Funktionsträger für Technik, Medizin, Ästhetik, Berichtsband über das 25. Ulmer Gespräch am 8. und 9. Mai 2003 in Neu-Ulm (Donau), Eugen G. Lenze Verlag Bad Saulgau, ISBN 3-87480-190-X, 118–123

Gombert, A.; Bläsi, B.; Bühler, C.; Nitz, P.; Mick, J. ¹; Hoßfeld, W.; Niggemann, M.
»Replicated Microstructures with Optical Functions in Solar and Display Applications«, in: SPIE Proceedings No. 5184, SPIE 48th Annual Meeting, San Diego, USA, 3.–8.8.2003, in Druck
(¹: Albert-Ludwigs-Universität Freiburg)

Grohe, A.; Schneiderlöchner, E.; Hermle, M.; Preu, R.; Glunz, S.W.; Willeke, G.; Walz, S. ¹
»Characterization of Laser-Fired Contacts Processed on Wafers with Different Resistivity«, in: Proceedings, 3rd World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, Osaka, Japan, 11.–18.5.2003, in Druck
(¹: FMF, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg)

Hakenjos, A.; Tüber, K.; Schumacher, J.O.; Hebling, C.
»Characterization of PEM Fuel Cell Performance Using Current Distribution Measurement in Comparison with a CFD Model«, in: Proceedings, 2nd European Polymer Electrolyte Fuel Cell Forum, Lucerne, Switzerland, 30.6.–4.7.2003, 209–218

Hauch, A. ¹; Georg, A.; Wittwer, V.; Luther, J.
»Limiting Process in Photoelectrochromic Devices with a Pt Layer«, in: Meeting abstracts, 203rd meeting Paris, France, 27.4.–2.5.2003, 1303
(¹: FMF, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg)

Hebling, C.
»Technology and Markets of Micro Fuel Cell Systems«, in: Proceedings, 1st Solar-Wind-Hydrogen/Fuel Cells, SWH, International Conference, Segovia, Spain, 7.–11.7.2003, 69–71

Hebling, C.
»Portable Fuel Cell Systems – From Modeling to Production Technology«, in: Proceedings, Small Fuel Cells 2003, New Orleans, USA, 7.–9.5.2003

Hebling, C.
»Miniaturisierte Brennstoffzellensysteme für portable Anwendungen«, in: Tagungsband, 10. Fachforum Brennstoffzellen, OTTI-Technologie Kolleg, Berlin, 7./8.10.2003, 331–350

Hebling, C.
»Entwicklung und Regelung von Mikro-Brennstoffzellensystemen«, in: Tagungsband, f-cell 2003, Stuttgart, 29./30.9.2003

Hebling, C.; Burger, B.; Hakenjos, A.; Hesselmann, J.; Münter, H.; Pocza, D.; Schumacher, J.O.; Wittstadt, U.; Zedda, M.; Zobel, M.
»PEM Fuel Cells for the Power Supply of Electronic Appliances«, in: Proceedings, 2nd European Polymer Electrolyte Fuel Cell Forum, Lucerne, Switzerland, 30.6.–4.7.2003, 143–152

Hebling, C.; Groos, U.
»Brennstoffzellen zur Energieversorgung elektronischer Geräte«, in: GWF 7-8, Juli-August 2003, 404–410

Hebling, C.; Groos, U.
»Brennstoffzellen im kleinen Leistungsbereich«, in: Book of Abstracts, Zukunft Wasserstoff – Forum Brennstoffzelle, Linz, Austria, 14./15.10.2003

Hebling, C.; Groos, U.
»Markteinführung von kleinen Brennstoffzellen«, in: Funkschau, Heft 21/2003, 32–34

Hebling, C.
»Markteinführung von kleinen Brennstoffzellen«, in: H2-tec, Oktober 2003, 3

Hebling, C.; Groos, U.; Voigt, M. ¹; Freesen, I. ²
»European Fuel Cell Study«, veröffentlicht 9.10.2003, zu bestellen über Freesen & Partner, www.freesen-partner.de
(¹: VDI/VDE Technologiezentrum Informationstechnik GmbH, Teltow)
(²: Freesen & Partner, Düsseldorf)

Henning, H.M.
»Auslegung von solaren Klimatisierungssystemen«, in: Tagungsband, 13. Symposium Thermische Solarenergie, Bad Staffelstein 14.–16.5.2003, 253–258

Henning, H.M.
»Cool bleiben mit Sonnenwärme – Solare Klimatisierung von Gebäuden«, in: Solares Bauen, Sonderheft der Sonnenenergie, Oktober 2003, 60–62

Henning, H.M.; Wiemken, E.
»Solar Assisted Air-Conditioning of Buildings – an Overview«, in: Proceedings, ISES Solar World Congress 2003, Gothenburg, Sweden, 14.–19.6.2003, auf CD-Rom erh.

Henning, H.-M.; Wiemken, E.
»Solar Assisted Cooling of the New German Federal Environmental Agency Building in Dessau«, in: Proceedings, ISES Solar World Congress 2003, Gothenburg, Sweden, 14.–19.6.2003, auf CD-Rom erh.

Henning, H.M.; Balaras, C.A.¹; Infante-Ferreira, C.A.²; Podesser, E.³; Wang, L.²; Wiemken, E.
»Solar Assisted Air-Conditioning – a New Market for Solar Thermal Energy in Europe«, in: Proceedings, ISES Solar World Congress 2003, Gothenburg, Sweden, 14.–19.6.2003, auf CD-Rom erh.
(¹: National Observatory of Athens, Athen, Greece) (²: Technichal University, Delft, The Netherlands) (³: Joanneum Research, Graz, Austria)

Hermann, M.
»FracTherm – Fraktale Hydraulikstrukturen für Solarabsorber und andere Wärmetauscher«, in: Tagungsband, 13. Symposium Thermische Solarenergie, Bad Staffelstein 14.–16.5.2003, 117–122

Hermann, M.
»FracTherm – Fraktale Hydraulikstrukturen für energieeffiziente Wärmetauscher«, in: Erneuerbare Energien, 9 (2003), pp. 74–76

Hermle, M.; Dicker, J.¹; Warta, W.; Glunz, S.W.; Willeke, G.
»Analysis of Edge Recombination for High-Efficiency Solar Cells at Low Illumination Densities«, in: Proceedings, 3rd World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, Osaka, Japan, 11.–18.5.2003, in Druck
(¹: FMF, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg)

Hezel, R.1, Glunz, S.W.
»Neue Silicium-Solarzellenstrukturen für höhere Wirkungsgrade« in: Tagungsband, Jahrestagung Forschungsverbund Solarenergie 2003, Berlin, 25./26.9.2003, in Druck
(¹: Institut für Solarforschung Hameln (ISFH), Emmerthal)

Hindenburg, C.; Siems, T.; Dotzler, W.¹; Kallwellis, V.²
»Neuentwicklung eines Solarluftkollektors in Modulbauweise«, in: Proceedings, 13. Symposium Thermische Solarenergie, Bad Staffelstein, 14.–16.5.2003, 211–215
(¹: Firma Grammer Solar + Bau, Amberg) (²: PSE GmbH, Freiburg)

Hindenburg, C.; Schnabel, L.; Geucke, T.; Motta, M.;
»First Thermally Solar Autarc Air Conditioning System in Germany – Simulations, Operation Experiences and Economic Aspects«, in: Proceedings, ISES Solar World Congress, Gothenburg, Sweden, 14.–20.6.2003, in Druck

Hindenburg, C.; Siems, T.; Kallwellis, V.¹
»New Test Facility for Solar Air Collectors at Fraunhofer ISE«, ISES Solar World Congress 2003, Gothenburg, Sweden, 14.–19.6.2003, in Druck
(¹: PSE GmbH, Freiburg)

Hinsch, A.
»Dye and Organic Solar Cells; Similarities and Differences in Research and for Future Production«, in: Book of Abstracts, 1st Solar-Wind-Hydrogen International Conference, Segovia, Spain, 7.–11.7.2003, www.swhconf.com

Hinsch, A.; Würfel, U.¹; Hore, S.¹; Sastrawan, R.; Kern, R.; Luther, J.
»Recent Concepts to Improve the Efficiency of Dye Solar Cells«, in: Book of Abstracts, Quantsol 2003, Bad Gastein, Austria, 16.–22.3.2003
(¹: FMF, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg)

Hinsch, A.; Niggemann, M.¹; Ell, J.¹; Riede, M.; Glatthaar, M.; Zimmermann, B.¹; Kern, R.; Luther, J.
»Polymere Solarzellen«, in: Tagungsband, 12. FMF-Kolloquium, Titisee, 9./10.10.2003
(¹: FMF, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg)

Hoßfeld, W.; Bläsi, B.; Gombert, A.; Mick, J.¹
»Modelling of Micro Prism Gratings in Architectural Glazings«, in: Proceedings, Diffractive Optics 2003, Oxford, Great Britain, 16.–20.9.2003, in Druck
(¹: IMTEK, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg)

Hoßfeld, W.; Wittwer, V.; Nitz, P.; Gombert, A.; Bläsi, B.; Bühler, C.; Georg, A.; Mick, J.¹
»Application of Microstructured Surfaces in Architectural Glazings«, in: Proceedings of Glass Processing Days 2003, Tampere, Finland, 15.–18.6.2003, pp. 342–44
(¹: IMTEK, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg)

Hube, W.¹; Wittwer, C.
»Prädiktive Wärmeflussregelung solaroptimierter Wohngebäude – Thermische Simulation komplexer Gebäude«, in: Tagungsband, 16. Internationales Kolloquium über Anwendungen der Informatik und der Mathematik in Architektur und Bauwesen, Weimar, 10.–12.6.2003, auf CD-Rom erh.
(¹: PSE GmbH, Freiburg)

Hübner, P.
»Erdgas- und Heizölreformierung zur Wasserstoffherzeugung für Brennstoffzellen-Blockheizkraftwerke«, in: Energie Wasser Praxis Nr. 54/2003, 8–12

Huljic, D.M.; Ballif, C.¹; Hessler-Wyser, A.²; Willeke, G.
»Microstructural Analyses of Ag Thick-Film Contacts on N-Type Silicon Emitters«, in: Proceedings, 3rd World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, Osaka, Japan, 11.–18.5.2003, in Druck
(¹: Fraunhofer ISE, Labor- und Servicecenter Gelsenkirchen) (²: Swiss Federal Institute of Technology CIME, Lausanne, Switzerland)

Isenberg, J.¹; Warta, W.
»Analyse von Leistungsverlusten in c-Si-Solarzellen«, in: Tagungsband, 12. FMF-Kolloquium, Titisee, 9./10.10.2003
(¹: FMF, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg)

Kampwerth, H.; Rein, S.¹; Glunz, S.W.
»Pure Experimental Determination of Surface Recombination Properties with High Reliability«, in: Proceedings, 3rd World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, Osaka, Japan, 11.–18.5.2003, in Druck
(¹: FMF, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg)

Kieliba, T.; Pohl, J.; Eyer, A.; Schmiga, C.¹
»Optimization of c-Si Films Formed by Zone-Melting Recrystallization for Thin-Film Solar Cells«, Proceedings, 3rd World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, Osaka, Japan, 11.–18.5.2003, in Druck
(¹: Institut für Solarenergieforschung Hameln/Emmerthal (ISFH), Emmerthal)

Köhl, M.; Orel, B.¹; Vilcnik, A.¹; Surca Vuk, A.¹; Jelen, B.²; Brucker, F.
»Thickness Insensitive Spectrally Selective (TISS) Paint Coatings for Glazed and Unglazed Solar Buildings Facades«, in: Proceedings, ISES World Congress 2003, Gothenburg, Sweden, 14.–19.6.2003, auf CD-Rom erh.
(¹: National Institute of Chemistry, Ljubljana, Slovenia) (²: Color d.d., Medvode, Slovenia)

Köhl, M.; Forcht, K.¹
»The Experimental Assessment of the Effects of Non-Lambertian Surfaces on Integrating Sphere Measurement in the Mid-IR«, in: Proceedings, SPIE Annual Meeting, Optical Diagnostic Methods for Inorganic Materials III, San Diego, USA, 3.–8.8.2003, in Druck
(¹: Carl Zeiss AG, Oberkochen)

Köhl, M.; Heck, M.; Brunold, S.¹; Frei, U.¹; Carlsson, B.²; Möller, K.²
»Advanced Procedure for the Assessments of the Lifetime of Solar Absorber Coatings«, in: Proceedings, ISES Solar World Congress, Gothenburg, Sweden, 14.–19.6.2003, auf CD-Rom erh.
(¹: Institut für Solartechnik SPF, Rapperswil, Switzerland) (²: SP Swedish National Testing and Research Institute, Borås, Sweden)

Köhl, M.; Heck, M.; Carlsson, B.¹; Möller, K.¹; Brunold, S.²; Marechal, J.-C.³; Jorgensen, G.⁴
 »The Applicability of Accelerated Life Testing for Assessment of Service of Solar Thermal Components«, in: Proceedings, ISES Solar World Congress, Gothenburg, Sweden, 14.–19.6.2003, auf CD-Rom erh.
 (¹: SP Swedish National Testing and Research Institute, Borås, Sweden) (²: Institut für Solartechnik SPF, Rapperswil, Switzerland) (³: CSTB Centre Scientifique et technique du Bâtiment, Saint-Martin d'Hères, France) (⁴: National Renewable Energy Laboratory NREL, Golden, USA)

Köhl, M.; Heck, M.; Brunold, S.¹; Frei, U.¹; Carlsson, B.²; Möller, K.²
 »Lebensdauerabschätzung bei Belastungen, die von Eigenschaften des Prüflings abhängen«, in: Tagungsband, 32. Jahrestagung der Gesellschaft für Umweltsimulation GUS »Umwelteinflüsse erfassen, simulieren, bewerten«, Pfanzelt bei Karlsruhe, 26.–28.3.2003, 119
 (¹: Institut für Solartechnik SPF, Rapperswil, Switzerland) (²: SP Swedish National Testing and Research Institute, Borås, Sweden)

Köhl, M.; Heck, M.; Möller, K.¹; Brunold, S.²; Marechal, J.³; Jorgensen, G.⁴; Carlsson, B.⁵
 »Assessment of Service Life of Solar Thermal Components by Accelerated Life Testing«, in: Proceedings, 1st European Weathering Symposium EWS, Prag, Czech Republic, 25.–26.9.2003, auf CD-Rom erh.
 (¹: SP Swedish National Testing and Research Institute, Borås, Sweden) (²: Institut für Solartechnik SPF, Rapperswil, Switzerland) (³: CSTB Centre Scientifique et Technique du Bâtiment, Saint-Martin d'Hères, France) (⁴: National Renewable Energy Laboratory NREL, Golden, USA) (⁵: SP Swedish National Testing and Research Institute, Borås, Sweden)

Köhl, M.; Heck, M.; Jorgensen, G.¹; Brunold, S.²; Carlsson, B.³; Möller, K.³
 »Durability of Polymeric Glazing Materials for Solar Applications«, in: Tagungsband, 1. Leobener Symposium »Polymeric Solar Materials. Solartechnik – Neue Möglichkeiten für die Kunststoffbranche«, Leoben, Österreich, 6./7.11.2003, V1–V10
 (¹: National Renewable Energy Laboratory NREL, Golden, USA) (²: Institut für Solartechnik SPF, Rapperswil, Switzerland) (³: SP Swedish National Testing and Research Institute, Borås, Sweden)

Koschikowski, J.¹; Wieghaus, M.; Rommel, M.
 »Solar Thermal Driven Desalination Plants on Membrane Distillation«, in: Proceedings, European Conference in Desalination and the Environment, Malta, Republic of Malta, 4.–8.5.2003, 295–304
 (¹: PSE GmbH, Freiburg)

Koschikowski, J.¹; Schäfer, A.; Schmitt, Y.; Schmidt, V.; Rommel, M.
 »Charakterisierung des neuen Solarsimulators am Fraunhofer ISE«, in: Tagungsband, 13. Symposium Thermische Solarenergie, Bad Staffelstein 14.–16.5.2003, 318–324
 (¹: PSE GmbH, Freiburg)

Kray, D.; Dicker, J.¹; Osswald, D.¹; Leimenstoll, A.; Glunz, S.W.; Zimmermann, W.²; Uebele, P.²; Strobl, G.²
 »Progress in High-Efficiency Emitter-Wrap-Through Cells on Medium Quality Substrates«, in: Proceedings, 3rd World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, Osaka, Japan, 11.–18.5.2003, in Druck
 (¹: FMF, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg) (²: RWE Space Solar Power GmbH, Heilbronn)

Kray, D.; Leimenstoll, A.; Glunz, S.W.; Willeke, G.P.
 »Analysis of Very Thin High-Efficiency Solar Cells«, in: Proceedings, 3rd World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, Osaka, Japan, 11.–18.5.2003, in Druck

Kreitz, S.; Sauer, D.U.; Roth, W.
 »Exportinitiative zu Produkten und Dienstleistungen für die ländliche Elektrifizierung«, in: e.velope, Magazin der Bundesregierung, www.bundesregierung.de/Service/Online-Publikationen/E-Magazines-,9276.506242/e-magazine.htm?link=bpa_ezine

Kuhn, T.; Wienold, J.
 »Sommerlicher Wärmeschutz und Tageslichtnutzung im Verwaltungsbau«, Tagungsband, Architektenforum auf der R+T 2003, Messe Stuttgart, Stuttgart, 21.2.2003, 45

Kuhn, T.; Wienold, J.
 »Neue Regelstrategien zur simultanen Optimierung von Sonnenschutz, Blendschutz und Tageslichtversorgung«, in: Tagungsband, 9. Symposium Innovative Lichttechnik in Gebäuden, Bad Staffelstein, 23./24.1.2003, 126–133

Kuhn, T.; Wienold, J.
 »Solar Control«, in: Tagungsband, Conference Tall Buildings and Transparency, Stuttgart, 5.–7.10.2003, auf CD-Rom erh.

Kuhn, T.; Wienold, J.
 »Entwicklung der neuen Jalousie mit »Genius-Lamellen«, in: Licht, März 2003, 40/41

Kühn, K.^{1,2}; Ohlberger, M.^{3,4}; Schumacher, J.O.¹; Ziegler, C.¹; Klöforn, R.³
 »A Dynamic Two-Phase Flow Model of Proton Exchange Membrane Fuel Cells«, in: Proceedings, 2nd European Polymer Electrolyte Fuel Cell Forum, Luzern, Switzerland, 30.6.–4.7.2003, 283–296
 (¹: Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme, Freiburg) (²: Institut für Theoretische Physik, Technische Hochschule Aachen, Aachen) (³: Abteilung für Angewandte Mathematik, Albert-Ludwigs-Universität, Freiburg) (⁴: Center for Scientific Computation And Mathematical Modeling, University of Maryland, College Park, USA)

Lee, J.Y.; Dicker, J.¹; Rein, S.¹; Glunz, S.W.
 »Investigation of Various Surface Passivation Layer Systems for Silicon Solar Cells«, in: Proceedings, 3rd World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, Osaka, Japan, 11.–18.5.2003, in Druck
 (¹: FMF, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg)

Létay, G.¹; Breselge, M.; Bett, A.W.
 »Calculating the Generation Function of III-V Solar Cells«, in: Conference Proceedings, 3rd World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, Osaka, Japan, 11.–18.5.2003, in Druck
 (¹: FMF, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg)

Lin, K.¹; Catchpole, K.R.¹; Trupke, T.¹; Campbell, P.^{1,2}; Green, M.A.¹; Aberlen, A.G.^{1,2}; Corkish, R.^{1,2}; Bett, A.W.; Dimroth, F.
 »High External Quantum Efficiency from Double Heterostructured Layers as Selective Emitters in Thermophotonic Systems«, in: Proceedings, 3rd World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, Osaka, Japan, 11.–18.5.2003, in Druck
 (¹: Centre for Third Generation Photovoltaics University of New South Wales, Sydney, Australia) (²: Photovoltaics Special Research Centre University of New South Wales, Sydney, Australia)

Lustig, K.; Rommel, M.
 »Entwicklung von Solarkollektoren aus kunstharzbeschichteter Wellpappe«, in: Tagungsband, 1. Leobener Symposium POLY-MERIC SOLAR MATERIALS, Leoben, Austria 6./7.11.2003, XXI-19

Luther, J.
 »Thermophotovoltaic Generation of Electricity«, in: Proceedings, 3rd World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, Osaka, Japan, 11.–18.5.2003, in Druck

Luther, J.
 »Thermophotovoltaic Generation of Electricity, Fifth Conference on Thermophotovoltaic Generation of Electricity, Rome, Italy, 16.–19. September 2002«, T. J. Coutts, G. Guazzoni, J. Luther (Eds.), American Institute of Physics Conference Proceedings, Vol. 653, Melville, New York, 2003, ISBN 0-7354-0113-6

Macdonald, D.¹; Rein, S.²; Lichtner, P.; Glunz, S.W.; Cuevas, A.¹
 »Temperature- and Injection-Dependent Lifetime Spectroscopy of Copper-Related Defects in Silicon« in: Proceedings, 3rd World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, Osaka, Japan, 11.–18.5.2003, in Druck
 (¹: Australian National University, Canberra, Australien) (²: FMF, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg)

Mertins, M.; Lerchenmüller, H.; Wittwer, C.; Häberle, A.¹
 »Horizontale Fresnelkollektoren für den Einsatz in Solarthermischen Kraftwerken«, in: Tagungsband, 13. Symposium Thermische Solarenergie, Bad Staffelstein 14.–16.5.2003, 123–127
 (¹: PSE GmbH, Freiburg)

Meusel, M.; Schwarzburg, K.¹; Létay, G.; Dimroth, F.; Bett, A.W.
»Optimierung des GaInP/GaAs Hetero-
übergangs für die Anwendung in Solarzellen«,
in: Tagungsband XVII Arbeitskreistreffen des
DGKK Arbeitskreis Epitaxie von III/V Halbleitern,
Magdeburg, 12./13.12.2002, 50
(¹: Hahn-Meitner Institut, Berlin)

Meyer, T.
»Nutzen der netzgekoppelten Photovoltaik jen-
seits der Kilowattstunde«, in: Tagungsband, 18.
Symposium Photovoltaische Solarenergie, Bad
Staffelstein, 12.–14.3.2003, 183–188

Meyer, T.; Vegas, A.¹; Sauer, D.U.; Benz, J.
»Integrated Design Approach for PV-Hybrid
Systems«, in: Proceedings, 2nd European PV-
Hybrid and Mini-Grid Conference, Kassel,
25./26.9.2003, auf CD-Rom erh.
(¹: INTA – Instituto Nacional de Tecnica
Aeroespacial, Madrid, Spain)

Mitjà, A.¹; Torra, C.¹; Izquierdo, S.¹;
Peters, C.¹; Vallvé, X.²; Gafas, G.²; Vosseler, I.²;
De Cisneros, E.J.²; Joyce, A.³; Rodrigues, C.³;
Mosler, H.-J.⁴; Blecua, V.⁵; Fabre, A.⁵;
Sauer, D.U.; Will, S.; Vázquez, M.⁶
»Micro redes electricas con generacion solar
Híbrida-MGS«, in: Proceedings, XI Congresso
Ibérico e VI Congresso Ibero-Americano de
Energia Solar, Vilamoura, Portugal,
29.9.–2.10.2002
(¹: Institut Catalan d'Energia ICAEN, Barcelona
Spanien) (²: Trama Tecnològica, Barcelona,
Spain) (³: Instituto Nacional de Engenharia e
Tecnologia Industrial INETI, Lisbon, Portugal)
(⁴: Universität Zürich, Switzerland) (⁵: Vergnet
SA, Saran, Frankreich) (⁶: Universidad Vigo,
Spain)

Mohr, A.; Steuder, M.; Bett, A.W.; Glunz, S.W.
»Silicon Concentrator Cells Designed for a
Direct Mounting on Compound Parabolic
Concentrator«, in: Proceedings, 3rd World
Conference on Photovoltaic Energy Conversion,
Osaka, Japan, 11.–18.5.2003, in Druck

Motta, M.; Henning, H.M.
»An Innovative Approach towards Solar
Desiccant Cooling Systems Yearly Simulations«,
in: Proceedings, ISES Solar World Congress
2003, Gothenburg, Sweden, 14.–19.6.2003,
auf CD-Rom erh.

Müller, M.¹; Goetzberger, A.; Goller, M.²
»Neuartiges optisches Element und eine inno-
vative Anwendung als Blendschutzelement
basierend auf asymmetrischen Fresnellinien«, in:
Tagungsband, Neuntes Symposium Innovative
Lichttechnik in Gebäuden, Bad Staffelstein,
23./24.1.2003, 113–118
(¹: Steca GmbH, Memmingen)
(²: Freiburg/Opfingen)

Nitz, P.; Wagner, A.¹
»Schalt- und regelbare Verglasungen, Teil I:
Durchsicht per Knopfdruck«, in: Glaswelt
6/2003, 42–47
(¹: Universität Karlsruhe)

Nitz, P.; Wagner, A.¹
»Schalt- und regelbare Verglasungen, Teil II:
Durchsicht per Knopfdruck«, in: Glaswelt
7/2003, 24–26
(¹: Universität Karlsruhe)

Nitz, P.; Wagner, A.¹
»Schalt- und regelbare Verglasungen, Teil III:
Durchsicht per Knopfdruck«, in: Glaswelt
8/2003, 22–23
(¹: Universität Karlsruhe)

Nitz, P.; Wagner, A.¹
»Schalt- und regelbare Verglasungen, Teil IV:
Durchsicht per Knopfdruck«, in: Glaswelt
9/2003, 34–39
(¹: Universität Karlsruhe)

Nitz, P.; Gombert, A.; Bläsi, B.; Georg, A.; Mick,
J.; Bühler, Ch.; Walze, G.; Hossfeld, W.
»Sonnenschutz und Lichtlenkung durch mikro-
strukturierte Oberflächen«, in: Tagungsband, 9.
Symposium Innovative Lichttechnik in
Gebäuden, Bad Staffelstein, 23./24.1.2003,
103–108

Nitz, P.
»Thermotrope Schichten und
Lichtlenkstrukturen«, in: Tagungsband, 1.
Symposium Polymeric Solar Materials, Leoben,
Austria, 5./6.11.2003, in Druck

Nitz, P.
»Sonnenschutz mit thermotropen Schichten«,
in: Tagungsband, 1. Symposium Polymeric Solar
Materials, Leoben, Austria, 5./6.11.2003, in
Druck

Núñez, T.; Henning, H.M.; Mittelbach, W.¹
»High Energy Density Heat Storage System –
Achievements and Future Work«, in:
Proceedings, 9th International Conference on
Thermal Energy Storage »FUTURESTOCK
2003«, Warsaw, Poland, 1.–4.9.2003, 173–178
(¹: Sortech AG, Freiburg)

Núñez, T.; Henning, H.M.; Mittelbach, W.¹
»High Energy Density Heat Storage System –
Achievements and Future Work«, in:
Proceedings, ISES Solar World Congress 2003,
Gothenburg, Sweden, 14.–19.6.2003, auf CD-
Rom erh.
(¹: Sortech AG, Freiburg)

Ødegård, A.; Hufschmidt, S.; Wilmshöfer R.¹;
Hebling, C.
»Portable Size DMFC Stack«, 2nd European
PECF Forum, Lucerne, Switzerland;
30.6.–4.7.2003, 591–602
(¹: Fachhochschule Koblenz, Koblenz)

Pfafferott, J.; Herkel, S.
»Evaluation of a Parametric Model and Building
Simulation for Design of Passive Cooling by
Nocturnal Ventilation«, in: Proceedings,
Building Simulation 2003, Eindhoven, The
Netherlands, 11.–14.8.2003, 1033–1039

Pfafferott, J.; Herkel, S.; Voss, K.
»Passive Kühlung mit Nachtlüftung und
Erdwärmetauscher: Betriebserfahrungen aus
drei Niedrigenergie-Bürogebäuden«,
EnergieEffizientes Bauen I/2003, 3–10

Pfafferott, J.; FIZ Karlsruhe (Hrsg.).
»Passive Kühlung mit Nachtlüftung«,
BINethemeninfo I/2003

Platzer, W.
»Eigenschaften und Einsatzkriterien für optisch
schaltbare Fassaden bei Bürogebäuden«, in:
Tagungsband 13. Symposium Thermische
Solarenergie, Bad Staffelstein, 14.–16.5.2003,
474–478

Platzer, W.
»Switchable Facade Technology – Energy
Efficient Office Buildings with Smart Facades«,
in: Proceedings ISES Solar World Congress 2003,
Gothenburg, Sweden, 14.–19.6.2003, auf CD-
Rom erh.

Polato, P.¹; Rossi, G.²; Roucour, J.³; Simons, J.⁴;
Wilson, H.R.⁵
»Spectrophotometric Determination of Visible
and Solar Parameters of Sand-Blasted Glass
Panels and Translucent Glass Laminates«, in:
Rivista della Stazione Sperimentale del Vetro,
5–2003, 5–18
(¹: SSV, Murano, Italy) (²: IEN Galileo Ferraris,
Torino, Italy) (³: Glaverbel, Jumet, Belgium)
(⁴: BCRC, Mons, Belgium) (⁵: Interpane
Entwicklungs- und Beratungsgesellschaft mbH
& Co KG, Lauenförde)

Preu, R.; Biro, D.; Emanuel, G.; Grohe, A.;
Hofmann, M.; Hujic, D.¹; Rentsch, J.; Reis, I.;
Sparber, W.; Wolke, W.; Willeke, G.
»Technology Path to the Industrial Production
of Highly Efficient and Thin c-Si Solar Cells«,
3rd World Conference on Photovoltaic Energy
Conversion, Osaka, Japan, 11.–18.5.2003, in
Druck
(¹: FMF, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg)

Preu, R.; Schneiderlöchner, E.; Grohe, A.;
Hofmann, M.; Kray, S.; Glunz, S.; Willeke, G.
»Laser-Fired Contacts«, in: Conference
Handbook, 13th Workshop on Crystalline
Silicon Solar Cell Materials and Processes, Vail,
USA, 10.–13.8.2003, in Druck

Reber, S.; Haase, C.; Schillinger, N.; Bau, S.¹;
Hurrle, A.
»The RTCVD160 – a New Lab-Type Silicon CVD
Processor for Silicon Deposition on Large Area
Substrates«, in: Proceedings, 3rd World
Conference on Photovoltaic Energy Conversion,
Osaka, Japan, 11.–18.5.2003, in Druck
(¹: FMF, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg)

Rein, S.¹; Lips, K.²; Schmidt, J.³
»Materialforschung mit neuen analytischen
Methoden«, in: Tagungsband, Forschungs-
verbund Solarenergie Jahrestagung 2003,
Berlin, 25./26.9.2003, in Druck
(¹: FMF, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg)
(²: Hahn-Meitner-Institut, Berlin) (³: Institut für
Solarforschung Hameln (ISFH), Emmerthal)

Rein, S.¹; Diez, S.; Falster, R.²; Glunz, S.W.
»Quantitative Correlation of the Metastable
Defect in Cz-Silicon with Different Impurities«,
in: Proceedings, 3rd World Conference on
Photovoltaic Energy Conversion, Osaka, Japan,
11.–18.5.2003, in Druck
(¹: FMF, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg)
(²: MEMC Electronic Materials S.p.A. Novara,
Italy)

Rein, S.¹; Lichtner, P.; Glunz, S.W.
 »Advanced Lifetime Spectroscopy:
 Unambiguous Determination of the Electronic
 Properties of the Metastable Defect in Boron-
 Doped Cz-Silicon«, in: Proceedings, 3rd World
 Conference on Photovoltaic Energy Conversion,
 Osaka, Japan, 11.–18.5.2003, in Druck
 (¹: FMF, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg)

Rein, S.¹; Glunz, S.W.; Willeke, G.
 »Metastable Defect in Cz-Si: Electrical
 Properties and Quantitative Correlation with
 Different Impurities«, in: Proceedings, 3rd
 World Conference on Photovoltaic Energy
 Conversion, Special Symposium on the
 Metastability of c-Si Solar Cells, Osaka, Japan,
 11.–18.5.2003, in Druck
 (¹: FMF, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg)

Rein, S.¹; Glunz, S.W.
 »Advanced Lifetime Spectroscopy«, in:
 Proceedings, 13th Workshop on Crystalline
 Silicon Solar Cell Materials, Vail Mountain
 Resort, USA, 10.–13.8.2003, 18–25
 (¹: FMF, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg)

Reise, C.
 »Planungssicherheit für Tageslicht- und
 Sonnenschutzsysteme«, in: Beitragsband,
 Kolloquium »Energieverbrauch für Beleuchtung
 in Gebäuden«, Berlin, 12.3.2003, auf CD-Rom
 erh.

Reise, C.; Voss, K.¹; Haas, A.²
 »Gebäudeenergiekonzepte mit Photovoltaik«,
 Deutsches Architektenblatt, Juni 2003, 66–69
 (¹: Bergische Universität Wuppertal) (²: EMPA,
 Dübendorf, Switzerland)

Reise, C.; Voss, K.¹; Haas, A.²
 »Häuser unter Strom: Photovoltaik im
 Gebäudeenergiekonzept«, in: Solares Bauen,
 Sonderheft der Sonnenenergie, Oktober 2003,
 57–59
 (¹: Bergische Universität Wuppertal) (²: EMPA,
 Dübendorf, Switzerland)

Reise, C.; Wienold, J.; Kuhn, T.
 »Planungspraxis und Forschungsprojekte am
 Fraunhofer ISE«, in: Tageslicht, 1/2003, 50–53

Reise, C.; Wienold, J.; Kuhn, T.
 »Tageslicht und Sonnenschutz: Planungspraxis
 und Forschungsprojekte am Fraunhofer ISE«,
 in: Energieeffizientes Bauen, 1/2003, 50–53

Rentsch, J.; Emanuel, G.; Schetter, C.;
 Aumann, T.¹; Theirich, D.¹; Gentischer, J.³;
 Roth, K.²; Fritzsche, M.²; Dittrich, K.-H.²;
 Preu, R.
 »Plasma Etching for Industrial In-Line
 Processing of c-Si Solar Cells«, in: Proceedings,
 3rd World Conference on Photovoltaic Energy
 Conversion, Osaka, Japan, 11.–18.5.2003, in
 Druck
 (¹: fm – Forschungszentrum für Mikrostruktur-
 technik, Wuppertal) (²: Roth & Rau Ober-
 flächentechnik AG, Hohenstein-Ernstthal)
 (³: ACR GmbH, Niedereschach)

Rentsch, J.; Huljic, D.M.; Kieliba, T.; Bilyalov, R.;
 Reber, S.
 »Screen Printed c-Si Thin Film Solar Cells on
 Insulating Substrates«, in: Proceedings, 3rd
 World Conference on Photovoltaic Energy
 Conversion, Osaka, Japan, 11.–18.5.2003, in
 Druck

Riede, M.¹; Glatthaar, M.¹; Niggemann, M.
 Zimmermann, B.; Hinsch, A.; Luther, J.
 »Untersuchung von photovoltaisch aktiven
 Grenzflächen zwischen organischen und anor-
 ganischen Leitern«, in: Tagungsband, 12. FMF-
 Kolloquium, Titisee, 9./10.10.2003
 (¹: FMF, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg)

Riepe, S.; Stokkan, G.¹; Kieliba, T.; Warta, W.
 »Carrier Density Imaging as a Tool for
 Characterising the Electrical Activity of Defects
 in Pre-Processed Multicrystalline Silicon«, in
 Solid State Phenomena, 95–96 (2004), GADEST
 2003, pp. 229–234
 (¹: Institute for Materials Technology,
 Norwegian University of Science and
 Technology, Trondheim, Norway)

v. Riesen, S.¹; Bett, A.W.; Willeke, G.
 »Accelerated Aging Tests on III-V Single- and
 Multi-Junction Solar Cells«, in: Proceedings, 3rd
 World Conference on Photovoltaic Energy
 Conversion, Osaka, Japan, 11.–18.5.2003, in
 Druck
 (¹: FMF, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg)

v. Riesen, S.¹; Bett, A.W.
 »Beschleunigte Alterung von III/V Solarzellen«,
 in: Tagungsband, 12. FMF-Kolloquium, Titisee,
 9./10.10.2003
 (¹: FMF, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg)

v. Riesen, S.¹; Dimroth, F.; Bett, A.W.
 »Fabrication of MIM-GaAs Solar Cells for High
 Concentration PV«, in: Proceedings, 3rd World
 Conference on Photovoltaic Energy Conversion,
 Osaka, Japan, 11.–18.5.2003, in Druck
 (¹: FMF, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg)

Rinio, M.¹; Hauser, A.²; Möller, H. J.³
 »Topography Correlation – A Powerful Tool
 Applied to the Visualisation of Remote Plasma
 Hydrogen Passivation Effects«, in: Proceedings,
 3rd World Conference on Photovoltaic Energy
 Conversion, Osaka, Japan, 11.–18.5.2003, in
 Druck
 (¹: Fraunhofer ISE, Labor- und Servicecenter
 Gelsenkirchen) (²: Universität Konstanz)
 (³: TU Freiberg)

Rommel, M.
 »Erfahrungen zur Entwicklung von Solar-
 kollektoren mit Polymermaterialien«, in:
 Tagungsband, 1. Leobner Symposium POLYME-
 RIC SOLAR MATERIALS, Leoben, Austria,
 6./7.11.2003, XXI-23

Rommel, M.; Koschikowski, J.; Wieghaus, M.
 »Thermally Driven Desalination Plants Based on
 Membrane Distillation«, in: Tagungsband,
 International Conference RES for Island –
 Tourism and Water, Crete, Greece,
 26.–28.5.2003, 253–260

Rommel, M.; Schäfer, A.; Schmitt, Y.
 »Development of Improved Flat-Plate Collectors
 with Anti-Reflective Coated Double-Glazed
 Covers«, in: Proceedings, ISES Solar World
 Congress 2003, Gothenburg, Sweden,
 14.–19.6.2003, auf CD-Rom erh.

Rommel, M.; Schäfer, A.; Schmidt,
 V.; Schmitt, Y.
 »Entwicklung neuer doppelverglaster Flach-
 kollektoren mit Antireflex-Glas«, in: Tagungs-
 band, 13. Symposium Thermische Solarenergie,
 Bad Staffelstein 14.–16.5.2003, 221–226

Rommel, M.; Gombert, A.; Koschikowski, J.;
 Schäfer, A.; Schmitt, Y.
 »Which Improvements can be achieved using
 single and double AR-glass covers in flat-plate
 collectors«, in: Proceedings, European Solar
 Thermal Energy Conference ESTEC 2003,
 Freiburg, 26./27.6.2003, 179–182

Roth, W.; Sauer, D.U.; Seibel, N.; Hellwig, A.¹;
 Vielreicher, H.¹
 »Erschließung der Weltbank für Unternehmens-
 konsortien – Eine Gemeinschaftsinitiative der
 Fraunhofer-Gesellschaft und des Bayerischen
 Staatsministeriums für Wirtschaft, Verkehr und
 Technologie«, in: Tagungsband, 18. Symposium
 Photovoltaische Solarenergie, Bad Staffelstein,
 12.–14.3.2003, 67–72
 (¹: Fraunhofer-Gesellschaft, München)

Roth, W.; Steinhüser, A.; Benz, J.; Sauer, D.U.;
 Ortiz, B.
 »Fuel Cells in Photovoltaic Hybrid Systems for
 Stand-Alone Power Supplies«, in: Tagungsband,
 2nd European PV-Hybrid and Mini-Grid
 Conference, Kassel, 25./26.9.2003, 232–239

Sala, G.¹; Antón, I.¹; Bett, A.W.; Luque-
 Heredia, I.²; Trebst, T.³
 »The PV fibre Project: A PV Concentrator for
 Indoor Operation of 1000X MJ Solar Cells by
 Fibre Transmission«, in: Proceedings, 3rd World
 Conference on Photovoltaic Energy Conversion,
 Osaka, Japan, 11.–18.5.2003, in Druck
 (¹: Instituto de Energía Solar, Universidad
 Politécnica de Madrid, Spain) (²: INSPIRA,
 Madrid, Spain) (³: CeramOptec GmbH, Bonn)

Schäfer, A.; Rommel, M.; Schmitt, V.
 »Anforderungen an Rohrverbindungstechniken
 im Solarkreis von Thermischen Solaranlagen«,
 in: Tagungsband, 13. Symposium Thermische
 Solarenergie, Bad Staffelstein, 14.–16.5.2003,
 157–161

Schmidt, H.; Burger, B.; Siedle, C.
 »Gefährdungspotential transformatorloser
 Wechselrichter – Fakten und Gerüchte«, in:
 Tagungsband, 18. Symposium Photovoltaische
 Solarenergie, Bad Staffelstein, 12.–14.3.2003,
 89–98

Schmidt, H.; Burger, B.
 »EMV-gerechtes Geräte- und Anlagendesign«,
 in: Seminarband, EMV und Blitzschutz in
 Photovoltaikanlagen, Freiburg, 27./28.11.2003,
 in Druck

Schmitz, A.; Wagner, S.¹; Hahn, R.¹; Weil, A.; Tranitz, M.; Hebling, C.
 »Segmentation of MEA by LASER Ablation«, in: Proceedings, 2nd European Polymer Electrolyte Fuel Cell Forum, Lucerne, Switzerland, 30.6.–4.7.2003, 323–339
 (¹: Fraunhofer IZM Institut für Zuverlässigkeit und Mikrointegration, Berlin)

Schmitz, A.; Weil, A.; Tranitz, M.; Hebling, C.
 »Planar Fuel Cell for Miniaturized Power Supply«, in: Proceedings, Micro.tec 2003, München, 13.–15.10.2003, 469–473

Schmitz, A.; Ziegler, C.; Schumacher, J.O.; Tranitz, M.; Fontes, E.¹; Hebling, C.
 »Modelling of Planar Self-Breathing PEMFC«, in: Proceedings, 2nd European Polymer Electrolyte Fuel Cell Forum, Lucerne, Switzerland, 30.6.–4.7.2003, 297–311
 (¹: COMSOL Inc. Burlington, MA, USA)

Schneiderlöchner, E.; Grohe, A.; Glunz, S.W.; Preu, R.; Willeke, G.
 »Scanning ND:YAG Laser System for Industrial Applicable Processing in Silicon Solar Cell Manufacturing«, in: Proceedings, 3rd World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, Osaka, Japan, 11.–18.5.2003, in Druck

Schossig, P.; Henning, H.-M.; Raicu, A.¹; Haussmann, T.
 »Latentmaterialien in Baustoffen«, in: Tagungsband, 13. Symposium Thermische Solarenergie, Bad Staffelstein 14.–16.5.2003, 489–494
 (¹: PSE GmbH, Freiburg)

Schossig, P.; Henning, H.-M.; Haussmann, T.; Raicu, A.¹
 »Phase Change Materials in Constructions«, in: Proceedings, Phase Change Material Slurry Scientific Conference and Business Forum, Yverdon-les-bains, Switzerland, 23.–26.4.2003, 33–43
 (¹: PSE GmbH, Freiburg)

Schossig, P.; Henning, H.-M.; Haussmann, T.; Raicu, A.¹
 »Encapsulated Phase-Change Materials Integrated into Constructions Materials«, in: Proceedings, 9th International Conference on Thermal Energy Storage »FUTURESTOCK 2003«, Warschau, Poland, 1.–4.9.2003, Vol. 1, 311–316
 (¹: PSE GmbH, Freiburg)

Schultz, O.¹; Riepe, S.; Glunz, S.W.; Willeke, G.
 »Hocheffiziente Solarzellenstrukturen auf multi-kristallinem Silicium«, in: Tagungsband, 12. FMF-Kolloquium, Titisee, 9./10.10.2003
 (¹: FMF, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg)

Schultz, O.¹; Emanuel, G.; Glunz, S.W.; Willeke, G.
 »Texturing of Multicrystalline Silicon with Acidic Wet Chemical Etching and Plasma Etching«, in: Proceedings, 3rd World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, Osaka, Japan, 11.–18.5.2003, in Druck
 (¹: FMF, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg)

Schultz, O.¹; Riepe, S.; Glunz, S.W.
 »Influence of High-Temperature Processes on Multi-Crystalline Silicon«, in: Solid State Phenomena Vols. 95–96 (2004), Gdast 2003: Gettering and Defect Engineering in Semiconductor Technology, Zeuthen, 21.–26.9.2003, pp. 235–240
 (¹: FMF, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg)

Slaoui, A.¹; Focasa, A.¹; Bau, S.; Reber, S.; Kieliba, T.; Gutjahr, A.²; Bilyalov, R.³; Poortmans, J.³
 »Silicon Films on Ceramic Substrates (SOCS): Growth and Solar Cells«, in: Proceedings, 3rd World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, Osaka, Japan, 11.–18.5.2003, in Druck
 (¹: Centre National de la recherche de science, Strasbourg, France) (²: Netherlands Energy Research Foundation ECN, Petten, The Netherlands) (³: Interuniversity MicroElectronics Center IMEC, Leuven, Belgium)

Smolinka, T.; Wittstadt, U.; Lehnert, W.¹
 »Influence of Operating Conditions on the Performance of a PEFC Fed by Reformate«, in: Proceedings, 2nd European PEFC Forum, Lucerne, Switzerland, 30.6.–4.7.2003, 263–270
 (¹: Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg, Ulm)

Smolinka, T.; Wittstadt, U.; Lehnert, W.¹
 »Influence of Operating Conditions on the Performance of a PEFC Fed by Reformate«, Eighth Grove Fuel Cell Symposium, London, UK, 24.7.–26.9.2003, P2.38
 (¹: Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg, Ulm)

Sparber, W.; Schultz, O.¹; Preu, R.; Borchert, D.²
 »Comparison of Texturing Methods for Monocrystalline Silicon Solar Cells Using KOH and Na₂CO₃«, in: Proceedings, 3rd World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, Osaka, Japan, 11.–18.5.2003, in Druck
 (¹: FMF, Albert-Ludwigs-Universität, Freiburg) (²: Fraunhofer ISE, Labor- und Servicecenter Gelsenkirchen)

Strobl, G.¹; Dietrich, R.¹; Hilgarth, J.¹; Köstler, W.¹; Kern, R.¹; Nell, M.¹; Rothenbacher, S.¹; Bett, A.W.; Dimroth, F.; Meusel, M.; Campesato, R.³; Flores, C.²; Timò G.²; Smekens, G.³; Vanbegin, J.³; Raskin, G.⁴; Geens, W.⁴; LaRoche, G.⁵; Hey, G.⁶; Signorini, C.⁷; Taylor, S.⁷
 »Advanced GaInP/Ga(In)As/Ge Triple Junction Space Solar Cells«, in: Proceedings, 3rd World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, Osaka, Japan, 11.–18.5.2003, in Druck
 (¹: RWE Space Solar Power GmbH, Heilbronn) (²: CESI S.p.A. Segrate, Italy) (³: ENE, Brussels, Belgium) (⁴: Umicore, Olen, Belgium) (⁵: Astrium GmbH München) (⁶: Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Bonn) (⁷: ESA/ESTEC, Noordwijk, The Netherlands)

Vetter, M.; Sicre, B.
 »Sind Mini-KWK-Anlagen für das Passivhaus geeignet? Anforderungen und Potenziale«, in: Konferenzband, 7. Internationale Passivhaustagung mit Fachausstellung, Hamburg, 21./22.2.2003, 389–396

Vetter, M.; Wittwer, C.
 »Einfluss von thermischen Massen im Gebäude auf den Betrieb von Kleinst-BHWKs«, in: Konferenzband, ETG-Workshop: Neue Dezentrale Versorgungsstrukturen, Frankfurt/Main, 19./20.2.2003, 37–43

Vetter, M.; Wittwer, C.
 »DYNAMIC Modeling and Investigation of Domestic Fuel Cell Cogeneration Plants«, in: 16. Internationales Kolloquium über Anwendungen der Informatik und der Mathematik in Architektur und Bauwesen, Weimar, 10.–12.6.2003, www.euklid.bauing.uni-weimar.de

Vogt, G.; Will, S.; Sauer, D.U.
 »Training of Company Abilities to Integrate Social Aspects in PV Projects for Rural Electrification«, 2nd European PV-Hybrid and Minigrd Conference, Kassel, 25./26.9.2003, 163–168

Vosseler, I.¹; Ramirez, E.¹; Vallvé, X.¹; Gözl, S.; Rittner, C.; Vogt, G.; Joyce, A.²; Rodrigues, C.²; Ejarque, T.³
 »High Standard Energy Service By Multi-user PV Hybrid Grids (MSG): An Integrated Approach In »Veinat De Cal Peraire«, Catalonia, Spain«, in: Tagungsband, 2nd European PV-Hybrid and Mini-Grid Conference, Kassel, 25./26.9.2003, 188–193
 (¹: Trama TecnoAmbiental S.L., Barcelona, Spain) (²: Instituto Nacional de Engenharia e Tecnologia Industrial, Lisboa, Portugal) (³: Asociación SEBA, Barcelona, Spain)

Wagner, S.¹; Hahn, R.¹; Schmitz, A.; Grillmayer, J.¹; Reichl, H.¹
 »Development of a Planar Micro Fuel Cell with Thin Film and Micro Patterning Technologies«, in: Book of Abstracts, 8th Grove Fuel Cell Symposium, London, England, 24.–26.9.2003
 (¹: Fraunhofer IZM Institut für Zuverlässigkeit und Mikrointegration, Berlin)

Weber, K.¹; Marx, H.¹; Vierling, J.¹; Wittstadt, U.; Eisenhut, M.¹
 »Electrolytic Purification of [180] Water«, in: Journal of Labelled Compounds and Radiopharmaceuticals, Vol. 46, Suppl. 1, August 2003, 279
 (¹: Department of Radiochemistry and Radiopharmacology, DKFZ, Heidelberg)

Wiemken, E.; Henning, H.-M.
 »Solar Assisted Cooling of the New Federal Environment Agency Building in Dessau«, in: Proceedings, ISES Solar World Congress 2003, Gothenburg, Sweden, 14.–19.6.2003, auf CD-Rom erhältlich

Wienold, J.
 »Natürlichkeit und Individualität im Büro-Hochhaus – Die Fassade des Fraunhofer-Hauses in München«, in: SKIN Fachmagazin für die intelligente Gebäudehülle, 10/2003, 14–17

Will, S.; Vogt, G.; Sauer, D.U.

»Training und Werkzeuge zu nicht-technischen Aspekten für Anbieter und Nutzer – Erhöhung der Nachhaltigkeit ländlicher Elektrifizierung mit PV-Systemen«, in: Tagungsband, 18. Symposium Photovoltaische Solarenergie, Bad Staffelstein, 12.–14.3.2003, 119–124

Will, S.; Vogt, G.; v. Roedel, G.¹; Westra, C.¹; Montero, M.²; Gomez, V.²; Sampredro, R.²; Ramirez, E.³; Vosseler, I.³; Orengo, H.⁴; Rudek, B.⁵; v.d. Bergh, J.⁶; Fabre, A.⁷
»Traning of Company Abilities to Integrate Social Aspects in PV-Projects for Rural Electrification«, in: Proceedings, 3rd World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, Osaka, Japan, 11.–18.5.2003, in Druck
(¹: ECN, Petten, The Netherlands) (²: University Carlos III of Madrid, Spain) (³: Tram Tecno Ambiental, Barcelona, Spain) (⁴: Total Energie, La Tour de Salvagny, France)
(⁵: BP Solar, Hamburg) (⁶: Atersa, Valencia, Spain) (⁷: Vergnet S.A. Saran, France)

Willeke, G.

»High Concentration Photovoltaics – State-Of-The-Art And Novel Approaches«, in: Proceedings, 3rd World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, Osaka, Japan, 11.–18.5.2003, in Druck

Willeke, G.; Huljic, D.; Ballif, C.¹

»Bildung und Mikrostruktur des Ag-Siebdruckkontaktes von Kristallinen Silicium-Solarzellen«, in Tagungsband, 12. FMF-Kolloquium, Titisee, 9./10.10.2003
(¹: Swiss Federal Laboratories for Material Testing and Research (EMPA), Thun, Switzerland)

Willeke, G.; Kampwerth, H.; Kray, D.; Glunz, S.
»Ultrathin Flexible c-Si Solar Cells«, in: Tagungsband, Workshop Flexilec, Halle, 2./3.6.2003

Wilson, H.R.¹

»Steps toward Appropriate Accelerated Ageing Tests for Architectural Chromogenic Glazing«, in: Proceedings, IEA SHC Task 27 Dissemination Workshop, Freiburg, 6.10.2003, auf CD-Rom erh.
(¹: Interpane Entwicklungs- und Beratungsgesellschaft mbH & Co KG, Lauenförde)

Wittwer, C.; Rommel, M.; Lustig, K.

»ConCheck – Die Entwicklung einer industriell vorgefertigten Kompaktaugruppe für große SolarThermie2000 Anlagen«, in: Tagungsband, 13. Symposium 2003 Thermische Solarenergie, Bad Staffelstein, 14.–16.5.2003, 216–220

Wittwer, C.; Rommel, M.; Buschmann, S.

»Development of a Compact Discharge Unit of a Large Scaled Thermal System«, in: Proceedings, ISES Solar World Congress 2003, Gothenburg, Sweden, 16.–19.6.2003, auf CD-Rom erh.

Wittwer, V.; Georg, A.; Graf, W.; Ell, J.¹

»Gaschromic Windows«, in: Proceedings, ISES Solar World Congress 2003, Gothenburg, Sweden, 14.–19.6.2003, auf CD-Rom erh.
(¹: FMF, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg)

Veröffentlichungen in rezensierten Zeitschriften

Altermatt, P.P.¹; Schumacher, J.; Cuevas, A.²; Kerr, M.²; Glunz, S.W.; King, R. R.³; Heiser, G.¹; Schenk, A.⁴
»Numerical Modelling of Highly Doped Si:P Emitters Based on Fermi-Dirac Statistics«, in: Journal of Applied Physics, Volume 92, No. 6, 3187–3197

(¹: Centre of Photovoltaic Engineering, University of New South Wales, Sydney, Australia) (²: Faculty of Engineering and IT, Australian National University, Canberra, Australia) (³: Spectrolab Inc., Sylmar, CA, USA) (⁴: Integrated Systems Laboratory, ETH, Zurich, Switzerland)

Aschaber, J.¹; Hebling, C.; Luther, J.

»Realistic Modelling of TPV Systems«, in: Semiconductor Science and Technology, vol. 18, No. 5, May 2003, 158–164
(¹: FMF, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg)

Ballif, C.¹; Peters, S.¹; Borchert, D.¹

»Local Series Resistance Mapping of Silicon Solar Cells by Microwave Photoconductivity Decay Measurement«, Progress in Photovoltaics, Volume 11, Issue 5, 309–317
(¹: Fraunhofer ISE, Labor- und Servicecenter Gelsenkirchen)

Ballif, C.¹; Huljic, D.; Heller-Wyser, A.²; Willeke, G.

»Silver Thick-Film Contacts on Highly Doped n-type Silicon Emitters: Structural and Electronic Properties of the Interface«, in: Applied Physics Letters, vol. 82 (2003), 1878–1880
(¹: Fraunhofer ISE, Labor- und Servicecenter Gelsenkirchen) (²: Swiss Federal Institute of Technology CIME, Lausanne, Switzerland)

Bett, A.W.; Sulima, O.V.¹

»GaSb Photovoltaic Cells for Applications in TPV Generators«, in: Semiconductor Science and Technology, 18 (2003), 184–190
(¹: Astropower, Newark, USA)

Dimroth, F.; Agert, C.; Bett, A.W.

»Growth of Sb-Based Materials by MOVPE«, in: Journal of Crystal Growth, vol. 248 (2003), 265–273

Goetzberger, A.; Hebling, C.; Schock, H.W.¹

»Photovoltaic Materials, History, Status and Outlook«, in: Materials, Science & Engineering, Vol. R40 No.1, January 2003, 1–46
(¹: Universität Stuttgart)

Isenberg, J.¹; Reber, S.; Warta, W.

»Diffusion Properties of Ion-Implanted Vanadium in PECVD«, in: J Electrochemical Society, 150 (7) 2003, 365–370
(¹: FMF, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg)

Isenberg, J.¹; Riepe, S.; Glunz, S.W.; Warta, W.

»Lifetime Measurements by Carrier Density Imaging (CDI) – Measurement Principles and First Applications«, in: Journal of Applied Physics, 93 (7) 2003, 4268–4275
(¹: FMF, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg)

Isenberg, J.¹; Dicker, J.; Warta, W.

»Averaging of Laterally Inhomogeneous Lifetimes for 1D Modeling of Solar Cells«, in: Journal of Applied Physics, 94 (6) 2003, 4122–4130
(¹: FMF, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg)

Kern, R.¹; Sastrawan, R.¹; Ferber, J.¹;

Stangl, R.¹; Luther, J.¹
»Modelling and Interpretation of Electrical Impedance Spe of Dye Solar Cells Operated under Open-Circuit Conditions«, in: Electrochimica Acta, Vol. 47 (2002), 4213–4225
(¹: FMF, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg)

Köhl, M.; Heck, M.; Holck, O.¹; Svendsen, S.²; Brunold, S.; Frei, U.²; Oversloot, H.³

»Solar Collector Design with Respect to Moisture Problems«, in: Solar Energy, Vol. 75, Issue 4, October 2003, 269–276.
(¹: Department of Civil Engineering, Technical University of Denmark, Lyngby, Denmark)
(²: SPF, Institut für Solartechnik, HSR Hochschule Rapperswil, Switzerland) (³: Building and Construction Research, Delft, The Netherlands)

Koschikowski, J.; Wieghaus, M.; Rommel, M.

»Solar Thermal Driven Desalination Plants Based on Membrane Distillation«, in: DESALINATION, 156(2003), 295–304

Nositschka, W. A.¹; Voigt O.¹; Kenanoglu, A.²; Borchert, D.²; Kurz, H.¹

»Dry Phosphorus Silicate Glass Etching for Multicrystalline Silicon Solar Cells«, in: Progress in Photovoltaics, 11/2003, 445–451
(¹: Institut für Halbleitertechnik, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule RWTH, Aachen) (²: Fraunhofer ISE, Labor- und Servicecenter Gelsenkirchen)

Pfaffert, J.

»Evaluation of Three Earth-To-Air. Heat Exchangers with a Standardised Method to Calculate Energy Efficiency Criteria«, in: Energy and Buildings, 35 (2003), 971–983

Rein, S.¹; Glunz, S.W.

»Electronic Properties of the Metastable Defect in Boron-Doped Czochralski Silicon: Unambiguous Determination by Advanced Lifetime Spectroscopy«, in: Applied Physics Letters, 82 (2003), 1054–1056
(¹: FMF, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg)

Rentsch, J.; Bau, S.; Huljic, D.

»Screen Printed Epitaxial Thin-Film Solar Cells with 13.8% Efficiency«, in: Progress in Photovoltaics, 11 (2003), 1–8

Rushworth, S.A.¹; Smith, L.M.¹; Ravetz, M.S.; Coward, K.M.¹; Odedra, R.¹; Kanjolia, R.²; Bland, S.C.³; Dimroth, F.; Bett, A.W.
 »Correlation of Reduced Oxygen Content in Precursors with Improved MOVPE layer quality«, in: Journal of Crystal Growth, vol. 248 (2003), 86–90
 (¹: Epichem Ltd, Wirral UK) (²: Epichem Inc., Haverhill, USA) (³: IQE Europe Ltd., Cardiff, UK)

Schmidt, F.P.¹; Luther, J.; Glandt, E.D.²
 »Influence of Adsorbent Characteristics on the Performance of an Adsorption Heat Storage Cycle«, in: Industrial and Engineering Chemistry Research, 42 (2003), 4910–4918
 (¹: FMF, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg) (²: University of Pennsylvania, School of Engineering and Applied Science, Philadelphia, USA)

Schmitz, A.; Tranitz, M.; Wagner, S.¹; Hahn, R.¹; Hebling, C.
 »Planar Self-Breathing Fuel Cells«, in: Journal of Power Sources 118 (2003), 162–171
 (¹: Fraunhofer-Institut für Zuverlässigkeit und Mikrointegration IZM, Berlin)

Schregle, R.
 »Bias Compensation for Photon Maps«, in: COMPUTER GRAPHICS forum, Vol. 22 (2003) No. 4, 1–13

Schubert, M.C.; Isenberg, J.; Warta, W.
 »Spatially Resolved Lifetime Imaging of Silicon Wafers by Measurement of Infrared Emission«, in: Journal of Applied Physics, 94 (6) 2003, 4139–4143

Tüber, K.; Zobel, M.; Schmidt, H.; Hebling, C.
 »A Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell System for Powering Portable Computers«, in: Journal of Power Sources, 122 (2003), 1–8

Tüber, K.; Pócza, D.; Hebling, C.
 »Visualization of Water Buildup in the Cathode of a Transparent PEM Fuel Cell«, Journal of Power Sources, 124 (2003), 403–414

Voss, K.; Reise, C.; Kiefer, K.; Meyer, T.
 »Building Energy Concepts with Photovoltaics«, in: Advances in Solar Energy, Vol. 15, 12/2002, 235–259

Bücher und Beiträge zu Büchern

Aschaber, J.; Hebling, C.; Luther, J.
 »Realistic Modelling of TPV Systems«, in: Semiconductor Science and Technology, Institute of Physics Publishing Bristol UK, 2003, ISSN 0268–1242, 158–164

Bett, A.W.
 »Tandem Cells for Very High Concentration«, in: »Next Generation Photovoltaics – High Efficiency through Full Spectrum Utilization«, Editors A. Marti, A. Luque, Institute of Physics Publishing, ISBN 0750309059, pp 64–90

Henning, H.M. (Editor)
 »Solar Assisted Air-Conditioning in Buildings – A Handbook for Planners«, November 2003, Springer-Verlag Wien/New York, ISBN 3-211-00647-8

Lerchenmüller, H.; Meiren, T.¹
 »Neue Wege im Forschungsmarketing«, in: Marketing und Kommunikation von Forschung, Hrsg: Prof. Birgit Mager, Henderika Hamacher, Oktober 2003, ISBN 3-9808573-3-6
 (¹: Fraunhofer IAO)

Luther, J.
 »Photovoltaics Guidebook for Decision Makers«, A. Bubenzer, J. Luther (Eds.), Springer-Verlag Berlin/Heidelberg/New York, 2003, ISBN 3-540-41327-8

Luther, J.; Meyer, T.
 »Solarenergie«, in: Zukunft der Energieversorgung, Springer-Verlag Berlin/Heidelberg/New York, 2003, ISBN 3-540-00095-X, 85–101

Luther, J.
 »Motivation for Photovoltaic Application and Development«, in: Handbook of Photovoltaic Science and Engineering, Verlag John Wiley & Sons Ltd. England, 2003, ISBN 0-471-49196-9, 45–60

Sauer, D.U.
 »Electrochemical Storage for PV«, in: PV Handbook, Editor Prof. Luque, Verlag Wiley, 2003, Chapter 18, ISBN 0-471-49196-9

Schmidt, H.; Schmid, J.¹
 »Power Conditioning for Photovoltaic Power Systems, Chapter 19.1« in: Handbook of Photovoltaic Science and Engineering, 2003, p. 863–904
 ISBN: 0-471-49196-9
 (¹: Institut für Solare Energieversorgungstechnik ISET, Kassel)

Abkürzungen

AC	Alternating Current	MCFC	Molten Carbonate Fuel Cell
Ag	Silber	mc-Si	Multikristallines Silicium
Al	Aluminium	MFCA	Modulated Free Carrier Absorption
AlGaAs	Aluminiumgalliumarsenid	MgF ₂	Magnesiumfluorid
AM	Air Mass	MOCVD	Metal Organic Chemical Vapour Deposition
APCVD	Atmospheric Pressure Chemical Vapour Deposition	MOVPE	Metal Organic Vapour Phase Epitaxy
ASTM	American Society for Testing and Materials	MPP	Maximum Power Point
Bi	Wismut	MSC	Miniature Solar Cell Mapping
BFC	Bifacial Cell	MW-PCD	Microwave-detected Photoconductance Decay Point
BHKW	Blockheizkraftwerk	N ₂	Stickstoff
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung	NOCT	Nominal Operating Cell Temperature
BMWi	Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie	PCM	Phase Change Material
BMZ	Bundesministerium für Wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung	PCVD	Photocurrent and Voltage Decay
BSF	Back Surface Field	Pd	Palladium
CDI	Carrier Density Imaging	PDA	Personal Digital Assistant
CFD	Computational Fluid Dynamics	PECVD	Plasma Enhanced Chemical Vapour Deposition
CIS	Copper Indium Diselenide	PEM	Polymermembran
CNRS	Centre Nationale de la Recherche Scientifique	PEMFC	Proton Exchange Membrane Fuel Cell
CO	Kohlenmonoxid	PERC	Passivated Emitter and Rear Cell
CO ₂	Kohlendioxid	POA	Power Optimised Aircraft
CPC	Compound Parabolic Concentrator	PV	Photovoltaik
c-Si	Kristallines Silicium	RCC	Rear Contacted Cell
CV	Capacitance/Voltage	RCWA	Rigorous Coupled Wave Analysis
CVD	Chemical Vapour Deposition	RIE	Reactive Ion Etching
Cz	Czochralski	REM	Rasterelektronenmikroskop
DC	Direct Current	RPHP	Remote Plasma Hydrogen Passivation (Wasserstoffpassivierung)
DIN	Deutsches Institut für Normung	RP-PERC	Random Pyramid, Passivated Emitter and Rear Cell
DLTS	Deep Level Transient Spectroscopy	RRC	Realistic Reporting Conditions
DMFC	Direct Methanol Fuel Cell	RTCVD	Rapid Thermal Chemical Vapour Deposition
EBIC	Electron Beam Induced Current	RTP	Rapid Thermal Processing
EBR	Etchback Regrowth	S/C	Steam/Carbon-Ratio Dampf-/Kohlenstoffverhältnis
ECR	Electron Cyclotron Resonance	SGK	Sorptionsgestützte Klimatisierung
EFG	Edge-Defined Film-Fed Growth	Si	Silicium
EMC	Electromagnetic Compatibility	SIMOX	Separation by IMplanted OXYgen
EMV	Elektromagnetische Verträglichkeit	SiN _x	Siliciumnitrid
EN	Europäische Norm	SiO ₂	Siliciumdioxid
EU	Europäische Union	Sn	Zinns
FF	Füllfaktor	SOFC	Solid Oxide Fuel Cell
FCKW	Fluor-Chlor-Kohlenwasserstoffe	SPV	Surface Photovoltage
FhG	Fraunhofer-Gesellschaft	SSP	Silicon Sheets from Powder
FZ	Floating Zone	SR	Spectral Response
GaAs	Galliumarsenid	SR-LBIC	Spatially Resolved Light Beam Induced Current
GaInP	Galliumindiumphosphid	TCO	Transparent Conducting Oxide
GaSb	Galliumantimonid	TDLS	Temperature Dependent Lifetime Spectroscopy
Ge	Germanium	Ti	Titan
GSM	Global System for Mobile Communication	TiO ₂	Titandioxid
IEA	International Energy Agency	TPV	Thermophotovoltaik
IR	Infrarot	TWD	Transparente Wärmedämmung
K	Kelvin	V _{OC}	Leerlaufspannung
KMU	Kleine und Mittlere Unternehmen	WO ₃	Wolframoxid
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung	WPVS	World Photovoltaic Scale
kW _p	Kilowatt Peak (Spitzenleistung)	ZMR	Zone Melting Recrystallisation
LBIC	Light Beam Induced Current	Zn	Zink
LBSF	Local Back Surface Field	η	Wirkungsgrad
LED	Light Emitting Diode		
LFC	Laser Fired Contact		
LPE	Liquid Phase Epitaxy		
mc	Multikristallin		

Die Fraunhofer-Gesellschaft betreibt anwendungsorientierte Forschung zum unmittelbaren 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 eine Plattform zur fachlichen und persönlichen Entwicklung für anspruchsvolle Positionen in ihren Instituten, in anderen Bereichen der Wissenschaft, in Wirtschaft und Gesellschaft.

Die Fraunhofer-Gesellschaft betreibt derzeit rund 80 Forschungseinrichtungen, davon 58 Institute, an über 40 Standorten in ganz Deutschland. Rund 12 500 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, überwiegend mit natur- oder ingenieurwissenschaftlicher Ausbildung, bearbeiten das jährliche Forschungsvolumen von über 1 Milliarde €. Davon fallen mehr als 900 Millionen € auf den Leistungsbereich Vertragsforschung. Für rund zwei Drittel dieses Leistungsbereichs erwirtschaftet die Fraunhofer-Gesellschaft Erträge aus Aufträgen der Industrie und öffentlich finanzierten Forschungsprojekten. Ein Drittel wird von Bund und Ländern beigesteuert, 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.

Ihren Namen verdankt die Gesellschaft dem als Forscher, Erfinder und Unternehmer gleichermaßen erfolgreichen Münchner Gelehrten Joseph von Fraunhofer (1787-1826).

Fraunhofer-Gesellschaft
Presse- und Öffentlichkeitsarbeit
Postfach 19 03 39
80603 München
www.fraunhofer.de

Redaktion

Rosemarie Becker
Karin Schneider (Leitung)
Presse und Public Relations

Externe Fotografen

Sigrid Gombert, Freiburg
Guido Kirsch, Freiburg
Bernd Müller, Augsburg
Sabine Schnell, Freiburg
Volker Steger, München
Andreas Weindel, Freiburg

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

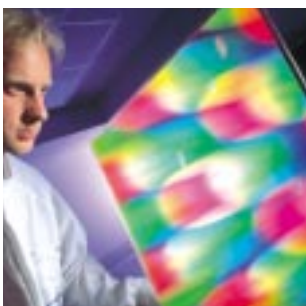
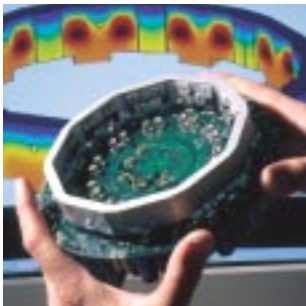
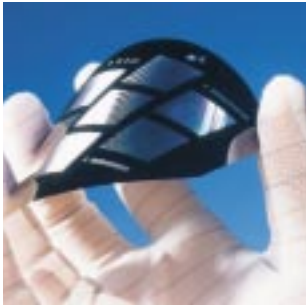
Bestellung von Publikationen

Bitte per E-Mail oder per Fax.

Bei Abdruck ist die Einwilligung der
Redaktion erforderlich.

©Fraunhofer-Institut für
Solare Energiesysteme ISE
Freiburg, 2004

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