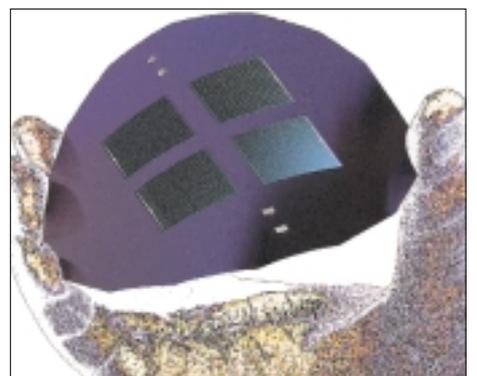
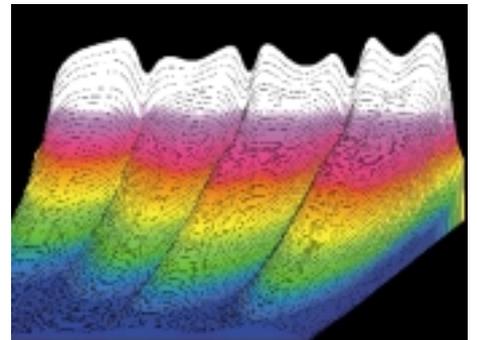
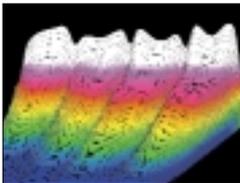
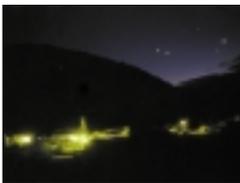




**Fraunhofer** Institut  
Solare Energiesysteme

# Leistungen und Ergebnisse Jahresbericht 2000





Solare Dorfstromversorgung in San Felices, Aragon. In 17 Dörfern in Spanien und Lateinamerika unterstützt das Fraunhofer ISE die beteiligten Firmen in der technischen Weiterentwicklung der Informationsübertragung und Energieverteilung. Die Entwicklung und Umsetzung von Konzepten zur gemeinschaftlichen Nutzung der begrenzten Ressource Energie ist ein Arbeitsschwerpunkt der Sozialwissenschaftler am Fraunhofer ISE.

Auskühlverhalten vier verschiedener Proben von Phasenwechselmaterialien PCM. Mikroverkapselte Phasenwechselmaterialien, z. B. Paraffine, werden in Wandverbundsysteme wie beispielsweise Gipskartonplatten integriert und dienen der Wärmespeicherung. Je größer der Gehalt an PCM – von links nach rechts zunehmend – desto länger dauert der Auskühlvorgang – Zeitverlauf von hinten nach vorn.

85  $\mu\text{m}$  dünne hocheffiziente Czochralski-Silizium-Solarzellen. Ein hochwertiges Solarzellenkonzept ermöglicht das drastische Reduzieren der Waferdicke ohne starke Einbußen im Wirkungsgrad. Neben der Materialersparnis bietet die Zelle den Vorteil der Flexibilität. Sie eröffnet damit völlig neue Anwendungsgebiete.

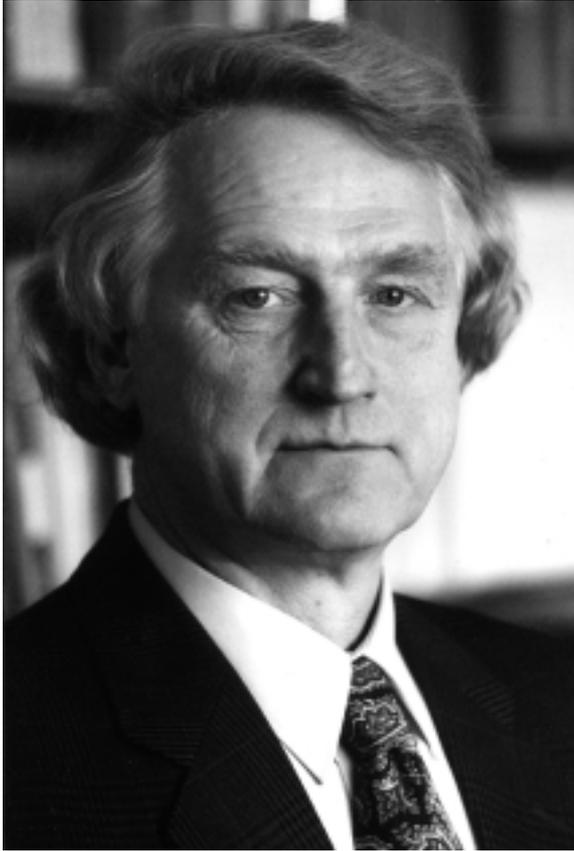
Die Forschung des Fraunhofer-Instituts für Solare Energiesysteme ISE schafft technische Voraussetzungen für eine effiziente und umweltfreundliche Energieversorgung, sowohl in Industrieländern als auch in Schwellen- und Entwicklungsländern. Dazu entwickelt das Institut Systeme, Komponenten, Materialien und Verfahren auf den Gebieten Solarthermie, Solarzellen, Solares Bauen, elektrische Energieversorgung, Mikroenergie-technik, chemische Energiewandlung, Energiespeicherung und rationelle Energienutzung.

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.

# Inhalt

<b>Vorwort</b>	4	- Simulationsgestützte Regelungsentwicklung zur optimierten Einbindung von Brennstoffzellen-BHKWs in teilsolare Energieversorgungssysteme	30
<b>Das Institut im Profil</b>		- Erd-Luft-Register	30
- Kurzporträt	6	- Ray-Tracing zur Bewertung und Optimierung von optischen Reflektoren	31
- Organigramm	6		
- Das Forschungs- und Dienstleistungsangebot	6	<b>Messen &amp; Prüfen in Solarthermie und Optik</b>	32
- Höhepunkte des Jahres 2000	7	- Lüftungs-Kompaktgeräte – Effizienz für Solar-Passivhäuser	34
- Innovationsbeispiele	8	- Teststand für solare sorptionsgestützte Klimatisierungssysteme	35
		- Experimentelle Untersuchungen zum Stillstandsverhalten von thermischen Solaranlagen	36
<b>Das Institut in Zahlen</b>	9	- Kollektor mit korrosionsfreiem Absorber für die Meerwasserentsalzung	37
		- IR-Thermografie als Werkzeug zur Entwicklung und Bewertung moderner Fassadenelemente	38
<b>Kuratorium</b>	10	- Nutzerverhalten zu Sonnen- und Blendschutz	39
<b>Kunden und Auftraggeber</b>	11		
<b>Internationale Kooperationen</b>	12	<b>Solares Bauen – Beraten, Planen, Umsetzen</b>	40
<b>Die Abteilungen im Überblick</b>	14	- Solares Bauen – Wohnhäuser	42
		- Solares Bauen – Gewerbliche Bauten	43
<b>Forschungstrends 2001</b>	18	- Solares Bauen – Querschnittsanalysen	45
		<b>Energietechnik</b>	46
		- Erdgasreformer für ein Brennstoffzellen-Blockheizkraftwerk zur Energieversorgung von Gebäuden	48
<b>Aus der Arbeit der Abteilungen</b>		- Innovative Hausenergieversorgung mit einem Brennstoffzellen-Blockheizkraftwerk	50
		- Mini-Photovoltaikmodule für Kleingeräte und Sensoren	51
<b>Forschen &amp; Entwickeln in Solarthermie und Optik</b>	22	- Brennstoffzellen im Kleinleistungsbereich zur Energieversorgung von portablen Elektronikgeräten	52
- Großflächige 3D-Nano- und Mikrostrukturen – »Nanofab«	24	- Thermophotovoltaische Energiekonversion mit mikrostrukturierten Strahlern	53
- Photoelektrochrome Fenster	25		
- Konzept für eine mehrstufige Adsorptionswärmepumpe	26		
- Mikroverkapselte Phasenwechselmaterialien in Wandverbundsystemen zur Wärmespeicherung	27		
- Thermotrop geregelte Fassadenkomponenten	28		
- Bessere Gebäudesimulation durch Modellierung von Kurzzeit-Strahlungsdaten	29		

<b>Solarzellen – Werkstoffe und Technologie</b>	54	<b>Netzgekoppelte Energiesysteme</b>	82
- Monokristalline Solarzellen mit höchsten Wirkungsgraden und innovativer Fertigungstechnologie	56	- Die 120 kWp Photovoltaik-Schulungsanlage »Butzweilerhof« der Handwerkskammer zu Köln	84
- Rasches thermisches Prozessieren von Solarzellen	58	- Auf dem Weg zum Stromnetz der Zukunft	85
- Der SIR-Prozess zur energiesparenden Herstellung von kristallinen Silicium-Dünnschicht solarzellen	59	- Bauliche Integration von Solarstromanlagen: Das Beispiel des Fraunhofer ISE Neubaus	86
- Einseitenkontaktierung für kristalline Silicium-Dünnschicht solarzellen mit Siebdruckverfahren	60		
- III-V Solarzellen	61	<b>Fakten im Überblick</b>	
- Labor- und Servicecenter Gelsenkirchen	63	<b>Gastwissenschaftler</b>	88
		<b>Mitarbeit in Gremien</b>	88
<b>ISE CalLab – Präzisionsmessung in der Photovoltaik</b>	64	<b>Vom Institut (mit-)organisierte Kongresse, Tagungen und Seminare</b>	89
- Das Photovoltaik-Kalibrierlabor im Überblick	66	<b>Vorlesungen und Seminare</b>	89
- Kalibrierung reduziert Kosten für Solarstrom aus Photovoltaik	67	<b>Messebeteiligungen</b>	89
		<b>Patente</b>	90
<b>Netzferne Energieversorgung</b>	68	<b>Promotionen</b>	90
- Strategien zur netzunabhängigen Dorfstromversorgung – Das Beispiel Rambla del Agua	70	<b>Pressearbeit</b>	91
- Dorfstromanlagen in Indonesien	71	<b>Vorträge</b>	92
- Trinkwasseraufbereitung mit Photovoltaik für netzferne Regionen	72	<b>Veröffentlichungen</b>	94
- Monitoring des Fraunhofer ISE sorgt für hohen Qualitätsstandard von Solarsystemen auf Berghütten	73	<b>Abkürzungen</b>	104
- Elektromagnetische Verträglichkeit von Photovoltaik-Anlagen und -Komponenten	74		
- Batterien – zentrale Komponente aller autonomen Stromversorgungen	75		
<b>Geräte- und Komponentenentwicklung</b>	76		
- Photovoltaik für Geräte und Kleinsysteme	78		
- Photovoltaik Informations-Zentrum der Shell Solar Deutschland GmbH	79		
- Kundenspezifische Messplätze für die Photovoltaik-Industrie	80		
- Autonome Stromversorgungen mit Photovoltaik, Brennstoffzelle und saisonalem Wasserstoffspeicher für die Telekommunikation	81		



Das Jahr 2000 war für das Fraunhofer ISE außerordentlich erfolgreich. Wichtige Fortschritte auf wissenschaftlich-technologischem Gebiet, eine erfreulich hohe Auftragslage aus der Industrie sowie ein Wachstum von etwa 7 % belegen dies.

Im Technologiebereich möchte ich exemplarisch unsere Erfolge bei der Realisierung von kosteneffizienten solaren »1-Liter-Häusern«, die Fortschritte auf dem Gebiet der Mikrobrennstoffzellen sowie die erreichten Spitzenwerte für höchst effiziente Tandemsolarzellen für Welt- und terrestrische Anwendungen herausstellen.

Unser vom Land Baden-Württemberg und von der Bundesregierung mit je 35 Mio DM finanzierter Institutsneubau in Freiburg nimmt in rasantem Tempo Gestalt an. Wir werden ab Juli 2001 in die neuen Räume einziehen. Die offizielle Einweihung, die mit dem Fest des 20-jährigen Bestehens des Fraunhofer ISE einhergeht, findet im November 2001 statt. Bund und Land sei an dieser Stelle nochmals nachdrücklich für das hohe Engagement gedankt.

Das Land Nordrhein-Westfalen und die Industrie haben es uns ermöglicht, im Jahr 2000 ein neues Labor- und Servicecenter zu eröffnen. Im Bereich Produktionstechnik für Wafer-Silizium-Solarzellen wurde eine hochflexible Fertigungslinie in unseren Räumen in Gelsenkirchen aufgebaut. Wir können mit dieser einmaligen Anlage weitgehend so produzieren wie in einer Fabrik und experimentieren wie in einem Labor. Herrn Dr. Dietmar Borchert und seiner Mannschaft in Gelsenkirchen sowie den Beteiligten aus Freiburg möchte ich herzlich für die beeindruckende Aufbauleistung danken.

Die Arbeiten des Fraunhofer ISE werden seit seiner Gründung durch ein Kuratorium aktiv begleitet. Im Jahr 2000 schieden aus Altersgründen oder wegen beruflicher Umorientierung unsere langjährigen Kuratoren Herr Prof. Hans Albrecht, Herr Ministerialrat Ulf Hecksteden, Herr Ministerialrat Jürgen Malsch sowie Herr Dr. Gerhard Paul aus unserem entscheidenden Beratungsgremium aus. Im Namen des ganzen Instituts möchte ich ihnen für das Geleistete danken. Fünf neue Kuratoren werden in Zukunft den Weg des Instituts kritisch und ratgebend begleiten: Herr Dipl.-Phys. Jürgen Berger, VDI/VDE; Herr Martin Bitzer, Fresnel Optics; Herr Dr. Holger Jürgensen, Aixtron; Herr Regierungsdirektor Dr. Thomas Pflüger, Wissenschaftsministerium Stuttgart sowie Herr Gerhard Warmke, MAICO.

Im Institut gab es im Berichtsjahr einen Wechsel in der Leitung der Abteilung »Solarzellen – Werkstoffe und Technologie«. Es gelang mir nicht, Herrn Prof. Wolfram Wettling bis zu seinem 65. Lebensjahr am Fraunhofer ISE zu halten. Herr Wettling ging am 31. März in den vorzeitigen Ruhestand. Lieber Herr Wettling, an dieser Stelle sei Ihnen noch einmal – auch im Namen des ganzen Instituts und besonders Ihrer Abteilung – für Ihre hervorragenden Leistungen nachdrücklich gedankt. Herr Priv.Do. Dr. Gerhard Willeke – vormals Universität Konstanz – hat zum 1. April die Leitung unserer Solarzellenabteilung übernommen.

Im Herbst 2000 erhielt Frau Dr. Angelika Heinzl, Abteilungsleiterin Energietechnik einen Ruf auf einen C4-Lehrstuhl an der Universität Duisburg. Das Institut wird alle in seinen Kräften stehenden Anstrengungen unternehmen, um Frau Heinzl in Freiburg zu halten.

Allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern unseres Instituts möchte ich auch an dieser Stelle für die kreative, hochmotivierte und erfolgreiche Arbeit danken. Mein Dank gilt vor allem auch unseren Auftraggebern aus Industrie, Ministerien und Europäischer Union, die durch ihr Interesse und ihr Vertrauen unsere Arbeiten erst ermöglichten.



Prof. Joachim Luther

## Kurzporträt

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 auf den Gebieten Solarthermie, Solares Bauen, Solarzellen, elektrische Energieversorgung, Mikroenergie-technik, chemische Energiewandlung und Energiespeicherung sowie rationelle Energienutzung.

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.

Das Institut ist in ein Netz von nationalen und internationalen Kooperationen eingebunden, es ist u. a. Mitglied des Forschungsverbundes 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 Non-profit-Organisation, die sich als Mittler zwischen universitärer Grundlagenforschung und industrieller Praxis versteht. Es finanziert sich über angewandte Forschung und Dienstleistung für die technische Nutzung erneuerbarer Energiequellen. Ob mehrjähriges Großprojekt oder Kurzberatung, kennzeichnend für die Arbeitsweise ist der Praxisbezug und die Orientierung am Kundennutzen.

## Organigramm

Institutsleitung	Prof. Joachim Luther	
Abteilungen	Thermische und Optische Systeme Priv. Doz. Dr. Volker Wittwer	+49 (0) 7 61/45 88-1 43
	Energietechnik Dr. Angelika Heinzel	+49 (0) 7 61/45 88-1 94
	Solarzellen - Werkstoffe und Technologie* Priv. Doz. Dr. Gerhard Willeke	+49 (0) 7 61/45 88-2 66
	Elektrische Energiesysteme Dipl.-Ing. Klaus Preiser	+49 (0) 7 61/45 88-2 16
Verwaltung, Technik und Servicebereiche	Dipl.-Kfm. Wolfgang Wissler	+49 (0) 7 61/45 88-3 50
Presse und Public Relations	Karin Schneider M.A.	+49 (0) 7 61/45 88-1 47
Strategieplanung	Dr. Tim Meyer	+49 (0) 7 61/45 88-3 46

\*Bis 31.3.2000 Prof. Wolfram Wettling

## Forschung und Entwicklung

- Solar-Passivhäuser Neuenburg verbrauchen nur 10 kWh/m<sup>2</sup>a (1-Liter-Haus)
- Gaschrome Fenster mit hohem Schalldruck beweisen Praxis-tauglichkeit
- Mikroverkapselte Phasenwechselmaterialien in Putzen ermöglichen neue Heiz- und Kühlkonzepte für Gebäude
- Leitprojekt »Neue Gesamtenergieversorgungs-konzepte für Gebäude« NEGEV gestartet; Entwicklung modularer Komponenten für Energiesysteme, z. B. Lüftungskompaktgeräte für Passiv-Häuser, Brennstoffzellensysteme und Wärmespeicher
- Monitoring und Qualitätssicherung bei 100 Passivhäusern für Energie Baden-Württemberg AG gestartet
- Teststand für Solare Klimatisierung in Betrieb genommen
- Verfahren zur kostengünstigen, kratzfesten Entspiegelung von transparenten Spritzgussbauteilen entwickelt
- Numerisches Simulationsmodell für kleine Brennstoffzellen validiert
- Fraunhofer-Institutsverbund zur Entwicklung von Mikrobrennstoffzellen gegründet
- Weltweit erste Tandemsolarzelle aus Ga<sub>0,35</sub>In<sub>0,65</sub>P/Ga<sub>0,83</sub>In<sub>0,17</sub>As gefertigt und Wirkungsgradrekord mit > 30 % bei 1000-facher Sonnenkonzentration (AM1.5d) erzielt
- Konzentratormodul mit monolithischen Tandemzellen erreicht im Freiland 24,8 % Wirkungsgrad
- Weltraum-Tandemzelle erreicht 24,1 % (AM0) Wirkungsgrad
- Si-Solarzellen mit Rückseitenkontaktierung auf der Basis von Plasmaätz- und Lasertechnologie und mit vereinfachter Prozessführung erreichen 21,6 % Wirkungsgrad auf 2 x 2 cm<sup>2</sup>
- Si-Solarzelle, hergestellt mit Rapid Thermal Processing, erreicht 18,7 % Wirkungsgrad auf 5 x 5 cm<sup>2</sup> Float Zone-Si
- Mit neuartiger Durchlauf-RTP-Anlage erstmals Si-Solarzelle mit 17,2 % Wirkungsgrad auf 10 x 10 cm<sup>2</sup> gefertigt
- Weltweit erste 100 cm<sup>2</sup>-Blockguss-Silicium-solarzelle auf der Basis von Tampondruck industriennah gefertigt
- Industriellen Siebdruckprozess zur Einseitenkontaktierung entwickelt
- Kristalline Si-Dünnschicht-Solarzelle auf industrieller Siliciumnitrid-Keramik erreicht 9,4 % Wirkungsgrad
- Labor- und Servicecenter für produktionsnahe Forschung mit Durchlaufverfahren für die Solarzellenfertigung in Gelsenkirchen eröffnet
- Messtechnik für Konzentratorsolarzellen bis zu einer optischen Konzentration von 1200 Sonnen entwickelt
- Hocheffiziente Solarzellenmodule verlängern Betriebszeiten in portablen elektronischen Geräten
- Größte PV-Anlage Europas für Test-, Demo- und Ausbildungszwecke bei der Handwerkskammer in Köln in Betrieb genommen
- Weltweit einmalige Solarexponate und -modelle für Shell Solar Photovoltaik Informations-Zentrum PiZ in Gelsenkirchen entwickelt
- Photovoltaisch versorgtes System zur Wasseraufbereitung in netzfernen Regionen entwickelt

## Rufe, Ernennungen

Frau Dr. Angelika Heinzl erhielt einen Ruf auf eine C4 Professur an die Universität GH Duisburg, Lehrstuhl Energietechnik.

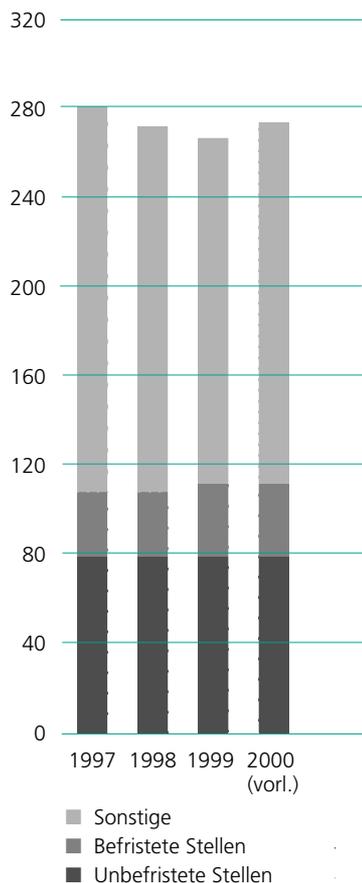
Herr Dr. Roland Schindler wurde zum außerplanmäßigen Professor der FernUniversität Hagen ernannt.

# Innovationsbeispiele

Für diese Produkte und Dienstleistungen suchen wir – je nach Entwicklungsstand – Partner für Entwicklung, Herstellung oder Vermarktung. Keines der Produkte ist durch Exklusivlizenz gebunden.

Produkt	Markt/Branche	Fraunhofer ISE Ansprechpartner/in, Telefon
Mikrostrukturierte Lichtlenk- und Sonnenschutzelemente	Sonnenschutz	Christopher Bühler +49 (0) 7 61-45 88-2 96 Christopher.Buehler@ise.fhg.de Dr. Werner Platzer +49 (0) 7 61-45 88-1 31 Werner.Platzer@ise.fhg.de
Jahressimulation für Tageslicht am Arbeitsplatz (Tageslichtautonomie)	Lichtplanung für Gebäude	Jan Wienold +49 (0) 7 61-45 88-1 33 Jan.Wienold@ise.fhg.de
Prüfung und Messung von Lüftungskompaktgeräten	Hersteller von Lüftungskompaktgeräten mit Wärmepumpen	Andreas Bühring +49 (0) 7 61-45 88-2 88 Andreas.Buehring@ise.fhg.de
Stochastische Antireflexstrukturen	Kunststoffoptik	Dr. Andreas Gombert +49 (0) 761-4 01 66-83 Andreas.Gombert@ise.fhg.de
Mikroenergie-technik	Hersteller portabler elektronischer Geräte	Dr. Christopher Hebling +49 (0) 7 61-45 88-1 95 Christopher.Hebling@ise.fhg.de
Thermophotovoltaik-Systemtechnik	PV-Industrie, Gas-Industrie	Dr. Christopher Hebling +49 (0) 7 61-45 88-1 95 Christopher.Hebling@ise.fhg.de
Reformeranlagen zur Wasserstoffherzeugung	Automobilindustrie, Gasversorger, Mineralölindustrie	Dr. Peter Hübner +49 (0) 7 61-45 88-2 10 Peter.Huebner@ise.fhg.de
Brennstoffzellen im kleinen Leistungsbereich	Batteriehersteller und -anwender	Dipl.-Ing. Mario Zedda +49 (0) 7 61-45 88-2 07 Mario.Zedda@ise.fhg.de
Optische Konzentratoren-systeme	Photovoltaik-Industrie	Dr. Andreas Bett +49 (0) 7 61-45 88-2 57 Andreas.Bett@ise.fhg.de
Ertragsgarantie für netzgekoppelte PV-Anlagen	EVU, Errichter großer Photovoltaik-Anlagen	Dipl.-Ing. Klaus Kiefer +49 (0) 7 61-45 88-2 18 Klaus.Kiefer@ise.fhg.de
Wasserentkeimungsverfahren	Wasserreinigungsindustrie	Dipl.-Ing. Orlando Parodi +49 (0) 7 61-45 88-2 81 Orlando.Parodi@ise.fhg.de
Mensch-Technik-Organisationsanalysen bei der Dorfstromversorgung	Energieversorger, PV-Industrie, Regierungs- und Nichtregierungsorganisationen	Dr. Petra Schweizer-Ries +49 (0) 7 61/45 88-2 28 Petra.Schweizer-Ries@ise.fhg.de
Aktive Entstörung für elektronische Vorschaltgeräte	Hersteller von Energiesparleuchten, PV-Industrie, Energieversorger	Dipl.-Ing. Georg Bopp +49 (0) 7 61/45 88-2 40 Georg.Bopp@ise.fhg.de
Ladezustandsmesser für Batterien	Photovoltaik, Elektrofahrzeuge, Energieversorgung	Dipl.-Phys. Dirk Uwe Sauer +49 (0) 7 61/45 88-2 19 Dirk-Uwe.Sauer@ise.fhg.de Dr.-Ing. Heribert Schmidt +49 (0) 7 61/45 88-2 26 Heribert.Schmidt@ise.fhg.de

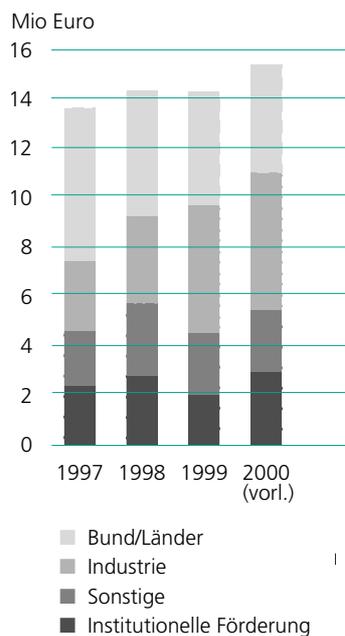
## Personalentwicklung



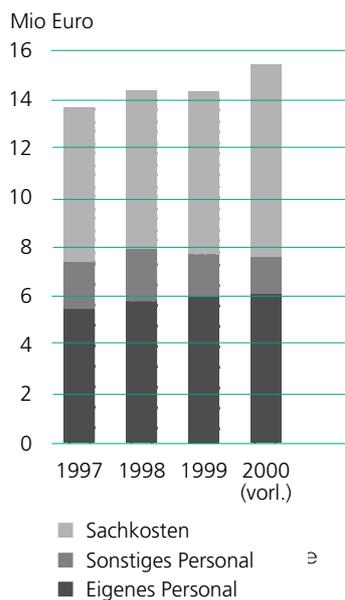
Eine wichtige Stütze des Instituts sind die »sonstigen« Mitarbeiter, welche die Arbeit in den Forschungsprojekten unterstützen und so wesentlich zu den erzielten wissenschaftlichen Ergebnissen beitragen. Im Dezember 2000 waren dies 25 Doktoranden, 34 Diplomanden, 6 Praktikanten, sowie 77 wissenschaftliche und 20 weitere Hilfskräfte. Das Fraunhofer ISE leistet auf diese Weise einen wichtigen Beitrag zur Ausbildung.

Zusätzlich zu den in der Grafik angegebenen Ausgaben tätigte das Institut im Jahr 2000 Investitionen in Höhe von 3,1 Mio Euro.

## Erträge



## Kosten



Das Kuratorium begutachtet die Forschungsprojekte und berät die Institutsleitung und den Vorstand der Fraunhofer-Gesellschaft bezüglich des Arbeitsprogrammes des Fraunhofer ISE.  
Stand: Januar 2001

---

## Vorsitzender

**Prof. Peter Woditsch**  
Deutsche Solar GmbH, Freiberg

---

## Stellvertretender Vorsitzender

**Dr. Rolf Blessing**  
Interpane Entwicklungs- und  
Beratungsgesellschaft mbH & Co., Lauenförde

---

## Mitglieder

**Dr. Hubert Aulich**  
PV Silicon, Erfurt

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

**Hans Martin Bitzer**  
Fresnel Optics GmbH, Apolda

**Prof. Michael Bohnet**  
Bundesministerium für wirtschaftliche  
Zusammenarbeit und Entwicklung BMZ, Bonn

**Dr. Richard Einzinger**  
Siemens Solar GmbH, München

**Dr. Gerd Eisenbeiß**  
Deutsche Forschungsanstalt für  
Luft- und Raumfahrt e.V. DLR, Köln

**Dr. Klaus Hassmann**  
Siemens AG, Erlangen

**Prof. Thomas Herzog**  
Technische Universität München

**Dr. Winfried Hoffmann**  
Angewandte Solarenergie GmbH ASE, Alzenau

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

**Dr. Holger Jürgensen**  
Aixtron AG, Aachen

**Prof. Werner Kleinkauf**  
Gesamthochschule Kassel, Kassel

**Regierungsdirektor Dr. Thomas Pflüger**  
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

**Ministerialrat Dr. Wolfhart von Stackelberg**  
Bundesministerium für Wirtschaft  
und Technologie BMWi, Bonn

**Gerhard Warmke**  
MAICO - Ventilatoren, Villingen-Schwenningen

# Kunden und Auftraggeber

Das Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE arbeitet seit Jahren mit Auftraggebern aller Branchen und Unternehmensgrößen erfolgreich zusammen.

Kunden, die einer Nennung zugestimmt haben:

- Abac GmbH, Eningen
- ACR GmbH, Niedereschbach
- Adam Opel AG
- AEG MIS GmbH, Ulm
- Aixtron GmbH, Aachen
- Akkumulatorenfabrik Sonnenschein GmbH (Exide German Group), Büdingen
- Angewandte Solarenergie GmbH ASE, Alzenau und Heilbronn
- BASF AG, Ludwigshafen
- Bayer AG, Krefeld-Uerdingen
- British Petroleum BP Solar International, Sunbury, Großbritannien
- Bundesministerium für Bildung und Forschung BMBF, Berlin
- Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie BMWi, Berlin
- Caparol Farben, Lacke, Bautenschutz, Ober-Ramstadt
- Centrotherm GmbH, Blaubeuren
- Compagnie Européenne d'Accumulateurs CEAC, Gennevilliers, Frankreich
- Creavis GmbH, Marl
- Daimler-Chrysler AG, Stuttgart
- Degussa-Hüls AG, Hanau
- DETA Batterien, Bad Lauterberg
- Deutsche Bundesstiftung Umwelt, Osnabrück
- Deutsche Everlite GmbH, Wertheim (Main)
- Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit GmbH GTZ, Eschborn
- Deutscher Alpenverein DAV, München
- Deutsche Solar GmbH, Freiberg
- Dmc<sup>2</sup> AG, Hanau
- ECN, Petten, Niederlande
- EKRA Maschinenfabrik GmbH, Bönningheim
- Energie Baden-Württemberg AG, EnBW, Karlsruhe
- E.ON Energie AG, München
- Europäische Union EU, Brüssel, Belgien
- Flabeg Holding GmbH, Gelsenkirchen
- Freiburger Energie- und Wasserversorgungs-AG FEW, Freiburg
- Fresnel Optics GmbH, Apolda
- G+H Isover, Ladenburg
- Gaia Kapital-Beteiligungsgesellschaft mbH, Köln
- Gebäudemanagement Schleswig-Holstein (GMSH), Kiel
- Gebr. Märklin & Cie. GmbH, Göppingen
- Grammer KG, Amberg
- Grundwert Verwaltungs- und Projektentwicklungs-GmbH (GVP), Frankfurt
- H. C. Starck GmbH & Co. KG, Goslar
- Haas-Laser-GmbH & Co. KG, Schramberg
- Hagen Batterie AG (Exide German Group), Soest
- Handwerkskammer zu Köln, Köln
- Heraeus Quarzglas GmbH & Co. KG, Kleinostheim
- Hochbauamt der Stadt Mannheim
- Hüppe Form, Oldenburg
- Institut für Mikrosystemtechnik IMTEK, Freiburg
- Institut für Angewandte Photovoltaik INAP GmbH, Gelsenkirchen
- Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, San Juan, Argentinien
- Interpane E&B GmbH, Lauenförde
- Ist EnergieCom GmbH, Augsburg
- Karl Süss KG-GmbH & Co., Garching
- Labor für Bildschirmtechnik, Universität Stuttgart
- Landis & Steafa, Stuttgart
- M + W Zander GmbH, Stuttgart
- Maico Haustechnik, Villingen-Schwenningen
- Maxit Baustoff- und Kalkwerk Mathis GmbH, Merdingen
- Merck KGaA, Darmstadt
- Ministerium für Wissenschaft, Forschung und Kunst, Baden-Württemberg, Stuttgart
- Okalux Kapillarglas GmbH, Marktheidenfeld
- Prokuwa Kunststoff GmbH, Dortmund
- PV Silicon, Erfurt
- RENA Sondermaschinen GmbH, Gütenbach

# Internationale Kooperationen

In zunehmendem Maße arbeiten wir in unseren Projekten mit internationalen Einrichtungen zusammen.

- Robert Bosch GmbH, Stuttgart
- RWE Energie AG, Essen
- RWTH Aachen, Aachen
- S. Siedle & Söhne Stiftung & Co., Furtwangen
- S. E. del Acumulador Tudor, S.A., Madrid, Spanien
- Saint Gobain Glass, Herzogenrath
- Schott Rohrglas GmbH, Mitterteich
- Shell Solar Deutschland GmbH, Gelsenkirchen
- Siemens Solar GmbH, München
- Solar World, Bonn
- Solar-Application GmbH, Freiburg
- Solar-Fabrik GmbH, Freiburg
- Solarwatt GmbH, Dresden
- Stadtwerke Karlsruhe, Karlsruhe
- Stadtwerke Aachen AG STAWAG, Aachen
- Steca GmbH, Memmingen
- Stiftung Energieforschung Land Baden-Württemberg
- Sto AG, Stühlingen
- Süd-Chemie AG, München
- Sunlight Power Maroc, Rabat, Marokko
- Suptina Grieshaber, Schapbach
- TeCe, Selb
- Trama Tecno Ambiental, Barcelona, Spanien
- Transénergie, Lyon, Frankreich
- TÜV Rheinland Sicherheit und Umweltschutz GmbH, Köln
- Unaxis, Hanau
- Vegla GmbH, Aachen
- Velux A/S, Vedbaek, Dänemark
- Warema Renkhoff GmbH, Marktheidenfeld
- Weltbank, Washington, USA
- Wirtschaftsministerium NRW
- Würth Elektronik Systemtechnik, Marbach am Neckar
- Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung ZSW, Stuttgart/Ulm
- Agricultural University of Athens, Griechenland
- Air Liquide S.A., Sassenage, Frankreich
- Alcatel Standard Electricia S.A., Madrid, Spanien
- Altaier Zentrum Nichttraditionelle Energetik u. Energieeinsparung, Barnaul, Russland
- APEX Ingénierie, Laverune, Frankreich
- Arge Erneuerbare Energie, Gleisdorf, Österreich
- A. S. Ioffe Institut, St. Petersburg, Russland
- Australian National University - ANU, Canberra, Australien
- Berner Fachhochschule, Hochschule für Technik und Architektur, Burgdorf, Schweiz
- BPP Technologie LSDE, Technical Implementation Unit, Energy Technology Laboratory, Serpong Tangerang, Indonesien
- British Petroleum BP Solar International, Sunbury, Großbritannien
- CEA-GENEC – Centre de Caderache, Saint-Paul-lez-Durance, Frankreich
- Centre National de la Recherche Scientifique CNRS, Palaiseau/Meudon/Strasbourg/Marseille/Montpellier, Frankreich
- Centre Scientifique et Technique du Bâtiment CSTB, Grenoble, Frankreich
- Centro de Investigación en Energía y Agua, CIEA, Las Palmas de Gran Canaria, Spanien
- CIEMAT Instituto de Energías Renovables IER, Madrid, Spanien
- Consejo Superior de Investigaciones Científicas CSIC, Madrid, Spanien
- Council on Renewable Energy CORE in the Mekong Riparian Countries
- Curtin University of Technology Western Australia, Perth, Australien
- De Nora s.p.a., Mailand, Italien
- Det Norske Meteorologisk Institutt, Bergen, Norwegen
- Ecole des Mines, Paris (Centre d’Énergétique, Sophia Antipolis), Frankreich

- Ecole Nationale des Travaux Publics de L'Etat ENTPE, Lyon, Frankreich
- Elkem, Kjeller, Norwegen
- ENECOLO AG, Mönchaltorf, Schweiz
- Epichem Ltd, Merseyside, UK
- Esbensen Consulting Engineers, Virum, Dänemark
- Georgia Institute of Technology, Atlanta, USA
- Hebrew University, Jerusalem, Israel
- Hydrogen Systems, Sint-Truiden, Belgien
- Instituto Catalan de Energía ICAEN, Barcelona, Spanien
- Instituto de Energía Solar IES, Madrid, Spanien
- Instituto de Investigaciones Electricas, Cuernavaca, Morelos, Mexiko
- Instituto Nacional de Tecnica Aeroespacial »Esteban Terradas« INTA, Madrid, Spanien
- Instituto Nacional de Engenharia e Tecnologia Industrial INETI, Lissabon, Portugal
- International Energy Agency IEA, Paris, Frankreich
- Photovoltaic Power Systems Programme PVPS
  - Task 5: »Grid Interconnection of Building Integrated and Other Dispersed PV Power Systems«
  - Task 7: »Photovoltaic Power Systems in the Built Environment«
  - Task 9: »PV Deployment in Developing Countries«
- Solar Heating & Cooling Programme SHCP
  - Task 21: »Daylight in Buildings«
  - Task 25: »Solar Assisted Air Conditioning of Buildings«
  - Task 27: »Performance of Solar Façade Components«
  - Task 28: »Solar Sustainable Housing«
- Interuniversity Microelectronics Center, IMEC, Leuven, Belgien
- Joint Research Center ISPRA, ESTI Group, Ispra, Italien
- Kema Nederland B.V., Arnheim, Niederlande
- Microelectronic Center – MIC, Kopenhagen, Dänemark
- National and Kapodistrian University of Athens, Athen, Griechenland
- National Institute for Chemistry, Ljubljana, Slowenien
- National Renewable Energy Laboratory NREL, Golden, USA
- Naval Research Laboratory, Washington, USA
- Netherlands Energy Research Foundation ECN, Petten, Niederlande
- Reusselaer Polytechnic Institute, Troy, USA
- Rutherford Appleton Laboratory CCLRC, Chilton, Großbritannien
- Solar Energy Research Training Center SERT, Naresuan University, Phitsanulok, Thailand
- Solarenergie Prüf- und Forschungsstelle, Rapperswil, Schweiz
- Staatliche Prüf- und Forschungsanstalt, Borås, Schweden
- TNO Building and Construction Research, Delft, Niederlande
- Tokyo University of Agriculture and Technology, Tokyo, Japan
- Toyota Technological Institute, Nagoya, Japan
- Trama Tecno Ambiental, Barcelona, Spanien
- Universitas Indonesia, Jakarta, Indonesien
- Universidad San Juan UNSJ, San Juan, Argentinien
- Universiteit Utrecht, Utrecht, Niederlande
- University Center of Excellence for Photovoltaic Research, Atlanta, USA
- University of New South Wales UNSW, Sydney, Australien
- Uppsala University, Uppsala, Schweden
- Vergnet S. A., Ingré, Frankreich
- World Bank, Washington, USA

# Die Abteilungen im Überblick

## Thermische und Optische Systeme Priv. Doz. Dr. Volker Wittwer



### Forschungsgebiete

- Optisch selektive Schichten, Antireflexschichten
- Transparente Wärmedämmung
- Optisch schaltbare Fenster und Fassaden
- Systeme mit selbstregelndem Überhitzungsschutz
- Komponenten für die Tageslichtlenkung
- Thermische Kollektoren für Brauchwasser und Prozesswärme
- Thermochemische Speicher und Solare Kühlung
- Optische und thermische Vermessung komplexer Fenster- und Tageslichtsysteme
- Verbesserte Simulationsprogramme im Bereich optischer und thermischer Systeme
- Steuerung und Regelung von Energieversorgungssystemen
- Visualisierung der Lichtverteilung im Gebäude
- Energieeffizienz im Gebäude
- Kleinstwärmepumpen, Lüftungsgeräte, Luft-Erdregister
- Gesamtenergiekonzepte für Bauten

### Dienstleistungen

- Spektralmessungen zur Qualitätssicherung
- Optische Beschichtungen nach Wunsch
- Beständigkeitsprüfungen (Alterungstests)
- Fluiddynamische Simulationen
- Thermisches und Optisches Prüflabor (TOPLAB): Bestimmung von optischen und thermischen Systemkenngrößen
- Charakterisierung von Sorptionssystemen
- Leistungsmessungen an Brauchwasser- und Hochtemperaturkollektoren (DIN-Prüfstelle)
- Raytracing-Simulation zur Auslegung von optischen Systemen (z.B. Sonnenschutz)
- Energetische und lichttechnische Vermessung von Fassaden im Freilandprüfstand FASTEST
- Energiekonzepte und Energieplanung
- Lichtplanung
- Dynamische Gebäude- und Anlagensimulation: TRNSYS, ESPr, SMILE, CoSim
- Lichtsimulation inkl. Videoanimation der Ergebnisse: RADIANCE
- Softwareentwicklung für die Modellierung von thermischen und optischen Systemen
- Gesamtenergiekonzepte für Gebäude und Siedlungen
- Konzeption und Energieanalyse von Demonstrationsgebäuden
- Tests und Messungen an Wohnungslüftungsgeräten

### Apparative Ausstattung

- Optische Charakterisierungslabore
- PVD-Beschichtungsanlage (1m<sup>2</sup> Größe)
- Feldemissionsrasterelektronenmikroskop
- Thermochemisches Analyzelabor
- Laserbelichtungsstand zur Erzeugung von großflächigen Submikronstrukturen
- Klimakammern für beschleunigtes Altern
- Freiland-Testfeld (Kollektoren)
- 2 drehbare Tageslichtmessräume
- Apparatur zur 3-D-Visualisierung von Lichtsimulationen
- Fassadenteststand
- Speicher- und Systemteststände für Solare Kollektorsysteme und Solare Klimatisierung
- Teststand Lüftungs-Kompaktgeräte

## Energietechnik

Dr. Angelika Heinzl



### Forschungsgebiete

- Elektrochemische, chemische und thermische Energiewandler
- Polymermembranbrennstoffzelle
- Mikroenergietechnik
- Erzeugung von Wasserstoff durch Elektrolyse, durch Reformierung von C-stämmigen Brennstoffen und durch Aufbereitung von Gas aus Biomasse
- Katalytische Brenner für Erdgas, Heizöl und Wasserstoff
- Sicherheits- und Speichertechnik für Wasserstoff

### Dienstleistungen

- Beratung und Betreuung bei der Errichtung von Wasserstoffsystemen
- Konzeption von Energieversorgungssystemen mit Brennstoffzellen
- Charakterisierung von Brennstoffzellen und Brennstoffzellenkomponenten
- Simulation von Brennstoffzellenprozessen
- Entwicklung von Komponenten für Brennstoffzellensysteme
- Entwicklung schadstoffarmer Brenner
- Wissenschaftliche Studien, Studien zum Marktpotenzial mit Schwerpunkt Mikrosystemtechnik

### Apparative Ausstattung

- Wasserstoff-Technikum
- Brennstoffzellenlabor für elektrochemische Charakterisierungsverfahren, ortsaufgelöste Messungen, Impedanzspektroskopie und Herstellung von Membran/Elektroden-Einheiten
- Brennerlabor mit Abgasanalytik und Charakterisierung von Katalysatoren
- Mess- und Analyselabor: Quecksilber-Porosimetrie, Gaschromatograph, Differential Scanning Calorimeter DSC
- Rasterelektronenmikroskop mit energie-dispersiver Röntgenanalyse
- FTIR (Fourier Transformations Infrarot Spektrometer)
- Mikrofräse
- Teststände zum Charakterisieren von Katalysatoren zur Reformierung und Gasreinigung, kinetisch und integral
- Wärmeverteilung in Brennstoffzellen mittels IR-Thermographie
- Teststand für Thermophotovoltaik-Systeme

**Solarzellen – Werkstoffe und Technologie**  
Priv. Doz. Dr. Gerhard Willeke



**Forschungsgebiete**

- »High-efficiency« Silicium-Solarzellen
- Multikristalline Silicium-Solarzellen mit hohem Wirkungsgrad
- Dünnschicht-Solarzellen aus kristallinem Silicium
- Entwicklung von Solarzellenmaterialien aus Si und III-V-Halbleitern
- III-V-Konzentrator-Solarzellen und Systeme
- III-V-Epitaxie
- Gasphasenabscheidung von Silicium für kristalline Dünnschichtzellen
- Rekristallisation von Siliciumschichten mit optischer Heizung
- Charakterisierungsverfahren für Silicium
- Plasmatechnologien für die Photovoltaik
- Innovative Metallisierungstechniken für Solarzellen
- Industrienaher Solarzellentechnologie
- Texturierung, Strukturierung und Passivierung von Siliciumoberflächen
- Herstellen von Si-CVD-Schichten

- Rekristallisation von Si-Schichten
- Entwicklung von Anlagen für die Herstellung von Si-Bändern (SSP), für die Si-Abscheidung (CVD) und für die Si-Rekristallisation (ZMR)

**Dienstleistungen**

- Technologieoptimierung für Solarzellen
- Entwicklung von Halbleiter-Charakterisierungsverfahren
- Kleine Serien von Hochleistungssolarzellen
- Optimierung von Herstellverfahren für Solarzellenmaterialien
- Charakterisierung von Halbleitermaterialien
- Photovoltaik-Studien
- Kalibrierung und Charakterisierung von Solarzellen
- Evaluierung von neuartigen Prozessabläufen

**Apparative Ausstattung**

- Reinraumlabor
- Standardsolarzellentechnologie
- Industrienaher Fertigungslinie (Sieb- und Tampondruck, RTP-Durchlauföfen, RTP-Durchlauf-Diffusionsöfen)
- Charakterisierung von Solarzellen: I/U-Kennlinie, SR, LBIC, PCVD, MSC, Diffusionslängen-Topographie
- Charakterisierung von Materialien: MW-PCD, MFCA, DLTS, CV, SPV
- Gasphasenabscheidungsverfahren für Si, RTCVD
- Plasmaätzanlage
- Flüssigphasenepitaxie für GaAs, LPE
- MOVPE für III-V-Epitaxie
- Optische Heizanlagen für die Siliciumherstellung und -bearbeitung
- Schichttechnologie: Plasmaabscheidung, Aufdampfen, Galvanik, Kontaktieren
- Charakterisierung: Röntgenbeugung, Trägerlebensdauer, Photolumineszenz, Ellipsometer, IR-Fourierspektrometer, Glow-Discharge-Massenspektrometer, Rasterelektronenmikroskop mit EBIC, ECV Profiling
- Sieb- und Tampondruck für Solarzellen
- Kalibrierlabor für Solarzellen
- Dauerlicht Sonnensimulator
- Filtermonochromator
- Gittermonochromator
- RTP-Anlagen

## Elektrische Energiesysteme Dipl.-Ing. Klaus Preiser



### Forschungsgebiete

- Produkte mit integrierter photovoltaischer Energieversorgung
- Elektronische Komponenten für Batterien und PV-Anlagen
- Ladestrategien für Speicherbatterien
- Stromversorgung mit Photovoltaik in Inselanlagen
- Betriebsführung in Inselanlagen
- Ländliche Elektrifizierung in netzfernen Gebieten
- Ländliche Trinkwasserversorgung und -aufbereitung
- Photovoltaik im Netzverbund
- Photovoltaik an Gebäuden
- Computersimulation und Energieflussanalysen
- Entwicklung von Präzisionsmesstechnik für die Photovoltaik

### Dienstleistungen

- Planung, Ausführung und Bewertung photovoltaischer Anlagen
- Prototypentwicklung und Qualifizierung photovoltaisch versorgter Produkte
- Messwerterfassung und Datenauswertung bei photovoltaischen Systemen
- Netzfremde Energieversorgung von Telekommunikations- und Informationssystemen
- Kalibrierung und Charakterisierung von Solarmodulen und Solargeneratoren
- Visualisierung und Optimierung für Photovoltaik an Gebäuden
- Weiterbildung und Beratung im Bereich Solarenergie
- Elektromagnetische Verträglichkeitsmessungen (EMV) an Komponenten und Systemen

### Apparative Ausstattung

- Kalibrierlabor für Solarmodule
- Blitzlichtsimulator
- DC-Labor für Test und Entwicklung von PV-Systemkomponenten und Endverbrauchsgeschäften
- Lichtmesstechniklabor
- Entwicklungslabor für photovoltaisch versorgte Industrieprodukte
- Teststände für vielzellige Batterien, Hybridspeicher und Geräte zur Energieaufbereitung
- Freiland-Testfeld zur Erprobung von Solarkomponenten
- AC-Labor mit Wechselrichter-Teststand und Messeinrichtung für elektromagnetische Verträglichkeit (EMV)
- EMV-Messkammer
- Pumpenmessstand
- Teststand für Trinkwasseraufbereitungssysteme

In vielen Wirtschaftsbereichen gehören erneuerbare Energien und Energieeffizienz bereits zum täglichen Technikrepertoire. Ihr Marktanteil wächst kraftvoll, sie beginnen die »Fläche« zu erobern. Bestes Beispiel ist der Bausektor: Solare Niedrigenergiehäuser setzen sich im privaten Wohnungsbau mehr und mehr durch.

Forschung, die diese Ausweitung der Anwendung unterstützen will, muss eine große Bandbreite aufspannen: Immer wieder neue Materialien, Komponenten, Techniken und Anwendungsideen liefern ist die eine Seite. Die andere Seite ist produkt- und kundenorientiert. Ihr Maßstab ist der Markt, sie orientiert sich an den Bedürfnissen der Unternehmen. Sie erleichtert die Anwendung, verbessert die Wirtschaftlichkeit, rundet das Endprodukt ab, sichert Qualität und Nutzerzufriedenheit. Dazu gehören effiziente Berechnungs- und Simulationswerkzeuge für die professionelle Planung und Beratung, rationale Fertigungstechniken, Qualitätskontrolle von Komponenten, Vermittlung von »lessons learned« aus Demonstrationsprojekten, Erarbeitung von Normen und immer wieder die Gesamtsicht - das System gilt es zu optimieren, alle technischen, ökologischen, ökonomischen und sozialen Abhängigkeiten zu berücksichtigen.

Besonders deutlich demonstriert das Fraunhofer ISE diese umfassende Denkweise beim integrierten Systemansatz: Bei der Einführung von photovoltaischen Solar Home Systemen in Entwicklungsländern helfen Psychologen und Soziologen, die Menschen vor Ort gestalten den Prozess mit und können die Technik nach dem Projektende selbständig betreuen.

Daneben lebt Forschung immer noch von einem kreativen Freiraum mit Geistesblitzen und genialen Einfällen. Einige Beispiele, die Sie im vorliegenden Jahresbericht finden: Aus Solarwärme Klimatisierungskälte machen, durch Mikrostrukturierung Oberflächen lebenslang sauber halten, mit Tandemzellen den Weg hin zu 40 % Wirkungsgrad beschreiten.

Solarforschung im Jahr 2001 besteht deshalb mehr denn je aus interdisziplinärer Teamarbeit. Vom hochfliegenden Visionär über den kühlen Rechner bis zum tüftelnden Ingenieur müssen alle so eingebunden werden, dass aus guten Ideen rasch und mit minimalem Aufwand erfolgreiche Produkte entstehen. Angewandte Forschung heißt in vielen Fällen, neben der Idee auch die Werkzeuge für Produktion und Vermarktung zu liefern.

## Thermische und optische Systeme

Die Gebäude der Zukunft werden sich zu einem großen Teil selbst mit Energie versorgen. Zusammen mit einem knappen Dutzend Industriepartnern erarbeitet das Fraunhofer ISE in einem Leitprojekt die technischen, planerischen und organisatorischen Voraussetzungen für eine Bauweise, die Gebäude als Gesamtenergiesysteme begreift.

Simulationen machen dabei die komplexen Zusammenhänge transparent und gestatten auch in wirtschaftlicher Hinsicht eine »Ziellandung«: Exakte Voraussagen können teure Sicherheitszuschläge bei der Planung vermeiden und den Weg zu »schlanken Gebäuden« ebnen. Die Genauigkeit wird ständig verfeinert. Derzeit arbeiten wir mit minütlichen Mittelwerten für Tageslicht, meteorologische Daten und Energieflüsse im Gebäude. Stochastische Modelle können in Kürze auch das individuelle Nutzerverhalten abbilden.

Integrierte Planung der Gesamtenergieversorgung erlaubt ein Höchstmaß an planerischer Freiheit: Der Bauherr kann wählen von kurzfristiger Wirtschaftlichkeit als oberster Prämisse über zusätzliche solare Optionen bis hin zu einem Gebäude, das mehr Energie liefert als es verbraucht. Technische Elemente dieser Entwicklung im Wohnungsbau sind z. B. Kompaktheizgeräte mit Kleinstwärmepumpen für die thermische Versorgung von Solar-Passivhäusern und Sorptionsspeicher zur langfristigen Wärmespeicherung.

Je mehr Solarenergie ein Gebäude nutzt, desto wichtiger ist der Sonnenschutz. Der Forschungstrend im Oberlichtbereich geht weg von mechanischen Elementen: Schaltbare Verglasungen ändern die Transmission von Fenstern und Oberlichtern ganz nach Wunsch ohne bewegte Teile. Mikrostrukturierte Oberflächen lenken direktes Licht gezielt ab.

Ein genereller Trend, nicht nur für Gebäude, ist Multifunktionalität. War bisher Schutz oder Schönheit die wichtigste Funktion einer Gebäudeoberfläche, so werden die Oberflächen der

Zukunft z. B. auch energiesammelnd oder – wie beim »Lotuseffekt« – leicht zu reinigen sein.

Solarkollektoren zur Brauchwassererwärmung in Privathäusern sind Stand der Technik. Die Forschung konzentriert sich derzeit auf zweierlei:

- Große Systeme.  
Optimierte Regelungen gewährleisten z. B. bei der Prozesswärmeerzeugung effizienten Betrieb.
- Neue Anwendungsgebiete.  
Korrosionsfeste Kollektoren ermöglichen Meerwasserentsalzung zur Trinkwassergewinnung; und sorptionsgestützte Prozesse liefern umweltfreundlich Klimatisierung mit Wasser als Kältemittel und Sonne als Antriebsenergie. Niedrigenergiebauweise rückt solare Raumheizung mit neuen Material- und Speicherkonzepten wieder in den Fokus.

## Energietechnik

Der Arbeitsschwerpunkt »Mikroenergietechnik« steht für einen generellen Trend: kleiner und leistungsfähiger. Brennstoffzellen als Kleinstkraftwerke im Batterieformat könnten einen Qualitätssprung bei der Stromspeicherung darstellen. Geräteintegrierte Hochleistungs-Solarmodule sichern die Nachladung. Thermoelektrik und Thermophotovoltaik wandeln ohne bewegte Teile Wärme in Strom um – 100 % zuverlässig auch unter widrigsten Umweltbedingungen und an unzugänglichen Standorten.

Die Brennstoffzelle ist zu einem Hauptthema geworden. Sie ist ähnlich modular an den Bedarf anpassbar wie die Solarzelle, hat ebenfalls keine bewegten Teile und liefert mit hohem Wirkungsgrad aus Wasserstoff umweltfreundlich Strom. Insbesondere für den Verkehr der Zukunft spielt die Erzeugung von Wasserstoff durch Reformierung von gasförmigen oder flüssigen Brennstoffen eine zentrale Rolle. Reformierung ist auch der Schlüssel, um Erdgas in Brennstoffzellen-Blockheizkraftwerken zur Energieversorgung von Gebäuden einsetzen zu können.

## Solarzellen - Werkstoffe und Technologie

Ob kristallines Silicium oder III-V-Verbindungshalbleiter, der gemeinsame Nenner heißt Industrie-relevanz, Wirkungsgradsteigerung und Kosten-senkung. Das Institut verfolgt dabei drei Stoß-richtungen:

- Bewährtes Material weiterentwickeln: Der dominierende Marktführer kristallines Silicium besitzt ein weiterhin hohes Kostenreduktions-potenzial. Durch neue kostengünstige Her-stellungsverfahren lassen sich mit den Arbeits-pferden multikristallines Blockguss- und Czoch-ralski-Silicium noch manche Rennen gewinnen. Ziele weiterer Arbeiten sind das schnelle Prozessieren, die Verwendung dünner und dünnster Wafer und die industrielle Um-setzung der bereits erreichten 20 % Zell-wirkungsgrad auf 10 x 10 cm<sup>2</sup>.
- Technologien der nächsten und übernächsten Generation erforschen: Hierzu zählt die kristalline Silicium-Dünnschichtzelle, die bereits Wirkungsgrade von knapp 20 % vorzuweisen hat. Ziele weiterer Arbeiten sind vor allem kostengünstige Substrate und großflächige, kontinuierliche Abscheideverfahren. Eine andere Strategie verfolgen III-V-Höchst-leistungssolarzellen, die aufgrund überlegener Leistungsmerkmale gerade den Weltraum-markt erobern. Für die terrestrische Anwen-dung macht ihr Einsatz in konzentrierenden Systemen Sinn und bringt deutliche Kosten-vorteile. Die erreichten 31 % Zellwirkungs-grade lassen sich noch auf 40 % verbessern; vor allem muss aber noch an den System-komponenten gearbeitet werden.
- Den Abstand zwischen Forschung und Fertigung verringern: Die Fertigungskapa-zitäten werden größer, die Innovationszyklen kürzer, der Wettbewerb schärfer. Forschung wird deshalb immer stärker produktionsbe-gleitende Formen haben. Das Fraunhofer ISE geht diesen Weg konsequent, indem es ihn mit kräftigen Impulsen zu einem Schwerpunkt gemacht hat. Dazu gehört ein deutlicher Aus-bau unserer produktionstechnischen Labors in Freiburg und in Gelsenkirchen.

## Elektrische Energiesysteme

Die Photovoltaik erobert mit riesigen Schritten einen Multimilliardenmarkt. 100 000 Dächer-Programm und Erneuerbare-Energien-Gesetz haben der netzgekoppelten Photovoltaik in Deutschland das Tor zum Markt weit aufge-stoßen. Portable Geräte und Telekommunikation boomen und Solar Home Systeme werden zu einem Massenprodukt. In einem Moment, da der Markt endlich zu »ziehen« beginnt, ist die aktive Begleitung der Marktentwicklung wichtig, damit das positive Image von Photovoltaik auch in der breiten Anwendung erhalten bleibt. Beispiele dafür sind:

- Monitoring: Energieertrag sichern; grüne Stromtarife zertifizieren
- Energieverteilung: Mit Energieversorgung und Industriepartnern den Umbau hin zu einer intelligenten, kundenfreundlichen, dezentralen Netzstruktur vorbereiten
- Ländliche Elektrifizierung: Die Menschen vor Ort einbeziehen, mit Mikrofinanzierung wirtschaftliche Barrieren beseitigen, mit nationalen Testlabors die Nachhaltigkeit der Projekte gewährleisten
- Messtechnik: Entwicklung von Verfahren und Geräten zur produktionsnahen Qualitäts-kontrolle
- Internationale Normen: Vergleichbarkeit, Qualitätsstandards und Planungssicherheit gewährleisten

Für Anwendungen wie Telekommunikationseinrichtungen mit höchsten Anforderungen an die Verfügbarkeit, setzen sich Hybridsysteme immer mehr durch. Neben PV-Anlagen zur Einzelhaus-versorgung treten zunehmend Dorfstromver-sorgungsanlagen in den Vordergrund. In Ent-wicklungsländern wird die Bereitstellung von sauberem Trinkwasser zu einer immer wichtige-ren Anwendung.

Wie bei Solar Home Systemen zeigt sich auch bei allen anderen Inselanwendungen, dass Batterien von der Anfälligkeit und der Kosten-seite her die Schwachstelle sind. Batterie-management und die Entwicklung spezieller Batterietypen sind zwei Antworten der For-schung darauf.

Forschen und Entwickeln in Solarthermie und Optik



Messen und Prüfen in Solarthermie und Optik



Solares Bauen – Beraten, Planen, Umsetzen



Energietechnik



Solarzellen – Werkstoffe und Technologie



ISE Callab – Präzisionsmessung in der Photovoltaik



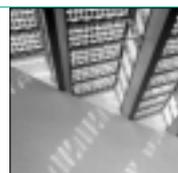
Netzferne Energieversorgung

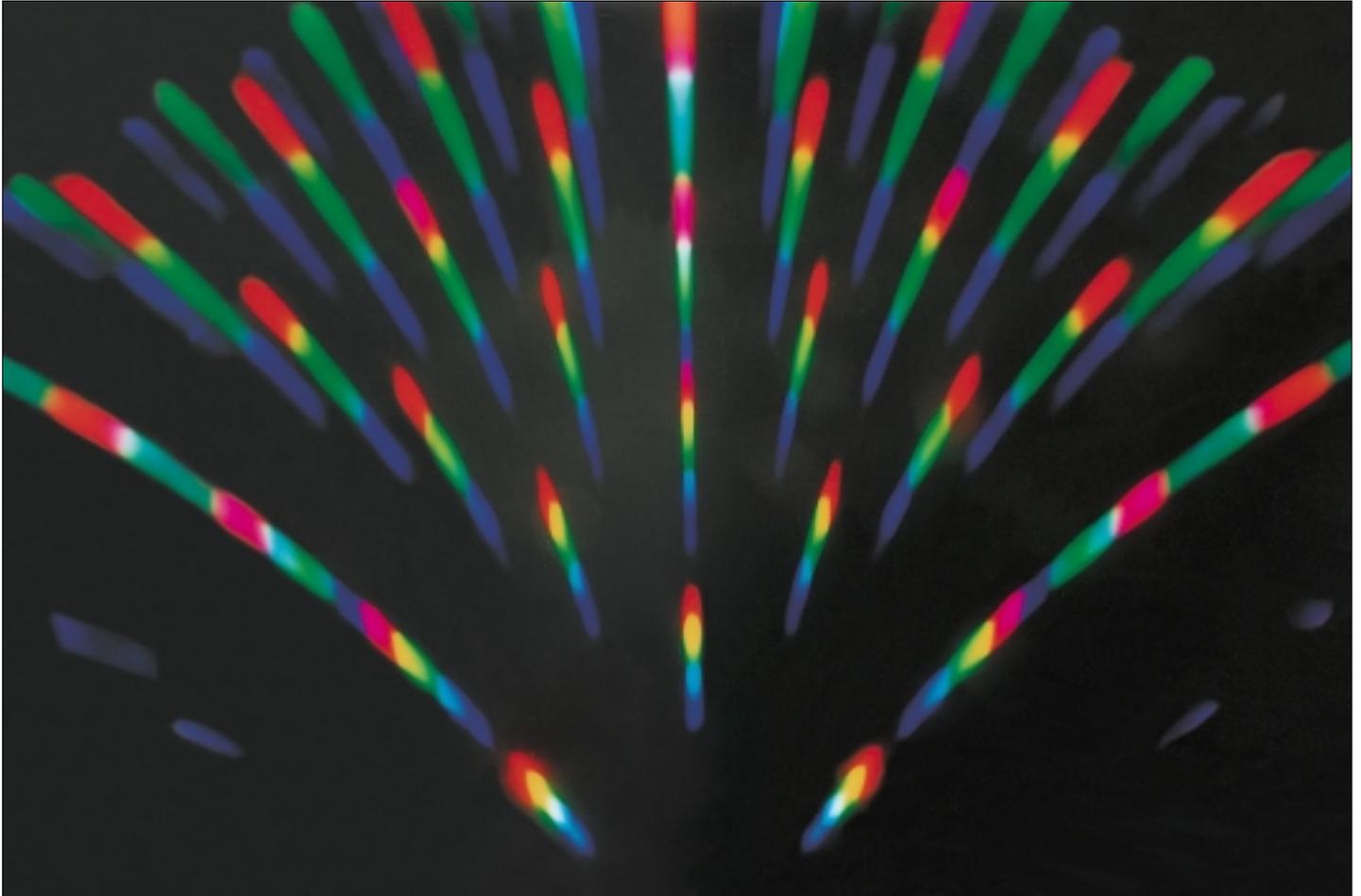


Geräte- und Komponentenentwicklung



Netzgekoppelte Energiesysteme





Auffächerung von Weißlicht durch Beugung an einer periodischen Oberflächenstruktur (optisches Gitter). Großflächige periodische und stochastische Strukturen werden bei entspiegelten, lichtstreuenden, schmutzabweisenden und weiteren funktionalen Oberflächen eingesetzt.



Bauen und Wohnen ist in ökologischer und ökonomischer Hinsicht ein tragender Zukunftsmarkt. Zum einen geht rund ein Drittel der Endenergie in Deutschland in Heizung und Warmwasser. Mit Energieeffizienz und Solarenergie können wir ein riesiges CO<sub>2</sub>-Minderungspotential erschließen. Zum anderen sind viele dieser Maßnahmen schon heute wirtschaftlich, steigende Energiepreise erschließen dem Markt immer mehr Konzepte, die noch vor kurzem Forschung und Demonstration vorbehalten waren.

Hier setzen wir an: In enger Zusammenarbeit mit Herstellern entwickeln wir Materialien und Verfahren, um dem Markt mit neuen Ideen immer ein gutes Stück voraus zu sein. Das gilt für die klassischen Bereiche von thermischen Solaranlagen und solar-em Bauen wie Wassererwärmung, Heizen, Kühlen, Speichern, Beleuchten, genauso wie für Gesamtenergiekonzepte, bei denen Häuser im Stromnetz eine aktive Rolle übernehmen.

Zwei Beispiele:

Mit ultrafeinen Strukturen im Bereich 100 Nanometer bis einige Mikrometer bekommen Oberflächen besondere Eigenschaften. Als optisch-funktionale Schichten machen sie aus herkömmlichen Produkten Innovationen, die mehr können, z. B. die Entspiegelung von Anzeigen oder Selbstreinigung von Fassaden bei Beregnung.

Vernetzte Regelungen optimieren die elektrisch-thermische Gesamtenergieversorgung in Gebäuden. Da die Häuser der Zukunft vielfach dezentrale Mini-Kraftwerke der Energieversorgung sein werden, berücksichtigen solche Regelstrategien auch Bedürfnisse des Stromnetzes und beziehen Wettervorhersagen und Stromtarife mit ein.

So nutzen wir die Kompetenzen aus der Erforschung erneuerbarer Energien für attraktive Produkte auf einem stark expandierenden und nachhaltigen Markt.

#### Ansprechpartner

Beschichtungen	Dipl.-Ing. Wolfgang Graf	Tel.: +49 (0) 7 61/4 01 66-85 E-Mail: Wolfgang.Graf@ise.fhg.de
Bewertung und energetische Optimierung von Fassaden	Dr. Werner Platzer	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-1 31 E-Mail: Werner.Platzer@ise.fhg.de
Erdwärmetauscher	Dipl.-Phys. Christian Reise	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-2 82 E-Mail: Christian.Reise@ise.fhg.de
Lichtstreuung und thermotrope Schichten	Dr. Werner Platzer	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-1 31 E-Mail: Werner.Platzer@ise.fhg.de
Nano- und mikro-strukturierte Materialien	Dr. Andreas Gombert	Tel.: +49 (0) 7 61/4 01 66-83 E-Mail: Andreas.Gombert@ise.fhg.de
Neue Kollektorkonzepte	Dipl.-Phys. Matthias Rommel	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-1 41 E-Mail: Matthias.Rommel@ise.fhg.de
Regelung und Steuerung	Dr. Christof Wittwer	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-1 15 E-Mail: Christof.Wittwer@ise.fhg.de
Sorptive Materialien	Dr. Hans-Martin Henning	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-1 34 E-Mail: Hans-Martin.Henning@ise.fhg.de



## Großflächige 3D-Nano- und Mikrostrukturen – »Nanofab«

Mikrostrukturierte Oberflächen können Funktionen wie Lichtlenkung oder Selbstreinigung übernehmen. Ein Verbund aus zehn Partnern arbeitet an Verfahren zur Herstellung homogen strukturierter Flächen von 800 x 1 000 mm<sup>2</sup> Größe.

Benedikt Bläsi, Christopher Bühler, **Andreas Gombert**, Volker Kübler\*, Michael Niggemann, Christine Wellens, Armin Zastrow

Mikrostrukturierte Oberflächen können Licht aufspalten und in gewünschte Richtungen lenken. Aus einer Isolierglasscheibe wird so ein Tageslichtelement. Winzige Retroreflektoren machen Fahrbahnmarkierungen oder Verkehrszeichen besser erkennbar. Selbstreinigende Oberflächen, die künstliche Haifischhaut, Schleifpapiere, Mikroreaktoren - all das sind Anwendungen der nanometergenau strukturierten Oberflächen.

Mikroreplikation der Originalstruktur über galvanische und formgebende Prozesse bei Kunststoffen wie Heißprägeverfahren, UV-aushärtende Verfahren, Spritzguss, ermöglicht kostengünstige Produktion. Die aufwändige Originalstruktur belastet das Formteil nur mit wenigen Pfennigen.

Die Nachfrage ist groß, bisher fehlten jedoch zur Herstellung Master mit kontinuierlichen Strukturprofilen (3D-Strukturen) und relativ großen homogen strukturierten Flächen.

Das BMBF-geförderte Verbundprojekt »Nanofab« entwickelt daher Werkzeuge zur Herstellung von Strukturen mit nanometergenauen Konturen auf großen Flächen. Die Schlüsselrolle spielt hierbei das nahtlose Aneinandersetzen kleiner mikrostrukturierter Flächen in Prägetechnik (Abbildung 1). Diese Technik heißt Rekombination. Sie ist mit Nahtbreiten im Bereich 100 µm Stand der Technik. Das Projekt »Nanofab« strebt Nahtbreiten in der Größenordnung von 1 µm an.

Die Fraunhofer-Institute für Produktionstechnologie IPT, für Siliciumtechnologie ISIT und für Solare Energiesysteme ISE entwickeln neue Strukturen und die Rekombinationstechnik. Die Fa. Kugler baut die notwendigen Positioniersysteme, Scana und Fresnel Optics vervielfältigen die Strukturen, Creavis entwickelt selbstreinigende Oberflächen, Nanofocus und FRT (Fries Research and Technology GmbH) stellen die Messtechnik bereit und Beiersdorf rüstet die mikrostrukturierten Kunststofffolien selbstklebend aus.

Arbeitsschwerpunkte am Fraunhofer ISE sind Mikrostrukturen zur Tageslichtnutzung und ein holographisches Strukturierungsverfahren für große Flächen.

Zur Tageslichtnutzung verwenden wir überwiegend Prismenarrays. Die Prismenflanken dienen zur Brechung oder Totalreflexion. Wir untersuchen auch parabolische Elemente. Sie bieten optische Vorteile, sind aber schwieriger herzustellen. Die wesentliche Frage ist die Dimension der Strukturen: Ab welcher Größe zerstören Beugungseffekte die mit geometrisch-optischen Methoden entworfene Funktion?

Die holographische Belichtung von Photoresist gestattet die großflächige Herstellung bestimmter Strukturen in einem Schritt. Wir wollen im Projekt homogene Prägewerkzeuge mit entspiegelnden Mottenaugenstrukturen auf einer Fläche von 600 x 800 mm<sup>2</sup> herstellen, dem Dreifachen der bisher strukturierbaren Fläche. Dafür können wir nicht einfach bestehende Prozesse skalieren, sondern müssen viele Komponenten des optischen Aufbaus neu konzipieren - darunter einen automatisierten, hochstabilen Probenhalter für die holographische Belichtung.

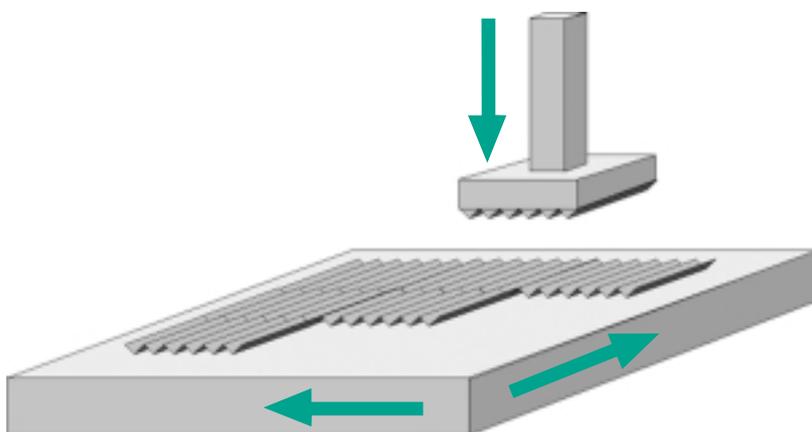


Abb.1: Rekombinationsverfahren. Dabei werden kleine mikrostrukturierte Flächen wie mit einem Stempel nahtlos aneinander gesetzt.

\* PSE Projektgesellschaft Solare Energiesysteme mbH, Freiburg



## Photoelektrochrome Fenster

Photoelektrochrome Fenstersysteme sind in ihrer Transmission schaltbar. Die Energie zum Verfärben liefert das Sonnenlicht. Daher ist keine Spannungsversorgung notwendig. Anwendungen sind Überhitzungs- und Blendschutz z. B. im Gebäude- oder Kfz-Bereich.

Andreas Georg, Anneke Hauch\*, Wolfgang Graf, Volker Wittwer

Photoelektrochrome Systeme sind eine Kombination aus einer elektrochromen Zelle und einer elektrochemischen Solarzelle. Am Fraunhofer ISE entstand die Idee zu dem Aufbau von Abbildung 1, der in besonders günstiger Weise eine Farbstoffsensibilisierte Solarzelle und ein elektrochromes Element verbindet. So ist die Färbezeit unabhängig von der Fläche, die Transmission kann auch im beleuchteten Zustand variiert werden und das System lässt sich zusätzlich durch eine externe Spannung schalten. Erste Muster verringern ihre Transmission unter Beleuchtung in drei Minuten von 61 % auf 15 %. Sie entfärben in ca. 2 Minuten.

### Aufbau

Ein Glassubstrat wird mit einer transparenten, elektrisch leitfähigen Schicht (TE) und einer elektrochromen  $\text{WO}_3$ -Schicht belegt. Darauf wird eine nanoporöse  $\text{TiO}_2$ -Schicht aufgebracht. Die durch die Porosität stark vergrößerte Oberfläche des  $\text{TiO}_2$  ist mit einer Monolage eines Farbstoffes bedeckt. Die Poren und der Freiraum zwischen  $\text{TiO}_2$  und Gegenelektrode sind mit einem Elektrolyt ausgefüllt, in dem Lithiumjodid ( $\text{LiI}$ ) gelöst ist. Die Gegenelektrode ist ein zweites, mit einer TE-Schicht bedecktes Glassubstrat, das mit einer dünnen, transparenten Pt-Schicht beschichtet ist.

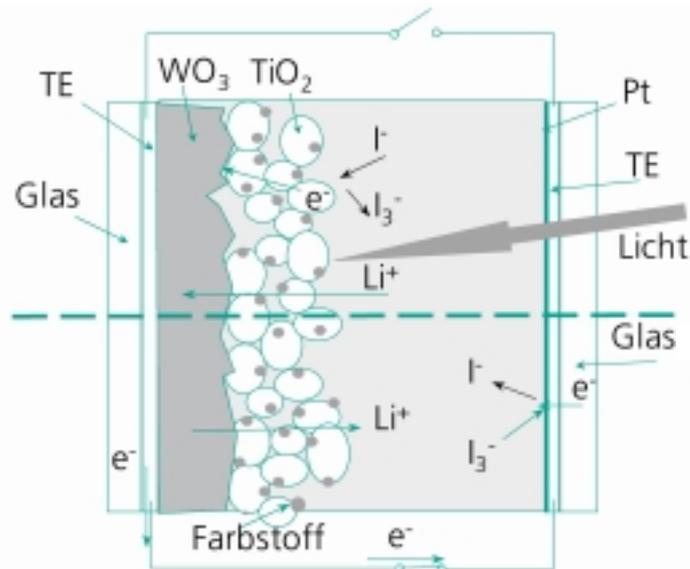


Abb.1: Schematischer Aufbau und Funktionsweise des photoelektrochemischen Elements (TE: transparente, elektrisch leitende Schicht). Obere Hälfte: Färben bei Beleuchtung, untere Hälfte: Entfärben.

Die beiden transparenten Elektroden TE sind über einen externen Schalter miteinander verbunden. Prinzipiell können die  $\text{TiO}_2$ - und die  $\text{WO}_3$ -Schicht in ihrer Reihenfolge vertauscht oder zu einer Schicht vereinigt werden.

### Funktion des Färbeprozesses

Unter Beleuchtung (obere Hälfte von Abbildung 1) wird der Farbstoff angeregt. Er gibt ein Elektron an das  $\text{TiO}_2$  ab, dieses leitet es weiter zum  $\text{WO}_3$ . Dort reduziert es das Wolfram und färbt es von transparent zu blau. Der Farbstoff erhält sein Elektron zurück von einem  $\text{I}^-$ -Ion aus dem Elektrolyten, welches zu  $\text{I}_3^-$  oxidiert wird. Die überschüssig gewordenen  $\text{Li}^+$ -Ionen diffundieren durch die poröse  $\text{TiO}_2$  in die  $\text{WO}_3$ -Schicht und sorgen so für den Ladungsausgleich. Für den Färbeprozess ist die TE-Schicht ohne Bedeutung, das System arbeitet als passives photochromes Element. Somit ist insbesondere die Schaltzeit

zum Färben unabhängig von der TE-Schicht und unabhängig von der Fläche des Elements. Dies ist ein Vorteil gegenüber herkömmlichen elektrochromen Fenstern, bei denen die Schaltzeit von der Leitfähigkeit der TE-Schicht begrenzt wird und stark von der Fläche abhängt.

### Funktion des Entfärbeprozesses

Schließt man den externen Schalter (untere Hälfte von Abbildung 1), so können die Elektronen aus dem  $\text{WO}_3$  über den Schalter zur Gegenelektrode fließen. Hier katalysiert das Platin die Rückreaktion des  $\text{I}_3^-$  zum  $\text{I}^-$ . Gleichzeitig wandern  $\text{Li}^+$ -Ionen zurück in den Elektrolyten. Dieser Prozess findet auch bei Beleuchtung statt, d. h. die Transmission kann sowohl bei Beleuchtung als auch im Dunkeln durch das Schalten wieder erhöht werden.

\* Universität Freiburg, Freiburger Materialforschungszentrum FMF, Freiburg



## Konzept für eine mehrstufige Adsorptionswärmepumpe

Adsorptionswärmepumpen können den Verbrauch an Erdgas für Heizungszwecke deutlich reduzieren. Simulationen einer zweistufigen Adsorptionswärmepumpe zeigen das Potenzial und den zu erwartenden Wirkungsgrad dieser Technologie im jahreszeitlichen Einsatz.

Hans-Martin Henning, Frank Luginsland\*, Tomas Núñez

In dem neuartigen Verfahren setzen wir zwei unterschiedliche Adsorbentien ein, um mit wenig Wärme hoher Temperatur viel Umgebungswärme auf ein nutzbares Temperaturniveau anzuheben. Die Wärme hoher Temperatur stammt aus Erdgas. Die Heizzahl gibt das Verhältnis von Nutzwärme zu eingesetzter Energie aus Erdgas an. Ist sie z. B. 2, dann wird das Erdgas doppelt so gut ausgenutzt als wenn es direkt zur Raumheizung verwendet wird.

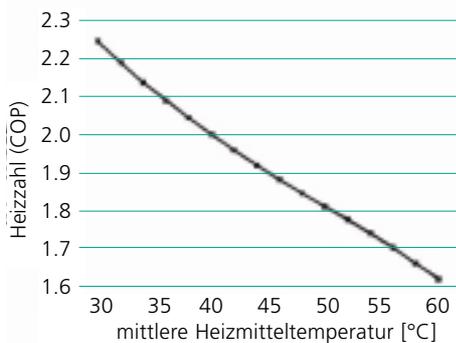


Abb. 1: Errechnete Kennlinie der mehrstufigen Adsorptionswärmepumpe über der Heizmitteltemperatur. Das Material im Hochtemperaturadsorber ist Zeolith 13X, im Niedertemperaturadsorber wird »Selective Water Sorbent« eingesetzt. Die Antriebstemperatur beträgt 280 °C, die Verdampfertemperatur 7 °C.

\* PSE Projektgesellschaft Solare Energiesysteme mbH, Freiburg

Wir konnten die prinzipielle Machbarkeit sowohl der Feststoffadsorption zur Wärmetransformation als auch des speziellen mehrstufigen Verfahrens nachweisen.

Wir bestimmten die Heizzahl als Funktion der mittleren Heizmitteltemperatur aus Simulationsrechnungen. Dazu ermittelten wir an einem 1-Kammer-Prototyp-Adsorber experimentell die Parameter für Stoff- und Wärmetransport und verwendeten sie in dynamischen Simulationen des mehrstufigen Prozesses.

Eine einfache Simulation des Gesamtsystems, bestehend aus Adsorptionswärmepumpe, Gebäude und Heizsystem ergab folgende Jahresmittelwerte für die Heizzahlen bei einer Antriebstemperatur von 280 °C und einer Umweltwärmequelle, die im Mittel Wärme bei 7 °C liefert:

**Adsorptionswärmepumpe und Niedertemperaturheizung** (maximale Heizmitteltemperatur 45 °C): mittlere Heizzahl 2 oder größer.

**Adsorptionswärmepumpe und Standardheizung** (maximale Heizmitteltemperatur 65 °C): mittlere Heizzahl 1,7.

Das bedeutet eine Brennstoffersparnis von 50 % bzw. 40 % gegenüber dem alleinigen Einsatz moderner Heizkessel.

Das von der Stiftung Energieforschung Baden-Württemberg geförderte Vorhaben ist abgeschlossen. Weitere Überlegungen konzentrieren sich auf einstufige Wärmepumpen zur Kühlung und Heizung.



## Mikroverkapselte Phasenwechselmaterialien in Wandverbundsystemen zur Wärmespeicherung

Durch das Einbringen von Phasenwechselmaterialien (PCM) in den Wandaufbau kann man die Wärmekapazität der Wand in einem definierten Temperaturbereich erhöhen. Das ist oft wünschenswert, um Lastspitzen abzufangen und die gespeicherte Energie zu einem günstigeren Zeitpunkt wieder abzugeben. Insbesondere bei Gebäuden in Leichtbauweise führt diese Technik sowohl zu Energieeinsparungen als auch zu erheblichem Komfortgewinn.

Hans-Martin Henning, Peter Schossig, Guido Weingarten, Alexandra Raicu\*

Denkbar sind Innenwandssysteme – z. B. Gipskartonplatten – mit integrierten Phasenwechselmaterialien wie Paraffinen. Sie können die sommerliche Überhitzung in Bürogebäuden durch Verlagerung der Lastspitzen in die Nacht vermeiden. Nach dem gleichen Prinzip kann man auch den Heizenergiebedarf durch Verschieben von energetischen Überschüssen in die Heizzeiten verringern.

Das PCM muss verkapselt sein, um die Funktion des Baustoffs – z. B. Putz – nicht zu beeinträchtigen. Bisherige Versuche mit großvolumiger (oder Makro-)Verkapselung scheiterten an der schlechten Leitfähigkeit des PCM. Wollte man aus der flüssigen Phase die Wärme wieder abrufen, so verfestigte sich das PCM am Rand und verhinderte einen effizienten Wärmeaustausch. Bei der Mikroverkapselung sind die Schichtdicken so gering, dass dieser Effekt nicht auftritt.

Die Mikroverkapselung gestattet auch, das Phasenwechselmaterial kostengünstig und einfach in herkömmliche Baumaterialien einzubringen.

Zusammen mit den Industriepartnern BASF, DAW, Maxit und Sto identifizieren wir sinnvolle Einsatzgebiete und entwickeln Systeme.

Wir nutzen die Simulation des thermischen Verhaltens von Bauteilen, um das dynamische Verhalten unterschiedlicher Wandaufbauten mit PCM zu vergleichen. Dabei legen wir ein empirisch validiertes Modell für den Phasenübergang zugrunde. Die experimentelle Modellüberprüfung erfolgt mit einem Testaufbau zur Vermessung von Wandmustern der Größe 0,5 x 0,5 m<sup>2</sup>. Gebäudesimulationen tragen zur Potenzialabschätzung von Anwendungen bei. Wir untersuchen die Wirkung in Abhängigkeit vom Temperaturbereich des Phasenübergangs, vom Anteil an Latentwärmespeichermaterial sowie von der Beschaffenheit und Nutzung eines Gebäudes.

Die folgenden Thermografieaufnahmen verdeutlichen qualitativ den Effekt des Phasenwechselmaterials in Baumaterialien: In Abbildung 2 sind vier Wandmuster mit unterschiedlichem Gehalt an PCM zu sehen, die in einem Ofen erwärmt wurden und nun beim Auskühlen beobachtet werden. Der Zeitverlauf in Abbildung 3 zeigt den Einfluss des Phasenwechselmaterials deutlich. Je größer der Anteil an PCM ist, desto länger dauert der Auskühlvorgang.

Durch den Phasenwechsel ist es also möglich, in einem bestimmten Temperaturbereich die thermische Masse eines Bauteils deutlich zu erhöhen und sich so auch bei Leichtbauweise dem thermischen Komfort schwerer Bauten zu nähern.

Das Projekt wird vom Bundeswirtschaftsministerium BMWi gefördert.

\* Sto AG, Stühlingen

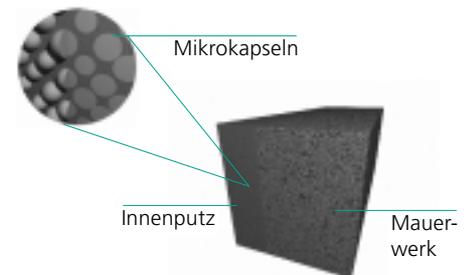


Abb. 1: Prinzipskizze von mikroverkapseltem PCM im Innenputz.

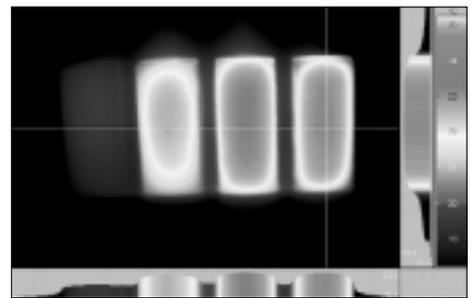


Abb. 2: Thermografieaufnahme von vier Proben mit unterschiedlichem PCM-Anteil. Die Grauskala und die Höhe der rechts und unten abgebildeten Profile kodieren die Temperatur.

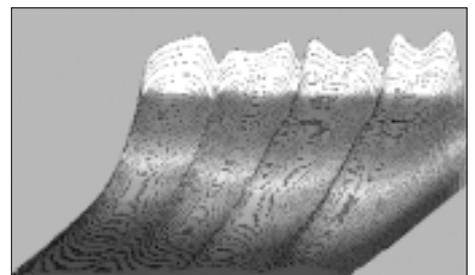


Abb. 3: Auskühlverhalten der vier Proben. Der PCM-Gehalt nimmt von links nach rechts zu. Die Zeit läuft von hinten nach vorn, zwischen 2 Linien liegen 30 Sekunden (Titelbild).



## Thermotrop geregelte Fassadenkomponenten

In Fassaden und Fenster integrierte thermotrope Schichten vermindern unerwünschten solaren Licht- und Wärmeeintrag. Ein thermotroper Überhitzungsschutz regelt sich selbsttätig und braucht keine Energieversorgung.

Peter Nitz\*, Werner Platzer,  
Alexandra Raicu\*\*, Helen Rose  
Wilson\*\*\*, Volker Wittwer



Abb. 1: Systemdemonstration an der Fassade eines Wohngebäudes: thermotrop geregelte TWDVS-Variante (Mitte oben, Schicht im klaren Zustand) und TWDVS-Standardssystem (untere Reihe).

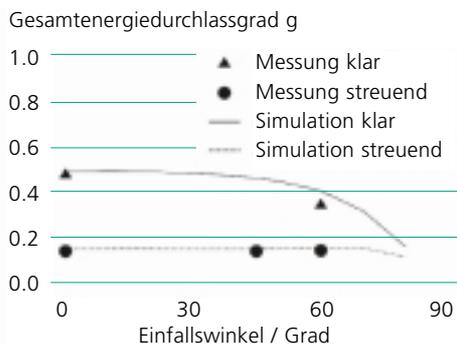


Abb. 2: Vergleich von gemessenem und simuliertem Gesamtenergiedurchlassgrad g einer thermotropen Wärmeschutzverglasung.

### Thermotrope Schichten

Thermotrope Schichten ändern ihre optischen Eigenschaften mit der Temperatur. Sie sind bei tiefen Temperaturen klar wie Fensterglas. Überschreitet die Schichttemperatur eine Schwelle, wird die Schicht milchig weiß und reflektiert einen großen Teil des einfallenden Lichts. Durch diese Eigenschaft sind thermotrope Schichten prädestiniert für den Einsatz in selbstregelnden Fassadenkomponenten. Als dünne Schicht integriert in moderne Verglasungen oder transparente Wärmedämmsysteme lassen sie im Winter das wärmende Sonnenlicht ungehindert ins Gebäude. Im Sommer schützen sie im geschalteten Zustand vor zuviel Sonnenlicht und der damit verbundenen Überhitzung und Blendung.

Es existieren mehrere Konzepte und Materialien für thermotrope Schichten. In Zusammenarbeit mit der BASF AG (Materialentwicklung) sowie den Firmen Sto AG (Wärmedämmsysteme), Interpane E&BmbH und Okalux GmbH (Verglasungen) haben wir in den vergangenen Jahren die Integration thermotroper Polymerblends in Fassadensysteme optimiert. Wir stellen hier exemplarische Ergebnisse dieses Projekts vor. Parallel untersuchen wir in anderen Projekten alternative thermotrope Materialien, Schichten und Systeme.

### Arbeiten am Fraunhofer ISE

Wir charakterisieren Schichten und Systemprototypen hinsichtlich der optischen und thermischen Eigenschaften, unterstützen die Material- und Prototypentwicklung durch Simulation der Lichtstreuungseigenschaften und der Auswirkungen auf ein Gebäude, prüfen Schichten und Systeme auf

ihre Langzeitbeständigkeit und testen schließlich Prototypen an unserem Fassadenteststand unter realen Klima- und Einbaubedingungen.

### Thermotrop geregeltes transparentes Wärmedämmverbundsystem (TWDVS)

Für eine Variante des TWDVS mit thermotropem Überhitzungsschutz wurde die transparente Abdeckung modifiziert. Sie bietet jetzt einen effektiven Schutz der thermotropen Schicht vor UV-Einstrahlung. Das System wird derzeit an einem Demonstrationsobjekt in Stühlingen getestet (Abbildung 1). Es zeigt ein gutes Schaltverhalten und hohe Transmission im klaren Zustand.

### Thermotrope Verglasungen

Mit unserem Kalorimeter bestimmten wir den Gesamtenergiedurchlassgrad g einer Wärmeschutzverglasung mit integrierter thermotroper Schicht. Auch bei sommer-typischen hohen Einfallswinkeln ist der Schalldurchgang gut. Die Messung stimmt mit von uns simulierten Werten überein, die auf den physikalischen Eigenschaften der Komponenten basieren (Abbildung 2). Messungen am Fassadenteststand bestätigten ähnlich gute Werte für die solare Transmission.

### Ausblick

Das beschriebene öffentlich geförderte Verbundforschungsprojekt ist inzwischen abgeschlossen. Ziel weiterer Arbeiten ist ein langzeitstabiles, marktfähiges Fassadenelement mit thermotropen Eigenschaften.

\* PSE Projektgesellschaft Solare Energiesysteme mbH, Freiburg

\*\* Sto AG, Stühlingen

\*\*\* Interpane E&BmbH, Lauenförde



## Bessere Gebäudesimulation durch Modellierung von Kurzzeit-Strahlungsdaten

Um aus stündlichen Mittelwerten der solaren Einstrahlung minütliche Mittelwerte erzeugen zu können, verbesserten wir ein stochastisches Modell. Dies erhöht die Genauigkeit von thermischen und tageslichttechnischen Simulationen.

Oliver Walkenhorst,  
Christoph Reinhart\*

Viele thermische und tageslichttechnische Simulationsprogramme zur Modellierung des zeitlichen Verlaufs von Wärmeströmen oder Tageslichtverhältnissen benötigen Zeitreihen der solaren Einstrahlung. Sie sind in Deutschland flächendeckend mit einer zeitlichen Auflösung von einer Stunde verfügbar. Die kurzfristige – beispielsweise durch vorüberziehende Wolken verursachte – Variabilität der Sonnenstrahlung geht bei der Verwendung von stündlichen Mittelwerten jedoch verloren (Abbildung 1).

Besonders bei der Simulation des Tageslichtangebotes in Gebäuden kann die Verwendung von Stundenmittelwerten zu erheblichen Fehlern führen: Ein kurzzeitiger Strahlungsüberschuss kann ein anschließendes Beleuchtungsdefizit ja nicht ausgleichen.

Deshalb verbesserten wir ein stochastisches Modell, das aus stündlichen Strahlungsdaten Kurzzeitdaten mit einer zeitlichen Auflösung von einer Minute erzeugt. So konnten wir die Zuverlässigkeit von Tageslichtsimulationen, z. B. zur Vorhersage des jährlichen Kunstlichtbedarfes, steigern (Abbildung 2).

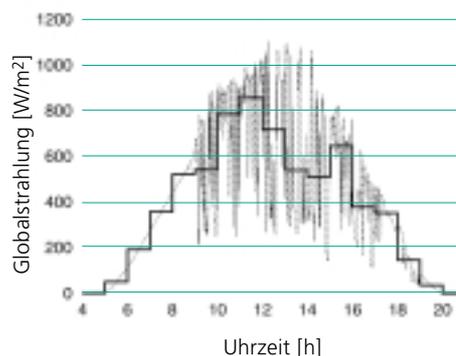


Abb. 1: Gemessener Tagesverlauf der Globalstrahlung am 17.5.1998 in Freiburg: Bis etwa 9 Uhr war der Himmel klar und die Minutenmittelwerte (gestrichelt) stimmten mit den Stundenmittelwerten (durchgezogen) gut überein. Beim danach einsetzenden, starken Wolkenflug wiesen die minütlichen Daten eine hohe Variabilität auf, die von den Stundenmittelwerten nicht erfasst wurde.

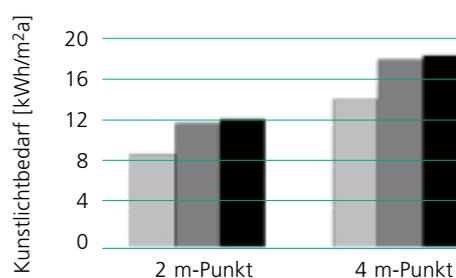


Abb. 2: Prognostizierter Jahres-Kunstlichtbedarf für zwei Arbeitsplätze in 2 m und 4 m Abstand vom Fenster. Simulation für ein Modellbüro im Jahre 1998 in Freiburg, bei dem das Kunstlicht automatisch nachgeregelt wird, um 500 lux Nennbeleuchtungsstärke zu erreichen. Bei Verwendung von stündlichen Strahlungsdaten (hellgrau) wird der Kunstlichtbedarf um etwa 25 % gegenüber einer Simulation mit gemessenen Minutenmittelwerten (dunkelgrau) unterschätzt. Dieser genauere Kunstlichtbedarf aufgrund minütlicher Messdaten wird gut durch Simulation auf der Basis modellierter Minutenmittelwerte (schwarz) reproduziert.

\* Universität Freiburg, Freiburger  
Materialforschungszentrum FMF, Freiburg



### Simulationsgestützte Regelungsentwicklung zur optimierten Einbindung von Brennstoffzellen-BHKWs in teilsolare Energieversorgungssysteme

Die am Fraunhofer ISE entwickelte Software ColSim simuliert sowohl die einzelnen Komponenten einer Energieversorgungsanlage als auch die Steuerung des ganzen Systems. Im Mittelpunkt steht derzeit die vernetzte Regelung eines erdgasbetriebenen Brennstoffzellen-BHKWs. Sie bindet Wetterprognose, Energiepreise und Nutzerverhalten in die vorausschauende Regelstrategie ein.

Matthias Vetter, Christof Wittwer

Kraft-Wärme-gekoppelte Systeme wie Blockheizkraftwerke (BHKW) reduzieren die Schadstoff- und CO<sub>2</sub>-Emissionen von Energieversorgungssystemen (Beitrag S. 48). Will man mehrere Energiequellen (solar und fossil) kombinieren, wird eine übergeordnete Systemregelung notwendig. Im Stromnetz der Zukunft

müssen dezentrale Energieerzeugungsanlagen mit den Energiedienstleistern vernetzt werden.

Wir entwickeln derzeit Regelungskonzepte für ein erdgasbetriebenes netzgekoppeltes Brennstoffzellen-BHKW, das in Kombination mit einer thermischen Solaranlage betrieben wird. Wir evaluieren die Gesamtsysteme anhand von Jahressimulationen mit Hilfe der Simulationssoftware ColSim. Für vorausschauende Strategien werden durch die Vernetzung der Anlage mit dem Internet Wetterprognosen und dynamische Strom- bzw. Gasstarife integriert. Der Regelalgorithmus »erlernt« aus dem laufenden Betrieb das zyklische Nutzerverhalten.

Die mit ColSim entwickelten und in ANSI C implementierten Regelalgorithmen portieren wir direkt auf die Regelhardware des BHKWs. Sie wird derzeit als »Embedded System« unter dem »Multitasking«-Betriebssystem Linux realisiert.

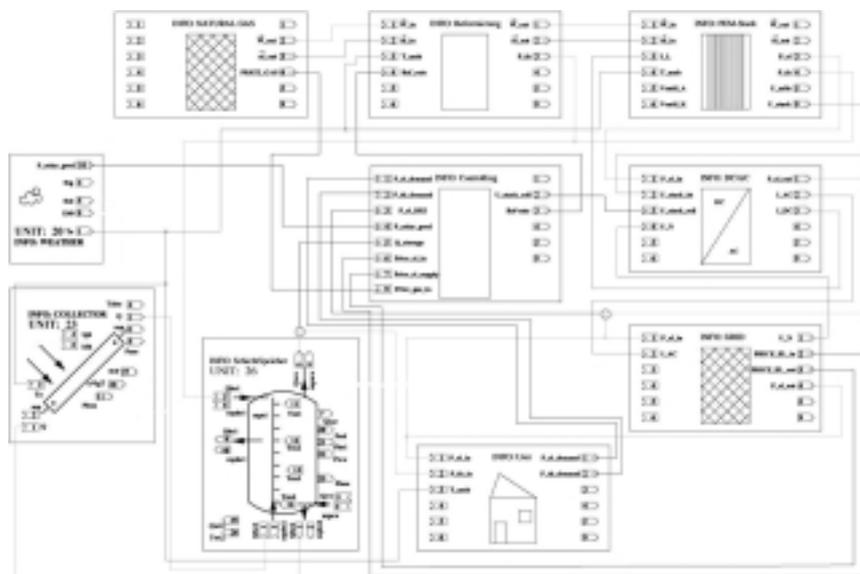


Abb. 1: Simulation der Energieversorgung eines Gebäudes in ColSim. Die Einheiten entsprechen den Komponenten Gasanschluss, Reformierung, Brennstoffzelle als BHKW, Wechselrichter, Netzanschluss, Solarkollektor, Wärmespeicher, Wettermessung, dem Haus als Verbraucher und der zentralen Regelung. ColSim simuliert sowohl die einzelnen Komponenten als auch ihr Zusammenspiel als Gesamtsystem.

### Erd-Luft-Register

Erd-Luft-Register sind im Boden verlegte Wärmetauscher. Sie nutzen die Speicherfähigkeit und die thermische Trägheit des Erdreichs. Im Sommer können sie die Zuluft von Gebäuden kühlen, im Winter vorwärmen und so im günstigsten Fall eine konventionelle Klimaanlage überflüssig machen.

Christian Reise

In Nicht-Wohngebäuden lohnt sich Erd-Luft-Register vor allem dann, wenn die Kühllast allein über den Luftwechsel abgeführt werden kann. In diesen Fällen kann das Erd-Luft-Register eine aktive Kühlung ersetzen.

Um ein Erd-Luft-Register wirtschaftlich optimal auslegen zu können, sind präzise Simulationswerkzeuge notwendig. Wir entwickeln solche Werkzeuge und quantifizieren die verbleibenden Unsicherheiten. Dazu erfassen wir das Zusammenspiel von Erd-Luft-Register und Lüftungsanlage detailliert in Messprojekten an Systemen aller Größenordnungen.

Unsere Kunden, die wir individuell beim Planen ihrer Projekte unterstützen, profitieren direkt von diesen Messungen. Mit den dort gewonnenen Erkenntnissen verbessern wir auch zu ihrem Nutzen unsere Rechenwerkzeuge.

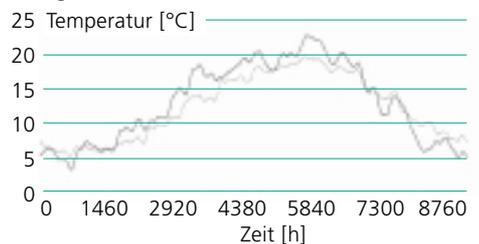


Abb. 1: Vergleich von Messung (durchgezogene Linie) und Simulationsrechnung (gepunktet) an einem Erd-Luft-Register. Die Kurven zeigen gleitende Mittelwerte von gerechneten und gemessenen Austrittstemperaturen. Das hier verwendete Programm rechnet noch zu optimistisch.



## Ray-Tracing zur Bewertung und Optimierung von optischen Reflektoren

Wir verbessern die optische Ausbeute von Reflektoren, die z. B. bei thermischen Vakuumkollektoren eingesetzt werden.

Matthias Rommel,  
Andreas Häberle\*, Arim Schäfer

Mit 3-dimensionalen Strahlverfolgungsrechnungen (Forward Ray-Tracing, Abbildung 1) berechnen wir die insgesamt absorbierte Strahlungsleistung und die Strahldichteverteilung am Absorber unter Berücksichtigung der Materialparameter von Reflektoren und transparenten Komponenten. Damit können wir nicht nur die Reflektorgeometrie optimieren, sondern über eine Sensitivitätsanalyse auch feststellen, wie sich herstellungsbedingte Ungenauigkeiten der Geometrie oder der Oberfläche auswirken. Ziel ist ein wirtschaftlich optimaler Kompromiss zwischen Fertigungskosten der Reflektoren und ihrer Solar-Strahlungs-Ausbeute.

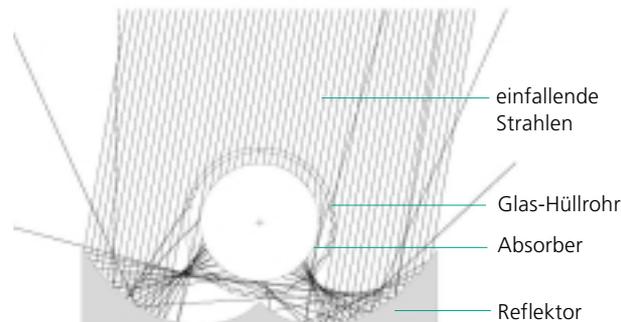
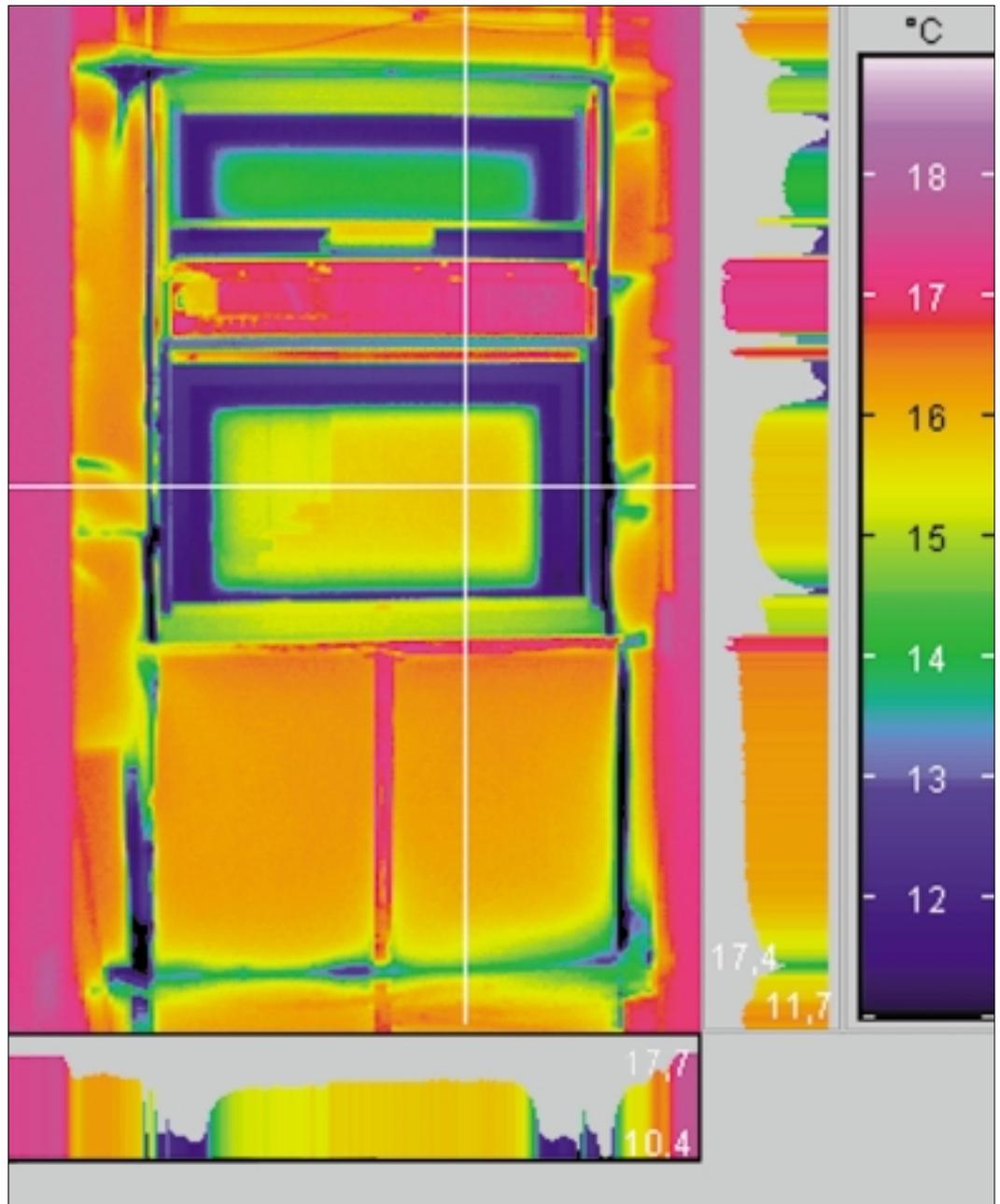


Abb. 1: Die Grafik zeigt den Strahlenverlauf bei einem Vakuumröhrenkollektor mit externem Reflektor für einen Einstrahlwinkel von  $10^\circ$  (schraffiertes Feld). Nur wenige Strahlen verfehlen den Absorber (Kreis) und werden seitlich oder nach oben abgelenkt.



Abb. 2: Detailphoto eines Vakuumröhrenkollektors mit externem Reflektor.

\* PSE GmbH Forschung Entwicklung  
Marketing, Freiburg



Thermografie eines segmentierten Fassadenelements vom Gebäudeinneren aus gesehen. Die Oberflächentemperaturen der verschiedenen Bestandteile, z. B. von Verglasung, Rahmen, Abstandhalter, Lüftungselement und Brüstung, sind in Falschfarben dargestellt. Am Fassadenteststand des Fraunhofer ISE werden Prototypen unter realen Klima- und Einbaubedingungen geprüft und bei Bedarf das Langzeitverhalten aufgezeichnet.



Ein junger Markt ist wie eine junge Pflanze. Er braucht verstärkte Aufmerksamkeit und Pflege – in diesem Fall Qualitätssicherung. Solarenergie greift tief in den Alltag des einzelnen ein und konkurriert mit Techniken, die vor 100 Jahren neu waren und seitdem reifen konnten. Wenn ein neues Produkt nicht die Leistung oder Lebensdauer bringt, die der Nutzer erwartet, kann das schnell die freundliche Grundstimmung gegenüber erneuerbaren Energien in pauschale Skepsis verwandeln.

Wir achten deshalb zusammen mit Industrie und Normungsgremien auf hochwertige Qualität. Wir entwickeln Messverfahren für neue Produkte, prüfen in aufwändigen Langzeitmessungen, ob die Technik auch nach 20 Jahren Einsatz noch halten wird, was sie im Labor versprochen hat.

Unsere Kunden profitieren dreifach:

Prüfungen unter definierten Bedingungen machen Produkte für den Anwender vergleichbar und neue Technologien für den Hersteller einschätzbar.

Mit zunehmender Globalisierung wird Normung immer wichtiger. Durch Mitarbeit in internationalen Projekten (EU, IEA) und Normungsgremien trägt das Fraunhofer ISE maßgeblich zur Gestaltung neuer Prüfbedingungen bei und bringt dabei auch die Interessen der deutschen Wirtschaft ein.

Die Verfeinerung der Messtechnik und die Entwicklung beschleunigter Alterungstests verkürzen den Weg vom Prototyp zum Endprodukt und geben garantiefähige Sicherheit.

#### **Ansprechpartner**

Fenster- und Fassadentests	Dr. Werner Platzer	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-1 31 E-Mail: Werner.Platzer@ise.fhg.de
Kollektor- und Speichertests	Dipl.-Phys. Matthias Rommel	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-1 41 E-Mail: Matthias.Rommel@ise.fhg.de
Lebensdauerprüfung von Materialien	Dipl.-Phys. Michael Köhl	Tel.: +49 (0) 7 61/4 01 66-82 E-Mail: Michael.Koehl@ise.fhg.de
Lichtmessräume	Dipl.-Ing. Jan Wienold	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-1 33 E-Mail: Jan.Wienold@ise.fhg.de
Solare Klimageräte	Dipl.-Ing. Carsten Hindenburg	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-3 53 E-Mail: Carsten.Hindenburg@ise.fhg.de
Thermisch-optisches Prüflabor TOPLAB	Dipl.-Phys. Tilmann Kuhn	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-2 97 E-Mail: Tilmann.Kuhn@ise.fhg.de
Wärmepumpen-Kompaktgeräte	Dipl.-Ing. Andreas Bühring	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-2 88 E-Mail: Andreas.Buehring@ise.fhg.de



## Lüftungs-Kompaktgeräte – Effizienz für Solar-Passivhäuser

Wir unterstützen unsere Kunden beim Entwickeln von Lüftungs-Kompaktgeräten mit integrierter Abluftwärmepumpe. Zusammen mit einem Solar-Kollektor können sie Solar-Passivhäuser vollständig mit Wärme und frischer Luft versorgen.

**Andreas Bühring**, Sebastian Bundy  
Carsten Dittmar, Bastian Greuel,  
Wolfgang Guter, Christel Russ,  
Tim Schmid, Bernhard Seigel

### Entwicklung

Wir haben neue Module für die Simulation entwickelt: Abluftwärmepumpen als Komponentenmodell, Luft/Luft-Wärmetauscher mit Kondensation und variablen Luftströmen und Gasheizter als Reserveheizung. Damit untersuchen wir neue Konzepte der Haustechnik. Wir simulieren das Zusammenwirken mit weiteren Komponenten der Haustechnik und dem Gebäude für unterschiedliche Nutzerverhalten und Klimabedingungen.



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

### Laborprüfung

Unseren Teststand zur Messung der Energieeffizienz von Lüftungsgeräten und ihren Komponenten haben wir deutlich erweitert: Die Prüfbedingungen können wir jetzt in einer großen Bandbreite stationär wählen. Durch die Automatisierung des Teststandes können wir außerdem dynamisch veränderliche Bedingungen einstellen. Aus den Messungen leiten wir Empfehlungen zur Optimierung der Komponenten und ihres Zusammenwirkens für den Hersteller ab. Dank Fernüberwachung des Teststandes werden wir direkt beim Kunden im Büro die Labormessungen online visualisieren: Schauen Sie uns über die Schulter!

### Einsatz

In verschiedenen bewohnten Solar-Passivhäusern (Beitrag S. 42) messen wir die Leistungsfähigkeit von Lüftungs-Kompaktgeräten unterschiedlicher Hersteller im Praxistest. Auf der Basis täglicher Datenauswertungen machen wir Vorschläge zur Optimierung der Betriebsweise, der Geräte und ihrer Regelung. Eventuelle Störungsursachen werden schnell identifiziert und behoben.

### Innovation

Im Rahmen eines Leitprojektes des Bundeswirtschaftsministeriums (Beitrag S. 48) entwickeln wir mit der Industrie neue Konzepte für Wärmepumpen und deren Betriebsweise. Zusatzmodule erweitern das Einsatzfeld der Lüftungs-Kompaktgeräte z. B. für den Betrieb mit einer Brennstoffzelle.

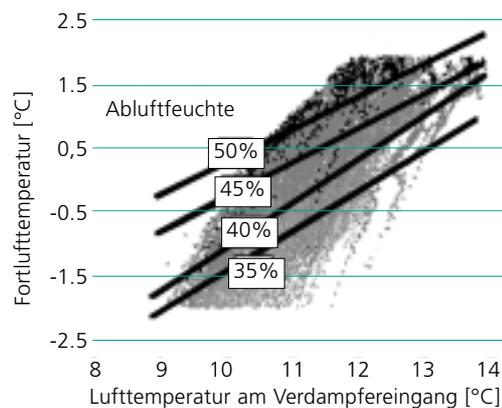


Abb. 2: Fortluftzustände nach der Wärmepumpe beim Heizbetrieb im Feldtest. Die Abluft aus den Räumen ist hier die Wärmequelle. Je feuchter sie ist, desto effizienter arbeitet die Wärmepumpe. Sie gewinnt Kondensationswärme bei der Abkühlung - und damit Entfeuchtung - der Abluft und muss die Fortluft (nach draußen) nicht so weit abkühlen, um die gleiche Wärmemenge zu gewinnen. Beispiel: Die Lufttemperatur am Verdampfeingang sei 10 °C. Dann muss die Fortluft auf -1,5 °C abgekühlt werden, wenn die Abluftfeuchte 35 % ist. Bei 50 % reicht Abkühlung auf +0,5 °C.



## Teststand für solare sorptionsgestützte Klimatisierungssysteme

Solare sorptionsgestützte Klimatisierung (SSGK) ist eine umweltfreundliche Alternative zu herkömmlichen Klimaanlageanlagen. Aufgrund der niedrigen Antriebstemperatur von SSGK-Systemen ist die Einbindung der thermischen Solarenergie besonders aussichtsreich. Wir arbeiten seit mehreren Jahren intensiv an der Thematik und haben im letzten Jahr einen neuen Teststand aufgebaut.

**Carsten Hindenburg,**  
Volker Kallwellis, Barbara Fuchsberger,  
Mario Motta, Sascha Backes

Die Hauptkomponenten des Teststands sind:

- Sorptionsgestützte Klimaanlage mit einem Nennvolumenstrom von 4 000 m<sup>3</sup>/h. Eine Anlage dieser Größenordnung kann Seminarräume mit ca. 40–80 Personen klimatisieren.
- 20 m<sup>2</sup> Flüssigkollektoren,  
20 m<sup>2</sup> Solarluftkollektoren,  
2 m<sup>3</sup> Pufferspeicher

Mit dem Teststand (Abbildung 1) können wir durch aufwändige hydraulische Verschaltung mehrere, in der Praxis sehr unterschiedliche, Anlagenvarianten untersuchen. Im Auftrag unserer Kunden untersuchen wir sowohl das Verhalten der gesamten Anlage als auch einzelner Komponenten unter realen, instationären solaren Betriebsbedingungen. Eine optionale Außenluftkonditionierung macht uns weitgehend unabhängig von Umgebungsbedingungen.

Unseren Kunden bieten wir folgende Dienstleistungen:

- Entwicklung und Bewertung energieoptimierter Regelungsstrategien für SSGK-Systeme
- Vermessung und Weiterentwicklung von Sorptionsrädern; hier können wir in enger Zusammenarbeit mit dem Thermoanalyselabor des Fraunhofer ISE neue Sorptionsmaterialien entwickeln und direkt testen.
- Vermessung und Weiterentwicklung von thermischen Solarkollektoren speziell für die Klimatisierungsanwendung
- Entwicklung kostenoptimierter Verschaltungsvarianten thermischer Solarenergie mit SSGK-Systemen
- Systemuntersuchungen und Vergleich mit begleitenden Systemsimulationen
- Reglerentwicklung für solare und nichtsolare sorptionsgestützte Klimatisierungssysteme
- Entwicklung von firmenspezifischen Softwarelösungen zur Berechnung von SSGK-Systemen



Abb. 1: Teststand. Folgende Firmen haben den Aufbau finanziell unterstützt: Solvis Solarsysteme GmbH, GREENoneTEC Solarindustrie GmbH, Sonnenkraft GmbH Deutschland, Grammer KG Solar-Luft-Technik, Landis&Staeefa GmbH Region München, Viega, robatherm GmbH.



## Experimentelle Untersuchungen zum Stillstandsverhalten von thermischen Solaranlagen

Solaranlagen zur Heizungsunterstützung sind im Sommer oft extremen Stillstandstemperaturen ausgesetzt. Ziel unserer Untersuchungen ist, Funktion und Lebensdauer dieser Anlagen zu verbessern.

**Matthias Rommel**, Konrad Lustig, Dirk Stankowski, Arim Schäfer

In Deutschland werden immer mehr Kollektoranlagen installiert, mit denen nicht nur das Brauchwasser erwärmt, sondern auch ein Teil des Heizenergiebedarfs gedeckt wird. Vorreiter der Entwicklung ist Österreich, wo bereits rund 40 % der neu installierten Kollektorfläche die Raumheizung solar unterstützen. Bei diesen Anlagen ist das Verhältnis Kollektorfläche zu Speichervolumen deutlich größer als bei reiner Brauchwassererwärmung. Im Sommer gehen die Anlagen deshalb oft in 'in den Stillstand'. Der Kollektor heizt sich schnell bis zu seiner Stillstandstemperatur auf. Sie liegt bei Flachkollektoren im Bereich von 180 bis 200 °C, bei Vakuumröhrenkollektoren von 220 °C bis

300 °C. Das Wasser-Glykol-Gemisch im Kollektorkreis verdampft dann bei den üblichen Anlagendrücken von 2 bis 4 bar und kondensiert später beim Abkühlen wieder. Dabei entstehen im Kollektorkreis Dampfschläge mit starken Druckspitzen und alle Komponenten im Kollektorkreis erfahren gleichzeitig eine hohe thermische Belastung. In einem von der Europäischen Kommission unterstützten Projekt untersuchen wir zusammen mit Partnern aus Österreich und Deutschland das Stillstandsverhalten thermischer Kollektoren. Im Projekt sind Hersteller von Kollektoren, Pumpen, Regelungen und Wärmeträgermedien vertreten.

Im Frühjahr 2000 haben wir am Systemteststand des Fraunhofer ISE zwei Röhrenkollektorsysteme mit unterschiedlicher interner Verrohrung installiert. Wir vermessen sie seitdem kontinuierlich unter verschiedenen Betriebsbedingungen und beobachten speziell die Verdampfung des Fluids während des Stillstands. Mit unserer ereignisgesteuerten, hochfrequenten

Druckmessung konnten wir wesentliche Erkenntnisse über den Energie- und Dampftransport sowie die Belastung der Komponenten gewinnen. Dabei wird alle 4 Millisekunden gemessen und das Ergebnis zwischengespeichert. Überschreitet einer der Messwerte eine Schwelle, werden die gesamten Messwerte des Verdampfungsvorgangs dauerhaft gespeichert. So konnten wir auch sehr kurze Druckschwankungen aufspüren. Sie traten auf, wenn flüssiges Wärmeträgermedium in überhitzte Regionen des Kollektors gelangte.

Für den langfristigen Betrieb einer solarthermischen Anlage muss man die Belastung des Wärmeträgermediums kennen. Darum bauten wir eines der beiden Kollektorsysteme als reduziertes System ohne Speicher auf und setzten so das Fluid der maximalen Stillstandsbelastung aus. Statistische Auswertungen der Häufigkeit der Temperaturen und der Verdampfungsvorgänge gaben Anhaltspunkte zur Verbesserung des Wärmeträgermediums.

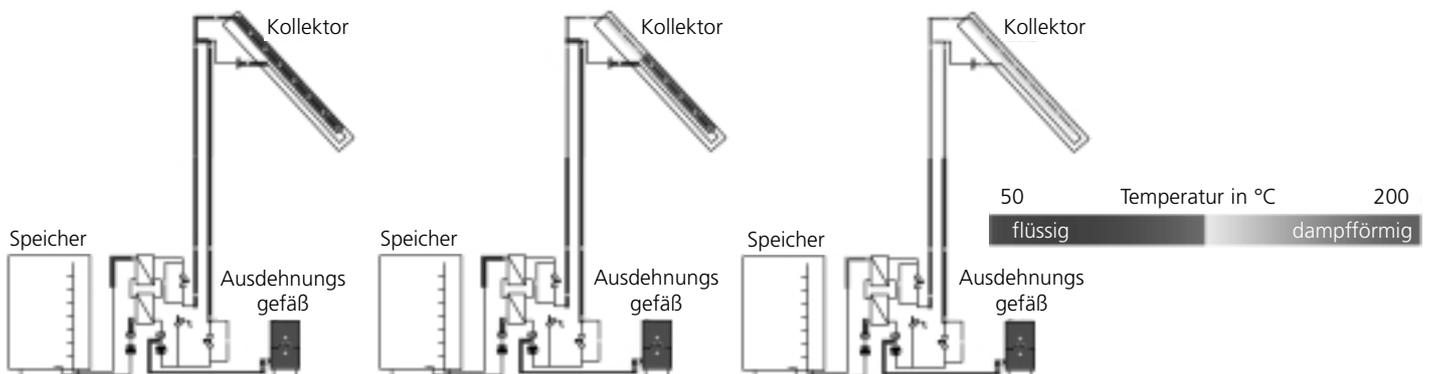


Abb. 1: Visualisierung der Vorgänge während einer Stillstandssituation in einem Solarsystem mit 40 m<sup>2</sup> Kollektorfläche mit dem am Fraunhofer ISE entwickelten Visualisierungswerkzeug »Dview«. Man sieht von links nach rechts die Ausbreitung von Dampfgebieten bis in den Kollektorz- und ablauf hinein.



## Kollektor mit korrosions- freiem Absorber für die Meerwasserentsalzung

Wir haben einen Kollektor entwickelt, dessen Absorber direkt von heißem Meerwasser (90 °C) durchströmt werden kann.

Matthias Rommel,  
Joachim Koschikowski\*,  
Michael Hermann, Arim Schäfer

Der Absorber besteht aus Glasrohren (16 mm Außendurchmesser) mit selektiver Absorberschicht und Sammelkanälen aus armiertem Silikon. Unter dem Absorber ist ein Zickzack-Reflektor angebracht, um die Aperturfläche des Kollektors gut zu nutzen. Abbildung 1 zeigt eine Skizze des Kollektoraufbaus, Abbildung 2 ein Foto des Kollektors. Die Absorberkonstruktion gestattet es, ein Großflächenmodul mit 1,5 m x 4,8 m Außen-dimension zu bauen.

Für das von der Europäischen Union geförderte Meerwasserentsalzungsprojekt SODESA in Gran Canaria produzierten wir acht Kollektormodule als Pilotanlage im eigenen Technikum. Die Anlage (Abbildung 3) wurde im

Mai 2000 in Gran Canaria aufgebaut und in Betrieb genommen. Sie nutzt das MEH-Verfahren (Multi-Effect Humidification) zur Destillation. Das Kollektorfeld aus den acht Kollektoren hat eine Aperturfläche von 47,2 m<sup>2</sup>. Hinter den Kollektoren ist ein Gebäude zu erkennen. Es enthält den 6,3 m<sup>2</sup> großen Energiespeicher mit 90 °C heißem Meerwasser, die Destillationseinheit und eine photovoltaisch betriebene Wasseraufbereitung mit Mineralisation und UV-Desinfektion. Die Anlage ist für die tägliche Produktion von 600 l Trinkwasser sehr guter Qualität ausgelegt.

Die neuen Kollektoren mit korrosions-freien Absorbern haben sich gut bewährt. Sie sind universell in allen thermisch angetriebenen Meerwasserentsalzungsverfahren oder zur Speisewassererwärmung bei Entsalzungsanlagen mit Umkehrosmose verwendbar.

\* PSE Projektgesellschaft Solare Energiesysteme mbH, Freiburg

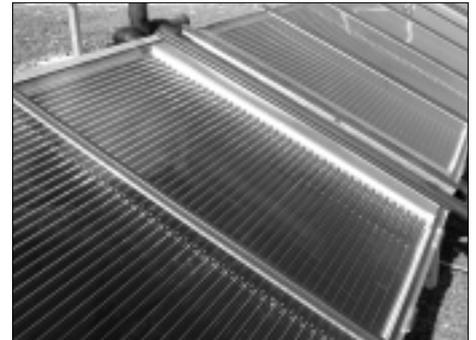


Abb. 2: Teilansicht der SODESA-Kollektor-anlage. Als helle Linien parallel zur Längsachse des Kollektors sind die Reflexionen von den Biegekanten des Reflektors zu erkennen.



Abb. 3: SODESA-Kollektor-anlage auf Gran Canaria.

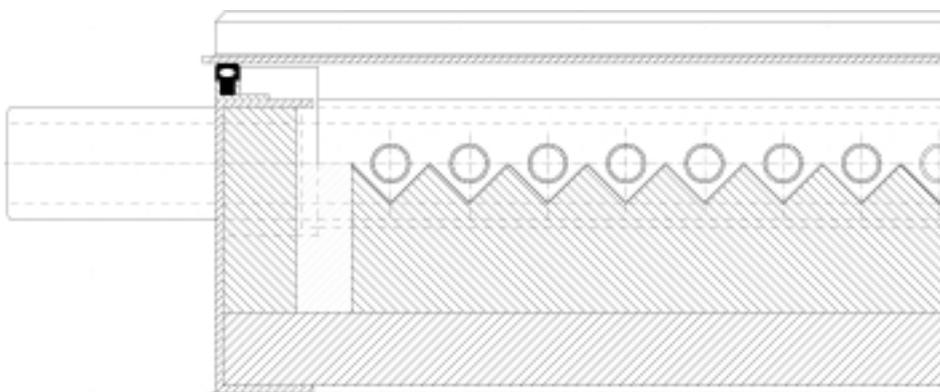


Abb. 1: Aufbau des SODESA-Kollektors. Unter den Absorberrohren (Kreise) befindet sich ein Zickzack-Reflektor.



## IR-Thermografie als Werkzeug zur Entwicklung und Bewertung moderner Fassadenelemente

Die Infrarot-Thermografie liefert die Temperaturverteilung einer Oberfläche. Sie ist eine wichtige zerstörungsfreie Untersuchungsmethode, die wir vor allem zur Charakterisierung innovativer Elemente am Bau und der Lokalisierung von Bauschäden nutzen.

Alexandra Raicu\*, Werner Platzer, Werner Hube, Volker Wittwer

\* Sto AG, Stühlingen

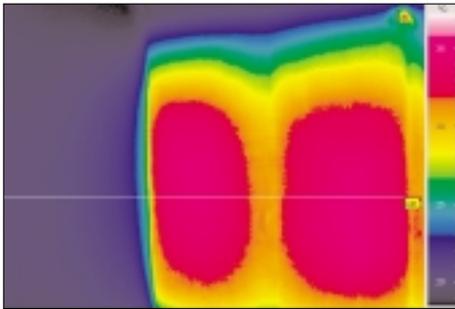


Abb. 1: Temperaturverteilung auf der Innenseite einer mit 2 TWD-Elementen gedämmten Außenwand (rechts, 35 °C) im Vergleich zu einer opak gedämmten Außenwand (links, 20 °C).

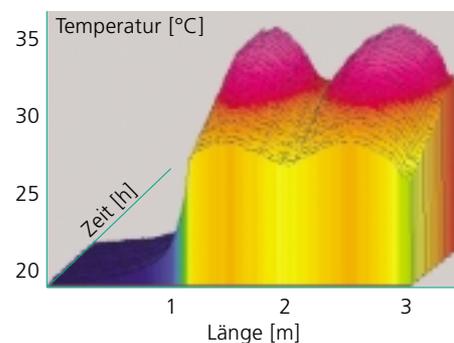


Abb. 2: Qualitative Darstellung des zeitlichen Verlaufs der Temperaturwerte entlang einer horizontalen Geraden, wie in Abbildung 1 markiert. Die Grundlinie entspricht 19 °C, die Spitzen 35 °C. Angegeben ist der Temperaturverlauf zwischen 18:30 Uhr (hinten) und 24:00 Uhr (vorne) im 15 Minuten Zeitraster.

## Transparente Wärmedämmung zur solaren Gebäudeheizung

Fassadenelemente mit Transparenter Wärmedämmung (TWD) werden z. B. im Demonstrationsvorhaben Solarhaus Gundelfingen verwendet. IR-Thermografie hilft uns, ihr Verhalten im eingebauten Zustand zu untersuchen.

Während einer Schönwetterphase im März untersuchten wir die mit TWD-Elementen gedämmte Fassade. Zur Visualisierung der Dynamik der Wandinnentemperatur wurde alle 15 Minuten eine IR-Aufnahme gemacht. Abbildung 1 zeigt die Innenaufnahme dieser Gebäudeecke. Das Bild wurde am 21.3.2000 um 18:30 Uhr aufgenommen und entspricht dem höchsten, an diesem Tag gemessenen Temperaturunterschied zwischen beiden Flächen: Die TWD-Wand wurde bis zu 15 °C wärmer als die konventionell gedämmte Wand.

Die zeitverzögerte Wärmeabgabe der solar aufgeheizten transparent gedämmten Wand in den Abendstunden und in der Nacht wird durch Abbildung 2 deutlich: Man sieht, wie die Wandinnentemperatur zwischen

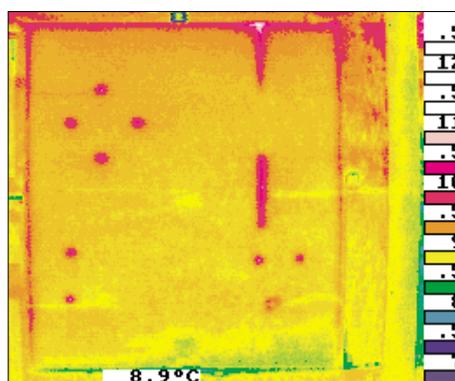


Abb. 3: Thermografisch visualisierte Fehler im Dämmsystem einer Testfassade (z. B. zwei Fugen, rechts oben und rechts Mitte im Bild). Das Element hat die Abmessungen 1,8 m x 2,3 m.

18:30 Uhr und Mitternacht noch wesentlich über der Raumtemperatur liegt, obwohl die Sonne bereits untergegangen ist.

## Visualisierung versteckter Fehler und Schäden am Bau

Wir untersuchten zum ersten Mal systematisch, wie man mit IR-Thermografie versteckte Fehler und Schäden am Bau auch bei instationären Temperaturverhältnissen sichtbar machen kann.

Ergebnis der vom Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen geförderten Studie ist ein Anwenderleitfaden. Er erläutert, wie sich Umgebungsbedingungen, kontrollierte Aufheizung der Fassade oder die eingesetzte Ausrüstung auf das Messergebnis auswirken. So galt bis jetzt, dass IR-Thermografie zur Fehlersuche hauptsächlich in kalten Winternächten aussagekräftig ist. Wir zeigten, wie man unter instationären Bedingungen auch tagsüber und im Sommer gute Ergebnisse erzielen kann. Die Randbedingungen wurden bezüglich der Einstrahlung auf die Fassade und des Temperaturunterschiedes zwischen innen und außen in repräsentative Situationen eingeteilt (z. B. Wintertag bedeckt, Sommertag klar u. a.). Für so definierte Kategorien wurden Empfehlungen für thermografische Messungen erarbeitet. Vor- und Nachteile, günstige und ungünstige Situationen wurden dargestellt und erläutert.

## Ausblick

IR-Thermografie ist einfach zu handhaben und gestattet die genaue, zeitlich und räumlich gut aufgelöste Darstellung von Temperaturfeldern. Wir werden sie verstärkt als Hilfsmittel zur Entwicklung und Qualitätssicherung von Fassadenelementen einsetzen.



## Nutzerverhalten zu Sonnen- und Blendschutz

Lichttechnische und thermische Simulationen werden immer genauer. Eine wesentliche Unsicherheit bei der Abschätzung des Tageslichtangebots in Gebäuden rührt von der Frage her, wie Kunstlicht und variabler Sonnenschutz im Alltag eingesetzt werden. Im Rahmen einer Pilotstudie zeichnen wir in einem Bürogebäude für die Dauer eines Jahres auf, wie die Nutzer Beleuchtung und Sonnenschutz von Hand schalten.

Christoph Reinhart\*

Verbesserte Simulationswerkzeuge erlauben eine genaue physikalische Beschreibung der lichttechnischen und thermischen Verhältnisse in Räumen für komplexe Fassadengeometrien und für einen wachsenden Kanon an Lichtumlenkelementen (Abbildung 1). Darüber hinaus können wir Jahresimulationen der Innenraumbelichtungstärke nunmehr in Minutenzeitschritten durchführen und so Planungsvarianten qualifiziert bewerten (Beitrag S. 29).

Als Folge dieser Neuerungen ist jetzt das Nutzerverhalten der größte Unsicherheitsfaktor bei Gebäudesimulationen. Wir untersuchen deshalb seit April 2000 in einem Büroneubau in Weilheim (Abbildung 2) das Verhalten von 20 Nutzern. Die Nutzer können sowohl die Jalousie als auch das tageslichtabhängig gedimmte Kunstlicht manuell nach ihren Vorstellungen einstellen.

Aufbauend auf den so gewonnenen Erkenntnissen entwickeln wir ein Modell, das in Abhängigkeit von den klimatischen Bedingungen (außen und in den Büros) das Schaltverhalten der Nutzer vorhersagt. Das Modell können wir dann unter anderem als Referenzfall für gekoppelte lichttechnische und thermische Simulationen verwenden und damit generell automatisierte Steuerungen des Kunstlichtes und des Sonnenschutzes evaluieren.

Erste Auswertungen zeigen:

- Die Anwesenheit der Nutzer am Arbeitsplatz kann durch ein auf mehreren spezifischen Nutzergroßen aufbauendes, stochastisches Modell zufriedenstellend abgebildet werden.
- In dem untersuchten, tageslichttechnisch optimierten Büro werden in Zeiten des Kunstlichtbedarfes die Jalousien eingezogen (Abbildung 3). Diese Aussage belegt, dass für den untersuchten Bürotyp Jalousie und Kunstlichtverbrauch getrennt modelliert werden können und dass nur in Zeiten mangelnden Tageslichtes das Kunstlicht aktiviert wird.
- Es besteht eine eindeutige Korrelation zwischen der Nennbeleuchtungsstärke am Arbeitsplatz und der Wahrscheinlichkeit, dass das Kunstlicht beim Betreten des Büros eingeschaltet wird.

Die gesammelten Ergebnisse werden in Gebäudesimulationsprogramme integriert und zukünftig an weiteren Gebäuden validiert und verfeinert.

Die Studie wird von der Deutschen Forschungsgemeinschaft gefördert.

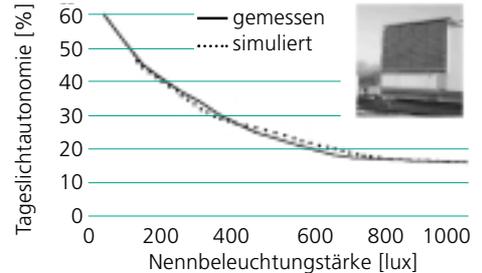


Abb. 1: Gemessene und simulierte Tageslichtautonomie in dem Messcontainer des Fraunhofer ISE für über 10 000 Himmels-situationen und drei verschiedene Jalousie-stellungen. Die Tageslichtautonomie beschreibt den Anteil an der Arbeitszeit, an dem eine tageslichtabhängige Nennbeleuchtungsstärke überschritten wird.



Abb. 2: Die Pilotstudie wird in den zehn Südbüros des Neubaus des Ingenieur- und Vermessungsbüro Hans Lamparter GBR durchgeführt (Architekten: Werkgemeinschaft Maier, Weinbrenner, Single).

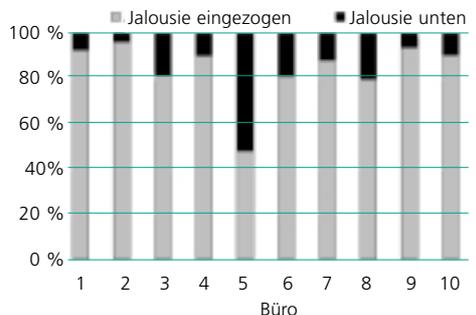


Abb. 3: Status der Jalousien in den untersuchten Büros während der Einschaltzeiten des Kunstlichtes. Die hohe Korrelation von eingezogenen Jalousien bei eingeschaltetem Kunstlicht zeigen, dass in dem untersuchten Gebäude das Kunstlicht nur bei nicht ausreichendem Tageslichtangebot aktiviert wird.

\* Universität Freiburg, Freiburger Materialforschungszentrum FMF, Freiburg



Diese Solar-Passivhäuser in Neuenburg/Rhein brauchen im Jahr nur noch 8 kWh Heizwärme pro m<sup>2</sup>. Ihr integrales Gebäudekonzept hat fünf wesentliche Elemente: sehr gute Wärmedämmung, Solar-kollektoren zur Brauchwassererwärmung, Frischluftversorgung mit Wärmerückgewinnung, Vorwärmen der Außenluft im Erdregister und eine innovative, kompakte Restwärmeerzeugung mit Elektrokleinwärmepumpe. Der Strom für die gesamte Haustechnik kann bereits mit 10 m<sup>2</sup> Photovoltaik 100 % solar gedeckt werden.



Zukunftsfähige Gebäude erfordern eine deutliche Minderung des Energieverbrauchs. Die Energieeinsparverordnung wird voraussichtlich 2001 den Weg zu sinkendem Wärmebedarf von Neubauten fortschreiben. Darüber hinaus zeigen gebaute Beispiele, dass schon heute mit verfügbaren Strategien und Technologien Gebäude bis hin zum Nullemissionshaus zu vertretbaren Kosten umsetzbar sind. Die erhöhte Energieeffizienz ist die Basis für die große Bedeutung der Solarenergie im Energiehaushalt der Gebäude.

Während der Energieverbrauch bei Wohngebäuden vom Wärmebedarf für Heizung und Warmwasser dominiert wird, überwiegt in Bürogebäuden schon heute der Stromverbrauch.

Geeignete Solarkonzepte beruhen bei Bürogebäuden auf einem Ausbau der Tageslichtnutzung und der passiven Kühlung, um bei hohem Nutzungskomfort den Stromverbrauch der technischen Gebäudeausrüstung zu verringern. Erweiterte Tageslichtnutzung und passive Kühlung sind Zielsetzungen, die bereits auf die Entwurfsphase einer Gebäudeplanung großen Einfluss nehmen. Der Erfolg hängt wesentlich vom gezielten Umgang mit Simulationswerkzeugen für Licht und Raumklima ab. Das Weniger an technischer Gebäudeausrüstung (schlanke Gebäude) erfordert ein Mehr an Aufwand in der planerischen Bearbeitung.

Die folgenden Kurzbeiträge berichten über Konzepte, Technologien und Projekte für Gebäude für zukunftsfähiges Wohnen und Arbeiten.

#### **Ansprechpartner**

Altbausanierung	Dr. Christel Russ	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-1 30 E-Mail: Christel.Russ@ise.fhg.de
Demonstrationsprojekte und Querschnittsanalysen	Dr. Karsten Voss	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-1 35 E-Mail: Karsten.Voss@ise.fhg.de
Gebäudesimulation	Dipl.-Ing. Sebastian Herkel	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-1 17 E-Mail: Sebastian.Herkel@ise.fhg.de
Solare Klimatisierung	Dipl.-Ing. Carsten Hindenburg	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-3 53 E-Mail: Carsten.Hindenburg@ise.fhg.de
Sonnenschutz	Dipl.-Phys. Tilmann Kuhn	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-2 97 E-Mail: Tilmann.Kuhn@ise.fhg.de
Tageslichtnutzung	Dipl.-Ing. Jan Wienold	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-1 33 E-Mail: Jan.Wienold@ise.fhg.de
Transparente Wärmedämmung	Dr. Werner Platzer	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-1 31 E-Mail: Werner.Platzer@ise.fhg.de



## Solares Bauen – Wohnhäuser

Die komplette Projektentwicklung für Solar-Passivhäuser sowie die Entwicklung und Bewertung von haustechnischen Systemen und Komponenten sind Dienstleistungen des Instituts (S. 14).

Andreas Bühring, Christel Russ,  
Karsten Voss, Christof Wittwer,  
Werner Hube



Abb. 1: Ansicht Solar-Passivhäuser Neuenburg.

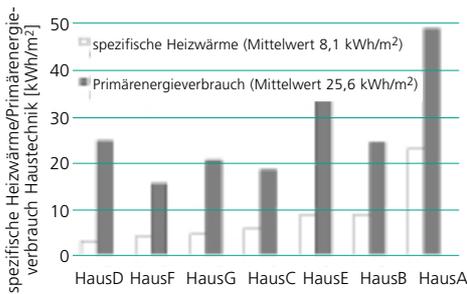


Abb. 2: Heizwärmeverbrauch und Primärenergiebedarf der Haustechnik für die Passivhäuser Neuenburg in der Heizperiode Oktober 1999 bis April 2000.



Abb. 3: Zwei Beispielgebäude aus dem »Passivhaus-Förderprogramm« der Energie Baden-Württemberg AG. Der Energieverbrauch aller Gebäude wird im Rahmen eines Monitorings erfasst und analysiert.

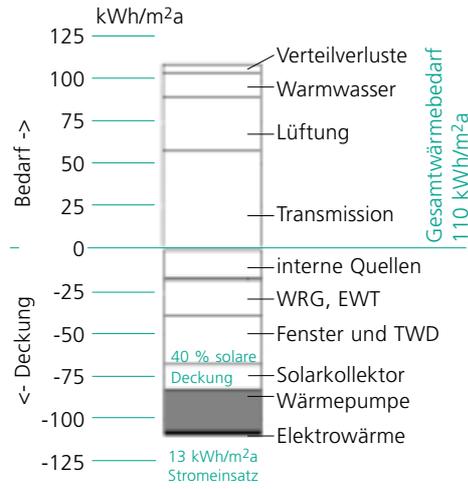


Abb. 4: Jahreswärmebilanz des Solar-Passivhauses in Büchenau. Die Bilanz basiert auf Messdaten eines Jahres. Mit Einsatz von 13 kWh/m²a Strom wird ein Gesamtwärmebedarf von 110 kWh/m²a gedeckt – davon hier rund 20 kWh/m²a für Heizung. Wesentliche Beiträge leistet die Solarenergieerzeugung mit Fenstern und Kollektoren. WRG: Wärmerückgewinnung, EWT: Erdwärmetauscher

In einem Monitoring-Programm bewerten wir die energetische Effizienz neuartiger Energiekonzepte für Solar-Passivhäuser in bewohnten Häusern im Auftrag der Industrie und mit finanzieller Förderung der Stiftung Energieforschung Baden-Württemberg. Im Auftrag der EnBW Energie Baden-Württemberg AG werten wir gegenwärtig weitere Anlagen im Förderprogramm für 100 Passivhäuser in ganz Baden-Württemberg aus. Auch die Neuenburger Reihenhäuser

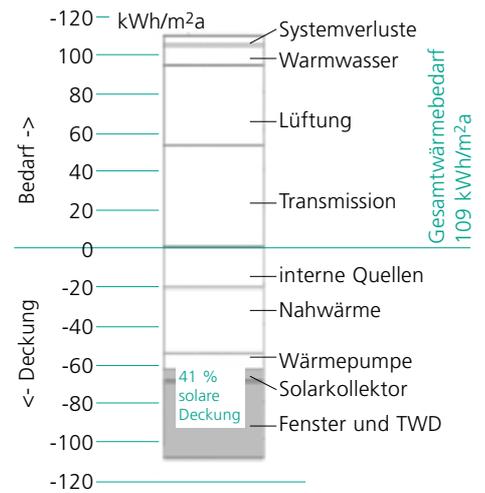


Abb. 5: Jahreswärmebilanz des Mehrfamilien-Solarhauses in Gundelfingen. Die Bilanz basiert auf Messdaten eines Jahres. Mit einem externen Heizwärmebedarf von 28,5 kWh/m²a wurde das Ziel eines 3-Liter-Hauses in der Praxis erreicht. Mehr als 1/3 des Wärmebedarfs für Heizung und Warmwasser wird über die Nutzung der Solarenergie gedeckt. TWD: Transparente Wärmedämmung

sowie das Einfamilienhaus in Büchenau wurden in diesem Programm gefördert.

Passivhäuser zeichnen sich generell dadurch aus, dass die Wärmeverluste der Gebäudehülle und der Lüftung soweit reduziert werden, dass allein die Nutzung der Sonnenenergie über die Fenster genügt, um den Jahresheizwärmebedarf im hiesigen Klima auf ein Niveau unter 1,5 Liter Heizöl pro Quadratmeter (=15 kWh/m²) zu senken. Voraussetzung hierfür ist neben dem sehr hohen baulichen Wärmeschutz auch die kontrollierte Wohnungslüftung mit Wärmerückgewinnung.



## Solares Bauen – Gewerbliche Bauten

Bei den 1-Liter-Solarhäusern in Neuenburg haben wir diesen Standard noch weiter verbessert: Das neu entwickelte Lüftungs-Kompaktgerät der Firma Maico HaustechnikSysteme vereint Lüftung, Heizung und Brauchwassererwärmung. Die kostengünstige, systemintegrierte Gerätevariante nutzt die Abluft als Wärmequelle zur Vorwärmung der Zuluft (Wärmerückgewinnung) und als Wärmequelle einer Wärmepumpe.

Ein weiterer Praxistest mit dem Lüftungs-Kompaktgerät in einem Einfamilienhaus in Büchenau nahe Bruchsal verlief auch bei einem Heizwärmeverbrauch von 2 Liter Heizöl pro Quadratmeter erfolgreich. Damit eröffnet diese innovative Haustechnik neue Möglichkeiten für zukunftsfähiges Wohnen bei großer CO<sub>2</sub>-Einsparung. Das realisierte Haustechnikkonzept zeigt – anders als eine direkt-elektrische Beheizung - den Weg des effizienten und ökologisch vertretbaren Stromeinsatzes zu Heizzwecken (Abbildung 4).

Auch für das Mehrfamilienhaus »Solarhaus Gundelfingen« wurden die Messergebnisse eines Jahres zu einer Bilanz verdichtet (Abbildung 5). Mit einem Heizwärmebedarf von 28 kWh/m<sup>2</sup>a wurde das Ziel eines 3-Liter-Hauses erreicht. Solarenergie deckt 40 % des gesamten Wärmeumsatzes des Gebäudes. Das Projekt wird in Zusammenarbeit mit der Universität Karlsruhe und mit Förderung durch das Bundeswirtschaftsministerium BMWi durch umfangreiche Detailanalysen fortgesetzt.

Die mit dem Bezug von Energie verbundenen Kosten sind meistens nur ein Bruchteil der gesamten Kosten in einem Gebäude: In Bürogebäuden dominieren die Gehälter der Mitarbeiter, während die unmittelbaren Energiekosten nur etwa 1 % ausmachen. Wegen der hohen Personalkosten stehen optimale Bedingungen am Arbeitsplatz im Mittelpunkt einer Gebäudeplanung, um die Leistungsfähigkeit des Personals zu fördern. Thermischer und visueller Komfort sind dabei entscheidende Aspekte und eng verbunden mit dem planerischen Konzept in den Bereichen Lüftung, Kühlung und Beleuchtung.

Sebastian Herkel, Jan Wienold,  
Tilmann Kuhn, Karsten Voss

### Neubau der Zentrale der Fraunhofer-Gesellschaft

Für das 16-stöckige Hochhaus in München ist eine Doppelfassade vorgesehen. Sie sorgt für eine natürliche Be- und Entlüftung, für gute Tageslichtversorgung der Arbeitsplätze und bietet gleichzeitig Schallschutz vor der nahen Bahnlinie. Bei dieser Planung steht der Nutzer im Vordergrund: Durch ausgeklügeltes Ansteuern von Fassadenklappen wird die Doppelfassade stets gut hinterlüftet und reduziert auch in großen Höhen den Winddruck auf die Fenster. Der Nutzer kann jederzeit das Fenster zum Lüften öffnen, ohne dass Überhitzungen oder Zugerscheinungen auftreten. Durch Simulationsberechnungen und Messungen an einer Musterfassade (Abbildung 6) unter-

stützten wir die Optimierung. Im Rahmen der Messungen bewerteten wir die Einflüsse verschiedener Fassaden- und Sonnenschutzvarianten hinsichtlich des sommerlichen Komforts. Neben der qualitativen Bewertung der verschiedenen Ausführungsvarianten wurden auch die Simulationsergebnisse bestätigt.



Abb. 6: Testzelle eines Hochhauses mit Doppelfassade für den Neubau der Fraunhofer-Gesellschaft in München.



Abb. 7: Fraunhofer ISE-Neubau im Herbst 2000.

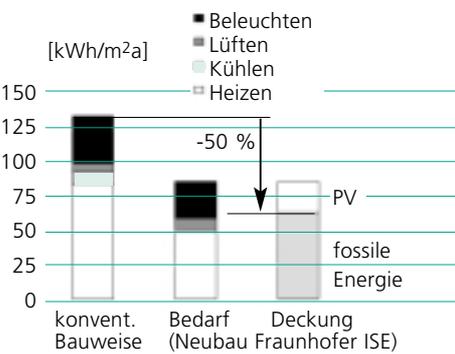


Abb. 8: Primärenergiebedarf der Büroflächen im Neubau des Fraunhofer ISE im Vergleich.

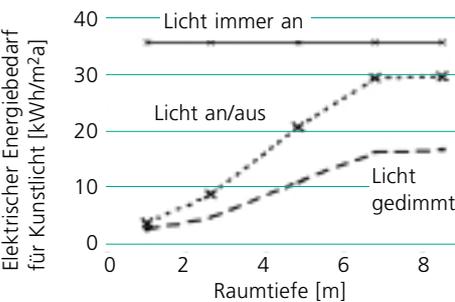


Abb. 9: Elektrischer Energiebedarf für Kunstlicht bei verschiedenen Beleuchtungsstrategien für die Sanierung des Collini-Center, Mannheim.

### Neubau Fraunhofer ISE

Der Institutsneubau des Fraunhofer ISE wird Mitte 2001 fertiggestellt. Für die Bürobereiche reduzierten wir den Primärenergieeinsatz durch erhöhten Wärmeschutz, passive Kühlung, Tageslichtnutzung und solare Stromerzeugung gegenüber konventionellen Bauten um 50 %. Eine Energieversorgung auf Basis eines Kraft-Wärme-Kälteverbunds ist die konsequente Antwort auf den nutzungsbedingt hohen Energieeinsatz bei Labors und Reinraumflächen. Das Gebäude wird in einem zweijährigen Monitoring intensiv analysiert. Weitere Text- und Bildinformationen finden sich im Internet unter: [www.solarbau.de](http://www.solarbau.de).

### Collini-Center

Das Collini-Center, Mannheim ist ein typischer Bürokomplex der frühen siebziger Jahre. In einer Konzeptstudie ermittelten wir das Energieeinsparpotenzial bei Fassadensanierung. In kombinierten Tageslicht- und thermischen Simulationen bewerteten wir verschiedene Varianten der Sanierung hinsichtlich Raumklima und Lichtverhältnissen am Arbeitsplatz.

### Galileo

Ausgehend von Modellrechnungen, kalorimetrischen g-Wert-Messungen und Blendschutzprüfungen unterstützten wir das Planungsteam für das Hochhaus Galileo der Dresdner Bank in Frankfurt.

	Gebäudekonzept	Simulation Raumklima	Simulation Licht	Beratung	Produktprüfung	Monitoring
DB Hamm		•		•		•
Fraunhofer ISE	•	•	•	•	•	•
Collini-Center	•	•	•	•		
Fraunhofer ZV		•	•	•		
Pollmeier			•			
Mensa Kiel	•	•	•	•		
Galileo				•	•	
Supfina	•	•	•	•		
Lamparter	•	•				•

Tab. 1: Ausgewählte Projekte des Jahres 2000.



## Solares Bauen Querschnittsanalysen

In Querschnittsprojekten für nationale und internationale Demonstrationsprogramme dokumentieren und bewerten wir Konzepte und Ergebnisse auf der Basis einer vergleichbaren Analyseplattform.

Karsten Voss

Marktfähige Wohngebäude, deren Primärenergiebedarf um den Faktor 4 gegenüber dem heutigen Standard reduziert ist, sind das Thema einer Expertengruppe der Internationalen Energieagentur IEA. Wir beteiligen uns an der Expertengruppe Sustainable Solar Housing innerhalb des Solar Heating & Cooling Programme mit Forschungsarbeiten zur Energieversorgung (Kapitel »Messen und Prüfen in Solarthermie und Optik«) und leiten die Arbeitsgruppe Monitoring and Evaluation. Dabei bringen wir zahlreiche eigene Demonstrationsprojekte ein. Ziel ist eine abgestimmte Plattform, die eine vergleichbare Dokumentation und Analyse von Gebäuden erlaubt. Das Bundeswirtschaftsministerium fördert die Arbeiten.

Solarkonzepte für Bürogebäude basieren in erster Linie auf einer verbesserten Nutzung des Tageslichts und dem Ersatz von aktiver Klimatisierung durch »passive Kühlung«. Solche Gebäude zeichnen sich durch niedrige Investitions- und Unterhaltskosten für die technische Gebäudeausrüstung bei gleichzeitig erhöhtem Budget für die Baukonstruktion aus. Ziel ist eine kostenneutrale oder kostengünstigere Bauweise bei hohem Komfort am Arbeitsplatz und geringem Energieverbrauch.

Eine integrale Gebäudeplanung unter Einsatz moderner Simulationswerkzeuge kann die vielfältigen Einflüsse des Baukörpers auf die Lichtverhältnisse und das sommerliche Raumklima detailliert abbilden und damit frühzeitig Planungssicherheit geben. Die notwendige Weiterentwicklung von Programmen, Oberflächen und Programmschnittstellen wird die Handhabbarkeit im Planungsalltag weiter verbessern.

Beispiele für solche »schlanken Bürogebäude« werden derzeit mit finanzieller Unterstützung für den planerischen Mehraufwand und die messtechnische Evaluierung im Betrieb im Rahmen des Förderprogramms »SolarBau« des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie erstellt. Eine umfangreiche Dokumentation der Bauprojekte stellen wir gemeinsam mit dem Fachgebiet Bauphysik und technischer Ausbau der Universität Karlsruhe und dem Berliner Architekturbüro solidar mit Förderung des BMWi im Internet zur Verfügung: [www.solarbau.de](http://www.solarbau.de). Zum Jahresende erschien ein 80-seitiges Journal zu den in Einzelprojekten bearbeiteten Themen und ersten Analyseergebnissen. Das Journal kann gegen eine geringe Gebühr bei BINE Bürger-Information Neue Energietechniken bezogen werden: Tel: +49 (0) 2 28/92 37 90 Fax: +49 (0) 2 28/92 37 20 <http://bine.fiz-karlsruhe.de>

Abb. 12: Teil 1 der wissenschaftliche Auswertung zum Förderprogramm SolarBau erschien Ende 2000 mit dem SolarBau:MONITOR-Journal 2000. Bezug: BINE Bürger-Information Neue Energietechniken, Internet: [bine.fiz-karlsruhe.de](http://bine.fiz-karlsruhe.de)

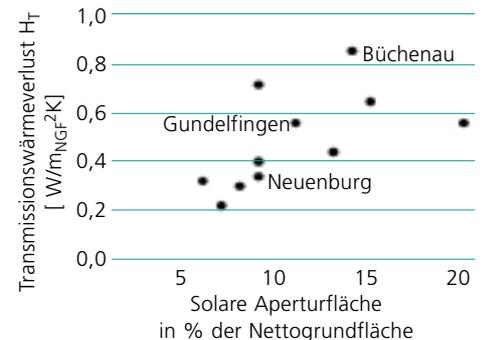


Abb. 10: Charakterisierung der Gebäudehüllen unterschiedlicher Projekte im Spannungsfeld von Verlustminderung ( $H_T$ ) und passiver Solarenergienutzung (Aperturfläche). Mit Namen hervorgehoben sind die zuvor vorgestellten Demonstrationsprojekte des Fraunhofer ISE.

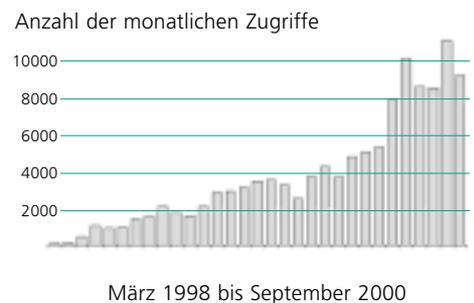
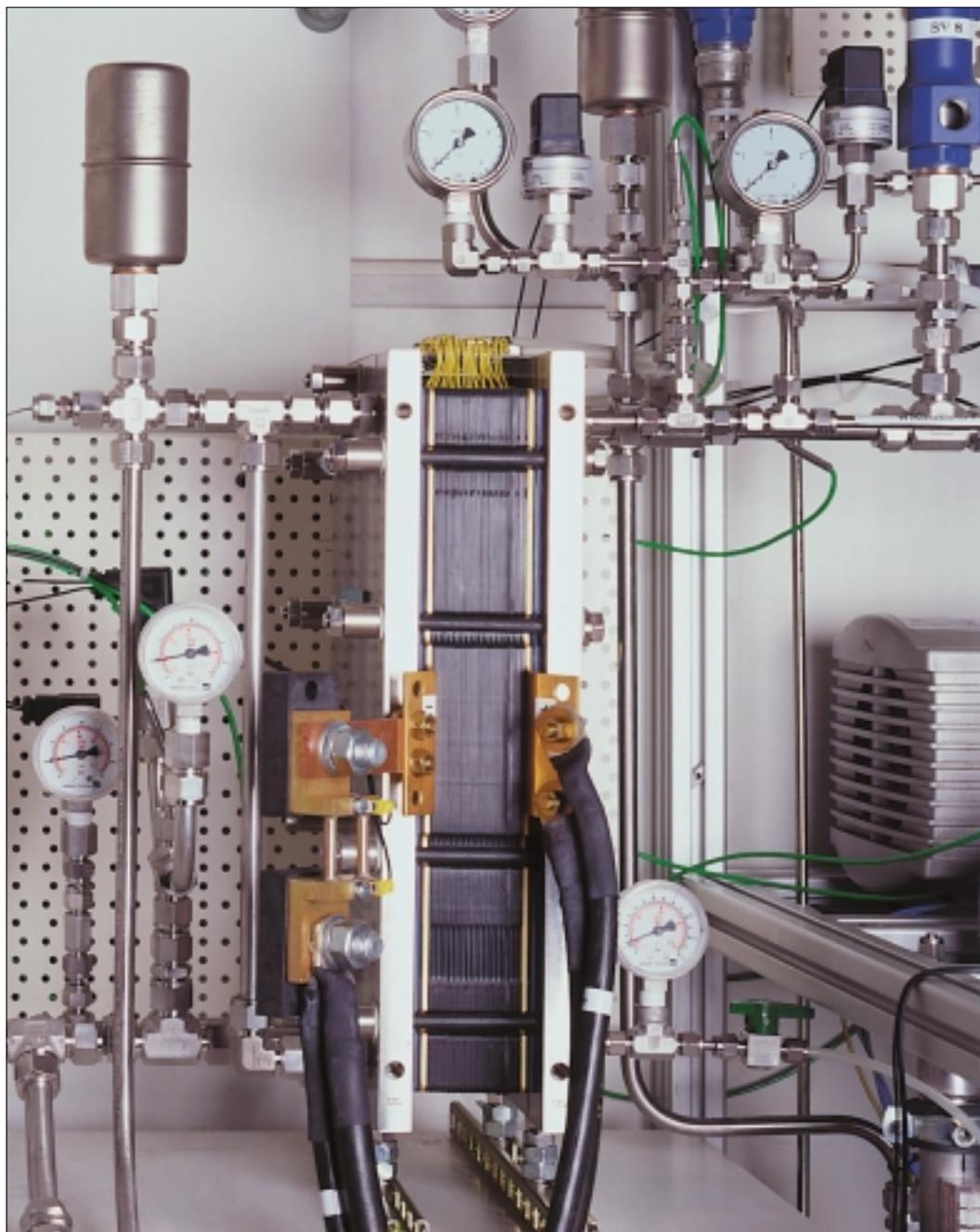


Abb. 11: Zugriffsstatistik der Internetseite [www.solarbau.de](http://www.solarbau.de)





Teststand eines 3,3 kW<sub>el</sub> Brennstoffzellenstacks. Die PEM Brennstoffzelle der Firma SIEMENS ist Teil eines erdgasbetriebenen Blockheizkraftwerkes, welches im Rahmen eines von der E.ON Energie AG beauftragen Projekts »Innovative Hausenergieversorgung« entwickelt und gebaut wird.



Brennstoffzelle statt Ölheizung? Neue Gebäudekonzepte brauchen eine neue Energieversorgung. Bei energieeffizienten Solarhäusern geht es nur noch um einen Restwärmebedarf. Ein herkömmliches Heizungssystem lohnt sich nicht und ist auch ökologisch nicht wünschenswert: Niedertemperaturwärme fällt bei der Stromerzeugung als »Abfallprodukt« an. Polymermembran-Brennstoffzellen stellen heute mit rund 50 % Wirkungsgrad aus Wasserstoff Strom her. Im Leistungsbereich einiger Kilowatt können sie ein Gebäude elektrisch und thermisch versorgen. Überschüssiger Strom wird ins Netz eingespeist oder bei Verbrauchsspitzen auch bezogen. So wird das Haus Teil der dezentralen Energiewirtschaft von morgen. Mit einem Reformer kann Erdgas als Brennstoff verwendet werden.

Reformierung ist ein chemisches Verfahren, das den Wasserstoff aus biologischen und fossilen Energieträgern extrahiert. Damit erreicht man zweierlei: Zum einen kann man derzeit erschlossene Energieträger wie Erdgas nutzen und muss nicht auf solaren Wasserstoff warten. Zum anderen kann man, z. B. im Fahrzeugbereich, Energieträger mit hoher Speicherdichte wie Methanol oder Benzin einsetzen.

Die Verwendung im Gebäude ist typisch für den Trend zu immer kleineren Anwendungen der Brennstoffzellentechnik. Unsere Mikroenergietechnik arbeitet an Systemen mit 0,1–5 W. Ob Notebook oder Camcorder, die Brennstoffzelle statt Akkus erschließt eine neue Größenordnung bei den Laufzeiten der Geräte und gestattet maßgenaues Design: Strombedarf und Laufzeit sind getrennte Parameter. Ersterer legt die Brennstoffzelle fest, letztere den Speicher.

Von unseren Technologien im Mikrometerbereich profitiert auch eine ganz neue Technik: thermophotovoltaische Energiekonversion. Sie funktioniert wie eine Solarzelle für Infrarotstrahlung und kann mit Leistungsdichten über 1 W/cm<sup>2</sup> Wärme in Strom umwandeln. Da sie keine bewegten Teile hat, ist sie wartungsarm und prädestiniert für den Einsatz in abgelegenen Gegenden, z. B. bei Füllsendern der Telekommunikation.

Das gemeinsame Ziel unserer Arbeiten ist, mit effizienten und wartungsarmen Energiewandlern den nachhaltigen Umgang mit Energie komfortabler und wirtschaftlich noch attraktiver zu machen.

#### Ansprechpartner

Brennstoffzellen	Dipl.-Ing. Mario Zedda	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-2 07 E-Mail: Mario.Zedda@ise.fhg.de
Wasserstoffherzeugung	Dipl.-Ing. Peter Hübner	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-2 10 E-Mail: Peter.Huebner@ise.fhg.de
Systemtechnik und emissionsarme Verbrennung	Dipl.-Ing. Dieter Schlegel	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-2 09 E-Mail: Dieter.Schlegel@ise.fhg.de
Mikroenergietechnik	Dr. Christopher Hebling	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-1 95 E-Mail: Christopher.Hebling@ise.fhg.de



## Erdgasreformer für ein Brennstoffzellen-Blockheizkraftwerk zur Energieversorgung von Gebäuden

Brennstoffzellen können aus Wasserstoff hocheffizient Strom erzeugen, die anfallende Wärme kann Gebäude heizen. Wir entwickeln einen Reformer, der Wasserstoff aus Erdgas bereitstellt. Die Energieversorgung von Gebäuden erfolgt mit dieser Technologie - bis auf CO<sub>2</sub> - nahezu ohne Schadstoffemissionen.

Peter Hübner, Angelika Heinzel, Christof Wittwer, Matthias Vetter, Walter Mittelbach, Andreas Bühring, Tim Schmid, Bernhard Seigel

Die Haustechnik eines Gebäudes muss Anforderungen genügen, die der Reformer einer Brennstoffzelle nicht ohne weiteren Entwicklungsaufwand erfüllen kann. Dazu gehören flexibler Betrieb, kurze Startphase, geringer Wartungsaufwand, lange Lebensdauer, kompakte Bauweise und mindestens die Betriebssicherheit einer konventionellen Energieversorgung. Wir konzipieren das System auf Erdgasbasis und für einen Leistungsbe- reich von 1–2 kW<sub>el</sub>.

Die Hauptkomponenten eines Brennstoffzellen-BHKW zeigt Abbildung 1.

Die erste Verfahrensstufe, der Reformierreaktor, erzeugt durch Umsetzung von Erdgas und Wasserdampf ein wasserstoffreiches Gasmisch. Zwei nachgeschaltete katalytische Konverter wandeln den noch vorhandenen Kohlenmonoxid-Anteil von etwa 10 Vol % in Kohlendioxid und Wasserstoff um. Die CO-Feinreini- gungsstufe entfernt schließlich das Kohlenmonoxid bis auf einen Rest- anteil im ppm-Bereich. Damit hat das Gas die für Membranbrennstoffzellen erforderliche Qualität.

Wichtige Kriterien für den Reformier- reaktor sind die Wärmeverluste über die Außenwand, der lastabhängige Umsatz im Reaktor, der Druckverlust über und die Wärmeeinkopplung in das Katalysatorsystem sowie der (innere) Wärmeaustausch mit den Ausgangsstoffen. Alle diese Einflüsse müssen bei der Optimierung des Wirkungsgrades von Reformer und Gesamtanlage beachtet werden.

Wir zielen auf eine hohe Flexibilität des Reformers bezüglich des Verhält- nisses von Wasserstoff und Wärme- erzeugung ab. Die CO-Konvertierung, soll auch bei Lastwechseln stabile Werte für den CO-Gehalt garantieren. Sie erfolgt nach dem heutigen Stand der Technik in zwei Stufen, einer Hochtemperaturstufe bei etwa 400 °C und einer Niedertemperaturstufe bei etwa 200 °C.

Die nachfolgende CO-Feinreinigung muss den CO-Gehalt für eine Membranbrennstoffzelle deutlich unter 100 ppm absenken, um den Anodenkatalysator nicht zu vergiften. Wir realisieren sie zunächst mit selektiver Oxidation, später sind auch Membrantrennverfahren denkbar.

Zu den verschiedenen Verfahrens- schritten werden Katalysatoren getestet (Projektpartner: Fa. Süd- Chemie AG, München), die für eine optimale Umsetzung des eingesetzten Brennstoffes sorgen. Hierzu haben wir einen neuen Katalysator-Teststand mit Gaschromatographen aufgebaut.

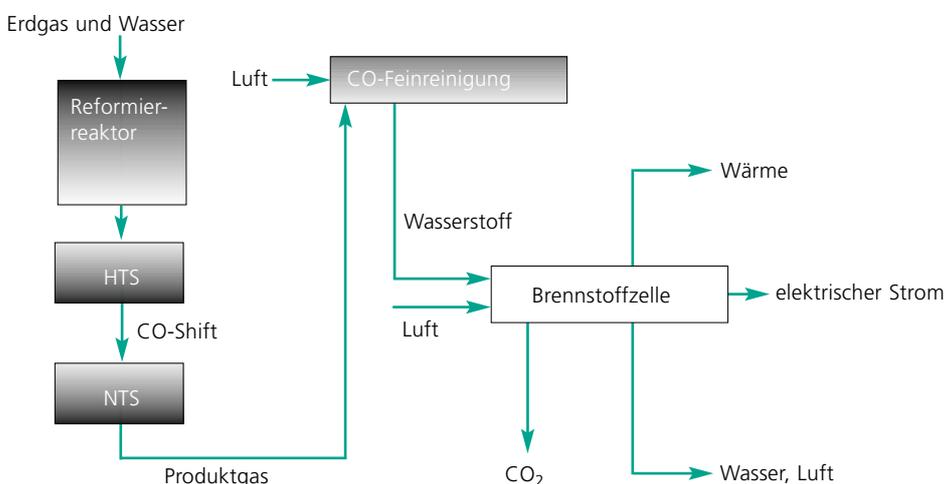


Abb. 1: Aufbau eines Brennstoffzellen-BHKW, HTS und NTS sind katalytische Hoch- und Niedertemperatur CO-Shift-Stufen.



Je nach erreichter Flexibilität des Reformers und Verbrauchervünschen wird im Hausversorgungssystem eine Heiztherme als Reserve-Wärmequelle vorgesehen und eine Integration in den Warmwasserkreislauf betrachtet.

Nach Auswahl der Peripheriekomponenten wie Wärmetauscher, Mischventile, Pumpen, Lüfter, integrieren wir den Reformer und alle Gasreinigungsschritte. Wir entwickeln Regelstrategien, untersuchen die im Labor realisierbare Gasqualität für verschiedene Betriebszustände und optimieren das Reformersystem. Abschließend wird die komplette Gasversorgung mit der Brennstoffzelle (Fa. Proton Motor, Starnberg) in einem System vereinigt und getestet.

Der Erdgasreformer ist Teil des vom Institut koordinierten und vom Bundeswirtschaftsministerium geförderten Leitprojekts »Neue Gesamtenergieversorgungskonzepte für Gebäude« (NEGEV). Seine Schwerpunkte sind technologieorientierte Bedarfsanalyse, Entwicklung von Komponenten der Energieversorgung für Gebäude in modularer Bauweise

und deren Integration zu Komplettsystemen, einschließlich der Verbindung mit den bestehenden Netzen der Energieversorgung. Zusammen mit Industriepartnern (Abbildung 2) werden Techniken weiter entwickelt, die den geringen Energiebedarf moderner Gebäude hocheffizient decken können. Dazu gehören Solarsysteme, Brennstoffzelle, Wärmepumpe und verlustarme Speichersysteme. Am Institut arbeiten wir eng mit der Abteilung »Thermische und optische Systeme« zusammen (Beitrag S. 30).



Abb. 2: Partner des Leitprojekts NEGEV.



## Innovative Hausenergieversorgung mit einem Brennstoffzellen-Blockheizkraftwerk

Für die E.ON Energie AG wird im Rahmen des Projekts »Innovative Hausenergieversorgung« ein Brennstoffzellen-Blockheizkraftwerk am Fraunhofer ISE entwickelt, gebaut und im Technologie-Pavillon des Bauzentrums der Messe München in Poing aufgestellt.

Dieter Schlegel, Sylvain Darou, Tobias Wartha, Robert Szolak, Christoph Strobel, Maurizio Palmisano, Angelika Heinzel

Fortschrittliche Energieversorgungskonzepte legen ihren Schwerpunkt auf die Umweltverträglichkeit und auf die möglichst optimale Nutzung des Brennstoffes. Brennstoffzellen als äußerst effiziente und umweltfreundliche Energieumwandler mit niedrigen Schadstoffemissionen erfüllen diese Anforderungen.

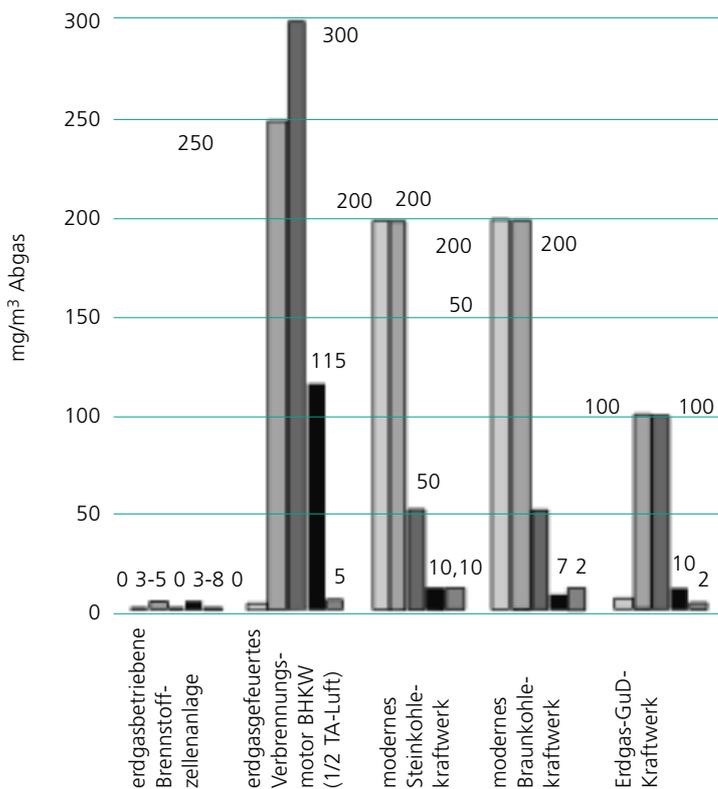


Abb. 1: Spezifische Luftschadstoffemissionen verschiedener stationärer Elektrizitätserzeugungstechniken (Quelle: VDEW).

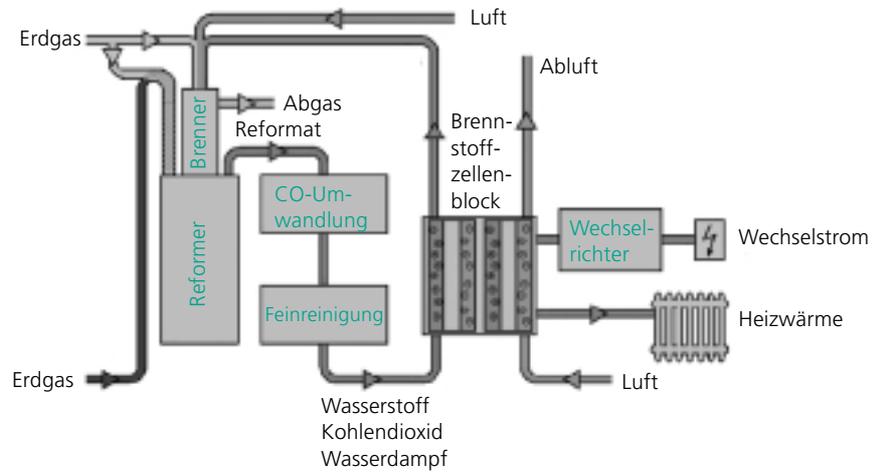


Abb. 2: Schematische Darstellung eines Brennstoffzellensystems zur Erdgasnutzung (Quelle: E.ON Energie AG).

Das Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE entwickelt seit mehreren Jahren Erdgasreformer zur Wasserstoffherzeugung für BHKWs. In dieser Zeit wurden zwei Reformeranlagen aufgebaut, 1997 im Technologiezentrum Riesa, Sachsen und 1999 an der Fachhochschule Ulm.

Für die Nutzung von Erdgas in einem Brennstoffzellen-Blockheizkraftwerk sind neben dem PEM-Brennstoffzellenblock (Polymer-Elektrolyt-Membran) weitere Komponenten erforderlich. Abbildung 2 zeigt eine schematische Darstellung eines Brennstoffzellen-BHKWs.

Der Energieträger Erdgas wird in einem Reformer zu wasserstoffreichem Synthesegas umgewandelt. Nach einer Gasnachbehandlung (Kohlenmonoxid-Konvertierung) und Feinreinigung (z. B. selektive Oxidation von Kohlenmonoxid) wird das Reformat, das aus 75 % Wasserstoff besteht, der PEM-Brennstoffzelle zur Stromerzeugung zugeführt. Die Abwärme wird sowohl im Prozess selbst genutzt als auch als Nutzwärme ausgekoppelt. Für die von der Brennstoffzelle abgegebene Gleichspannung (12 V, 275 A) sind zur Zeit noch keine handelsüblichen Wechselrichter erhältlich. Daher muss die



Spannung zuerst mittels eines DC/DC-Wandlers auf 350 V angehoben werden. Über einen Wechselrichter wird der Strom in die Hausenergieversorgung eingespeist. Der DC/DC-Wandler wird zusammen mit dem Wechselrichter von der Firma Kaco entwickelt.

Der Gesamtwirkungsgrad der Anlage ohne elektrische Verbraucher und Wechselrichter soll mindestens 60 % betragen. Der Brennstoffzellenblock, bestehend aus 20 Einzelzellen, arbeitet im Nennbetriebspunkt bei 0,6 VDC pro Zelle bei 275 A. Dieser Betriebspunkt ist von der Zusammensetzung des Reformergases und weiteren Betriebsparametern wie Druck und Temperatur abhängig.

Die elektrische Leistung der Anlage beträgt 3,3 kW, die thermische 4,5 kW. Der Brennstoffzellenblock wurde durch die Firma Siemens geliefert. Die Brennstoffzellenanlage wird durch eine SPS (Speicherprogrammierbare Steuerung) automatisiert und kann über ISDN und ein Softwaretool ferngewartet werden. Autorisiertes Personal kann mit einem speziellen Zugangscode die Prozessdaten verändern und Wartungsarbeiten durchführen. Die Prozessdaten werden an einem PC visualisiert, so dass Besucher aktuelle Daten einsehen können.

Das Projekt wird durch das Bayerische Staatsministerium für Wirtschaft, Verkehr und Technologien gefördert.

## Mini-Photovoltaikmodule für Kleingeräte und Sensoren

Am Fraunhofer ISE werden hocheffiziente Mini-Photovoltaikmodule entwickelt, die hochwertige Kleingeräte wie Handys, Organiser oder Sensoren mit Solarstrom versorgen. Die Photovoltaik verlängert die Standby-Zeit oder ermöglicht sogar völlige Autarkie.

**Christopher Hebling,**  
Helge Schmidhuber, Stefan Glunz,  
Heribert Schmidt, Werner Roth

Solarzellen wandeln das Licht der Sonne oder einer Lampe in elektrischen Strom um. Sie werden in Modulen zu leicht handhabbaren Einheiten verschaltet. Für die Versorgung von Geräten in Innenräumen müssen sie besondere Eigenschaften haben.

Wir verwenden unter anderem die am Fraunhofer ISE hergestellten, hocheffizienten Solarzellen, die sich durch sehr gutes Schwachlichtverhalten auszeichnen. Module aus diesen Solarzellen erreichen auch in Innenräumen noch hohe Wirkungsgrade und hohe Spannungen.

Platz ist Mangelware bei Kleingeräten. Die Solarzellen werden deshalb zu Hochleistungsmodulen verschaltet und verkapselt. So kontaktieren wir die Solarzellen mit einem Leitkleber in Schindeltechnik und vergießen sie dann mit einem hochtransparenten Silikongießharz. Das reduziert die von Kontakten abgeschattete Fläche und verleiht unseren Modulen einen Wirkungsgrad von 20%.

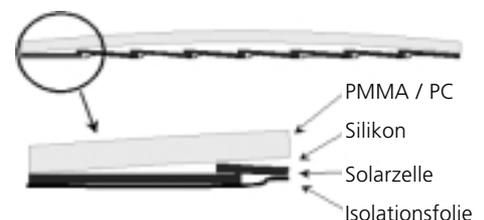
Die ebenfalls am Fraunhofer ISE entwickelten energiesparenden Akkuladeschaltungen passen das



Prototyp eines solar betriebenen Organisers. Die geräteintegrierten Akkus werden von dem Photovoltaikmodul aufgeladen. (Zusammenarbeit zwischen Fraunhofer ISE, Casio Computer und AccuCell).

Modul elektronisch an das jeweilige Gerät an. Sie sorgen dafür, dass der produzierte Strom optimal für den Betrieb des Geräts genutzt wird.

Die Leistungsfähigkeit der Mini-Photovoltaikmodule demonstrieren bereits Funktionsmuster für Telekommunikation, mobile Rechner und für autarke, kabellos kommunizierende Sensoren. PV-Module versorgen diese Sensoren dauerhaft mit Strom. Das reduziert den Aufwand für Wartung und Service deutlich.



Schematischer Aufbau eines Photovoltaikmoduls mit gebogener Frontseite. Es können Module mit einer minimalen Dicke von 1,5 mm hergestellt werden.



## Brennstoffzellen im Kleinleistungsbereich zur Energieversorgung von portablen Elektronikgeräten

In einem von fünf Fraunhofer-Instituten durchgeführten Verbundprojekt werden Mikrobrennstoffzellensysteme als Ergänzung oder Ersatz von Akkus entwickelt. Von der Materialentwicklung bis hin zur Bewertung von Strukturübertragungsmethoden und Mikromontagetechniken werden alle Aspekte für ein serientaugliches Brennstoffzellensystem bearbeitet.

**Christopher Hebling**, Mario Zedda, Andreas Schmitz, Ulf Groos, Alexander Hakenjos, Jürgen Schumacher, Klaus Tüber

Brennstoffzellen gelten aufgrund ihres hohen elektrischen Wirkungsgrades, ihres frei wählbaren modularen Aufbaus und der emissionsfreien Energieumwandlung als Zukunftstechnologie für die netzferne Energieversorgung. Erst in den letzten Jahrzehnten wurden funktionsfähige, langzeitstabile Systeme realisiert. Neuerdings werden Brennstoffzellen auch für den kostengünstigen Einsatz in Massenmärkten wie beispielsweise portable elektronische Geräte erforscht.

Im Rahmen einer von der Fraunhofer-Gesellschaft geförderten wirtschaftsorientierten strategischen Allianz (WISA) unter der Leitung des Fraunhofer ISE werden Brennstoffzellen im Leistungsbereich zwischen etwa 0,1 und 5 W entwickelt. Als Partner tragen das Fraunhofer-Institut für chemische Technologie ICT, das Institut für Zuverlässigkeit und Mikrointegration IZM, das Institut für Produktionstechnologie IPT sowie das Center for Manufacturing Innovation CMI mit ihren jeweiligen Kompetenzen zur Realisierung des

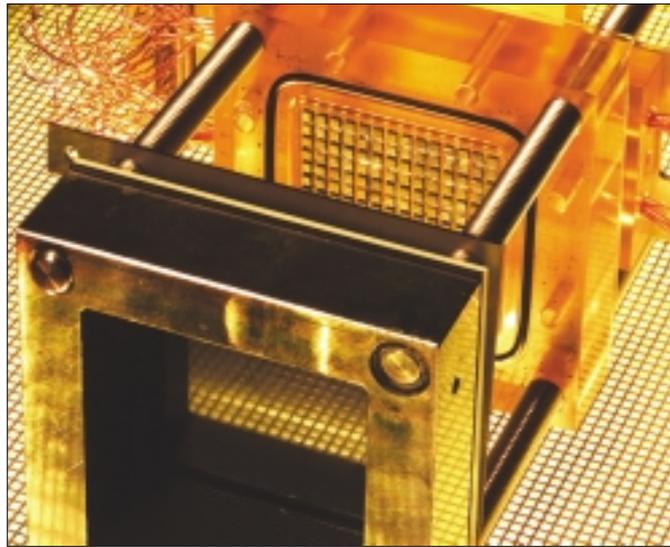


Abb. 1: Teststand zur orts aufgelösten Messung der Stromdichte, der Impedanz sowie der Temperatur.

Gesamtsystems bei. Die Bündelung der Einzelkompetenzen führt zu einem synergistischen Mehrwert bei den Funktionseinheiten der Brennstoffzelle sowie beim Aufbau der Fertigungstechnologie.

Leitprodukt ist ein gängiger Camcorder, dessen Akku durch ein Brennstoffzellensystem ersetzt wird. Anhand eines Prototypen werden alle relevanten Systemaspekte bearbeitet: strömungsmechanische Simulationen der Kanalstruktur, Materialvariationen der Bipolplatte, Integration von Mikroperipherie-Elementen, Entwicklung eines Powermanagements und der Bewertung von geeigneten Herstellungs- und Montagetechnologien.

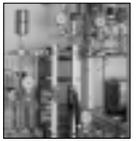
Neben dem sogenannten Stack-Design, der Serienschaltung aufeinandergestapelter Brennstoffzellen, wird auch eine extrem flache Anordnung von serienschalteten Zellen realisiert, die auf der Rückseite eines MP3-Players die Energieversorgung übernimmt.

Das Fraunhofer ISE bringt seine langjährige Erfahrung bei der Auslegung, dem Bau und der Charakterisierung von Brennstoffzellensystemen in das Projekt ein. Dafür haben wir den

Bereich der strömungsmechanischen, thermodynamischen und elektrochemischen Simulation des Stofftransports und der Stoffumwandlung intensiviert. Wir können nun orts aufgelöst beispielsweise die Wärme- und Wasserentstehung als Funktion der Geometrie der Gaskanäle und des Volumenstroms berechnen. Parallel dazu haben wir einen Messstand aufgebaut, mit dem in einer 5 x 5 cm<sup>2</sup> großen Testzelle, die in 49 Einzelsegmente unterteilt ist, die folgenden Parameter orts aufgelöst gemessen werden können:

- Temperatur (hochempfindliche IR-Kamera mit Makroobjektiv)
- Stromdichte (Messung der I-U-Kennlinie jedes Einzelsegments)
- Wassergehalt der Membran (Impedanzspektroskopie)
- Druckdifferenz (Druckmesser am Ein- und Ausgang der Gaskanäle)
- Luftfeuchte (Feuchtemesser am Ein- und Ausgang der Zelle)
- Wasserstofffeuchte (Feuchtemesser am Ein- und Ausgang der Zelle)

Die Messergebnisse helfen uns, die Modellbildung der Simulation zu verbessern und führen so zu einem wachsenden Verständnis der Vorgänge in einer Brennstoffzelle.



## Thermophotovoltaische Energiekonversion mit mikrostrukturierten Strahlern

Thermophotovoltaik (TPV) ist die Umwandlung von Wärmestrahlung in elektrische Energie mit photovoltaischen Zellen. Die TPV besitzt vor allem im Kleinleistungsbereich das Potenzial für Wärme-Elektrizitäts-Wandler mit hohem Wirkungsgrad und hoher Zuverlässigkeit. Die Möglichkeit der Kogeneration von Elektrizität und Wärme, hohe Leistungsdichten ( $>1\text{W}/\text{cm}^2$ ) und ein geringer Wartungsaufwand wegen des Fehlens beweglicher Teile sind weitere prinzipielle Vorteile der Thermophotovoltaik.

Christopher Hebling, Jörg Ferber\*, Johannes Aschaber\*, Christian Schlemmer, Rolf Wiehle, Volkmar Börner, Andreas Heinzl, Andreas Gombert

Eine TPV-Marktstudie des Fraunhofer ISE zeigt attraktive Anwendungen u. a. in den Bereichen netzferner Stromversorgung, Camping/Freizeit (Kogeneration von Elektrizität und Wärme), Telekommunikation (PV-Hybridssysteme) sowie netzautarker Gasheizungen auf. Ein Marktpotenzial besteht auch durch die Nutzung von Abwärme aus der Industrie (z. B. Glas-, Aluminium-, Stahlverarbeitung).

Wir verfolgen ein neuartiges Konzept, bestehend aus einem mikrostrukturierten Strahler (Emitter), den ein Brenner erhitzt, einem Vakuumsystem sowie Photovoltaikzellen aus infrarotempfindlichem GaSb (Beitrag S. 61). Die Strukturierung der Emitteroberfläche dient dazu, das Spektrum des erhitzten Materials an die spektrale

Empfindlichkeit der GaSb-Zellen anzupassen. Derzeit untersuchen wir Wolfram als Emittiermaterial, da es eine natürliche Strahlungsselektivität aufweist, die durch Mikrostrukturierung verstärkt und optimiert werden kann. Durch die Verwendung eines selektiven Emitters kann auf zusätzliche Filter zur Anpassung der Strahlung verzichtet werden. Außerdem ist Wolfram wegen seines hohen Schmelzpunktes für die auftretenden Temperaturen geeignet.

Ein Vorteil des Systembetriebes im Vakuum ist das Ausbleiben der konvektiven Wärmeübertragung mit ihren wirkungsgradmindernden Eigenschaften auf die Photovoltaikzellen. Die Beheizung der Wolframbleche kann auf beliebige Art erfolgen, vorausgesetzt Temperaturen um  $1250\text{ °C}$  werden erreicht. Auch die Verwendung von Biobrennstoffen ist denkbar.

Abbildung 1 zeigt das simulierte Emissionsspektrum einer mikrostrukturierten Wolframoberfläche mit einer Gitterperiode von  $1,45\text{ }\mu\text{m}$  und einer Tiefe von  $0,3\text{ }\mu\text{m}$  in Abhängigkeit von verschiedenen Abstrahlwinkeln. Mit zunehmendem Abstrahlwinkel verschiebt sich das Emissionsmaximum zu größeren Wellenlängen – ein unerwünschter Effekt, da Photovoltaikzellen aus GaSb-Zellen nur Strahlung mit einer Wellenlänge kleiner als  $1,7\text{ }\mu\text{m}$  in Strom umwandeln können. Simulationsrechnungen zeigen, dass größere Strukturiefen im Mikrometerbereich diese Winkelselektivität verhindern können. Erste Messungen bestätigen dies.

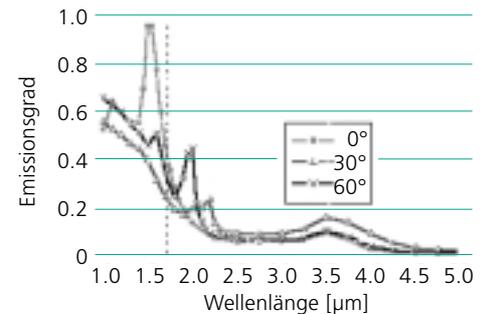


Abb.1: Simuliertes Emissionsspektrum eines zwei-dimensionalen Wolfram-Gitters bei  $1400\text{ °C}$  mit einer Gitterperiode von  $1,45\text{ }\mu\text{m}$ , aufgetragen für verschiedene Polarwinkel. GaSb-Zellen können nur Photonen mit einer Wellenlänge unterhalb  $1,7\text{ }\mu\text{m}$  nutzen. Das gezeigte Spektrum ist simuliert, wir schaffen derzeit die Voraussetzungen für Messungen bei den auftretenden hohen Temperaturen.

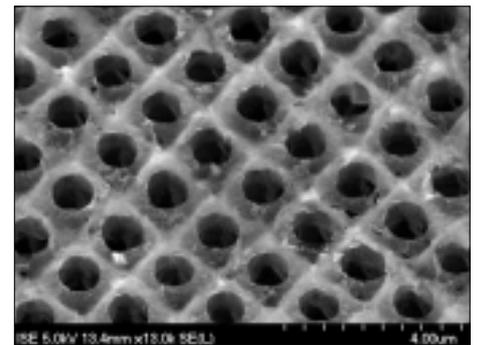


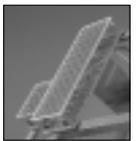
Abb. 2: Rastermikroskopische Aufnahme einer mikrostrukturierten Wolframoberfläche mit einer Gitterperiode von  $1,4\text{ }\mu\text{m}$  und einer Strukturtiefe von  $1\text{ }\mu\text{m}$ .

Abbildung 2 zeigt die REM-Aufnahme einer tief strukturierten Wolframprobe mit einer Gitterperiode von  $1,4\text{ }\mu\text{m}$  und einer Strukturtiefe von über  $1\text{ }\mu\text{m}$ . Wir arbeiten derzeit an der Strukturoptimierung und der Langzeitstabilität der Strahlungsemitter.

\* Universität Freiburg, Freiburger Materialforschungszentrum FMF, Freiburg



Monolithische Tandem-Konzentratorzellen, die einen Wirkungsgrad von 31,1 % erzielen, eingebaut in ein Testmodul. Tandemsolarzellen wandeln durch spektral angepasste Teilsolarzellen die unterschiedlichen Bereiche der Sonnenstrahlung mit besonders hohem Wirkungsgrad in elektrische Energie um. Linsen konzentrieren das Sonnenlicht um einen Faktor 100 bis 1 000.



Über 80 % der weltweit hergestellten Solarzellen sind aus kristallinem Silicium. Preis/Leistungsverhältnis, Langzeitstabilität und belastbare Kostenreduktionspotenziale sprechen dafür, dass dieser Leistungsträger der terrestrischen Photovoltaik in den nächsten zehn Jahren weiter marktbeherrschend bleibt.

III-V Halbleiter wie Galliumarsenid sind das zweite Materialsegment, das wir bearbeiten. Es steht derzeit noch für einen Spezialmarkt, der mit den Stichworten Weltraum, optische Konzentration, Sonderanwendungen beschrieben werden kann. Das gemeinsame Thema in beiden Bereichen heißt für uns: Forschung rückt noch näher an die kommerzielle Anwendung heran.

Hier sind Beispiele:

Im Oktober nahmen wir unser Labor- und Servicecenter in Betrieb. Hier können wir unter Produktionsbedingungen im Labor arbeiten. Die Industrie kann die Ergebnisse ohne Produktionsausfälle 1:1 in die Fertigung übernehmen.

Mit einer Pilotfertigung können wir jetzt in Freiburg Hochleistungssolarzellen z. B. für portable Geräte in Kleinserie produzieren.

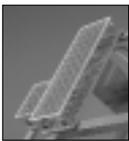
Die kristalline Silicium-Dünnschicht-solarzelle verbindet die klassischen Vorteile des Siliciums mit den Vorteilen der Dünnschichttechnik. Neben den physikalischen Grundlagen entwickeln wir gleich die Fertigungstechnik: Der energiesparende SIR-Prozess liefert flexible Folien mit beachtlichem Wirkungsgrad.

Bei den III-V Solarzellen arbeiten wir an strahlungsresistenten Tandemzellen für die Anwendung im Weltraum. Für die terrestrische Anwendung entwickeln wir ein preisgünstiges Verfahren zur Herstellung der Fresnel-linsen in Konzentratormodulen und bauen komplette Module für den Außeneinsatz auf.

Für Laser-Leistungsübertragung und für den thermophotovoltaischen Einsatz entwickeln wir spezielle III-V Zellen, die für das entsprechende Strahlungsspektrum optimiert sind.

#### Ansprechpartner

Silicium-Material-entwicklung	Dr. Achim Eyer	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-2 61 E-Mail: Achim.Eyer@ise.fhg.de
Kristalline Silicium-Dünnschichtzellen	Dr. Albert Hurrle	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-2 65 E-Mail: Albert.Hurrle@ise.fhg.de
Multikristalline Silicium-Solarzellen	Prof. Roland Schindler	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-2 52 E-Mail: Roland.Schindler@ise.fhg.de
Hocheffiziente Silicium-Solarzellen	Dr. Stefan Glunz	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-1 91 E-Mail: Stefan.Glunz@ise.fhg.de
III-V-Photovoltaikzellen und Schichtstrukturen	Dr. Andreas Bett	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-2 57 E-Mail: Andreas.Bett@ise.fhg.de
Dielektrische und elektrische Schichten	Dr. Friedrich Lutz	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-2 67 E-Mail: Friedrich.Lutz@ise.fhg.de
Charakterisierung von PV-Materialien	Dr. Wilhelm Warta	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-1 92 E-Mail: Wilhelm.Warta@ise.fhg.de
Innovative Fertigungstechnologien	Dr. Ralf Lüdemann	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-1 99 E-Mail: Ralf.Luedemann@ise.fhg.de



## Monokristalline Solarzellen mit höchsten Wirkungsgraden und innovativer Fertigungstechnologie

Etwa die Hälfte aller Solarzellen weltweit werden aus monokristallinem Silicium hergestellt. In den letzten Jahren ist international ein starker Trend zu höheren Wirkungsgraden und kleineren Waferdicken zu beobachten. Ein Schwerpunkt unserer Forschungsaktivitäten lag daher bei der Prozessierung von dünnen Wafern mit neuen kostensparenden Herstellungsverfahren. Außerdem haben wir eine Pilotlinie für die Herstellung von hocheffizienten Solarzellen aufgebaut und in Betrieb genommen.

**Stefan Glunz**, Jochen Dicker, Franz J. Kamerewerd, Joachim Knobloch, Bettina Köster\*, Antonio Leimenstoll, Ralf Lüdemann, Ralf Preu, Stefan Rein\*\*, Sebastian Schaefer, Elisabeth Schäffer, Eric Schneiderlöchner, Jürgen Schumacher, Wilhelm Warta, Wolfram Wettling, Gerhard Willeke

Um hohe Wirkungsgrade auch auf geringen Waferdicken zu erzielen, braucht man in der industriellen Produktion neue Zellstrukturen. Bei Solarzellen mit Aluminum-Back-Surface-Field reduziert sich der Wirkungsgrad bei Verringerung der Zelldicke sehr stark. Durch geeignete Maßnahmen, wie einer verbesserten Oberflächenpassivierung und interner Verspiegelung der Rückseite, kann der Wirkungsgrad insbesondere für geringe Zelldicken stark gesteigert werden. Schon seit geraumer Zeit stehen Solarzellenkonzepte zur Verfügung, mit denen Wirkungsgrade deutlich über 20 % erreicht werden können (z. B. Abbildung 1). Allerdings sind diese Konzepte bisher nicht in die industrielle Fertigung übernommen worden, da sie aufwändig und damit teuer sind. In letzter Zeit untersuchen wir verstärkt Möglichkeiten zu deren vereinfachten Umsetzung.

Wichtigstes Merkmal hocheffizienter Silicium-Solarzellen ist eine sehr gute Oberflächenpassivierung. Sie kann durch die Beschichtung mit Siliciumdioxid oder Siliciumnitrid erreicht werden. Allerdings muss beim Aufbringen der Kontakte diese Isolatorschicht teilweise wieder geöffnet werden (Abbildung 1). Das wurde bisher durch relativ aufwändige Photolithographieschritte bewerkstelligt. Uns ist es jetzt gelungen, die Isolatorschicht mittels Laserablation zu öffnen, was die Anzahl der Prozessschritte zur Herstellung der Rückseitenpunktkontakte um einen Faktor 5 reduziert. Wir untersuchten zwei Lasersysteme auf ihre Tauglichkeit:

\* PSE Projektgesellschaft Solare Energiesysteme mbH, Freiburg  
\*\* Universität Freiburg, Freiburger Materialforschungszentrum FMF, Freiburg

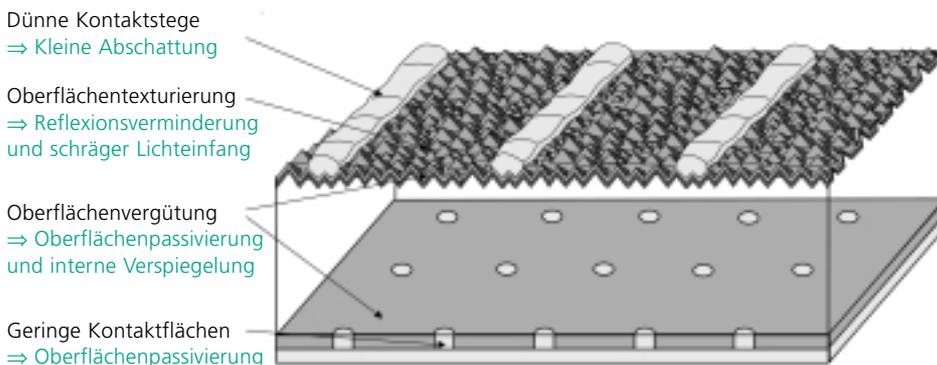


Abb. 1: Hocheffiziente Solarzelle (Passivated Emitter and Rear Cell (PERC) Konzept). Die Oberflächenvergütung besteht entweder aus thermisch aufgewachsenem  $\text{SiO}_2$  oder einer abgeschiedenen  $\text{SiN}_x$ -Schicht.

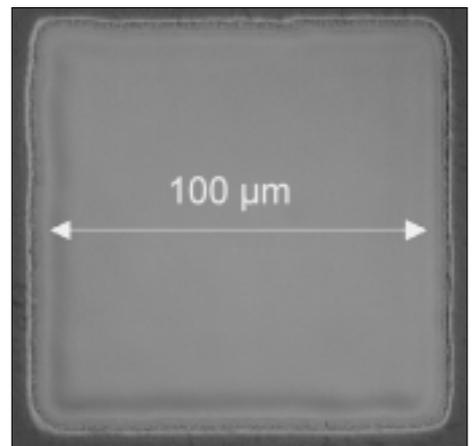
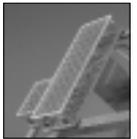


Abb. 2: Mit einem Excimer-Laser geöffneter Kontaktpunkt in der dielektrischen Passivierungsschicht auf der Rückseite einer hocheffizienten Siliciumsolarzelle.



einen KrF-Excimerlaser mit einer sehr kurzen Wellenlänge (248 nm) und einen Nd:YAG Laser mit großer Wellenlänge (1 064 nm). Abbildung 2 zeigt einen mittels Excimer-Laser geöffneten Rückseitenkontaktpunkt.

Da Siliciumnitrid Licht dieser Wellenlänge sehr stark absorbiert, wird die Passivierungsschicht sehr selektiv ablatiert. Beim Nd:YAG-Laser mit sehr großer Wellenlänge dringt hingegen der Laserstrahl tief in das darunterliegende Silicium ein und hinterlässt eine Art Krater im Silicium (Abbildung 3).

Trotz der unterschiedlichen Ablationsergebnisse erzielten wir mit beiden Lasersystemen bereits Solarzellen-Wirkungsgrade über 20 %. Die Ergebnisse liegen nur geringfügig unter dem Wirkungsgrad herkömmlich prozessierter hocheffizienter Solarzellen.

Mit solch hochwertigen Zellkonzepten kann man die Waferdicke ohne starke Einbußen im Wirkungsgrad drastisch reduzieren. So erreichten wir auf einem 115 µm dünnen Wafer aus industrierelevantem Czochralski-Silicium einen Wirkungsgrad von 20 %. Auf der Titelseite ist eine 85 µm dünne hocheffiziente Czochralski-Silicium-Solarzelle dargestellt. Außer der Materialersparnis wird auf diesem Bild noch eine andere herausragende Eigenschaft der Zellen ersichtlich: Sie sind flexibel. Damit bieten sich völlig neue Anwendungsgebiete.

Bisher konnten wir neue hocheffiziente Zellkonzepte nur im Labormaßstab verifizieren. Das hat einerseits den Nachteil, dass wegen der kleinen

Stückzahl die potenziellen Kosten von hocheffizienten Solarzellen nur ungefähr angegeben werden können. Andererseits konnten wir in diesem Rahmen keine automatisierten Prozessschritte einführen, die wiederum zur Kostenreduktion beitragen würden.

Deshalb haben wir in diesem Jahr eine Pilotlinie für hocheffiziente Solarzellen aufgebaut und in Betrieb genommen. Wir identifizierten besonders zeitaufwändige Prozessschritte des Laborbetriebs und automatisierten sie. Dabei kamen teilweise neuartige, selbst entwickelte Geräte zum Einsatz.

Ein ebenso wichtiges Ziel dieser Pilotlinie ist es, hocheffiziente Solarzellen in ausreichender Menge für die Prototypentwicklung von solarversorgten Kleingeräten zur Verfügung zu stellen. Abbildung 4 zeigt einen Siliciumwafer mit 14 hocheffizienten Solarzellen. Diese Zellen sind für die Serienschaltung in Schindeltechnik optimiert. Dabei überlappen sich die Solarzellen geringfügig: Der Stromsammelbus (horizontale Metallstreifen in Abbildung 4) wird durch die folgende Zelle abgedeckt. Das reduziert die Abschattung und die Flächenverluste durch Zwischenräume im Modul stark. Das in Abbildung 4 rechts oben dargestellte Modul ist mit dieser Technik hergestellt worden. Während ein solches Modul bei voller Sonneneinstrahlung etwa 60 % mehr Leistung als ein kommerzielles Modul erbringt, wird dieser Unterschied bei kleinen Beleuchtungsstärken noch gravierender. Bei konventionellen Zellen »bricht« die Spannung bei geringer Beleuchtungsstärke stark ein, so dass

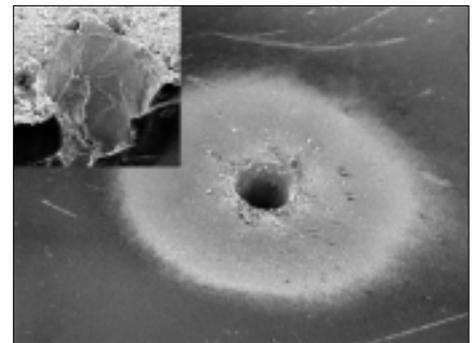


Abb. 3: Mit einem Nd:YAG-Laser geöffneter Kontaktpunkt in der dielektrischen Passivierungsschicht auf der Rückseite einer hocheffizienten Siliciumsolarzelle.

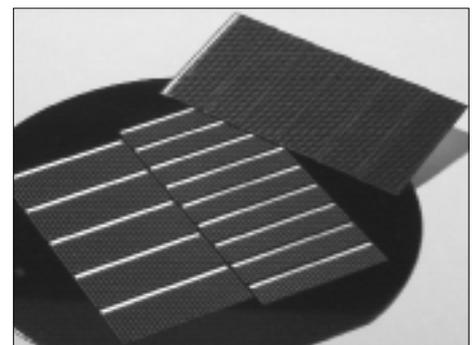


Abb. 4: Hocheffiziente Solarzellen auf einem Wafer und nach der Verschaltung in einem Schindelmodul (rechts oben).

wesentlich mehr Zellen zum Erreichen der für die jeweilige Applikation notwendigen Spannung erforderlich sind. Dieser Effekt tritt bei unseren hocheffizienten Zellen nicht auf. Das ist von entscheidender Bedeutung für die Versorgung von Elektronikprodukten wie Mobiltelefonen, Palmtops, etc., die fast immer in Innenräumen betrieben werden (Beitrag S. 51).



## Rasches thermisches Prozessieren von Solarzellen

In der Solarzellenproduktion wird eine weitere Verkürzung der Prozesszeiten angestrebt. Eine deutliche Reduktion lässt sich z. B. mit Hilfe des Raschen Thermischen Prozessierens (RTP) erreichen. Derzeit langwierige Hochtemperaturprozesse verkürzen sich bei RTP auf wenige Sekunden.

Harald Lautenschlager, Stefan Peters, Volker Radt, Christian Schetter, Roland Schindler

Der Wirkungsgrad multikristalliner Solarzellen liegt im Vergleich zu dem Wirkungsgrad einkristalliner Zellen je nach Qualität der Ausgangsscheiben um etwa 2–3 % absolut niedriger. Dies trifft sowohl auf Laborzellen als auch auf industriell gefertigte Zellen zu. Der niedrigere Wirkungsgrad wird der hohen Dichte an Versetzungen und Korngrenzen und einem inhärent höheren Restverunreinigungsgrad mit metallischen Fremdatomen zugeschrieben.

Durch optimale Prozessführung kann multikristallines Material unter Umständen so verbessert werden, dass es dem einkristallinen Material nahe kommt. Dies kann z. B. durch sogenannte Getterschritte erreicht werden,

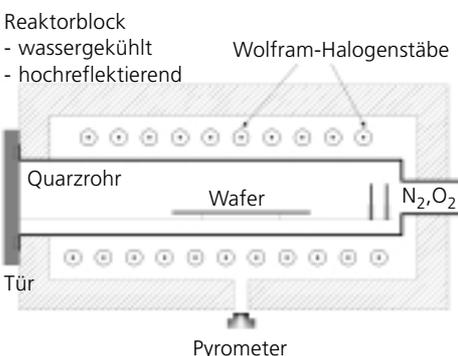


Abb. 1: Schematischer Aufbau des am Fraunhofer ISE verwendeten RTP-Ofens.

bei denen Verunreinigungen aus dem Volumen der Solarzelle entfernt und damit unschädlich werden. Dies ist jedoch in der Regel mit langen Prozesszeiten verbunden, die sich industriell schlecht umsetzen lassen. Dieselben Charakteristiken hat auch der in den vergangenen Jahren am Fraunhofer ISE entwickelte einfache konventionelle Solarzellenprozess, der einen integrierten Getterschritt enthält. Allgemein wird diese Art der Hochtemperaturprozessierung mittels widerstandsbeheizter Rohröfen als konventionelle Prozessierung bezeichnet.

Eine neue Richtung der Prozessierung stellt das Rasche Thermische Prozessieren (RTP) dar. Bei dieser Technik werden die Siliciumscheiben durch kurzwelliges Licht beheizt. Da zusätzlich die Umgebung des Wafers stets kalt bleibt, lassen sich mit dieser Methode steile Aufheiz- und Abkühlrampen fahren. Im Gegensatz zur konventionellen Prozessierung erlaubt RTP somit sehr kurze Prozesszeiten im Bereich von wenigen Sekunden. In Abbildung 1 ist schematisch der Aufbau eines kommerziellen RTP-Ofens gezeichnet wie er auch im Bereich der Mikroelektronik eingesetzt wird. Es wurde ein Prototyp eines Durchlauf-RTP-Ofens entwickelt, der insbesondere für die Anforderungen der PV-Industrie geeignet ist.

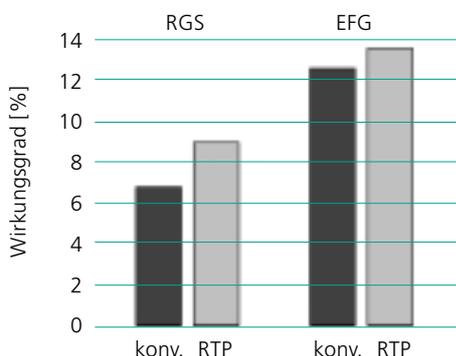
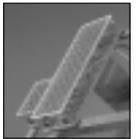


Abb. 2: Wirkungsgradverbesserung an Labor-mustern von Folienmaterialien wie ribbon growth on substrate (RGS) und edge defined film-fed growth (EFG) durch Anwendung von RTP statt konventioneller Prozessierung.

Unsere Arbeiten zeigen, dass mittels RTP ebenso effiziente einkristalline Solarzellen hergestellt werden können wie im konventionellen langsameren Prozess. So kann zum Beispiel mittels RTP in extrem kurzer Diffusionszeit eine Solarzelle aus industriellem Cz-Si mit 17,5 % Wirkungsgrad hergestellt werden. Die eingesetzten RTP-Prozesse zur Emitterdiffusion und Oxidpassivierung dauern dabei in der Summe weniger als eine Minute. Zudem gelang uns die Herstellung einer Solarzelle aus hochwertigem Float-Zone Silicium mit 18,7 % Wirkungsgrad, wobei auch ein siebgedrucktes Aluminium Back-Surface-Field zur Rückseitenpassivierung mittels eines speziell angepassten RTP-Prozesses gebildet wurde.

Bei multikristallinem Silicium aus großen Blöcken liegt der Wirkungsgrad der RTP-Solarzellen allerdings noch etwas niedriger. Überraschenderweise trifft dies nicht für Bändermaterialien wie EFG (edge defined film-fed growth) oder RGS (ribbon growth on substrate) zu. In Abbildung 2 sind die Zellwirkungsgrade für RGS- sowie EFG-Silicium aufgeführt. In beiden Fällen konnten wir mit RTP höhere Wirkungsgrade als im konventionellen Prozess erzielen. Die Ursache hierfür dürfte in der Aktivierung und Ausscheidungskinetik von Verunreinigungen liegen: Bei zunehmender Temperaturbelastung bilden sich Cluster oder Ausscheidungen von Verunreinigungen und anderen Defekten. Beim EFG äußert sich dies z. B. in einem höheren Kurzschlussstrom, verbunden mit einer geringeren Leerlaufspannung. Insgesamt gibt es höhere Wirkungsgrade für kürzere Prozesszeiten. Diese Effekte sind stark abhängig von dem jeweiligen Material und Ziehprozess bei dessen Herstellung.



## Der SIR-Prozess zur energiesparenden Herstellung von kristallinen Silicium-Dünnschicht solarzellen

Der Energieverbrauch ist ein wesentlicher Kostenfaktor bei der Herstellung kristalliner Silicium-Dünnschicht solarzellen. Der neuartige, vom Fraunhofer ISE miterfundene SIR-Prozess kann die Energiekosten deutlich senken.

Achim Eyer, Stefan Reber, Daniela Oßwald\*, Albert Hurrle, Norbert Schillinger, Sandra Bau\*\*, Andreas Roosen\*\*\*, Christiane Lutz\*\*\*, Hans-Jürgen Pohlmann\*\*\*\*

Bei der Herstellung von kristallinen Silicium-Dünnschicht solarzellen spielen neben den Materialkosten auch die Energiekosten eine wesentliche Rolle. Im so genannten Hochtemperaturansatz gibt es zwei energieintensive Herstellungsschritte mit Temperaturen bis über 1 400 °C: das Brennen der Keramik des Trägersubstrats und die Schmelzrekristallisation.

Im SIR-Prozess – Simultane Infiltration und Rekristallisation – werden Brennen und Rekristallisieren in einem Schritt zusammengefasst. Dies ermöglicht eine deutliche Energie- und damit Kostenersparnis.

Die Idee, die dem SIR-Prozess zugrunde liegt, zeigt Abbildung 1 etwas

detaillierter: Eine keramische Grünfolie aus Silicium, Siliciumkarbid und Kohlenstoff mit einer Zwischenschicht dient als Trägermaterial (Substrat). Auf das Substrat bringt man nun eine Siliciumschicht entweder aus Siliciumpulver oder durch ein Abscheidungsverfahren auf. Jetzt folgt der entscheidende SIR-Prozessschritt: In einem Zonenschmelzofen wird ein schmaler Streifen des Schichtsystems über die Schmelztemperatur von Silicium erhitzt und gleichzeitig über die Probe »gezogen«. Dies bewirkt in nur einem Schmelzschritt zweierlei: Zum einen wird das feinkörnige Silicium oberhalb der Zwischenschicht rekristallisiert und es entsteht eine grobkristalline Siliciumschicht. Zum anderen reagiert das flüssige Silicium in der Grünfolie mit dem vorhandenen Kohlenstoff zu Siliciumkarbid, das die Grünfolie keramisiert und damit härtet. Durch epitaktisches Verdicken der rekristallisierten Siliciumschicht entsteht ein Waferäquivalent, welches mit herkömmlichen Herstellungsverfahren zu Solarzellen prozessiert werden kann.

In Zusammenarbeit mit der Universität Erlangen-Nürnberg und mit Förderung der Firmen TeCe Technical Ceramics GmbH und Shell Solar setzten wir die Idee des SIR-Prozesses um. Die Universität Erlangen-Nürnberg entwickelte ein Verfahren zur Herstellung der keramischen Grünfolien. Das dabei verwendete Foliengießen (tape casting) ist eine Methode, um schnell und kostengünstig große Folien-

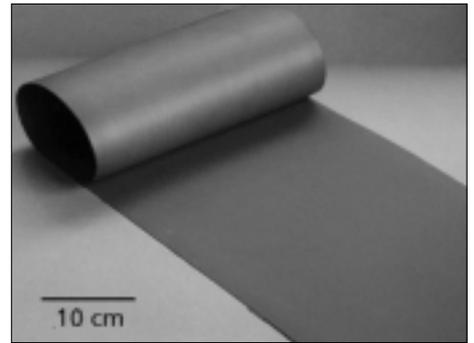


Abb. 2: Grünfolie aus Si-SiC-C, die durch Foliengießen hergestellt wurde.

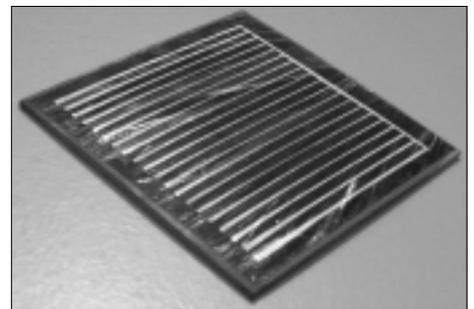


Abb. 3: 5 x 5 cm<sup>2</sup> große SIR-Solarzelle.

flächen zu fertigen. Die größten Folien, die dort hergestellt wurden, erreichten 2 m Länge bei 25 cm Breite (Abbildung 2). In Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer ISE wurde die Folienspezifikation in Erlangen sukzessive optimiert.

Wir führten zusätzlich sämtliche weiteren Prozessschritte bis hin zur Solarzellenfertigung und -charakterisierung durch. Dabei stellten wir Solarzellen von 1 cm<sup>2</sup> Fläche bis 25 cm<sup>2</sup> Fläche her. Abbildung 3 zeigt beispielhaft eine SIR-Solarzelle mit einer Größe von 5 x 5 cm<sup>2</sup>. Die besten Wirkungsgrade der Solarzellen lagen bereits nach kurzer Entwicklungszeit bei 6,4 %.

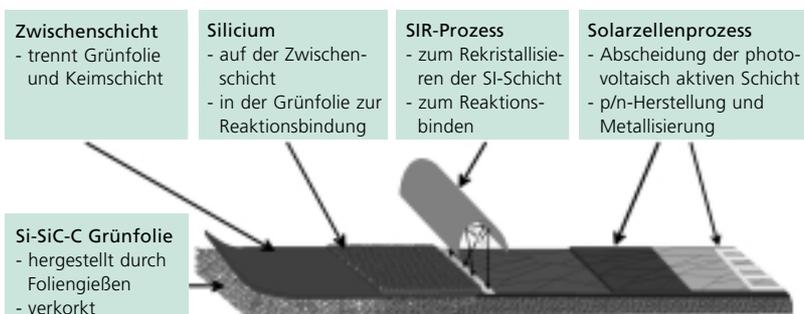


Abb. 1: Schema der Prozessschritte (von links nach rechts), die zur Herstellung einer kristallinen Silicium-Dünnschicht solarzelle nach dem SIR-Prozess durchgeführt werden.

\* Universität Freiburg, Freiburger Materialforschungszentrum FMF, Freiburg  
\*\* PSE Projektgesellschaft Solare Energiesysteme mbH, Freiburg  
\*\*\* Universität Erlangen-Nürnberg  
\*\*\*\* TeCe Technical Ceramics GmbH



## Einseitenkontaktierung für kristalline Silicium-Dünnschicht-solarzellen mit Siebdruckverfahren

Sollen kristalline Silicium-Dünnschicht-solarzellen auf elektrisch isolierenden Substraten hergestellt werden, muss auf eine Einseitenkontaktierung zurückgegriffen werden. Siebdruck ist die dafür geeignete, produktionsnahe Standardtechnologie.

Dominik Huljic, Ralf Lüdemann, Gernot Emanuel\*, Sebastian Schaefer, Daniel Biro, Stefan Reber

Die Schichten für kristalline Silicium-Dünnschicht-solarzellen (KSD-Solarzellen) sind in den meisten Fällen auf ein kostengünstiges Trägersubstrat aufgebracht. Oft ist dieses Substrat aus elektrisch isolierendem Material. Das kann ein großer Vorteil sein: Indem man einzelne streifenförmige Solarzellen auf dem Substrat integriert serienverschaltet, kann man die Herstellung von »Strings«, also von Ketten serienverschalteter großer Einzelzellen, vermeiden. Dieser Vorteil ist aber auch ein Nachteil: Das elektrisch isolierende Substrat verhindert eine konventionelle Kontaktierung der Solarzelle mit einem rückseitig liegenden Basiskontakt und einem vorderseitigen Metallgitter für den Emitterkontakt. Beide Kontakte müssen auf der beleuchteten Vorderseite realisiert werden.

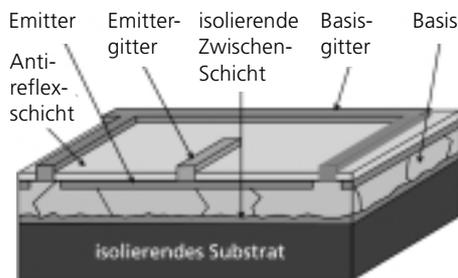


Abb. 1: Schema einer einseitenkontaktierten Dünnschicht-solarzelle mit 'interdigitated-grid'-Kontaktierung.

Das bekannteste Konzept hierzu ist das »interdigitated grid« (Abbildung 1). Der auffälligste Unterschied zu herkömmlichen Zellen ist die selektive Emitterstruktur: Der Emitterbereich auf der Oberfläche ist nicht ganzflächig, sondern Emitter- und Basisbereiche folgen alternierend aufeinander.

Wir realisierten eine derartige selektive Emitterstruktur mit interdigitated-grid-Kontaktierung bereits vor einigen Jahren sehr erfolgreich mit Hilfe von Photolithographie- und Maskendiffusionsschritten. Ausgezeichnete 19,2 % Wirkungsgrad bewiesen, dass einseitenkontaktierte KSD-Solarzellen ein hohes Wirkungsgradpotenzial besitzen.

Allerdings sind die dabei verwendeten Verfahren für eine industrielle Serienfertigung zu teuer. Wir wollten deshalb das interdigitated-grid-Konzept mit kostengünstigen, schnellen Siebdruckverfahren realisieren.

Wir testeten drei Verfahren (Abbildung 2): Buried Base Contact (BBC), Grid Aligned Trenching (GAT) und Patterned Emitter (PE). Alle drei Verfahren kommen ohne teure Photolithographie- und Maskendiffusionsschritte aus. Der Siebdruck ersetzt die aufwändige maskengebundene Auf-

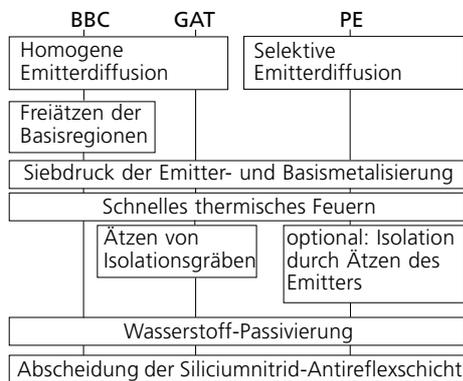


Abb. 2: Prozessabläufe für die drei unterschiedlichen Konzepte zur Realisierung eines »interdigitated-grid«.

dampftechnologie. Das PE-Konzept unterscheidet sich von den anderen dadurch, dass der Emitter gleich bei der Emitterdiffusion strukturiert wird. Es ist daher das Konzept mit den wenigsten Prozessschritten. Allerdings können massive Kurzschlüsse zwischen Emitter- und Basisregionen entstehen, wenn man auf Maskierungsschritte verzichtet. Auch das GAT-Konzept beinhaltet Prozessschritte, die zu ähnlichen Shunts führen können. Im Gegensatz dazu ist das BBC-Konzept deutlich stabiler gegenüber Prozesstoleranzen. Dies zeigte sich eindeutig in den elektrischen Eigenschaften der mit den drei Konzepten hergestellten Solarzellenproben (Abbildung 3).

In ersten Tests auf multikristallinen Siliciumscheiben erzielte das BBC-Konzept Wirkungsgrade bis 7,6 %. Die noch nicht optimierte Aluminiumpaste für die Basismetallisierung verursachte vergleichsweise niedrige Füllfaktoren um 50 %. Durch weitere Optimierung der verwendeten Prozesse, insbesondere des Siebdrucks des Basisgitters, wollen wir das noch lange nicht ausgeschöpfte Wirkungsgrad-Potenzial des BBC-Konzepts erschließen.

\* PSE Projektgesellschaft Solare Energiesysteme mbH, Freiburg

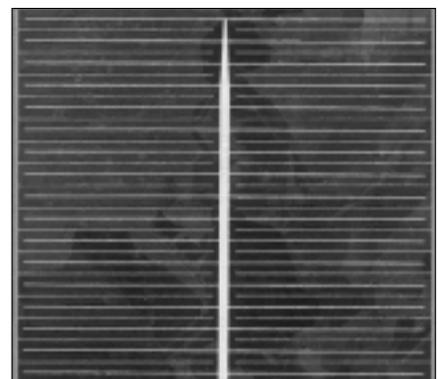
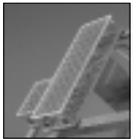


Abb. 3: Testsolarzelle mit siebgedruckter Einseitenkontaktierung auf einem multikristallinen Siliciumwafer.



### III-V Solarzellen

Wir nutzen die MOVPE-, LPE- und Gasphasendiffusions-Technologie, um pn-Übergänge in unterschiedlichen Materialsystemen herzustellen. Ziel sind Solarzellen mit Wirkungsgraden > 30 % und Photovoltaikzellen für Spezialanwendungen wie Laserleistungsübertragung, Thermophotovoltaik oder im Weltraum.

Carsten Agert, Rolf Beckert, **Andreas W. Bett**, Frank Dimroth, Mathias Hein, Vladimir Hinkov, Gerrit Lange, Peter Lanyi, Gergő Létay, Matthias Meusel, Sascha van Riesen, Ute Schubert, Oleg Sulima

#### Entwicklung von monolithischen Tandemzellen mittels MOVPE

Zur Herstellung monolithischer Tandemzellen verwenden wir eine industriekompatible MOVPE-Anlage der Firma AIXTRON AG. Wir entwickeln auf der AIX2600G3 Prozesse, die unsere Industriepartner direkt in der Produktion einsetzen.

Standardmäßig wird für monolithische Tandemzellen  $\text{Ga}_{0,51}\text{In}_{0,49}\text{P}/\text{GaAs}$  auf Ge-Substrat verwendet. Wir haben vorgeschlagen, an Stelle des GaAs-Materials  $\text{GaInAs}$  einzusetzen, da dadurch theoretisch höhere Wirkungsgrade erzielt werden können. Dieses Konzept entwickelten wir in diesem Jahr erfolgreich weiter. Für die Anwendung im Weltraum erzielten wir mit einer  $\text{Ga}_{0,35}\text{In}_{0,65}\text{P}/\text{Ga}_{0,83}\text{In}_{0,17}\text{As}$ -Tandemzelle einen Wirkungsgrad von 24,1 % (AM0-Spektrum). Erste Untersuchungen mit Protonenbestrahlung zeigten eine sehr gute Strahlungsstabilität. Mit unseren Konzentratorzellen aus dem gleichen Material erzielten wir einen Weltrekord: über 31 % Wirkungsgrad bei rund 300-

facher Sonnenkonzentration. Selbst bei 1 300 Sonnen ist der Wirkungsgrad noch über 29 % (Abbildung 1). Wir bauten bereits erste Testmodule mit diesen Konzentratorzellen.

#### Aufbau von Konzentratormodulen

Um unsere Tandem-Solarzellen auch in der Anwendung zu testen, stellten wir Fresnellinsen-Konzentrator-Module her (siehe auch Titelseite). Ziel ist es, die eingebauten Konzentratorzellen über einen längeren Zeitraum unter Außenbedingungen zu testen. Die Module haben derzeit einen Konzentrationsfaktor von 120. Bei der Herstellung setzten wir eine Technik ein, die gemeinsam mit dem Joffe-Institut St. Petersburg, Russland entwickelt wurde. Für die Herstellung der Linsen benutzen wir Matrizen aus Plexiglas, mit deren Hilfe die Fresnellinsen-Struktur in eine 2 mm dünne Silikon-Schicht auf Glas geprägt wird. Es hat sich gezeigt, dass die Qualität der auf diese Weise hergestellten Linsen fast ausschließlich durch die Qualität dieser einzeln gefrästen Matrizen bestimmt ist.

Die von uns entwickelten III-V Konzentratorzellen bauten wir für Freilandmessungen in kleine Testmodule mit einer Aperturfläche von  $64 \text{ cm}^2$  ein. Ein Testmodul mit vier  $\text{Ga}_{0,35}\text{In}_{0,65}\text{P}/\text{Ga}_{0,83}\text{In}_{0,17}\text{As}$ -Tandemsolarzellen erreichte einen Wirkungsgrad von 24,8 %

#### Entwicklung von PV-Zellen für Laserleistungsübertragung

Unter Laserleistungsübertragung versteht man die drahtlose Energieversorgung durch Laserlicht. Laserlicht wird z. B. durch einen Lichtleiter zum Verbraucher geführt und erst dort durch eine PV-Zelle in elektrischen

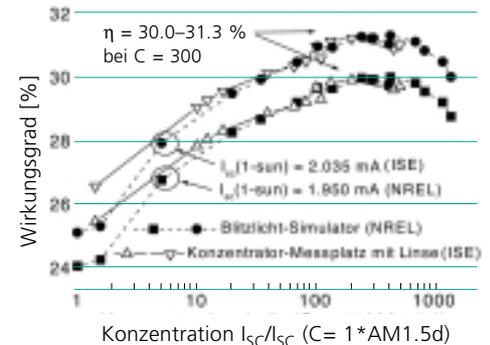


Abb. 1: Wirkungsgrad einer  $\text{Ga}_{0,35}\text{In}_{0,65}\text{P}/\text{Ga}_{0,83}\text{In}_{0,17}\text{As}$ -Tandemzelle unter Konzentration. Es sind vergleichende Messungen am Fraunhofer ISE und NREL, Golden, US gezeigt. Die Messungen unterscheiden sich im wesentlichen nur im Kurzschlussstrom bei  $1 \times \text{AM}1.5\text{d}$ . Die Konzentration ergibt sich unter der Annahme der Linearität des Kurzschlussstromes aus  $I_{\text{sc}}(C)/I_{\text{sc}}$  (bei 1 Sonne).

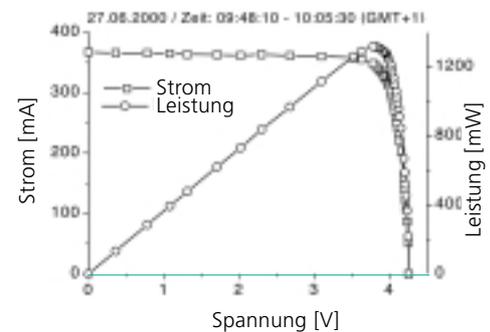


Abbildung 2: Kennlinie eines Fresnellinsen-Testmoduls bestehend aus vier  $\text{Ga}_{0,35}\text{In}_{0,65}\text{P}/\text{Ga}_{0,83}\text{In}_{0,17}\text{As}$ -Tandemsolarzellen. Kenndaten:  $\eta = 24,8 \%$ ,  $V_{\text{oc}} = 4,25 \text{ V}$ ,  $I_{\text{sc}} = 347 \text{ mA}$ ,  $\text{FF} = 84,4 \%$ ,  $P_{\text{in}} = 825 \text{ W/m}^2$ ,  $T_{\text{um}} = 15,6 \text{ }^\circ\text{C}$ . Die Aperturfläche beträgt  $64 \text{ cm}^2$ .

Strom umgewandelt. So kann z. B. in explosiven Umgebungen eine sichere Stromversorgung realisiert werden. Es ist auch möglich, Daten eines Sensors über den Lichtleiter zurückzuschicken. Wir haben speziell für diese Anwendung Photovoltaikzellen entwickelt, die lediglich 1 mm Durchmesser haben und sich in handelsübliche Transistorgehäuse integrieren lassen. Durch die monochromatische

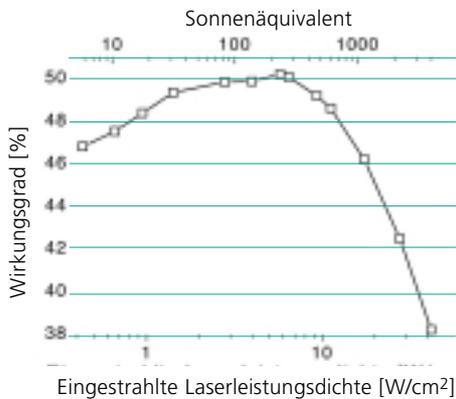


Abb. 3: Wirkungsgrad einer PV-Zelle mit monochromatischer Bestrahlung bei 810 nm in Abhängigkeit der eingestrahnten Leistungsdichte.

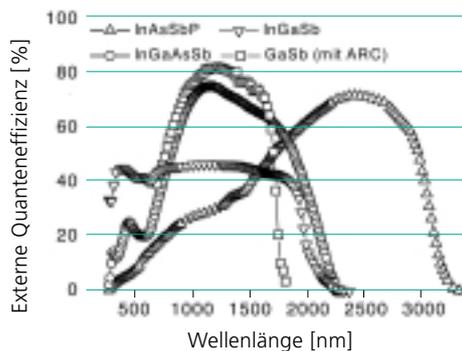


Abb. 4: Externe Quanteneffizienz von PV-Zellen ohne Antireflexschicht (ARC), hergestellt aus unterschiedlichen low-bandgap Halbleitermaterialien. Lediglich die GaSb-Zelle war mit einer ARC versehen.

Bestrahlung sind sehr hohe Zellenwirkungsgrade möglich. Die von uns hergestellten Zellen erreichen einen Wirkungsgrad von über 50 % bei einer Bestrahlung von  $6 \text{ W/cm}^2$  (Abbildung 3). In diesem Leistungsbereich sind aus der Literatur keine besseren Zellen bekannt. Im Bereich über  $10 \text{ W/cm}^2$  eingestrahler Laserleistung sind noch deutliche Verbesserungen zu erwarten.

### Entwicklung von »low-band gap« Photovoltaikzellen

Gasphasendiffusionsprozess zur Herstellung von pn-Übergängen: In Thermophotovoltaik-Generatoren werden Materialien mit sehr kleinen Bandlücken (z. B. GaSb, GaInAsSb, GaInSb) eingesetzt (Beitrag S. 53). Wir ver-

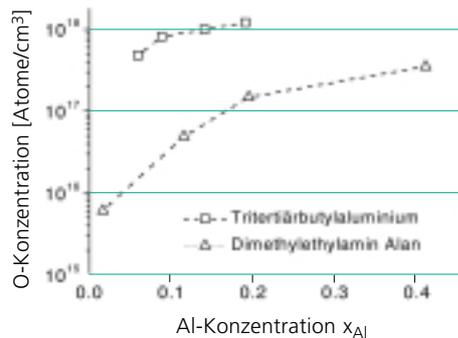


Abb. 5: Sauerstoffkonzentration in Abhängigkeit der Aluminiumkonzentration für verschiedene Ausgangssubstanzen in der MOVPE.

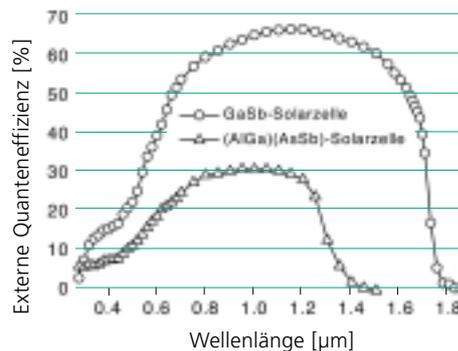


Abb. 6: Externe Quanteneffizienzen von GaSb und (AlGa)(AsSb) PV-Zellen ohne Antireflexschicht, deren pn-Übergänge mit MOVPE gewachsen wurden.

wenden eine Zn-Gasphasendiffusions-technologie, um pn-Übergänge in diesen Materialien zu erzeugen. In diesem Jahr haben wir die Zusammenarbeit mit der Firma AstroPower, USA und dem Rensselaer Polytechnic Institute, USA fortgesetzt. Es ist uns gelungen, PV-Zellen mit einer Empfindlichkeit bis zu einer IR-Wellenlänge von  $3 \mu\text{m}$  zu entwickeln. In Abbildung 4 sind die externen Quanteneffizienzen von folgenden Schichtfolgen gezeigt:

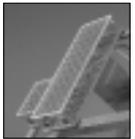
- p-InAsSbP (Zn-diffundiert)/n-InAsSbP (LPE)/n-InAs (Substrat) Epi-Schicht von AstroPower
- p-GaInSb (Zn-diffundiert)/n-GaInSb (Substrat); Substrat von Rensselaer Polytechnic Institute
- p-InGaAsSb (Zn-diffundiert)/n-

- InGaAsSb (LPE)/n-GaSb (Substrat) Epi-Schicht von AstroPower
- p-GaSb (Zn-diffundiert)/n-GaSb (Substrat)

### MOVPE von III-Antimoniden

Antimonhaltige III-V-Halbleiter auf GaSb-Substrat erlauben das gitterangepasste Wachstum von Kristallen im direkten Bandlückenbereich von etwa 0,5 eV bis 1,1 eV. Damit sind Solarzellen aus diesen Materialien sowohl für thermophotovoltaische Anwendungen (Beitrag S. 53) als auch für höchsteffiziente gestapelte Systeme interessant. Aufgrund der besonderen Eigenschaften antimonhaltiger Kristalle stellen sie eine besondere Herausforderung für den MOVPE-Prozess dar. Die Auswahl geeigneter metallorganischer Ausgangsstoffe für aluminiumhaltige Materialien ist ein kritischer Punkt. Wir haben zu diesem Zweck Triterterbutylaluminium (TTBAL) und Dimethylethylamin Alan (DMEAA) auf ihre Eignung zur Abscheidung aluminiumhaltiger Antimonide in unserer AIX2600G3 MOVPE-Anlage untersucht. Dabei ist der Eintrag von Sauerstoffverunreinigungen in das Material von großem Interesse. Wir konnten belegen, dass DMEAA hier deutlich bessere Reinheiten liefert als TTBAL (Abbildung 5).

Aufbauend auf den Ergebnissen zur MOVPE von Volumenkristallen wurde anschließend mit der Entwicklung von Bauelement-Strukturen begonnen. Im binären GaSb haben wir sehr gut funktionierende Solarzellen entwickelt (Abbildung 6). Ebenso konnten wir im Materialsystem (AlGa)(AsSb) erste Solarzellen aus einem Material der Bandlücke 1 eV fertigen (ebenfalls Abbildung 6). Die Entwicklung eines Materials mit dieser Bandlücke ist derzeit auch auf anderen Gebieten der III-V-MOVPE (z. B. Halbleiter-Laser) von höchstem Interesse.



## Labor- und Servicecenter Gelsenkirchen

Die Notwendigkeit in der Photovoltaik, immer größere Substrate zu verwenden und Durchlaufprozesse mit hohem Durchsatz einzusetzen, erschwert zunehmend die Umsetzung von Laborergebnissen in Produktionsschritte. Um dieser Entwicklung Rechnung zu tragen hat das Fraunhofer ISE ein industrienahes Labor- und Servicecenter aufgebaut. Es steht in Gelsenkirchen.

Christophe Ballif, **Dietmar Borchert**, Marco Gräbel, Stefan Peters, Alexander Poddey, Roland Schindler, Wilhelm Warta, Gerhard Willeke, Thomas Zerres

Im neu gegründeten Labor- und Servicecenter Gelsenkirchen forschen wir unter industrienahen Bedingungen. Es ist eine nahezu vollständige Prozesslinie vorhanden, in der produziert werden kann wie in einer Fabrik und experimentiert werden kann wie in einem Labor. Ausrüstung vom neuesten Stand der Technik und hoher Flexibilität erlaubt es Solarzellenherstellern, ihre Prozesse im »Labor« nachzufahren und zu verbessern, ohne in die Produktionslinie selbst eingreifen zu müssen. Auch neue Prozesse können hier ohne das Risiko einer Produktionsstörung getestet und optimiert werden.

Dazu stehen im Reinraum Anlagen wie Nasschemiebank, Durchlauf-Diffusionsofen mit RTP-Modul (Beitrag S. 58), Durchlauf-Sinterofen und Inline-PECVD-Anlage zur Verfügung. Die Prozessierung von Substraten bis 150 mm x 150 mm ist problemlos möglich.

Zur Begleitung der Prozessentwicklung und -optimierung steht eine Mess-

technik zur Verfügung, die die Charakterisierung des Ausgangsmaterials, der einzelnen Prozessschritte und der fertigen Solarzelle erlaubt.

Diese Messtechnik kann auch zur schnellen Fehlersuche während laufender Produktion eingesetzt werden. Die umfangreiche Messtechnik sichert dabei zusammen mit dem umfangreichen Know-how des Fraunhofer ISE in Freiburg schnelle Antwortzeiten in Problemfällen.

Prozess- und Messtechnik stehen aber nicht nur der Photovoltaikindustrie zur Verfügung. Auch andere Halbleiterhersteller können wir in speziellen Fragen der Halbleiterproduktion und -charakterisierung unterstützen. Weitgehend automatisierte, großflächige Messtechnik bis mindestens 6", teilweise 8", erlaubt zum Beispiel gezieltes Prozessmonitoring an Kleinserien.

### Ausstattung

Materialcharakterisierung:

- Forschungsmikroskop
- Mikrowellen-Reflexion
- Spektrometer
- Ellipsometer
- Schichtwiderstands-Mapping

Zellencharakterisierung:

- Solarsimulator
- Dunkelkennlinienmessplatz
- Filtermonochromator
- Stripping Hall
- SR-LBIC
- Thermographie

Modultechnik:

- Outdoor Dauermessplatz

Prozesstechnologie:

- 100 m<sup>2</sup> Reinraum



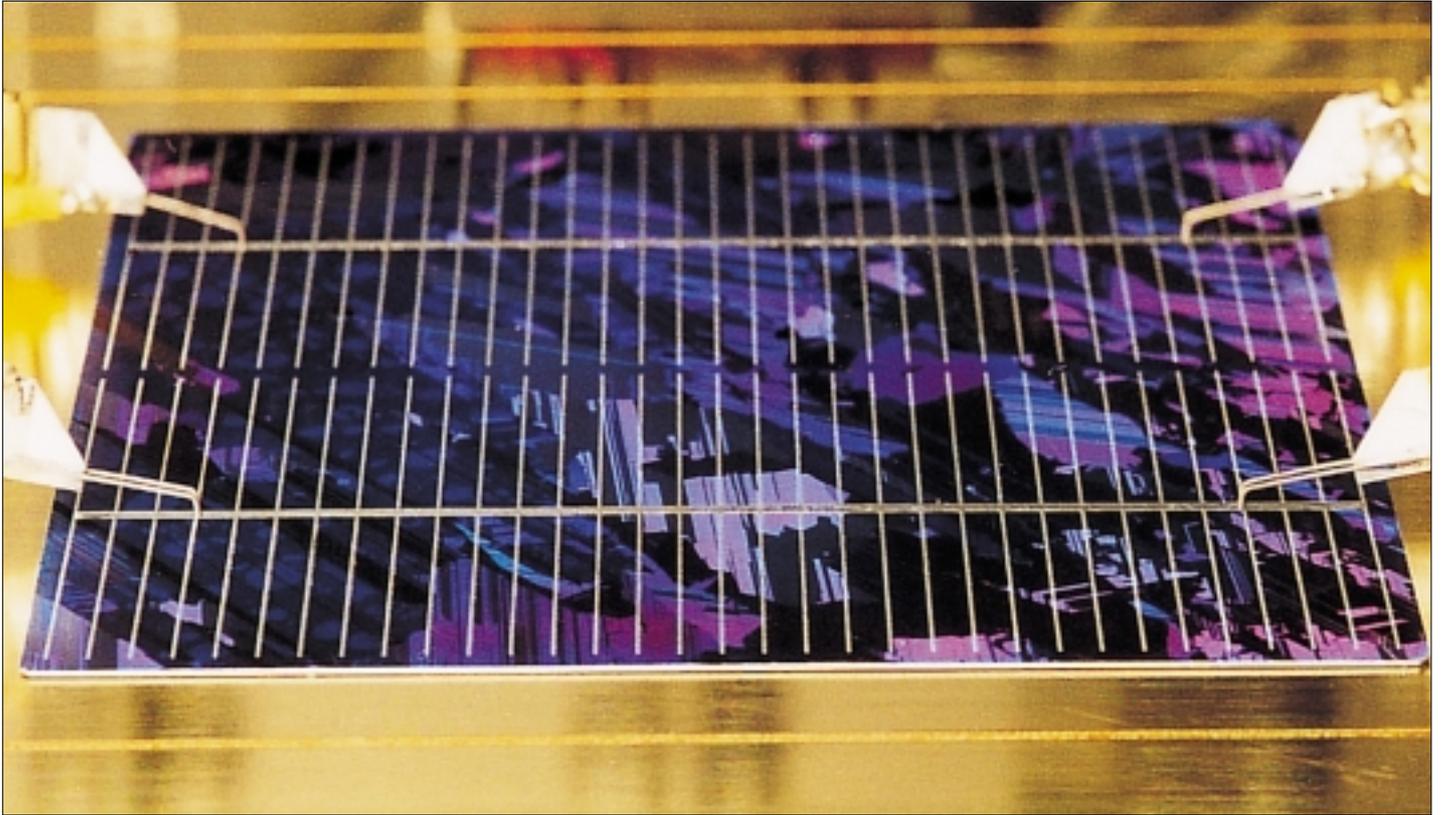
Abb. 1: Charakterisierung von Anti-reflexschichten mit dem Ellipsometer.

- Nasschemiebank
- Spin-Coater
- Aufdampfanlage
- Durchlauf-Sinterofen
- Durchlauf-Diffusionsofen mit RTP-Modul
- Inline-PECVD-Anlage mit einer Abscheidefläche von 450 mm x 450 mm

### Leistungen

- Substratcharakterisierung
- Kontaminationskontrolle
- Prozessmonitoring
- Bestimmung von Diffusionsprofilen
- Charakterisierung von Solarzellen
- Prozessieren großflächiger Siliciumsubstrate auch im Durchlaufprozess
- Nachfahren und Optimierung von Durchlaufprozessen
- Unterstützung von Halbleiterherstellern in speziellen Fragen der Halbleiterproduktion bzw. Charakterisierung
- Abscheidung von Siliciumnitrid und Siliciumoxid im Kundenauftrag
- Ätzen von Silicium, Siliciumnitrid und Siliciumoxid im Kundenauftrag
- Direkte Verbindung zum Know-how Transfer des Fraunhofer ISE, Freiburg
- Schnelle Antwortzeiten

## ISE Callab – Präzisionsmessung in der Photovoltaik



Modul-Messplatz des Fraunhofer ISE Photovoltaik-Kalibrierlabors »ISE Callab«, das mit seinen Dienstleistungen zu den führenden Einrichtung weltweit zählt. Eine hochwertige Ausstattung ermöglicht die Messung von Photovoltaikzellen und -modulen jeder Art.



Die Charakterisierung von Solarzellen und Modulen spielt sowohl in Forschung und Entwicklung als auch bei der Produktion eine bedeutende Rolle. Sie ist ebenso unverzichtbar bei Produktvergleichen wie bei der Dimensionierung und der Abnahme von Photovoltaik-Systemen.

Das Photovoltaik-Kalibrierlabor des Fraunhofer ISE (ISE Callab) zählt mit seinen Messdienstleistungen zu den führenden Labors weltweit – mit ständiger Qualitätssicherung durch Messvergleiche und Abstimmung mit der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt in Braunschweig. International renommierte Hersteller, aber auch der TÜV Rheinland lassen ihre Referenzzellen vom ISE Callab vermessen.

Der Erfolg des Kalibrierlabors geht auf die Grundidee der Fraunhofer-Gesellschaft zurück, Forschung und Anwendung zu verbinden: Das wissenschaftliche Know-how wird durch

eigene Forschung und Messgeräteentwicklung ständig aktualisiert, die fast 20-jährige Erfahrung mit Photovoltaik-Systemen sorgt für Praxis. Die Anwendungsorientierung des ISE Callab zeigt sich auch bei seiner Homepage <http://www.callab.de>. Sie informiert über technische Einzelheiten, nennt Preise und ermöglicht Auftragserteilung online.

Eine Besonderheit des ISE Callab ist seine Bandbreite: Ob kommerzielle Solarzelle aus Silicium, farbstoffsensibilisierte Solarzelle, Dünnschichttechnologie oder Mehrfachzelle für 1 000-fache Konzentration bis hin zu kompletten Photovoltaik-Modulen – das ISE Callab kann alles messen, was durch photovoltaischen Effekt aus Licht Strom macht. Forscher aus aller Welt kommen mit ihren Neuentwicklungen nach Freiburg. Denn eine Messung des ISE Callab wird auf Kongressen und in Fachzeitschriften anerkannt.

#### Ansprechpartner

Zellkalibrierung	Dr. Wilhelm Warta	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-1 92 E-Mail: Wilhelm.Warta@ise.fhg.de
	Jürgen Weber	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-1 08 E-Mail: Juergen.Weber@ise.fhg.de
Modulmessung	Dipl.-Ing. Georg Bopp	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-2 40 E-mail: Georg.Bopp@ise.fhg.de
Geräteentwicklung	Dr.-Ing. Heribert Schmidt	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-2 26 E-mail: Heribert.Schmidt@ise.fhg.de
	Stefan Brachmann	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88- 1 44 E-Mail: Stefan.Brachmann@ise.fhg.de
Marketing	Ulf Groos	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-2 02 E-Mail: Ulf.Groos@ise.fhg.de



## Das Photovoltaik-Kalibrierlabor im Überblick

Um die Dienstleistung effizienter und transparenter zu gestalten, wurde das ISE Callab organisatorisch neu strukturiert. Die drei Bereiche Solarzellenkalibrierung, Modulmessung und Geräteentwicklung werden im Überblick vorgestellt.

Georg Bopp, Ulf Groos,  
Heribert Schmidt, Wilhelm Warta

### Unsere Kompetenzen

Basierend auf langjähriger praktischer Erfahrung in der PV-Messtechnik bieten wir komplette Problemlösungen an. Oberstes Ziel ist es dabei, als Dienstleister unseren Kunden den größtmöglichen Nutzen zu bieten:



Abb. 1: Solarmodul und Referenzzelle bei der Vermessung am Flasher.

- Garantie zuverlässiger Messergebnisse durch regelmäßige Messvergleiche mit anderen international anerkannten Laboratorien
- Einhalten internationaler Standards in allen Kalibrierschritten sowie bei der Verwendung von Referenzelementen und Messeinrichtungen
- Ständige Weiterentwicklung der Messverfahren mit den Forschungsergebnissen des Fraunhofer ISE

### Unsere Leistungen

- Messungen für die Produktionskontrolle, Prüfung von Entwicklungsergebnissen, Produktvergleiche sowie Sicherstellung von Garantieleistungen
- Intensive und kompetente Beratung bei individuellen Messaufgaben
- Schnelle, unbürokratische Abwicklung
- Streng vertrauliche Behandlung der Aufträge
- Regelmäßige Überprüfung unserer Messeinrichtungen

### Zellenkalibrierung

Wir übernehmen die Bearbeitung umfangreicher Messaufgaben für die Charakterisierung von Solarzellen, Detektoren und kleinen PV-Modulen:

- Kalibrierung von Standardsolarzellen (u.a. c-Si, a-Si, CIS, CdTe)
- Kalibrierung von Farbstoff-Solarzellen sowie von IR-Solarzellen
- Kalibrierung von Konzentratorzellen sowie von Tandemzellen
- Kalibrierung von Referenzzellen
- Messung der spektralen Empfindlichkeit
- Bestimmung des Jahreswirkungsgrades von Solarzellen

### Modulmessung

Wir charakterisieren PV-Module jeglicher Bauart bis zu einer Größe von 2 x 2 m<sup>2</sup>:

- Modulmessung mittels Flasher
- Modulmessung im Freiland
- Bestimmung der NOCT Temperatur

- und Leistung
- Messung der Winkel- und Temperaturabhängigkeit der Modulparameter
- Bestimmung des Jahreswirkungsgrades von PV-Modulen

### Geräteentwicklung

Wir entwickeln und fertigen Messeinrichtungen für die hochpräzise Charakterisierung von Solarzellen und PV-Modulen:

- Dauerlicht-Messstände zur Zellen- und Modulkalibrierung
- Freiland-Messstände
- Blitzlicht-Sonnensimulatoren zur Zellen- und Modulkalibrierung
- Spektralmessplätze für Zellen und Kleinmodule
- WPVS-Referenzzellen
- Messgeräte zur Qualitätssicherung in der Modulherstellung
- Softwareentwicklung zur Messdatenanalyse

### Unsere Ausstattung

Zur Bearbeitung anspruchsvoller Messaufgaben steht dem ISE Callab eine hochwertige Geräteausstattung zur Verfügung:

- Klasse A Dauerlicht-Sonnensimulator (AM 1.5; AM0)
- 3-Lichtquellen-Simulator
- Konzentrierender Sonnensimulator (bis zu 1 200 Sonnen)
- Blitzlicht-Sonnensimulator (AM 1.5)
- Freilandmessstand
- Filter-Monochromator-Messplatz (300 nm bis 1 400 nm)
- Gitter-Monochromator-Messplatz (300 nm bis 1 800 nm)
- Verschiedene Spektralradiometer
- Messplatz für farbstoffsensibilisierte Solarzellen

### Internet

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



## Kalibrierung reduziert Kosten für Solarstrom aus Photovoltaik

Die Arbeiten im ISE Callab überspannen einen weiten Bereich von grundlagen- bis zu anwendungsorientierten Messungen. Als Beispiele stellen wir die Messung von Solarzellen höchster Wirkungsgrade und die Vermessung von Modulen vor.

**Georg Bopp, Wilhelm Warta,**  
Rolf Beckert, Matthias Meusel,  
Tomislav Paradzik\*, Gerald Siefer,  
Jürgen Weber

### Mehrfach-Solarzellen mit den weltweit höchsten Wirkungsgraden im Messvergleich

Mehrfach-Solarzellen erobern derzeit das Feld der Energieversorgung im Weltraum. Bei Wirkungsgraden über 30 % und Konzentration des Lichts um mehr als einen Faktor 1 000 werden solche Zellen in Zukunft auch für die terrestrische Anwendung hochinteressant. Das Fraunhofer ISE nimmt einen Platz an der Weltspitze bei der Entwicklung neuer Strukturen für diese Zellen ein (Beitrag S. 61).

Das ISE Callab gehört zu den wenigen Labors weltweit, die die Wirkungsgradbestimmung dieser Zellen beherrschen. Die internationale Vergleichbarkeit ist dabei nicht nur für die Forscher wichtig: Wenige Prozent Unterschied bei den Wirkungsgraden haben bei hohen Stückkosten und hohen absoluten Werten des Wirkungsgrades drastische Auswirkung auf die Kosten der Solargeneratoren.

Solarzellen mit mehreren pn-Übergängen sind sehr empfindlich auf Details des Beleuchtungsspektrums. Das macht eine korrekte Bestimmung des Wirkungsgrads unter Standard-Messbedingungen schwierig. Geringe

Verschiebungen zwischen blauen und roten Spektralanteilen können das Verhalten der Gesamtzelle stark beeinflussen, wenn eine Teilzelle die Begrenzung des Gesamtstroms übernimmt, der aufgrund der monolithischen Serienschaltung alle Zellen durchfließen muss.

Bisher ist es keinem Sonnensimulator-Hersteller gelungen, das Standard-spektrum so genau nachzubilden (»Close match« Simulator), dass praktisch keine Messfehler durch Spektraleffekte auftreten. Die einzig bekannte genaue Messmethode besteht darin, zunächst die spektrale Empfindlichkeit aller Teilzellen zu messen, um damit den Betriebszustand der Testzelle unter dem Standard- und dem Simulatorspektrum vergleichen zu können. Die bisher international übliche iterative Prozedur für den Angleich des Betriebszustandes unter dem Simulatorspektrum an den Betrieb unter Standardtestbedingungen ist zeitraubend.

Wir haben eine wesentlich verkürzte Methode entwickelt, die die gesamte iterative Prozedur durch die Lösung eines Gleichungssystems ersetzt. Sie liefert in einem Arbeitsgang die Einstellwerte für unseren Multi-Lichtquellen-Simulator.

Um die Verlässlichkeit unserer Kalibrierung zu prüfen, führten wir einen Messvergleich mit dem NREL (USA) durch – neben dem ISE Callab eines der wenigen Labors weltweit, das Tandem-Solarzellen kalibrieren kann. Sowohl spektrale Empfindlichkeit als auch Wirkungsgrad stimmten sehr gut überein.

**Vermessung von high-efficiency und großflächigen Solarmodulen**  
Solarmodule, die aus high-efficiency Silicium, Kupfer-Indiumdiselenid (CIS) oder Cadmiumtellurid (CdTe) Zellen hergestellt sind, erschweren durch eine hohe Sperrschichtkapazität die korrekte Vermessung. Großflächige Fassadenmodule erfordern zusätzlich eine homogene Ausleuchtung. Der Klasse A Blitzlichtsimulator am Fraunhofer ISE ermöglicht die homogene Ausleuchtung von Solarmodulen bis zu 2 x 2 m<sup>2</sup>. Durch Multiblitztechnik kann er auch Solarmodule mit hoher Sperrschichtkapazität exakt vermessen.

Die Standardmessung mit einer Genauigkeit von ±5 % ist preiswerter als ein Standard-50 Wp-Modul heute kostet. Bereits bei einer 1 kW Anlage ist somit eine Vorabmessung deutlich kostengünstiger als z. B. ein zehnprozentiger Sicherheitszuschlag, den Planer und Installateure unter dem Gesichtspunkt der 'garantierten Erträge' oft bei der Auslegung ihrer PV-Systeme ansetzen.

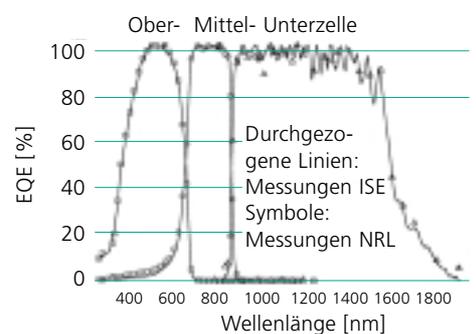


Abb. 1: Quantenausbeuten der Teilzellen einer Tripel-Solarzelle im Vergleich der Messungen im ISE Callab und am NREL. Die hohe Wellenlängenaufösung der ISE Callab Messung lässt bei der Unterzelle Interferenzen erkennen.

\* PSE GmbH Forschung Entwicklung  
Marketing, Freiburg



Netzferne Stromversorgung mit Solarenergie. Das Fraunhofer ISE ist an zahlreichen internationalen Projekten zur netzfernen Stromversorgung in ländlichen Regionen beteiligt. Im Mittelpunkt stehen dabei die Optimierung der Anlagenkomponenten sowie Qualitätssicherung vor Ort. Auch die Nutzer werden in die Projektarbeit einbezogen, durch Schulungen sowie das Initiieren von Mikrofinanzierungskonzepten. Hier fährt ein Mann in Indonesien sein Solar Home System nach Hause.



Ob Füllsender für den Mobilfunk im Harz oder Licht für eine Lehmhütte in Marokko: Photovoltaik ist oft die preiswerteste Stromversorgung, wenn kein Netz verfügbar ist. Das gilt für zwei Milliarden Menschen in Schwellen- und Entwicklungsländern genauso wie für 400 000 Häuser in europäischen Bergregionen.

Neben Solar Home Systemen, mit rund 50 W<sub>p</sub> kleinster energetischer »Lichtblick« in ländlichen Gegenden von Entwicklungsländern, beschäftigen wir uns zunehmend mit Photovoltaiksystemen von 1–20 kW<sub>p</sub> Leistung für die netzferne Stromversorgung. Sie ermöglichen zusätzlich gewerbliche Aktivitäten oder den Betrieb einer Krankenstation. Energie-wirtschaftlich sind sie als kleinste Einheit eines dezentral zusammen-wachsenden Netzes interessant. Bei den netzunabhängigen Dorfstrom-anlagen ist die Verteilung der Energie ein heißes Thema. Hier bewährt sich unser Ansatz, mit den Menschen vor Ort die Technik zu entwickeln. Das gilt übrigens genauso für die Alpen-hütten, die wir zum Teil schon seit einem Jahrzehnt mit Planung, Energie-konzepten und Monitoring betreuen.

Die Bleibatterie ist immer noch das Arbeitspferd der Photovoltaik-System-technik. Für die Industrie entwickeln wir neue Produkte und Ladeverfahren für die Solaranwendung. Das bedeutet nicht nur höhere nutzbare Speicher-kapazitäten und Wirkungsgrade, sondern verlängerte Lebensdauer und damit reduzierte Kosten.

Immer deutlicher wird der Stellenwert von sauberem Trinkwasser. Das Wohlbefinden der Menschen und die Wirtschaftskraft eines Landes hängen davon ab. Oft wird Oberflächenwasser unbehandelt getrunken, 2 Milliarden Krankheitsfälle pro Jahr sind die direkte Folge. Photovoltaik kann kostengünstig Energie für Desinfektion mit UV-Lampen bereitstellen, die den natürlichen Geschmack des Wassers erhält.

Es geht um einen Markt von mehreren Milliarden US\$. Wir engagieren uns für Qualitätssicherung und nachhaltige Marktentwicklung. So beraten wir Regierungen weltweit und begleiten Markteinführungsprogramme mit unserer technischen, sozialwissenschaftlichen und ökonomischen Expertise.

**Ansprechpartner**

Systemtechnik	Dipl.-Ing. Georg Bopp	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-2 40 E-Mail: Georg.Bopp@ise.fhg.de
Sozialwissenschaft	Dr. phil. Petra Schweizer-Ries	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-2 28 E-Mail: Petra.Schweizer-Ries@ise.fhg.de
Ökonomie	Dipl.-Wirt.-Ing. Rana Adib	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-2 81 E-Mail: Rana.Adib@ise.fhg.de
Trinkwasserversorgung und -aufbereitung	Dipl.-Ing. Orlando Parodi	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-2 81 E-Mail: Orlando.Parodi@ise.fhg.de
Speichersysteme	Dipl.-Phys. Dirk Uwe Sauer	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-2 19 E-Mail: Dirk-Uwe.Sauer@ise.fhg.de



## Strategien zur netzunabhängigen Dorfstromversorgung – Das Beispiel Rambla del Agua

Wir koordinieren derzeit die Installation von 17 PV-Dorfstromanlagen. Dabei arbeiten Ingenieure und Psychologen mit technischen und sozialen Konzepten an der optimierten Nutzung von Gemeinschaftsanlagen und setzen diese gemeinsam mit Firmen vor Ort um.

Georg Bopp, Claudia Casper\*, Johannes Koops, Petra Schweizer-Ries, Gisela Vogt

Seit Januar 2000 arbeiten wir mit Partnerinstitutionen aus Spanien, Frankreich, Portugal und der Schweiz am Aufbau und der Weiterentwicklung von gemeinschaftlich genutzten, netzunabhängigen Dorfstromanlagen in Spanien.

Wir übernehmen neben der Koordination die folgenden Aufgaben:

- Technische Weiterentwicklung der Informationsübertragung und der Energieverteilung; ein Infobus übermittelt Daten zum Energieverbrauch der einzelnen Haushalte

- Organisatorische und soziale Begleitung der Anlagen und ihrer Nutzer, um den dauerhaften Betrieb zu unterstützen

Wir setzen Forschungsergebnisse aus Ingenieurs- und Sozialwissenschaft direkt in die Demonstration um. Während wir uns vorrangig um die wissenschaftlichen Aspekte kümmern, bauen die spanische Firma TTA und die Universität Vigo die Demonstrationsanlagen in Spanien und Lateinamerika auf.

Im Zentrum der bisherigen Arbeit standen sozio-technische Maßnahmen in dem Dorf Rambla del Agua in Andalusien. Dort versorgt eine Anlage mit einem 10 kWp PV-Generator, einer 3 660 Ah/48 V Batterie und einem 10 kVA Notstromdieselgenerator seit 1997 insgesamt 38 Haushalte mit 230 V Wechselstrom.

Wir führten 15 Interviews mit Solarstromnutzern, 3 mit Nicht-Nutzern und weitere 6 Interviews mit Schlüsselpersonen auf verschiedenen Ebenen des Betriebs der PV-Anlage durch.

Die Interviews zeigen:

- Die Nutzer sind grundsätzlich mit der Energieversorgung sehr zufrieden, wünschen sich aber weitere technische Verbesserungen.
- Es besteht ein großes Interesse an weiteren Informationen zur Anlage und dem Umgang damit.
- Die Haushaltsanzeigen zur Stromverteilung und Verbrauchsanpassung werden nur selten genutzt.
- Die Identifikation mit der Anlage im Dorf ist sehr hoch; die Bewohner fühlen sich für Wartung und Instandhaltung voll verantwortlich.

Wir verbesserten die automatische Übertragung von Zustandsinformationen der PV-Anlage. Diese legen über ein Energiekontrollgerät den aktuellen Stromtarif fest und beeinflussen so das Nutzerverhalten. Durch Fehler bei der Datenübertragung kam es zu Störungen bei den Energiekontrollgeräten; sie erfüllten ihren Zweck nicht mehr. Wir fügten Signalverstärker ein und behoben den Fehler damit.

Zudem unterstützten wir die Durchführung eines Solarfestes (Abbildung 1). Die »Fiesta del Sol« war für den Gesamtprozess wichtig: Sie machte Nachbarn und Politiker auf die neue Technologie aufmerksam, stärkte die Identifikation der Dorfbevölkerung mit der PV-Anlage und erhöhte das Wissen über deren nachhaltige Nutzung.

Die weiteren Forschungsarbeiten in diesem, von der EU unterstützten Projekt konzentrieren sich auf ein weiteres Dorf. Neue technische und organisatorische Mittel sollen dort dauerhaften Betrieb und optimierte Energieverteilung sicherstellen.



Abb. 1: Solarfest in Rambla del Agua/Andalusien.

\* Freie Mitarbeiterin



## Dorfstromanlagen in Indonesien

In drei indonesischen Dörfern mit zentralen PV-Dorfstromversorgungen führten wir sozialwissenschaftliche und technische Untersuchungen durch. Nach mehrtägigen Aufenthalten in jedem Untersuchungsdorf, erarbeitete das Untersuchungsteam mit deutschen, französischen und indonesischen Mitarbeitern technische und organisatorische Verbesserungen.

Michael Müller\*, Klaus Preiser, Petra Schweizer-Ries, Sebastian Will, Birgit Uenze

Wir untersuchten Funktionstüchtigkeit und Akzeptanz von drei zentralen PV-Dorfstromanlagen in Indonesien. Zwei davon hatte ein französisches Konsortium in Zusammenarbeit mit dem Ministerium für Transmigration in Kalimantan und Sulawesi aufgebaut. Sie werden nach dem Pre-Payment Schema betrieben, das die Leistungsabgabe an einzelne Haushalte begrenzt und auf dem Verkauf von Energieeinheiten aufbaut. Die dritte Anlage, mit australischen Komponenten ausgestattet, hatte das indonesische Technologieministerium BPPT in Java aufgebaut. Sie hat kein Pre-Payment System.

In allen Anlagen untersuchten wir die technische Funktion und befragten Nutzer sowie den Verantwortlichen für Wartung, Betrieb und Energieverteilung im Dorf (Abbildungen 1 und 2). Daraus leiteten wir folgende Ergebnisse ab:

- Die französischen Dorfstromanlagen funktionieren gut. Lediglich die Datenübertragung per Satellit zur Fernüberwachung für Forschungszwecke bereitet gelegentlich Probleme.
- Durch das Pre-Payment Schema wird weit weniger Strom verbraucht als

geplant. Die Nutzer bezahlen dabei Energieeinheiten im voraus.

- Die Verteilung der Energie wird prinzipiell als fair bezeichnet.
- Einige Bewohner verstanden nicht, wie das Pre-Payment System funktionierte und überbrückten die Zähler.
- Funktionsmängel beim 'Laden' der Pre-Payment Systeme reduzieren die Akzeptanz zusätzlich.
- Sowohl die Nutzer als auch die indonesischen Projektverantwortlichen wünschen sich eine stärkerer Einbindung in das französische Projekt.
- Die Anlage auf Java mit unbegrenztem Zugang der Nutzer zu Leistung und Energie ist hoffnungslos überlastet und muss häufig repariert werden.
- Maßnahmen zur Kontrolle des Energieverbrauchs – wie nachträglich eingebaute Leistungsbegrenzer - führten zu Akzeptanzproblemen.
- Technisches Personal zum Betrieb der Anlage und ein Dorfkomitee zur Organisation der Nutzung ist überall vorhanden. Nutzungsregeln sind in Ausarbeitung.

Gemeinsam mit den indonesischen Partnern führten wir für eine der französischen Anlagen die folgenden Maßnahmen durch:

- Behebung kleinerer technischer Mängel.
- Bewusstseinsbildung über Nutzung und Energiekonsum mit dem Ziel, die Bedarfssteigerungen zu steuern und Überbrückungen der Zähler zu vermeiden.
- Einbindung der lokalen Regierung zur Übernahme der Technologie nach Projektende.
- Ausarbeitung einer Strategie zur dauerhaften Nutzung der Anlage gemeinsam mit den zukünftigen indonesischen Eigentümern.

Den Abschluss des von der Europäischen Union geförderten Projektes bildet die Bewertung dieser Interventionen und die Ausarbeitung von Empfehlungen für die Einführung zukünftiger PV-Hybridsysteme in ländlichen Gebieten Indonesiens.



Abb. 1: Untersuchung einer technischen Anlage: Das Foto zeigt die Vermessung der PV-Stränge im Betrieb vor Ort. Die Messungen führt ein indonesischer Mitarbeiter durch.



Abb. 2: Befragung eines Dorfbewohners: Insgesamt konnten wir mit Hilfe von Mitarbeitern der Universitas Indonesia 50 Personen pro Dorf in standardisierter und offener Form befragen. Die Auswertung erfolgte aufgrund von Mitschriften und Tonbandaufzeichnungen.

\* PSE Projektgesellschaft Solare Energiesysteme mbH, Freiburg



## Trinkwasseraufbereitung mit Photovoltaik für netzferne Regionen

Anlagen und Verfahren zur Aufbereitung von Trinkwasser sind weltweit verfügbar. Trotzdem sterben jedes Jahr ca. fünf Millionen Menschen an Krankheiten, die durch Trinkwasser übertragen werden. Zusammen mit Partnern aus Lateinamerika und Spanien haben wir Lösungsansätze zur Trinkwasseraufbereitung entwickelt und sie in fünf Pilotdörfern umgesetzt.

Orlando Parodi, Klaus Preiser, Petra Schweizer-Ries



Abb. 1: Sauberes Trinkwasser ist keine Selbstverständlichkeit in Entwicklungsländern.



Warum gibt es in Zeiten von Chlor, Ozon und UV-Bestrahlung nach wie vor jährlich etwa 2 Milliarden Fälle von durch Trinkwasser übertragener Diarrhö? Mit dieser Frage starteten wir das EU-Projekt »Clean Water with Clean Energy«. Erhebungen in Marokko und zehn lateinamerikanischen Staaten ergaben folgendes Ergebnis:

- In ländlichen Regionen von Entwicklungsländern wird Trinkwasser oft aus oberflächennahen, anthropogen belasteten Wässern gewonnen.
- Dieses Wasser wird vor dem Genuss normalerweise nicht desinfiziert. In den Augen der Konsumenten ist der gesundheitliche Aspekt des Trinkwassers von untergeordneter Bedeutung gegenüber Geschmack, Versorgungssicherheit und Komfort.
- Neben intakten Trink- und Abwassernetzen fehlt in ländlichen Regionen oft auch elektrische Energie.
- Vorschriften zur Trinkwasserqualität existieren in nahezu jedem Land der Welt, in ländlichen Gebieten werden sie jedoch kaum durchgesetzt.

Handelsübliche Dosieranlagen für Chlor, UV-Geräte und Anlagen, die auf dem Prinzip der anodischen Oxidation oder der Mikrofiltration basieren, wurden zwar als prinzipiell geeignet für die genannten Randbedingungen bewertet, keine der getesteten Anlagen konnte jedoch alle Anforderungen erfüllen. So entwickelten wir neue, angepasste und PV-versorgte Systeme. In fünf Dörfern wurden schließlich fünf verschiedene, energetisch optimierte Anlagen in-

stalliert: Unterschiedliche Dosieranlagen für Natriumhypochlorid, eine Elektrolysezelle zur Erzeugung von Chlorgas und eine UV-Anlage.

Dass die Einwohner in den meisten Pilotdörfern heute tatsächlich hygienisch einwandfreies Trinkwasser konsumieren, resultiert aus dem Zusammenspiel von neuer Technik und nicht-technischen Faktoren:

- Bei Projektbeginn bestand der Wunsch nach sauberem Trinkwasser oder konnte durch Aufklärungsarbeit geweckt werden.
- Negative Auswirkungen der Desinfektion wie Geschmacksveränderungen wurden weitgehend vermieden.
- Eine einfach zu handhabende, wartungsarme, robuste und weitgehend automatisierte Technik wurde eingesetzt und Verantwortliche sowohl auf Dorfebene als auch innerhalb der zuständigen Behörden wurden in das Projekt involviert.

Alle installierten Anlagen funktionieren heute, nach rund zwei Jahren Betrieb, zuverlässig und ohne Störungen.

Die Ergebnisse des Projekts »Clean Water with Clean Energy« zeigen, dass mit angepasster Technik und bei richtiger Einführung photovoltaisch betriebene Systeme einen wichtigen Beitrag zur Versorgung ländlicher Gebiete von Entwicklungsländern mit hygienisch unbedenklichem Trinkwasser leisten können. Wir werden deshalb die Entwicklung von Anlagen und Einführungsmethoden fortführen.

Abb. 2: San Antonio de Agua Bendiat in Mexiko: Trinkwasser-Desinfektion mittels einer PV-betriebenen Elektrolysezelle.



**Monitoring des Fraunhofer ISE sorgt für hohen Qualitätsstandard von Solarsystemen auf Berghütten**

Bereits seit zehn Jahren arbeitet das Fraunhofer ISE bei der Anwendung von Solarenergie auf Berghütten mit dem Deutschen Alpenverein DAV zusammen. Am Anfang gab es nur wenige marktreife Laderegler und Wechselrichter, deshalb ging es zunächst um Technologieentwicklung und Praxistests. Heute stehen Systemoptimierung, Standardisierung und Qualitätssicherung im Vordergrund. Mittlerweile betreut das Institut etwa 30 Hütten mit einem Monitoringprogramm.

**Klaus Kiefer, Georg Bopp, Martin Schulz\*, Petra Schweizer-Ries, Eberhard Rössler\***

Bei dem von der Kommission der Europäischen Union geförderten Verbundvorhaben »EURALP« werden 17 netzferne Photovoltaik-Anlagen auf Berghütten des Deutschen Alpenvereins DAV messtechnisch erfasst und die Ergebnisse ausgewertet. Mit diesem Vorhaben werden wertvolle Erkenntnisse über das optimale Zusammenspiel der Systemkomponenten Solargenerator, Speicher und Elektrogeräte gewonnen.

Im Auftrag des Deutschen Alpenvereins koordinieren wir das Gesamtvorhaben auf der technischen Seite mit den europäischen Partnern, dem Österreichischen Alpenverein OEAV und der spanischen Nutzervereinigung SEBA. Die bereits realisierten Projekte befinden sich in den österreichischen und den deutschen Alpen sowie in den spanischen Pyrenäen.

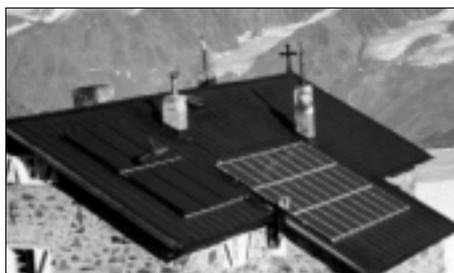


Abb. 1: Photovoltaikanlage und Kollektoranlage auf dem Süddach des Brandenburger Hauses, der mit 3 277 Meter über dem Meer höchst gelegenen Hütte des Deutschen Alpenvereins.

Alle im Rahmen des Vorhabens ausgestatteten Berghütten sind elektrisch gesehen Inselsysteme, denn sie sind nicht an das öffentliche Stromnetz angeschlossen. Bei nahezu allen Anlagen liefert der Photovoltaik-Generator den Großteil des Stroms. Motorgeneratoren oder auch Windgeneratoren erhöhen die Versorgungssicherheit bei extremen Verbrauchsspitzen oder Schlechtwetterperioden. Diese Hybrid-Anlagen können die harten Anforderungen an Stromqualität und Anlagenzuverlässigkeit oft kostengünstiger erfüllen als reine Photovoltaikanlagen.

Solarversorgung heißt nicht einfach eine Energiequelle durch eine andere ersetzen, sondern bedeutet auch die Verbraucherseite zu optimieren: So konnte bei der Tölzerhütte durch Energiesparlampen und energiesparende Geräte der Stromverbrauch auf die Hälfte reduziert werden. Seit der Installation der 3 kWp Photovoltaik-Anlage werden pro Saison etwa 1 200 Liter Dieselöl eingespart.

Die Erfahrungen und Ergebnisse aus EURALP haben wir in einer 16-seitigen Broschüre zusammengefasst. Diese ist beim Deutschen Alpenverein, Geschäftsstelle München, [www.alpenverein.de](http://www.alpenverein.de), erhältlich.



Abb. 2: Tölzer Hütte auf 1 825 Meter über dem Meer. Hier decken 35 m<sup>2</sup> Solarfläche mit 3,5 kWp Leistung und ein 750 Watt Windgenerator den gesamten Strombedarf.

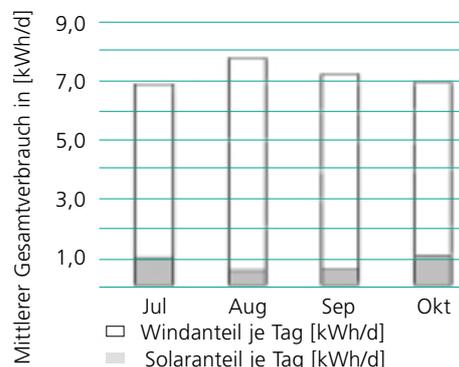


Abb. 3: Monatlicher Stromverbrauch der Tölzer Hütte in kWh pro Tag von Mai bis Oktober. Die Solarenergie liefert davon 85 %, die Windenergie 15 %.

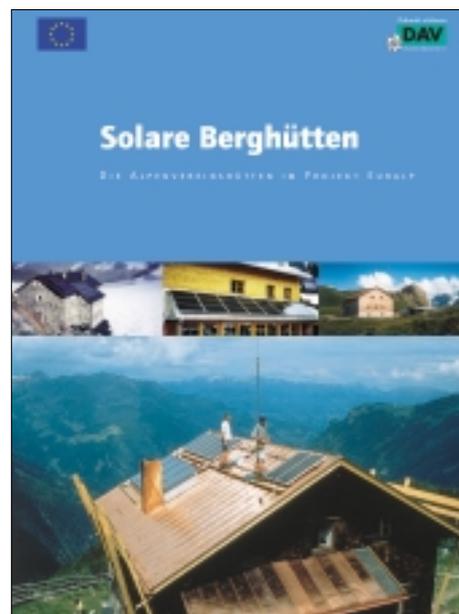


Abb. 4: Informationsbroschüre des Deutschen Alpenvereins zum EURALP-Vorhaben.

\* freie Mitarbeiter



## Elektromagnetische Verträglichkeit von Photovoltaik-Anlagen und -Komponenten

Mit unserer stationären und mobilen Messtechnik zur elektromagnetischen Verträglichkeit (EMV) sowie unserer Erfahrung auf dem Gebiet der Normung helfen wir, die elektromagnetische Verträglichkeit von neu zu entwickelnden Geräten und von bereits installierten Anlagen sicherzustellen.

Georg Bopp, Thomas Erge,  
Steffen Schattner

Zunehmende Dichte und Störpotenzial von elektrischen Bauteilen, Geräten und Anlagen macht ihre elektromagnetische Verträglichkeit zu einem immer bedeutenderen Qualitätsmerkmal. Unter der EMV eines Gerätes versteht man, dass es seine elektromagnetische Umgebung nicht über die Maßen beeinflusst. Es soll andererseits gegenüber den Beeinflussungen der Umgebung störfest genug sein. Die Grenzwerte hierfür sind in einer umfangreichen Normung geregelt.

Die elektromagnetische Unverträglichkeit macht natürlich keinen Halt vor Photovoltaik-Anlagen. Im Gegenteil: Im Rahmen des 1000-Dächer-Programms kam es zu Störungen des Fernseh- und Rundfunkempfangs durch PV-Anlagen. Berichtet werden auch Störungen von Telefon- und Funkanlagen. In Solar Home Systemen ist häufig nach dem Einschalten der Beleuchtung mit elektronischem Vorschaltgerät kein Empfang von Mittelwellen-Radiosendern mehr möglich.

Bei größeren PV-Anlagen ist vor allem die ausgedehnte DC-Seite mit ihren - leider - ausgezeichneten Antenneneigenschaften für die Störungen verantwortlich. Erst nach und nach entwickelt sich bei den Herstellern von potenziellen Störquellen - wie Wechselrichter und Laderegler - eine Sensibilität für diesen Aspekt der EMV. Dabei wird es ihnen nicht leicht gemacht: Die Normung ist erst im Entstehen. Trotzdem verpflichtet der Gesetzgeber den Hersteller aber zur Sicherstellung der EMV. Dies verunsichert die Hersteller. Oft wissen sie

nicht, wie dabei vorzugehen und welche Norm anzuwenden ist.

Wir können helfen: Im Rahmen eines EU-Forschungsprojekts mit dem niederländischen Partner KEMA und dem Schweizer Partner HTA Burgdorf haben wir eine aktuelle Normenübersicht, Messaufbauten und -empfehlungen sowie anzuwendende Grenzwerte erarbeitet. Speziell für die DC-Seite wurde eine DC-Netznachbildung für einfache und reproduzierbare Messungen und eine Grenzwertempfehlung für die internationale Normung geschaffen. Bei jeder Geräteentwicklung muss dieser Grenzwert eingehalten werden. Bis 500 kHz handelt es sich um den DC-Grenzwert der EN 55014-1, ab 500 kHz liegt er etwa mittig zwischen dem AC- und dem DC-Grenzwert dieser Norm.

Wir beraten unsere Kunden bezüglich Grenzwerten, führen entwicklungsbegleitende Messungen in unserer geschirmten EMV-Messkammer durch oder zertifizieren Produkte im Rahmen des Fraunhofer-EMV-Verbunds. Eine frühzeitige Ertüchtigung des Produkts ist in der Regel weit kostengünstiger als nachträgliche Maßnahmen. Aber auch im Fall von vor Ort auftretenden Störfällen in PV-Anlagen (dies betrifft auch Maßnahmen des Blitz- und Überspannungsschutzes) können wir mit unserer mobilen EMV-Messtechnik Abhilfe schaffen. Für Solar Home Systeme haben wir eine zuverlässige und kostengünstige Messempfehlung für Labor- und Vor-Ort-Messungen entwickelt.



Abb. 1: Blick in die EMV-Messkammer des Fraunhofer ISE.



## Batterien – zentrale Komponente aller autonomen Stromversorgungen

Die Betriebsbedingungen für Batterien in autonomen Stromversorgungssystemen unterscheiden sich erheblich von klassischen Anwendungen. Wir charakterisieren verschiedene Speichertechnologien im Labor und in Feldtests für die Anwendung und im Feld. Wir entwickeln Ladestrategien, Ladeelektronik und Algorithmen für eine zuverlässige Anzeige von Ladezustand und Alterungszustand der Batterien.

Oliver Bohlen, Edward Gareis,  
Rudi Kaiser, Jérôme Kuhmann,  
**Dirk Uwe Sauer**, Heribert Schmidt,  
Birgit Thoben, Gerrit Volck

Batteriespeicher sind in allen autonomen Stromversorgungssystemen mit kontinuierlichem Energiebedarf notwendig. Dies gilt für mobile Geräte (z. B. Mobiltelefon, Laptop), stationäre technische Geräte (z. B. Fahrplanbeleuchtung, Signalanlagen) und für Hausstromversorgungen (z. B. Solar Home Systeme, Alpenhütten, Dorfstromversorgungen). Profunde Kenntnis des Speichers ist notwendige Grundlage für erfolgreiche Systementwicklungen. Oberstes Ziel unserer Aktivitäten ist die Optimierung des Gesamtsystems und die Minimierung der Kosten des Speichersystems.

Für den Einsatz in Geräten untersuchen wir Batterien mit kleinen Kapazitäten, z. Zt. Lithium-Ionen-Batterien und wiederaufladbare Alkali-Mangan (RAM)-Zellen. Wir konzentrieren uns auf typische Belastungen in autonomen Stromversorgungen wie sehr kleine Ströme beim Laden und Entladen, hohe und niedrige Temperaturen, seltene Voll-Ladungen und lange Zeiten im teilladenen Betrieb. Wir testen die Batterien sowohl im

Labor unter kontrollierten Bedingungen als auch unter realen Betriebsbedingungen im Freiland mit detaillierter Vermessung.

Größere Anlagen verwenden bis heute fast ausschließlich Bleibatterien. In den letzten Jahren werden vermehrt geschlossene, wartungsfreie Batterien eingesetzt. Bis heute werden aber noch geeignete Ladestrategien für den Einsatz in photovoltaischen Stromversorgungssystemen gesucht, die sowohl den Batterien als auch dem System und dem Nutzer gerecht werden. In vergleichenden Feldtests untersuchen wir Ladestrategien zusammen mit Batterieherstellern und werten die Ergebnisse in Bezug auf Lebensdauer und Systemperformance aus. Die gewonnenen Erkenntnisse fließen in verbesserte Laderegler oder Geräte- und Systemsteuerungen ein.

Um das Alterungsverhalten von Bleibatterien richtig verstehen zu können, entwickeln wir auch detaillierte Modelle. Auf ihrer Basis können wir Vorschläge zur Verbesserung des Betriebs und des Batteriedesigns machen. In Zukunft wollen wir mit einer Kombination aus elektrochemischen Tests und Modellierung die Lebensdauer von Bleibatterien bereits nach kurzer Testzeit bestimmen. Vereinfachte Modelle gehen auch in unsere Simulationsprogramme zur Systemauslegung ein.

Moderne Leistungselektronik und weitgehender Verzicht auf stromglättende Elemente wie Kondensatoren und Spulen belasten die Batterien heutzutage mehr und mehr mit Wechselstromanteilen. Die Auswirkungen sind bis heute weitgehend unbekannt oder werden kontrovers

diskutiert. Im Rahmen eines Projektes der Europäischen Union untersuchen wir den Einfluss von pulsformigen Strömen auf das elektrische Verhalten und die Alterung von Bleibatterien. So konnten wir zeigen, dass der reale Ladungsumsatz der Batterien erheblich höher liegt als die Standardmesstechnik erfasst. Grund ist die gleichzeitige Überlagerung von Lade- und Entladeströmen. Dabei kann der resultierende Batteriestrom mit einer Frequenz zwischen einem und 300 Hertz das Vorzeichen wechseln, was je nach Anlage zu einem bis zu 20 % höheren Ladungsumsatz führen kann.

Um hohe Spannungen zu erreichen, müssen in den Systemen viele einzelne Batteriezellen in Serie geschaltet werden. Das schwächste Glied (z.B. geschädigte Zelle) bestimmt dabei die Leistungsfähigkeit des Gesamtsystems. Um die volle Leistungsfähigkeit der Anlage auch bei Ausfall einzelner Zellen zu gewährleisten, entwickelten wir Ladungsausgleichssysteme (CHargeEQualizer). Sie verfügen jetzt auch über ein integriertes Batteriemonitoringsystem mit Einzelzellenüberwachung und -analyse.

Für die Integration des Speichers in Geräte und Anlagen benötigt die Systemsteuerung kontinuierlich Informationen über seinen Zustand. Dazu gehören sowohl der Ladezustand als auch die aktuelle Kapazität bzw. der Alterungszustand der Batterie. Dafür entwickeln wir Algorithmen, die mit geringen Anforderungen an die Messtechnik auskommen und problemlos in Mikrocontroller von Laderegler, Gerätesteuerungen und Energiemanagementsystemen integrierbar sind.



Das Fraunhofer ISE entwickelt zusammen mit der Industrie Produkte mit photovoltaischer Energieversorgung. Hier eine Informationstafel für Bus- und Bahnhaltstellen, welche die nächsten Verbindungen nennt und Verspätungen ankündigt. Ein Energiemanagementsystem überwacht und steuert sämtliche Komponenten.



Von der Sonne versorgte Geräte bieten höheren Komfort, sparen Batteriekosten oder ersetzen teure Netzanschlüsse. Schon 2001 wird es über vier Milliarden portabler Elektronikgeräte wie Radios, Handys, Camcorder oder Palmtops geben. Beispiele für den industriellen Einsatz der Photovoltaik sind dezentrale Einrichtungen der Telekommunikation, Informations- und Verkehrsleittechnik.

Jede Anwendung hat spezielle Anforderungen an die Stromversorgung. Bei der Telekommunikation ist es 100 % Verfügbarkeit, die wir mit Hybridsystemen garantieren können. Im Konsumerbereich geht der Trend zu kleiner und leistungsfähiger. Unsere Antwort heißt Miniaturisierung und Effizienz, denn zu guten Geräten gehören hervorragende Komponenten: Hochleistungssolarzellen, ausgeklügeltes Energiemanagement, Low-Power-Bauelemente, Surface Mounted Devices (SMD), optimierte Batterieperipherie.

Flexible Einsetzbarkeit und effiziente Energiewandlung charakterisieren solare Stromversorgungen. Deshalb passen wir die Elektronik an die jeweilige Anwendung an. So haben wir mit einem DC/DC-Wandler für sehr hohe Ströme bei niedrigen Eingangsspannungen das Tor zu einer

neuen Produktfamilie aufgestoßen. Ein anderes Beispiel ist unser Energiemanagementsystem, das unterschiedlichste Energieerzeuger, Lasten und Speicher effizient kombiniert. Es »lernt« aus dem Nutzerverhalten und ist auf die verschiedensten Anwendungen adaptierbar. Bei vielen Anwendungen gehören Lithium-Ionen-Akkus die Zukunft. Mit Langzeituntersuchungen in Labor und Freiland überprüfen wir ihre Eignung und definieren optimale Einsatzfelder.

Unser zweites Standbein neben der wissenschaftlichen Kompetenz ist die praktische Erfahrung aus 19 Jahren Zusammenarbeit mit Herstellern und Nutzern. Letztlich entscheidet nicht das Konzept sondern der Markterfolg. Deshalb achten wir darauf, was der Markt will und dass er es bekommt. Mit umfassender Qualitätssicherung - im Institut, aber auch in nationalen und internationalen Gremien - sorgen wir so für hochwertige Komponenten und Systeme.

Für Information und Weiterbildung entwickeln wir interaktive Exponate, die weltweit einmalig sind, Spaß machen und spielerisch anspruchsvolles Wissen vermitteln. Neben dem pädagogischen Nutzen eine sympathische Marketingidee!

#### Ansprechpartner

Geräte und Kleinsysteme	Dipl.-Ing. Werner Roth	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-2 27 E-Mail: Werner.Roth@ise.fhg.de
Komponentenentwicklung und Meßgerätebau	Dr.-Ing. Heribert Schmidt	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-2 26 E-Mail: Heribert.Schmidt@ise.fhg.de
Speichersysteme	Dipl.-Phys. Dirk Uwe Sauer	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-2 19 E-Mail: Dirk-Uwe.Sauer@ise.fhg.de



## Photovoltaik für Geräte und Kleinsysteme

Ziel der Aktivitäten ist die Entwicklung marktfähiger Geräte und Kleinsysteme mit photovoltaischer Energieversorgung. Dabei unterstützen wir speziell kleine und mittlere Unternehmen darin, das in der Photovoltaik liegende vielfältige Innovationspotenzial für neue Produkte zu nutzen.

Sergej Aingorn, Jochen Benz, Jérôme Kuhmann, **Werner Roth**, Wolfgang Schulz, Andreas Steinhüser, Gerrit Volck

Photovoltaisch versorgte Produkte stehen im Mittelpunkt des vom Bundeswirtschaftsministerium geförderten Programms »Photovoltaik für Geräte und Kleinsysteme«. Ferner kann die Entwicklung von Komponenten und Messgeräten für den Einsatz in kleinen Photovoltaik-Systemen gefördert werden. Antragsberechtigt sind kleine und mittlere Unternehmen (KMU) im Sinne des EU-Beihilferechts, sie können zwischen zwei Varianten der Förderung wählen:

### Kooperation zwischen Unternehmen und Fraunhofer ISE

Diese Variante richtet sich vorwiegend an Unternehmen, die wenig Photovoltaik-Know-how haben, nicht über eine geeignete Laborausstattung verfügen oder auf die Erfahrungen des Fraunhofer ISE zurückgreifen wollen. Wir unterstützen das Unternehmen im Rahmen einer Kooperationsvereinbarung. Die Bandbreite reicht von der Beratung bis zur gemeinsamen Entwicklung marktfähiger Produkte. Unsere Schwerpunkte sind dabei Systemauslegung, photovoltaische Energieerzeugung, Energieaufbereitung, Energiespeicherung, Verbrauchsreduzierung und Energiemanagement.

### Durchführung der Entwicklungsarbeiten im Unternehmen

Hier führt das Unternehmen die Entwicklung komplett selbst durch. Es erhält eine nicht rückzuzahlende Zuwendung von maximal 35 % der zuwendungsfähigen Kosten.

Im Rahmen von Kooperationen mit Industriepartnern entwickelten wir in diesem Jahr photovoltaisch versorgte Produkte für Beleuchtungstechnik, Wasseraufbereitung, Öffentlichen Personennahverkehr (ÖPNV), Messtechnik und Informationstechnik.

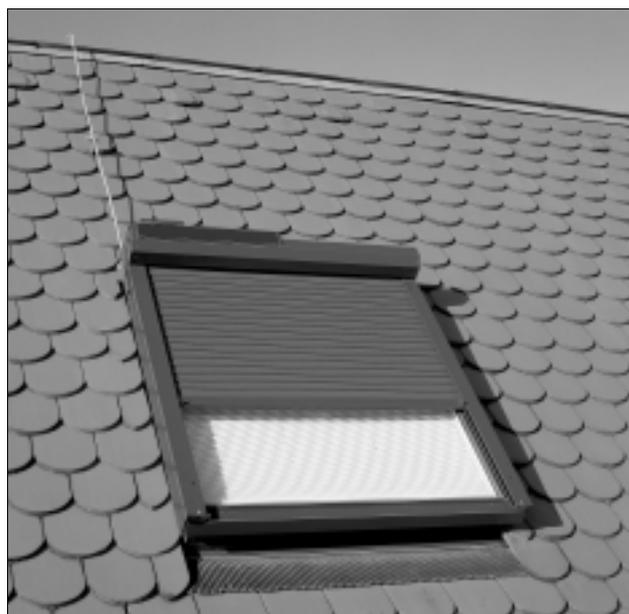


Abb. 1: Photovoltaisch versorgter Rollladenantrieb: Wartungsfrei und per Fernsteuerung bequem zu bedienen (Foto: WAREMA).



## Photovoltaik Informations-Zentrum der Shell Solar Deutschland GmbH

Sonnenenergie gilt als einfache Technik. Doch wie viele Menschen wissen schon wie eine Solarzelle funktioniert? Wer kennt sich mit dem Gang der Sonne oder der Wechselwirkung der Komponenten eines Solarsystems aus? Wer hat noch einen Überblick über den Stand der Forschung? Auf diese und andere Fragen geben wir dem interessierten Laien durch den Bau von interaktiven Hightech-Exponaten eine Antwort.

Stefan Glunz, Andreas Häberle\*,  
Jürgen Ketterer, Hans-Georg Puls,  
Bernhard Schmidt\*\*,  
Heribert Schmidt,  
Andreas Steinhüser

Im Auftrag der Shell Solar Deutschland GmbH entwickelte und fertigte das Fraunhofer ISE interaktive Exponate für das Photovoltaik Informations-Zentrum PiZ in Gelsenkirchen. Die realisierten Exponate umfassen die folgenden Themen:

### Der Weg vom Sand zum Siliciumwafer

Unter anderem demonstriert hier eine zwei Meter hohe Sandsäule die für die Solarzellenherstellung notwendige hohe Reinheit von Silicium (1:1 000 000 000). Eine Original-Drahtsäge zeigt, wie aus den Siliciumblöcken einzelne Solarzellen gesägt werden.

### Herstellung von Silicium Solarzellen

Eine Videoanimation zeigt Lichtabsorption, Generierung von freien Ladungsträgern sowie Rekombination in einem intrinsischen (undotierten) Halbleiter. Aktive Schautafeln erläutern die Begriffe »Dotierung« sowie »p- und n-Leitung«. Ein einmaliges mechanisches Modell aus Flüssigkeiten unterschiedlicher Farben – ähnlich den »Lava Lampen« – erklärt die Funktion einer Solarzelle.

### Übersicht verschiedenster Solarzellentechnologien

In einer Vitrine sind 12 unterschiedliche Solarzellentechniken ausgestellt. Das Spektrum reicht von der monokristallinen Siliciumsolarzelle über die Farbstoffzelle bis hin zur monolithischen Weltraumtandemsolarzelle aus GaInP/GaAs. Jede ausgestellte Solarzelle ist auf einer Tafel kurz beschrieben. Dazu gehört die graphische Darstellung des nutzbaren Anteils aus dem AM 1,5 Spektrum. Zusätzlich ist der physikalisch mögliche Wirkungsgrad, der höchste bisher erreichte Laborwirkungsgrad und der typische Wirkungsgrad von kommerziellen Solarzellen angegeben.

### Der Weg von der Zelle zum System

Ein 50-fach vergrößerter Querschnitt zeigt den Aufbau eines Solarmoduls. Die Robustheit von Solarmodulen veranschaulicht ein Kugelfallturm, bei dem eine Stahlkugel auf ein Solarmodul fällt. Ein elektronischer Systembaukasten kombiniert mit einem professionellen Simulationsprogramm erlaubt das Kennenlernen und Dimensionieren von unterschiedlichen Photovoltaiksystemen.

### Experimentiertisch zur Photovoltaik-Systemtechnik

An drei Experimentierständen lernt der Besucher des PiZ alles über die Serien- und Parallelschaltung von Solarzellen, das MPP-Tracking und den Einfluss von Ausrichtung, Neigung und Verschattung auf den Energieertrag von Solarmodulen.



Abb. 1: Besucher im Photovoltaik Informations-Zentrum PiZ.

Die Exponate zeigen physikalisch richtig und doch spielerisch die komplexen Vorgänge z. B. beim Verschalten von Solarzellen auf. Was sich ein Ingenieur mühsam über Formeln und Funktionen klar macht, können Besucher hier mit Hand und Augen erfahren: Teilabschattung durch eine Handbewegung führt zum deutlich sichtbaren Knick in der Kennlinie. Geringerer Ertrag, also weniger Energie, schlägt sich als kleinere Wassermenge in einem Reservoir nieder. Geringere Leistung lässt eine Wasserfontäne zu müdem Geplätscher werden. Selbst gestandene Techniker und Wissenschaftler bekommen ein neues Gefühl für Zusammenhänge. Ganz zu schweigen von der Spiellust, die Besucher in allen Alters- und Bildungsstufen fesselt.

\* PSE GmbH Forschung Entwicklung  
Marketing, Freiburg

\*\* Ingenieurbüro Schmidt, Neunkirchen



## Kundenspezifische Messplätze für die Photovoltaik-Industrie

Unser Dienstleistungsangebot im Bereich Solarzellen- und Modulkalibrierung erfordert umfangreiche, auf die verschiedenen Solarzellentechnologien zugeschnittene Messplätze. Diese Messplätze sind in der Regel nicht am Markt verfügbar. Sie werden – zugeschnitten auf die jeweilige Solarzellentechnologie – im Kalibrierlabor des Instituts (ISE CalLab) entwickelt. Dieses Know-how bieten wir nun auch der Photovoltaik-Industrie an und liefern komplette Messplätze für kundenspezifische Messaufgaben.

Sybille Baumann, **Stefan Brachmann**,  
Heribert Schmidt



Eine Besonderheit unseres Angebots liegt in seiner Vielfalt. Ob Dünnschichttechnologie, farbstoffsensibilisierte Solarzelle, Mehrfachzelle für 1 000-fache Konzentration oder kristalline Siliciumsolarzelle – wir entwickeln kundenspezifische Messplätze mit hoher Genauigkeit und komfortabler Bedienung.

Einsatz finden diese Messplätze in der Photovoltaik-Industrie und in Forschungseinrichtungen. Realisiert wurden bisher:

- Spektralmessplatz für farbstoffsensibilisierte Solarzellen. Dieser Messplatz erlaubt die gleichzeitige Messung von Referenz- und Testsolarzelle und reduziert dadurch die Kalibrierdauer erheblich.
- Kombiniertes Messplatz zur Messung von spektraler Empfindlichkeit und I/U-Kennlinie von Solarzellen. Hier liegt die Besonderheit darin, dass die mechanisch empfindliche Solarzelle an einem Ort komplett charakterisiert werden kann.

Abb. 1: Sonnensimulator zur Charakterisierung von CIS-Modulen.

- Filtermonochromator-Messplatz für großflächige Siliciumsolarzellen. Dieser Messplatz zur Bestimmung der relativen und absoluten spektralen Empfindlichkeit erlaubt eine sehr homogene, großflächige, monochromatische Bestrahlung des Messobjektes.
- Spektralmessplatz für Dünnschichttechnologien mit Gittermonochromator. Neben der spektralen Empfindlichkeit von Solarzellen kann hiermit auch die Transmission von beschichteten Gläsern in einem großen Wellenlängenbereich ermittelt werden.
- Messplatz zur Ermittlung von Degradationseffekten an Solarmodulen unter Freilandbedingungen. Dieser Messplatz betreibt das Modul im MPP (Maximum Power Point) und kann in frei programmierbaren Abständen eine I/U-Kennlinie aufzeichnen und abspeichern.
- Sonnensimulator zur Charakterisierung von Solarzellen und Kleinmodulen bis 30 x 30 cm<sup>2</sup>. Bei diesem Messplatz kann die Zellenaufnahme zum bedienungsfreundlichen Kontaktieren aus der Bestrahlungsebene herausgefahren werden (Abbildung 1).



## Autonome Stromversorgungen mit Photovoltaik, Brennstoffzelle und saisonalem Wasserstoffspeicher für die Telekommunikation

Für Telekommunikationssysteme entwickeln wir autonome Stromversorgungen. Sie basieren auf Photovoltaikgeneratoren mit wasserstoffbetriebenen Brennstoffzellen als Zusatzstromerzeuger. Ein Elektrolyseur ermöglicht in einem zweiten Schritt vollständige Autarkie.

Jochen Benz, Beatrice Hacker,  
Angelika Heinzl, Hans-Georg Puls,  
Dirk Uwe Sauer

Repeater für Telekommunikation stehen oft in abgelegenen Gegenden. Eine Kombination aus Photovoltaikgenerator, Brennstoffzelle und konventioneller Batterie kann sie von aufwändiger externer Energielieferung unabhängig machen. Im ersten Entwicklungsschritt wird der Wasserstoff in Flaschen angeliefert. Im zweiten Schritt werden wir einen Elektrolyseur zusammen mit einem Wasserstoffspeicher in das System integrieren. So entsteht ein vollständig autarkes System mit saisonaler Energiespeicherung. Höchste Priorität liegt auf einer hundertprozentigen energetischen Verfügbarkeit und einer Minimierung des Wartungsaufwandes.

Unter der Leitung von Alcatel/ Spanien entwickeln wir derzeit Prototypen und können dabei auf die Erfahrungen beim Energieautarken Solarhaus in Freiburg (Inbetriebnahme 1992) zurückgreifen. Das damals erstmalig demonstrierte Systemkonzept entwickeln wir nun für die breite technische Anwendung weiter. Neben der Konzeptentwicklung arbeiten wir in dem Projekt auch an Planungs-werkzeugen und Systemkomponenten.

### Systemauslegung

Um ständige Verfügbarkeit des Systems bei geringen Kosten zu erreichen, optimieren wir das Systemdesign auf Basis der Lebensdauerkosten. Wir nutzen und erweitern dafür unser Simulationsprogramm TALCO (Technical and Least Cost Optimisation). Nach Aufnahme aller technischen und ökonomischen Parameter der Komponenten optimiert das Programm das Gesamtsystem. Daraus ergeben sich die Kosten des Systems und die Größe der einzelnen Komponenten.

### Saisonales Energiespeichersystem

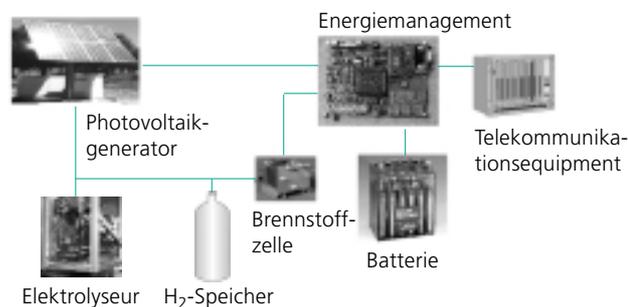


Abb. 1: Schematische Darstellung des autonomen Energieversorgungssystems mit saisonalem Wasserstoffspeichersystem. In Zusammenarbeit mit Herstellern von Photovoltaik, Brennstoffzellen und Telekommunikation wird das Projekt im 2. Schritt realisiert.

Für das im ersten Schritt zu realisierende System mit einer Brennstoffzelle und zugeliefertem Wasserstoff hat sich der Preis für Wasserstoff in Druckgasflaschen als der kritischste Parameter für die Systemauslegung ergeben. Die Kosten für die Erzeugung einer kWh elektrischen Stroms liegen dabei um das zwei- bis dreifache über den Kosten einer kWh vom Solar-generator. Je nach Annahmen über die Entwicklung der Wasserstoffkosten ändert sich daher die Systemauslegung erheblich.

### Energiemanagementsystem

Zentrale Steuereinheit der Anlage ist ein Energiemanagementsystem (EMS) auf Basis einer extrem stromsparenden Mikroprozessoreinheit. Das EMS steuert und überwacht alle Energieflüsse und den Systemzustand. Es berechnet den Batterieladezustand,

schaltet zum optimalen Zeitpunkt Elektrolyseur und Brennstoffzelle zu und führt Selbsttests aller Komponenten einschließlich der Batterie durch. Über das EMS ist eine Fernüberwachung möglich.

### Elektrolyseur

Entsprechend Abbildung 1 wird die autonome Stromversorgung im zweiten Schritt auch von der Anlieferung von Wasserstoff unabhängig. Mit den im Sommer auftretenden Energieüberschüssen des PV-Generators wird Wasserstoff produziert und

in einem Metallhydridspeicher gespeichert. Ein vom Fraunhofer ISE entwickelter Druckelektrolyseur mit Polymerelektrolytmembran erzeugt den Wasserstoff. So entsteht ein System mit saisonalem Energiespeicher (Elektrolyseur – Wasserstoffspeicher – Brennstoffzelle). Die Leistung wird bei etwa 1 kW liegen. Eine besondere Herausforderungen ist der wartungsarme Betrieb des Elektrolyseurs im Freiland mit Temperaturen unter dem Gefrierpunkt. Derzeit erarbeiten wir Maßnahmen, um den Elektrolyseur 'winterfest' zu machen.

Das PV-Brennstoffzellen-System wird im 1. Quartal 2001 und das System mit saisonalem Speicher im 2. Quartal 2002 am Standort Madrid unter realen Betriebsbedingungen in Betrieb gehen. Die EU fördert das Projekt.



Photovoltaik als Element solaren Bauens gewinnt zunehmend an Reiz. Das Fraunhofer ISE setzt solche Elemente funktional bei seinem Neubau ein. Hier ein Blick in die Shed-Dach-Konstruktion des Atriums: Die dort integrierten Solarstrommodule sind in die Isolierverglasung eingepasst. Neben dem Wärmeschutz im Winter dienen sie in der heißen Jahreszeit auch als Sonnenschutz.



Mit dem 100 000-Dächer-Programm und dem Erneuerbaren-Energien-Gesetz hat die netzgekoppelte Photovoltaik in Deutschland einen rasanten Aufschwung genommen. Wir begleiten derartige Markteinführungsprogramme und übernehmen Planung, Auslegung, Abnahme und Überwachung von Anlagen. Bei Einspeisevergütungen von 0,99 DM/kWh lohnt es sich besonders, schon bei der Planung für optimalen Ertrag zu sorgen. Zehn Jahre Monitoring haben uns gezeigt, wo die Schwachstellen liegen können und wie man sie schnell beseitigt.

Nicht nur Betreiber, sondern auch Hersteller profitieren von unserer Erfahrung. Bestes Beispiel sind die Wechselrichter: Im Rahmen des 1 000-Dächer-Programms stellten wir über unser Monitoring zahlreiche Ausfälle fest. Zusammen mit den Herstellern diskutierten wir Fehlursachen. Heute haben Wechselrichter 99 % Verfügbarkeit und sind zu einem Exportschlager geworden.

Eine starke Zunahme der Anfragen von Architekten und Bauingenieuren zeigt, dass sich Photovoltaik rasant in ihrer Rolle als Element des solaren Bauens weiter entwickelt. PV-Module haben im Gebäude vielfältige Funktionen wie Ästhetik, Tageslichtelement, Abschattung und Stromgewinnung. Mit Simulationsprogrammen finden wir die Wunschlösung.

Gemeinsam mit Industriepartnern arbeiten wir am intelligenten Stromnetz der Zukunft, das einen wachsenden Anteil erneuerbarer Energien erlaubt. Auffallendste Neuerung ist der Kommunikationskanal, der z. B. dezentrale Kraftwerke oder Speicher je nach Bedarf zu- oder abschalten kann. Viele sich ergänzende Erzeuger wie PV, Wind, Wasser und Biomasse werden zusammen mit Speicher- und Regelgliedern dafür sorgen, dass die Stromkunden gar nichts vom Übergang zur nachhaltigen Energiewirtschaft merken, weil der Netzkomfort so bleibt wie er ist.

**Ansprechpartner**

PV-Monitoring	Dipl.-Ing. Klaus Kiefer	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-2 18 E-Mail: Klaus.Kiefer@ise.fhg.de
Systemanalyse und -entwurf	Dr. Thomas Erge	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-3 37 E-Mail: Thomas.Erge@ise.fhg.de
Systemkomponenten	Dr.-Ing. Heribert Schmidt	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-2 26 E-Mail: Heribert.Schmidt@ise.fhg.de
Photovoltaik an Gebäuden	Dipl.-Ing. Hermann Laukamp	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-2 75 E-Mail: Hermann.Laukamp@ise.fhg.de
	Dr. Karsten Voss	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-1 35 E-Mail: Karsten.Voss@ise.fhg.de
Energiespeicher in Stromnetzen	Dirk Uwe Sauer	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-2 19 E-Mail: Dirk-Uwe.Sauer@ise.fhg.de



## Die 120 kWp Photovoltaik-Schulungsanlage »Butzweilerhof« der Handwerkskammer zu Köln

Wir konzipierten die Technik dieses Demonstrationsprojektes für photovoltaische Anlagen unterschiedlicher Technologie und begleiten das Projekt wissenschaftlich.

**Thomas Erge, Alfons Armbruster\*, Klaus Kiefer, Eberhard Rössler\*\*, Edo Wiemken**

Die Photovoltaikanlage auf dem Gebäude »Butzweilerhof« der Handwerkskammer zu Köln wurde in den Jahren 1999 und 2000 errichtet. Anliegen dieses Vorhabens ist neben der photovoltaischen Stromerzeugung die Demonstration der technischen, architektonischen und ökonomischen



Abb. 1: PV-Fassadenanlage mit Verschattung der dahinterliegenden Ausbildungsräume.



Abb. 2: Integration von PV-Dachziegeln in den Ausbildungsdachstand auf dem Gebäude »Butzweilerhof«.

Aspekte der Photovoltaik und die unmittelbare Einbindung in den Schulungsbetrieb der Handwerkskammer.

Die Gesamtanlage besteht aus etwa 1 400 Modulen mit einer Gesamtleistung von etwa 120 kWp. Sie sind auf drei Unteranlagen verteilt:

- 103,5 kWp Flachdachanlage, bestehend aus einem Anlagenteil mit zentralem Wechselrichter (50 kWp), einem Anlagenteil mit Strangwechselrichtern (44 kWp) sowie einem Anlagenteil mit modulintegrierten Wechselrichtern (9,5 kWp).
- 9,0 kWp Fassadenanlage, bestehend aus senkrechten und geneigten Fassadenteilen. Die geneigten Module sind im Fensterbereich montiert und gewährleisten bei hohen Sonnenständen eine Verschattung der dahinter liegenden Räume.

- 7,5 kWp Schulungsanlagen, die aus drei getrennten Kleinanlagen zur Demonstration unterschiedlicher Dachintegrationsverfahren auf einem speziell konstruierten Schulungsdach errichtet wurden. Bei den Technologien handelt es sich um Dachintegration, Aufdachmontage sowie Montage von PV-Dachziegeln. Eingeschlossen ist hier ein kleines Batterie-Inselsystem mit speziellem Energiemanagement.

Wir planten im Auftrag der Handwerkskammer zu Köln alle Photovoltaik-Generatoren, wobei wir neben der elektrischen Konzeption der Anlagen besonders auf die baulichen und architektonischen Gegebenheiten achteten.

Wir überwachen den Betrieb der Anlage in einem wissenschaftlichen Monitoring und Auswerteprogramm. Dabei gewinnen wir umfangreiche Messdaten, die sowohl für den Ausbildungsbetrieb der Handwerkskammer als auch über Fernabfrage zur wissenschaftlichen Analyse am Fraunhofer ISE dienen. Eines unserer Ziele ist dabei der Vergleich unterschiedlicher Anlagenkonzepte hinsichtlich Betriebsverhalten, Zuverlässigkeit und Effizienz.

Für die öffentliche Darstellung des Projektes gestalten und programmieren wir eine Internetpräsentation mit Online-Zugriff auf ausgewählte aktuelle Messdaten. Diese wird dann über die Internetseiten der Handwerkskammer Köln erreichbar sein: [www.handwerkskammer-koeln.de](http://www.handwerkskammer-koeln.de)

Die Photovoltaik-Anlage wurde von der Europäischen Union und dem Land Nordrhein-Westfalen gefördert.

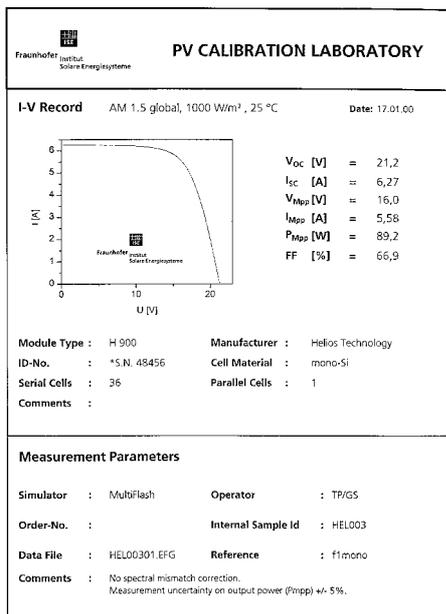


Abb. 3: Unmittelbar vor Installation der Anlage charakterisierte das Fraunhofer ISE Kalibrierlabor (ISE CalLab) ausgewählte Module detailliert.

\* PSE GmbH Forschung Entwicklung Marketing, Freiburg  
\*\* freier Mitarbeiter



## Auf dem Weg zum Stromnetz der Zukunft

Wir arbeiten in einem Konsortium aus 17 Industrie- und Forschungspartnern an einer dezentralen Netzstruktur mit integriertem Kommunikationssystem. Sie soll hohe Qualität der Stromversorgung und größtmögliche Flexibilität für technische und ökonomische Optionen bieten.

**Heribert Schmidt**, Thomas Erge, Angelika Heinzel, Dirk Uwe Sauer, Dieter Schlegel

Stadtwerke Karlsruhe, Fraunhofer ISE, Freiburg, EUS GmbH, Gelsenkirchen und Siemens AG, Erlangen leiten das Konsortium, das sich den Namen EDISON gegeben hat. Das Konsortium hat sich bis 2003 zwei Aufgaben gestellt: die Energieverteilungsnetze fit für den liberalisierten Strommarkt zu machen und auf moderne Technologien wie erneuerbare Energien vorzubereiten.

EDISON verbindet Energieverteilung mit Informationsverarbeitung und entwickelt dezentrale Komponenten für die neue Netzstruktur. Beispiele für Bausteine sind:

- Power Quality Geräte, die z. B. Spannungseinbrüche kompensieren
- Lokale Energiespeicher, die für einen gleichmäßigen Energiefluss sorgen
- Dezentrale Stromerzeuger wie Photovoltaik- und Windkraftanlagen oder Blockheizkraftwerke mit Brennstoffzellen

Diese Bausteine eröffnen zusammen mit Energiemanagementsystemen neue Optionen zur bedarfsgerechten

Steuerung von Energieflüssen in ausgedehnten Stromversorgungsnetzen.

So etwa bei Einsatz von Blockheizkraftwerken mit Brennstoffzellen, die sowohl elektrische Spitzenlasten decken als auch Nutzwärme abgeben. Besonders effizient kann der Energieversorger die Blockheizkraftwerke nutzen, wenn er ihre Stromabgabe je nach Nachfrage steuern kann. Über die dezentrale Kommunikationsstruktur hat er jederzeit Zugriff auf die Stromerzeuger. Dadurch können teure Netzerweiterungen reduziert werden.

Eine andere Anwendung ist die umweltfreundliche Abdeckung von kurzzeitig erhöhtem Strombedarf in Netzsegmenten, die nicht dafür ausgelegt sind - zum Beispiel zur Baustromversorgung oder bei Volksfesten. Hier kann mit mobilen Batteriespeichern und einem Energiemanagementsystem der Einsatz großer Dieselaggregate oder ein teurer Ausbau der Netzstrukturen überflüssig werden.

Der Einsatz zusätzlicher dezentraler Erzeuger und Speicher darf also ökonomisch nicht an den reinen Stromgestehungskosten bzw. den Ersparnissen im Stromhandel durch die Absenkung der Spitzenlast gemessen werden. Die wesentlichen Ersparnisse für den Versorger entstehen aus eingesparten Investitionen für den Netzausbau wie Leitungen und Transformatoren.

Wir sind für zwei wissenschaftliche Teilprojekte in EDISON hauptverantwortlich:

- Teilprojekt 2 »Energiespeicher und -wandler«
- Teilprojekt 7 »Monitoring und Bewertung der Ergebnisse«

In Teilprojekt 2 haben wir zusammen mit Partnern zunächst eine Bestandsaufnahme der Energiespeicher und -wandler erarbeitet. Wir testen Komponenten zur Untersuchung der Betriebscharakteristika und zur Bestimmung technischer Parameter im Labor. Darauf aufbauend entwickeln wir neue Hardware und Software zur Betriebsoptimierung.

Im Teilprojekt 7 vergleichen wir die eingesetzten dezentralen Energiewandler und -speicher durch Auswertung der energie- und leistungsrelevanten Anlagendaten. Die Daten werden vom dezentralen Betriebssystem online übertragen und dann in unserer Datenbank bereitgestellt. Zusätzlich installieren wir in ausgewählten Anlagen oder Anlagenteilen Messfühler und Datenlogger.



Das Projekt EDISON wird vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie BMWi gefördert.



## Bauliche Integration von Solarstromanlagen: Das Beispiel des Fraunhofer ISE Neubaus

Der Neubau unseres Institutsgebäudes wird fünf Photovoltaik-Anlagen mit zusammen rund 20 kWp Nennleistung tragen. Die Planung zeigt beispielhaft den umfassenden Ansatz des Fraunhofer ISE beim Solaren Bauen: Optimierung von Architektur, Nutzerkomfort, thermischer und elektrischer Energienutzung in einem Gesamtkonzept.

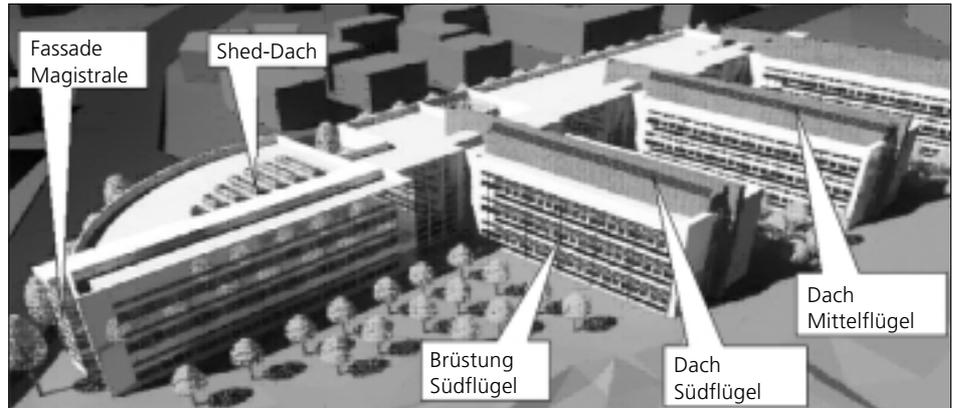
Sören Andersen\*, Sebastian Herkel, Klaus Kiefer, Hermann Laukamp, Karsten Voss

Die fünf Photovoltaik-Anlagen (Abbildung 1 und Tabelle 1) dienen hauptsächlich der Stromerzeugung, zum Teil sind sie auch als Testgeneratoren nutzbar. Das Planungsteam legte großen Wert auf die Balance zwischen Gebäudeaspekten und Stromproduktion. Die PV-Generatoren demonstrieren unterschiedliche Weisen der baulichen Integration:

Im Shed-Dach und in der Südfassade sind die Solarzellen in Isolierglas eingebettet. Sie verringern den Wärmeeintrag in das Gebäude und unterstützen damit den weitgehenden Verzicht auf konventionelle Klimatisierung. Der Generator an der Fassade des Südflügels demonstriert den Einsatz von Photovoltaik als Brüstungselement in vertikaler und geneigter Anordnung. Die Genera-

Fassade der Magistrale	2,5 kW <sub>p</sub>
Shed-Dach über dem Atrium	4,9 kW <sub>p</sub>
Brüstung am Südflügel	2,9 kW <sub>p</sub>
Dach des Südflügels	4,5 kW <sub>p</sub>
Dach des Mittelflügels	5,3 kW <sub>p</sub>

Tab. 1: Ort und Nennleistung der PV-Anlagen.



toren auf den Dächern von Süd- und Mittelflügel dienen als Verkleidung für die dahinter liegenden Luftschächte.

Das Beispiel des Shed-Daches über dem Atrium zeigt, wie wir die Konstruktion entwickelt haben: Die Grafik in Abbildung 2 veranschaulicht die Optimierung der Shed-Dach-Geometrie im Rahmen des Gebäudekonzeptes.

Gute Tageslichtverhältnisse sind für die Nutzung und die gestalterische Wirkung eines Atriums von zentraler Bedeutung. Andererseits entstehen bei hoher Transparenz ohne Beschattung enorme sommerliche Wärmelasten. Um beide Aspekte in Verbindung mit dem Energieertrag der Solarstromanlage zu berücksichtigen, haben wir Simulationen für Raumklima und Tageslichtverhältnisse durchgeführt.

Die Solarstromanlagen erzeugen rund 16 MWh im Jahr. Damit decken sie den gesamten Bedarf der Bürobeleuchtung des neuen Gebäudes.

Die Europäische Union fördert die Realisierung der Solarstromanlagen.

Abb. 1: Die fünf Photovoltaik-anlagen am neuen Institutsgebäude.

Aufbau	N ←		
PV	.....	.....	.....
Glas	—	—	—
Strom	+	0	-
Tageslicht	-	0	+
Temperatur	+	0	-

+ = günstig, - = ungünstig, 0 = neutral)

Abb. 2: Die Neigung des PV-Generators im Shed-Dach ist auf das Energiekonzept des Gebäudes abgestimmt. Stromerzeugung, Tageslichtnutzung zur Beleuchtung und Reduktion des sommerlichen Energieertrags in das Atrium wurden abgewogen.

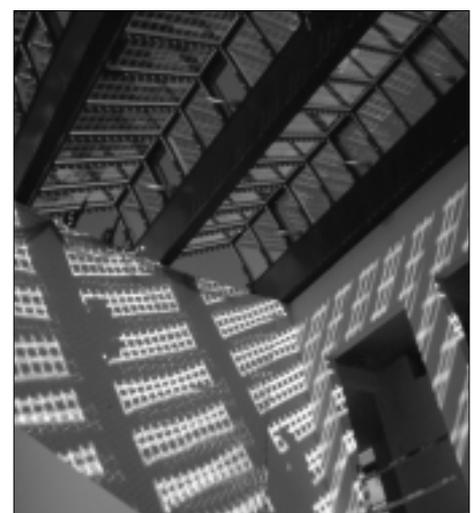
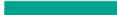


Abb. 3: Ein Blick in das Atrium. Der Photovoltaikgenerator wirft ein Schattenmuster auf die gekrümmte Wand des Atriums.

\* Dissing+Weitling, Kopenhagen



Gastwissenschaftler



Mitarbeit in Gremien



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



Vorlesungen und Seminare



Messebeteiligungen



Patente



Promotionen



Pressearbeit



Vorträge



Veröffentlichungen

## Gastwissenschaftler

Dipl.-Psych. Claudia Casper  
Barcelona, Spanien  
1.2.2000–30.5.2001  
Arbeitsgebiet: Sozialwissenschaftliche Studien  
zur ländlichen Elektrifizierung

Dr. Andres Cuevas  
Australian National University,  
Canberra, Australien  
16.7.2000–31.8.2000  
Arbeitsgebiet: High-efficiency  
Silicium-Solarzellen

Dipl.-Ing. Mario Motta  
Politecnico di Milano  
Mailand, Italien  
1.7.1999–30.6.2000  
Arbeitsgebiet: Solare Klimatisierung

Anders Ødegård  
Norwegian University for Science and  
Technology (NTNU)  
Trondheim, Norwegen  
21.8.2000–21.2.2001  
Arbeitsgebiet: Mikroenergiertechnik

Prof. Valeri Rummyantsev  
Ioffe-Institut  
St. Petersburg, Russland  
1.6.2000–30.9.2000  
Arbeitsgebiet: III-V Konzentratormodule

Dr. Oleg V. Sulima  
Ioffe-Institut  
St. Petersburg, Russland  
1.1.2000–31.12.2000  
Arbeitsgebiet: III-V Epitaxie

## Mitarbeit in Gremien

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

Deutsche Elektrotechnische Kommission DKE  
- Komitee 373: Photovoltaische  
Solarenergiesysteme  
- Komitee 221: Elektrische Anlagen  
von Gebäuden

Deutsche Elektrotechnische Kommission DKE  
- Komitee 384: Brennstoffzellen

Deutsche Gesellschaft für Chemisches  
Apparatwesen, Chemische Technik und  
Biotechnologie Dechema e.V.  
- Arbeitsausschuss »Elektrochemische Prozesse«

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

Deutsche Gesellschaft für Psychologie  
- Fachausschuss »Umweltpsychologie«

Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie DGS  
- Vorstand der Sektion Südbaden

Deutsche Physikalische Gesellschaft  
- Arbeitskreis »Energie«

Deutscher Wasserstoff-Verein

Deutsches Flachdisplay-Forum

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

European Cooperation for Space Standardisation  
ECSS  
- Working Group »Solar Cell Standard«

European Fuel Cell Group

European Renewable Energy Centres (EUREC)  
Agency  
- President

Fachverband Transparente Wärmedämmung e.v.  
- Arbeitskreis »Normung«

Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der  
angewandten Forschung e.V. FhG  
- Hauptkommission

Hahn-Meitner-Institut HMI  
- Wissenschaftlicher Beirat

Institut für Solare Energieversorgungstechnik  
ISET  
- Wissenschaftlicher Beirat

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

International Solar Energy Society ISES  
- Board of Directors

ISO/TC 197 Hydrogen Technologies  
- Normenausschuss »Gastechnik (NA Gas)«

»Solar Energy«, Pergamon Press/Elsevier  
- Editor-in-Chief

Verein Deutscher Elektrotechniker  
- ETG-Fachausschuss »Brennstoffzellen«

Verein Deutscher Ingenieure VDI  
- Fachausschuss »Brennstoffzellen«

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

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

Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung  
Globale Umweltveränderungen  
- Mitglied

Zentrum für Solarenergie und Wasserstoff ZSW  
- Kuratorium

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

OTTI Technologie-Kolleg Regensburg  
6. Symposium Licht  
Staffelstein, Kloster Banz, 27./28.1.2000

OTTI Energie-Kolleg Regensburg  
Fachseminar »Photovoltaisch versorgte Geräte und Kleinsysteme«  
Freiburg, 2./3.2.2000

OTTI-Energie-Kolleg Regensburg  
15. Symposium Photovoltaische Solarenergie  
Staffelstein, Kloster Banz, 15.-17.3.2000

2<sup>nd</sup> Workshop on Light Degradation of Carrier Lifetime in Cz-Si Solar Cells  
Glasgow, United Kingdom, 3.5.2000

OTTI Technologie-Kolleg Regensburg  
10. Symposium Thermische Solarenergie  
Staffelstein, Kloster Banz, 10.-12.5.2000

OTTI Energie-Kolleg Regensburg  
Fachseminar »Photovoltaik-Anlagen«  
Freiburg, 23./24.5.2000

Monitoring  
Hamm, 16./17.11.2000

BMWi Projekt »SolarBau: MONITOR«  
Integrale Planung und Architektur  
Seminare  
Bonn, St. Augustin, 17/18.11.2000

Materialien in Solarkollektoren  
Symposium  
Salzburg, Österreich, 24.11.2000

Arbeitsgemeinschaft Erneuerbare Energien AEE  
Institut für Solartechnik SPF  
Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme ISE  
Materialien und Komponenten in Solaranlagen  
Tagung  
Salzburg, Österreich, 24.11.2000

## Vorlesungen und Seminare

Prof. Joachim Luther  
Photovoltaische Energiewandlung,  
Vorlesung SS 00  
Solarthermische Energiewandlung,  
Vorlesung WS 00/01  
Solare Energiekonversion,  
Oberseminar SS 00, WS 00/01  
Universität Freiburg, Fakultät für Physik

Prof. Roland Schindler  
Photovoltaik Teil I und II,  
Vorlesung WS 99/00, SS 00  
FernUniversität Hagen

Dr.-Ing. Heribert Schmidt  
Photovoltaik-Systemtechnik,  
Vorlesung SS 00  
Universität Karlsruhe

Dr. Petra Schweizer-Ries  
Gemeinschaftliche Nutzung von Ressourcen:  
Von sozial-ökologischer Dilemma-Forschung  
bis hin zur Gemeingutforschung,  
Seminar SS 00  
Universität Zürich, Umweltpsychologie

Prof. Wolfram Wettling  
Halbleiter-Technologie und -Bauelemente,  
Vorlesung WS 00/01  
Universität Freiburg, Fakultät für Physik

Priv. Doz. Dr. Gerhard Willeke  
Grundlagen der Halbleitertechnologie,  
Vorlesung in englischer Sprache WS 99/00  
Universität Konstanz, Fakultät für Physik

Priv. Doz. Dr. Volker Wittwer  
Innovative Energiesysteme,  
Vorlesung SS 00 und Seminar WS 00/01  
Universität Freiburg, Fakultät für Angewandte  
Wissenschaften, Institut für Mikrosystemtechnik  
IMTEK

## Messebeteiligungen

Industrierausstellung im Rahmen des  
15. Symposiums Photovoltaische Solarenergie  
Staffelstein  
Staffelstein, Kloster Banz, 15.-17.3.2000

light+building  
Frankfurt, 19.-23.3.2000

Hannover Messe Industrie 2000  
Beteiligung am Gemeinschaftsstand  
»Oberflächentechnik« der Fraunhofer-  
Gesellschaft  
Beteiligung am Gemeinschaftsstand  
»Wasserstoff- und Brennstoffzellen-  
technologien«  
Hannover, 20.-25.3.2000

Sustainable Building 2000  
Maastricht, Niederlande, 22.-25.5.2000

Intersolar 2000  
Freiburg, 7.-9.7.2000

Glasstec  
Düsseldorf, 24.-28.10.2000

Intelligent Building Design  
Stuttgart, 10/11.11.2000

MegaWatt  
Gelsenkirchen, 24./25.11.2000

## Patente

### Erteilte Patente

Klaus Preiser, Jérôme Kuhmann  
»Vorrichtung zum Überprüfen von autonomen Solaranlagen«

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

Prof. Adolf Goetzberger  
»Sonnenschutzverglasung«

Prof. Adolf Goetzberger  
»Anordnung für Lichtleitsysteme«

Dr. Peter Apian-Bennewitz  
»Projektionssystem«

Dr. Wilhelm Warta, Daniel Biró  
»Halbleiter-Anordnung und Verfahren zum Passivieren der Oberfläche eines Halbleitermaterials«

Konrad Lustig  
»Wärmetauschereinheit sowie Verfahren zur Herstellung einer Wärmetauschereinheit«

### Eingereichte Patente

Dr. Peter Nitz, Wolfgang Graf, Michael Wagner, Wolfgang Schnell, Rainer Lebacher, Clemens Roch  
»Einsatz von kondensatempfindlichen niedrigemittierenden Schichten und Vorrichtung zur Vermeidung von Kondensation in Hohlräumen doppel- oder mehrwandiger Hüllen beheizbarer Räume«

Michael Hermann, Peter Schossig, Carsten Hindenburg  
»Aktives thermisches Bauelement mit Phasenwechselmaterial«

Uli Röltgen, Norbert Wiesheu, Dr. Andreas Docter  
»Autothermer Reformierungsreaktor«

Dr. Andreas Georg, Anneke Hauch, Dr. Elias Stathatos, Prof. Panagiotis Lianos, Nava Grosej, Dr. Urska Lavrencic, Prof. Boris Orel  
»Ionenleiter für farbstoffsensibilisierte Solarzellen«

Dr. Andreas Bett, Dr. Siegbart Kunz, Dr. Jochen Buschmann, Christian Braun, Harald Humpfer, Volker Geneiß  
»Implantierte Feld- und Temperatursonde für EMV-Messungen«

Prof. Adolf Goetzberger, Thomas Kuckelkorn  
»Tageslichtelement auf CPC-Basis«

Michael Köhl, Klaus Rose, Matthias Heinrich, Karl-Heinz Haas  
»Multifunktionelle superphobe Schichten«

Orlando Parodi, Ulrike Seibert, Konstanze Fleige  
»WATER Pumping and Purification System« (WATERpps)

Daniel Biró  
»Kontaminationsarmer Transport durch eine Hochtemperaturzone im Hubbalkenverfahren mit flexiblen Balken«

Dr. Gerhard Willeke, Daniel Kray  
»Schädigungsfreie Waferherstellung«

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

Michael Köhl, Franz Brucker, Volker Lieske  
»Verfahren zur Verbesserung der biokatalytischen Stoffumsetzung«

Dirk Uwe Sauer, Rudi Kaiser  
»Konzept zum parallelen Betrieb verschiedener Speichertechnologien in autonomen Stromversorgungen«

Volkmar Boerner, Dr. Andreas Gombert, Dr. Benedikt Bläsi  
»Verfahren zur Herstellung von Licht streuenden Elementen mit nicht gaußförmigem Streuprofil«

Dr. Andreas Gombert, Michael Niggemann, Hansjörg Lerchenmüller  
»Verfahren und Vorrichtung zur Herstellung von Koppelgittern für integriert-optische Bauelemente«

## Promotionen

Benedikt Bläsi  
»Holographisch hergestellte Antireflexoberflächen für solare und visuelle Anwendungen«  
Dissertation Albert-Ludwigs-Universität Freiburg Freiburg, 2000

Frank Dimroth  
»Metallorganische Gasphasenepitaxie zur Herstellung von hocheffizienten Solarzellen aus III-V Halbleitern«  
Dissertation Universität Konstanz Konstanz, 2000

Peter Hahne  
»Innovative Druck- und Metallisierungsverfahren für die Solarzellentechnologie«  
Dissertation Fern-Universität Hagen Hagen, 2000

Ralf Preu  
»Innovative Produktionstechnologien für kristalline Silicium-Solarzellen«  
Dissertation Fernuniversität Hagen Hagen, 2000

Sebastian Schaefer  
»Plasmaätzen für die Photovoltaik – Plasmasysteme und -prozesse für die Herstellung von kristallinen Siliciumsolarzellen«  
Dissertation Universität Konstanz Konstanz, 2000

Stefan Reber  
»Electrical Confinement for the Crystalline Silicon Thin-Film Solar Cell on Foreign Substrate«  
Dissertation Universität Mainz Mainz, 2000

Tim Meyer  
»DC/DC-Wandler mit kleiner Eingangsspannung für photovoltaische, elektrochemische und thermoelektrische Zellen«  
Dissertation Universität Karlsruhe Karlsruhe, 2000

## Pressearbeit

### Presseinformationen

[http://www.ise.fhg.de/Public\\_Relations/pi\\_german.html](http://www.ise.fhg.de/Public_Relations/pi_german.html)

- |   |   |
|---|---|
| <p>7.2.2000<br/>Mottenaugen und Lotusblätter: Funktionale Oberflächen durch Mikrostrukturierung<br/>Hannover Messe 2000, Halle 6/F 04</p> <p>7.2.2000<br/>Mini-Brennstoffzellen für portable elektronische Geräte<br/>Hannover Messe 20.-25.3.2000<br/>Halle 18 / 1.OG J 04</p> <p>21.3.2000<br/>Vorbildliche Technik vorbildlich kommuniziert<br/>Sonnenenergie auf Kirchendächern</p> <p>30.3.2000<br/>Der Balkon wird zum Wintergarten<br/>Beispielhafte Hochhaussanierung</p> <p>31.3.2000<br/>30 % erneuerbare Energie im Regiostrom<br/>Fraunhofer ISE legt Energiebericht 1999 vor</p> <p>4.5.2000<br/>Leitprojekt EDISON für das intelligente Stromnetz der Zukunft<br/>Neue Konzepte für einen globalen Wachstumsmarkt</p> <p>26.7.2000<br/>Kleine Geräte – großer Markt<br/>Fraunhofer-Institut entwickelt neue Photovoltaik-Produkte</p> <p>17.7.2000<br/>Pressestelle Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie BMWi<br/>»Renovieren mit der Sonne...« - Ein Handbuch für Architekten, Planer und Immobilienbesitzer</p> <p>7.8.2000<br/>Solare Stromversorgung fern vom Netz<br/>Praxistipps für einen Milliardenmarkt</p> <p>1.9.2000<br/>Solarzellen-Bestwert am Fraunhofer ISE<br/>Monolithische Tandem-Konzentratorzellen erzielen über 30 % Wirkungsgrad</p> <p>9.10.2000<br/>Zukunftsfähiges Wohnen in Neuenburg<br/>1-Liter-Solarhaus mit innovativer Kompakthaustechnik</p> | <p>20.10.2000<br/>Photovoltaik-Forscher am Fließband<br/>Das Labor- und Servicecenter Gelsenkirchen des Fraunhofer ISE</p> <p>8.12.2000<br/>Kalibrierung reduziert Kosten von Photovoltaikstrom<br/>Fraunhofer ISE-Messtechnik für breite Anwendung</p> |
|---|---|

## Vorträge

Vorträge, deren Manuskript veröffentlicht wurde, finden Sie unter »Veröffentlichungen«

- Adib, R.  
»The Vision: Financial Sustainable Rural Electrification. The Performance: Microfinance Institutions and their Technology«, Proceedings 16th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Glasgow, United Kingdom, 1.-5.5.2000, Poster
- Agert, C.  
»MOVPE GaSb-basierender HL und photovoltaische Anwendungen«, Seminar, Universität Erlangen, Erlangen, 19.11.1999
- Agert, C.  
»MOVPE of GaSb, (AlGa)Sb and (AlGa)(AsSb) in a Multiwafer Planetary Reactor«, Lincoln Laboratory, MIT, Boston, USA, 10.8.2000; Bandwidth Semiconductor LLC, Boston, USA, 11.8.2000; NREL, Golden, USA, 21.8.2000; Sandia National Lab., Albuquerque, USA, 23.8.2000; EMCORE Photovoltaics Division, Albuquerque, USA, 24.8.2000
- Agert, C.  
»MOVPE von GaSb-basierenden III-V-Halbleitern im Planetenreaktor«, Seminar Materialforschungszentrum FMF Freiburg, Freiburg, 17.11.2000
- Bett, A.W.; Sulima, O.; Dimroth, F.; Wettling, W.; Willeke, G.  
»Tandem- und Tripel-Solarzellen aus III-V-Verbindungen für Anwendungen in Konzentrator- und Thermophotovoltaik-Systemen«, 9. Kolloquium Materialforschungszentrum FMF Freiburg, Breisach, 3.-4.11.2000
- Bopp, G.  
»Netzferne PV-Versorgung am Watzmannhaus«, Technologiebörse Bau, Congress Center, Nürnberg, 27.1.2000

- Bopp, G.  
»Ländliche Energieversorgung und die Perspektiven der Photovoltaik«, 12. Internationales Sonnenforum, Freiburg, 7.7.2000
- Borchert, D.  
»ITO als Top-Coating für Silizium«, 2. Workshop TCO für Dünnschicht-Solarzellen, Forschungsverbund Sonnenenergie FVS, Jülich, 10.-11.2.2000
- Borchert, D.  
»Kristalline Silizium-Solarzellen: Materialien, Herstellung und Charakterisierung«, Messe megaWatt, Gelsenkirchen, 24.-25.2000
- Erge, T.  
»Solar Electricity from a Thousand Roofs«, PV Field Trial Consultation Meeting, Watford, United Kingdom, 3.4.2000
- Ferber, J.<sup>1</sup>; Kern, R.<sup>1</sup>; Luther, J.  
»Investigation of the Long-Term Stability of Dye-Sensitized Solar Cells«, Workshop Quantsol2000, Wolkenstein, Italy, 11.-18.3.2000 (!: Materialforschungszentrum FMF, Freiburg)
- Glunz, S.  
»Silicon Solar Cell Research at Fraunhofer ISE«, Seminar bei Fa. Samsung, Suwon, Korea, 7.11.2000
- Gombert, A.  
»Neue Anwendungen nanostrukturierter Oberflächen«, NATI-Seminar Kunststofftechnik, FH Osnabrück, 20.6.2000
- Hahne, P.  
»Drucktechnologien für die Solarzellenfertigung«, SolPro III Expertentreffen Druck, Firma Merck, Darmstadt, 30.5.2000
- Heinzel, A.  
»Brennstoffzellen – ein neuer Energiewandler für mobile, stationäre und portable Anwendungen«, Messe Zürich, 8.2.2000
- Heinzel, A.  
»Brennstoffzellen mit variabler Ausgangsspannung zur Energieversorgung elektronischer Geräte«, Hannover Messe 2000, Hannover 20.-25.3.2000
- Heinzel, A.  
»Kleine Brennstoffzellen für den mobilen Einsatz« VDI-VDE-Tagung Sensorik, Bad Kissingen, 3.-4.5.2000
- Heinzel, A.  
»Brennstoffzellen-Technologien und Stand der Entwicklung«, WinGas-Forum, Kassel, 6.-7.9.2000

- Heinzel, A.  
»Brennstoffzellentechnologie«, Hyforum 2000, München, 11.-15.9.2000
- Heinzel, A.; Rampe, T.; Vogel, B.<sup>1</sup>; Haist, A.; Hübner, P.  
»Reforming of Fossil Fuels – R&D at Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems«, Seminar on Fuel Cells 2000, Portland, USA, 30.10.-2.11.2000, Poster (!: DaimlerChrysler AG, Ulm)
- Heinzel, A.  
»Neue Gesamtenergieversorgungskonzepte für Gebäude«, 5. Kasseler Symposium Energie-Systemtechnik, Kassel, 9.-10.11.2000
- Heinzel, A.  
»Brennstoffzellen – attraktive Energiewandler für den stationären, mobilen und portablen Einsatz« Zukunftstag WVIB Freiburg, 16.11.2000, Freiburg
- Heinzel, A.  
»Brennstoffzellen im kleinen Leistungsbereich – Portable Anwendungen«, BASF Ludwigshafen, 13.12.2000
- Hindenburg, C.  
»Solargestützte Klimatisierung«, Thermodynamikseminar, Technische Universität München, München, 28.7.2000
- Hoffman, V.U.  
»Entwicklungsstand der Photovoltaik in Deutschland«, Klausurveranstaltung Visionäre Dachsysteme, Feusisberg, Switzerland, 19.1.2000
- Hoffman, V.U.  
»Photovoltaik-Vorhaben an Schulen – Erfahrungen und Ergebnisse aus SONNEonline und Sonne in der Schule«, Vortrag auf der Informationsveranstaltung für Lehrer, Neubrandenburg, 20.3.2000
- Hoffmann, V.U.  
»Grundlagen der Photovoltaik«, Fortbildungsseminar: Bauen mit Solartechnik für Architekten, Leipzig, 7.4.2000 und 17.11.2000
- Hoffmann, V.U.  
»Photovoltaik in Gebäuden – Techniken, Auslegung, Beispiele«, Fortbildungsseminar: Bauen mit Solartechnik für Architekten, Leipzig, 8.4.2000 und 18.11.2000
- Hoffmann, V.U.  
»Grundlagen der Photovoltaik – Einsatzgebiete und Marktsituation sowie Betriebserfahrungen«, Fortbildungskurs „Energie- und Gebäudemanagement“, Büro für Umweltpädagogik, Freiburg, 15.5.2000

- Hoffmann, V.U.  
»Erfahrungen mit PV-Schulprojekten – SONNEonline und Sonne in der Schule«, 12. Internationales Sonnenforum, Freiburg, 7.7.2000
- Hoffmann, V.U.  
»Freier Strommarkt – was nun?«, öffentliche Podiumsdiskussion, Ehrenstetten, 17.5.2000
- Hube, W.; Wittwer, Ch.  
»Entwicklung von neuartigen Regelungskonzepten mit Hilfe der Simulationsumgebung ColSim und deren Validierung im Feldtest«, 10. Symposium Thermische Solarenergie, OTTI-Technologie-Kolleg, Staffelstein, 10.-12.5.2000
- Hube, W.; Wittwer, Chr.  
»Experimentelle Untersuchung von neuartigen Regelungskonzepten für aktive thermische Systeme an einem Mehrfamilienhaus«, 12. Internationales Sonnenforum, 6.-7.7.2000
- Kiefer, K.  
»Photovoltaik-Strom von der Sonne, Karlsruher Solaranlagen im Vergleich - Technik, Ergebnisse und Bewertung«, Kundenberatung Stadtwerke Karlsruhe, Karlsruhe, 9.5.2000
- Kiefer, K.  
»Strom von der Sonne«, Informationsveranstaltung der Gemeinde Bad Krozingen, 29.9.2000
- Köhl, M.  
»Einsatzmöglichkeiten von polymeren Materialien in der Solarthermie«, Fa. Bayer, Leverkusen, 9.3.2000
- Köhl, M.  
»New IEA-SHC Task: Performance of Solar Façade Components«, EuroSun 2000, 3rd ISES-Europe Solar Congress, Copenhagen, Denmark, 19.-22.6.2000
- Köhl, M.  
»Solar Building Façades«, EuroSun 2000, 3rd ISES-Europe Solar Congress, Copenhagen, Denmark, 19.-22.6.2000
- Köhl, M.  
»Durability of Solar Energy Materials«, WREC, Brighton, United Kingdom, 1.-5.7.2000
- Köhl, M.  
»Singulett-Sauerstoff und Wasser«, Kolloquium des Fraunhofer-Instituts für Grenzflächen und Bioverfahrenstechnik IGB, Stuttgart, 17.7.2000

- Köhl, M.  
»Neue Materialien für die Solar-technik: Selektive Solarabsorber – Schichten für unverglaste Fassaden«, Solar 2000, Gleisdorf, Austria, 4.-9.9.2000
- Köhl, M.  
»Selective Solar Absorbers – An Introduction«, Angström-Laboratorium der Universität Uppsala, Uppsala, Sweden, 29.9.2000
- Köhl, M.  
»New IEA-SHC Task: Performance of Solar Façade Components«, CEN-Star Workshop, Paris, 6.10.2000
- Köhl, M.  
»Solare Energietechnik, Zukunftsmarkt für Kupferprodukte?«, Outokumpo-Tag, Expo, Hannover, 16.10.2000
- Köhl, M.  
»Singulett-Sauerstoff und Wasser«, Kolloquium des Instituts für Bodenkunde am Umweltforschungszentrum Halle-Leipzig, Leipzig, 20.10.2000
- Kuckelhorn, T.; Goetzberger, A.; Herzog, Th.  
»CPC-Strukturen zur Tageslichtnutzung«, 6. Symposium Innovative Lichttechnik in Gebäuden, OTTI-Technologie-Kolleg, Staffelstein, 27.-28.1.2000
- Kuhmann, J.  
»Elektrische Energiespeicher für Geräte und Kleinsysteme«, Seminar PVG, Freiburg, 2.2.2000
- Kuhmann, J.  
»Lithium-Ionen-Akkus für Photovoltaik-Geräte der Zukunft?«, D&E Entwicklungsforum: Batterien, Ladekonzepte und Stromversorgungsdesign, München, 28.3.2000
- Kuhn, T.; Platzer, W.; Eder, K.<sup>1</sup>; Sack, N.<sup>1</sup>; Beck, A.<sup>2</sup>; Hauck, M.<sup>2</sup>; Haug, I.<sup>2</sup>; Wirth, H.<sup>3</sup>; Simon, R.<sup>4</sup>; Kasper, F.J.<sup>5</sup>  
»Reges-Projektpräsentation«, 6. Symposium Innovative Lichttechnik in Gebäuden, OTTI-Technologie-Kolleg, Staffelstein, 27.-28.1.2000, Poster  
(<sup>1</sup>: Institut für Fenstertechnik e.V., Rosental)  
(<sup>2</sup>: Bayerisches Zentrum für Angewandte Energieforschung ZAE e.V., Würzburg)  
(<sup>3</sup>: OKALUX Kapillarglas GmbH, Marktheidenfeld-Altfeld)  
(<sup>4</sup>: WAREMA Renkhoff GmbH, Marktheidenfeld-Altfeld)  
(<sup>5</sup>: Grünzweig + Hartmann AG, Ladenburg)
- Laukamp, H.  
»Elektrische Sicherheit, Errichtungsbestimmungen, Blitzschutz«, Fachseminar Photovoltaik-Anlagen, OTTI-Technologie-Kolleg, Freiburg, 23.-24.5.2000
- Lerchenmüller, H.; Gombert, A.  
»Mikrostrukturierte Oberflächen«, Hannover Messe, Hannover, 23.3.2000
- Lustig, K.; Rommel, M.; Stankowski, D.; Wittwer, Chr.; Fink, C.<sup>1</sup>; Hausner, R.<sup>1</sup>  
»Experimentelle Untersuchungen zum Stillstandverhalten solarthermischer Anlagen«, 10. Symposium Thermische Solarenergie, OTTI-Technologie-Kolleg, Staffelstein, 10.-12.5.2000,  
(<sup>1</sup>: Arbeitsgemeinschaft Erneuerbare Energie AEE, Gleisdorf, Austria)
- Luther, J.  
»Energiegewinnung aus Sonnenlicht«, Workshop Optische Technologien für das 21. Jahrhundert, VDI, Dresden-Radebeul, 23.-24.11.1999
- Luther, J.  
»Photovoltaische Energiekonversion – Status, Zukunft, Visionen«, Hahn-Meitner-Institut, Berlin, 8.12.1999
- Luther, J.  
»Zukünftige Nutzung erneuerbarer Energiequellen«, Workshop Vision Keramik 2000+ Dresden, 13.1.2000
- Luther, J.  
»Technische Entwicklungen im Bereich Photovoltaik und Solarthermie«, 25 Jahre Bundesverband Solarenergie, Berlin, 19.5.2000
- Luther, J.  
»Photovoltaische Energieversorgung – Stand der Technik und Aussichten«, Deutsche Physikalische Gesellschaft, Magnus Haus, Berlin, 23.5.2000
- Luther, J.  
»Solar Electricity«, EuroSun 2000, 3rd ISES-Europe Solar Congress, Copenhagen, Denmark, 19.-22.6.2000
- Luther, J.; Voss, K.  
»Solares Bauen – Konzepte und Märkte«, Solarimpulse Freiburg 2000, Freiburg, 5.-9.7.2000
- Müller, M.; Hebling, C.; Heinzel, A.  
»Mini-Brennstoffzellen für portable elektronische Geräte«, Hannover Messe, Hannover, 20.-25.3.2000
- Platzer, W.  
»Innovationen in der Fassade. Elektrochemische, gasochrome und thermotrope Verglasungen«, Seminar, Fachhochschule Basel, Basel, Switzerland, 23.5.2000
- Parodi, O.  
»Clean Water with Clean Energy. Drinking Water Provision in Remote Regions with Decentralised Solar Power Supply«, Seminar for Renewable Energies and Infrastructure, Arica, Chile, 24.11.1999
- Rau, A.; Heinzel, A.  
»Reversibles Electrolyse-/Brennstoffzellen-System zur Energiespeicherung«, Tagung der Gesellschaft Deutscher Chemiker e.V., Fachgruppe Angewandte Elektrochemie, Ulm, 27.-29.9.2000, Poster
- Rommel, M.; Hermann, M.; Koschikowski, J.; Schäfer, A.  
»SODESA: Entwicklung von korrosionsfreien Kollektoren zur Meerwasserentsalzung«, 10. Symposium Thermische Solarenergie, OTTI-Technologie-Kolleg, Staffelstein, 10.-12.5.2000
- Roth, W.  
»Prinzipieller Systemaufbau, Anwendungsbeispiele und Marktpotenzial photovoltaisch versorgter Geräte und Kleinsysteme«, Fachseminar Photovoltaisch versorgte Geräte und Kleinsysteme, OTTI-Technologie-Kolleg, Freiburg, 2.-3.2.2000
- Roth, W.  
»Grundlagen zur Solarzelle, zum Modul und zum Solargenerator«, Fachseminar Photovoltaisch versorgte Geräte und Kleinsysteme, OTTI-Technologie-Kolleg, Freiburg, 2.-3.2.2000
- Roth, W.  
»Mit der Sonne telefonieren: Solargeräte für den privaten und kommerziellen Gebrauch«, ÖKO 2000 und ÖKO BAU, Freiburg, 14.5.2000
- Roth, W.  
»Photovoltaische Energieversorgungssysteme – Klimatische Randbedingungen, prinzipieller Systemaufbau und Einsatzmöglichkeiten«, Fachseminar Photovoltaik-Anlagen, OTTI-Technologie-Kolleg, Freiburg, 23.-24.5.2000
- Roth, W.  
»Elektrische Eigenschaften und Verschaltung von Solargeneratoren«, Fachseminar Photovoltaik-Anlagen, OTTI-Technologie-Kolleg, Freiburg, 23.-24.5.2000
- Fakten im Überblick
- Roth, W.  
»Von der Küchenwaage bis zum Rasenmäher – Solarprodukte für den privaten und kommerziellen Gebrauch«, Badische Zeitung, Vortragsreihe BZ-Ratgeber, Freiburg, 5.10.2000
- Sauer, D.U.  
»PV in netzfernen Anwendungen und Batterien«, VDE Mannheim, Mannheim, 12.4.2000
- Sauer, D.U.  
»Speichertechnologien – eine Übersicht«, DGS Südhessen, Frankfurt a/M., 15.6.2000
- Sauer, D.U.; Bopp, G.  
»Batteries in Hybrid Systems«, Village Power – Empowering People and Transforming Market, Washington, Poster, 4.-8.12.2000
- Schäfer, A.; Rommel, M.  
»Neue Messeinrichtung des Prüfzentrums für thermische Solaranlagen im Hinblick auf die neue Europäische Kollektornorm DIN EN 12975-1 und 2«, 10. Symposium Thermische Solarenergie, OTTI-Technologie-Kolleg, Staffelstein, 10.-12.5.2000, Poster
- Schindler, R.  
»Erneuerbare Energien«, Technische Universität Monterrey, Guadalajara, Mexico, 10.11.2000
- Schindler, R.  
»Solarenergie«, Universität von Colima, Mexico, 11.11.2000
- Schmidt, H.  
»Kleine Spannungen, hohe Ströme – Neues Konzept für Spannungswandler«, VDE-Bezirk Kurpfalz e.V., Mannheim, 8.11.2000
- Schossig, P.; Henning, H.M.  
»Mikroverkapselte Phasenwechselmaterialien in Wandverbundsystemen«, 10. Symposium Thermische Solarenergie, OTTI-Technologie-Kolleg, Staffelstein, 10.-12.5.2000, Poster
- Sölter, J.; Dicker, J.; Schumacher, J.; Glunz, S.W.; Warta, W.  
»Charakterisierung von industrie-relevanten rückseitenkontaktierten Silizium-Solarzellen«, Tagungsband, DPG-Frühjahrstagung, Regensburg, 27.-31.3.2000

- Steinhüser, A.  
»Grundlagen zur Nutzung der Sonnenenergie«, Fachseminar Photovoltaisch versorgte Geräte und Kleinsysteme, OTTI-Technologie-Kolleg, Freiburg, 2.-3.2.2000
- Steinhüser, A.  
»Aspekte zur Entwicklung von PV-Geräten«, Fachseminar Photovoltaisch versorgte Geräte und Kleinsysteme, OTTI-Technologie-Kolleg, Freiburg, 2.-3.2.2000
- Steinhüser, A.  
»Kompakte PV-Hybridssysteme«, Fachseminar Photovoltaisch versorgte Geräte und Kleinsysteme, OTTI-Technologie-Kolleg, Freiburg, 2.-3.2.2000
- Steinhüser, A.  
»Computerunterstützte Auslegung und Simulation von PV-Kleinsystemen«, Fachseminar Photovoltaisch versorgte Geräte und Kleinsysteme, OTTI-Technologie-Kolleg, Freiburg, 2.-3.2.2000
- Steinhüser, A.  
»Auslegung von Photovoltaik-Anlagen«, Fachseminar Photovoltaik-Anlagen, OTTI-Technologie-Kolleg, Freiburg, 23.-24.5.2000
- Steinhüser, A.  
»Kompakte PV-Hybridssysteme«, Vortrag im Rahmen der Vorlesung »Photovoltaik-Systemtechnik« an der Universität Karlsruhe, Karlsruhe, 25.7.2000
- Steinhüser, A.  
»Computerunterstützte Auslegung von PV-Kleinsystemen«, Vortrag im Rahmen der Vorlesung »Photovoltaik-Systemtechnik« an der Universität Karlsruhe, Karlsruhe, 25.7.2000
- Willeke, G.  
»Solarzellen – Stand der Technik und Trends«, Universität Karlsruhe, Karlsruhe, 21.2.2000
- Willeke, G.  
»Photovoltaik – Potenziale, Nachhaltigkeitschancen und Konflikte«, HGF-Experten Workshop, München, 22.11.2000

- Wittwer, Chr.  
»Regelungssystementwicklung mit einer virtuellen Testumgebung auf Basis der Simulationsumgebung ColSim«, 10. Symposium Thermische Solarenergie, OTTI-Technologie-Kolleg, Staffelstein, 10.-12.5.2000
- Wittwer, V.  
»Nano- and Micro-structured Functional Surfaces«, the 4th Sino-German Symposium of Solid State Physics, Tonyji-University, Shanghai, China, 22.-25.10.2000

## Veröffentlichungen

- Adib, R.  
»Crédits à l'Electricité Rurale«, Echos du Cota, N°85 (1999), Brussels, Belgium, 14-16
- Adib, R.  
»Microfinance - a Way to surpass the Obstacles of Financing Rural Electrification with Photovoltaics«, Proceedings of Seminar on Rural Electrification in Africa, Johannesburg, South Africa, 17.-18.4.2000, CD-ROM
- Agert, C.; Dimroth, F.; Schubert, U.; Bett, A.W.; Leu, S.; Stolz, W.  
»High-Efficiency (AlGa) As/ GaAs Solar Cells Grown by MOVPE Using TBAs and Low Temperatures and Low V/III-Ratios«, in: Solar Energy Materials & Solar Cells, Vol. 66 (2001), 637-644
- Agert, C.; Dimroth, F.; Schubert, U.; Bett, A.W.; Smith, L.<sup>1</sup>; Rushworth, S.1; Kanjolia, R.<sup>1</sup>  
»Low Oxygen Levels ~  $10^{17} \text{ cm}^{-3}$  in MOVPE Grown  $\text{Al}_{0.8}\text{Ga}_{0.2}\text{As}$ «, Tagungsheft 14. Workshop des DGKK-Arbeitskreises Epitaxie von III-V Halbleitern, Stuttgart, 8.-9.12.1999  
(<sup>1</sup>: Epichem Ltd., Merseyside, United Kingdom)
- Agert, C.; Lanyi, A.; Bett, A.W.  
»Wachstumsbedingungen GaSb-basierender Materialien im Multiwafer-Planetenreaktor«, Tagungsheft 14. Workshop des DGKK-Arbeitskreises Epitaxie von III-V Halbleitern, Stuttgart, 8.-9.12.1999
- Agert, C.; Lanyi, P.; Sulima, O.V.; Stolz, W.; Bett, A.W.  
»Growth of Antimony-Based Materials in a Multiwafer Planetary MOVPE-Reactor for Photovoltaic Applications«, IEE Proceedings – Optoelectronics: Materials and Devices, Vol. 147, (3/2000), 188-192
- Andreev, V.M.<sup>1</sup>; Bett, A.W.; Dimroth, F.; Hein, M.; Letay, G.; Rummyantsev, V.D.<sup>1</sup>; Shvarts, M.Z.<sup>1</sup>; Sulima, O.V.  
»Concentrator Array Based on GaAs Cells and Fresnel Lens Concentrator«, Proceedings 16th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Glasgow, United Kingdom, 1-5.5.2000, im Druck  
(<sup>1</sup>: Ioffe Physico-Technical Institute, St. Petersburg, Russia)
- Andreev, V.M.<sup>1</sup>; Rummyantsev, V.D.<sup>1</sup>; Shvarts, M.Z.<sup>1</sup>; Bett, A.W.; Dimroth, F.; Hein, M.; Letay, G.; Sulima, O.V.  
»All-Glass Terrestrial Concentrator Modules Based on Composite Fresnel Lenses and III-V Solar Cells«, Proceedings 28th IEEE Photovoltaic Specialist Conference, Anchorage, USA, 17.-22.9.2000, im Druck  
(<sup>1</sup>: Ioffe Physico-Technical Institute, St. Petersburg, Russia)
- Bau, S.; Zimmermann, W.; Dicker, J.; Schumacher, J.  
»Großflächig rekristallisierte Si-Schichten für Kristalline-Dünnschichtszellensolarzellen«, Tagungsband, Frühjahrstagung der Deutschen Physikalischen Gesellschaft DPG, Dresden, 20.-24.3.2000, 321
- Bendel, Ch.<sup>1</sup>; Landau, M.<sup>1</sup>; Roth, W.; Steinhüser, A.  
»Photovoltaische Produktionsentwicklungen mit kleinen und mittleren Unternehmen (KMU)«, Tagungsband 15. Symposium Photovoltaische Solarenergie, OTTI-Energie-Kolleg, Staffelstein, 15.-17.3.2000, 216-222  
(<sup>1</sup>: Institut für Solare Energieversorgungstechnik ISET, Kassel)
- Bett, A.W.; Dimroth, F.; Meusel, M.; Schubert, U.; Adelhelm, R.  
»Development of  $\text{Ga}_{5.51}\text{In}_{0.49}\text{P}$ /GaAs Tandem Solar Cells on an Industrial Size MOVPE Reactor«, Proceedings 16th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Glasgow, United Kingdom, 1.-5.5.2000, im Druck
- Bett, A.W.; Dimroth, F.; Lange, G.; Meusel, M.; Beckert, R.; Hein, M.; Riesen, S.v.; Schubert, U.  
»30 % Monolithic Tandem Concentrator Solar Cells for Concentrations Exceeding 1000 Suns«, Proceedings 28th IEEE Photovoltaic Specialist Conference, Anchorage, USA, 17.-22.9.2000, im Druck
- Bett, A.W.  
»Tandem and Concentrator Cells«, Proceedings PVTEC Super-High Solar Cell Efficiency Research Committee Meeting, Tokyo, Japan, 16.11.2000, im Druck
- Bläsi, B.; Boerner, V.; Gombert, A.; Heinzl, A.; Kübler, V.; Wittwer, V.  
»Combined Functional Surface-Relief Structures for Various Applications« Proceedings 10th International Colloquium on Surfaces, Chemnitz, 31.1.-2.2.2000, 222-229

- Bläsi, B.; Lalanne, Ph.<sup>1</sup>;  
Rodier, J.-C.<sup>1</sup>; Gombert, A.  
»Surface Structures Produced by a Near-Field Process«, Proceedings 6th International Conference on Near Field Optics, University of Twente, the Netherlands, 27.-31.8.2000, 190  
(<sup>1</sup>: CNRS, Orsay, France)
- Boerner, V.; Bläsi, B.; Gombert, A.; Heinzel, A.; Kübler, V.; Popp, P.; Wittwer, V.  
»Large Area Surface-Relief Microstructures for Optical Applications«, Proceedings Micro Materials Conference »MicroMat2000«, Berlin, 17.-19.4.2000, im Druck
- Boerner, V.; Bläsi, B.; Gombert, A.; Heinzel, A.; Kübler, V.; Popp, P.; Wittwer, V.;  
»Holographic Surface-Relief Microstructures for Large Area Applications«, Proceedings, 1st European Topical Conference on Fabrication and Metrology in Nanotechnology, Copenhagen, Denmark, 28.-30.5.2000, 18-25
- Bopp, G.; Bonneviot, H.<sup>1</sup>;  
Hankins, M.<sup>2</sup>; Paradzik, T.<sup>3</sup>;  
Preiser, K.; Nuh, D.<sup>3</sup>; Rouvière, B.<sup>4</sup>  
»Datenbank von europäischen Herstellern und Distributoren sowie Komponententests für Solar Home Systeme (SHS)«, Tagungsband 15. Symposium Photovoltaische Solarenergie, OTTI-Energie-Kolleg, Staffelstein, 15.-17.3.2000, 377-381  
(<sup>1</sup>: IED, Paris, France)  
(<sup>2</sup>: ESD, Wiltshire, United Kingdom)  
(<sup>3</sup>: EETS, Cardiff, United Kingdom)  
(<sup>4</sup>: APEX, Laverune, France)  
(<sup>5</sup>: PSE Projektgesellschaft Solare Energiesysteme mbH, Freiburg)
- Bopp, G.; Bonneviot, H.<sup>1</sup>;  
Hankins, M.<sup>2</sup>; Paradzik, T.<sup>3</sup>;  
Preiser, K.; Nuh, D.<sup>4</sup>; Rouvière, B.<sup>5</sup>  
»Database of European Manufacturers and Distributors and Tests of Components for Solar Home Systems«, Proceedings 16th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Glasgow, United Kingdom, 1.-5.5.2000, im Druck  
(<sup>1</sup>: IED, Paris, France)  
(<sup>2</sup>: ESD, Wiltshire, United Kingdom)  
(<sup>3</sup>: PSE Projektgesellschaft Solare Energiesysteme mbH, Freiburg)  
(<sup>4</sup>: EETS, Cardiff, United Kingdom)  
(<sup>5</sup>: APEX, Laverune, France)
- Bopp, G.; Gabler, H.; Hille, G.; Puls, H.-G.; Rehm, M.; Sauer, D.U.; Schulz, M.; Schweizer-Ries, P.  
»Qualitätssicherung von photovoltaischen Energieversorgungssystemen«, Abschlussbericht für das BMBF Forschungsvorhaben 0329596 (6/2000), Freiburg
- Bopp, G.; Neufeld, R.; Senft, S.; Schulz, M.  
»Long-Term Operating Experience with Thirty Stand-Alone PV Systems«, Proceedings PV Hybrid Power Systems 2000 Conference, Aix-en-Provence, France, 7.-8.9.2000, im Druck
- Bopp, G.; Puls, H.-G.; Sauer, D.U.  
»TALCO – a New Technical and Least Cost Optimisation Tool«, Proceedings PV Hybrid Power Systems 2000 Conference, Aix-en-Provence, France, 7.-8.9.2000, im Druck
- Borchert, D.  
»Solarzellen – Technologien und Wirkungsgrade«, Elektor (März/2000), 19
- Bourdais, S.<sup>1</sup>; Reber, S.; Lautenschlager, H.; Hurre, A.; Sloui, A.<sup>1</sup>  
»Recrystallized Silicon Thin Film Solar Cells on Mullite Ceramic Substrates«, Proceedings 16th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Glasgow, United Kingdom, 1.-5.5.2000, im Druck  
(<sup>1</sup>: Laboratoire PHASE CNRS, Strasbourg, France)
- Bourdais, S.<sup>1</sup>; Slaoui, A.<sup>1</sup>; Beaucarne, G.<sup>2</sup>; Poortmans, J.<sup>2</sup>; Reber, S.  
»Deposited Polycrystalline Silicon Layers on Mullite Substrates for Solar Cells«, Proceedings 10th Workshop on Crystalline Silicon Solar Cell Materials and Processes, Copper Mountain Resort, Co, USA, 13.-16.8.2000, 133-134  
(<sup>1</sup>: Laboratoire PHASE CNRS, Strasbourg, France)  
(<sup>2</sup>: IMEC, Leuven, Belgium)
- Brunold, S.<sup>1</sup>; Frei, B.<sup>1</sup>;  
Carlsson, K.<sup>2</sup>; Köhl, M.  
»Round Robin on Accelerated Life Testing of Solar Absorber Surface Durability«, in: Solar Energy Materials and Solar Cells, Vol. 61, No. 3, 239-253  
(<sup>1</sup>: Solar Energy Testing and Researching Group, ITR, Rapperswil, Switzerland)  
(<sup>2</sup>: Swedish National Testing and Research Institute, Borås, Sweden)
- Bühning, A.; Russ, Chr.  
»Lüftungskompaktgeräte: Angebot, Erfahrungen und Weiterentwicklung«, Tagungsband 4. Passivhaus-Tagung, Kassel, 10.-11.3.2000, 49-58
- Bühning, A.; Russ, Chr.  
»Wärmeversorgung mit Lüftungs-Kompaktgeräten für Solar-Passivhäuser, Erfahrungen und Weiterentwicklung«, Tagungsband 10. Symposium Thermische Solarenergie, OTTI-Technologie-Kolleg, Staffelstein, 10.-12.5.2000, 35-41
- Bühning, A.  
»Lüftungs-Kompaktgeräte: Stand der Weiterentwicklung und Messungen im Einsatz«, Band der 20. Sitzung des Arbeitskreises »Kostengünstige Passivhäuser«, 11.5.2000 Darmstadt, 53-66
- Bühning, A.  
»Lüftungs-Kompaktgeräte: Angebot, Erfahrungen, Weiterentwicklung«, Tagungsband des Arbeitskreises »Kostengünstige Passivhäuser«, Wuppertal, 16.6.2000, 34-44
- Bühning, A.;  
»Solar-Passivhäuser: Wärmeversorgung mit Lüftungs-Kompaktgeräten«, Tagungsband »Das ökologische Passivhaus«, St. Pölten, Austria, 16.-17.10.2000, im Druck
- Bühning, A.  
»Feldtest von Lüftungs-Kompaktgeräten«, in: Heizung, Lüftung, Klimatechnik – HLK (10/2000), 10-15
- Bühning, A.  
»Lüftungs-Kompaktgeräte: Erfahrungen und Weiterentwicklung«, in: Seminar-Ordner v. Seminaren der Passivhaus-Dienstleistungs GmbH, 23.11.2000 Ulm, und 7.12.2000 Hamburg
- Bühning, A.  
»Niedrige Heizkosten garantiert« in: Handelsblatt, 27.12.2000, 46
- Carlsson, B.<sup>1</sup>; Möller, K.<sup>1</sup>; Frei, U.<sup>2</sup>;  
Brunold, S.<sup>2</sup>; Köhl, M.  
»Comparison between Predicted and Actually Observed In-Service Degradation of a Nickel Pigmented Anodized Aluminium Absorber Coating for Solar DHW Systems«, in: Solar Energy Materials and Solar Cells, Vol. 61, No. 3, 223-238  
(<sup>1</sup>: Swedish National Testing and Research Institute, Borås, Sweden)  
(<sup>2</sup>: Solar Energy Testing and Research Group, ITR, Rapperswil, Switzerland)
- Carlsson, B.<sup>1</sup>; Möller, K.<sup>1</sup>;  
Köhl, M.; Frei, U.<sup>2</sup>; Brunold, S.<sup>2</sup>  
»Qualification Test Procedure for Solar Absorber Surface Durability«, in: Solar Energy Materials and Solar Cells, Vol. 61, No. 3, 225-275  
(<sup>1</sup>: Swedish National Testing and Research Institute, Borås, Sweden)  
(<sup>2</sup>: Solar Energy Testing and Researching Group, ITR, Rapperswil, Switzerland)
- Carlsson, B.<sup>1</sup>; Möller, K.<sup>1</sup>; Frei, U.<sup>2</sup>;  
Köhl, M.  
»Accelerated Testing for Life Assessment of Solar Absorber Surfaces«, in: CEEES-Publication: Climatic and Atmospheric Pollution Effects on Materials and Equipment (2/1999), 93-107  
(<sup>1</sup>: Swedish National Testing and Research Institute, Borås, Sweden)  
(<sup>2</sup>: Solar Energy Testing and Researching Group, ITR, Rapperswil, Switzerland)
- Dicker, J.; Schumacher, J.O.; Sölter, J.; Zimmermann, W.; Bau, S.; Warta, W.  
»Numerical Analysis of Crystalline Silicon Thin Film Solar Cells on Perforated SiO<sub>2</sub> Barrier Layers«, Proceedings 16th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Glasgow, United Kingdom, 1.-5.5.2000, im Druck
- Dicker, J.; Sölter, J.; Schumacher, J.O.; Glunz, S.W.; Warta, W.  
»Analysis of Rear Contacted Solar Cell Structures for Cost-Effective Processes and Materials«, Proceedings 28th IEEE Photovoltaic Specialist Conference, Anchorage, USA, 17.-22.9.2000, im Druck
- Dimroth, F.; Lanyi, P.; Schubert, U.; Bett, A.W.  
»Wachstum von dicken, verspannten Ga<sub>1-x</sub>In<sub>x</sub>As Schichten auf GaAs Substrat für die Solarzellenanwendung«, Tagungsheft 14. Workshop des DGKK-Arbeitskreises Epitaxie von III-V Halbleitern, Stuttgart, 8.-9.12.1999

- Eversheim, W.<sup>1</sup>; Güthenke, G.<sup>1</sup>; Lüdemann, R.; Preu, R.; Schweitzer, G.<sup>1</sup>; Wettling, W.  
»Innovative Production Technologies for Solar Cells – SOLPRO«, Proceedings 16th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Glasgow, United Kingdom, 1.-5.5.2000, im Druck  
(<sup>1</sup>: Fraunhofer-Institut für Produktionstechnologie IPT, Aachen)
- Eyer, A.; Haas, F.; Kieliba, T.; Oßwald, D.; Reber, S.; Zimmermann, W.; Warta, W.  
»Crystalline Silicon Thin Film (CSITF) Solar Cells on SSP and on Ceramic Substrates«, in: Journal Crystal Growth, 12th American Conference on Crystal Growth and Epitaxy, ACCGE-12, Vail, CO, USA, 13.-18.08.2000, 83
- Feddeck, P.<sup>1</sup>; Roth, W.; Bendel, Ch.<sup>2</sup>  
»Geräte mit integrierter Solarstromversorgung«, BINE-Informationssendienst, Projektinfo (4/00), Broschüre  
(<sup>1</sup>: BINE Fachinformationszentrum Karlsruhe, Bonn)  
(<sup>2</sup>: Institut für Solare Energieversorgungstechnik ISET, Kassel)
- Ferber, J.<sup>2</sup>; Kern, R.<sup>2</sup>; Sastrawan, R.<sup>2</sup>; Schill, C.<sup>2</sup>; Schubert, M.<sup>2</sup>; Hinsch, A.<sup>1</sup>; Roosmalen, J.A.M. van<sup>1</sup>; Meyer, A.<sup>3</sup>; Meyer, T.<sup>3</sup>; Niepmann, R.<sup>4</sup>; Holzbock, J.<sup>4</sup>; Uhlendorf, I.<sup>4</sup>  
»Long-Term Stability of Dye-Sensitized Solar Cells for Large Area Power Applications«, Proceedings IPS-2000, Snowmass/Aspen, CO, USA, 30.7.-4.8.2000  
(<sup>1</sup>: Netherlands Energy Research Foundation ECN, Petten, the Netherlands)  
(<sup>2</sup>: Materialforschungszentrum FMF, Freiburg)  
(<sup>3</sup>: Solaronix SA, Aubonne, Switzerland)  
(<sup>4</sup>: Institut für Angewandte Photovoltaik INAP, Gelsenkirchen)
- Ferber, J.<sup>1</sup>; Aschaber, J.; Hebling, Chr.; Heinzl, A.; Wiehle, R.; Zenker, M.; Luther, J.  
»Microstructured Tungsten Surfaces as Selective Emitters in Thermophotovoltaic Systems«, Proceedings 16th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Glasgow, United Kingdom, 1.-5.5.2000, im Druck (<sup>1</sup>: Materialforschungszentrum FMF, Freiburg)
- Georg, A.; Graf, W.; Wittwer, V.  
»The Gasochromic Coloration of Sputtered WO<sub>3</sub> Films with Low Water Content«, Proceedings 4th International Meeting on Electrochromics IME4, Uppsala, Sweden, 21.-23.8.2000, im Druck
- Glaubitt, W. <sup>1</sup>; Sporn, D.<sup>1</sup>; Hußmann, E.<sup>1</sup>; Gombert, A.; Wittwer, V.  
»High Transmission Float for Solar Applications«, in: Glastech. Ber. Glass Science Technology 73, No. 6 (2000), 193-195  
(<sup>1</sup>: Fraunhofer-Institut für Siliciumforschung ISC, Würzburg)
- Glunz, S.W.; Rein, S.; Knobloch, J.  
»Stable Czochralski Silicon Solar Cells Using Gallium-Doped Base Material«, Proceedings 16th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Glasgow, United Kingdom, 1.-5.5.2000, im Druck
- Glunz, S.W.; Rein, S.; Warta, W.; Knobloch, J.; Wettling, W.  
»Degradation of Carrier Lifetime in CZ Silicon Solar Cells«, in: Solar Energy Materials & Solar Cells, Vol. 65 (2000), 219-229
- Glunz, S.W.  
»Neue Konzepte für Silicium-solarzellen«, Tagungsband 12. Internationales Sonnenforum, DGS und 11. Jahrestagung Forschungsverbund Sonnenenergie, FVS, Freiburg, 5.-7.7.2000, im Druck
- Glunz, S.W.; Lee, J.Y.; Rein, S.  
»Strategies for Improving the Efficiency of CZ-Silicon Solar Cells«, Proceedings 28th IEEE Photovoltaic Specialist Conference, Anchorage, USA, 17.-22.9.2000, im Druck
- Glunz, S.W.; Schaefer, S.; Preu, R.; Pfleging, W.<sup>1</sup>; Lüdemann, R.; Willeke, G.  
»New Simplified Methods for Processing the Rear Contact Pattern of Perc High-Efficiency Solar Cells«, Proceedings 28th IEEE Photovoltaic Specialist Conference, Anchorage, USA, 17.-22.9.2000, im Druck  
(<sup>1</sup>: Forschungszentrum Karlsruhe GmbH, Karlsruhe)
- Goerdts, W.<sup>1</sup>; Platzer, W.J.  
»Solar Walls with Ventilated Transparent Insulation: Performance, Properties, Problems and Prospects«, Proceedings EuroSun 2000, 3rd ISES-Europe Solar Congress, Copenhagen, Denmark, 19.-22.6.2000, CD-ROM  
(<sup>1</sup>: PSE Projektgesellschaft Solare Energiesysteme mbH, Freiburg)
- Goetzberger, A.; Bühler, M.; Goller, M.<sup>1</sup>  
»Ein statischer, diffuslicht-transmittierender Blend- und Sonnenschutz«, Tagungsband 6. Symposium Innovative Lichttechnik in Gebäuden, OTTI-Technologie-Kolleg, Staffelstein, 27.-28.1.2000, 253-258  
(<sup>1</sup>: Materialforschungszentrum FMF, Freiburg)
- Goetzberger, A.  
»Solarthermie: Woher kommen wir, wohin gehen wir?«, Tagungsband, 10. Symposium Thermische Solarenergie, OTTI-Technologie-Kolleg, Staffelstein, 10.-12.5.2000, 424-434
- Goetzberger, A.; Müller, M.; Goller, M.<sup>1</sup>  
»A Self-Regulating Sun Protection System Using Concentrated Solar Radiation and Thermotropic Coating«, Proceedings EuroSun 2000, 3rd ISES-Europe Solar Congress, Copenhagen, Denmark, 19.-22.6.2000, CD-ROM  
(<sup>1</sup>: Materialforschungszentrum FMF, Freiburg)
- Goetzberger, A.; Hebling, Chr.  
»Photovoltaic Materials, Past, Present and Future«, in: Solar Energy Materials and Solar Cells, Vol. 62 (2000), 1-19
- Goller, M.<sup>1</sup>; Reise, Chr.  
»Über die Veränderlichkeit des Tageslichtes«, Tagungsband 6. Symposium Innovative Lichttechnik in Gebäuden, OTTI-Technologie-Kolleg, Staffelstein, 27.-28.1.2000, 85-90  
(<sup>1</sup>: Materialforschungszentrum FMF, Freiburg)
- Gombert, A.  
»Future Steps Towards Large-Area Microstructured Surfaces«, Proceedings euspen International Seminar on Precision Engineering and Micro Technology, Aachen, 19.-20.7.2000, 195-203
- Gombert, A.  
»Surface Patterns to Serve a Purpose«, in: Materials World, Vol. 8 (9/2000), 25-27
- Gombert, A.; Bläsi, B.; Boerner, V.; Kübler, V.; Niggemann, M.  
»Holographic Microstructures for Large-Area Applications«, Proceedings of MICRO.tec 2000, VDE World Microtechnologies Congress, 25.-27.10.2000, Expo 2000, Hannover, 103-106
- Graf, W.; Georg, A.; Wittwer, V.  
»Gasochrome Verglasungen als Überhitzungs- und Blendschutz«, in: Stahlbau (Mai/2000), 483-484
- Dimroth, F.; Lanyi, P.; Schubert, U.; Bett, A.W.  
»Optimierung der Abscheidungs-homogenität von Ga<sub>0,51</sub>In<sub>0,49</sub>P und GaAs auf einer AlX 2600-G3 MOVPE Anlage«, Tagungsheft 14. Workshop des DGKK-Arbeitskreises Epitaxie von III-V Halbleitern, Stuttgart, 8.-9.12.1999
- Dimroth, F.; Lanyi, P.; Meusel, M.; Schubert, U.; Bett, A.W.  
»New Lattice Mismatched GaInP/GaInAs Tandem Solar Cell Concepts for High Efficiency Space- and Terrestrial Concentrator Solar Cells«, Proceedings 16th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Glasgow, United Kingdom, 1.-5.5.2000, im Druck
- Dimroth, F.; Bett, A.W.; Walters, R.J.<sup>1</sup>; Summers, G.P.<sup>1</sup>; Messenger, S.R.<sup>2</sup>; Takamoto, T.<sup>3</sup>; Ikeda, E.<sup>3</sup>; Imaizumi, M.<sup>4</sup>; Anzawa, O.<sup>4</sup>; Matsuda, S.<sup>4</sup>  
»Radiation Response of Dual-Junction Ga<sub>y</sub>In<sub>1-y</sub>P/Ga<sub>1-x</sub>In<sub>x</sub>As Solar Cells«, Proceedings 16th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Glasgow, United Kingdom, 1.-5.5.2000, im Druck  
(<sup>1</sup>: U.S. Naval Research Lab., Washington, DC, USA)  
(<sup>2</sup>: SFA, Largo, MD, USA)  
(<sup>3</sup>: Japan Energy Corp., Saitama, Japan)  
(<sup>4</sup>: National Space Development Agency of Japan, Ibaraki, Japan)
- Dimroth, F.; Sulima, O.V.; Bett, A.W.  
»Recent Progress in the Development of III-V Solar and Thermophotovoltaic Cells«, in: Compound Semiconductor 6 (6), (August/2000), 1-4
- Emery, K.<sup>1</sup>; Moriarty, T.<sup>1</sup>; Kurtz, S.<sup>1</sup>; Meusel, M.; Beckert, R.; Dimroth, F.; Bett, A.W.; Warta, W.  
»Procedures for Evaluating Multijunction Concentrators«, 28th IEEE Photovoltaic Specialist Conference, Anchorage, USA, 17.-22.9.2000, im Druck  
(<sup>1</sup>: National Renewable Energy Laboratory, Golden, CO, USA)

- Haller, A.<sup>1</sup>; Humm, O.<sup>2</sup>; Voss, K.  
»Renovieren mit der Sonne«,  
1. Aufl. 2000,  
ISBN: 3-922964-81-8  
(<sup>1</sup>: Ernst Schweizer AG, Hedingen,  
Switzerland)  
(<sup>2</sup>: selbst. Journalist, Zurich,  
Switzerland)
- Hauch, A.<sup>1</sup>; Georg, A.; Orel, B.<sup>2</sup>;  
Opra Krasovec, U.<sup>2</sup>  
»New Photoelectrochromic  
Device«, Proceedings 4th  
International Meeting on  
Electrochromics IME4, Uppsala,  
Sweden, 21.-23.08.2000, im  
Druck  
(<sup>1</sup>: Materialforschungszentrum  
FMF, Freiburg)  
(<sup>2</sup>: National Institute of Chemistry,  
Ljubljana, Slovenia)
- Hebling, Chr.  
»Principles of Fuel Cells and  
Portable PEFC-Systems«,  
Tagungsmappe (SZ) CeBit, Messe  
und Ausstellung, Hannover,  
24.2.-1.3.2000
- Hebling, Chr.; Müller, M.<sup>1</sup>;  
Müller, C.<sup>1</sup>  
»Fuel Cell Using Micro-Structured  
Flow Fields«, 4th Int. Conference  
on Microreaction Technology,  
Atlanta, USA, 5.-9.3.2000  
(<sup>1</sup>: Institut für Mikrosystemtechnik  
IMTEK, Freiburg)
- Hebling, Chr.; Ferber, J.<sup>1</sup>  
»Solar Cells and Fuel Cells as  
Device Integrated Power Source«,  
Batteries 2000, Paris, France,  
28.-30.3.2000  
(<sup>1</sup>: Materialforschungszentrum  
FMF, Freiburg)
- Hebling, Chr.  
»Fuel Cells with Micro-Structured  
Flow Field for Portable Electronic  
Devices«, Proceedings Conference  
Small Fuel Cells and Battery  
Technology for Use in Portable  
Applications, The Knowledge  
Foundation, New Orleans, USA,  
26.-28.4.2000
- Hebling, Chr.; Müller, M.<sup>1</sup>;  
Heinzel, A.  
»PEM-Fuel Cell with a Micro-  
Structured Flow Field«, Tagungs-  
band HYFORUM 2000, München,  
11.-15.9.2000, 245-253  
(<sup>1</sup>: Institut für Mikrosystemtechnik  
IMTEK, Freiburg)
- Hebling, Chr.; Heinzel, A.;  
Müller, M.<sup>1</sup>; Müller, C.<sup>1</sup>; Tüber, K.;  
Schmitz, A.  
»Fuel Cells for Low Power  
Applications: Construction,  
Simulation and Measurement«,  
Tagungsband HYFORUM 2000,  
Bd. 2, München, 11.-15.9.2000,  
245  
(<sup>1</sup>: Institut für Mikrosystemtechnik  
IMTEK, Freiburg)
- Hebling, Chr.; Heinzel, A.;  
Müller, M.<sup>1</sup>; Tüber, K.; Schmitz, A.  
»Fuel Cells for the Low Power  
Range – the Banded Structure  
Membrane and the Micro-  
Structured Flowfield«, Proceedings  
Seminar on Fuel Cells 2000,  
Portland, USA, 30.10.-2.11.2000,  
134-137  
(<sup>1</sup>: Institut für Mikrosystemtechnik  
IMTEK, Freiburg)
- Hebling, Chr.; Heinzel, A.;  
Zedda, M.  
»Die portable Brennstoffzelle«,  
Kongressband Kongress »Energie  
Innovativ 2000« Nürnberg  
29.-30.11.2000, im Druck
- Heinzel, A.; Boerner, V.;  
Gombert, A.; Bläsi, A.; Wittwer, V.;  
Luther, J.,  
»Radiation Filters and Emitters for  
the NIR Based on Periodically  
Structured Metal Surfaces«, in:  
Journal of Modern Optics, Vol. 47,  
(13/2000), 2399-2419
- Heinzel, A.; Rau, A.  
»Prospects for Fuel Cells in a  
European Research Area«,  
Broschüre: Energy Storage by  
Reversible Electrolyser/ Fuel Cell  
Systems, Brussels, Belgium,  
29.-30.5.2000
- Heinzel, A.; Hebling, Chr.;  
Müller, M.<sup>1</sup>; Zedda, M.; Müller, C.<sup>1</sup>  
»Fuel Cells for Low Power  
Applications«, 7. Ulmer Elektro-  
chemischer Tag, Ulm,  
26.-27.6.2000, in: Journal of  
Power Sources, im Druck  
(<sup>1</sup>: Institut für Mikroenergie-  
technik IMTEK, Freiburg)
- Heinzel, A.; Vogel, B.<sup>1</sup>; Hübner, P.  
»Reforming of Natural Gas –  
Hydrogen Generation for Small  
Scale Stationary Fuel Cell  
Systems«, 7. Ulmer Elektroche-  
mische Tage, Ulm, 26.-27.6.2000,  
in: Journal of Power Sources, im  
Druck  
(<sup>1</sup>: DaimlerChrysler AG, Ulm)
- Heinzel, A.; Hebling, C.;  
Zedda, M.  
»Kleinst-Brennstoffzellen für por-  
table Anwendungen«,  
Symposiumsband Brennstoffzelle –  
effiziente Energietechnik der  
Zukunft, Friedrichshafen,  
20.-21.7.2000, 147-155
- Heinzel, A.; Vogel, B.<sup>1</sup>; Kikulies,  
M.<sup>2</sup>; Haist, A.; Hübner, P.  
»Hydrogen Generation by Small  
Scale Reformers – the Activities of  
Fraunhofer ISE«, Tagungsband  
HYFORUM 2000, Bd. 2, München,  
11.-15.9.2000, 255  
(<sup>1</sup>: DaimlerChrysler AG, Ulm)  
(<sup>2</sup>: Howaldswerke-Deutsche Werft  
AG, Kiel)
- Heinzel, A.  
»Neue Verfahren zur Energie-  
wandlung und -speicherung«,  
Tagungsmonographie, Tagung der  
Gesellschaft Deutscher Chemiker  
e.V., Fachgruppe Angewandte  
Elektrochemie, Ulm,  
27.-29.9.2000, im Druck
- Heinzel, A.; Hebling, Chr.;  
Zedda, M.  
»Portable Brennstoffzellen – ein  
Überblick über die aktuellen  
Entwicklungen«, Tagungsband  
Brennstoffzellen, OTTI-Tech-  
nologie-Kolleg, Würzburg,  
17.-18.10.2000, 255-268
- Heinzel, A.  
»Brennstoffbereitstellung – Stand  
der Technik, Praxiserfahrungen,  
Entwicklungen«, Tagungsmappe  
ohne Seitenzahlen, Technische  
Akademie Wuppertal, 7.11.2000
- Heinzel, A.; Friedrich, K.<sup>1</sup>; Hacker,  
V.<sup>1</sup>; Fuchs, H.<sup>1</sup>; Fankhauser, R.<sup>1</sup>;  
Beckmann, G.<sup>2</sup>; Simon, O.<sup>2</sup>;  
Roes, R.<sup>3</sup>; Wolters, R.<sup>3</sup>; Mayer, M.<sup>4</sup>  
»Biomasse-Vergasung für Brenn-  
stoffzellen« Schriftenreihe der  
Forschung im Verbund, Bd. 59,  
keine Seitenzahlen  
(<sup>1</sup>: Technische Universität Graz,  
Graz, Austria)  
(<sup>2</sup>: Verbund, Vienna, Austria)  
(<sup>3</sup>: Universität Duisburg, Duisburg)  
(<sup>4</sup>: Preussag AG, Hannover)
- Henning, H.M.  
»Sorptionsgestützte Klimatisierung  
(DEC) im Verbund mit Solarenergie  
– Systemtechnik und ausgeführtes  
Beispiel«, Tagungsband BUILDING-  
PERFORMANCE, Internationaler  
Kongress für Licht und Technik,  
Klimatechnik und Gebäudeauto-  
mation, Frankfurt a/M.,  
20.-22.3.2000
- Henning, H.M.; Franzke, U.;  
Lamp, P.  
»Solare Gebäudeklimatisierung –  
Ziele, Inhalte und erste Ergebnisse  
der neuen Task 25 der Interna-  
tionalen Energie Agentur (IEA)«,  
Tagungsband 10. Symposium  
Thermische Solarenergie, OTTI-  
Technologie-Kolleg, Staffelstein,  
10.-12.5.2000, 168-172  
(<sup>1</sup>: Institut für Luft- und Kälte-  
technik ILK, Dresden)  
(<sup>2</sup>: Bayrisches Zentrum für Ange-  
wandte Energieforschung ZAE,  
Würzburg)
- Henning, H.M.; Schossig, P.  
»The Effect of Phase Change  
Materials Integrated in Con-  
struction Materials«, EuroSun  
2000, 3rd ISES-Europe Solar  
Congress, Copenhagen, Denmark,  
19.-22.6.2000, CD-ROM
- Fakten im Überblick
- Henning, H.M.; Hindenburg, C.  
»Desiccant Cooling in  
Combination with Solar Energy –  
Technology and Pilot Plant with  
Solar Energy as Heat Source«,  
Proceedings EuroSun 2000, 3rd  
ISES-Europe Solar Congress,  
Copenhagen, Denmark,  
19.-22.6.2000, CD-ROM
- Hensen, J.<sup>1</sup>; Herkel, S.; Janak, M.<sup>2</sup>;  
Kelly, N.<sup>2</sup>; Wilson, H.R.<sup>3</sup>  
»Simulation for Design: Com-  
paring Two Low-Energy Cooling  
Strategies for an Atrium«,  
International Building Physics  
Conference, Eindhoven, the  
Netherlands, 18.-21.9.2000  
(<sup>1</sup>: Eindhoven University of Tech-  
nology, Eindhoven, the  
Netherlands)  
(<sup>2</sup>: University of Strathclyde,  
Glasgow, Scotland)  
(<sup>3</sup>: Interpane E&BmbH,  
Lauenförde)
- Hermann, M.; Koschikowski,  
J.; Rommel, M.  
»Corrosion-Free Solar Collectors  
for Thermally Driven Seawater  
Desalination«, Proceedings  
EuroSun 2000, 3rd ISES-Europe  
Solar Congress, Copenhagen,  
Denmark, 19.-22.6.2000, CD-  
ROM
- Hindenburg, C.  
»Solare Kühlungssysteme«,  
Fachhochschulstudiengänge FH-  
Pinkafeld, Austria, Bd. 5, 139-156
- Hoffmann, V.U.  
»Vorhaben Sonne in der Schule –  
Bericht für das Jahr 1999«,  
Broschüre
- Hoffmann, V.U.; Kiefer, K.;  
Armbruster, A.  
»SONNEonline – Wissenschaftliche  
Auswertung für das Jahr 1999«,  
Broschüre und Internet: www.son-  
neonline.de
- Hoffmann, V.U.  
»Sonne in der Schule – das PV-  
Schulprojekt des  
Bundesministerium für Wirtschaft  
und Technologie«, 15. Symposium  
Photovoltaische Solarenergie,  
OTTI-Energie-Kolleg, Staffelstein,  
15.-17.3.2000, 519-524

- Hoffmann, V.U.; Kiefer, K.; Erge, Th.  
»Netzgekoppelte Photovoltaik-Anlagen – welche Erträge sind möglich?«, Tagungsband Gleisdorf Solar 2000, Gleisdorf, Austria, 6.-7.9.2000, 335-343
- Hoffmann, V.U.  
»Marktentwicklung der netzgekoppelten PV in Deutschland: Erfahrungen und Auswirkungen aus dem 100.000-Dächer-Programm und dem Erneuerbare Energien Gesetz«, Tagungsband Nationale Photovoltaiktagung, Neuchatel, Switzerland 7.-8.11.2000, 77-85
- Hube, W.; Wittwer, Chr.  
»Entwicklung von neuartigen Regelungskonzepten mit Hilfe der Simulationsumgebung ColSim und deren Validierung im Feldtest«, 10. Symposium Thermische Solarenergie, OTTI-Technologie-Kolleg, Staffelstein, 10.-12.5.2000, 288-292
- Hube, W.; Wittwer, Chr.  
»Experimentelle Untersuchung von neuartigen Regelungskonzepten für aktive thermische Systeme an einem Mehrfamilienhaus«, Tagungsband 12. Internationales Sonnenforum, DGS, Freiburg, und 11. Jahrestagung Forschungsverbund Sonnenenergie, FVS, Freiburg, 5.-7.7.2000, 34-35
- Huljić, D.M.  
»Schnelle Sinterprozesse für Siebdruckkontakte auf kristallinen Siliciumsolarzellen«, Frühjahrs-tagung der Deutschen Physikalischen Gesellschaft DPG, Dresden, 20.-24.3.2000, 231
- Huljić, S.; Schäfer, S.; Biro, D.; Emanuel, G.; Lüdemann, R.  
»Screen Printed Interdigitated Front Side Metallisation for c-Si Thin Film Solar Cells – Three Industrially Applicable Concepts«, Proceedings 16th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Glasgow, United Kingdom, 1.-5.5.2000, im Druck
- Huljić, D.; Biro, D.; Preu, R.; Craff-Castillo, C.; Lüdemann, R.  
»Rapid Thermal Firing of Screen Printed Contacts for Large Area Crystalline Silicon Solar Cells«, Proceedings 28th IEEE Photovoltaic Specialist Conference, Anchorage, USA, 17.-22.9.2000, im Druck
- Hutley, M.<sup>1</sup>; Gombert, A.  
»Moth-Eyes: the Tortuous Path from a Glint in the Eye to a Commercial Reality«, in: Photonic Science News, Vol. 6, Iss. 1/2 (2000), 35-39  
(<sup>1</sup>: Floating Images Inc., Hampton, United Kingdom)
- Isenberg, J.<sup>1</sup>; Reber, S.; Aschaber, J.; Warta, W.  
»Silicon Dioxide and Silicon Nitride as Diffusion Barrier for Transition Metals in Solar Cell Applications«, Proceedings 16th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Glasgow, United Kingdom, 1.-5.5.2000, im Druck  
(<sup>1</sup>: Materialforschungszentrum FMF, Freiburg)
- Kallwellis, V.; Rommel, M.; Bundy, S.; Wittwer, Chr.  
»Wärmedämmverbundsystem integrierter Fassadenkollektor zur Brauchwasservorwärmung in einem Mehrfamilienhaus«, Tagungsband 10. Symposium Thermische Solarenergie, OTTI-Technologie-Kolleg, Staffelstein, 10.-12.5.2000, 87-91
- Kiefer, K.  
»Ertragsprognose: ein Verfahren mit vielen Unbekannten«, in: Sonne, Wind & Wärme, (2/2000), 40-41
- Kiefer, K.; Hoffmann, V.; Erge, T.  
»Gesicherte Stromerträge von netzgekoppelten Photovoltaik-Anlagen«, Tagungsband 15. Symposium Photovoltaische Solarenergie, OTTI-Energie-Kolleg, Staffelstein, 15.-17.3.2000, 46-54
- Kiefer, K.; Hoffmann, V.U.; Reise, Chr.  
»Leistungen und Erträge von netzgekoppelten Photovoltaikanlagen«, Tagungsband VDI Workshop, Technische Regeln zur Photovoltaik, Düsseldorf, 4.4.2000, 25-36
- Kiefer, K.  
»Umwelttarif der RWE Energie«, Monitoring Bericht 1999, Freiburg, (5/2000), Broschüre
- Kiefer, K.  
»Messergebnisse von Anlagen aus dem Umwelttarif der RWE Energie«, (5/2000) Broschüre
- Kieliba, T.; Reber, S.  
»Orientierte Kristallisation auf amorphen Substraten für kristalline Silizium-Dünnschichtsolare-zellen«, Tagungsband, Frühjahrs-tagung der Deutschen Physikalischen Gesellschaft DPG, Dresden, 20.-24.3.2000, 321
- Kieliba, T.; Reber, S.  
»Enhanced Zone-Melting Recrystallization for Crystalline Silicon Thin-Film Solar Cells«, 16th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Glasgow, United Kingdom, 1.-5.5.2000, im Druck
- Köhl, M.; Carlsson, B.<sup>1</sup>; Möller, K.<sup>1</sup>; Frei, U.<sup>2</sup>; Brunold, S.<sup>2</sup>  
»Accelerated Life Testing of Solar Absorber Coatings: Testing Procedure and Results«, in: Solar Energy, Vol. 68 (4/2000), 313-323  
(<sup>1</sup>: Swedisch National Testing and Research Institute, Borås, Sweden)  
(<sup>2</sup>: Solar Energy Testing and Researching Group, ITR, Rapperswil, Switzerland)
- Köhl, M.; Heck, M.; Frei<sup>1</sup>, U.; Arntzen, M.<sup>2</sup>; Morales, A.<sup>3</sup>; Orel, B.<sup>4</sup>; Kaluza, L.<sup>4</sup>; Versluis, R.<sup>5</sup>  
»Solar Absorber Coatings for Unglazed Façades«, Proceedings EuroSun 2000, 3rd ISES-Europe Solar Congress, Copenhagen, Denmark, 19.-22.6.2000, CD-ROM  
(<sup>1</sup>: ITR, Rapperswil, Switzerland)  
(<sup>2</sup>: Interpane E&B, Lauenförde)  
(<sup>3</sup>: CIEMAT-FER, Madrid, Spain)  
(<sup>4</sup>: National Institut of Chemistry, Ljubljana, Slovenia)  
(<sup>5</sup>: TNO, Delft, the Netherlands)
- Köhl, M.; Heck, M.; Möller, K.<sup>1</sup>; Carlsson, B.<sup>1</sup>; Brunold, S.<sup>2</sup>; Frei, U.<sup>2</sup>; Holck, O.<sup>3</sup>; Svendsen, S.<sup>3</sup>; Oversloot, H.<sup>4</sup>; Jorgensen, G.<sup>5</sup>  
»Materials in Solar Thermal Collectors«, Proceedings EuroSun 2000, 3rd ISES-Europe Solar Congress, Copenhagen, Denmark, 19.-22.6.2000, CD-ROM  
(<sup>1</sup>: Swedish National Testing and Research Institute, Borås, Sweden)  
(<sup>2</sup>: Solar Energy Testing and Researching Group, ITR, Rapperswil, Switzerland)  
(<sup>3</sup>: Technical University of Denmark, Lyngby, Denmark)  
(<sup>4</sup>: TNO, Delft, the Netherlands)  
(<sup>5</sup>: National Renewable Energy Lab., NREL, Golden, CO, USA)
- Köhl, M.  
»Was leisten die Schichten? Physikalische Grundlagen, Aufbau, Qualitätskontrolle, Entwicklungstendenzen«, in: Sanitär- und Heizungstechnik (10/2000), 94-403
- Krempel-Hesse, J.<sup>1</sup>; Preu, R.; Lautenschlager, H.; Lüdemann, R.  
»Sputtering – a Key Technology for Thin Film Coatings in Crystalline Silicon Solar Cell Production«, Proceedings 43rd Annual Conference, Society of Vacuum Coating; Denver, Co., USA, 15.-20.4.2000, 97  
(<sup>1</sup> – Leybold Systems GmbH, Hanau)
- Krempel-Hesse, J.<sup>1</sup>; Preu, R.; Lautenschlager, H.; Lüdemann, R.  
»Sputtering – a Key Technology for Thin Film Coatings in Crystalline Silicon Solar Cell Production«, Proceedings 16th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Glasgow, United Kingdom, 1.-5.5.2000, im Druck  
(<sup>1</sup> – Leybold Systems GmbH, Hanau)
- Kuckelhorn, T.; Goetzberger, A.; Herzog, T.  
»CPC-Strukturen zur Tageslichtnutzung«, Tagungsband 6. Symposium Innovative Lichttechnik in Gebäuden, OTTI-Technologie-Kolleg, Staffelstein, 27.-28.1.2000, 28-30
- Kuhmann, J.; Roth, W.; Sauer, D.U.; Steinhüser, A.; Volck, G.  
»Lithium-Ionen-Akkus für PV-Geräte der Zukunft?«, Tagungsband 15. Symposium Photovoltaische Solarenergie, OTTI-Energie-Kolleg, Staffelstein, 15.-17.3.2000, 372-376
- Kuhmann, J.; Roth, W.; Sauer, D.U.; Steinhüser, A.; Volck, G.  
»Lithium-Ionen-Akkus für Photovoltaik-Geräte der Zukunft?«, Tagungsband D&E Entwicklerforum Batterien, Ladekonzepte & Stromversorgungsdesign, München, 23.3.2000, 403-412
- Kuhmann, J.; Roth, W.; Sauer, D.U.; Steinhüser, A.; Volck, G.  
»Lithium-Ionen-Akkus für Photovoltaik-Geräte der Zukunft?«, in: Erneubare Energien, (8/2000), 34-37
- Kuhn, T.; Dill, F.U.; Helde, A.; Bühler, Ch.; Wienold, J.; Herkel, S.; Platzer, W.  
»Sonnenlichtschutzbewertung«, in: Sonnenschutz III: Tageslichttechnik und Sonnenschutz – Sonnenschutztechnik und Sonnenenergie, 2000, 256-257

- Kuhn, T.; Platzer, W.; Eder, K.<sup>1</sup>; Sack, N.<sup>1</sup>; Beck, A.<sup>2</sup>; Hauck, M.<sup>2</sup>; Haug, I.<sup>2</sup>; Wirth, H.<sup>3</sup>; Simon, R.<sup>4</sup>; Kasper, F.J.<sup>5</sup>  
 »Entwicklung einer Referenzmethode zur kalorimetrischen Bestimmung des Gesamtenergie-durchlassgrades von transparenten und transluzenten Systemen – Vorstellung des „REGES“ Projekts«, 6. Symposium Innovative Lichttechnik in Gebäuden, OTTI-Technologie-Kolleg, Staffelstein, 27.-28.1.2000, 103-108  
 (1: Institut für Fenstertechnik e.V., Rosental)  
 (2: Bayerisches Zentrum für Angewandte Energieforschung ZAE e.V., Würzburg)  
 (3: OKALUX Kapillarglas GmbH, Marktheidenfeld-Altfeld)  
 (4: WAREMA Renkhoff GmbH, Marktheidenfeld-Altfeld)  
 (5: Grünzweig + Hartmann AG, Ladenburg)
- Kuhn, T.; Bühler, Ch.; Platzer, W.; Wienold, J.  
 »Evaluation and Characterisation of Sun-Shading Systems«, Proceedings EuroSun 2000, 3rd ISES-Europe Solar Congress, Copenhagen, Denmark, 19.-22.6.2000 CD-ROM
- Kuhn, T.; Platzer, W.  
 »Evaluation of Overheating Protection with Sun-Shading Systems«, Proceedings EuroSun 2000, 3rd ISES-Europe Solar Congress, Copenhagen, Denmark, 19.-22.6.2000, CD-ROM
- Kuhn, T.; Goerdt, W.<sup>1</sup>; Wienold, J.; Platzer, W.  
 »Complete Characterisation of Complex Glazings and Shading Devices. Bridging the Gap between Laboratory and User-Relevant Performance Criteria«, Proceedings EuroSun 2000, 3rd ISES-Europe Solar Congress, Copenhagen, Denmark, 19.-22.6.2000, CD-ROM  
 (1: PSE Projektgesellschaft Solare Energiesysteme mbH, Freiburg)
- Laukamp, H.; Bopp, G.; Erge, T.; Schätzle, R.; Schattner, S.  
 »Electromagnetic Pollution from PV Systems?« Proceedings EuroSun 2000, 3rd ISES-Europe Solar Congress, Copenhagen, Denmark, 19.-22.6.2000, CD-ROM
- Laukamp, H.  
 »Sonne satt! Strom satt?«, in: Fassadentechnik, 7/2000, 10-14
- Lüdemann, R.; Damiani, B.M.; Rohatgi, A.  
 »Novel Processing of Solar Cells with Porous Silicon Emitter« Proceedings 28th IEEE Photovoltaic Specialist Conference, Anchorage, USA, 17.-22.9.2000, im Druck
- Lustig, K.; Rommel, M.; Stankowski, D.; Hausner, R.<sup>1</sup>; Fink, Chr.<sup>1</sup>  
 »Experimentelle Untersuchungen zum Stillstandverhalten solarthermischer Anlagen«, Tagungsband 10. Symposium Thermische Solarenergie, OTTI-Technologie-Kolleg, Staffelstein, 10.-12.5.2000, 445-454  
 (1: Arbeitsgemeinschaft Erneuerbare Energien, Gleisdorf, Austria)
- Lustig, K.; Rommel, M.; Stankowski, D.  
 »Experimental Research of Stagnation in Solar Thermal Systems«, Proceedings EuroSun 2000, 3rd ISES-Europe Solar Congress, Copenhagen, Denmark, 19.-22.6.2000, CD-ROM
- Lustig, K.; Rommel, M.; Stankowski, D.  
 »Experimentelle Untersuchungen zum Stillstandverhalten von Vakuum-Röhrenkollektoren«, Tagungsband Materialien und Komponenten in Solaranlagen, Salzburg 24.11.2000, im Druck
- Luther, J.; Jochem, E.  
 »Erneubare Energien – ein realistischer Beitrag zur nachhaltigen Entwicklung«, Fraunhofer Gesellschaft FhG Jahresbericht 1999, München, 32-40
- Luther, J.  
 »Das Haus der Zukunft«, Band zum Symposium Techniken für das Leben im 21. Jh., 20.9.1999 (7/2000), 44-66
- Luther, J.  
 »Zum zukünftigen Beitrag der Solarenergie zur Stromversorgung«, in: Zur Ökonomie und Ökologie künftiger Stromversorgung, Bayerische Akademie der Wissenschaften (Hrsg.), 2000, ISBN 3-9131516-72-5
- Mauk, M.G.<sup>1</sup>; Shellenbarger, Z.A.<sup>1</sup>; Cox, J.A.<sup>1</sup>; Sulima, O.V.; Bett, A.W.; Mueller, R.L.<sup>2</sup>; Sims, P.E.<sup>1</sup>; McNeely, J.B.<sup>1</sup>; DiNetta, L.C.<sup>1</sup>  
 »Liquid-phase Epitaxy of Low-Bandgap III-V Antimonides for Thermophotovoltaic Devices«, in: Journal of Crystal Growth 211 (2000), 189-193  
 (1: AstroPower, Newark, DE, USA)  
 (2: Jet Propulsion Lab., Pasadena, CA, USA)
- Meusel, M.; Adelhelm, R.; Dimroth, F.; Bett, A.W.; Wettling, W.  
 »Charakterisierung von monolithischen Kaskadensolarzellen«, Tagungsband, Deutsche Physikalische Gesellschaft DPG, Regensburg, 27.-31.3.2000, 555
- Mittelbach, W.; Núñez, T.; Luginsland, F.; Henning, H.-M.  
 »Solid Sorption Thermal Energy Storage for Solar Heating Systems«, Proceedings 8th International Conference on Thermal Energy Storage, Terra-stock 2000, Stuttgart, 28.8.-1.9.2000, Vol. 1, 415-420
- Müller, M.; Sauer, D.U.; Puls, H.-G.; Bopp, G.  
 »Cost Optimisation of Wind-PV-Diesel Hybrid Systems«, Proceedings European Conference on Wind Power for the 21st Century, Kassel, 25.-27.9.2000, 4
- Nitz, P.<sup>1</sup>; Wilson, H.R.<sup>2</sup>; Raicu, A.<sup>3</sup>; Platzer, W.J.; Jahns, E.<sup>4</sup>; Wittwer, V.  
 »Thermotrope Prototyp-Systeme im Test«, Tagungsband 12. Internationales Sonnenforum, 5.-7.7.2000, Freiburg, 106-107  
 (1: PSE Projektgesellschaft Solare Energiesysteme mbH, Freiburg)  
 (2: Interpane E&BmbH, Lauenförde)  
 (3: Sto AG, Stühlingen)  
 (4: BASF AG, Ludwigshafen)
- Noël, S.<sup>1</sup>; Lautenschlager, H.; Müller, J.C.<sup>1</sup>  
 »Rapid Thermal Processing for High Efficiency Silicon Solar Cells«, in: Semiconductors Science & Technology, 12 (2000), 322-324,  
 (1: Laboratoire PHASE, CNRS, Strasbourg, France)
- Parodi, O.  
 »Balde de Leyes: the Electrification of a Remote Village in Argentina«, Proceedings ISES Utility Initiative for Africa – Rural Electrification in Africa, Midrand, South Africa, 17.-18.4.2000
- Parodi, O.; Preiser, K.; Schweizer-Ries, P.  
 »Clean Water with Clean Energy – A Huge Market, but not yet Explored« Proceedings Seminar on Rural Energy Provision, Nairobi, Kenia, 9.-10.11.2000, im Druck
- Parodi, O.; Preiser, K.; Schweizer-Ries, P.  
 »Clean Water with Clean Energy – A Huge Market for PV – but not yet Explored«, Proceedings 16th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Glasgow, United Kingdom, 1.-5.5.2000, im Druck
- Peters, S.  
 »Herstellung kristalliner Silicium-Solarzellen mittels Rapid Thermal Processing«, Tagungsband Frühjahrstagung der Deutschen Physikalischen Gesellschaft DPG, Dresden, 20.-24.3.2000, 321
- Peters, S.; Lautenschlager, H.; Warta, W.; Schindler, R.  
 »RTP-Processed 17.5 % Efficient Silicon Solar Cells Featuring a Record Small Thermal Budget«, Proceedings 16th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Glasgow, United Kingdom, 1.-5.5.2000, im Druck
- Peters, S.; Schindler, R.; Höfs, H.U.<sup>1</sup>  
 »RTP Solar Cells from Rapid Solidified RGS Material«, Proceedings 28th IEEE Photovoltaic Specialist Conference, Anchorage, USA, 17.-22.9.2000, im Druck  
 (1: Bayer AG, Krefeld)
- Platzer, W.  
 »The ALTSET Project: Angular Properties of Complex Glazings Through Solar Calorimetry«, Proceedings EuroSun 2000, 3rd ISES-Europe Solar Congress, Copenhagen, Denmark, 19.-22.6.2000, CD-ROM
- Preiser, K.; Kuhmann, J.; Paradzik, T.<sup>1</sup>  
 »Establishment of Test Laboratories in Developing Countries – A Way to Ensure of PV-Systems and to Support Market Development«, Proceedings 16th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Glasgow, United Kingdom, 1.-5.5.2000, im Druck  
 (1: PSE Projektgesellschaft Solare Energiesysteme mbH, Freiburg)
- Preiser, K.; Schweizer-Ries, P.; Parodi, O.  
 »Ländliche Elektrifizierung mit dem sozio-technischen Ansatz«, in: Energiewirtschaftliche Tagesfragen et (7/2000), 524-529
- Preiser, K.; Reiche, K.<sup>1</sup>  
 »Marktentwicklung für Photovoltaik-Systeme zur ländlichen Elektrifizierung«, Tagungsband 15. Symposium Photovoltaische Solarenergie, OTTI-Energie-Kolleg, Staffelstein, 15.-17.3.2000, 263-271  
 (1: The World Bank, Washington D.C., USA)

- Reber, S.; Kieliba, T.  
»Enhanced Zone Melting Recrystallization for Crystalline Silicon Thin-Film Solar Cells«, Proceedings 16th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Glasgow, United Kingdom, 1.-5.5.2000, im Druck
- Reber, S.; Stollwerk, G.<sup>1</sup>; Osswald, D.<sup>2</sup>; Kieliba, T.; Haessler, C.<sup>2</sup>  
»Crystalline Silicon Thin-Film Solar Cells on Silicon Nitride Ceramics«, Proceedings 16th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Glasgow, United Kingdom, 1.-5.5.2000, im Druck, (1: Bayer AG, Krefeld) (2: Freiburger Materialforschungszentrum FMF, Freiburg)
- Reber, S.; Zimmermann, W.; Kieliba, T.  
»Zone Melting Recrystallization of Silicon Films for Crystalline-Silicon Thin-Film Solar Cells«, Proceedings 11th PVSEC, Sapporo, Japan, 20.-24.9.1999, in: Solar Energy Materials and Solar Cells 65 (2001) 409-416
- Reber, S.; Eyer, A.  
»Hochtemperatur-Prozessierung für kristalline Silicium-Dünnschichtszellen«, Tagungsband 12. Internationales Sonnenforum, DGS und 11. Jahrestagung Forschungsverbund Sonnenenergie, FVS, Freiburg, 5.-7.7.2000, im Druck
- Reber, S.; Eyer, A.; Osswald, D.; Lutz, C.<sup>1</sup>; Roosen, A.<sup>1</sup>; Pohlmann, H.-J.<sup>2</sup>  
»Simultaneous Infiltration and Recrystallization of SiSiC Ceramics for Crystalline Silicon Thin-Film Solar Cells«, Proceedings 28th IEEE Photovoltaic Specialist Conference, Anchorage, USA, 17.-22.9.2000, im Druck (1: Universität Erlangen-Nürnberg, Erlangen) (2: TeCe Technical Ceramics GmbH, Selb)
- Reber, S.; Lutz, C.<sup>1</sup>; Faller, F.R.<sup>2</sup>; Pohlmann, H.-J.<sup>3</sup>; Eyer, A.; Osswald, D.; Roosen, A.<sup>1</sup>  
»The Sir Process for Crystalline Silicon Thin-Film Solar Cells«, Proceedings 28th IEEE Photovoltaic Specialist Conference, Anchorage, USA, 17.-22.9.2000, im Druck (1: Universität Erlangen-Nürnberg, Erlangen) (2: Shell Solar, Hamburg) (3: TeCe GmbH, Selb)
- Rein, S.; Rehrl, T.; Glunz, S.W.  
»Degradation der Ladungsträgerlebensdauer in Solarzellen aus Czochralski-Silizium«, Tagungsband, DPG-Frühjahrstagung, Regensburg, 27.-31.3.2000, 524
- Rein, S.; Isenberg, J.; Warta, W.; Glunz, S.W.  
»Lifetime Spectroscopy on Silicon for Solar Cells«, Proceedings 16th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Glasgow, United Kingdom, 1.-5.5.2000, im Druck
- Rein, S.; Knobloch, J.; Glunz, S.W.;  
»Analysis of the High Temperature Improvement of Cz-Silicon«, Proceedings 16th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Glasgow, United Kingdom, 1.-5.5.2000, im Druck
- Rein, S.; Glunz, S.W.; Warta, W.  
»Investigation of the Carrier Lifetime in P-Type SC-Si: Specific Limitations and Potential for Improvement« Proceedings 28th IEEE Photovoltaic Specialist Conference, Anchorage, USA, 17.-22.9.2000, im Druck
- Reinhart, Chr.<sup>1</sup>; Herkel, S.  
»RADIANCE – Jahressimulation des Tageslichtangebotes in Gebäuden: Ein Raytracer - viele Ergebnisse«, Tagungsband 6. Symposium Innovative Lichttechnik in Gebäuden, OTTI-Technologie-Kolleg, Staffelstein, 27.-28.1.2000, 189-194 (1: Materialforschungszentrum FMF, Freiburg)
- Reinhart, Chr.<sup>1</sup>; Voss, K.; Wagner, A.; Löhnert, G.  
»Lean Buildings: Energy Efficient Commercial Buildings in Germany«, Proceedings Conference of the ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Buildings, Pacific Grove, CA, USA, 20.-25.8.2000, 287-298 (1: Materialforschungszentrum FMF, Freiburg)
- Reinhart, Chr.<sup>1</sup>  
»Exemplary Energy Efficient Commercial Buildings in Germany«, Proceedings of Expert Group Meeting on Disseminating Renewable Energy Technologies in ESCWA Member States, Beirut, 2.-3.10.2000, Seiten 1-12 (1: PSE Projektgesellschaft Solare Energiesysteme mbH, Freiburg)
- Reise, Chr.; Wiemken, E.; Toggweiler, P.<sup>1</sup>; Dijk, van V.<sup>2</sup>; Heinemann, D.<sup>3</sup>  
»PV/SAT: Satellitengestützte Ertragskontrolle für netzgekoppelte PV-Anlagen«, 15. Symposium Photovoltaische Solarenergie, OTTI-Energie-Kolleg, Staffelstein, 15.-17.3.2000, 335-340 (1: Enecolo AG, Lindhof, Switzerland) (2: Utrecht University, Utrecht, the Netherlands) (3: Universität Oldenburg, Oldenburg)
- Reise, Chr.; Wiemken, E.; Toggweiler, P.<sup>1</sup>; van Dijk, V.<sup>2</sup>; Heinemann, D.<sup>3</sup>; Beyer, H.J.<sup>4</sup>  
»Remote Performance Check for Grid-Connected PV Systems Using Satellite Data«, Proceedings 16th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Glasgow, United Kingdom, 1-5.5.2000, im Druck (1: Enecolo AG, Lindhof, Switzerland) (2: Utrecht University, Utrecht, the Netherlands) (3: Universität Oldenburg, Oldenburg) (4: Universität Magdeburg, Magdeburg)
- Riechel, S.<sup>1</sup>; Kallinger, C.<sup>1</sup>; Lemmer, U.<sup>1</sup>; Feldmann, J.<sup>1</sup>; Gombert, A.; Wittwer, V.; Scherf, U.<sup>2</sup>  
»A Nearly Diffraction Limited Surface Emitting Conjugated Polymer Laser Utilizing a Two-Dimensional Photonic Band Structure« in: Applied Physics Letters, Vol. 77, No. 15 (10/2000), 2310-2312 (1: Ludwig-Maximilians Universität München, München) (2: Max-Planck-Institut für Polymerforschung, Mainz)
- Riechel, S.<sup>1</sup>; Lemmer, U.<sup>1</sup>; Feldmann, J.<sup>1</sup>; Benstem, T.<sup>2</sup>; Kowalsky, W.<sup>2</sup>; Scherf, U.<sup>3</sup>; Gombert, A.; Wittwer, V.  
»Laser Modes in Organic Solid State Distributed Feedback Lasers« in: Applied Physics B., 11/2000, online-Publikation (1: Ludwig-Maximilians-Universität München, München) (2: TU Braunschweig, Braunschweig) (3: Max-Planck-Institut für Polymerforschung, Mainz)
- Rommel, M.; Hermann, M.; Koschikowski, J.  
»The SODESA Project: Development of Solar Collectors with Corrosion-Free Absorbers and First Results of the Desalination Pilot Plant«, Proceedings Mediterranean Conference on Policies and Strategies for Desalination and Renewable Energies, Santorini Island, Greece, 21.-23.06.2000, im Druck
- Preiser, K.; Steinhüser, A.; Hille, G.<sup>1</sup>; Roth, W.  
»Photovoltaic Hybrid Power Supply for Telecommunication Systems«, Proceedings PV-Hybrid Power Systems 2000 Conference, Aix-en-Provence, France, 7.-8.9.2000, im Druck (1: Freier Consultant, Freiburg)
- Preu, R.; Glunz, S.W.; Steinbühl, S.<sup>1</sup>; Pfleging, W.<sup>1</sup>; Wettling, W.  
»Laser Ablation – A New Low-Cost Approach for Passivated Rear Contact Formation in Crystalline Silicon Solar Cell Technology«, Proceedings 16th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Glasgow, United Kingdom, 1-5.5.2000, im Druck (1: Forschungszentrum Karlsruhe GmbH, Karlsruhe)
- Raicu, A.<sup>1</sup>; Wilson, H.R.<sup>2</sup>; Nitz, P.<sup>4</sup>; Jahns<sup>3</sup>, E.; Platzer, W.; Wittwer, V.  
»Thermotropic Systems – Recent Results on Component Characterisation and Building Integration«, EuroSun 2000, 3rd ISES-Europe Solar Congress, Copenhagen, Denmark, 19.-22.6.2000, CD-ROM (1: Sto AG, Stühlingen) (2: Interpane E&B mbH, Lauenförde) (3: BASF AG, Ludwigshafen) (4: PSE Projektgesellschaft Solare Energiesysteme mbH, Freiburg)
- Raicu, A.<sup>1</sup>; Wilson, H.R.<sup>2</sup>; Nitz, P.<sup>3</sup>; Tahus, E.<sup>4</sup>  
»Überhitzungsschutz durch thermotrop schaltbare Elemente an der Fassade – Stand der Forschung«, in: Stahlbau (6/2000), 485-489 (1: Sto AG, Stühlingen) (2: Interpane E&B mbH, Lauenförde) (3: PSE Projektgesellschaft Solare Energiesysteme mbH, Freiburg)
- Rampe, T.; Hübner, P.; Vogel, B.; Heinzl, A.  
»Hydrogen Generation from Ethanol by Allothermal Reforming«, Proceedings 1st World Conference and Exhibition on Biomass for Energy & Industry, Sevilla, Spain, 5.-9.6.2000, im Druck

Rommel, M.; Hermann, M.; Koschikowski, J.; Schäfer, A.  
»SODESA: Entwicklung von korrosionsfreien Kollektoren zur Meerwasserentsalzung«, Tagungsband 10. Symposium Thermische Solarenergie, OTTI-Technologie-Kolleg, Staffelstein, 10.-12.5.2000, 55-59

Rommel, M.; Hermann, M.; Koschikowski, J.; Kallwels, V.; Schäfer, A.  
»Solarthermische Meerwasserentsalungsanlage mit korrosionsfreien Kollektoren«, Tagungsband 12. Internationales Sonnenforum, DGS und 11. Jahrestagung Forschungsverbund Sonnenenergie, FVS, Freiburg, 5.-7.7.2000, im Druck

Rosenfeld, J.L.J<sup>1</sup>; Platzer, W.J.  
»Modelling the Optical and Thermal Properties of Advanced Glazing. Overview of Recent Developments«, Proceedings EuroSun 2000, 3rd ISES-Europe Solar Congress, Copenhagen, Denmark, 19.-22.6.2000, CD-ROM (1: Cardiff University, Cardiff, United Kingdom)

Roth, W.  
»Mit der Sonne telefonieren: Solarprodukte für den privaten und kommerziellen Gebrauch«, Begleitbroschüre zur Öko 2000 + Öko Bau, Freiburg, 14.5.2000

Roth, W.  
»Photovoltaische Energieversorgung«, Deutsche Telekom Unterrichtsblätter, die Fachzeitschrift der Deutschen Telekom für Aus- und Weiterbildung (1/2000), 14-25

Rumyantsev, V.D.<sup>1</sup>; Andreev, V.M.<sup>1</sup>; Bett, A.W.; Dimroth, F.; Hein, M.; Lamge, G.; Shvarts, M.Z.; Sulima, O.V.  
»Progress in Development of All-Glas Terrestrial Concentrator Modules Based on Composite Fresnel Lenses and III-V Solar Cells«, Proceedings 16th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Glasgow, United Kingdom, 1.-5.5.2000, im Druck (1: Ioffe Physico-Technical Institute, St. Petersburg, Russia)

Russ, Chr.; Kappert, M.<sup>1</sup>; Klinkert, V.<sup>2</sup>  
»Energieeinsparung in Schulen – Sanierung unter Nutzung solarer Techniken«, Tagungsband 12. Internationales Sonnenforum, DGS und 11. Jahrestagung Forschungsverbund Sonnenenergie, FVS, Freiburg, 5.-7.7.2000, im Druck (1: Fachhochschule Erfurt, Erfurt) (2: Fachhochschule Leipzig, Leipzig)

Russ, Chr.; Bühring, A.  
»Wärmeversorgung von Passivhäusern«, Tagungsband 12. Internationales Sonnenforum, DGS und 11. Jahrestagung Forschungsverbund Sonnenenergie, FVS, Freiburg, 5.-7.7.2000, im Druck

Russ, Chr.  
»Nutzung neuer Energietechnologien für Gebäude«, Heft Workshop „Energieeinsparung in Wärmeversorgungssystemen“, Barnaul, 16.-17.10.2000

Russ, Chr.; Voss, K.  
»Der Balkon wird zum Wintergarten – beispielhafte Hochhausanierung«, Tagungsband Balkonkongress, Kassel, 14.-15.11.2000, im Druck

Russ, Chr.; Kappert, M.  
»Sanierung der Regelschule Erfurt – Energieeinsparung und Verbesserung des Nutzerkomforts«, in: EB Energie, Effizientes Bauen (4/2000), im Druck

Saitoh, T.<sup>1</sup>; Hashigami, H.<sup>1</sup>; Rein, S.; Glunz, S.W.  
»Overview of Light Degradation Research on Crystalline Silicon Solar Cells«, in: Progress in Photovoltaics: Research and Applications, 8 (5/2000), 537-547 (1: Tokyo University of Agriculture and Technology, Tokyo, Japan)

Sauer, D.U.; Bopp, G.; Höhe, W.<sup>1</sup>; Jossen, A.<sup>1</sup>; Bächler, M.<sup>2</sup>; Sprau, P.<sup>2</sup>; Willer, B.<sup>3</sup>; Wollny, M.<sup>3</sup>  
»What Happens to Batteries in PV Systems or Do We Need One Special Battery for Solar Applications«, Proceedings PV-Hybrid Power Systems 2000 Conference, Aix-en-Provence, France, 7.-8.9.2000, im Druck (1: Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung ZSW, Ulm) (2: Wirtschaft Infrastruktur Planung WIP, München) (3: Institut für Solare Energieversorgungstechnik ISET, Kassel)

Santamouris, M.<sup>1</sup>; Mihalakakou, G.<sup>1</sup>; Lund, P.<sup>2</sup>; Burton, S.<sup>3</sup>; Wangusi, M.<sup>3</sup>; Lewis, J.O.<sup>4</sup>; Thynholt, M.<sup>5</sup>; Vandaele, L.<sup>6</sup>; Wienold, J.; Voss, K.;  
»SOLGAIN – The Contribution of Passive Solar Energy Utilisation to Cover the Space Heating Demand of the European Building Stock«, Proceedings, EuroSun 2000, 3rd ISES-Europe Solar Congress, Copenhagen, Denmark, 19.-22.6.2000, CD-ROM (1: University of Athens, Athens, Greece) (2: Helsinki University, Helsinki, Finland) (3: ECD Energy and Environmental Ltd., London, United Kingdom) (4: University Collge Dublin, Dublin, Ireland) (5: Sintef Civil and Environmental Engineering, Trondheim, Norway) (6: Centre Scientifique et Technique de la Construction, Brussels, Belgium)

Schäfer, A.; Rommel, M.;  
»Messeinrichtungen des Prüfzentrums für Thermische Solaranlagen im Hinblick auf die neue europäische Kollektornorm EN 12975-1 und 2«, Tagungsband 10. Symposium Thermische Solarenergie, OTTI-Technologie-Kolleg, Staffelstein, 10.-12.5.2000, 143-147

Schaefer, S.; Glunz, S.W.; Lüdemann, R.  
»Reactive Ion Etched PERC and Buried Base Contact Solar Cells«, Proceedings 16th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Glasgow, United Kingdom, 1.-5.5.2000, im Druck

Schaefer, S.; Lautenschlager, H.; Emanuel, G.; Lüdemann, R.  
»Plasma Etching and its Effect on Minority Charge Carrier Lifetimes and Crystalline Silicon Solar Cells«, Proceedings 16th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Glasgow, United Kingdom, 1.-5.5.2000, im Druck

Schaefer, S.; Preu, R.; Lüdemann, R.; Glunz, S.W.  
»Plasma Etched PERC and Buried Base Contact Solar Cells«, Proceedings 16th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Glasgow, United Kingdom, 1.-5.5.2000, im Druck

Fakten im Überblick

Schaefer, S.; Lautenschlager, H.; Juch, M.<sup>1</sup>; Siniaguine, O.<sup>2</sup>; Lüdemann, R.  
»An Overview of Plasma Sources Suitable for Dry Etching of Solar Cells«, Proceedings 28th IEEE Photovoltaic Specialist Conference, Anchorage, USA, 17.-22.9.2000, im Druck (1: Secon GmbH, Guntramsdorf, Austria) (2: Tru-Si Technologies, Sunnyvale, CA, USA)

Schattner, S.; Bopp, G.; Erge, T.; Fischer, R.<sup>1</sup>; Häberlin, H.<sup>1</sup>; Minkner, R.<sup>1</sup>; Venhuizen, R.<sup>2</sup>; Verhoeven, B.<sup>2</sup>  
»PV-EMI – Developing Standard Test Procedures for the Electromagnetic Compatibility (EMC) of PV Components and Systems«, Proceedings 16th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Glasgow, United Kingdom, 1.-5.5.2000, im Druck (1: HTA Burgdorf, Burgdorf, Switzerland) (2: KEMA T&D Power, Arnhem, The Netherlands)

Schattner, S.; Bopp, G.; Hofmayer, U.  
»The Electromagnetic Compatibility (EMC) of Solar Home Systems«, Proceedings 16th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Glasgow, United Kingdom, 1.-5.5.2000, im Druck

Schindler, R.; Warta, W.  
»Improvements and Limits of the Open Circuit Voltage of mc-Silicon Solar Cells«, in: Physica Status Solidi 222 (2000), 389

Schmidhuber, H.; Koltay, P.; Hebling, C.  
»Module Designs with Improved Energy Collections Properties: a Comprehensive Experimental Study«, Proceedings 16th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Glasgow, United Kingdom, 1.-5.5.2000, im Druck

Schnell, M.; Huljić, D.M.  
»Einfluss des nasschemischen Ätzprozesses für poröses Silicium auf siebgedruckte Metallkontakte für Siliciumsolarzellen«, Tagungsband DPG-Frühjahrstagung, Regensburg, 27.-31.3.2000, 525

- Schnell, M.; Schäfer, S.; Reiß, J.; Lüdemann, R.  
»Stain Etched Porous Silicon – A Simple Method for the Simultaneous Formation of Selective Emitter and ARC«, Proceedings 16th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Glasgow, United Kingdom, im Druck
- Schnell, M.; Schaefer, S.; Lüdemann, R.  
»Plasma Surface Texturization for Multicrystalline Silicon Solar Cells«, Proceedings 28th IEEE Photovoltaic Specialist Conference, Anchorage, USA, 17.-22.9.2000, im Druck
- Schulz, W.; Roth, W.  
»Photovoltaisch versorgte Telematiksysteme«, 15. Symposium Photovoltaische Solarenergie, OTTI-Energie-Kolleg, Staffelstein, 15.-17.3.2000, 313-317
- Schweizer-Ries, P.; Schulz, M.; Ramirez, E.<sup>1</sup>; Vallvé, X.<sup>1</sup>; Vosseler, I.<sup>1</sup>  
»Success Factors in PV-Hybrid-systems for Off-Grid Power Supply: Results of a Socio-Technical Investigation in Germany and Spain, Proceedings 16th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Glasgow, United Kingdom, 1.-5.5.2000, im Druck  
(<sup>1</sup>: Trama Tecno Ambiental, Barcelona, Spain)
- Schweizer-Ries, P.; Djuwita, R.<sup>1</sup>; Will, S.; Uenze, B.; Djajasoekarsa, A.<sup>1</sup>; Ginting, K.<sup>1</sup>  
»Psychologische Untersuchung von drei Dorfstromanlagen in Indonesien – Anwendung der Gemeingutforschung auf Solar-nutzung«, Tagungsband DGPS – Kongreß, Jena, 24.-28.9.2000, im Druck  
(<sup>1</sup>: Universitas Indonesia, Jakarta, Indonesia)
- Schweizer-Ries, P.; Schulz, M.; Vallvé, X.<sup>1</sup>; Vosseler, I.<sup>1</sup>; Serrano, J.<sup>2</sup>  
»Successful User Schemes for Photovoltaic Stand-Alone Systems«, Broschüre  
(<sup>1</sup>: Trama TecnoAmbiental, Barcelona, Spain)  
(<sup>2</sup>: Asociación SEBA, Barcelona, Spain)
- Smith, L.M.<sup>1</sup>; Rushworth, S.A.<sup>1</sup>; Ravetz, M.S.<sup>1</sup>; Odedra, R.<sup>1</sup>; Konjolia, R.<sup>1</sup>; Agert, C.; Dimroth, F.; Schubert, U.; Bett, A.W.  
»Low Oxygen Content Trimethyl-aluminium and Trimethylindium for MOVPE of Light Emitting Devices«, in: Journal of Crystal Growth 221 (2000), 86-90  
(<sup>1</sup>: Epichem Ltd., Merseyside, United Kingdom)
- Stangar, L.U.<sup>1</sup>; Groselj, N.<sup>1</sup>; Orel, B.<sup>1</sup>; Schmitz, A.; Colomban, Ph.<sup>2</sup>  
»Proton Conducting Sol-Gel Hybrids Containing Heteropoly Acids«, Proceedings 10th International Conference on Solid State Protonic Conductor, Montpellier, France, 24.-28.9.2000, im Druck  
(<sup>1</sup>: National Institute for Solar Energy Systems, Ljubljana, Slovenia)  
(<sup>2</sup>: CNRS, Thiais, France)
- Steinhüser, A.; Schulz, W.; Schmidt, H.; Roth, W.  
»Photovoltaic Power Supply for Telecommunication Network Components in Remote Areas«, Tagungsband TELESCON 2000, Dresden, 7.-10.5.2000, 221-225
- Steinhüser, A.; Roth, W.; Laukamp, H.  
»PV Power Supply for Intelligent Street Furniture – a Multifunctional Emergency Call and Information Post«, Proceedings: IEA PVPS Task VII, PV in the Built Environment, Workshop: Non-Building Structures, Stockholm, Sweden, 6.9.2000
- Sulima, O.V.; Bett, A.W.; Dutta, P.S.<sup>1</sup>; Ehsani, H.<sup>1</sup>; Gutmann, R.J.<sup>1</sup>  
»Thermophotovoltaic Cells on Zinc Diffused Poly-Crystalline GaSb«, Proceedings 16th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Glasgow, United Kingdom, 1.-5.5.2000, im Druck  
(<sup>1</sup>: Rensselaer Polytechnic Institute, Troy, NY, USA)
- Sulima, O.V.; Beckert, R.; Bett, A.W.; Cox, J.A.<sup>1</sup>; Mauk, M.G.<sup>1</sup>  
»InGaAsSb Photovoltaic Cells with Enhanced Open-Circuit Voltage«, Proceedings, 28th IEEE Photovoltaic Specialist Conference, Anchorage, USA, 17.-22.9.2000, im Druck  
(<sup>1</sup>: AstroPower, Newark, De, USA)
- Thoben, B.; Sauer, D.U.  
»Untersuchung des Einflusses von pulsformigen Strömen auf das elektrische Verhalten von Bleibatterien«, in: Tagungsband 12. Internationales Sonnenforum, DGS und 11. Jahrestagung Forschungsverbund Sonnenenergie, FVS, Freiburg, 5.-7.7.2000, im Druck
- Vallvé, X.<sup>1</sup>; Merten, J.<sup>1</sup>; Preiser, K.; Schulz, M.  
»Energy Limitation for Better Energy Service to the User: First Results of Applying Energy Dispenser in Multi-User PV Stand-Alone Systems«, Proceedings 16th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Glasgow, United Kingdom, 1.-5.5.2000, im Druck  
(<sup>1</sup>: Trama Tecno Ambiental, Barcelona, Spain)
- Vazques, M.<sup>1</sup>; Vegas, A.<sup>2</sup>; Daza, L.<sup>3</sup>; Guerrero, A.<sup>4</sup>; Sauer, D.U.<sup>6</sup>; Omelas, R.<sup>5</sup>; Liebig, R.<sup>6</sup>  
»Fuel Cells for Powering Remote Telecom Equipment«, Proceedings 2000 Fuel Cell Seminar, Portland, Oregon, 30.10.-2.11.2000, im Druck  
(<sup>1</sup>: Alcatel, Madrid, Spain)  
(<sup>2</sup>: INTA, Madrid, Spain)  
(<sup>3</sup>: CIEMAT, Madrid, Spain)  
(<sup>4</sup>: ICP-CSIC, Madrid, Spain)  
(<sup>5</sup>: Nuvera Fuel Cells Europe, Milano, Italy)  
(<sup>6</sup>: Würth Elektronik, Marbach a/N.)
- Vogel, B.; Haist, A.; Heinzel, A.; Baumann, F.<sup>1</sup>; Wieland, S.<sup>1</sup>  
»Selektive CO-Oxidation in wasserstoffreichen Gasgemischen - Brenngasaufbereitung für Membran-Brennstoffzellen«, Tagungsband XXXIII. Jahrestreffen Deutscher Katalytiker, Weimar, 22.-24.3.2000  
(<sup>1</sup>: dmc<sup>2</sup> Degussa Metals Catalysts Cerdec, Hanau)
- Voss, K.  
»Ein Institutsgebäude für ein sonniges Jahrtausend«, Bundes Bau Blatt (11/1999), 22-26
- Voss, K.; Reinhart, Chr.<sup>1</sup>  
»Die Tageslicht- und Beleuchtungskonzepte der Demonstrationsprojekte des Förderprogramms SolarBau des BMWI: Eine Querschnittsbetrachtung«, Tagungsband 6. Symposium Innovative Lichttechnik in Gebäuden, OTTI-Technologie-Kolleg, Staffelstein, 27.-28.1.2000, 279-283  
(<sup>1</sup>: Materialforschungszentrum FMF, Freiburg)
- Voss, K.  
» Fassaden für die Solarenergienutzung bei Büro- und Industriebauten«, in: Industriebau, (3/2000)
- Voss, K.  
»Solares Bauen – Demonstrationsprojekte und Technologieentwicklung für den Wohnungsbau«, Tagungsband 1. Freiburger Praxis-Symposium Passivhäuser, 7.4.2000, Freiburg
- Voss, K.; Loehnert, G.<sup>2</sup>; Wagner, A.<sup>3</sup>; Rolfs, K.<sup>3</sup>; Reinhart, Chr.<sup>1</sup>  
»On the Way to Lean Buildings – Examples and Experiences from a German Demonstration Programme for Energy Efficiency and Solar Energy Use in Commercial Buildings«, Proceedings EuroSun 2000, 3rd ISES-Europe Solar Congress, Copenhagen, Denmark, 19.-22.6.2000, CD-ROM  
(<sup>1</sup>: Materialforschungszentrum FMF, Freiburg)  
(<sup>2</sup>: sol<sup>id</sup>ar, Architekten & Ingenieure, Berlin)  
(<sup>3</sup>: Universität Karlsruhe, Karlsruhe)
- Voss, K.; Buehring, A.; Russ, Chr.; Neumann, Chr.<sup>1</sup>; Ufheil, M.<sup>1</sup>  
»Solar Low Energy Houses – Examples from Germany«, Proceedings, EuroSun 2000, 3rd ISES-Europe Solar Congress, Copenhagen, Denmark, 19.-22.6.2000, CD-ROM  
(<sup>1</sup>: solares bauen GmbH, Freiburg)
- Voss, K.<sup>1</sup>; Reinhart, Chr.<sup>1</sup>; Löhnert, G.<sup>2</sup>; Wagner, A.<sup>3</sup>  
»Toward Lean Buildings – Examples and Experience from a German Demonstration Programme for Energy Efficiency and Solar Energy Use in Commercial Buildings«, Proceedings, EuroSun 2000, 3rd ISES-Europe Solar Congress, Copenhagen, Denmark, 19.-22.6.2000, CD-ROM  
(<sup>1</sup>: solares bauen, GmbH, Freiburg)  
(<sup>2</sup>: sol<sup>id</sup>ar, Architekten & Ingenieure, Berlin)  
(<sup>3</sup>: Universität Karlsruhe, Karlsruhe)
- Voss, K.; Bühring, A.; Russ, Chr.; Neumann, Chr.<sup>1</sup>; Ufheil, M.<sup>1</sup>  
»Solares Bauen – Demonstrationsprojekte und Technologieentwicklung für den Wohnungsbau«, Tagungsband 12. Internationales Sonnenforum, DGS und 11. Jahrestagung Forschungsverbund Sonnenenergie, FVS, Freiburg, 5.-7.7.2000, im Druck  
(<sup>1</sup>: solares bauen GmbH, Freiburg)

Voss, K.; Reinhart, Chr.<sup>1</sup>,  
Loehnert, G.<sup>2</sup>; Wagner, A.<sup>3</sup>;  
Rolfs, K.<sup>3</sup>  
»Energieeffizienz und Solar-  
energienutzung im Nicht-  
wohnungsbau – Erfahrungen und  
Ergebnisse aus Demonstrations-  
projekten«, Tagungsband 12.  
Internationales Sonnenforum, DGS  
und 11. Jahrestagung Forschungs-  
verbund Sonnenenergie, FVS,  
Freiburg, 5.-7.7.2000, im Druck  
(<sup>1</sup>: Materialforschungszentrum  
FMF, Freiburg)  
(<sup>2</sup>: sol<sup>id</sup>ar, Berlin)  
(<sup>3</sup>: Universität Karlsruhe, Karlsruhe)

Voss, K.; Reinhart, Chr.<sup>1</sup>;  
Wagner, A.<sup>2</sup>; Loehnert, G.<sup>3</sup>  
»Lean Buildings: Energy Efficient  
Commercial Buildings in  
Germany« Proceedings ACEEE  
Summer Study on Energy  
Efficiency in Buildings, Pacific  
Grove, USA, 20.-25.8.2000  
(<sup>1</sup>: Materialforschungszentrum  
FMF, Freiburg)  
(<sup>2</sup>: Universität Karlsruhe, Karlsruhe)  
(<sup>3</sup>: sol<sup>id</sup>ar, Berlin)

Voss, K.  
»IEA Solar Heating and Cooling  
(SHC) Programme, Task 20: Solar  
Energy in Building Renovation«,  
Broschüre

Wagner, R.<sup>1</sup>; Bopp, G.; Sauer,  
D.U.; Theimann, U.<sup>1</sup>  
»Langzeittests von Gel- und Vlies-  
Batterien in realen PV-Anlagen –  
Konzepte und erste Ergebnisse«,  
Tagungsband 15. Symposium  
Photovoltaische Solarenergie,  
OTTI-Energie-Kolleg, Staffelstein,  
15.-17.3.2000, 236-242 (1: Exide  
German Group, Büdingen)

Wagner, R.<sup>1</sup>; Sauer, D.U.  
»Was leisten neue Bleibatterien in  
PV-Anlagen? Betriebsstrategien für  
Gel- und Vlies-Batterien in realen  
PV-Anlagen«, Erneuerbare  
Energien (10/2000), 55-57  
(<sup>1</sup>: Exide German Group,  
Büdingen)

Walters, R.J.<sup>1</sup>; Messenger, S.R.<sup>2</sup>;  
Summers, G.P.<sup>1</sup>; Bett, A.W.;  
Dimroth, F.; Hoffmann, R.W.<sup>3</sup>;  
Stan, M.A.<sup>3</sup>; Takamoto, T.<sup>4</sup>;  
Ikeda, E.<sup>4</sup>; Imaizumi, M.<sup>5</sup>;  
Anzawa, O.<sup>5</sup>; Matsuda, S.<sup>5</sup>  
»Radiation Response of Ga<sub>x</sub>In<sub>1-x</sub>As  
Solar Cells«, 16th European  
Photovoltaic Solar Energy Con-  
ference and Exhibition, Glasgow,  
United Kingdom, 1.-5.5.2000, im  
Druck  
(<sup>1</sup>: U.S. Naval Research Laboratory,  
Washington, DC, USA)  
(<sup>2</sup>: SFA, Inc., Largo, MD, USA)  
(<sup>3</sup>: Essential Research Inc.,  
Cleveland, Ohio, USA)  
(<sup>4</sup>: Japan Energy Corporation,  
Toda-shim, Saitama, Japan)  
(<sup>5</sup>: National Space Development  
Agency of Japan NASDA, Ibaraki,  
Japan)

Walters, R.J.<sup>1</sup>; Summers, G.P.<sup>1</sup>;  
Bett, A.W.; Dimroth, F.; Hoffman,  
R.W.<sup>2</sup>; Stan, M.A.<sup>2</sup>; Takamoto, T.<sup>3</sup>;  
Ikeda, E.<sup>3</sup>  
»Radiation Response of Dual-  
Junction Ga<sub>x</sub>In<sub>1-x</sub>P/Ga<sub>y</sub>In<sub>1-y</sub>As  
Solar Cells«, Proceedings 28th  
IEEE Photovoltaic Specialist Con-  
ference, Anchorage, USA,  
17.-22.9.2000, im Druck  
(<sup>1</sup>: National Renewable Energy  
Laboratory, Washington, USA)  
(<sup>2</sup>: ERI, Cleveland, OH, USA)  
(<sup>3</sup>: Japan Energy Corporation,  
Toda-Shim, Japan)

Warta, W.; Glunz, S.W.; Dicker, J.;  
Knobloch, J.  
»Highly Efficient 115 µm Thick  
Solar Cells on Industrial  
Czochralski Silicon, in Progress in  
Photovoltaics: Research and  
Applications 8 (5/2000), 465-471

Weber, P.<sup>1</sup>; Ehm, E.<sup>2</sup>; Vallvé, X.<sup>3</sup>;  
Kiefer, K.; Rössler, E.  
»Highly Reliable PV Applications in  
Regions of the European Alps  
(EURALP)«, Proceedings PV-  
Contractors Meeting,  
23.-24.3.2000, Barcelona, Spain,  
131-136  
(<sup>1</sup>: Deutscher Alpenverein DAV,  
München)  
(<sup>2</sup>: OEAV Österreichischer  
Alpenverein, Innsbruck, Austria)  
(<sup>3</sup>: SEBA/ Trama Tecno Ambiental,  
Barcelona, Spain)

Weber, P.<sup>1</sup>; Herrlich, A.<sup>1</sup>; Kiefer, K.;  
Rössler, E.  
»PV Hybrid Systems in the  
European Alps – the EURALP  
Programme«, Proceedings 16th  
European Photovoltaic Solar  
Energy Conference and Exhibition,  
Glasgow, United Kingdom,  
1.-5.5.2000, im Druck  
(<sup>1</sup>: Deutscher Alpenverein DAV,  
München)

Weismüller, G.<sup>1</sup>; Kiefer, K.; Rössler,  
E.; Schmid, J.<sup>2</sup>  
»ZKM Karlsruhe – Tramway  
System with Directly Coupled  
Photovoltaic Power Supply«,  
Proceedings PV-Contractors  
Meeting, Barcelona, Spain,  
23.-24.3.2000, 63-68  
(<sup>1</sup>: Stadtwerke Karlsruhe,  
Karlsruhe)  
(<sup>2</sup>: Universität Kassel, Kassel)

Wettling, W.  
»Solarzellen«, in: Enzyklopädie  
Naturwissenschaft und Technik:  
Astronomie, Bautechnik, Biologie,  
Chemie, Elektrotechnik, Energie-  
technik, Geowissenschaften,  
Informatik, Mathematik, Medizin,  
Physik, Verfahrens- und Ferti-  
gungstechnik, Verkehrstechnik,  
Werkstofftechnik, 2. Aufl., 4.  
Ergänzungslieferung 12/1999, 1-8

Wiemken, E.  
»Monitoring of Grid-Connected  
PV Systems from the German  
1000-Roofs Programme: Com-  
parison of Systems with Amor-  
phous and Crystalline Silicon  
Cells«, Proceedings of Workshop  
„Energias Alternativas para a  
Produção de Calor, Frio e Geração  
e Conservação de Energia  
Elétrica“, Florianópolis, Brazil,  
6.-8.12.1999, (nur in portugie-  
sisch)

Wienold, J.<sup>1</sup>; Voss, K.;  
Vandaele, L.<sup>2</sup>; Lund, P.<sup>3</sup>;  
Thynolt, M.<sup>4</sup>; Santamouris, M.<sup>5</sup>;  
Mihalakakou, G.<sup>5</sup>; Lewis, J.O.<sup>6</sup>;  
Wangusi, M.<sup>7</sup>; Burton, S.<sup>7</sup>  
»SOLGAIN – The Contribution of  
Passive Solar Energy Utilization to  
Cover the Space Heating Demand  
of the European Residential  
Building Stock«, Proceedings  
EuroSun 2000, 3rd ISES-Europe  
Solar Congress, Copenhagen,  
Denmark, 19.-22.6.2000, CD-  
ROM  
(<sup>1</sup>: solares bauen GmbH, Freiburg)  
(<sup>2</sup>: Centre Scientifique et  
Technique de la Construction,  
Brussels, Belgium)  
(<sup>3</sup>: Helsinki University of Tech-  
nology, Hut, Finland)  
(<sup>4</sup>: University of Athena, Athens,  
Greece)  
(<sup>5</sup>: University College Dublin,  
Dublin, Ireland)  
(<sup>6</sup>: ECD Energy and Environmental  
Ltd., London, UK)

Wilson, H.R.<sup>1</sup>; Georg, A.; Nitz, P.<sup>2</sup>  
»Switchable Glazing with a Large  
Range in Total Solar Energy  
Transmittance (g value)«,  
Proceedings, 6th World Renewable  
Energy Congress, WREC, Brighton,  
United Kingdom, 1.-7.7.2000,  
195-200  
(<sup>1</sup>: Interpane E&B mbH,  
Lauenförde)  
(<sup>2</sup>: PSE Projektgesellschaft Solare  
Energiesysteme mbH, Freiburg)

Wilson, H.R.<sup>1</sup>  
»Solar Control Coatings for  
Windows«, in: Funktional  
Material, Vol. 13 (2000), 221-233  
(<sup>1</sup>: Interpane E&B mbH,  
Lauenförde)

Wittwer, Chr.  
»Regelungssystementwicklung mit  
einer virtuellen Testumgebung auf  
Basis der Simulationsumgebung  
ColSim«, Tagungsband 10. Sym-  
posium Thermische Solarenergie,  
OTTI-Technologie-Kolleg, Staffe-  
stein, 10.-12.5.2000, 293-297

Fakten im Überblick

Wittwer, Chr.; Rolfs, K.<sup>1</sup>;  
Mertins, M.<sup>1</sup>  
»Evaluation of a Fuzzy Based  
Control Concept by Means of a  
Complex Thermo Hydraulic  
Simulation Model of a Heating  
System in a Low Energy Building«,  
EuroSun 2000, 3rd ISES-Europe  
Solar Congress, Copenhagen,  
Denmark, 19.-22.6.2000, CD-  
ROM  
(<sup>1</sup>: Universität Karlsruhe, Karlsruhe)

Wittwer, V.; Gombert, A.  
»Nano- and Micro-structured  
Functional Surfaces«, Proceedings  
COMBI EUROPE, Frankfurt a/M,  
28.-30.6.2000

Wittwer, V.; Gombert, A.; Rose,  
K.<sup>1</sup>; Löbmann, P.<sup>1</sup>; Sporn, D.<sup>1</sup>;  
Manns, P.<sup>2</sup>; Döll, W.<sup>2</sup>; Konz, W.<sup>3</sup>;  
Seibert, K.<sup>3</sup>  
»Applications of Periodically  
Structured Surfaces on Glass«, in:  
Glastec. Ber. Glass Science Tech-  
nology 73, No. 4 (2000), 116-118  
(<sup>1</sup>: Fraunhofer-Institut für  
Silicatiforschung ISC, Würzburg)  
(<sup>2</sup>: Fraunhofer-Institut für Werk-  
stoffmechanik IWM, Freiburg)  
(<sup>3</sup>: Fraunhofer-Institut für  
Physikalische Messtechnik IPM,  
Freiburg)

Zickermann, D.; Preu, R.  
»Herstellung von selektiven  
Emittoren im Siebdruckverfahren  
für kristalline Siliciumsolarzellen«,  
Tagungsband, Frühjahrstagung der  
Deutschen Physikalischen Gesell-  
schaft, Dresden, 20.-24.3.2000,  
321

Zimmermann, W.; Bau, S.; Eyer,  
A.; Haas, F.; Oßwald, D.  
»Crystalline Silicon Thin Film Solar  
Cells on Low Quality Silicon  
Substrates with and without SiO<sub>2</sub>  
Intermediate Layer«, Proceedings  
16th European Photovoltaic Solar  
Energy Conference and Exhibition,  
Glasgow, United Kingdom,  
1.-5.5.2000, im Druck

Zimmermann, W.; Eyer, A.  
»Coarse-Grained Crystalline Silicon  
Thin-Film Solar Cells on Laser  
Performed SiO<sub>2</sub> Barrier Layer«,  
Proceedings 28th IEEE Photovoltaic  
Specialist Conference, Anchorage,  
USA, 17.-22.9.2000, im Druck

## Abkürzungen

Ag	Silber	FZ	Floating Zone	PERC	Passivated Emitter and Rear Cell
Al	Aluminium	GaAs	Galliumarsenid	PV	Photovoltaik
AlGaAs	Aluminiumgalliumarsenid	GaInP	Galliumindiumphosphid	RCC	Rear Contacted Cell
AM	Air Mass	GaSb	Galliumantimonid	RIE	Reactive Ion Etching
APCVD	Atmospheric Pressure Chemical Vapour Deposition	Ge	Germanium	REM	Rasterelektronenmikroskop
Bi	Wismut	GSM	Global System for Mobile Communication	RPHP	Remote Plasma Hydrogen Passivation
BFC	Bifacial Cell	IEA	International Energy Agency	RP-PERC	Random Pyramid, Passivated Emitter and Rear Cell
BHKW	Blockheizkraftwerk	IR	Infrarot	RRC	Realistic Reporting Conditions
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung	K	Kelvin	RTCVD	Rapid Thermal Chemical Vapour Deposition
BMWi	Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie	KMU	Kleine und Mittlere Unternehmen	RTP	Rapid Thermal Processing
BMZ	Bundesministerium für Wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung	kW <sub>p</sub>	Kilowatt Peak (Spitzenleistung)	S/C	Steam/Carbon-Ratio Dampf-/Kohlenstoff-verhältnis
BSF	Back Surface Field	LBIC	Light Beam Induced Current	SGK	Sorptionsgestützte Klimatisierung
CIS	Copper Indium Diselenide	LBSF	Local Back Surface Field	Si	Silicium
CNRS	Centre Nationale de la Recherche Scientifique	LPE	Liquid Phase Epitaxy	SIMOX	Separation by IMplanted OXYgen
c-Si	Kristallines Silicium	mc	Multikristallin	SiN <sub>x</sub>	Siliciumnitrid
CV	Capacitance/Voltage	mc-Si	Multikristallines Silicium	Sn	Zinn
CVD	Chemical Vapour Deposition	MFCA	Modulated Free Carrier Absorption	SiO <sub>2</sub>	Siliciumdioxid
Cz	Czochralski	MgF <sub>2</sub>	Magnesiumfluorid	SPV	Surface Photovoltage
DLTS	Deep Level Transient Spectroscopy	MOCVD	Metal Organic Chemical Vapour Deposition	SSP	Silicon Sheets from Powder
EBIC	Electron Beam Induced Current	MOVPE	Metal Organic Vapour Phase Epitaxy	SR	Spectral Response
EBR	Etchback Regrowth	MPP	Maximum Power	SR-LBIC	Spatially Resolved Light Beam Induced Current
ECR	Electron Cyclotron Resonance	MSC	Miniature Solar Cell Mapping	Ti	Titan
EFG	Edge-Defined Film-Fed Growth	MW-PCD	Microwavedetected Photoconductance Decay Point	TiO <sub>2</sub>	Titandioxid
EMC	Electromagnetic Combatibility	NOCT	Nominal Operating Cell Temperature	TPV	Thermophotovoltaik
EU	Europäische Union	PCVD	Photocurrent and Voltage Decay	TWD	Transparente Wärmedämmung
FF	Füllfaktor	Pd	Palladium	V <sub>oc</sub>	Leerlaufspannung
FCKW	Fluor-Chlor-Kohlenwasserstoffe	PECVD	Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition	WPVS	World Photovoltaic Scale
FhG	Fraunhofer-Gesellschaft	PEM	Polymermembran	Zn	Zink
				η	Wirkungsgrad

Die Fraunhofer-Gesellschaft ist die führende Trägerorganisation für Einrichtungen der angewandten Forschung in Deutschland. Sie betreibt Vertragsforschung für die Industrie, für Dienstleistungsunternehmen und die öffentliche Hand. Für Kunden aus der Wirtschaft werden einsatzreife Lösungen technischer und organisatorischer Probleme rasch und kostengünstig erarbeitet. Im Rahmen der Technologieprogramme der Europäischen Union wirkt die Fraunhofer-Gesellschaft in Industriekonsortien an der Lösung technischer Fragen zur Verbesserung der Wettbewerbsfähigkeit der europäischen Wirtschaft mit. Im Auftrag und mit Förderung durch Ministerien und Behörden des Bundes und der Länder werden strategische Forschungsprojekte durchgeführt, die zu Innovationen im Bereich von Schlüsseltechnologien und im öffentlichen Nachfragebereich (Energie, Verkehr, Umwelt) beitragen.

Die Globalisierung von Wirtschaft und Forschung macht eine internationale Zusammenarbeit unerlässlich. Niederlassungen der Fraunhofer-Gesellschaft in Europa, in den USA und in Asien sorgen daher für Kontakt zu den wichtigsten gegenwärtigen und zukünftigen Wirtschaftsräumen.

Die Fraunhofer-Gesellschaft betreibt derzeit 48 Forschungseinrichtungen an Standorten in der gesamten Bundesrepublik. Rund 9 600 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, überwiegend mit natur- oder ingenieurwissenschaftlicher Ausbildung, erarbeiten das jährliche Forschungsvolumen von rund 760 Millionen Euro. Davon fallen mehr als 650 Millionen Euro auf den Leistungsbereich Vertragsforschung.

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.

## Informationen zur Fraunhofer-Gesellschaft und ihren Forschungseinrichtungen:

Fraunhofer-Gesellschaft  
Presse- und Öffentlichkeitsarbeit  
Postadresse:  
Postfach 19 03 39  
80603 München  
Telefon +49 (0) 89/12 05-3 54  
Telefax +49 (0) 89/12 05-3 17

## Redaktion

Presse und Public Relations  
Karin Schneider M.A.  
(Leitung)  
Rosemarie Becker  
(Gesamtkoordination)

Solar Consulting, Freiburg  
Dr. Klaus Heidler

## Gestaltung

netsyn GbR  
Hoffmann & Würger M.A., BDW,  
Freiburg

## Druck

Kaiser Druck, Freiburg

## Anschrift der Redaktion

Fraunhofer-Institut für  
Solare Energiesysteme ISE  
Presse und Public Relations  
Oltmannsstraße 5  
79100 Freiburg  
Telefon +49 (0) 7 61/45 88-1 50  
Telefax +49 (0) 7 61/45 88-3 42  
<http://www.ise.fhg.de>

## Neue Anschrift ab 1. Juli 2001

Fraunhofer-Institut für  
Solare Energiesysteme ISE  
Presse und Public Relations  
Heidenhofstraße 2  
79110 Freiburg

## Bestellung von Publikationen

Bitte schriftlich oder per Fax.

Bei Abdruck ist die Einwilligung der  
Redaktion erforderlich.

©Fraunhofer-Institut für  
Solare Energiesysteme ISE  
Freiburg 2001

Neben diesem Jahresbericht finden  
Sie eine Fülle weiterer Informationen  
unter <http://www.ise.fhg.de>

## Kontaktadresse

Fraunhofer-Institut für  
Solare Energiesysteme ISE  
Oltmannsstraße 5  
79100 Freiburg  
Telefon +49 (0) 7 61/45 88-0  
Telefax +49 (0) 7 61/45 88-1 00  
<http://www.ise.fhg.de>



**Neue Anschrift ab 1. Juli 2001**  
Heidenhofstraße 2  
79110 Freiburg