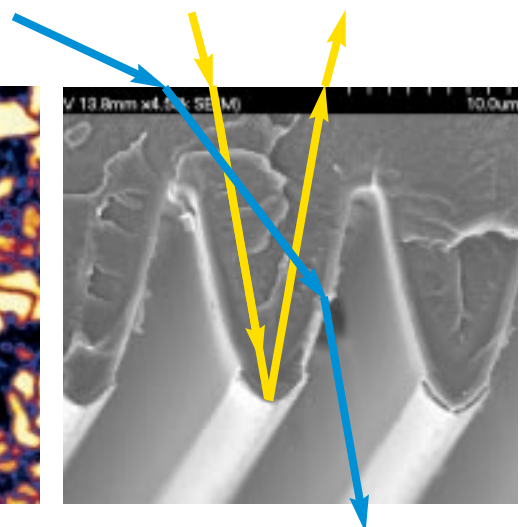
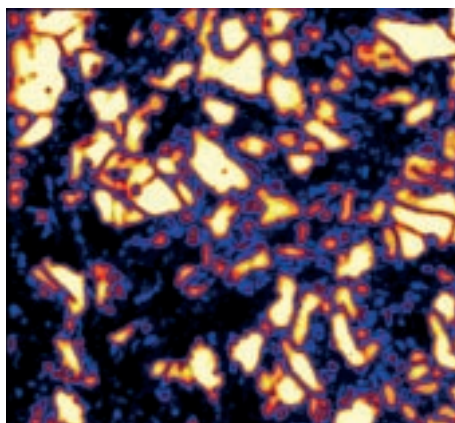
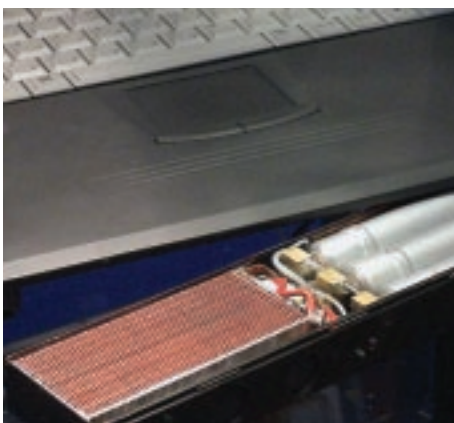




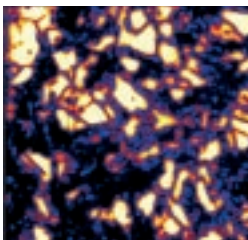
Fraunhofer Institut
Solare Energiesysteme

Leistungen und Ergebnisse Jahresbericht 2002

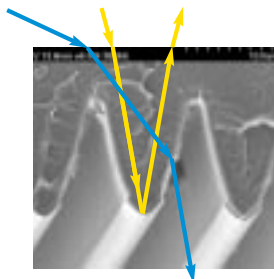




Integration eines Brennstoffzellensystems in einen Laptop. Prototyp-Entwicklung des Fraunhofer ISE mit CEM Clean Energy Technologies Inc. und LG-Caltex Oil, Korea. Der Zellstapel besteht aus 27 aufeinander gestapelten Einzelzellen, ein hocheffizienter Spannungswandler (97%) sorgt für die genau benötigte Ausgangsspannung (Beitrag S. 56).



Räumliche Verteilung der Lebensdauer von Minoritätsladungsträgern einer 100 x 100 mm² großen multikristallinen Siliciumscheibe, gemessen mit Carrier Density Imaging (CDI). Mithilfe einer im mittleren Infrarot arbeitenden Digitalkamera konnte die Zeit für die Aufnahme von Lebensdauerbildern mit guter Ortsauflösung auf wenige Sekunden (bisher Stunden) reduziert werden. Dadurch wird ein industrieller Einsatz dieser Messtechnik zur Prozesskontrolle bei der Solarzellenherstellung möglich (Beitrag S. 43).



Rasterelektronenmikroskop-Aufnahme einer Mikrostruktur für Dachverglasungen. Die Struktur reflektiert direktes Sonnenlicht (gelb) und transmittiert diffuses Himmelslicht (blau). In die Verglasung integriert, schützt sie vor Überhitzung und versorgt den Raum mit Tageslicht (Beitrag S. 20).

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

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

Inhalt

Vorwort	4		
Das Institut im Profil			
- Kurzporträt	6		
- Forschungs- und Dienstleistungsangebot	6		
- Interne Organisationsstruktur	7		
Das Institut in Zahlen	8		
Höhepunkte des Jahres 2002	9		
Kunden und Auftraggeber	10		
Internationale Kooperationen	12		
Kuratorium	14		
		Geschäftsfelder	
		Gebäude und technische Gebäudeausrüstung	16
		- Entwicklung von Sonnenschutz-Verglasungen mit optisch funktionalen Mikrostrukturen	20
		- Entwicklung von industriell vorgefertigten Kompaktbaugruppen für große solarthermische Anlagen	23
		- Anforderungen an Rohrverbindungstechniken im Solarkreis von thermischen Solaranlagen	24
		- Mikroverkapselte Phasenwechselmaterialien in Wandverbundsystemen	25
		- Sorptionsgestützte Klimatisierung für mediterranes Klima in Kombination mit Kraft-Wärme-Kopplung	26
		- Entwicklung eines neuartigen, modularen Solarluftkollektors	27
		- Demonstration und energetische Bewertung innovativer Fassaden	28
		- Entwicklung von Sonnenschutzsystemen	29
		- Solares Bauen – Wohnhäuser	30
		- Integration von PV-Anlagen in Gebäude	31
		- Solares Bauen – Gewerbliche Bauten	32
		Solarzellen	34
		- Neuartige und hocheffiziente Solarzellenstrukturen für kristallines Silicium	38
		- Waferäquivalente aus dünnen kristallinen Siliciumschichten	39
		- III-V Weltraum- und Konzentrator-Solarzellen	40
		- Lebensdauerspektroskopie zur Analyse von Defekten in Silicium	42
		- Analyse örtlich verteilter Verluste in Silicium-Solarzellen	43
		- Kontaminationsarmer Transport für die industrielle Hochtemperaturprozessierung von Silicium-Solarzellen	44
		- Labor- und Servicecenter Gelsenkirchen	45
		- Farbstoffsolarzellen	46
		- Organische Solarzellen	47

Netzunabhängige Stromversorgungen	48	Servicebereiche	80
- Ergonomische Kommunikations-Schnittstelle für PV-Systeme am Beispiel eines Displays für Prepayment-Systeme	52	- ISE CalLab: Kalibrieren von Solarzellen und Modulen	84
- Exportoffensive zu Produkten und Dienstleistungen für die ländliche Elektrifizierung	53	- Prü fzentrum für Thermische Solaranlagen (PZTS)	85
- Erfahrungen aus zehn Jahren ländlicher Elektrifizierung für Unternehmen nutzbar machen	54	- Teststand für Solare Sorptionsgestützte Klimatisierungsanlagen (SSGKTEST)	86
- Neue Ladeverfahren für Batterien in autonomen Stromversorgungen	55	- Vermessung von Fassaden und transparenten Bauteilen	87
- Mikroenergietechnik	56	- Gebäudekonzepte und Simulation	88
		- Charakterisierung von Wechselrichtern	89
		- Qualifizieren und Optimieren von DC-Komponenten für Photovoltaik-Systeme	90
Regenerative Stromerzeugung im Netzverbund	58		
- Stromnetze mit hohem Anteil fluktuierender erneuerbarer Energien	62	Fakten im Überblick	
- Elektronikentwicklung	64	Gastwissenschaftler	92
- Malaysia: Netzgekoppelte Photovoltaik in Südostasien	66	Mitarbeit in Gremien	92
- Solarthermische Stromerzeugung	67	Vom Institut (mit-)organisierte Kongresse, Tagungen und Seminare	93
- Photovoltaik – Sicherheitsaspekte	68		
- Satellitendaten für Qualitätssicherung und Betriebsführung	69	Vorlesungen und Seminare	94
		Messebeteiligungen	94
Wasserstofftechnologie	70	Patente	94
- Brennstoffzellen im Reformatgas-Betrieb – Optimierung von Betriebsführung und Komponenten	74	Promotionen	95
- Reformer gehen in die Luft – Effiziente Stromversorgung in Flugzeugen	75	Pressearbeit	95
- Auswahl von Katalysatoren für die Gasprozesstechnik	76	Vorträge	96
- Flache Mikrobrennstoffzelle	78	Veröffentlichungen	98
- Regelung und Simulation von Brennstoffzellen	79	Abkürzungen	104
		Impressum	105



Der vorliegende Jahresbericht unseres Instituts ist der erste, der nach Geschäftsfeldern strukturiert ist. In den letzten zwei Jahren haben wir am Fraunhofer ISE eine professionelle Strategieplanung aufgebaut, die es gestattet, unsere Arbeit noch fokussierter auf unseren F&E Markt hin auszurichten. Dieser Markt bildet sich für uns nunmehr in fünf Geschäftsfeldern ab:

Gebäude und technische Gebäudeausrüstung,
Solarzellen,
Netzunabhängige Stromversorgungen,
Regenerative Stromerzeugung im Netzverbund,
Wasserstofftechnologie.

Entlang dieser Geschäftsfeldstruktur wollen wir in Zukunft unser Marketing im F&E- und Dienstleistungsbereich ausrichten, unsere Außendarstellung betreiben und vor allem eine zielgerichtete kontinuierliche forschungs- und technologiebezogene Strategieplanung realisieren. Parallel zu den Geschäftsfeldern haben wir aber unsere bewährte Abteilungsstruktur ohne Abstriche beibehalten. In den Abteilungen findet die konkrete Strukturierung unserer wissenschaftlichen Arbeit und die Organisation des Laborbetriebs statt. Darüber hinaus – und ganz wichtig für ein größeres Forschungsinstitut – stellen die Abteilungen die kleinskaligere »Heimat« für unsere Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter dar. Dieses zweigleisige System von Abteilungen und Geschäftsfeldern hat sich trotz seiner komplexeren Struktur am Fraunhofer ISE bewährt, wir werden es in Zukunft beibehalten.

Das Fraunhofer ISE ist auch 2002 wieder merklich gewachsen: Im Personalbereich um etwa 10%. Da unser Institutsneubau bereits zum

Zeitpunkt unseres Einzugs 2001 für das gesamte Institut zu klein war, hätte dieses erneute Wachstum sehr leicht zu großen räumlichen Problemen führen können. Erfreulicherweise gelang es uns aber, mit tatkräftiger Unterstützung der Fraunhofer-Zentrale, auf der gegenüberliegenden Straßenseite unseres Neubaus ein 6 000 m² großes Grundstück mit einigen Gebäuden in Erbpacht zu mieten. Wir wollen diese Flächen in den kommenden Jahren auch dazu nutzen, um in der Produktionstechnologie auf den Feldern optische Beschichtungen, mikrostrukturierte Oberflächen und Solarzellen zu expandieren.

Eine Komponente des personellen Wachstums unseres Instituts lag im Bereich Doktoranden und Diplomanden. Wir bilden derzeit 47 Diplomanden von Fachhochschulen und Universitäten aus und werden durch 48 Doktoranden in unseren Forschungsarbeiten unterstützt. Dies zeigt zum einen die wissenschaftliche und technologische Attraktivität des Instituts, zum anderen reflektiert dies aber auch unser Engagement in der akademischen Lehre. Elf Wissenschaftler unseres Instituts lehren zur Zeit an Universitäten und Fachhochschulen (siehe Seite 94 dieses Jahresberichtes).

Wie in den letzten Jahren können wir auch dieses Jahr stolz berichten, dass ein leitender Wissenschaftler des Fraunhofer ISE einen Ruf auf eine Professur erhielt. Herr Dr. Karsten Voss wird Anfang 2003 eine Professur an der Bergischen Universität Wuppertal im Bereich Bauphysik und Technische Gebäudeausrüstung übernehmen. Ich möchte Herrn Voss im Namen des ganzen Instituts auch an dieser Stelle herzlich gratulieren

und ihm für das in vielen Jahren für das Institut Geleistete nachdrücklich danken. Nachfolger von Herrn Voss im Bereich Solares Bauen wird ein engagierter und erfahrener Wissenschaftler des Fraunhofer ISE: Herr Sebastian Herkel.

Wie bereits im letzten Jahresbericht angekündigt, hat Herr Dr. Tim Meyer zum 1. Januar 2002 die Leitung der Abteilung »Elektrische Energiesysteme« übernommen. Unter seiner Leitung sind im Jahr 2002 wesentliche Schärfungen des Abteilungsprofils vor allem in den Bereichen Elektronik, verteilte Stromerzeugung und autonome Stromversorgungssysteme erfolgt.

Allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern unseres Instituts danke ich an dieser Stelle für die kreative, hoch motivierte und erfolgreiche Arbeit. Einige besonders hervorstechende Ergebnisse der gemeinsamen Anstrengungen sind auf Seite 9 dieses Jahresberichts herausgehoben. Der engagierte Einsatz der Menschen unseres Instituts für die technische Nutzung der Sonnenenergie und das Fraunhofer ISE verdient uneingeschränkte Bewunderung. Mein besonderer Dank gilt unseren Auftraggebern in Industrie, Ministerien und Europäischer Union, die durch ihr Interesse und ihr Vertrauen unsere Arbeit 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 Materialien, Komponenten, Systeme und Verfahren in den Geschäftsfeldern: Gebäude und technische Gebäudeausrüstung, Solarzellen, Netzunabhängige Stromversorgungen, Regenerative Stromerzeugung im Netzverbund und Wasserstofftechnologie.

Die Arbeit des Instituts reicht von der Erforschung der 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 Forschungsverbunds Sonnenenergie und der European Renewable Energy Centers (EUREC) Agency. Besonders eng ist die Zusammenarbeit mit der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg.

Forschungs- und Dienstleistungsangebot

Das Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE ist Mitglied der Fraunhofer-Gesellschaft, einer Non-profit-Organisation, die sich als Mittler zwischen universitärer Grundlagenforschung und industrieller Praxis versteht. Es finanziert sich zu über 80% durch Aufträge in den Bereichen angewandte Forschung, Entwicklung und Hochtechnologie-Dienstleistungen. Ob mehrjähriges Großprojekt oder Kurzberatung, kennzeichnend für die Arbeitsweise ist der Praxisbezug und die Orientierung am Kundennutzen.

Seit März 2001 ist das Fraunhofer ISE zertifiziert nach DIN EN ISO 9001:2000

Das Qualitätsmanagement wurde eingeführt mit dem Ziel einer optimierten und transparenten Organisation der Projekt- und Forschungsarbeit. Die positive Resonanz insbesondere im Rahmen der internationalen Akquisitionsbemühungen bestätigt das Institut in dieser Maßnahme.



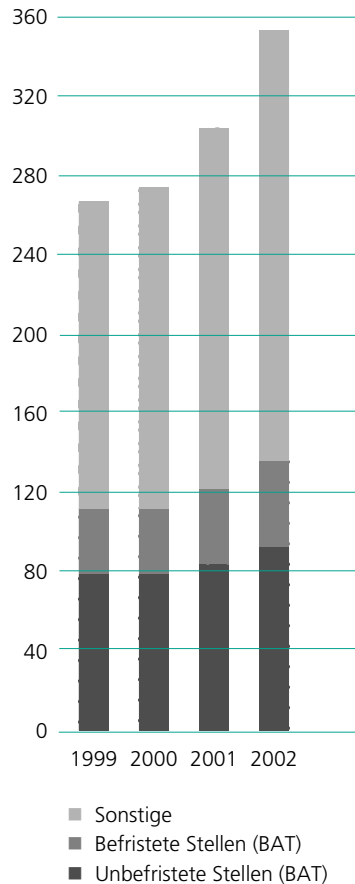


Die Organisationsstruktur des Fraunhofer ISE hat seit dem Jahr 2002 zwei parallele, sich wechselseitig ergänzende Hauptkomponenten: Abteilungen und Geschäftsfelder. F&E Marketing, die Außendarstellung des Instituts und vor allem unsere Strategieplanung sind entlang der fünf Geschäftsfelder des Instituts strukturiert. Die vier wissenschaftlichen Abteilungen sind für die konkrete Arbeitsorganisation und den Laborbetrieb entscheidend. Die meisten Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter aus den Bereichen Wissenschaft und Technik haben ihre Basis in den einzelnen Abteilungen. Das Bild oben zeigt die Leiter der wissenschaftlichen Abteilungen und den Institutsleiter des Fraunhofer ISE. Von links nach rechts: Tim Meyer, Gerhard Willeke, Joachim Luther, Christopher Hebling und Volker Wittwer.

Interne Organisationsstruktur des Fraunhofer ISE

Institutsleitung	Prof. Joachim Luther	
Stellvertretende Institutsleitung	Priv. Doz. Dr. Volker Wittwer	
Abteilungen	Thermische und Optische Systeme Priv. Doz. Dr. Volker Wittwer	+49 (0) 7 61/45 88-51 43
	Energietechnik Dr. Christopher Hebling	+49 (0) 7 61/45 88-51 95
	Solarzellen - Werkstoffe und Technologie Priv. Doz. Dr. Gerhard Willeke	+49 (0) 7 61/45 88-52 66
	Elektrische Energiesysteme Dr. Tim Meyer	+49 (0) 7 61/45 88-52 16
Kaufmännische und Technische Dienste	Dipl.-Kfm. Wolfgang Wissler	+49 (0) 7 61/45 88-53 50
Presse und Public Relations	Karin Schneider M.A.	+49 (0) 7 61/45 88-51 47
Strategieplanung	Dr. Carsten Agert	+49 (0) 7 61/45 88-53 46

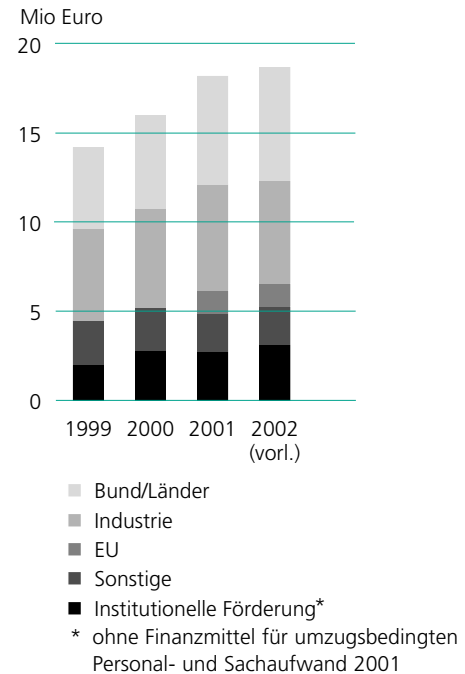
Personalentwicklung



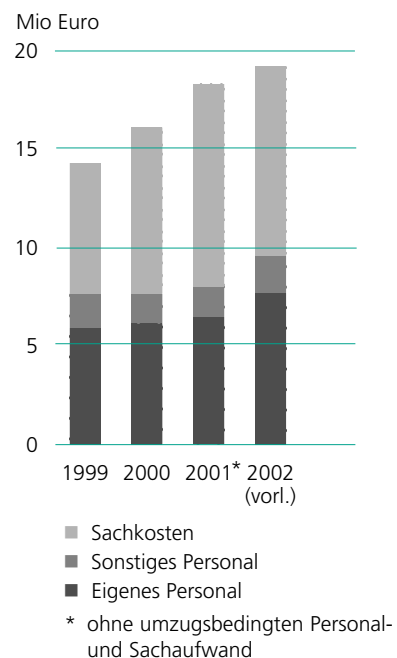
Eine wichtige Stütze des Instituts sind die »sonstigen« Mitarbeiter, welche die Arbeit in den Forschungsprojekten unterstützen und so wesentlich zu den erzielten wissenschaftlichen Ergebnissen beitragen. Im Dezember 2002 waren dies 48 Doktoranden, 47 Diplomanden, 22 Praktikanten, 7 Auszubildende sowie 87 wissenschaftliche und 6 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 2002 Investitionen in Höhe von 4,4 Mio Euro.

Erträge



Kosten



Forschung und Entwicklung

- Mikro-Compound Parabolic Concentrators (CPC) als effektive Sonnenschutzsysteme erstmals photolithographisch hergestellt
- Mikrostrukturierte Prismensysteme kombiniert mit gaschromen Schichten als effektives semitransparentes Blend- und Sonnenschutzsystem erfolgreich demonstriert
- Putze mit integrierten mikroverkapselten Paraffinen als wärmespeicherndes Baumaterial für klimaanlagenfreie Gebäude marktreif entwickelt
- Wirkungsgrad von Großkollektoranlagen durch neue Pumpeneinheiten, die von simulations-basierter Regelung gesteuert werden, verbessert
- Kleine Lüftungskompaktgeräte erweisen sich im Feldtest als exzellente Technik zur Wärmeversorgung von Solar-Passivhäusern
- Laser-unterstütztes Verfahren reduziert Prozesszeit für Rückseitenkontakte bei Si-Hocheffizienzsolarmodulen auf 1 s
- Siebdruck-Solarmodulprozess mit 15% Wirkungsgrad erfolgreich auf großen multi-kristallinen Si-Scheiben etabliert
- 70 µm dünne Wafer mit konventionellen Verfahren zu 20.5% effizienten Solarmodulen prozessiert
- 5 x 5 cm² große Waferäquivalent-Dünnschicht-solarmodul mit 13% Wirkungsgrad auf direkt-epitaxiertem p⁺⁺ Cz-Wafer mit einfachem Industrieprozess hergestellt
- Wärmebildkamera und Lock-In-Technik beschleunigen Charakterisierung kristalliner Siliciumwafer um mehr als das 100-fache
- Laborfertigungsanlage für langzeit-versiegelte Farbstoffsolarmodul-Module bis 30 x 30 cm² aufgebaut
- Organische Testsolarmodul (0,5 cm²) erreichen 2% Wirkungsgrad
- Neue Schalttopologie für Wechselrichter (HERIC[®] Highly Efficient and Reliable Inverter Concept) mit bis zu 96,5% Wirkungsgrad erfolgreich demonstriert
- Reformer für ein stationäres Brennstoffzellenheizgerät zur Kogeneration von Strom und Wärme aus Erdgas entwickelt und realisiert

- 50 W Mikrobrennstoffzellen-System zur Versorgung eines Laptops entwickelt und vollständig in das Akkufach integriert
- Flaches Brennstoffzellen-System (50 W) inklusive Leistungsaufbereitung für die Integration hinter das Display eines Laptops entwickelt
- Methanol-Brennstoffzelle mit einer Leistungsdichte von 35 mW/cm² bei Umgebungsbedingungen entwickelt
- Vollautomatisierter Druckelektrolyseur mit einer Leistung von 2 kW erfolgreich entwickelt und realisiert
- Benzin-Reformer für den mobilen Einsatz entwickelt

Rufe, Ernennungen, Preise

Herr Dr. Karsten Voss hat den Ruf auf eine C3 Professur an die Bergische Universität Wuppertal, Lehrstuhl für Bauphysik und Technische Gebäudeausrüstung, angenommen.

Im Wettbewerb »Innovationspreis Brennstoffzelle 2002« erhielt Herr Dr. Christopher Hebling den »f-cell award in Bronze« für den Beitrag »Miniaturisiertes PEM-Brennstoffzellen-System zur Stromversorgung eines digitalen Camcorders«. Die Entwicklung des Mini-Brennstoffzellen-Systems für den Camcorder steht im Zentrum der Arbeiten der Fraunhofer-Initiative Mikrobrennstoffzellen.

Herr Thomas Werber erhielt am 22.11.2002 die Ehrenplakette der Fachhochschule Aachen für seine Diplomarbeit »Konstruktion, Aufbau und Inbetriebnahme eines Reformers zur Wasserstoffherzeugung für PEM-Brennstoffzellen«.

Herr Priv. Doz. Dr. Gerhard Willeke ist seit 11.10.2002 assoziiertes Mitglied im Freiburger Materialforschungszentrum FMF der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg.

Das Fraunhofer ISE wurde als einer von fünf »Finalists« für die Endrunde um den »World Technology Network Award for Energy 2002« nominiert, der am 23.7.2002 in New York vergeben wurde.

Kunden und Auftraggeber

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

Kunden, die einer Nennung zugestimmt haben:

- ACR GmbH, Niedereschach
- Adam Opel AG
- Aixtron GmbH, Aachen
- Akkumulatorenfabrik Sonnenschein GmbH (Exide German Group), Büdingen
- Ambient Recording, München
- Ansaldo, Genua, Italien
- Applied Films, Alzenau
- AstroPower Inc., Newark, USA
- Autotype Ltd., Wantage, UK
- Badenova AG, Freiburg
- BASF AG, Ludwigshafen
- Bau Info Center Lüftungstechnik, ein Unternehmensbereich der Schwörer Haus KG, Hohenstein
- Bayer AG, Krefeld-Uerdingen
- Beratung für Batterien und Energietechnik BBE, Osterode
- Bess Europe, Zulte, Belgien
- British Petroleum BP Solar International, Sunbury, UK
- Bug-Alu Technik AG, Kennelbach, Österreich
- Bundesministerium für Bildung und Forschung BMBF, Berlin
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit BMU, Bonn
- Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie BMWi, Berlin
- Bundesverband Leichtbetonzuschlag-Industrie e.V., Stuttgart
- Caparol Farben, Lacke, Bautenschutz, Ober-Ramstadt
- Centrotherm GmbH, Blaubeuren
- Club zur ländlichen Elektrifizierung, C.L.E., Freiburg
- 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
- Deutsche Solar GmbH, Freiberg
- Deutscher Alpenverein DAV, München
- E.ON, Hannover und München
- Econzept Energieplanung GmbH, Freiburg
- EDAG Engineering + Design AG, Fulda
- Eichhorn, Thanhoffer & Thanhoffer OEG - ETT, Wien, Österreich
- EKRA Maschinenfabrik GmbH, Bönningheim
- Energie Baden-Württemberg AG, EnBW, Karlsruhe
- Epichem Ltd., Merseyside, UK
- Ersol AG, Erfurt
- Europäische Union, EU, Brüssel, Belgien
- Flabeg Holding GmbH, Gelsenkirchen
- Flughafen Köln/Bonn GmbH
- Ford AG, Köln
- Fresnel Optics GmbH, Apolda
- G+H Isover, Ladenburg
- Gebäudemanagement Schleswig-Holstein (GMSH), Kiel
- Grammer KG, Amberg
- GreenONEtec, Ebenthal, Österreich
- Greenpeace Deutschland, Hamburg
- Grundwert Verwaltungs- und Projektentwicklungs-GmbH (GVP), Frankfurt
- H.C. Starck Ceramics GmbH & Co.KG, Selb
- Hagen Batterie AG (Exide German Group), Soest
- Heraeus Quarzglas GmbH & Co. KG, Kleinostheim
- Hochbauamt der Stadt Mannheim, Mannheim
- Hüppe Form, Oldenburg
- IBC Solartechnik, Staffelstein
- Institutt for energietechnik – Norges internasjonale energiinstitutt IFE, Kjeller, Norwegen
- Instituto de Energía Solar IES, Madrid, Spanien
- Interoptix Inc., San Jose, USA

- Interpane E&B mbH Co. KG, Lauenförde
- Kostal GmbH + Co. KG, Dortmund
- Liebherr Aerospace AG, Lindenberg
- M + W Zander GmbH, Stuttgart
- Maico Haustechnik, Villingen-Schwenningen
- Master Flex AG, Gelsenkirchen
- Maxit Baustoff- und Kalkwerk Mathis GmbH, Merdingen
- Merck KGaA, Darmstadt
- Messer Mahler IGS, Stuttgart
- MHH Solartechnik GmbH, Tübingen
- MHZ-Hachtel, Leinfelden-Echterdingen
- Ministerium für Wissenschaft und Forschung, Baden-Württemberg, Stuttgart
- Moonlight, Wehr
- MVV Energie AG, Mannheim
- Okalux Kapillarglas GmbH, Marktheidenfeld
- OMG AG, Hanau
- Philips Medical Systems DMC GmbH, Hamburg
- Prof. Michael Lange, Berlin
- Prokuwa Kunststoff GmbH, Dortmund
- PV Silicon AG, Erfurt
- RENA Sondermaschinen GmbH, Gütenbach
- Resol Elektronische Regelungen GmbH, Hattingen
- Robert Bosch GmbH, Stuttgart
- Roth + Rau AG, Wüstenbrand
- RWE Power AG, Essen
- RWE Solar GmbH, Alzenau
- RWE Space Solar Power GmbH, Heilbronn
- RWTH Aachen, Aachen
- Saint Gobain G+H Isover, Ladenburg
- Saint Gobain Glass, Herzogenrath
- Schott Rohrglas GmbH, Mitterteich
- Siemens & Shell Solar Deutschland GmbH, München
- Solar World, Bonn
- Solar-Application GmbH, Freiburg
- Solarenergieförderverein Bayern e.V., München
- Solar-Fabrik GmbH, Freiburg
- Solvis GmbH, Braunschweig
- Sorpetaler Objekte GmbH, Sundern-Hagen
- Stadtwerke Karlsruhe, Karlsruhe
- Steca GmbH, Memmingen
- Stiftung Energieforschung Land Baden-Württemberg, Stuttgart
- Sto AG, Stühlingen
- Süd-Chemie AG, München
- Südwestrundfunk, Landesstudio Mainz
- Sunways, Konstanz
- Suptina Grieshaber, Schapbach
- Trama Tecno Ambiental, Barcelona, Spanien
- Transénergie, Lyon, Frankreich
- Truma AG, München
- TRUMPF Laser GmbH & Co. KG, Schramberg
- Universitätsklinikum, Freiburg
- University of New South Wales, Centre for Third Generation Photovoltaics, Sydney, Australien
- Vegla GmbH, Aachen
- Velux A/S, Vedbaek, Dänemark
- Viega GmbH Co. KG, Attendorn
- Wagner & Co., Cölbe
- Warema Renkhoff GmbH, Marktheidenfeld
- Webasto AG, München
- Weltbank, Washington, USA
- Wilo GmbH, Dortmund
- Wirtschaftsministerium Nordrhein-Westfalen
- Würth Solar GmbH & Co. KG., Marbach am Neckar
- Zentrum für Sonnenenergie und Wasserstoff-Forschung ZSW, Stuttgart/Ulm
- Zibell, Willner & Partner, Berlin

Internationale Kooperationen

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

- Air Liquide S.A., Sassenage, Frankreich
- Altaier Zentrum Nichttraditionelle Energetik u. Energieeinsparung, Barnaul, Russland
- Aplicaciones Tecnicas de la Energía S.A. – ATER SA, Valencia, Spanien
- Arge Erneuerbare Energie, Gleisdorf, Österreich
- A.S. Joffe Institut, St. Petersburg, Russland
- Australian Cooperative Research Centre for Renewable Energy – ACRE, Perth, Australien
- Australian National University – ANU, Canberra, Australien
- BPP Technologie LSDE, Technical Implementation Unit, Energy Technology Laboratory, Serpong Tangerang, Indonesien
- British Petroleum BP Solar International, Sunbury, UK
- Centre de Caderache – CEA-GENEC, Saint-Paul-Lez-Durance, Frankreich
- Centre for Renewable Energy Sources CRES, Pikermi, Griechenland
- 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
- Centro Elettrotecnico Sperimentale Italiano Giacinto Motta SpA – CESI, Mailand, Italien
- Chloride, Madrid, Spanien
- CIEMAT Instituto de Energías Renovables IER, Madrid, Spanien
- Compagnie Européenne d'Accumulateurs CEAC, Gennevielliers, Frankreich
- Consejo Superior de Investigaciones Científicas CSIC, Madrid, Spanien
- Det Norske Meteorologisk Institutt, Bergen, Norwegen
- Ecole des Mines, Paris (Centre d'Energétique, Sophia Antipolis), Frankreich
- Ecole Nationale des Travaux Publics de L'Etat ENTPE, Lyon, Frankreich
- Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt – EMPA, Dübendorf, Schweiz
- Ente per le Nuove Tecnologie, l'energia e l'ambiente – ENEA, Rom, Italien
- ENECOLO AG, Mönchaltorf, Schweiz
- Energy Research Centre of the Netherlands – ECN, Petten, Niederlande
- Esbensen Consulting Engineers, Virum, Dänemark
- Europäische Union EU, Brüssel, Belgien
- Greencell, Sevilla, Spanien
- Guangzhou Institute of Energy Conversion GIEC, Guangzhou, China
- HCT Shaping Systems, Cheseaux, Schweiz
- Hebrew University, Jerusalem, Israel
- Hochschule für Technik und Architektur, Burgdorf, Schweiz
- Inabensa, Sevilla, Spanien
- 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
- Instituto Tecnológico y de Energías Renovables ITER, Teneriffa, Spanien
- 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: »Sustainable Solar Housing«
- Task 31: »Daylighting Buildings in the 21st Century«
- International Solar Energy Society ISES, Freiburg
- Interuniversity Microelectronics Center, IMEC, Leuven, Belgien
- Joint Research Center, Ispra, Italien
- Kema Nederland B.V., Arnheim, Niederlande
- Laboratoire Charles Fabry de l'Institut d'Optique, CNRS, Orsay, Frankreich
- Lawrence Berkeley National Laboratory LBNL, Berkeley, USA
- 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
- Nedstack, Arnhem, Niederlande
- NLCC Architects Sdn., Kuala Lumpur, Malaysia
- Norsk Enok og Energi AS, Drammen, Norwegen
- Nuvera Fuel Cells, Mailand, Italien
- Oxford Brookes University, Oxford, UK
- Photowatt SA, Bourgoin-Jallieu, Frankreich
- Pillar Joint-Stock Co., Kiev, Ukraine
- Politechnika Krakowska, Krakau, Polen
- Politechnika Łódzka, Lodz, Polen
- RISOE – National Laboratory, Roskilde, Dänemark
- Rutherford Appleton Laboratory, Oxford, UK
- S.E. del Acumulador Tudor S.A., Madrid, Spanien
- SAMSUNG Corp., Yongin, Korea
- Scanwafer AS, Høvik, Norwegen
- Solarenergie Prüf- und Forschungsstelle, Rapperswil, Schweiz
- Stockholms Universitet, Stockholm, Schweden
- Swedish National Testing and Research Institute, Boras, Schweden
- TNO Building and Construction Research, Delft, Niederlande
- Tokuyama Corporation, Yamaguchi, Japan
- Topsil Semiconductor Materials, Frederiksand, Dänemark
- Total Energie, La Tour de Salvagny, Frankreich
- Trama Tecno Ambiental, Barcelona, Spanien
- Universidad de la Laguna, La Laguna, Teneriffa, Spanien
- Universidad San Juan UNSJ, San Juan, Argentinien
- Università degli Studi di Genova, UGDIE, Genua, Italien
- Universität Zürich, Schweiz
- Universiteit Utrecht, Utrecht, Niederlande
- University of California, Berkeley, USA
- University of Cyprus, Nikosia, Zypern
- University of New South Wales – UNSW, Sydney, Australien
- University of Reading, UK
- University of Strathclyde, UK
- Uppsala Universitet, Uppsala, Schweden
- Velux A/S, Soborg, Dänemark
- Vergnet S.A., Ingré, Frankreich

Kuratorium

Das Kuratorium begutachtet die Forschungsprojekte und berät die Institutsleitung und den Vorstand der Fraunhofer-Gesellschaft bezüglich des Arbeitsprogrammes des Fraunhofer ISE.
Stand: 31.12.2002

Vorsitzender

Prof. Peter Woditsch
Deutsche Solar AG, Freiberg

Stellvertretender Vorsitzender

Dr. Rolf Blessing
Interpane Entwicklungs- und
Beratungsgesellschaft mbH, Lauenförde
(bis 9.10.2002)

Mitglieder

Dr. Hubert Aulich
PV Silicon AG, 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. Gerd Eisenbeiß
Forschungszentrum Jülich GmbH, Jülich

Dr. Klaus Hassmann
Siemens AG, Erlangen

Prof. Thomas Herzog
Technische Universität München

Dr. Winfried Hoffmann
RWE SOLAR GmbH, 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

Ministerialrat Gerd Heitmann
Wirtschaftsministerium 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, Bonn

Gerhard Warnke
MAICO Ventilatoren, Villingen-Schwenningen

Gebäude und technische Gebäudeausrüstung



Solarzellen



Netzunabhängige Stromversorgungen



Regenerative Stromerzeugung im Netzverbund



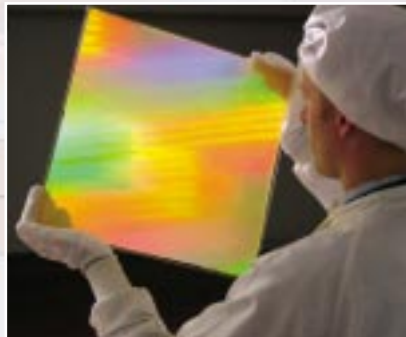
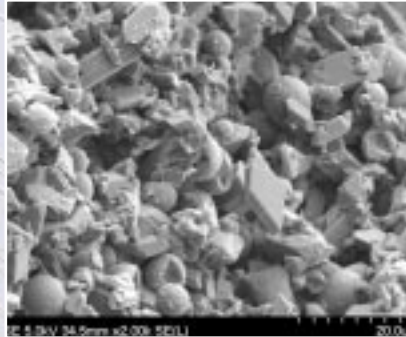
Wasserstofftechnologie

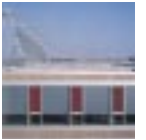


Servicebereiche



Gebäude und technische Gebäudeausrüstung





Solares Bauen lohnt sich

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

Die Gesetzgebung unterstützt den Trend zum nachhaltigen Bauen. So müssen in den nächsten Jahren drei Millionen Heizanlagen saniert werden, weil sie die Effizienznorm nicht mehr erfüllen. Oder der Energiepass: Er wird den spezifischen Energieverbrauch von Gebäuden auch für Laien transparent machen.

Wie wichtig dieses Thema ist, zeigt folgende Zahl: Wir verbrauchen heute für den Betrieb von Gebäuden über 40% der deutschen Endenergie. Damit wird geheizt, gekühlt, gelüftet, beleuchtet und vieles mehr. Rationelle Energienutzung reduziert den Energieeinsatz für diese Dienstleistungen und verbessert dabei oft sogar noch den Nutzungskomfort. In jedem Fall gilt: Je geringer der verbleibende Energiebedarf, desto größer ist der Anteil, den erneuerbare Energien sinnvoll decken können.

Beim Fraunhofer ISE sind Gebäude und ihre technische Ausrüstung ein zentrales Geschäftsfeld. Wir sind immer dann der richtige Ansprechpartner, wenn ganz neue Lösungen gesucht werden oder besonders hohe Anforderungen zu erfüllen sind. So entwickeln wir Ideen, machen sie in Produkten oder Verfahren praxisreif und testen sie in Demonstrationsbauten. Oder wir konzipieren anspruchsvolle Bauwerke mit selbst entwickelten Simulationswerkzeugen. Die Bearbeitungstiefe der Themen reicht von der Grundlagenentwicklung bis zur Markteinführung fertiger Systeme.



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

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

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

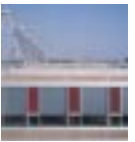
Unsere Apparaturen und Messverfahren entwickeln wir ständig weiter. Einige Beispiele:

- große Laserbelichtungstische, um bis zu 60 cm x 80 cm große Mikrostrukturen herzustellen
- Vakuumbeschichtungsanlage zur industrienahe Herstellung großflächiger (140 cm x 180 cm) komplexer Schichtsysteme auf Gläsern, Folien und Metallen
- optische Labore für Charakterisierungen und Analysen bei der Materialentwicklung
- Testlabore zur Bestimmung physikalischer und technischer Eigenschaften von Kollektoren, thermischen Speichern, Fenster- und Fassadensystemen
- Messtechnik für die Qualitätssicherung vor Ort im Bauwesen.

Um die Nutzerakzeptanz von baulichen Lösungen zu untersuchen, beziehen wir auch Testpersonen ein.

Begleitet werden die experimentellen Arbeiten durch die Weiterentwicklung von Simulationsprogrammen. Sie bilden die Voraussetzung zur weiteren Optimierung von Materialien und Systemen.

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

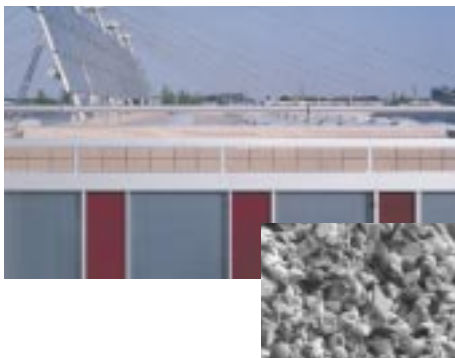


Ansprechpartner

Gebäudekonzepte und Simulation	Dipl.-Ing. Sebastian Herkel	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-51 17 E-Mail: Sebastian.Herkel@ise.fhg.de
Fassaden und Fenster	Dr. Werner Platzer	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-51 31 E-Mail: Werner.Platzer@ise.fhg.de
Lüftung- und Klimatechnik	Dr. Andreas Bühring	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-52 88 E-Mail: Andreas.Buehring@ise.fhg.de
	Dipl.-Ing. Carsten Hindenburg	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-53 53 E-Mail: Carsten.Hindenburg@ise.fhg.de
Sorptive und Phasenwechsel-Speichermaterialien	Dr. Hans-Martin Henning	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-51 34 E-Mail: Hans-Martin.Henning@ise.fhg.de
Thermische Solaranlagen	Dipl.-Phys. Matthias Rommel	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-51 41 E-Mail: Matthias.Rommel@ise.fhg.de
Monitoring und Demonstrationsprojekte	Dipl.-Ing. Klaus Kiefer	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-52 18 E-Mail: Klaus.Kiefer@ise.fhg.de
	Dipl.-Ing. Sebastian Herkel	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-51 17 E-Mail: Sebastian.Herkel@ise.fhg.de
Membranbrennstoffzellen – Entwicklung von Komponenten und Systemen	Dr. Peter Hübner	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-52 10 E-Mail: Peter.Huebner@ise.fhg.de
	Dipl.-Ing. Ursula Wittstadt	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-52 04 E-Mail: Ursula.Wittstadt@ise.fhg.de
Beschichtungstechnik	Dipl.-Ing. Wolfgang Graf	Tel.: +49 (0) 7 61/4 01 66-85 E-Mail: Wolfgang.Graf@ise.fhg.de
Strukturierung von Oberflächen	Dr. Andreas Gombert	Tel.: +49 (0) 7 61/4 01 66-83 E-Mail: Andreas.Gombert@ise.fhg.de
Beschleunigte Alterungsanalysen	Dipl.-Phys. Michael Köhl	Tel.: +49 (0) 7 61/4 01 66-82 E-Mail: Michael.Koehl@ise.fhg.de

Übergreifende Koordination

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



Nullemissionsfabrik SOLVIS. Im Bild Fassade mit Vakuumdämmung (rot), lichtstreuenden Verglasungen (grau) und Zuluftöffnungen (Lochsteine). Die Solarkollektoren sind Bestandteil des Dachtragwerks (Beitrag S. 32). Architekten: Banz+Riecks, Bochum; Foto: Chr. Richters



Rasterelektronenmikroskop-Aufnahme von mikroverkapselten Phasenwechselmaterialien (Kügelchen) in Gipsputz, ca. 2000fache Vergrößerung. Die durchschnittliche Größe der Kapseln beträgt ca. 8 μm (Beitrag S. 25).



Elektrochrome Fensterverglasung. Für die Durchführung von Nutzerakzeptanzstudien hat das Fraunhofer ISE in einem institutseigenen Büroraum ein Testfenster installiert.



Visuelle Inspektion eines Oberflächenrelief-Gitters. Die am Fraunhofer ISE hergestellten Masterstrukturen werden in Kunststoffen und Sol-Gel-Schichten vervielfältigt.



Entwicklung von Sonnenschutz- Verglasungen mit optisch funktionalen Mikrostrukturen

Transparente Fassadenbereiche sind ein Schwerpunkt moderner, tageslichtorientierter Architektur. Hierfür werden innovative Systeme zur effizienten saisonalen Steuerung der natürlichen Licht- und Energieströme gesucht. Wir entwickeln Mikrostrukturen, die Licht und Solarstrahlung gezielt lenken. Insbesondere reflektieren sie unerwünschte Strahlung im Sommer nach außen.

Benedikt Bläsi, Christopher Bühler,
Andreas Georg, Andreas Gombert,
Wolfgang Hoßfeld, Jörg Mick,
Peter Nitz, Harald Lautenschlager,
Christian Schetter, Günther Walze,
Volker Wittwer

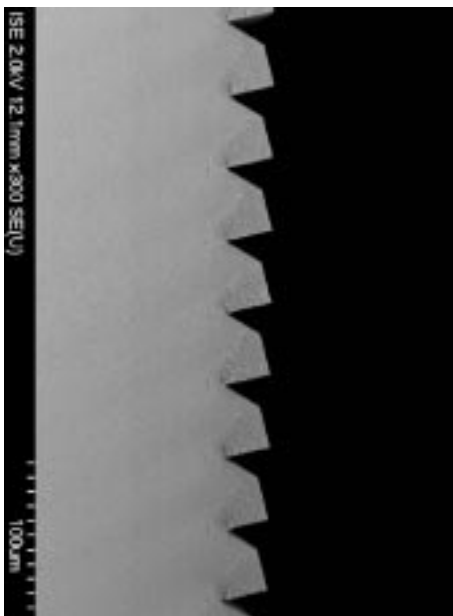


Abb. 1: Raster-Elektronen-Mikroskop (REM)-Bild eines in Kunststoff replizierten Mikroprismenfeldes. Die Periode der Prismen ist $50\ \mu\text{m}$. Das Außenlicht kommt von links oben.

Die im Winter erwünschte Funktion großer verglasteter Fassaden, viel Licht und Wärme ins Gebäude zu bringen, kann im Sommer zum Problem werden. Der Überschuss an Licht und Wärme muss oft durch aufwändige Maßnahmen abgeblockt oder mit hohem Energieaufwand von Klimaanlage abgeführt werden. Gewünscht ist daher eine wirksame solare Transmission der Fassade, die abhängig von der Jahreszeit ist. Da die Sonne im Sommer höher als im Winter steht, ist unser Ansatz, die Transmission der Fassade vom Sonnenstand abhängig zu machen. Dafür nutzen wir die lichtlenkende Wirkung von transparenten Materialien, die prismatisch strukturiert sind. Zusätzlich kann die Transmission durch schaltbare Schichten beeinflusst werden.

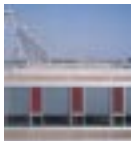
Prismatische Sonnenschutzsysteme sind nicht neu. Prismen mit Größen von mehreren Millimetern werden aneinander gereiht, um flächige Systeme zu ermöglichen. Durch Totalreflexion an den Prismenflanken wird die aus bestimmten Winkelbereichen kommende Solarstrahlung reflektiert. Tageslicht, das aus anderen Winkeln als die direkte Solarstrahlung auf das Sonnenschutzsystem auftrifft, wird durchgelassen. Teilweise werden die Prismensysteme zur Lenkung des Lichtes auch auf einer Flanke verspiegelt.

Bisher stellte die Größe der Prismen ein Problem dar: die Systeme waren relativ groß, schwer und auch teuer. Deshalb setzten wir uns das Ziel, die Strukturen zu verkleinern. Mit Strukturgrößen von ca. $0,1\ \text{mm}$ oder kleiner können die angesprochenen Sonnenschutzsysteme bereits auf relativ dünnen Folien oder Platten in Verglasungen integriert werden. Dadurch werden nicht nur die genannten

Nachteile bestehender prismatischer Sonnenschutzsysteme vermieden; die Mikroprismen haben darüber hinaus ein homogenes Erscheinungsbild. Das ist besonders bei Südwest- oder Südostorientierung der Fassade wichtig: In diesem Fall schneidet die Ebene der Sonnenbahn die Fassade nicht mehr horizontal, sondern in einer geneigten Geraden. Um die Strahlung in Abhängigkeit vom Sonnengang zur richtigen Jahreszeit auszublenden, muss das Sonnenschutzsystem entsprechend geneigt werden. Bei Makrostrukturen stören die geneigten Linien oft das architektonische Erscheinungsbild, bei Mikrostrukturen ist der Effekt nach außen unsichtbar.

Die Miniaturisierung der Strukturen stellte uns vor Fragen nach den Herstellungsverfahren und nach den physikalischen Grenzen. Wie klein können die Prismen werden, bevor Beugungseffekte die Funktion deutlich verschlechtern? Wir haben uns anhand der physikalisch genauesten Methode, der rigorosen Beugungstheorie, mit diesem Thema befasst. Die Ergebnisse zeigen, dass Strukturgrößen durchaus kleiner als $0,1\ \text{mm}$ sein können, obwohl dabei bereits Beugungseffekte auftreten. Bei verschiedenen Strukturformen und insbesondere bei Strukturtypen, die teilweise verspiegelt sind, ist die Beeinträchtigung der optischen Funktion durch Beugungseffekte aber höchst unterschiedlich. Mit der rigorosen Beugungstheorie können wir jetzt auch Strukturformen optimieren.

Mikrostrukturierte Folien oder Platten können mit etablierten Prozessen der Mikroreplikation hergestellt werden. Die Herstellung der Urform ist aber nach wie vor schwierig. Eine Möglichkeit ist die spanabhebende Fertigung, bei der mit einem Diamantwerkzeug

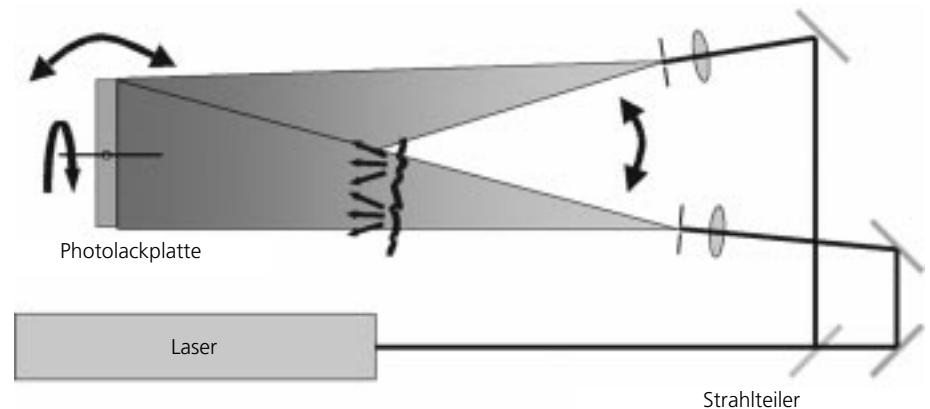


in höchster Präzision gedreht, gefräst oder gehobelt werden kann. In Abbildung 1 ist ein Prismen-Feld zu sehen, das in dieser Form vermutlich nur spanabhebend gefertigt werden kann.

Eine andere Möglichkeit ist die Herstellung von prismatischen oder ähnlichen Strukturen mit Hilfe der Interferenzlithographie. Dabei werden Laserstrahlen geteilt, aufgeweitet und überlagert. Es entsteht ein Interferenzmuster, mit dem eine Glasplatte mit einer lichtempfindlichen Lackschicht belichtet wird. Nach Entwicklung einer so belichteten Lackschicht entsteht ein Oberflächenrelief, das über weitere Arbeitsschritte durch Abformprozesse wie Prägen in Kunststoffe übertragen werden kann.

Obwohl bei der Überlagerung von zwei Laserstrahlen nur ein streifenförmiges Hell-Dunkel-Muster erzeugt werden kann, bietet die Interferenzlithographie durch Mehrfachbelichtungen oder durch Überlagerung mehrerer Laserstrahlen erstaunlich viele Möglichkeiten, auch sehr komplexe Mikrostrukturen zu erzeugen. Die mit dem Photolack beschichtete Platte kann gekippt und zwischen zwei Belichtungen auch gedreht werden (Abbildung 2). Der Einbau von Diffusoren in den Strahlengang ermöglicht die Herstellung von aperiodischen Strukturen.

Die Interferenzlithographie kann große Flächen homogen strukturieren. Bisher wurden Mikrostrukturen für Sonnenschutzsysteme auf Flächen von 37 x 37 cm² homogen hergestellt. Andere Strukturtypen wurden am Fraunhofer ISE schon auf Flächen von 0,5 m² hergestellt. Wir arbeiten an einer weiteren Vergrößerung der Fläche, um in der Anwendung möglichst wenig



Folien- oder Plattenstücke aneinander setzen zu müssen. Die Interferenzlithographie ermöglicht auch das Mischen oder Übermodulieren verschiedener Strukturanteile, z. B. periodischer und aperiodischer Strukturen.

Mit dem beschriebenen Verfahren haben wir Mikrostrukturen für Sonnenschutzsysteme mit Teildurchsicht entwickelt. Unstrukturierte Bereiche zwischen den Strukturen ermöglichen dabei einen Außenbezug (Abbildung 3). Abbildung 4 zeigt eine periodische prismatische Struktur mit saisonaler Sonnenschutzfunktion, deren »Zähne« aperiodisch übermoduliert sind. Ziel dieses zum Patent angemeldeten Kunstgriffes ist es, Farbeffekte zu unterdrücken, die durch Prismenwirkung oder Beugungseffekte entstehen können. Die so hergestellte Verglasung mit integriertem saisonalen Sonnenschutz hat das elegante Erscheinungsbild eines satinierten Glases.

Weitere optische Funktionen mikrostrukturierter Folien können durch Vakuumbeschichtung der Folien erreicht werden. Durch schräge Einfallswinkel können die Flanken der Strukturen auch selektiv beschichtet werden. Bisher haben wir die Beschichtung mit Metallen als Spiegelmaterialien und mit WO₃ für gaschrom schaltbare Systeme untersucht.

Abb. 2: Optischer Aufbau und Möglichkeiten zur Beeinflussung der resultierenden Strukturprofile bei der Interferenzlithographie.

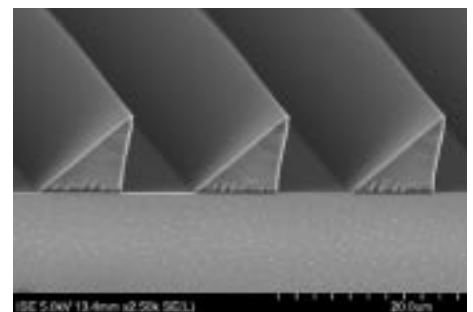


Abb. 3: REM-Bild eines in Photolack gefertigten Mikroprismen-Feldes mit Teildurchsicht. Die Periode der Prismen ist 17 µm.

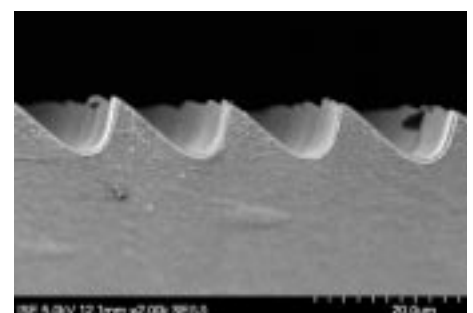


Abb. 4: REM-Bild in Kunststoff replizierter prismatischer Strukturen mit saisonaler Sonnenschutzwirkung. Die Strukturierung durch Interferenzlithographie ermöglicht das Übermodulieren von aperiodischen Strukturanteilen (im Bild sichtbar als Höhenvariation der »Zähne«). Die resultierende Verglasung hat das Erscheinungsbild eines satinierten Glases. Die Periode der Prismen ist 17 µm.



Gebäude und technische Gebäudeausrüstung

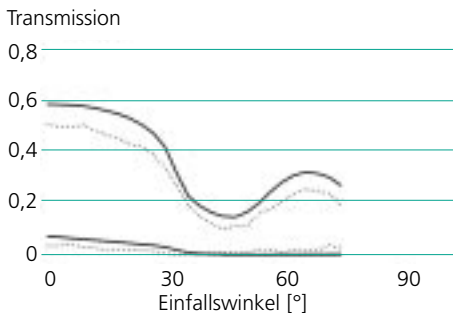


Abb. 5: Gerichtet-hemisphärische Transmission (gepunktet für Solarstrahlung, durchgezogen für sichtbares Licht) einer schaltbaren Verglasung in Abhängigkeit vom Einfallswinkel. Ungeschaltet (oben), geschaltet (unten). Dieser Prototyp hat eine flächig gaschrom beschichtete Mikrostruktur.

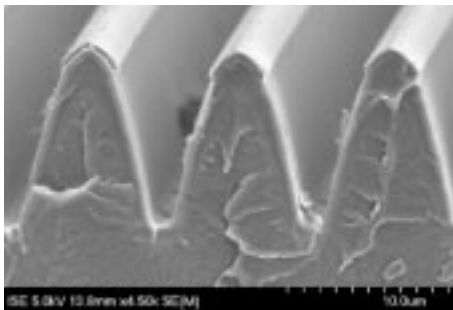


Abb. 6: REM-Bild eines in Kunststoff replizierten Compound Parabolic Concentrators (CPCs), deren Spitze selektiv metallisch beschichtet ist. Die Periode der Prismen ist 10 μm (vgl. Titelbild).

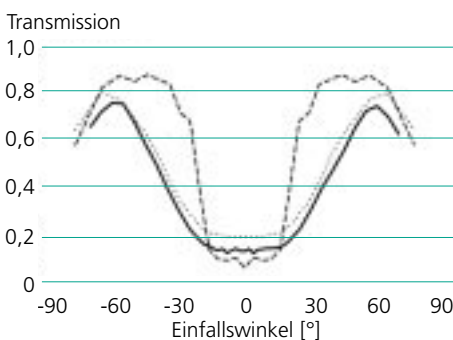


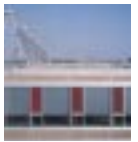
Abb. 7: Gerichtet-hemisphärische Transmission von Platten oder Folien, die mit CPCs mikrostrukturiert sind. Die Messung an der in Abbildung 6 gezeigten Struktur (dicke Linie) wird verglichen mit der Simulation dieser Struktur (gepunktet) und dem theoretischen erreichbaren Optimum einer idealen Struktur mit idealer Verspiegelung (gestrichelt).

Gaschrom schaltbare mikrostrukturierte Systeme bieten den Vorteil, dass die Transmission vom Sonnenstand abhängig variiert und auf Wunsch aktiv geschaltet werden kann. Neben dieser Flexibilität besitzen »kombinierte« Systeme gegenüber »normalen« gaschromen Fenstern oder Fenstern mit unbeschichteten Mikrostrukturen das Potenzial, die erhöhten Blendschutzanforderungen von Bildschirmarbeitsplätzen zu erfüllen. Die Beschichtung kann dabei flanken-selektiv oder flächig aufgebracht werden. In Abbildung 5 sind die winkelabhängigen Messwerte für einen flächig gaschrom beschichteten, mikrostrukturierten Verglasungsprototyp gezeigt.

Eine andere interferenzlithographisch hergestellte Mikrostruktur sind Compound Parabolic Concentrators (CPCs). Sie konzentrieren gerichtetes Sonnenlicht aus einem definierten Winkelbereich auf ihre verspiegelte Empfängerfläche und reflektieren es so. Gleichzeitig haben sie eine hohe Transmission für diffus einfallendes Himmelslicht, was zur Versorgung des Raumes mit Tageslicht erwünscht ist. Abbildung 6 zeigt das rasterelektronenmikroskopische Bild einer in transparenten Kunststoff replizierten, interferenzlithographisch hergestellten CPC-Struktur. Durch schräges Bedampfen gelingt es, auch kleinste Strukturen im Mikrometerbereich gezielt selektiv zu beschichten und so die Empfängerflächen eines CPCs zu verspiegeln.

Wird diese Struktur in geneigten Dachverglasungen eingesetzt, so reflektiert sie Strahlung aus einem Bereich von Einfallswinkeln, der über die Geometrie der CPC-Wände frei eingestellt werden kann. Dieser Reflexionswinkelbereich beträgt für die untersuchten Strukturen etwa 40°, so dass bei Einbau in ein 35° geneigtes Dach die direkte Einstrahlung im gesamten Sommerhalbjahr reflektiert werden kann. In Abbildung 7 zeigt die durchgezogene Linie die Messung, die gepunktete Linie die Simulation der optischen Funktion einer CPC-Struktur nach Abbildung 6. Die gestrichelte Linie schließlich zeigt das Verbesserungspotenzial, also die Transmission einer idealen Struktur. Eine Annäherung an diese optimale Funktion kann in absehbarer Zeit erreicht werden.

In dem vom Bundesforschungsministerium geförderten Verbundprojekt »Nanofab« untersuchten wir spanabhebend gefertigte Mikrostrukturen. Im Rahmen des vom Bundeswirtschaftsministerium geförderten Grundlagenprojekts »Mikrofun« haben wir Fertigungsmöglichkeiten mit Hilfe der Interferenzlithographie und partieller Vakuumbeschichtung von abgeformten Strukturen entwickelt und demonstriert. Folgeprojekte zur Umsetzung der Ideen in Verglasungsprodukte werden derzeit in enger Zusammenarbeit mit der Industrie geplant.



Entwicklung von industriell vorgefertigten Kompaktbaugruppen für große solarthermische Anlagen

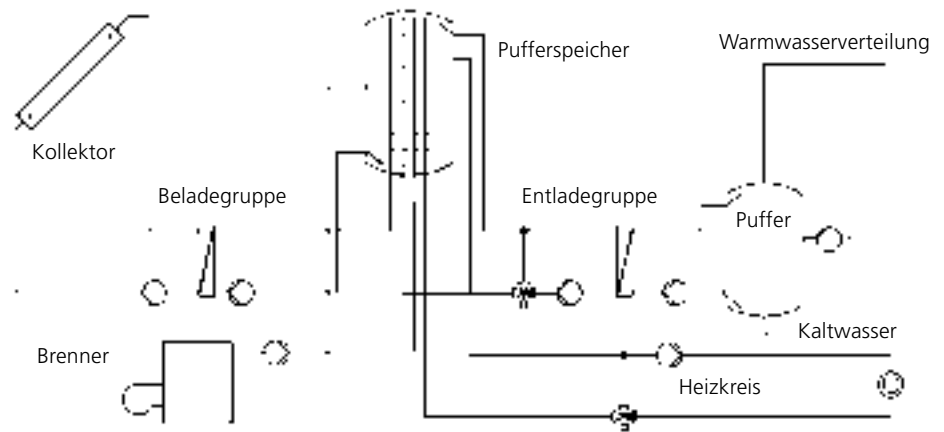
Bei den neuinstallierten Solaranlagen für Einfamilienhäuser nimmt der Anteil der Kombianlagen, d.h. Brauchwassererwärmung kombiniert mit solarer Heizungsunterstützung, kontinuierlich zu. Eine ähnliche Tendenz wird für die nahe Zukunft auch für solarthermische Großanlagen mit über 100 m² Kollektorfläche erwartet.

Stephan Buschmann, Konrad Lustig, Matthias Rommel, Christof Wittwer

Mit Hilfe von Simulationsmodellen untersuchen wir die grundlegenden Systemvarianten, die für solche Anlagen in Frage kommen. Wir dimensionieren die Komponenten und erarbeiten Regelungsstrategien. Eine zentrale Rolle spielt dabei die Entwicklung einer Be- und Entladeeinheit, die das Zusammenspiel von Pumpen und Wärmetauscher mittels Regelungssystem optimiert.

Zwei derartige Kompaktbaugruppen mit einem neu entwickelten, vernetzten Regelungssystem wurden zu Testzwecken in die Anlage »Vauban« des Studentenwerks Freiburg (140 m² Kollektorfläche) eingebaut. Durch die Einbindung des Regelsystems in das Internet können wir einerseits auf die Anlagen zugreifen, andererseits über Strahlungsdaten aus dem Internet den Anlagenenertrag prüfen.

Die Simulationsstudien erfolgen mit ColSim, einem Programm, das wir am Fraunhofer ISE speziell für die Regelungsentwicklung konzipiert haben. Es berücksichtigt den Zeithorizont eines Jahres, der für Systemaussagen von Solarsystemen notwendig ist. Gleichzeitig bildet es die Regelungsdynamik



mit einer Zeitauflösung im Sekundenbereich ab. Die Software ist modular aufgebaut und im portablen ANSI-C Code implementiert. So können die Module auch auf Mikrocontroller-Regelungssystemen zum Einsatz kommen.

Die Module des vernetzten Regelungssystems für die Kompaktbaugruppen wurden ebenfalls in der Simulationsumgebung entwickelt, bevor sie auf das Zielsystem übertragen wurden.

Auch die Einbindung dynamischer Systemmodelle in die Regelung wird aus zwei Gründen immer wichtiger: Einerseits werden die Regelungssysteme immer leistungsfähiger, andererseits kann dann der Anlagenbetrieb durch »real time identification« kontrolliert werden.

Die Ertragskontrollen sind gerade für teilsolare Systeme, bei denen auch eine konventionelle Energieversorgung zur Bedarfsdeckung bereit steht, wichtig: Durch die ständige Verfügbarkeit der konventionellen Energieversorgung wird ein defekter Solarbetrieb meist nicht unmittelbar erkannt.

Die Arbeiten werden vom Bundeswirtschaftsministerium gefördert.

Abb. 1: Anlagenschema Kombisystem. Bei groß dimensionierten Solarfeldern kann neben der Brauchwassernutzung über den Warmwasserbereitschaftsspeicher auch der Heizkreis des Gebäudes solar versorgt werden. Das System ist in jedem Falle mit einem Heizkessel auszustatten (zwei Wärmequellen, zwei Wärmesenken).



Abb. 2: Aufbau der Kompaktbaugruppe für die Entladeseite, um Wärme aus dem solar beheizten Pufferspeicher an den Trinkwasserkreis zu übergeben (Foto: Fa. PAW).



Anforderungen an Rohrverbindungstechniken im Solarkreis von thermischen Solaranlagen

Die Temperaturbelastungen, denen die Komponenten eines Kollektors standhalten müssen, sind relativ genau bekannt. Dagegen waren die Anforderungen an die Rohrverbindungen, die im Solarkreis eingesetzt werden können, bislang nicht näher untersucht worden. Wir haben das getan und entsprechende Anforderungen definiert. Damit können Hersteller von Rohren und Verbindungstechniken ihre Produkte besser an die Anforderungen der Solartechnik anpassen.

Joachim Koschikowski,
Matthias Rommel, Arim Schäfer,
Vitali Schmidt, Yan Schmitt

Das Wärmeträgermedium im Solarkreis ist eine wichtige Komponente von thermischen Solaranlagen. Dies betrifft sowohl den »normalen«,

energiesammelnden Betriebszustand, als auch den »Stagnationsfall«. Ein Stagnations- oder Stillstandsfall tritt immer dann ein, wenn der Speicher des Systems Maximaltemperatur erreicht hat und somit trotz Einstrahlung auf den Kollektor die Pumpe des Solarkreises ausgeschaltet werden muss. Dies kann wegen Verkalkungsgefahr für den Solarkreiswärmetauscher notwendig sein oder um im Speicher Temperaturen über 100 °C zu vermeiden.

Bei voller Sonnenbestrahlung treten im Absorber eines (trockenen) Kollektors je nach Bauart Temperaturen zwischen 200 °C und 300 °C auf. Im Stagnationsfall eines Systems kommt es zur Verdampfung des Fluids. Dabei gelangt auch Dampf in die Verrohrung des Solarkreises.

Wir haben die Belastungen untersucht, die aufgrund der damit verbundenen Temperatur- und Druckbe-

lastungen in den Rohrleitungen auftreten. Durch die hervorragenden Experimentiermöglichkeiten mit einem neuen Solarsimulator im Technikum konnten wir aussagekräftige Versuche durchführen. Aus den Ergebnissen konnten wir die Anforderungen ableiten, die an Rohrverbindungstechniken für den Einsatz in Solaranlagen gestellt werden müssen. Dabei haben wir nachgewiesen, dass im Stagnationsfall fraktionierte Destillation des Wasser-Glykol-Fluids auftritt. Deshalb sind Anforderungen an die Rohrverbindungen im Solarkreis höher, als bislang angenommen. Die auftretenden Temperaturen sind höher als die Satttdampf-temperatur des Wassers bei den maximalen Drücken des Systems. Die Reichweite des Dampfes in den Rohren des Solarkreises ist stark abhängig von der Absorberverrohrung der Einzelkollektoren und der Kollektorfeldverschaltung. Bei schlechtem Entleerungsverhalten des Kollektorfeldes dringt der Dampf wesentlich weiter vor als bislang angenommen wurde. Mit unseren Ergebnissen kann jetzt genau bestimmt werden, welche Verbindungen in einem solarthermischen System besonders hitzefest ausgeführt werden müssen.

Mit dem Solarsimulator können wir ähnliche Untersuchungen für andere Komponenten und Betriebszustände von thermischen Solaranlagen im Kundenauftrag durchführen.

Das Projekt wurde im Auftrag des Deutschen Kupferinstituts (DKI) zusammen mit der PSE-GmbH, mit Herstellern von Verbindungstechniken, einer Solarfirma und mit Unterstützung der Deutschen Bundesstiftung Umwelt durchgeführt.

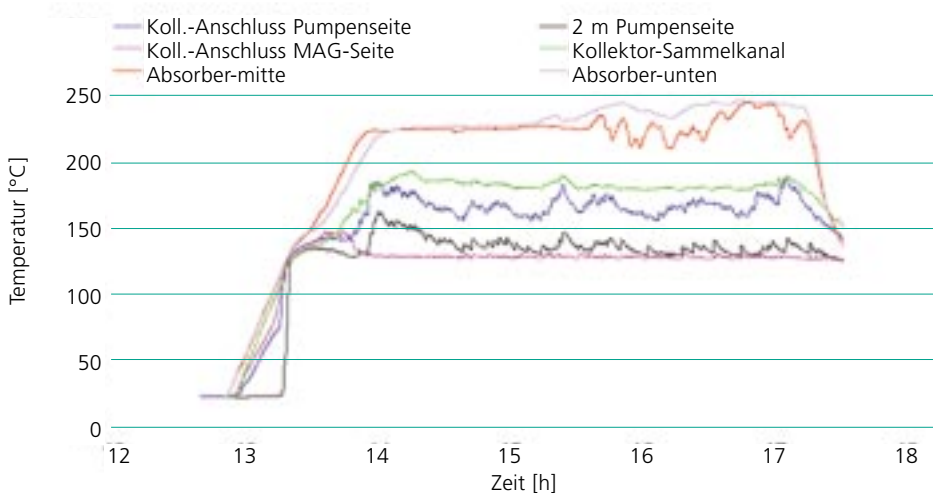
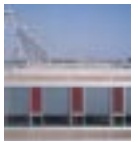


Abb. 1: Messungen mit dem Labor-Solarsimulator. Selbst in einem Abstand von über 2 Metern vom Kollektoranschluss treten Temperaturen deutlich über der Satttdampf-temperatur des Wasser-Glykolgemisches auf.



Mikroverkapselte Phasenwechselmaterialien in Wandverbundsystemen

Durch Phasenwechselmaterialien (PCM) in Baustoffen kann die Wärmekapazität von Gebäuden in Leichtbauweise drastisch erhöht werden. Diese Kapazitätserhöhung ist oft wünschenswert, um Temperaturspitzen, wie sie vor allem an heißen Sommertagen auftreten, abzupuffern. Bei Gebäuden in Leichtbauweise wie neuen Bürogebäuden, reduziert dies den Klimatisierungsbedarf und erhöht den Nutzungskomfort.

Hans-Martin Henning, **Peter Schossig**, Alexandra Raicu*, Thomas Haussmann

Mit Gebäudesimulationen haben wir sinnvolle Einsatzgebiete derartiger Produkte identifiziert und Wandprüfmuster vermessen.

Dazu haben wir am Fassadenteststand (Abbildung 1) zwei identische Leichtbau-Testräume mit detaillierter Messtechnik ausgestattet und mit PCM-Produkten versehen. Die Testzellen sind in typischer Leichtbauweise ausgeführt: Gipskartonplatten auf einer Holzlattung mit Dämmung, die auf den PU-Wänden der Kabinen montiert ist. Eine der Testzellen erhielt zusätzlich eine 6 mm starke, PCM-haltige Spachtelschicht. Die Referenzzelle wurde mit einer herkömmlichen Spachtelmasse ohne PCM ausgerüstet. Beide Testzellen sind kontrolliert belüftbar und haben außenliegende Jalousien. Bei den Versuchen durchliefen sie das gleiche Testprogramm.

In Abbildung 2 und 3 sind die gemessenen Wand- bzw. Lufttemperaturen an drei aufeinanderfolgenden Tagen im Sommer 2002 aufgetragen.

Deutlich ist zu erkennen, dass im Schmelzbereich des PCM (24-27 °C) die Temperaturen in der PCM-Zelle gegenüber der Referenzzelle deutlich langsamer ansteigen. Nach Erreichen der 27 °C steigen die Temperaturen in beiden Zellen wieder parallel an, wobei im Maximum ein Temperaturunterschied von bis zu 4 K erreicht wird. Zusätzlich verschiebt das PCM das Temperaturmaximum um etwa eine Stunde nach hinten auf 18 Uhr. Nachts liegen die Temperaturen der PCM-Zelle höher. Eine Entladung des Speichermaterials ist durch eine ausreichende Nachtlüftung zu gewährleisten.

Aus den Messungen können wir den PCM-Effekt direkt quantitativ bestimmen, da Einflüsse durch unterschiedliche Nutzer oder andere Randbedingungen ausgeschaltet sind. Mit den experimentellen Ergebnissen wurde ein Computermodell validiert und verfeinert. Mit diesem verbesserten Modell identifizieren wir in umfassenden Parameterstudien weitere Anwendungsgebiete.

Die Statistik über einen 20tägigen Zeitraum in Abbildung 4 zeigt z. B., dass bei geregelter Verschattung und ausreichender Nachtlüftung die Referenzzelle rund 50 Stunden, die PCM-Zelle dagegen nur rund 5 Stunden wärmer als 28 °C war.

Die am Teststand gewonnenen Daten zeigten deutlich das Potenzial von Baumaterialien mit PCM zur Reduzierung des Klimatisierungsbedarfs und zur Erhöhung des Komforts.

Im Jahr 2003 kommen erste Produkte mit integrierten PCM auf den Markt.

Das Verbundprojekt mit den Partnern BASF, DAW, maxit und Sto wird vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie gefördert.



Abb. 1: Fassadenteststand des Fraunhofer ISE: In der Mitte übereinander die beiden Leichtbauzellen.

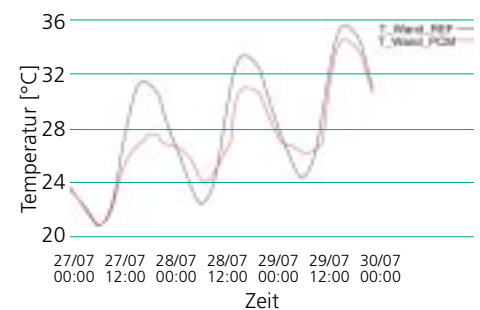


Abb. 2: Wandtemperaturen in der Referenzzelle (schwarz) und in einer Zelle mit 6 mm starker PCM-Schicht (rot).

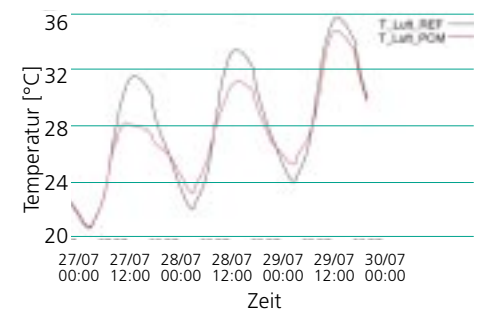


Abb. 3: Lufttemperaturen in Referenz- (schwarz) und PCM-Zelle (rot).

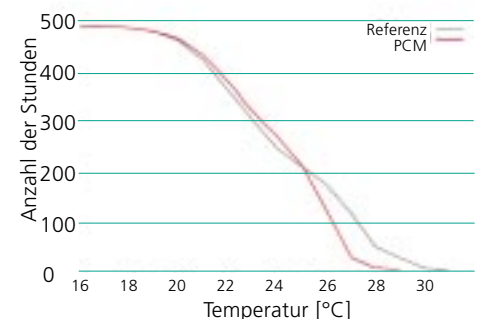


Abb. 4: Kumulative Häufigkeitsverteilung der Lufttemperaturen in den Zellen; daraus lässt sich die Anzahl der Überschreitungsstunden einer bestimmten Temperatur ablesen. Referenz (schwarz) und PCM-Zelle (rot).

* PSE GmbH Forschung Entwicklung Marketing, Freiburg



Sorptionsgestützte Klimatisierung für mediterranes Klima in Kombination mit Kraft-Wärme-Kopplung

Das Klima der Küstenregionen der Mittelmeerländer zeichnet sich durch hohe sommerliche Außenlufttemperaturen verbunden mit hoher Luftfeuchtigkeit aus. Gemeinsam mit Partnern aus Italien entwickeln wir eine energiesparende Raumlufttechnik, die Sorptionsverfahren mit Kraft-Wärme-Kopplung kombiniert.

Hans-Martin Henning, Tim Selke*, Edo Wiemken

* PSE GmbH Forschung Entwicklung Marketing, Freiburg

Die sommerliche Raumklimatisierung spielt in Mittelmeerländern naturgemäß eine noch größere Rolle als in Mitteleuropa. Insbesondere in Küstenregionen ist die Außenluft oft sehr warm und sehr feucht zugleich. Bei der Konditionierung von Frischluft ist deshalb die Entfeuchtung besonders wichtig. Sorptionsgestützte Verfahren mit Entfeuchtungsrotoren sind auch unter diesen Bedingungen möglich; allerdings kann wegen der hohen Luftfeuchte die Verdunstungskühlung nur bedingt genutzt werden.

Derzeit entwickeln wir gemeinsam mit Partnern aus Italien eine komplette Haustechnik für kleinere und mittlere Nichtwohn-Gebäude in diesen Klimazonen: Stromerzeugung, Heizung,

Kühlung und Lüftung mit einem Blockheizkraftwerk als zentraler Komponente. Im Sommer wird die Abwärme des BHKW für die sorptive Luftentfeuchtung genutzt. Abbildung 1 zeigt eine von uns neu entwickelte Verschaltung der klimatechnischen Komponenten und Abbildung 2 den Prozessverlauf im T-x-Diagramm feuchter Luft. Diese Verschaltung ist so energieeffizient, dass im Vergleich zu üblicher Technik der Primärenergieverbrauch für die Luftaufbereitung um 30% reduziert wird. Eine Pilotanlage wird derzeit im Bürogebäude der Gaswerke Palermo installiert.

Das Vorhaben »MITES – Micro Tri-generation System for Indoor Air-Conditioning in the Mediterranean Climate« wird von der Europäischen Union gefördert. Wir arbeiten dabei mit den Gaswerken Palermo (AMG) und dem Fiat Forschungszentrum (CRF, Turin) zusammen.

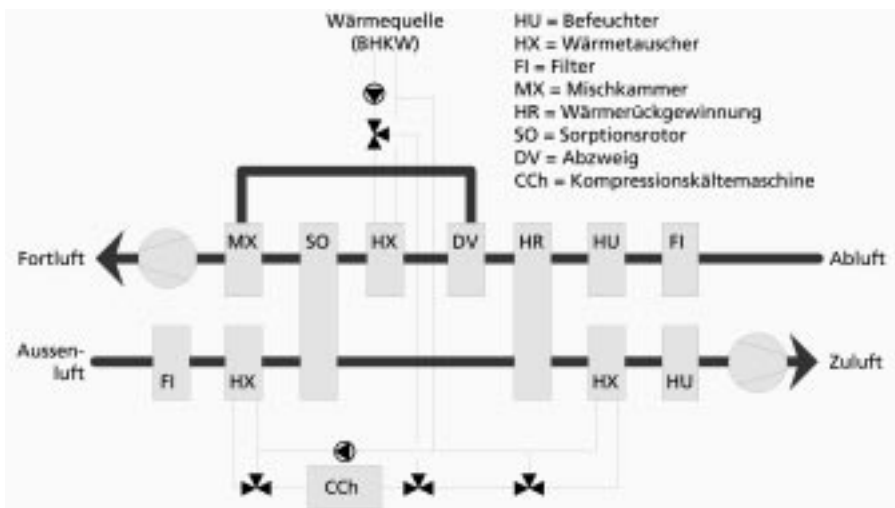


Abb. 1 (oben): Schema der Lüftungsanlage mit sorptiver Luftentfeuchtung.

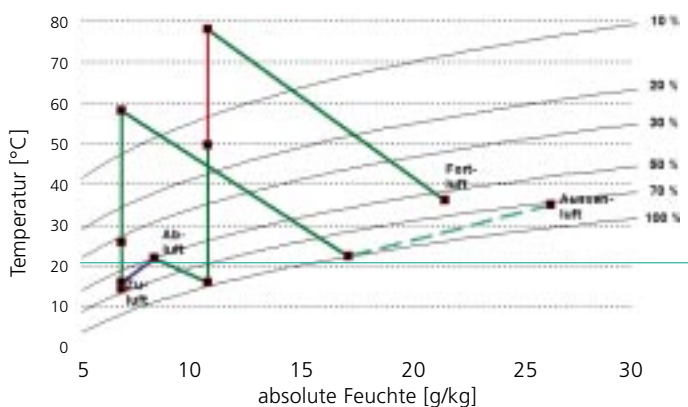
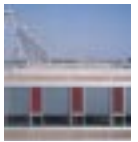


Abb. 2 (unten): Temperatur-Feuchte-Diagramm zu Abbildung 1. Im Gegensatz zur üblichen Sorptionskühlung ist dem Sorptionsrotor (SO) ein Luftkühler (HX in Abbildung 1 links unten) vorgeschaltet. Dieser kühlt und entfeuchtet die sehr feuchte und warme Außenluft vor. Wie in der gestrichelten Linie von Abbildung 2 zu sehen, findet dieser Prozess auf einem hohen Temperaturniveau statt, so dass die Kältemaschine mit hoher Verdampfer-temperatur arbeiten kann. Anschließend wird die Luft sorptiv bis auf die gewünschte Zuluftfeuchte entfeuchtet und wiederum mittels Luftkühler auf die gewünschte Zulufttemperatur abgekühlt. Da nun keine weitere Luftentfeuchtung erforderlich ist, kann auch hier wieder mit hoher Verdampfer-temperatur der Kältemaschine gearbeitet werden, so dass die Kältebereitstellung mit hoher Effizienz (Arbeitszahl) erfolgt. Die Regenerierung des Sorptionsmittels im Rotor erfolgt mit der Abwärme des Blockheizkraftwerks (roter, senkrechter Linienbereich von 50 nach 78 °C in Abbildung 2).



Entwicklung eines neuartigen, modularen Solarluftkollektors

Solarluftkollektoren haben systemtechnische Vorteile bezüglich Einfriergefahr und Kollektorstillstand. Dennoch ist ihr Marktanteil gering. Um Solarluftkollektoren auch für den Ein- und Zweifamilienhausbereich attraktiver zu machen, haben wir im letzten Jahr im Auftrag und in Zusammenarbeit mit der Fa. Grammer-Solar+Bau einen neuartigen, modularen Solarluftkollektor entwickelt.

Carsten Hindenburg,
Volker Kallwellis*, Thorsten Siems,
Flaviu Marton

Ausgangspunkt war ein kommerzieller Kollektor zur solaren Lufterwärmung in größeren Gebäuden (z. B. Hallenbeheizung). Diese Kollektoren haben gegenüber herkömmlichen Flachkollektoren ein hohes Gewicht. Aufgrund der bisher geringen Stückzahlen und wegen der Absorberkonstruktion mit 36 nebeneinander liegenden Rechteckkanälen, ist die Fertigung zudem nur wenig automatisiert.

Wir haben daher einen neuen Kollektor entwickelt, der bei deutlich verringertem Gewicht und hohem thermischen Wirkungsgrad eine kostengünstige Fertigung ermöglicht. So konnte das spezifische Kollektorgewicht um 20% auf 24 kg/m^2 gesenkt werden. Da die neuen Module für ein besseres Handling auch geringere Abmessungen haben, ist das Gewicht pro Modul sogar um 36% auf 48 kg gesunken. Darüber hinaus ist der neue Kollektor sehr einfach und schnell zu montieren. Der

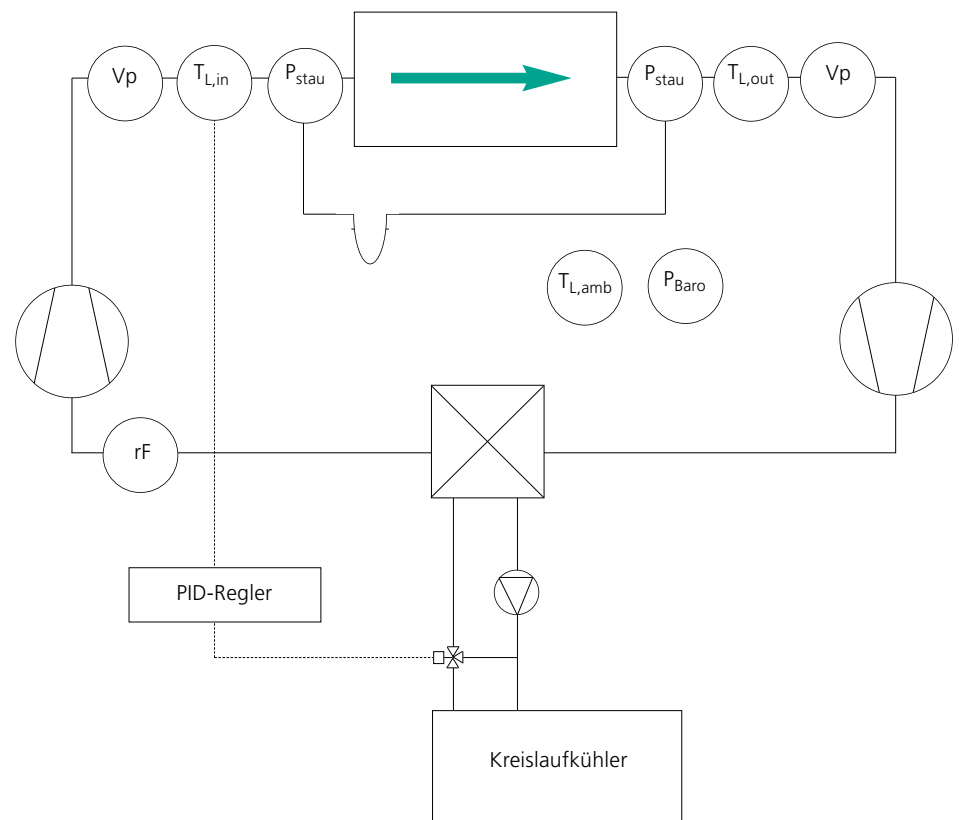


Abb. 1: Schema des Solarluftkollektorteststands. Der Kollektor ist in einen geschlossenen Luftkreislauf integriert. Durch Vermessung der Eintritts- und Austrittstemperatur sowie des Massenstromes (Gasdurchflusszähler) kann die Energiebilanz des Kollektors und damit der thermische Wirkungsgrad berechnet werden. Es stehen zwei Ventilatoren und Gasdurchflusszähler – jeweils vor und nach dem Kollektor – zur Verfügung und somit können verschiedene hydraulische Anordnungen und deren Auswirkung auf die Kollektoreffektivität untersucht werden. Ferner können somit Untersuchungen zum Leckluftverhalten der Solarluftkollektoren durchgeführt werden. Zusätzlich können am Teststand volumenstromabhängige Druckverluste von Solarluftkollektoren vermessen werden.

zum Patent angemeldete, spezielle Absorber besteht nur noch aus einem Stück. Das spart Material und vereinfacht die Fertigung deutlich.

Wir haben mehrere Prototypen am neuen Indoor-Solarluftkollektorteststand des Fraunhofer ISE vermessen und konnten sie dadurch in kurzer Entwicklungszeit optimieren. Der neue Teststand ist in den Indoor-Solarluftkollektor-Teststand (Beitrag S. 85) integriert und steht für Vermessung in Anleh-

nung an EN 12975–2 und Entwicklung von Solarluftkollektoren zur Verfügung. Abbildung 1 zeigt das Schema der Teststandes.

Der neue Kollektor wird bereits ab dem Frühsommer 2003 auf dem Markt verfügbar sein.

* PSE GmbH Forschung Entwicklung
Marketing, Freiburg



Demonstration und energetische Bewertung innovativer Fassaden

Messwerte aus dem Labor reichen Planern, Investoren und Nutzern von Gebäuden oft nicht, um Vor- und Nachteile alternativer Fassadenvarianten zu beurteilen. Wie werden z. B. Energieverbrauch und Komfort beeinflusst? Zeigen Neuentwicklungen vorhergesagte Effekte? Realitätsnahe Demonstration und Bewertungsverfahren beantworten diese Fragen.

Georg Bopp, Sebastian Bundy, Tilmann Kuhn, **Werner Platzer**, Helen Rose Wilson*, Jan Wienold

Eine zukunftsorientierte Gebäudehülle vermindert die Wärmeverluste, optimiert das Tageslichtangebot und schafft mit Sonnenenergie ein angenehmes Raumklima. So wird die installierte Leistung und der Energieverbrauch von Heiz- und Kühlgeräten minimiert. Wie aber sollen verschiedenste Produktentwicklungen wie schaltbare Verglasungen, transparente Wärmedämmung oder Sonnenschutz bewertet werden?



Abb. 1: Durchsicht durch eine gaschrome Verglasung mit Temperatur- und Strahlungssensoren am Fassadenprüfstand.

* Interpane E&BmbH, Lauenförde

Zwei Fälle sind zu unterscheiden:

- Geht es um ein konkretes Bauvorhaben, können wir mit Simulationen objektspezifische Aussagen machen. Das hilft z. B. in der Konzeptphase das Gebäude zu optimieren.
- Soll ein Produkt z. B. für die Vermarktung unabhängig von einem konkreten Bauwerk bewertet werden, dann arbeiten wir mit repräsentativen Referenzdaten für Gebäude, Gebäudetechnik und Nutzer.

Wir bieten mehrere Möglichkeiten zur Bewertung und Demonstration von Fassaden. Zum einen entwickeln wir in internationaler Zusammenarbeit im Rahmen der IEA Task 27 repräsentative Referenzverfahren für die Simulation. Die Übertragbarkeit von Labor- und Felddaten in die Gebäudesimulation verifizieren wir am Fassadenprüfstand (Abbildungen 1, 2). Damit können wir Fassadenvarianten umfassend und rational begründet vergleichen (Abbildung 3). Das BMWi unterstützt die Entwicklung der Methodik und die Mitarbeit in der Task 27.

Zum anderen besteht im neuen »Solar Building Innovation Center SOBIC« die Möglichkeit, an drei realen Büro-

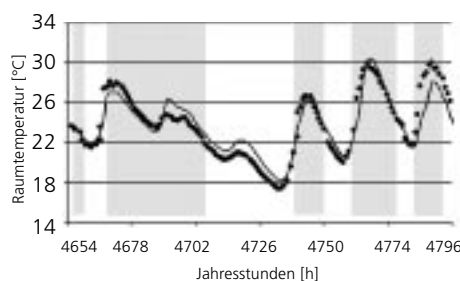


Abb. 2: Validierung des Fassadenmodells einer gaschromen Verglasung mit Hilfe eines Vergleichs von simulierten und gemessenen Innenraumtemperaturen am Fassadenteststand (Juli; grau hinterlegter Bereich: gefärbter Zustand der Verglasung; durchgezogene Linie: simuliert; gepunktet: experimentelle Daten).

räumen die Wechselwirkung von innovativen Fassaden und angepasster Gebäudetechnik messtechnisch zu untersuchen und gleichzeitig der Öffentlichkeit darzustellen.

Fraunhofer SOBIC, das gemeinsame Demonstrationszentrum der Fraunhofer-Institute für Bauphysik IBP und Solare Energiesysteme ISE, arbeitet an zwei Standorten. Themenschwerpunkt in Freiburg sind Büro- und Gewerbeimmobilien, während sich beim Satelliten in Fellbach alles um den privaten Hausbau dreht. Dort wurde Ende Oktober das neue Gebäude im Ausstellungszentrum »Eigenheim und Garten« eingeweiht. Das SOBIC in Freiburg ist noch im Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE untergebracht. Im Frühjahr 2003 wird es in das neue solar info center beim Freiburger Messegelände einziehen.

Ziel des Fraunhofer SOBIC ist es, Forschungsergebnisse des energieeffizienten und solaren Bauens rasch an Wirtschaft und Endkunden weiterzugeben. An beiden Standorten erhalten Hersteller, Planer und Entscheider umfassende Beratung und Fortbildung. Außerdem können sie die Produkte und Verfahren gleich in der Anwendung oder in Anschauungsmodellen praxisnah kennen lernen.

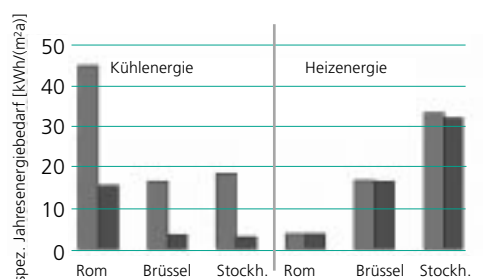
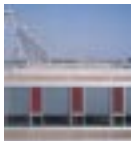


Abb. 3: Vergleichssimulationen des auf die Nutzfläche bezogenen Jahresenergiebedarfs mit der Basisvariante eines Referenzbüros, Luftkühlung werktags auf maximal 26 °C Raumtemperatur (hellgrau: Standardwärmeschutzverglasung, dunkelgrau: gaschrome Wärmeschutzverglasung – Schaltpunkt 24 °C).



Entwicklung von Sonnenschutzsystemen

Die sinnvolle Nutzung von Tageslicht und Sonnenwärme in Gebäuden wird in den meisten Fällen erst durch Sonnenschutzsysteme ermöglicht. Insbesondere im Verwaltungsbau kommt dem sommerlichen Wärmeschutz eine Schlüsselstellung bei der Funktion der Gebäudehülle zu. Der Grund hierfür sind die hohen internen Lasten. Wir haben neue Sonnenschutzsysteme entwickelt und die verbesserten Eigenschaften an Prototypen nachgewiesen.

Tilmann Kuhn, Christopher Bühler

Wir entwickeln neue Produkte mit einem ganzheitlichen Ansatz, bei dem folgende Kriterien berücksichtigt werden:

- sehr guter sommerlicher Wärmeschutz
- hoher visueller Komfort (Blendschutz, Durchsicht, Tageslichtversorgung, neutrale Farbwiedergabe, Möglichkeit zur Abdunklung)
- hohe Zuverlässigkeit unabhängig vom Nutzerverhalten
- niedrige Kosten, vor allem Material- und Herstellungskosten
- ästhetische Anforderungen
- Übereinstimmung mit technischen Randbedingungen
- Schutz vor Feuer, Schall, Wetter und Einbruch.

Natürlich können diese Kriterien nicht alle gleichzeitig optimal erfüllt werden. Wir suchen für jeden Einzelfall die Lösung, die den potenziellen Anforderungen der Nutzer und den vom Hersteller vorgegebenen Randbedingungen am besten entspricht.

Mit der Firma Hüppe Form, Oldenburg, wurde eine innenliegende Jalousie mit einer völlig neuen Lamellengeometrie (Abbildung 1) entwickelt, die sich durch folgende Eigenschaften auszeichnet:

- sehr gute Sonnenschutzwirkung im Vergleich mit anderen innenliegenden Systemen
- unempfindliches Regelverhalten (Abbildung 2)
- gute Durchsicht durch neue Form und flache Lamellenstellung durch verringerten Lamellenabstand
- gute Tageslichtversorgung
- guter Blendschutz auch bei teilweise geöffneten Lamellen
- wirtschaftlicher Preis
- gute Abdunklung und sehr niedrige Leuchtdichte im geschlossenen Zustand.

Mit der Firma Clauss Markisen, Bissingen-Ochsenwang, wurde ein völlig neuartiger außenliegender Edelstahl-Behang entwickelt (Abbildung 3). Ausgehend von der Idee, einen Behang aus rollgeformten Edelstahlstäben zu fertigen, wurde vom Fraunhofer ISE die Stabgeometrie und die Oberfläche entwickelt und optimiert (Abbildung 4). Der Behang zeichnet sich durch folgende Eigenschaften aus:

- sehr gute Sonnenschutzwirkung
- höchste Anforderungen an die Ästhetik. (Dieses subjektive und schwer fassbare Kriterium spielt auch bei der Materialauswahl eine große Rolle.)
- reduzierte Leuchtdichte auf der Innenseite des Behangs durch optimierte Stabform und Oberfläche
- gute Durchsicht.



Abb. 1: Neue Lamelle mit optimierter Sonnenschutzwirkung und robustem Regelverhalten.

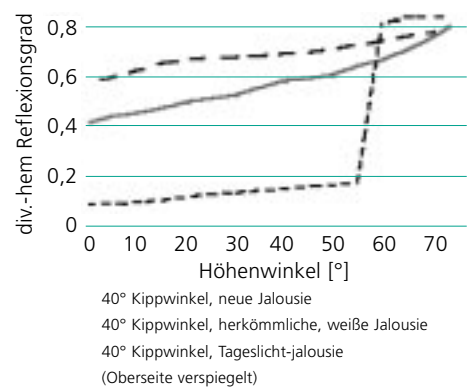


Abb. 2: Der gleichmäßig hohe Reflexionsgrad der Lamelle ist der Grund für die gute Sonnenschutzwirkung und das gutmütige Regelverhalten.

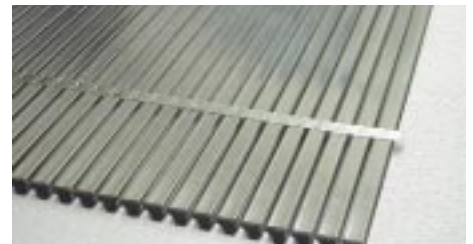


Abb. 3: Edelstahlbehang mit neuer Stabgeometrie und Oberfläche.



Abb. 4: Ein Funktionsmuster des neuen Edelstahlbehangs mit Durchsicht.



Gebäude und technische Gebäudeausrüstung

Solares Bauen – Wohnhäuser

Mit der Einführung der Energieeinsparverordnung EnEV im Februar 2002 erweitert sich das Augenmerk für die Energieplanung von Gebäuden auf eine effiziente Versorgungstechnik und die Einbindung erneuerbarer Energie. Abluftwärmepumpen in Lüftungs-Kompaktgeräten erobern sich einen stetig wachsenden Markt. Kraft-Wärmekopplung im Kleinstleistungsbereich eröffnet neue Perspektiven. Vor der Marktreife werden Nutzen und Aufwand kritisch evaluiert.

Andreas Bühring, Peter Engelmann, Christian Reise, Christel Russ, Benoit Sicre, Karsten Voss

Evaluierung von Demonstrationsprojekten

Mehrgeschossige Wohnbauten standen 2002 im Zentrum unserer Arbeiten in der Internationalen Energieagentur IEA. Wir koordinieren die Evaluierung von Demonstrationsprojekten mit einem gemeinsamen methodischen Ansatz. Beispielhaft zeigt Abbildung 1 das Jahresenergieflussbild für Deutschlands erstes mehrgeschossiges Passivhaus. Sein Primärenergieverbrauch liegt mit $26 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ rund 75% unter dem Grenzwert der EnEV; die Mehrkosten dafür betragen 15% der Bauwerkskosten. Weitere Bauprojekte bis hin zu ganzen Siedlungen bestätigen Primärenergiekennzahlen zwischen 25 und $35 \text{ kWh/m}^2\text{a}$. Die Arbeiten gehören zur IEA SHCP Task 28 / ECBCS Annex 38, »Sustainable Solar Housing«.

Als Ergänzung begannen wir noch im Winter 2002 mit Förderung der deutschen Bundesstiftung Umwelt und der Industrie mit dem Monitoring des Passivhauses der Baugruppe »ISIS«, ebenfalls in Freiburg-Vauban (Abbildung 2). Wir konzentrieren uns

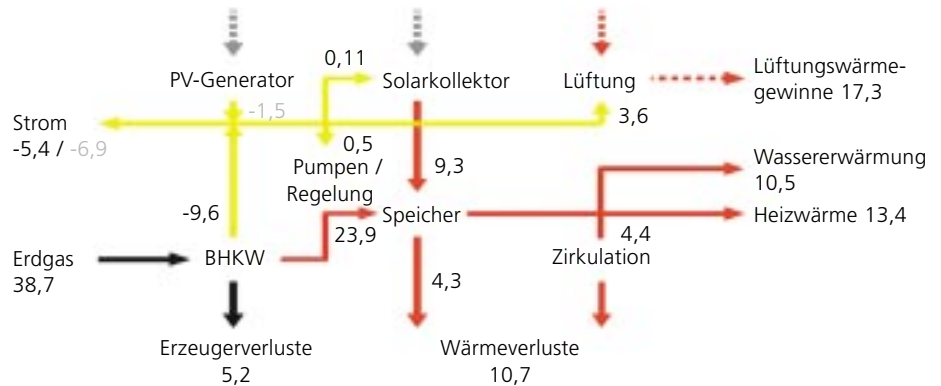


Abb. 1: Energieflussbild und gemessene Verbrauchsdaten von 19 Wohneinheiten im Zeitraum 1.3.2001–28.2.2002 für das Passivhaus der Baugruppe »Wohnen + Arbeiten« in Freiburg-Vauban. Die Zahlenangaben in $\text{kWh/m}^2\text{a}$ beziehen sich auf die beheizte Wohnfläche von 1.428 m^2 . Dargestellt ist links der Endenergieverbrauch von Strom und Erdgas, rechts die Nutzenergie für Heizung, Lüftung und Warmwasser. Im unteren Teil sind die Verluste, im oberen Teil die Gewinne aus der genutzten Umweltenergie aufgetragen. Der Stromverbrauchspfad im Umwandlungsprozess von der Endenergie zur Nutzenergie ist gelb dargestellt, die konventionellen Energieträger schwarz und die im Prozess erzeugte Wärme rot.

dabei auf eine vergleichende Betrachtung von innovativen Lüftungs- und Wärmeversorgungs-techniken im Geschosswohnungsbau.



Abb. 2: Das Monitoring im Passivhaus der Baugruppe ISIS begann im Winter 2002. Architektur: M. Hansen, Freiburg. Das Gebäude zeigt in der Fassade Gestaltungsmöglichkeiten von Passivhäusern.

Lüftungs-Kompaktgeräte

Diese Lüftungsgeräte mit Wärmerückgewinnung enthalten zusätzlich eine Abluftwärmepumpe. Sie ersetzen in einem Passivhaus die konventionelle Heizung und dienen auch zur Trinkwassererwärmung, meist in Kombination mit einem Solarkollektor. Die

Technik wurde von uns zusammen mit der Industrie entwickelt und ist bei der Wärmeversorgung von Solar-Passivhäusern führend. Erfahrungen in Einfamilienhäusern nutzen wir zur Entwicklung eines noch kompakteren Gerätetyps für den Einsatz im Geschosswohnungsbau. Für die Auswahl der Komponenten und ihre optimale Verschaltung dienen Computersimulationen. Die Ergebnisse prüfen wir mit unserem Teststand für Lüftungs-Kompaktgeräte. Unter fest konditionierbaren Randbedingungen mit verschiedenen Speichern und Wasserzapfprofilen führen wir sowohl stationäre als auch dynamische Untersuchungen entsprechend Euronorm EN 255 durch. Das erste Versuchsmuster ist im Passivhaus »ISIS« seit Herbst 2002 im Test (Abbildung 3).

Gegenwärtig untersuchen wir weitere Verbesserungen der Wärmepumpe (Kältemittel-Enthitzer zur Trinkwassererwärmung, natürliches Kältemittel, Kühlfunktion), der Wärmerückgewinnung, der Regelung und zusätzlicher Funktionsmodule.

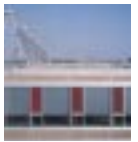


Abb. 3: Das erste Etagen-Lüftungs-Kompaktgerät der Fa. Maico im Test im Passivhaus ISIS, Versuchsmuster in vereinfachtem Design. Das Gerät ist nicht größer als eine Kühl-Gefrierkombination und kann platzsparend in der Wohnung, z. B. im Bad aufgestellt werden.

Diese Arbeiten sind Teil des vom Bundeswirtschaftsministeriums geförderten Projektes: Neue Gesamtenergieversorgungskonzepte für Gebäude (NEGEV).

Im Auftrag der EnBW erfassen wir in 78 geförderten Solar-Passivhäusern mit Wärmepumpentechnik die wichtigsten Energiekennwerte. Der Stromverbrauch in Häusern mit Lüftungs-Kompakt-Geräten ist im statistischen Mittel deutlich niedriger als in Häusern mit anderen Versorgungstechniken. Den ausführlichen Monitoringbericht erhalten Sie über unsere Internetseite www.ise.fhg.de.

Brennstoffzellen-Heizgeräte

Für den dezentralen Einsatz von Anlagen mit Kraft-Wärme-Kopplung bieten sich Brennstoffzellen wegen ihrer einfacheren Skalierbarkeit gegenüber Motor-BHKW zukünftig an. Über das Zwischenprodukt Wasserstoff produzieren sie aus fossilen Brennstoffen (Erdgas, Heizöl, eventuell Biogas) Strom und Wärme. Sie bieten ein Potenzial höherer Brennstoffausnutzung.

Andererseits steht ihr Abwärmepotenzial in Konkurrenz zu wärmeverbrauchs-senkenden Maßnahmen (Wärmedämmung) und zur Wärmebereitstellung aus Solarenergie (Kollektoren). Um diese Zusammenhänge zu untersuchen, entwickeln wir neue Simulationsmodelle für Brennstoffzellen-Heizgeräte im Kleinleistungsbereich sowie Regelkonzepte, die das ökonomische Optimum mit dem ökologisch Sinnvollen zusammenführen. Ein Ziel unserer Arbeit ist die Suche nach dafür geeigneten Stromvergütungsmodellen. Die Arbeiten sind Teil eines Verbundprojektes für das Bundesumweltministerium unter Leitung des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR).

Integration von PV-Anlagen in Gebäude

An mehreren Beispielen konnten wir dokumentieren, wie die gelungene Integration von Photovoltaik Gebäude aufwertet. Mit unserem umfassenden Wissen um nationale und internationale technische Vorschriften können wir Firmen den Einstieg in ausländische Märkte erleichtern.

Thomas Erge, Hermann Laukamp, Karsten Voss, Edo Wiemken

Am Beispiel »Neubau Fraunhofer ISE« mit seinen vier, auf unterschiedliche Weise integrierten PV-Anlagen konnten wir zeigen, dass Aufmaßmodule so konstruiert werden können, dass Ästhetik, Architektur, Wärmeschutz, Tageslichtnutzung und Stromertrag ausgewogen zur Geltung kommen.

Mit Fachleuten aus Instituten und Firmen der bedeutendsten Photovoltaikländer tauschten wir Erfah-



Abb. 4: Shed-Dach mit integrierter Photovoltaik im Atrium des Fraunhofer ISE Neubaus.

rungen bei der Gebäudeintegration von PV aus. Dabei fanden wir viele Beispiele hochwertiger Gebäude mit gelungener Integration von Photovoltaik.

Auch diese Arbeiten führten wir im Rahmen des PVPS-Programms der IEA durch. Sie sind in englischsprachigen Abschlussberichten der IEA Task 7 unter www.iea-pvps.org dokumentiert. Task 7 »Integration von Photovoltaikanlagen im Gebäudebereich« behandelte architektonische Aspekte von Photovoltaik an Gebäuden, Systeme zur Gebäudemontage, Baurecht, Ausbildungsmaterialien für Architekten, Planungswerkzeuge, Zuverlässigkeit und Betriebserfahrung, Optimierung der elektrischen Verschaltung, nicht-technische Barrieren, Installationspotenzial auf Gebäuden sowie Marketing und Verbreitungsstrategien.

Durch die Diskussion technischer Fragen und Regelwerke kennen wir die entsprechenden Vorschriften für PV-Anlagen in den beteiligten Ländern sehr genau. So und über die geknüpften Kontakte können wir interessierten Firmen einen Einstieg in die jeweiligen Märkte erleichtern.

Die Arbeit des Fraunhofer ISE wurde durch das Bundeswirtschaftsministerium gefördert.



Solares Bauen – Gewerbliche Bauten

Optimale Bedingungen am Arbeitsplatz mit geringem Energieverbrauch zu verbinden, ist der Kern unserer Arbeit für gewerbliche Gebäude. Neben der Mitarbeit in der Gebäudeplanung haben wir 2002 weitere Monitoring- und Querschnittsprojekte durchgeführt.

Sebastian Herkel, Jens Pfafferoth,
Christian Reise, Christian Reetz*,
Roland Schregle, Augustinus Topor*,
Karsten Voss, Jan Wienold



Abb. 1: Fassade und Dachaufbau der
Nullemissionsfabrik SOLVIS (Foto: Chr. Richters).

Nullemissionsfabrik SOLVIS

Durch konsequente Energieplanung und eine Gebäudetechnik mit geringem Stromverbrauch wird das neue Produktionsgebäude der SOLVIS GmbH & Co KG zukünftig vollständig aus regenerativen Energiequellen versorgt. Neben Solarsystemen für Strom und Wärme deckt ein mit Rapsöl betriebenes BHKW den Energiebedarf. Bei CO₂-neutraler Rapsölproduktion führt dies zur »Nullemissionsfabrik«. Der prognostizierte Primärenergiebedarf für Heizung, Lüftung, Klimatechnik und Beleuchtung liegt bei 90 kWh/m²a. In dem vom Bundeswirtschaftsministerium (BMW) geförderten Planungsprozess entwickelten wir gemeinsam mit der solares bauen GmbH, Freiburg, das Energiekonzept und planten die solaren Komponenten. Mit dynamischen Gebäude- und Lichtsimulationen bearbeiteten wir umfangreiche Fragestellungen im Hinblick auf optimale Arbeitsplatzbedingungen.

Messprogramm am Neubau des Fraunhofer ISE

Durch ein zweijähriges Monitoring wird in Kooperation mit der FH Biberach der Energiebedarf des Fraunhofer ISE Neubaus ermittelt. Unser Schwerpunkt ist die Überprüfung der unterschiedlichen Konzepte zur passiven Kühlung. Weiteres Ziel ist die Beschreibung des Nutzerverhaltens hinsichtlich Bedienung von Sonnenschutz, elektrischer Beleuchtung und Fensterlüftung durch Modelle. Diese Modelle setzen wir ein, um die Vorhersagegenauigkeit unserer Simulationsrechnungen und damit die Planungssicherheit zu erhöhen. Die Ergebnisse fließen in die Arbeit der IEA Task 31, »Daylighting Buildings in the 21st Century«, ein. Die Arbeiten erfolgen im Rahmen des BMW-Förderkonzeptes SolarBau.

SolarBau:MONITOR

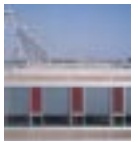
In dem 1995 bis 2005 laufenden Förderkonzept »Solaroptimiertes Bauen« des BMW bearbeiteten wir bereits seit 1998 gemeinsam mit der Universität Karlsruhe und dem Berliner Architekturbüro solidar die Begleitforschung zu den Demonstrationsbauprojekten. Mit einem Zielwert für den jährlichen Primärenergieverbrauch von weniger als 100 kWh/m²a für Heizung, Warmwasser, Lüftung, Kälte und Beleuchtung ist das Programm wegweisend für die derzeit diskutierte EU-Richtlinie »Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden«.

Da in sämtlichen Projekten auf eine flächendeckende Klimatisierung verzichtet wird, vergleichen wir die unterschiedliche Umsetzung der »passiven Kühlung« (Seite 33). Neben der Auswertung der Messergebnisse entstand 2002 ein Fragebogen zur Nutzerakzeptanz der passiven Kühlung. Von vier Projekten liegen bereits Ergebnisse vor, die in unterschiedlicher Ausprägung eine hohe Nutzerakzeptanz bestätigen.

Herzstück der Informationsvermittlung an die Fachöffentlichkeit ist unsere Internetseite »www.solarbau.de«. Neu ist u.a. das Informationsangebot in englischer und französischer Sprache.

Mit dem Projekt »Building Networks« im Rahmen des EU-SAVE-Programms erweitern wir seit kurzem das vergleichende Energiemonitoring auf eine große Zahl von Gebäuden in Europa.

* PSE GmbH Forschung Entwicklung
Marketing, Freiburg



Passive Kühlung

Ohne aktive sommerliche Kühlung ergibt sich das sommerliche Raumklima in einem Gebäude aus dem Verhältnis von Wärmeeintrag (Sonne, Geräte, Personen) und Wärmeabfuhr (Lüftung) unter Berücksichtigung der Wärmespeicherfähigkeit des Baukörpers.

Theorie und Praxis der Wärmeabfuhr über nächtliche Lüftung haben wir 2002 anhand von vier Gebäuden aus dem Förderprogramm SolarBau untersucht. Ausgangspunkt waren Langzeitmessdaten aus Monitoring-Programmen (Abbildung 2). Durch gezielte zusätzliche Messkampagnen in ausgewählten Räumen – Volumstrommessungen mit Tracergas, Thermographie, ortsaufgelöste Temperaturmessungen in Räumen und an Bauteilen – gelang uns darüber hinaus eine detailliertere experimentelle Analyse.

Über Parametermodelle und Gebäudesimulation werten wir die Ergebnisse von Lang- und Kurzzeitmessungen aus, um die Nachtlüftung physikalisch genau beschreiben zu können. Damit können wir die Chancen und Grenzen von passiver Kühlung aufzeigen. Um eine hohe Sicherheit in der Planung zu erreichen, berücksichtigen wir im Simulationsmodell die freie Lüftung auch in Kombination mit mechanisch unterstützter Lüftung.

In unserem neuen Fraunhofer-Demonstrationszentrum »Solar Building Information Center SOBIC« haben wir drei Büroräume mit Betonkerntemperierung zur nächtlichen Entwärmung über einen Wasserkreislauf und ein Rückkühlwerk ausgestattet. Darüber hinaus können wir dort die Nachtlüftung und eine solare Klimatisierung alternativ betreiben (Beitrag S. 26).

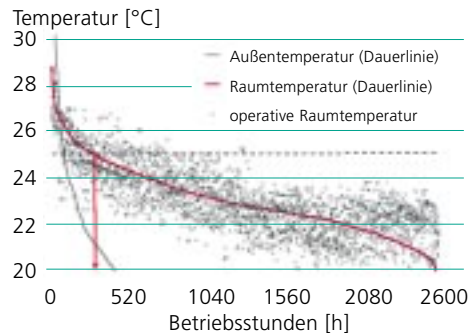


Abb. 2: Gemessene operative Raumtemperatur für Juli 2001 bis Juni 2002 im Gebäude der DB Netz AG in Hamm für die Betriebszeit. Die operative Raumtemperatur ist geordnet nach der Außentemperatur aufgetragen. Nur bei Außentemperaturen über 26 °C korreliert die Raumtemperatur direkt mit der Außentemperatur. Nur an 280 Stunden im Jahr liegt die Raumtemperatur über 25 °C.

Weiterentwicklung von Softwarewerkzeugen zur Beschreibung innovativer Tageslichtsysteme

Einer der Kernarbeitspunkte in einem vom Bundeswirtschaftsministerium geförderten Projekt ist die Einbindung eines Vorwärts-Strahlverfolgungsverfahrens in die Lichtsimulationssoftware RADIANCE. Dieser sogenannte Photon-Mapping-Algorithmus wurde in die Simulationsumgebung eingebunden. 2002 konzentrierten sich die Arbeiten auf die Validierung des neuen Verfahrens. Dazu werden neben analytischen und numerischen Verfahren auch Messungen an einem maßstäblichen Modell herangezogen (Abbildungen 3 und 4).

Zusammen mit unserem Projektpartner Fraunhofer IBP veranstalteten wir zwei Workshops, an denen die am Projekt beteiligten Hersteller und Planer teilnahmen.

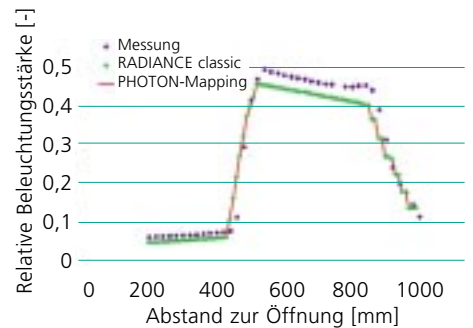


Abb. 3: Vergleich von Messung und Simulation für das maßstäbliche Modell.

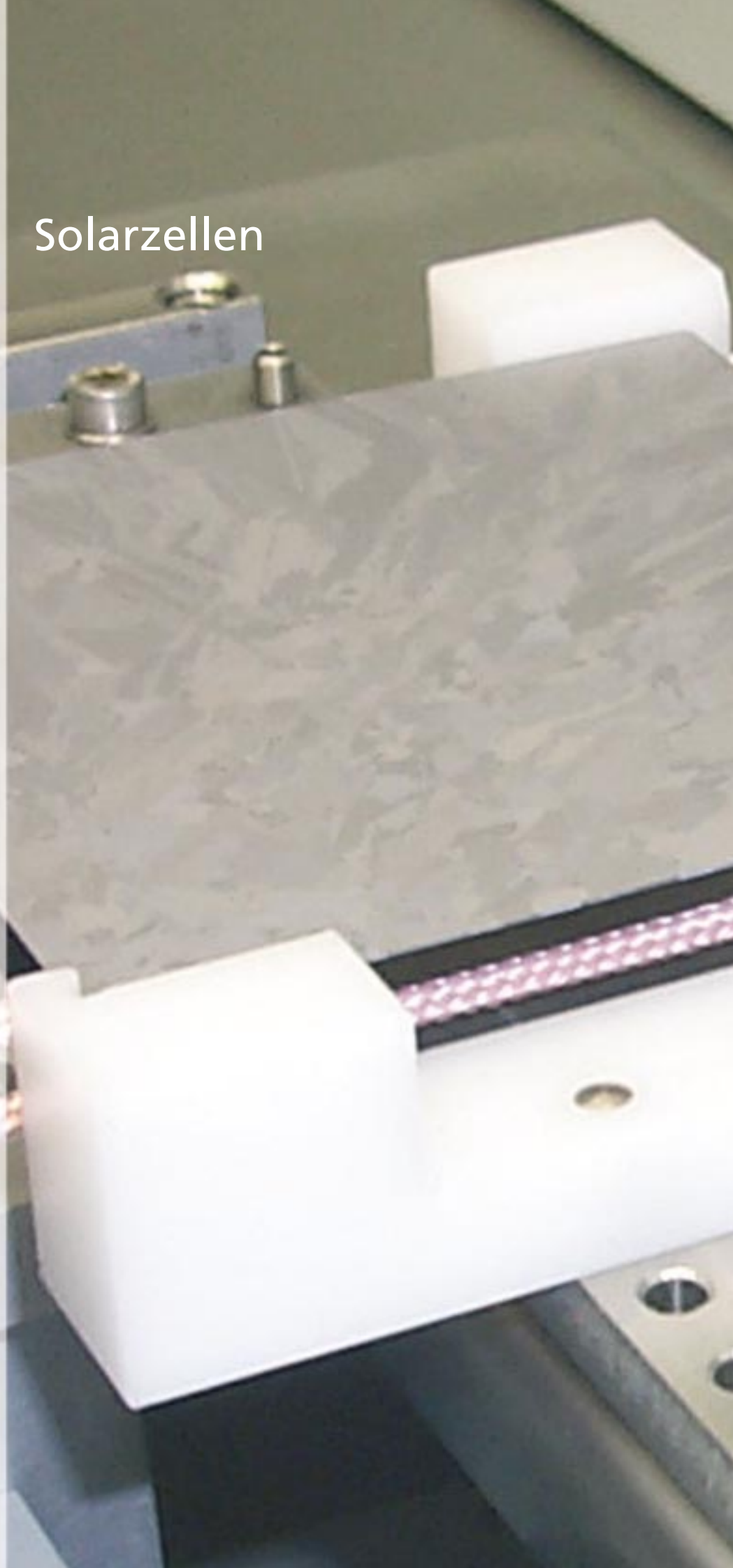
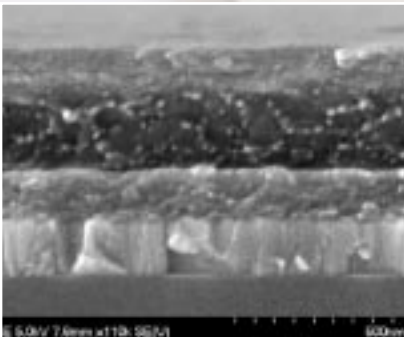
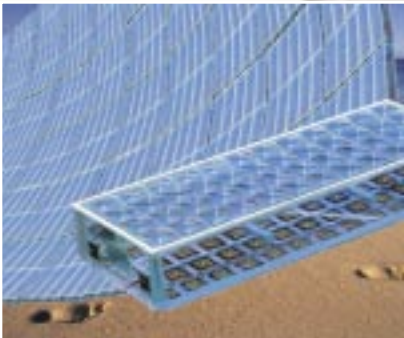
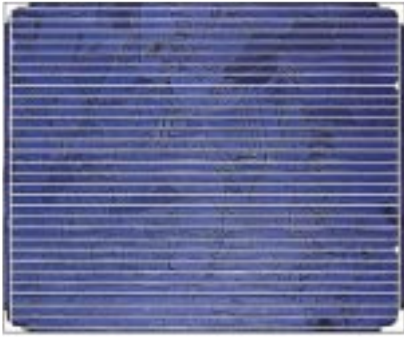


Abb. 4: Beispiel einer Visualisierung unter Verwendung des Photon-Mapping-Algorithmus. Das Bild zeigt die Lichtlenkwirkung verspiegelter Lamellen in einem Büroraum.

	Gebäudekonzept	Simulation Raumklima	Simulation Licht	Beratung/Entwicklung	Produktprüfung	Qualitätssicherung	Monitoring
Standorte							
Bonn	o	o	o	o			o
Regensburg		o	o	o			
Hamm						o	
Basel				o	o		
Zürich				o	o		
Wien	o	o					

Abb. 5: Weitere Projekte 2002.

Solarzellen





Strom aus Solarzellen – ein globaler Wachstumsmarkt

Die Photovoltaik erlebt weltweit einen regelrechten Boom mit Wachstumsraten von über 20%. In Deutschland haben das Erneuerbare-Energien-Gesetz und das Hunderttausend-Dächer-Programm dazu geführt, dass allein 2001 rund 80 MW Leistung neu installiert wurden – vor wenigen Jahren entsprach das noch dem Volumen des Weltmarkts.

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

Um den Einsatz teuren Ausgangsmaterials zu reduzieren, werden die Siliciumscheiben immer dünner. Durch angepasste Zellstrukturen erreichen wir dennoch konstant hohe Wirkungsgrade. Wir sind Vorreiter bei Hochleistungs-Solarzellen aus ultradünnen flexiblen 50 µm-Wafern, die in unserer Pilotlinie bereits komplett prozessiert werden. Wir arbeiten bereits an Verfahren zur direkten Herstellung dieser dünnen Folien aus Kristallen.

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



Als zweites Materialsegment bearbeiten wir III-V Halbleiter wie Galliumarsenid. Es steht derzeit noch für einen Spezialmarkt, der mit den Stichworten Weltraum, optische Konzentration, Sonderanwendungen beschrieben werden kann. Für die extraterrestrische Anwendung arbeiten wir an strahlungsresistenten Tandem- und Tripelzellen. Für den terrestrischen Einsatz entwickeln wir Konzentratorzellen für höchste optische Konzentrationsfaktoren.

Ein drittes Materialsegment sind Farbstoff- und Organische Solarzellen. Insbesondere die Technologie der Farbstoffsolarzellen hat sich in den letzten Jahren über den Labormaßstab hinaus entwickelt. Neben der Langzeitstabilität muss aber auch die Skalierbarkeit dieser Technologie auf Modulflächen $> 0.5 \text{ m}^2$ noch gezeigt werden. Organische Solarzellen befinden sich derzeit im Stadium der angewandten Grundlagenforschung. In allen Bereichen rückt aber die Forschung der kommerziellen Anwendung immer näher.

Im Geschäftsfeld »Solarzellen« unterstützen wir Materialentwickler, Anlagenhersteller und Solarzellproduzenten bei der

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

Dabei greifen wir unter anderem auf folgende Ausstattung zurück:

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

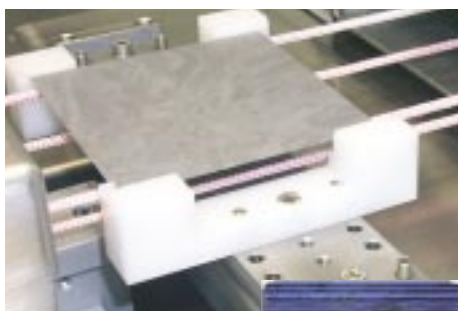


Ansprechpartner

Monokristalline Silicium-Solarzellen	Dr. Stefan Glunz	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-51 91 E-Mail: Stefan.Glunz@ise.fhg.de
Multikristalline Silicium-Solarzellen	Prof. Roland Schindler	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-52 52 E-Mail: Roland.Schindler@ise.fhg.de
Kristalline Silicium-Dünnschicht-Solarzellen	Dr. Stefan Reber	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-52 48 E-Mail: Stefan.Reber@ise.fhg.de
Solarzellen-Fertigungstechnologie	Dr. Ralf Preu	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-52 60 E-Mail: Ralf.Preu@ise.fhg.de
III-V-Solarzellen und Epitaxie	Dr. Andreas Bett	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-52 57 E-Mail: Andreas.Bett@ise.fhg.de
Farbstoff- und Organische Solarzellen	Dr. Andreas Hinsch	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-54 17 E-Mail: Andreas.Hinsch@ise.fhg.de
Hocheffiziente Solarmodule für die Geräteintegration	Dipl.-Phys. Helge Schmidhuber	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-51 93 E-Mail: Helge.Schmidhuber@ise.fhg.de
Labor- und Servicecenter Gelsenkirchen	Dr. Dietmar Borchert	Tel.: +49 (0) 2 09/1 68 33 18 E-Mail: Dietmar.Borchert@ise.fhg.de

Übergreifende Koordination

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



Hubschnurtransport für die kristalline Si-Solarzellenfertigung (Beitrag S. 44).



Epitaktisches Waferäquivalent auf hochdotierter Siliciumscheibe mit 13,2% Wirkungsgrad (Beitrag S. 39).



FLATCON®-Modul für 500fache Sonnenkonzentration (Beitrag S. 40).



Rasterelektronenmikroskop-Aufnahme des Schichtaufbaus einer Organischen Solarzelle (Beitrag S. 47).



Solarzellen

Neuartige und hocheffiziente Solarzellenstrukturen für kristallines Silicium

Der mit Abstand größte Teil der weltweiten Photovoltaikproduktion wird aus mono- oder multikristallinen Siliciumwafern hergestellt. Um auch in Zukunft wettbewerbsfähig gegen die Dünnschichttechnologien zu sein, muss insbesondere ein Kostenfaktor immer weiter reduziert werden: der Siliciumwafer selbst. Er macht rund 40–50% der Modulkosten aus. Neben der Kostenreduktion bei der Siliciumkristallzucht steht die Dicke des Wafers im Vordergrund. In den meisten industriellen Prozessen werden heute noch Wafer von etwa 330 μm Dicke verwendet. Das führt zu geringer Bruchwahrscheinlichkeit und damit hoher Ausbeute.

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

In den letzten Jahren wurden vermehrt Anstrengungen unternommen, die Waferdicke und damit die Modulkosten zu reduzieren. Dabei sind zwei Herausforderungen zu meistern: (1) Bruchstabilität und (2) Solarzellenwirkungsgrad. Die Bruchstabilität wird hauptsächlich von den mechanischen Eigenschaften des Wafers, aber natürlich auch vom »Stress«, der auf den Wafer während der Solarzellenherstellung einwirkt, beeinflusst. Die Änderung des Solarzellenwirkungsgrades bei abnehmender Dicke hängt hauptsächlich von der verwendeten Solarzellenstruktur ab. Wir bearbeiten intensiv die Fragen nach den kritischen mechanischen Größen, der optimalen Solarzellenstruktur für dünne Wafer und ihrer industriellen Umsetzung.

Interessanterweise scheinen sich die mechanischen Eigenschaften der Wafer mit abnehmender Dicke nicht immer weiter zu verschlechtern. Ab einer bestimmten Dicke werden die Wafer flexibel, was die Bruchwahrscheinlichkeit stark reduziert (Abbildung 1). Leider lassen sich solch dünne Wafer momentan noch nicht direkt herstellen, sondern entstehen durch Abdünnen von dickeren

Wafers, was natürlich nicht zur Kostenreduktion beiträgt. Darum entwickeln wir neue Methoden zur Herstellung von sehr dünnen Wafers.

Um parallel schon Solarzellenkonzepte und Bearbeitungsverfahren für dünne Wafer erarbeiten zu können, stehen uns seit kurzem zwei neue Apparaturen zum mechanischen Abdünnen dicker Wafer zur Verfügung. Mit den damit präparierten Wafers können wir für unterschiedlichste Dicken den optimalen Solarzellenprozess entwickeln. Eine besondere Herausforderung ist dabei die relativ schlechte Absorption von Licht in kristallinem Silicium, die eigentlich eine Zelldicke von mehr als 500 μm erfordern würde. Um auch in dünnen Zellen das gesamte Licht möglichst gut in Ladungsträger umzusetzen, muss die Zelle intern sehr gut verspiegelt werden. Das gelingt mit einer passivierten Rückseite besonders gut. Dabei berührt die Rückseitenmetallisierung nicht wie üblich den Siliciumwafer ganzflächig, sondern ist von ihm durch eine dünne Siliciumdioxidschicht getrennt. Diese ist nur an wenigen Stellen zur elektrischen Kontaktierung geöffnet. Die Struktur stellt einen fast perfekten Spiegel dar und hat außerdem hervorragende elektrische Eigenschaften. Wir haben damit auf einem nur 70 μm dünnen Wafer schon einen Wirkungsgrad von 20.7% erreicht.

Die dazu verwendete Zellstruktur war dabei bisher nur dem Laborbetrieb vorbehalten. Mit unserer neuartigen LFC-Technologie (Laser-Fired Contacts), siehe ISE-Jahresbericht 2001, ist es nun erstmals möglich, diese auch in einem Industrieprozess zum Einsatz zu bringen.

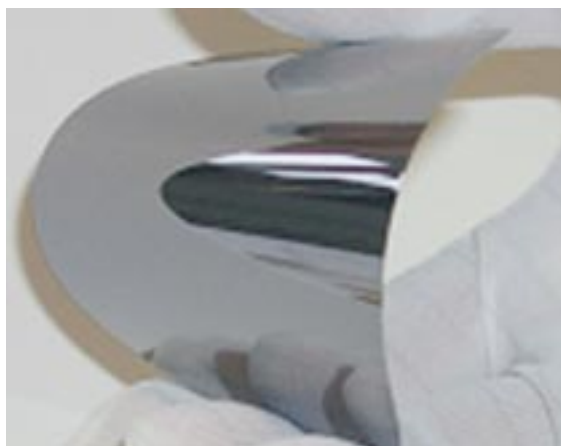


Abb. 1: 25 μm dünner flexibler Wafer, für den wir hocheffiziente Solarzellenstrukturen entwickeln.

* Albert-Ludwigs-Universität, Freiburger Materialforschungszentrum FMF



Waferäquivalente aus dünnen kristallinen Siliciumschichten

Der Nachschub von Rohsilicium für die Fertigung von Siliciumwafern ist eine entscheidende Frage in der Solarzellenfertigung. Wir bieten mit dem »Waferäquivalent« eine Antwort auf diese Frage an.

Stefan Reber, Albert Hurrle, Achim Eyer, Friedrich Lutz, Sandra Bau, Thomas Kieliba, Fridolin Haas, Norbert Schillinger, Mirosława Kwiatkowska, Elke Gust

Der Markt für kristalline Silicium-solarzellen wächst stetig. Die Bereitstellung von Abfall-Rohsilicium aus der Mikroelektronikfertigung kann mit dem wachsenden Bedarf nicht Schritt halten. Ein Versorgungsengpass droht. Wir entwickeln Alternativen, die mit wesentlich weniger Siliciummaterial auskommen und zudem billiger hergestellt werden könnten.

Unser Konzept heißt »Waferäquivalent«. Es sieht von außen betrachtet aus wie ein Siliciumwafer. Wirklich aktiv ist aber nur eine dünne Siliciumschicht mit einer gegenüber Wafern um 90% reduzierten Dicke. Wir haben uns zum Ziel gesetzt, dass ein Waferäquivalent genauso zur Solarzelle prozessiert werden kann, wie ein normaler Siliciumwafer. Sein großer Vorteil ist dann, dass es sich in bestehende Fertigungsstrukturen ohne Änderungen an der Technologie einfügen lässt, quasi als vollwertiger Ersatz des Siliciumwafers. Das spart Kosten und erhöht die Akzeptanz der kristallinen Silicium-Dünnschichttechnologie enorm.

Wir gehen zwei Wege, um ein Waferäquivalent zu realisieren: Der erste und schnellste Weg ist, auf ein Substrat aus kostengünstigem Silicium bei hohen Temperaturen eine hochwertige, epitaktische Siliciumschicht abzuscheiden (Abbildung 1). Als Substrate eignen sich z. B. Ausschusswafer aus der Bauelementeindustrie oder Scheiben aus kostengünstigem hochdotierten Silicium. Dieses »epitaktische« Waferäquivalent sieht nicht nur so aus wie eine normale Siliciumscheibe, es verhält sich auch fast so. Die bisher erreichten Wirkungsgrade um 13% mit industrieller Solarzellentechnologie stehen denen von Wafer-Solarzellen kaum nach (Abbildung 2).

Etwas mehr Freiheiten bietet ein zweiter Weg: Auf ein leitfähiges (Keramik-) Substrat scheidet man eine Siliciumschicht ab, die zur Qualitätsverbesserung überschmolzen und damit rekristallisiert wird. Die dadurch entstehenden Kristalle der Siliciumschicht sind genauso groß wie die der besten multikristallinen Siliciumscheiben. Das Wirkungsgradpotenzial ist also ähnlich hoch. Das »keramische« Waferäquivalent braucht zur Realisierung zwar mehr Prozessschritte, es lässt aber mehr Möglichkeiten bei der Substratwahl (z. B. Keramik, preiswertes Silicium) und der Prozessierung zu, was zu niedrigeren Kosten führen kann. Die Wirkungsgrade im Labor sind bisher noch etwas geringer als beim ersten Konzept, aber mit ca. 9% auf kostengünstiger Keramik sehr erfolgversprechend.

Beide Wege haben ihre Vorteile. Die Kosten werden entscheiden, welcher sich durchsetzen wird.

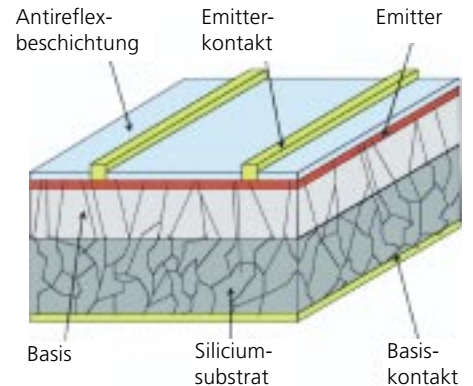


Abb. 1: Der einfachste Waferäquivalent-Aufbau: Auf ein kostengünstiges Siliciumsubstrat wird die dünne Siliciumschicht epitaktisch abgeschieden.

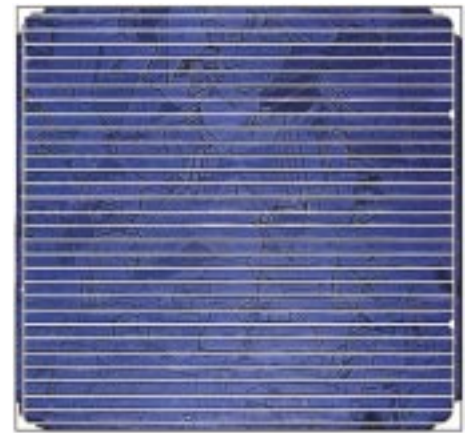


Abb. 2: Epitaktisches Waferäquivalent auf hochdotierter Siliciumscheibe von 21.16 cm² mit 13.2% Wirkungsgrad.

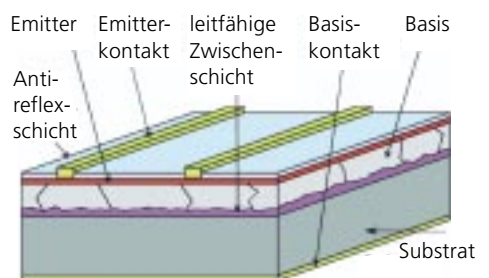


Abb. 3: Aufbau eines Waferäquivalents auf leitfähigem Fremdsubstrat mit leitfähiger Zwischenschicht.



Solarzellen

III-V Weltraum- und Konzentration-Solarzellen

Wir entwickeln Solarzellen mit mehreren pn-Übergängen, um hohe Wirkungsgrade zu erzielen. Solche Zellen werden für Satelliten im Weltraum oder in terrestrischen Konzentrationssystemen eingesetzt. Neben Zellen entwickeln wir auch die Konzentrationsoptik und Nachführeinheiten. Prototypen von Konzentrationmodulen werden unter realen Bedingungen getestet.

Carsten Baur, **Andreas W. Bett**, Armin Bösch, Martin Breselge, Marc Chenot, Frank Dimroth, Gerrit Lange, Gergö Létay, Astrid Ohm, Matthias Meusel, Sascha van Riesen, Gerald Siefer, Thomas Schlegl, Sivita Wassie

Metallorganische Gasphasen-Epitaxie (MOVPE)

Die Basis für die Herstellung von Solarzellen aus III-V Halbleitermaterialien ist die geordnete Abscheidung auf einem Substrat: die Epitaxie. Als Ausgangsstoffe dienen bei uns metallorganische- und Hydrid-Verbindungen. In einem kommerziellen, industrietauglichen Reaktor der Firma Aixtron Aachen (2600G3), können bis zu acht 4-Zoll-Substrate beschichtet werden. Abbildung 1 zeigt ein Schema der von uns eingesetzten Anlage. Durch die hohe Anzahl von metallorganischen Quellen können wir viele unterschiedliche III-V Halbleiter wachsen lassen. In diesem Jahr haben wir die Anlage nochmals wesentlich erweitert. Besonders wichtig ist, dass wir mit der Charakterisierungsmethode EpiRas nun das Wachstumsverhalten in-situ beobachten können. Somit verstehen wir den Abscheidungsprozess besser und können ihn schneller optimieren. Aufgrund von detektierten Oszillationen bestimmen wir die Wachstumsrate nun direkt. Ein Beispiel für den zeitlichen Verlauf der

Reflexion bei einer festen Wellenlänge ist in Abbildung 2 gezeigt.

Wir nutzen EpiRas auch zur Analyse der Substratoberfläche vor und während des Wachstums und um die Run zu Run Reproduzierbarkeit zu prüfen.

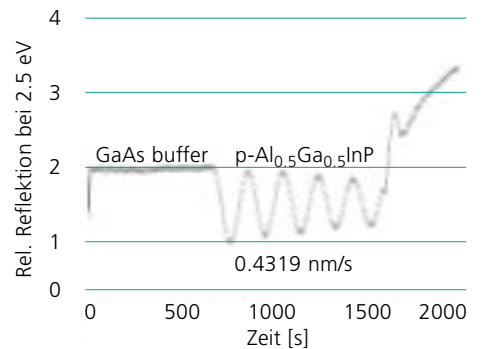


Abb. 2: Beispiel einer EpiRas-Messung. Die Auswertung der Oszillationen ermöglicht eine in-situ Wachstumsratenbestimmung. Die gezeigten Oszillationen sind eine Folge von Lichtreflexionen an Grenzflächen von Materialien mit unterschiedlichem Brechungsindex.

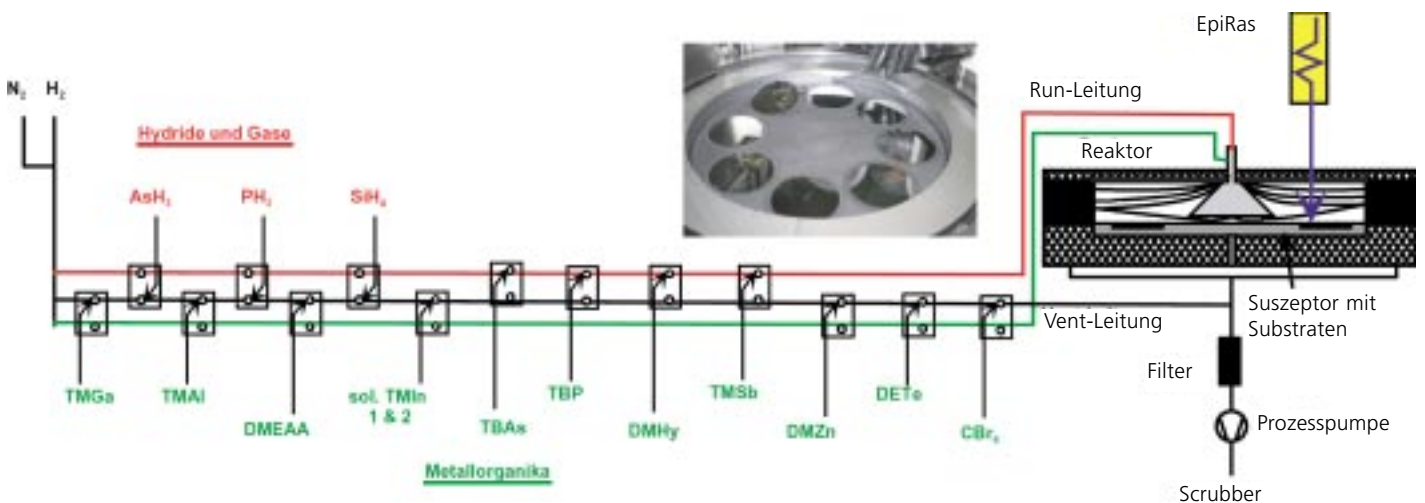


Abb. 1: Schema der am Fraunhofer ISE verwendeten AIX2600 MOVPE Anlage. Beachtenswert ist die hohe Anzahl der Ausgangsquellen und die Möglichkeit der in-situ Analyse (EpiRas).



Tripelzellentwicklung für Weltraumsolarzellen

Ein Schwerpunkt unserer Arbeiten war die Entwicklung industrietauglicher Prozesse für monolithische Tripelsolarzellen. Dazu wachsen wir mittels der MOVPE eine aufwändige Schichtenfolge aus GaInP und GaInAs auf ein Ge-Substrat. Während dieses Wachstums entsteht im Ge selbst ein pn-Übergang. Die einzelnen Zellen aus GaInP, GaInAs und Ge sind intern durch Tunnelioden in Serie geschaltet. Wir erzielten dieses Jahr über 25% Wirkungsgrad unter dem extraterrestrischen Sonnenspektrum AM0 (Abbildung 3). Das ist europäischer Rekord.

FLATCON®-Module

FLATCON® steht für »Fresnel Lens All-Glass Tandem Cell Concentrator« und beschreibt so unsere Entwicklungen im Konzentrator-Modulbau. Die Fresnellinsen prägen wir als konzentrierende Optik direkt in einen dünnen Silikonfilm. Das Verfahren haben wir zusammen mit dem Ioffe-Institut, St. Petersburg, Russland, entwickelt. Das Modulgehäuse besteht komplett aus Glas. Als Konzentratorsolarzellen setzen wir GaInP/GaInAs-Tandemzellen ein. Sie haben einen Durchmesser von 2 mm und sind für 500fache Konzentration optimiert. In einem Modul werden 48 Zellen verschaltet. Zwei Module, montiert auf einer Nachführeinheit, sind in Abbildung 4 gezeigt.

Mit den FLATCON®-Modulen haben wir über 22% Wirkungsgrad unter realen Anwendungsbedingungen, d.h. ohne Temperaturkorrektur gemessen. Die Modultemperatur war circa 25 °C höher als die Umgebungstemperatur. Ein FLATCON®-Modul mit 768 cm² Aperturfläche hat bei 759 W/m² Einstrahlung über 13 W elektrische Leistung erzeugt (Abbildung 5).

Für die finanzielle Unterstützung unserer Arbeiten im Bereich der Weltraumsolarzellen bedanken wir uns bei ESA-ESTEC, dem Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) und der RWE Space Power Solar GmbH. Die Entwicklungen im Bereich der Konzentratorsolarzellen werden durch das Bundeswirtschaftsministerium, das Land Baden-Württemberg und RWE Space Power Solar GmbH gefördert.

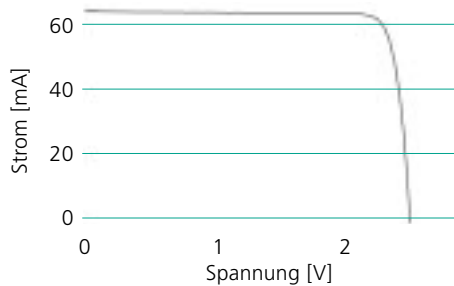


Abb. 3: IV-Hell-Kennlinie einer 4 cm² monolithischen GaInP/GaInAs/Ge Tripelzelle für das extraterrestrische AM0 Spektrum. $\eta=25.5\%$, $FF=86.8\%$, $I_{sc}=16.02 \text{ mA/cm}^2$, $V_{oc}=2.51 \text{ V}$.



Abb. 4: FLATCON®-Module montiert auf der Nachführeinheit auf dem Dach des Fraunhofer ISE.

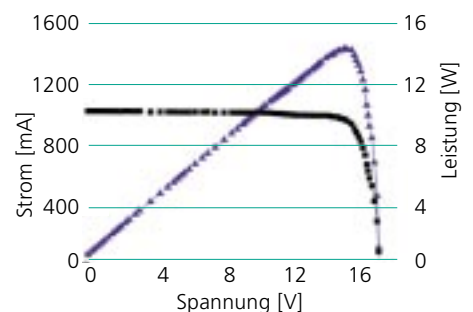


Abb. 5: Die in Abbildung 4 gezeigten FLATCON®-Module haben einen Wirkungsgrad von über 22.7% bei einer Einstrahlung von 759 W/m² und einer Umgebungstemperatur von 17.5 °C.



Solarzellen

Lebensdauerspektroskopie zur Analyse von Defekten in Silicium

Lebensdauerspektroskopie ist eine relativ neue, besonders aussagekräftige Methode zur Analyse von rekombinationsaktiven Defekten in Silicium. In unserer Gruppe konnten in jüngerer Zeit entscheidende Fortschritte bei der Nutzung dieser Technik erzielt werden.

Stefan Glunz, Patrick Lichtner, Stefan Rein, Wilhelm Warta

Mehr als 90% der weltweit gefertigten Solarzellen sind aus kristallinem Silicium. Ein wichtiger Ansatzpunkt für die Reduktion der Produktionskosten ist eine Steigerung des Zellwirkungsgrades. Da die Materialqualität hierbei eine entscheidende Rolle spielt, ist die Analyse von elektrisch aktiven Defek-

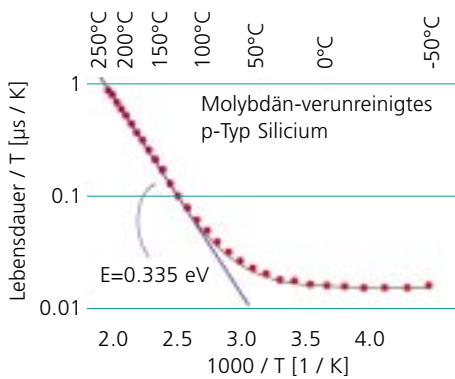


Abb. 1: Ergebnis einer TDLS-Messung an einer Molybdän-verunreinigten Siliciumprobe.

ten, die während der Siliciumherstellung oder während des Solarzellenprozesses erzeugt werden, von zentraler Bedeutung. »Deep-Level Transient Spectroscopy« (DLTS) gilt allgemein als eine der empfindlichsten Methoden, um auch geringe Konzentrationen elektrisch aktiver Defekte zu detektieren und zu analysieren. Dennoch können auch Defektkonzentrationen unterhalb der Nachweisgrenze von DLTS die Ladungsträgerlebensdauer stark beeinflussen. Die Ladungsträgerlebensdauer ist die mittlere Zeit, die ein zum Beispiel durch Licht erzeugter Minoritätsladungsträger nach Abschalten des Lichts »überlebt«.

Aufgrund der hohen Empfindlichkeit der Ladungsträgerlebensdauer auf elektrisch aktive Defekte eignen sich Lebensdauermessungen besonders zur Untersuchung der Materialqualität. Neben der rein qualitativen Analyse können die Defekte auch direkt identifiziert werden, wenn die Abhängigkeit der Ladungsträgerlebensdauer von der Temperatur und der Ladungsträgerdichte analysiert wird. Diese Methode ist unter dem Namen Lebensdauerspektroskopie bekannt und wird erst seit kurzem von einigen führenden Photovoltaikgruppen eingesetzt.

Da sie im Gegensatz zur DLTS kontaktlos funktioniert, können sowohl Defekte, die bereits im Siliciumausgangsmaterial vorhanden sind als auch solche, die erst durch den Solarzellenprozess ungewollt »eingeschleust« werden, besonders einfach analysiert werden. Das liefert wichtige Informationen für die Weiterentwicklung von Silicium-Solarzellen.

Insbesondere bei der temperaturabhängigen Lebensdauerspektroskopie (TDLS) konnten wir in der letzten Zeit entscheidende Fortschritte erzielen. Grundprinzip dabei ist, dass die Rekombinationsaktivität eines Defekts mit steigender Temperatur abnimmt und damit die Lebensdauer ansteigt. Trägt man nun die gemessene Ladungsträgerlebensdauer dividiert durch die Temperatur in einem Arrhenius-Plot gegen die inverse Temperatur $1/T$ auf, so ergibt sich für höhere Temperaturen ein linearer Abschnitt, dessen Steigung direkt proportional zum Energieniveau des Defekts im untersuchten Material ist. Das Energieniveau eines Defekts in der Bandlücke ist aber wiederum der wichtigste »Fingerabdruck«, um ihn zu identifizieren.

Abbildung 1 zeigt eine typische TDLS-Messung. Der lineare Bereich bei hohen Temperaturen ist gut zu erkennen. Seine Steigung »verräät« das Energieniveau des gesuchten Defekts, in diesem Fall 0.335 eV. Darüber hinaus können wir dank unserer neu entwickelten Auswertungsroutine aus der TDLS-Messung entscheidende Informationen über die Einfangquerschnitte des Defekts gewinnen. So können wir den Defekt eindeutig bestimmen, in dieser Probe Molybdän.

Wir haben die Methode schon an vielen Defektarten (Fe, Cu, Ni, Mo, ...) erfolgreich angewendet und besitzen mit ihr eine Technik, die es nicht nur erlaubt, festzustellen, dass etwas bei der Herstellung des Siliciumkristalls oder der Solarzelle »schief« gegangen ist, sondern auch was!



Analyse örtlich verteilter Verluste in Silicium-Solarzellen

Wir haben im letzten Jahr den Zusammenhang zwischen der Materialqualität von multikristallinem Silicium, deren Veränderungen im Solarzellenprozess und dem Ertragsverhalten der Solarzellen untersucht. Dabei sind uns wesentliche Schritte bei der Umsetzung der Erkenntnisse in die industrielle Praxis gelungen.

Martin Hermle, Jochen Dicker, Jörg Isenberg*, Stephan Riepe, Roland Schindler, Martin Schubert, **Wilhelm Warta**

Für Solarzellen aus einkristallinem Silicium existiert mit dem Solarzellensimulator PC1D ein hervorragendes Werkzeug, um die Ertragseigenschaften aus Materialqualität und technologiebedingten Parametern zu berechnen und damit auch das Potenzial eines Materials abzuschätzen. PC1D ist jedoch ein eindimensionaler Simulator, d.h. laterale Homogenität aller Eigenschaften ist vorausgesetzt. Bei Solarzellen aus multikristallinem Material zeigt oft bereits die Qualität des Ausgangsmaterials extreme Schwankungen. Aber auch bei Solarzellen aus einkristallinem Material treten in einem realen industriellen Herstellungsprozess lokale Problemstellen (Kurzschlüsse, erhöhte Querleitungsverluste) auf.

Wir arbeiten mit Partnern aus Forschung und Industrie an der Entwicklung eines Programmpakets, das die bewährten Möglichkeiten von PC1D auf lateral inhomogene Solarzellen erweitert. Die entsprechenden

Programme zur zweidimensionalen Simulation haben wir in Forschungsversionen bereits erstellt. Sie werden jetzt an Zellen aus verschiedenen Schritten der Zellproduktion von Industriepartnern getestet. Parallel dazu gestaltet ein Softwareentwickler das Programmpaket zu einer nutzerfreundlichen, vermarktungsfähigen Version um.

Wir arbeiten auch an den notwendigen Messinstrumenten, um verlässliche Daten für die Prozesskontrolle zu erhalten. Wir qualifizierten die im letzten Jahr eingeführte neue Lebensdauermesstechnik CDI (Carrier Density Imaging) erfolgreich für den Einsatz an realen Proben aus industrieller Solarzellen-Herstellung. Einen wichtigen Zwischenschritt in der Produktion bildet die Emitterdiffusion. Nach diesem Schritt sind bei den Wafern wesentliche prozessbedingte Änderungen der Trägerlebensdauer erfolgt, teure Folgeschritte können aber noch vermieden werden, falls minderwertiges Siliciummaterial aussortiert wird.

Wir können nun mit CDI Emitterdiffundierte Wafer messen. Dabei haben wir den wesentlichen Vorteil der Technik, die extrem kurze Messzeit im Vergleich zu anderen ortsauflösenden Verfahren, erhalten. Ein Beispiel für eine CDI-Lebensdauerermessung an einen 100 x 100 mm² großen multikristallinen Wafer mit beidseitigem, hochdotierten Emitter zeigt die Abbildung 1, die Messzeit war 100 s.

Den Einfluss der Temperaturbelastung beim Solarzellenprozess haben wir an Gruppen paralleler Wafer untersucht. Sie waren bei unterschiedlichen Temperaturen mit industrieüblicher Emitterdiffusion prozessiert und nach Entfernen der hochdotierten Schichten oberflächenpassiviert worden.

Abbildung 2 zeigt Beispiele von Häufigkeitsverteilungen (ermittelt aus CDI-Lebensdauerbildern).

Die Ausgangslebensdauer von 1.5 μs konnte hier bereits bei der niedrigsten Temperatur deutlich verbessert werden. Bei höheren Diffusionstemperaturen tritt zunehmend Degradation auf. Mit verbesserter Solarzellentechnologie werden solche Effekte immer wichtiger werden. Wir können Materialherstellern Erfahrungen und apparative Möglichkeiten zur Optimierung ihres Kristallisationsprozesses anbieten.

Die Arbeiten wurden im EU Projekt PORTRAIT (Solar Cell Performance Optimisation Relating Process Tracking by Imaging Techniques with Modelling) gefördert.

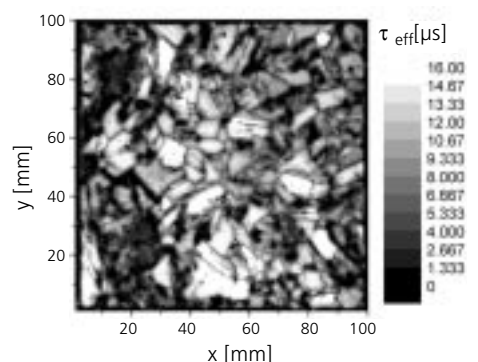


Abb. 1: CDI-Lebensdauerermessung an einem Emitter-diffundierten Wafer.

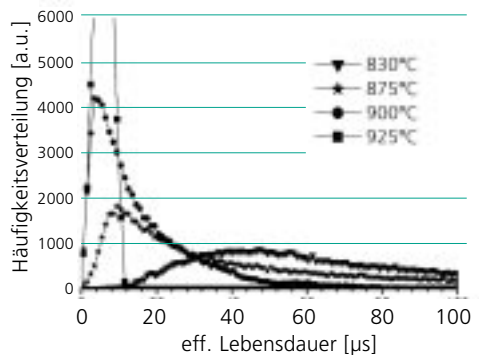


Abb. 2: Lebensdauererwartungen nach Emitterdiffusion bei 830, 875, 900 bzw. 925 °C für Material aus dem oberen Bereich eines mc-Si-Blockes.

* Albert-Ludwigs-Universität, Freiburger Materialforschungszentrum FMF

1 gefördert durch das BMWi im Projekt »KOSI«



Solarzellen

Kontaminationsarmer Transport für die industrielle Hochtemperaturprozessierung von Silicium-Solarzellen

Zusammen mit der Firma Centrotherm entwickeln wir ein neuartiges System zum Transport von Siliciumscheiben durch Hochtemperaturstrecken insbesondere für die Phosphordiffusion. Durch den Einsatz des Transportsystems können wir die Kontaminationsprobleme von Siliciumscheiben in Durchlauföfen drastisch reduzieren und erreichen auf industriellem multikristallinen Siliciummaterial Wirkungsgrade von über 15%.

Daniel Biro, Gernot Emanuel, Andreas Grohe, Marc Hofmann, Dominik Huljic, Christopher Kopisch, Jochen Rentsch, Isolde Reis, Eric Schneiderlöchner, Wolfram Sparber, Winfried Wolke, **Ralf Preu**

In den letzten vier Jahren hat sich die kristalline Silicium-Solarzelle zu einem Massenprodukt entwickelt. Weltweit werden pro Jahr deutlich über 100 Millionen Stück hergestellt. Eine solche Massenfertigung legt die Verwendung von Produktionsverfahren mit gutem Materialfluss nahe. Unter diesem Gesichtspunkt wird idealerweise »in-line« gefertigt, d.h. die Scheiben bewegen sich kontinuierlich durch die Fertigungsstationen und erfahren dabei ihre Prozessierung.

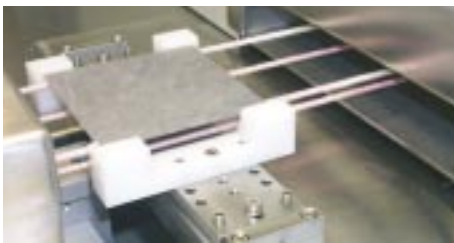


Abb. 1: Scheibenaufnahme für den Hubschnurtransport.

Nicht immer lassen sich mit kontinuierlichen Technologien die gleichen Ergebnisse wie mit der simultanen Prozessierung großer Scheiben-Stückzahlen erreichen. Ein Beispiel war bisher die Erzeugung des Emitters. Er wird durch den Einbau von Phosphor-Atomen in den oberflächennahen Bereich der Siliciumscheiben gebildet. Dazu werden sie dünn mit einem phosphorhaltigen Dotierstoff beschichtet. Anschließend wird die Scheibe auf eine Temperatur von ungefähr 850–900 °C erhitzt. Dabei diffundieren – beabsichtigt – Phosphor, aber auch andere Stoffe in das Silicium. Insbesondere der Einbau von Metallatomen in das hochreine Siliciumgitter führt zu erheblichen Leistungseinbußen bei den fertigen Solarzellen.

Aus Mangel an Alternativen wurden für die industrielle »in-line«-Fertigung bislang Durchlauföfen mit hochtemperaturstabilen metallischen Transportkettenbändern eingesetzt. Sie erzeugen unerwünschte Kontamination durch Kontakt und Abrieb. Außerdem benötigt die hohe thermische Masse des Kettenbandes viel Zeit zum Aufheizen und Abkühlen. Dadurch steigt der Platzbedarf, die Öfen werden sehr lang. Trotz eines deutlich ungünstigeren Materialflusses behauptet sich deshalb bisher die aus der Halbleiterindustrie übernommene Technologie der Diffusion in einem geschlossenen Rohrofen.

An dieser Stelle setzt eine Technologie an, die wir gemeinsam mit der Firma Centrotherm zum Patent angemeldet haben: der Hubschnurtransport.

Anstelle des metallischen Kettenbandes verwenden wir zwei Paare von hochtemperaturstabilen Schnüren, auf denen die Siliciumscheiben abgelegt werden. Die Schnurpaare sind an zwei

Trägergestellen außerhalb des Hochtemperaturbereiches aufgehängt, die unabhängig voneinander sowohl rund 30 cm horizontal, als auch etwa 2 cm vertikal bewegt werden können. Die Scheiben liegen auf dem oben liegenden Schnurpaar, das in Transportrichtung bewegt wird, während das untere Schnurpaar in gegenläufiger Richtung bewegt wird, bis es in der Ausgangssituation angehoben wird und die Scheiben übernimmt. Der periodische Vorgang und die Anpassung der Schnur-Geschwindigkeiten gewährleistet einen vollständig kontinuierlichen Transport.

Wir haben bereits zwei einspurige Laboranlagen mit diesem Transportsystem am Fraunhofer ISE aufgebaut. Dabei konnten wir durch Untersuchungen der Materialqualität prozessierter Scheiben nachweisen, dass – im Gegensatz zum metallischen Kettenband – die Kontamination vernachlässigbar ist. Wir setzen die Anlage deshalb jetzt standardmäßig in unserer Pilotlinie für die Diffusion ein. Dadurch konnten wir den Wirkungsgrad multikristalliner Silicium-Solarzellen, die mit industrierelevanten Verfahren hergestellt wurden, auf über 15% steigern.

Wegen der hohen Nachfrage der Industrie nach Durchlauföfen mit Hubschnurtransport, haben wir mit der Firma Centrotherm ein vier-spuriges System entwickelt. Dieses wird von uns als Demonstrationsanlage am Fraunhofer ISE aufgebaut. Das Bundeswirtschaftsministerium fördert dieses Verbundprojekt, an dem auch das Fraunhofer-Institut für Produktionstechnologie IPT und die Firma ACR beteiligt sind. Letztere beschäftigt sich mit der Entwicklung und dem Aufbau der Automatisierungskomponenten.



Labor- und Servicecenter Gelsenkirchen

Auf unserer Durchlaufpilotlinie haben wir einen Herstellungsprozess für multikristalline Silicium-Solarzellen entwickelt und darüber hinaus zwei Texturierungsverfahren für mono- und multikristallines Silicium in unserer Produktionslinie etabliert. Für die Messtechnik wurde ein System zur schnellen Detektion von Shunts entwickelt.

Nico Ackermann, Christoph Ballif, **Dietmar Borchert**, Markus Dabruck, Andreas Gronbach, Ali Kenanoglu, Stefan Müller, Stefan Peters, Alexander Poddey, Markus Rinio, Mark Scholz, Jörn Suthues, Roland Schindler, Gerhard Willeke, Thomas Zerres

Das Labor- und Servicecenter Gelsenkirchen betreibt in seiner Durchlaufpilotlinie für siebgedruckte multikristalline Silicium-Solarzellen eine Plasmaanlage, die es erstmalig erlaubt, Abscheide- und Ätzprozesse bei der gebräuchlichen Standardfrequenz von 13.56 MHz auf einer Fläche von 45 x 45 cm² durchzuführen. Für die Abscheidung von Siliciumnitrid ergibt sich eine Homogenität von besser als 5% auf der gesamten Fläche und von besser als 3% auf einer 12,5 x 12,5 cm² großen Solarzelle.

Die Lichteinkopplung in die Solarzelle kann deutlich verbessert werden, wenn die Oberfläche der Zelle texturiert wird. Dazu werden u.a. auf monokristallinem Material Zufallspyramiden hergestellt. Dies geschieht durch anisotropes Ätzen mit einer heißen Kaliumhydroxid-Isopropanol-Mischung. In der Massenproduktion ist diese Mischung schwierig zu handhaben, da große Mengen Isopropanol verdampfen. Wir haben

nach einer alternativen Ätzlösung ohne Isopropanol gesucht. Mit einer Natriumcarbonat-Lösung, die einen geringen Anteil Natriumhydrogencarbonat enthält, konnten wir die Reflexion genauso stark reduzieren wie mit der Standard-Kaliumhydroxid-Isopropanol-Mischung (Abbildung 1).

Während auf monokristallinem Silicium wegen der Kristallgeometrien mit alkalischen Laugen Zufallspyramiden geätzt werden können, funktioniert dies nicht auf multikristallinem Silicium. Hier werden saure Ätzlösungen eingesetzt. Wir haben auf der Basis einer modifizierten kommerziellen Ätzmischung eine Lösung entwickelt, die zu einem Stromgewinn von 4% in multikristallinen Silicium-Solarzellen führt.

Der hohe Durchsatz moderner Produktionslinien erfordert mehr und mehr, dass der Hersteller auch Messtechnik vor Ort hat. Die dort installierten Verfahren müssen robust und einfach in der Handhabung sein. Sie müssen schnell ein Ergebnis liefern, das eindeutig interpretierbar ist. Im Labor- und Servicecenter Gelsenkirchen haben wir nach dem FAKIR-System zur schnellen Messung von Schichtwiderstandsverteilungen ein neues Messsystem entwickelt.

Es handelt sich um ein Shunt-Analyse-System, das innerhalb von wenigen Sekunden ein Übersichtsbild über alle relevanten Shunts liefert. Das System arbeitet mit einer temperaturempfindlichen Flüssigkristallfolie. Bei Anlegen einer Sperrspannung von typischerweise 1 bis 10 Volt kommt es nach 2 bis 3 Sekunden dort, wo Shunts in einer Solarzelle lokalisiert sind, lokal zu einem erhöhten Stromfluss. Dadurch wird die Solarzelle an diesen Stellen stärker erwärmt. Das führt zu einer sichtbaren Verfärbung der Folie

(Abbildung 2). Mit unserem System können ohne Umrüstung des Messplatzes drei verschiedene Zellgrößen vermessen werden.

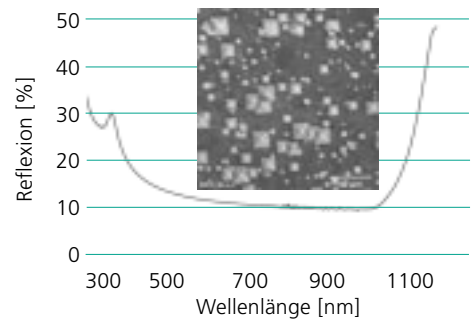


Abb. 1: Reflexionsgrad einer Silicium-Oberfläche nach dem Ätzen mit einer Natriumcarbonat-Lösung. Ätzzeit 15 min. Kleines Bild: REM-Bild einer texturierten Oberfläche.

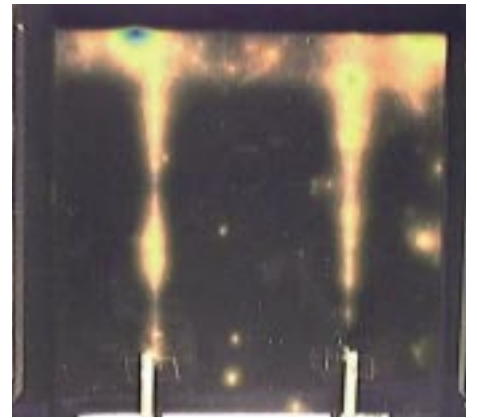


Abb. 2: Beispielmessung mit unserem Messsystem zur Detektion von Shunts an einer 12,5 x 12,5 cm² grossen multikristallinen Solarzelle. Die mit der Vorderseite der Solarzelle in Kontakt gebrachte temperaturempfindliche Flüssigkristallfolie zeigt starke Verfärbungen insbesondere im Bereich der Busbars. Grund für die Verfärbungen sind lokale Kurzschlüsse, die durch zu starkes Feuern der Kontakte entstanden sind.



Solarzellen

Farbstoffsolarzellen

Farbstoffsolarzellen basieren auf einer neuen Technologie. Im Vergleich zu herkömmlichen Solarzellen kommen vollständig andere Materialien und Herstellungsverfahren zum Einsatz. Sie haben ein hohes Kostensenkungspotential.

Simone Baumgärtner*, Udo Belledin*, Anneke Hauch*, **Andreas Hinsch**, Sarmimala Hore*, Rainer Kern, Ronald Sastrawan*, Marion Schubert*, Jochen Wagner*, Uli Würfel*



Abb. 1: Fertigungstechnologie Farbstoffsolarzellen: Sämtliche Schichten der Zellen werden im Siebdruck aufgebracht.



Farbstoffsolarzellen sind elektrochemische Solarzellen. Bei der Herstellung von Farbstoffsolarzellen werden keine Halbleitertechnologien genutzt, sondern prinzipiell billige Dünnschichttechnologien, wie sie in der Glasindustrie eingesetzt werden. Damit haben diese Solarzellen das Potenzial einer sehr kostengünstigen Produktion. Am Fraunhofer ISE haben wir im letzten Jahr eine Produktionslinie im Technikumsmaßstab für 30 x 30 cm² Farbstoffsolarzellenmodule aufgebaut. Unsere Schwerpunkte sind:

- präziser Sieb- bzw. Schablonendruck (Abbildung 1)
- thermische Versiegelungstechnik mit Glasloten oder Ionomeren
- Geräte zur Strukturierung von Glasplatten
- Dispergiereinheiten zur Formulierung der Siebdruckpasten
- Stationen zum Befüllen der Zellen und Module mit Farbstoff- bzw. Elektrolytlösungen.

Wir haben ein neues Modulkonzept für Farbstoffsolarzellen entwickelt, das uns, zusammen mit unserem Know-how auf dem Gebiet der thermischen Versiegelungstechnik mit Glasloten, die Entwicklung von langzeitstabilen Farbstoffsolarzellen-Modulen ermög-

licht. Es basiert auf dem monolithischen Zellkonzept von Farbstoffsolarzellen (Abbildung 2). Dabei sind sowohl Vorder- als auch Gegenelektrode der Farbstoffsolarzelle auf dem vorderseitigen TCO-Glas angebracht. Die rückseitige Glasplatte dient nur noch zur Versiegelung der Zelle und wird durch Glaslote mit dem vorderseitigen Glas verschmolzen.

Für die Befüllung der Zellen in den Modulen haben wir eine Station entwickelt, die mit Vakuumrückfülltechnik arbeitet. Pro Zelle genügt ein Loch in der Gegenelektrode, um den Elektrolyten einzubringen.

Zusammen mit dem Materialforschungszentrum der Universität Freiburg arbeiten wir außerdem intensiv daran, die Effizienz von Farbstoffsolarzellen zu erhöhen. Dabei kooperieren wir im Rahmen eines europäischen Projektes (NANOMAX) mit anderen führenden Forschungsgruppen. Wir arbeiten an neuen Zellkonzepten und Materialien, um die Wirkungsgrade deutlich zu erhöhen. Sie sollen auch mit der neu aufgebauten Produktionslinie im Technikumsmaßstab hergestellt werden. Im letzten Jahr haben wir für diese Zellen 6% Wirkungsgrad erzielt.

Abb. 2: Prinzipschema des am Fraunhofer ISE entwickelten monolithischen Zellkonzepts von Farbstoffsolarzellen: Etwa 20 Nanometer große TiO₂-Kristalle bilden eine 10 µm dicke poröse Schicht, in die der photoaktive Farbstoff (rot) eingebracht ist. Als Elektronenbarriere zwischen der Photoelektrode und der Gegenelektrode aus Graphit (grau) dient eine poröse Zirkonoxidschicht (gelb). Die rückseitige Abdeckung (hellblau) und hermetische Versiegelung der Zelle besteht aus einem dünnen Glas. In den Schichten ist ein Elektrolyt eingeschlossen, um den Transport der photogenerierten positiven Ladungen zu gewährleisten. Die negativen Ladungen werden über eine transparent leitfähige Schicht (SnO₂:F) (grün) und eine schmale Leiterbahn aus Silber (grau) auf dem vorderseitigen Glas abgeleitet.

* Albert-Ludwigs-Universität, Freiburger Materialforschungszentrum FMF



Organische Solarzellen

Auf der Suche nach kostengünstigen Solarzellen entwickeln wir am Fraunhofer ISE seit kurzem auch Dünnschicht-Solarzellen aus rein organischen Materialien.

Simone Baumgärtner*, Markus Glatthaar, Andreas Hirsch, Michael Niggemann, Marion Schubert*, Jochen Wagner

Die Entwicklung von Organischen Solarzellen ist noch mit einem hohen Risiko behaftet. Doch nach dem Durchbruch bei den Organischen Leuchtdioden (LED) sind auch die Erfolgsaussichten für Organische Solarzellen sprunghaft gestiegen. Polymere Elektronik wird als eine der Schlüsseltechnologien des 21. Jahrhunderts angesehen. Die Technologie ist vergleichsweise neu, mit wesentlichen Fortschritten kann mithin in kurzer Zeit gerechnet werden. In den letzten Jahren konnten bei Organischen Solarzellen durch gezielte Kombination von elektronen- und löcherleitenden Materialien Wirkungsgrade bis 3% erreicht werden.

Ein wesentlicher Gegenstand unserer Forschung ist die Sichtung von Materialien in Hinblick auf ihre Tauglichkeit als photoaktive Stoffe. Dabei prüfen wir, ob verschiedene Stoffkombinationen als Elektronen-Donatoren und Elektronen-Akzeptoren geeignet sind - entweder als Schichtsysteme oder als Stoffgemische. Wir erzeugen die Schichten sowohl durch Verdampfen im Vakuum als auch durch Spin-coaten. Alle Systeme haben einen planaren Schichtaufbau mit der aktiven Schicht zwischen einer transparenten und einer hoch reflek-

tierenden Elektrode. Geringe Ladungsträger-Beweglichkeiten und hohe Rekombinationsraten begrenzen die Schichtdicken auf maximal 100 bis 200 nm. Diese kleinen Schichtdicken führen zu niedriger Licht-Absorption und begrenzen so die Effizienz entscheidend. Die Abweichung des Absorptionsspektrums der photoaktiven Stoffe vom solaren Spektrum schränkt die Ausnutzung des Sonnenlichts bei den derzeit verwendeten Absorbermaterialien noch ein.

Am Fraunhofer ISE versuchen wir die Lichtabsorption durch Aufprägen von Nanostrukturen zu erhöhen (Abbildung 1). Dabei können wir auf die langjährige Erfahrung des Instituts mit großflächiger Nanostrukturierung von polymeren Materialien zurückgreifen. Die Experimente werden unterstützt durch Modellierung der elektrischen Feldverteilung in den strukturierten Absorberschichten mit »Rigorous Coupled Wave Analysis RCWA« (Abbildung 2).

Die Arbeiten auf dem Gebiet der Organischen Solarzellen sind eingebunden in Aktivitäten am Materialforschungszentrum der Universität Freiburg. Wir haben dort eine Glovebox mit integrierter Aufdampfanlage in Betrieb genommen. Sie dient zur Abscheidung der Elektrodenflächen. Die Charakterisierung der Solarzellen erfolgt mit einem angeschlossenen Solarsimulator ebenfalls innerhalb der Glovebox (Abbildung 3).

Das Fraunhofer ISE koordiniert zwei durch das Bundesforschungsministerium geförderte Verbund- und Netzwerkprojekte zu diesem Thema mit universitären und außeruniversitären Forschungsgruppen.

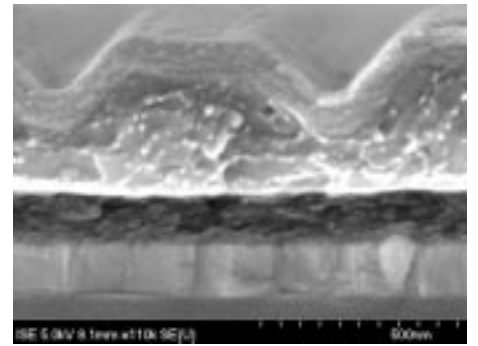


Abb. 1: REM-Aufnahme des Schichtaufbaus einer strukturierten Organischen Solarzelle. Im Bild von unten nach oben: Glas, transparent leitfähiges ITO, Polythiophen (PEDOT) als elektrischer Lochleiter, aktive Absorberschicht (Buckyball-Polymermischung), Aluminium als Gegenelektrode. Die Absorberschicht wurde durch Prägen nanostrukturiert.

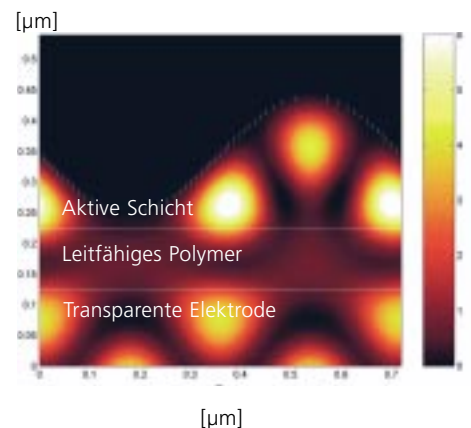


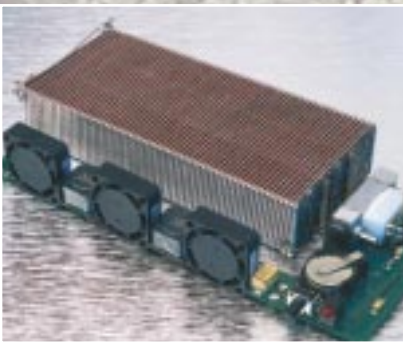
Abb. 2: Berechnetes Betragssquadrat der Feldverteilung im Querschnitt einer strukturierten Organischen Solarzelle (Periode der Struktur = 720 nm). Das Maximum der Lichtabsorption liegt in diesem Fall in der aktiven Schicht. Gerechnet wurde mit monochromatischem Licht einer Wellenlänge von 500 nm und einem senkrechten Einfall von unten.



Abb. 3: Herstellung der Organischen Solarzellen in der Glovebox.

* Albert-Ludwigs-Universität, Freiburger Materialforschungszentrum FMF

Netzunabhängige Stromversorgungen





Überall verfügbar und sauber – netzunabhängige Stromversorgung mit erneuerbaren Energien

Zwei Milliarden Menschen ohne Strom, eine Vielzahl technischer Stromversorgungen in Telematik, Telekommunikation oder Umweltmesstechnik sowie vier Milliarden tragbare Elektronikgeräte in den Industrieländern haben eines gemeinsam: Sie alle brauchen netzunabhängigen Strom. Den liefern regenerative Energien oder innovative Energiewandler wie Brennstoffzellen nach Maß. Etwa 50% der weltweit verkauften Photovoltaikmodule gehen daher in netzunabhängige Stromversorgungen. Hier existieren derzeit die größten natürlichen Märkte für Photovoltaiksysteme, die schon heute oft wirtschaftlicher sind als Batterien, Netzausbau oder Versorgung mit Dieselgeneratoren.

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

Sowohl in der ländlichen Elektrifizierung als auch bei technischen Stromversorgungen hat sich die Qualität der Komponenten und des Systemdesigns in den letzten Jahren spürbar verbessert. Zu oft stimmen aber Qualität oder Kosten der Stromversorgung noch nicht. Es wird daher zunehmend auf sorgfältige Planung, hochwertige Komponenten und ausgefeilte Betriebsführung geachtet. Dabei müssen Systemintegratoren und Komponentenhersteller häufig das komplexe Zusammenspiel vieler Einflussfaktoren abschätzen. Dazu brauchen sie Spezialkenntnisse zu Leistungs- und Regelungselektronik, Batteriemodellierung, Ladestrategien, Anlagenbetriebsführung, Energiemanagement, Systemsimulation oder Sozio-Ökonomie, die wir besitzen.



Brennstoffzellen haben ein großes Potenzial als netzunabhängige Stromversorgungen – insbesondere als Mikrobrennstoffzellen in tragbaren Geräten. Ihr entscheidender Vorteil ist die hohe erreichbare Energiedichte der Speicher für Wasserstoff oder Methanol gegenüber heutigen Sekundärbatterien. Das kann bei gleicher Baugröße oder gleichem Gewicht die Betriebszeiten der Geräte wesentlich verlängern. Häufig kann die mobile Stromversorgung durch Kombination verschiedener Energiewandler wie Solarzellen, Brennstoffzellen oder Sekundärbatterien optimiert werden.

Für die Firmen, die sich in der ländlichen Elektrifizierung engagieren, sind neue Geschäftsmodelle und angepasste Strategien zur Markterschließung wichtig. Auch größere Elektrifizierungsprogramme berücksichtigen immer stärker sozio-ökonomische Faktoren. Das sichert einen nachhaltigen Aufbau von Vertrieb und Service – und damit den langfristigen Betrieb der aufgebauten Systeme. Wer die Märkte der ländlichen Elektrifizierung erschließen will, muss deshalb sozio-ökonomische Methoden und Erkenntnisse in Unternehmensplanung und Produktdesign einfließen lassen.

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

- Elektronikentwicklung
- Batteriemodellierung
- kleine Brennstoffzellen
- Hocheffiziente Solarmodule zur Geräteintegration
- Systemauslegung und -optimierung
- Systembetriebsführung und Energiemanagementsysteme
- Trink- und Brauchwasser-Aufbereitungssysteme und entsprechende Technologien
- Sozio-Ökonomie.

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

- Wechselrichterlabor
- hochpräzise Leistungsmessgeräte für Wechselrichter und Laderegler
- Präzisionsmessgeräte zur Charakterisierung von induktiven und kapazitiven Bauelementen
- Messkabine für elektromagnetische Verträglichkeit (EMV)
- Burst- und Surge-Generatoren
- programmierbare Solarsimulatoren und elektronische Lasten
- Entwicklungsumgebungen für Mikrocontroller und Digitale Signalprozessoren (DSP)
- Lichtmesslabor
- temperierte Teststände für vielzellige Batterien und Hybridspeicher
- Teststände für Brennstoffzellen im Betrieb mit Wasserstoff und Methanol
- ortsaufgelöste Charakterisierung von Brennstoffzellen
- Kalibrierlabor für Solarmodule
- Freiland-Testfeld zur Erprobung von Solarkomponenten
- Pumpenteststand
- Test- und Entwicklungslabor für Trinkwasseraufbereitungssysteme
- parallele Linux-Farm für Optimierungsrechnungen komplexer Systeme.



Ansprechpartner

Systeme zur netzunabhängigen Stromversorgung	Dipl.-Phys. Dirk Uwe Sauer	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-52 19 E-Mail: Dirk-Uwe.Sauer@ise.fhg.de
Systemkomponenten: Speicher	Dipl.-Phys. Dirk Uwe Sauer	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-52 19 E-Mail: Dirk-Uwe.Sauer@ise.fhg.de
Systemkomponenten: Elektronik	Dr. Bruno Burger	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-52 37 E-Mail: Bruno.Burger@ise.fhg.de
Mikroenergie-technik	Dr. Christopher Hebling	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-51 95 E-Mail: Christopher.Hebling@ise.fhg.de
Systeme und elektrische Verfahren zur Wasserentsalzung und -entkeimung	Dipl.-Ing. Ulrike Seibert	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-52 40 E-Mail: Ulrike.Seibert@ise.fhg.de
Thermische Solaranlagen, Verfahren zur Wasserentsalzung und -entkeimung	Dipl.-Phys. Matthias Rommel	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-51 41 E-Mail: Matthias.Rommel@ise.fhg.de
Monokristalline Silicium-Solarzellen	Dr. Stefan Glunz	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-51 91 E-Mail: Stefan.Glunz@ise.fhg.de
Hocheffiziente Solarmodule für die Geräteintegration	Dipl.-Phys. Helge Schmidhuber	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-51 93 E-Mail: Helge.Schmidhuber@ise.fhg.de

Übergreifende Koordination

Netzunabhängige Stromversorgungen	Dr. Tim Meyer	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-52 29 E-Mail: Tim.Meyer@ise.fhg.de
Wasserstofftechnologie	Dr. Christopher Hebling	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-51 95 E-Mail: Christopher.Hebling@ise.fhg.de
Solarzellen	Priv. Doz. Dr. Gerhard Willeke	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-52 66 E-Mail: Gerhard.Willeke@ise.fhg.de



PV-Hybrid-Dorfstromversorgung in Cal Peaire in Spanien. Im Rahmen des EU-Projektes MSG (Multi-User Solar Hybrid Grids) wurde die Anlage mit einer soziotechnischen Strategie geplant und umgesetzt.



Batteriemessungen im Prüflabor zur Entwicklung von Batteriebetriebsstrategien (Beitrag S. 55, Servicebereiche S. 90).



Regelungsplatine mit einer 50 W Brennstoffzelle zur autarken Energieversorgung eines Laptops (Beitrag S. 56, Beispiel für die Integration in einen Laptop - siehe Abbildung Titelseite).



Nachweis der Desinfektions- und Entsalzungsleistungen einer dezentralen Trinkwasseraufbereitungsanlage.



Ergonomische Kommunikations- Schnittstelle für PV-Systeme am Beispiel eines Displays für Prepayment-Systeme

Für ein Photovoltaik-Kompaktsystem, das für Energiedienstleistungen in netzfernen Gebieten entwickelt wird, haben wir ein Display entworfen. Es genügt Kriterien von Wahrnehmungspsychologie und Ergonomie und dient als Schnittstelle zwischen technischem System und Nutzer. Durch die Kombination von sozialwissenschaftlicher und technischer Kompetenz wurden hier sowohl die Anforderungen der Nutzer und des technischen Systems gleichermaßen berücksichtigt.

Norbert Pfanner, Maria Xesus Bello Rivas, Dirk Uwe Sauer,
Sebastian Will*

Das Solar Home Kompaktsystem besteht aus einem externen Modul und einer in ein Gehäuse integrierten Batterie mit zugehöriger Ladeelektronik. Dadurch kann die Laderegulation an die Batterie angepasst, das System vor Manipulation geschützt und der Installationsaufwand erheblich verringert werden. Installationsfehler sind so gut wie ausgeschlossen.

* PSE GmbH Forschung Entwicklung
Marketing, Freiburg

Das System arbeitet im Prepayment-Verfahren: Der Energie-Nutzer bezahlt vorab wie bei einer Telefonkarte die Dienstleistung, die dann von einer Chipkarte abgebucht wird.

Ein wesentlicher Aspekt ist die Kommunikation mit dem Nutzer, um ihn über den Zustand des Systems zu informieren. Das dafür konzipierte Display soll dem Nutzer einen hohen Bedienungskomfort bieten und die notwendige Information über den Betriebszustand visualisieren:

- um seinen Verbrauch optimal zu steuern, benötigt der Nutzer Information über den technischen Systemzustand (Batterie- und Ladezustand)
- eine Anzeige zur Fehlerdiagnose kann die Kosten für Wartung und Reparaturen (Fahrkosten) reduzieren – ist für den Nutzer klar zu erkennen, was die Ursache eines Systemausfalls ist, steigt auch die Akzeptanz von Seiten des Endnutzers
- der Nutzer kann den Energiekonsum gut mit seinen finanziellen Ressourcen abstimmen, wenn ihm das Prepayment-Guthaben angezeigt wird
- eine Rückmeldung über positive sowie negative Effekte seines Verhaltens ermöglichen dem Nutzer Lernen im Systembetrieb.

Die Anzeige wurde nach ergonomischen und wahrnehmungspsychologischen Kriterien gestaltet. Dabei achteten wir besonders darauf, dass die visualisierte Information an vorhandenes Wissen der Anwender anknüpft. Wir wollten die Oberfläche der Anzeige mit bestehenden Vorstellungen der Nutzer kompatibel machen. Kompatibilität verstehen wir als Grad an Übereinstimmung zwischen den Strukturen im semantischen Gedächtnis der Bediener und den von ihnen geforderten Handlungen. Eine Schulung bei Inbetriebnahme der PV-Systeme fördert diese Kompatibilität.

Das Display ist so gestaltet, dass der Nutzer alle relevanten Informationen auf einen Blick erfassen kann. Eine Verunsicherung des Nutzers durch unvorhergesehene Anzeigen wird vermieden.

Das PV-Kompaktsystem wird federführend von der Firma Steca entwickelt. Um eine Balance zwischen Produktionskosten und Ergonomie zu erreichen, entschied sich Steca in Abstimmung mit Fraunhofer ISE und dem Energiedienstleister Afrisol (Marokko) für eine Anzeige, in der Piktogramme die Funktionen Batteriezustand, Wartungsservice und Kontostand symbolisieren, und grüne, gelbe und rote LED's den aktuellen Zustand anzeigen (Vorstudie in Abbildung 1).

Als nächste Schritte unserer sozio-technischen Strategie werden wir die Pilot-Feldeinführung mit einer Studie über die Akzeptanz des Kompaktsystems und des kundenspezifischen Displays begleiten. Dieses Vorgehen ermöglicht die Produktoptimierung und Ausweitung der Produkteinführung.

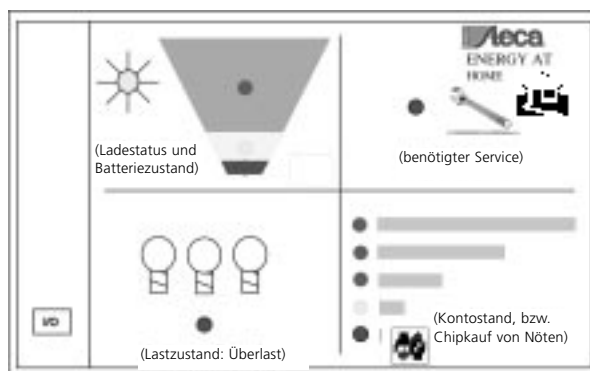


Abb. 1: Planungs-Entwurf der kundenspezifischen Systemanzeige.



Exportoffensive zu Produkten und Dienstleistungen für die ländliche Elektrifizierung

Der Johannesburg-Gipfel hat die ländliche Elektrifizierung in den Mittelpunkt der weltweiten Entwicklungspolitik gerückt. Angesichts dieser Herausforderung einerseits und stark steigender Produktionskapazitäten für Photovoltaikmodule andererseits, wird es Zeit, diese Exportmärkte für die deutsche Industrie effektiver zu erschließen. Diesem Ziel widmen sich zwei vom Fraunhofer ISE unterstützte Initiativen.

Sven Kreitz, **Werner Roth**,
Dirk Uwe Sauer, Nicole Seibel,
Irina Wellige

Die Versorgung ländlicher Gebiete mit Energie und Wasser wurde auf dem Johannesburg-Gipfel als zentrale Aufgabe der Weltgemeinschaft in den nächsten Jahren verabschiedet. Rund zwei Milliarden Menschen leben heute ohne Zugang zu diesen Ressourcen.

Industrie und Forschung in Deutschland haben exzellente Produkte zur Lösung dieser Versorgungsaufgaben zu bieten. Bis heute ist aber gerade für klein- und mittelständische Unternehmen (KMU) der Zugang zu den Märkten in Entwicklungs- und Schwellenländern schwierig. Ursachen dafür sind zum einen die schwierigen Marktbedingungen, die hohe Investitions- und Vorlaufkosten nötig machen und von KMU kaum aufzubringen sind. Zum anderen wird die internationale Konkurrenz aus vielen Industrieländern durch deren jeweilige nationale Politik intensiv unterstützt und hat dadurch erhebliche Wettbewerbsvorteile. Zentrales Element dieser Unterstützung ist dabei eine enge Verknüpfung zwischen Ent-

wicklungshilfe einerseits und Förderung der eigenen Wirtschaft andererseits.

Das Fraunhofer ISE entwickelt seit vielen Jahren Technologien und sozio-ökonomische Methoden für den Einsatz in Entwicklungs- und Schwellenländern und setzt sie in Projekten vor Ort ein.

Die dabei gewonnenen Erfahrungen nutzen wir, um Firmen beim Eintritt in die Märkte der ländlichen Elektrifizierung zu unterstützen. Die Arbeiten sind in zwei zentralen Aktivitäten gebündelt:

1. Club zur ländlichen Elektrifizierung C.L.E.
2. Erschließung der Weltbank für Unternehmenskonsortien

C.L.E. ist ein Zusammenschluss von überwiegend KMU im deutschsprachigen Raum. Der Beitritt zu C.L.E. steht allen Unternehmen offen, die ein aktuelles oder zukünftiges Geschäftsfeld im Bereich der ländlichen Elektrifizierung vor allem in südlichen Ländern außerhalb Europas sehen. Zentrale Aktivitäten sind politische Lobbyarbeit, Kommunikation und Informationsbeschaffung, Unterstützung bei der Akquisition von Weltbankprojekten und Aufbau von Kontakten mit langfristiger Wirkung in den Zielländern.

Das Fraunhofer ISE ist Mitglied im C.L.E. und führt als Geschäftsstelle die Tagesgeschäfte. In dieser Rolle sind wir in stetigem Kontakt mit Ministerien, den Durchführungsorganisationen der Entwicklungshilfe und der von der Bundesregierung eingerichteten Exportinitiative. Dadurch verleihen wir den Firmen und dem speziellen Marktsegment eine Stimme. Ziel der Aktivi-

täten ist eine Verbesserung der Wettbewerbssituation für deutsche Unternehmen und gleichzeitig die Entwicklung von nachhaltigen Konzepten für die ländliche Elektrifizierung. Dies kann unserer Meinung nach nur durch eine enge Verbindung zwischen öffentlicher Entwicklungshilfe und privatwirtschaftlichem Engagement erreicht werden. Weitere Informationen zu C.L.E. finden Sie unter www.cle-export.de.

Vor allem KMU fällt es sehr schwer, bei der Weltbank erfolgreich Projekte zu akquirieren. Bei einem jährlichen Kreditvolumen zwischen 700 Millionen und einer Milliarde US-Dollar, das die Weltbank für die ländliche Elektrifizierung bereitstellt, bleiben damit erhebliche wirtschaftliche Potenziale ungenutzt. Daher hat die Fraunhofer-Gesellschaft mit sieben ihrer Institute und der Unterstützung des Bayerischen Staatsministeriums für Wirtschaft, Verkehr und Technologie die Gemeinschaftsinitiative »Erschließung der Weltbank für Unternehmenskonsortien« gegründet und zu Beginn des Jahres 2002 gestartet. Im Rahmen der Initiative werden die dem Firmenpool beigetretenen Unternehmen z. B. bei der Lobbyarbeit, bei der Identifikation von aussichtsreichen Ausschreibungen und beim Abgleich der Kompetenzen des Unternehmens mit Weltbank-Projekt-Anforderungen unterstützt.

Eine gemeinsame Imagebroschüre soll den Kontakt zu Zielländern und Vertretern der Weltbank vereinfachen. Mit direkter Unterstützung des Fraunhofer ISE werden vollständige Angebote erstellt und eingereicht. Weitere Informationen zu dieser Initiative finden Sie auf der Internetseite wb.iitb.fhg.de.



Erfahrungen aus zehn Jahren ländlicher Elektrifizierung für Unternehmen nutzbar machen

Die Integration neuer Energietechnologien in ländliche Regionen kann nur gelingen, wenn kulturelle und sozio-ökonomische Bedingungen von Anfang an berücksichtigt werden. Unternehmen müssen diese Bedingungen bewerten können und in ihre Projektarbeit mit einbeziehen. Um dieses Know-how Beteiligten aus der Solarindustrie zu vermitteln, arbeiten Sozialwissenschaftler und europäische Firmen, die sich mit ländlicher Elektrifizierung befassen, gemeinsam ein entsprechendes Trainingsprogramm aus. Das Training wird in Unternehmen durchgeführt und evaluiert.

Dirk Uwe Sauer, Mark Ullrich, Gisela Vogt, **Sebastian Will***

Der Markt der ländlichen Elektrifizierung mit netzfernen Photovoltaik-Systemen bietet heute ein theoretisches Marktpotenzial von mehreren 100 Millionen Euro.

Bei der Elektrifizierung des ländlichen Raums überwiegen bisher häufig technokratische Herangehensweisen. Dabei wird »Technologie« oft mit »ländlicher Entwicklung« gleichgesetzt. Entsprechend dominiert im Umgang mit Nutzern ein funktional-deterministisches Menschenbild solche Projekte. Meistens begrenzen aber



Abb. 1: Installation einer PV-Hybridanlage in Indonesien.

gerade nicht-technische Probleme eine schnellere Verbreitung dezentraler photovoltaischer Stromversorgung. Wesentlicher Grund dafür ist die mangelnde Anpassung der PV-Technologien und Markterschließung an bestehende soziale, kulturelle und sozio-ökonomische Strukturen.

Eine Analyse von Projektberichten der letzten zehn Jahre zeigt in vielen Fällen folgende Defizite:

- unzureichende Kenntnis der lokalen Kultur und sozialen Bedingungen führen zu einer Diskrepanz zwischen Energiebedarf und Möglichkeiten der realisierten PV-Systeme
- unzureichende Analysen der Einkommensstrukturen führen zu Finanzierungsmodellen mit hohem Risiko
- mangelhafte Schulungen der Endnutzer führen zu nicht sachgemäßem Gebrauch wie Überbrückung von Einrichtungen zur Verbrauchsbegrenzung oder Überlastung einzelner Komponenten
- fehlende Investitionen in die Infrastruktur und Ausbildung von lokalem Personal für Wartung, Service und Vertrieb führen zu massiver Einschränkung des Langzeit-Betriebs.

Um diese Defizite zu eliminieren, entwickelt das Fraunhofer ISE gemeinsam mit Partnern¹ aus Sozialwissenschaften, den Praktikern vor Ort und der Industrie ein »Train the Trainer«-Konzept, mit dem Unternehmen die benötigten Kompetenzen zur Bewertung von sozio-ökonomischen und kulturellen Gegebenheiten erlernen. Darüber hinaus vermitteln wir, wie sie die Ergebnisse der Bewertung nutzen können, um PV-Energiesysteme sozio-ökonomisch angepasst und nachhaltig zu implementieren. Erst die Kooperation von felderfahrenen Sozialwissen-

schaftlern und technischen Praktikern ermöglicht die zielgruppenspezifische Entwicklung der Trainingsinhalte.

Die Trainingskurse werden bei jedem Industriepartner abgehalten und wissenschaftlich evaluiert. Danach steht das Trainingsangebot allen Firmen offen, wobei aus einem Themenkatalog ausgewählt werden kann. Ein Beispiel dafür ist der lokale Energiebedarf – er wird bisher durch die Erfassung der vorhandenen elektrischen Verbraucher geschätzt. Da diese Methode kaum verlässliche Schätzungen ermöglicht, lernen die Teilnehmer, den jeweiligen Energiebedarf unter Einbeziehung des lokalen sozio-ökonomischen Kontexts zu beurteilen. Ein weiteres Beispiel ist die Auswahl von Mitarbeitern – eine qualifizierte Analyse und Beurteilung der lokalen Gegebenheiten sowie der Konzeption des Projekts, hilft den Unternehmen, die geeignetsten Mitarbeiter für Installations- und Wartungsaufgaben vor Ort auszuwählen.

Bewährte Empfehlungen für Marketing und eine Einführung in die Nutzung von PV-Systemen gehören ebenso zu den Trainingsinhalten wie der Aufbau einer vertrauensvollen Beziehung zwischen den beteiligten Projektteilnehmern. Schließlich werden Ansätze und »Werkzeuge« für kontinuierliches Monitoring und Follow-up Studien vermittelt, so dass die Firmen den technischen, sozialen und finanziellen Erfolg beurteilen können.

Die Arbeiten finden im Rahmen des Projekts SOPRA RE statt, das von der Europäischen Union gefördert wird.

* PSE GmbH Forschung Entwicklung Marketing, Freiburg

¹ Die Partner im SOPRA-RE Projekt: BP Solar, Total Energie, ATERSA, Trama Tecnio Ambiental, Vergnet, ECN und Universität Carlos III. in Madrid



Neue Ladeverfahren für Batterien in autonomen Stromversorgungen

Batterien sind in autonomen und netzfernen Stromversorgungssystemen eine zentrale Komponente. Bis heute werden überwiegend Bleibatterien eingesetzt. Wir entwickeln hoch effektive Ladeverfahren, um die oftmals als mangelhaft empfundene Lebensdauer der Batterien zu verlängern.

Georg Bopp, Rudi Kaiser,
Dirk Uwe Sauer

Bleibatterien sind aufgrund ihres guten Preis-Leistungsverhältnisses derzeit und wohl auch in absehbarer Zukunft die meist-verwendete Batterieart in stationären autonomen Stromversorgungssystemen. Erhebliche Belastungen im Teilzyklenbetrieb, unregelmäßige Vollladungen und ungeeignete Ladeverfahren verkürzen die Batterie-Lebensdauer oft unnötig.

Nicht nur in autonomen Stromversorgungen werden heute viele Batterien ausgetauscht, obwohl der irreversible Kapazitätsverlust noch nicht kritisch ist. Allerdings kann es zu einer erheblichen Anreicherung an reversiblen Sulfaten kommen, die herkömmliche IU-Ladeverfahren (Konstantstrom/Konstantspannung) nicht auflösen können. Für den Nutzer ergibt sich daraus momentan eine erheblich reduzierte Kapazität.

Sowohl im Feld als auch in unseren Labors konnten wir zeigen, dass mit Konstantstromnachladungen (I_a -Phase), vor allem bei Bleibatterien mit festgelegtem Elektrolyten, die reversiblen Kapazitätsverluste nahezu vollständig wieder ausgeglichen werden können. Abbildung 1 zeigt dies anschaulich: Erst drei Ladungen mit Konstantstromnachladung (I_a -Phase) führen bei einer alten

Batterie zu einer Rückführung auf Nennkapazität. Bei weiterem Betrieb mit Standardladeverfahren blieb die Kapazität stabil auf dem Nennwert. Der Prüfling war hier eine Batterie nach fünf Jahren Lagerung ohne Betrieb. Die dabei auftretende Sulfatierung entspricht den Problemen, die auch bei einem typischen Betrieb im Feld auftreten, z. B. wenn Batterien im Teilzyklenbetrieb nur unvollständig geladen werden.

Auch bei Felduntersuchungen in Zusammenarbeit mit dem Batteriehersteller »Deutsche Exide Standby« konnten wir durch verbesserte Ladeverfahren die Lebensdauer verlängern. In einem Feldtest mit 16 Systemen mit verschlossenen Bleibatterien haben wir verschiedene IU- und IUa-Ladeverfahren untersucht. Dabei konnte gezeigt werden, dass nur IUa-Ladeverfahren eine vollständige Aufladung der Batterie erreichen. Je nach Batterietyp und Jahreszeit konnten zwischen 5 und 20% mehr Ladung in die Batterie geladen und auch wieder entnommen werden, als mit den besten IU-Ladeverfahren. Hochwertige Batterien, die zwei Mal im Jahr mit einer IUa-Ladung vollständig geladen wurden, zeigten auch nach vier Betriebsjahren kaum einen Kapazitätsverlust.

Die Konstantstromladung verlängert die Batterielebensdauer ganz erheblich, aber nur wenige Ladegeräte beherrschen diese Technik und die genaue Spezifikation des Ladeverfahrens muss je nach Anwendung und Batterietyp angepasst werden.

Im EU-Projekt »Reducing electricity storage costs« haben wir Ladeverfahren mit pulsförmigen Strömen im Frequenzbereich 10 Hz bis 10 kHz und Amplituden bis zu I_1 intensiv untersucht. Wir fanden keine signifikanten Auswirkungen auf das Ladeverhalten

von Bleibatterien mit flüssigem Elektrolyten. Lediglich Batterien mit flüssigem Elektrolyten ohne Elektrolytumwälzung zeigten schlechte Lebensdauerwerte bei Pulsstrombelastung wie sie in autonomen Stromversorgungen vorkommt.

Elektrolytumwälzsysteme verlängern in Bleibatterien mit flüssigem Elektrolyten die Lebensdauer erheblich. So haben wir gerade an einer OPzS-Batterie nach zehn Betriebsjahren Feldeinsatz nur eine geringfügige Abnahme der Kapazität festgestellt.

Auf Basis unserer Untersuchungen können wir eine Lebensdauererlängerung von Batterien in autonomen Stromversorgungen von 30 bis 70% gegenüber dem status quo realisieren. Deshalb bieten wir Herstellern und Anwendern die Entwicklung von energetisch und ökonomisch optimierten Gesamtspeicherkonzepten und optimierten kundenspezifischen Ladegeräte an. Diese beinhalten insbesondere auch unsere präzisen und selbstadaptierenden Algorithmen zur Ladezustands- und Alterungsbestimmung.

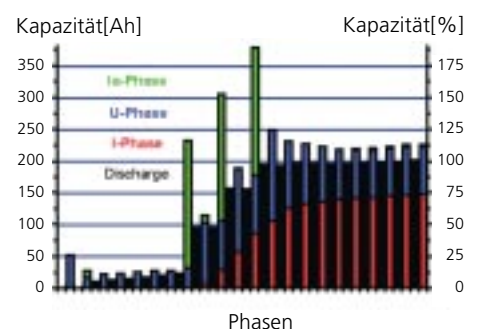


Abb. 1: Zyklisierung zur Wiederauffrischung einer OPzV-Batterie nach fünf Jahren Lagerung. Jeder farbige Balken ist ein Ladevorgang, der nachfolgende schwarze Balken zeigt, wie viel Kapazität entladen werden konnte. Blaue bzw. rote Balken sind konventionelle Ladungen mit Konstantspannung bzw. Konstantstrom. Erst drei Konstantstromnachladungen (I_a -Phase; grüne Balken) bringen die Kapazität der Batterie wieder auf den Nennwert von 200 Ah.



Mikroenergietechnik

Der Energiebedarf von Geräten des 4C-Markts (Cell Phone, Camcorder, Computer, Cordless Tools) nimmt wegen der Integration zusätzlicher Funktionen stark zu. Bei verteilten elektrischen Verbrauchern – z. B. bei Mess- oder Signalsystemen – wird oft eine energieautarke Stromversorgung gewünscht. Im Marktbereich Mikroenergietechnik entwickeln wir zuverlässige miniaturisierte Stromerzeuger als Ersatz oder Ergänzung zu Batterien.

Johannes Aschaber, Ulf Groos,
Christopher Hebling, Helge
Schmidhuber, Jürgen Schumacher,
Mario Zedda

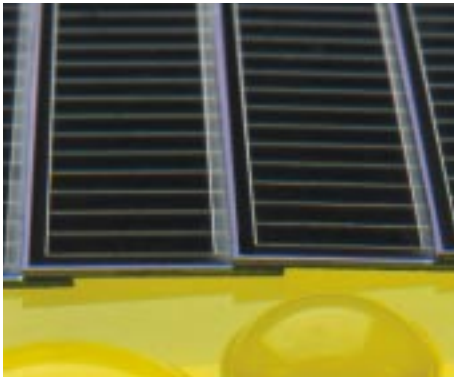


Abb. 1: Schindeltechnologie bei Solarmodulen für höchste Modulwirkungsgrade. In Verbindung mit den hocheffizienten Solarzellen des Fraunhofer ISE wird ein Modulwirkungsgrad von 20% erzielt.

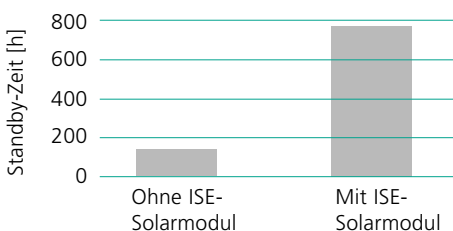


Abb. 2: Verlängerung der Standby-Zeit eines Mobiltelefons in Innenräumen am Fenster durch Einsatz hocheffizienter Solartechnik.

Hocheffiziente Solarmodule

Im Alltag sind Solarzellen z. B. von Taschenrechnern bekannt. Für einen höheren Leistungsbedarf wie bei Palmtops, Mobiltelefonen oder Notebooks sind herkömmliche Photovoltaik-Technologien jedoch nicht ausreichend. Mithilfe hocheffizienter Solartechnik als Zusatzstromerzeuger können diese Geräte jedoch autark versorgt werden oder erheblich verlängerte Betriebs- bzw. Standby-Zeiten erreichen.

Unsere Technologie zeichnet sich gegenüber dem Stand der Technik durch einen deutlich höheren Modulwirkungsgrad von 20% aus. Vor allem wenn Geräte bei schlechten Lichtverhältnissen z. B. in Innenräumen betrieben werden, ist das am Fraunhofer ISE erreichte hohe Niveau der Zellspannung und damit des Wirkungsgrads entscheidend. Eine hohe Zuverlässigkeit der Energieversorgung erreichen wir durch die exakte Abstimmung von Solarmodul-Technologie und Ladeelektronik für den geräteintegrierten Akku.

Um für eine Serienfertigung die Produktionskosten zu senken, den Durchsatz und die Langzeitstabilität zu erhöhen, untersuchen wir neue Materialien zum Laminieren der Solarzellen. Außerdem haben wir eine Pilotfertigung für unsere hocheffizienten Solarzellen aufgebaut. So gewährleisten wir einen direkten Technologietransfer zu unseren Kunden.

Beispielhaft wurde ein Organizer mit unserer Solartechnik ausgestattet und ein energieautarker Betrieb in Innenräumen über mindestens zwei Monate nachgewiesen. Eine andere Entwicklung zeigt einen Solarakku für

ein Mobiltelefon, das mit unseren hocheffizienten Solarzellen eine nahezu unbegrenzte Standby-Zeit erreicht. Der Nutzer kann somit auf Ladegeräte, Kabel und Netzadapter verzichten und den Akku einfach am Auto- oder Hotelfenster aufladen.

Mikrobrennstoffzellen

Aufgrund der hohen Energiedichte der Speicher für Wasserstoff oder Methanol, eignen sich Mikrobrennstoffzellen besonders für elektrische Verbraucher mit langen Betriebszeiten. Die Trennung von Stromerzeugung (Brennstoffzelle) und Brennstoffspeicher erlaubt eine ideale Anpassung an die geforderte Spezifikation. Die Modularität der Brennstoffzelle bietet weite konstruktive Freiräume.

Für einen Leistungsbereich bis ca. 200 W entwickeln wir Membranbrennstoffzellen und hocheffiziente Spannungswandler. Wir integrieren diese Komponenten als Komplettsysteme einschließlich Energiespeicher, Elektronik und Peripherie in portable Geräte.

Unter Leitung des Fraunhofer ISE entwickelt die Fraunhofer-Initiative Mikrobrennstoffzelle innovative Energiesysteme, wobei auch Werkstoffentwicklung, Produktions- und Montagetechnologie berücksichtigt werden. Dadurch erhöhen wir die Produktsicherheit und senken die Kosten zur Vorbereitung einer Markteinführung. Zur Demonstration unserer Entwicklungskompetenzen haben wir ein miniaturisiertes Brennstoffzellen-System mit einer Leistung von 10 W zum Betrieb eines handelsüblichen DV-Camcorders aufgebaut. Dazu haben wir Herstellungsverfahren für die Bipolarplatten, neue



Bipolmaterialien mit leitfähigen Polymeren und eine automatisierte Montageeinheit entwickelt.

Im Auftrag eines Computerherstellers wurde ein Brennstoffzellen-System in das Akkufach eines Laptops integriert. Der Laptop wird von der Brennstoffzelle mit einer Leistung von max. 50 W versorgt; drei Metallhydridspeicher stellen eine elektrische Energie von ca. 40 Wh bereit. Damit wird der normale geräteeigene Akku vollständig ersetzt (Foto Titelseite).

Elektronik für Brennstoffzellen

Leistungsstarke Brennstoffzellen werden in Zukunft immer mehr energieautarke Messsysteme, Laptops oder Mobiltelefone mit Energie versorgen. Sie verdrängen oder ergänzen dabei herkömmliche Batterien und Akkus. Wir entwickeln DC/DC-Wandler, die die Energie der Brennstoffzellen so aufbereiten, dass sie handelsübliche Geräte versorgen können. Die elektronischen Schaltungen beinhalten dabei viele Funktionen wie:

- Anlaufschaltung
- Ablaufsteuerung
- hocheffiziente DC/DC-Wandler
- Wasserstoff-Druckregelung
- Sauerstoff bzw. Lüfterregelung
- Impedanzregelung
- und Feuchteregelung.

Derzeit konzentrieren wir unsere Forschungsaktivitäten auf die Regelung des Feuchtehaushalts, um einen stabilen Betrieb der Brennstoffzelle sicherzustellen (Beitrag S. 64).

Thermophotovoltaik

Im Gegensatz zur solaren Photovoltaik nutzt die Thermophotovoltaik (TPV) Wärmestrahlung zur Stromgeneration. In netzfernen Anwendungen kann so z. B. mit einem Gasbrenner eine Reserveenergiequelle unabhängig von der Solarstrahlung zur Verfügung gestellt werden.

Wir entwickeln TPV-Zellen, die an die emittierte Infrarot-Strahlung angepasst sind. Auf der anderen Seite optimieren wir Material und Strukturierung des Strahlers so, dass das Emissionsmaximum im gewünschten Wellenlängenspektrum auftritt. Schließlich entwickeln wir Mikrobrenner zum Beheizen des Emitters und die gesamte Systemtechnik.

Mittelfristig sind Leistungsdichten von 1 W/cm^2 und elektrische Systemwirkungsgrade von 10% erreichbar. Damit ist die TPV hervorragend für die Kogeneration von Wärme und Strom z. B. im Camping-Bereich, auf Freizeithütten oder Booten geeignet. Weitere Märkte ergeben sich bei der netzunabhängigen Hausheizung oder für die Standby-Versorgung von Fahrzeugen.

Abb. 5: Schema eines TPV-Reaktors mit Brenner, Emitter, Vakuumtechnik, TPV-Zellen und Kühlsystem. Die elektrische Leistung soll ca. 100 W bei einem elektrischen Wirkungsgrad von 10% betragen. Der Reaktor hat eine Höhe von 245 mm.



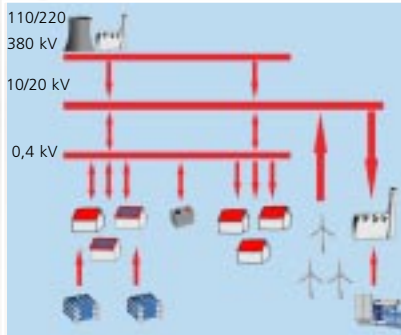
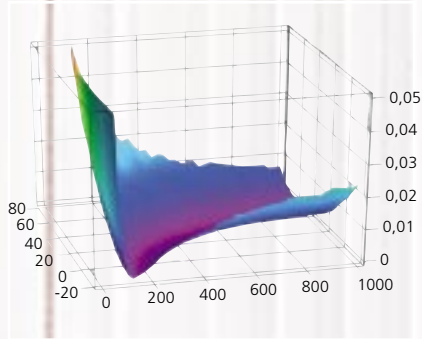
Abb. 3: Komplett integriertes Brennstoffzellen-System für einen handelsüblichen DV-Camcorder. Demonstrations-System der Fraunhofer-Initiative Mikrobrennstoffzelle unter Leitung des Fraunhofer ISE.



Abb. 4: 50 W Brennstoffzelle mit Regelungsplatte zur autarken Energieversorgung eines Laptops.



Regenerative Stromerzeugung im Netzverbund



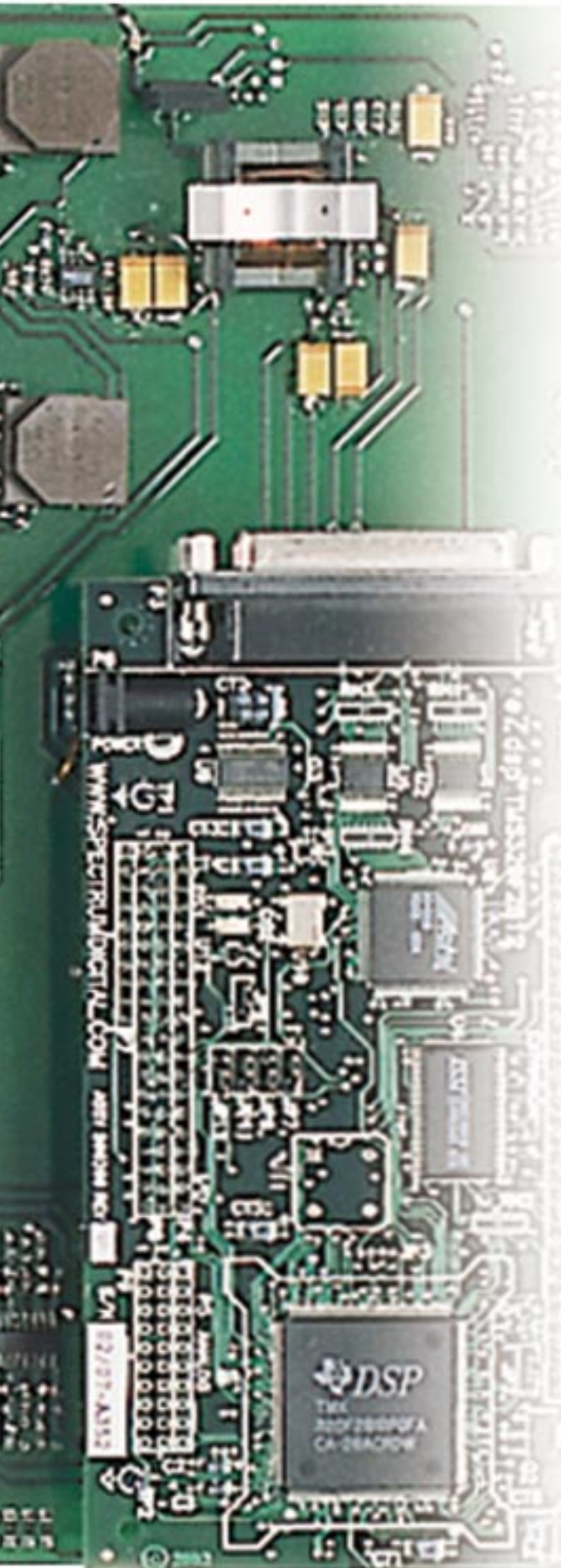


Netzgekoppelte Photovoltaik, Solare Kraftwerke und verteilte Stromerzeugung

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

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

Gerade große, kommerzielle PV-Anlagen stellen Planer und Betreiber vor Fragen der Qualitätssicherung: Welche Stromerträge sind zu erwarten, um die Anlage zu refinanzieren? Werden die Spezifikationen, beispielsweise bei den Solarmodulen, eingehalten? Wir beraten bei der Anlagenplanung, erstellen Ertragsgutachten, führen Abnahmemessungen durch und entwickeln Konzepte für die Anlagenüberwachung im Betrieb oder die Visualisierung von Betriebsdaten z. B. im Internet.





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

Auch optisch konzentrierende PV-Systeme könnten die Kosten von Solarstrom senken. So entwickeln wir ein preisgünstiges Verfahren zur Herstellung von Fresnellinsen in Konzentratormodulen und bauen komplette Module für den Feldeinsatz auf.

PV-Anlagen und andere dezentrale Stromerzeuger wie Blockheizkraftwerke interagieren mit den Stromnetzen, in die sie integriert werden. Wegen der Liberalisierung der Strommärkte und der Markteinführung klimaschonender Energietechnologien durchdringen solche Generatoren immer stärker die Niederspannungsnetze. Fragen der Betriebssicherheit, Versorgungssicherheit und Spannungsqualität werden zunehmend Gewicht erhalten. Daher beschäftigen sich Netzbetreiber schon heute mit diesen Fragen. Am Ende der Entwicklung wird sich die Struktur von Verteilnetzen stark geändert haben: Viele kleine Erzeuger und beeinflussbare Lasten interagieren und werden aktiv geregelt. Das führt zu völlig neuen Forderungen an Regelung, Betriebsführung, Kommunikation und Datenmanagement in Stromnetzen. Wir erarbeiten Konzepte, Elektronik, Planungs- und Managementwerkzeuge für diese Fragen der verteilten Erzeugung.

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

- Wechselrichterentwicklung
- Qualitätssicherung und Monitoring von Komponenten und Anlagen
- Untersuchung von Konzepten der verteilten Erzeugung
- Integration von Stromerzeugern und Speichern in Netze zur Optimierung von Lastflüssen und Verbesserung von Versorgungs- und Spannungsqualität
- Konzeption photovoltaischer und thermischer Kraftwerke.

Dabei greifen wir unter anderem auf folgende Ausstattung zurück:

- Wechselrichterlabor
- hochpräzise Leistungsmessgeräte für Wechselrichter und Laderegler
- Präzisionsmessgeräte zur Charakterisierung von induktiven und kapazitiven Bauelementen
- Messkabine für elektromagnetische Verträglichkeit (EMV)
- Burst- und Surge-Generatoren
- programmierbare Solarsimulatoren und elektronische Lasten
- Entwicklungsumgebungen für Mikrocontroller und Digitale Signalprozessoren (DSP)
- Kalibrierlabor für Solarmodule
- Freiland-Testfeld zur Erprobung von Solarkomponenten
- Prüfeinrichtungen für Batterien in weitem Strom-, Spannungs- und Temperaturbereich
- Labor zur Entwicklung von Lade- und Betriebsstrategien für Batterien
- parallele Linux-Farm für Optimierungsrechnungen komplexer Systeme der verteilten Erzeugung.

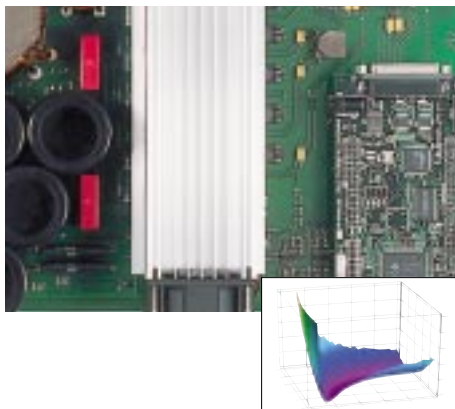


Ansprechpartner

Systemanalyse und -entwurf	Dr. Thomas Erge	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-53 37 E-Mail: Thomas.Erge@ise.fhg.de
Systemkomponenten: Elektronik	Dr. Bruno Burger	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-52 37 E-Mail: Bruno.Burger@ise.fhg.de
Systemkomponenten: Speicher	Dipl.-Phys. Dirk Uwe Sauer	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-52 19 E-Mail: Dirk-Uwe.Sauer@ise.fhg.de
Monitoring	Dipl.-Ing. Klaus Kiefer	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-52 18 E-Mail: Klaus.Kiefer@ise.fhg.de
Solare Kraftwerke	Dipl.-Phys. Hansjörg Lerchenmüller	Tel.: +49 (0) 7 61/40166-91 E-Mail: Hansjoerg.Lerchenmueller@ise.fhg.de

Übergreifende Koordination

Regenerative Stromerzeugung im Netzverbund	Dr. Tim Meyer	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-52 29 E-Mail: Tim.Meyer@ise.fhg.de
Solarzellen	Priv. Doz. Dr. Gerhard Willeke	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-52 66 E-Mail: Gerhard.Willeke@ise.fhg.de
Gebäude und technische Gebäudeausrüstung	Priv. Doz. Dr. Volker Wittwer	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-51 40 E-Mail: Volker.Wittwer@ise.fhg.de



Am Fraunhofer ISE entwickelte Plattform für Wechselrichter der nächsten Generation. Sie verwendet die HERIC®-Schaltungs-Topologie (Beitrag S. 65).

Simulation einer Solaranlage mit MPP-Regelung. Dargestellt sind die zusätzlichen Verluste eines statischen MPP-Reglers gegenüber einem dynamischen MPP-Regler (Beitrag S. 65).



Fresnel-Kollektorfeld für Solarthermische Kraftwerke, Computervisualisierung (Beitrag S. 67).



Dezentrale Struktur eines Stromnetzes der Zukunft (Beitrag S. 62).



Stromnetze mit hohem Anteil fluktuierender erneuerbarer Energien

Die Einbindung vieler Stromerzeuger in Niederspannungsnetze erfordert mittelfristig neue technische Konzepte und Optimierungswerkzeuge. In schwachen Netzen kann ein aufwändiger Netzausbau teilweise bereits heute durch die kostengünstigere Integration neuer Stromerzeuger oder -speicher vermieden werden. Wir entwickeln Konzepte und Werkzeuge für Monitoring, verbesserte Planung und Betriebsführung solcher Netze.

Thomas Erge, Martin Jantsch,
Hermann Laukamp, **Tim Meyer**,
Dirk Uwe Sauer, Heribert Schmidt

Die weltweite Liberalisierung von Energiemärkten und der gezielte Ausbau erneuerbarer Energien und der

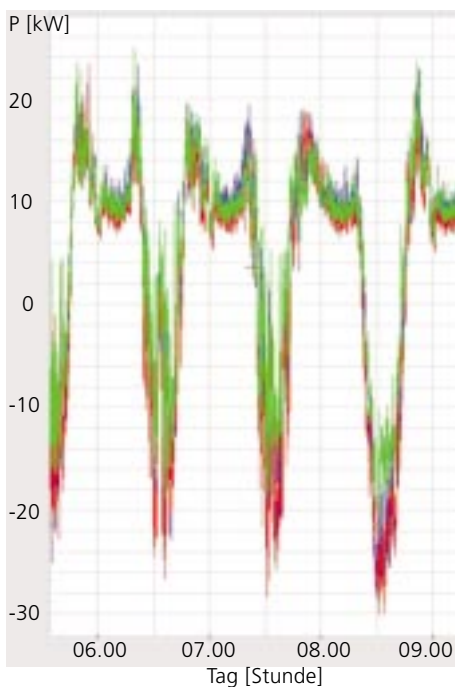


Abb. 1: Verlauf der Netzlast bzw. Rückspeisung in den drei Phasen des Drehstromnetzes (rot: Phase 1, blau: Phase 2, grün: Phase 3) am Transformator einer Solarsiedlung. Bestehende Netze sind oft für größere Rückspeisung nicht ausgelegt.

Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) führt bereits heute zu spürbaren Änderungen im Kraftwerkspark und bei den Netzstrukturen. Überkapazitäten werden abgebaut und Potenziale zur Kostenreduktion besser ausgeschöpft. Mit diesen Einsparungen entsteht allerdings die Gefahr, dass nicht mehr unmittelbar Sorge für eine hohe Versorgungsqualität beim Endkunden getragen wird. Gleichzeitig werden Eigenerzeugungsanlagen zunehmend wirtschaftlich.

Vor diesem Hintergrund erschließen sich den Unternehmen durch den geänderten rechtlichen Rahmen neue Märkte für Bau und Betrieb von kleineren, dezentralen Kraftwerken. Dabei gewinnt die Integration in Gebäude und Gebäudeleittechnik einerseits und in Stromnetze andererseits an Bedeutung. Parallel stellen vor allem große Windparks und Blockheizkraftwerke (BHKW) neue Forderungen an die Betriebsführung der Übertragungs- und Verteilungsnetze.

Bei unserer Entwicklung von Konzepten und Technologien zur Integration verteilter Erzeuger in Stromnetze knüpfen wir an Erkenntnisse aus dem Projekt Edison an. Dort wurde das Konzept der »verteilten Kraftwerke« mit einer Reihe von dezentralen BHKW und Batteriespeichern bis in den Leistungsbereich einiger 100 kW realisiert.

Jetzt gehen wir den nächsten Schritt. Wir konzentrieren uns dabei auf technologische und sozio-ökonomische Fragen der Integration verteilter Erzeuger und Speicher in Niederspannungsnetze sowie auf Optionen zur Beeinflussung verteilter Lasten. Strukturell haben Niederspannungsnetze viel mit Hybridsystemen für Dorfstromversorgungen oder kleinen Netzen gemein, so dass wir auf unserem

Know-how aus diesen Bereichen aufbauen können.

Wir entwickeln beispielsweise Monitoring-Konzepte für große Pilotinstallationen. Dabei werden Spannungen, Leistungsflüsse, Parameter zur Netzqualität wie Oberschwingungen, Flicker etc. erfasst und in einer Datenbank zusammen geführt. Die Kommunikations- und Datenstrukturen sind so angelegt, dass viele Komponenten und Messstellen erfasst werden können. Über Fernzugriffe können die Datenbankrechner gesteuert oder umkonfiguriert und die Daten abgerufen werden. In der wissenschaftlichen Auswertung untersuchen wir dann die Wechselwirkungen zwischen den verteilten Erzeugern und ihren Betriebsführungen mit dem Netz:

- Netzurückwirkungen großer Mengen verteilter Erzeuger
- mögliche Einwirkungen spezifischer Netzbetriebszustände auf die verteilten Erzeuger
- Identifikation von Betriebsparametern für aktives Netzmanagement
- Ermittlung und Bewertung der durch aktives Management erreichten Netzbeeinflussung.

Damit schaffen wir ein grundlegendes Verständnis für Vorgänge in Niederspannungsnetzen, die bis heute kaum systematisch untersucht wurden.

Bestehende Niederspannungsnetze, die an ihrer Auslegungsgrenze betrieben werden, können durch gezielte Integration von Photovoltaikanlagen, Blockheizkraftwerken oder Batteriespeichern ertüchtigt werden. Dies gilt besonders für schwache Netze oder Inselnetze in strukturschwachen Regionen, z. B. in Entwicklungs- und Schwellenländern.



Auf diese Weise lassen sich teilweise Ausbauinvestitionen in Betriebsmittel wie Kabel und Transformatoren verzögern oder ganz vermeiden. Um solche Entscheidungen in der Planungsphase unterstützen zu können, erweitern wir unser Auslegungswerkzeug TALCO (Technical and Least Cost Optimisation). TALCO bildet technische und ökonomische Parameter aller Komponenten ab, zum Beispiel Leistungen, Regeldynamiken, wärme-seitige Beschränkungen für KWK-Anlagen, Investitions- und Kapitalkosten, Betriebs- und Wartungsaufwand, Betriebsführungsstrategien. Wir optimieren Lebensdauerkosten, beziehen uns also auf große Zeiträume wie 20 Jahre.

Um den Betrieb von Niederspannungsnetzen oder Inselnetzen ökonomisch und energetisch zu optimieren, entwickeln wir ein Managementsystem. Es kommuniziert mit der übergeordneten Leitwarte, den verteilten Erzeugern und Speichern im Netz sowie mit eventuell vorhandenen beeinflussbaren Lasten. Es bekommt ständig Informationen über Preise und technische Beschränkungen. Dies kann zum Beispiel bei KWK-Anlagen der Ladezustand des Wärmespeichers sein, der den Betrieb der Anlage zeitlich begrenzt. Anhand solcher Informationen und integrierter Vorhersagemodelle über zu erwartende Lastgänge können dann Lasten und Erzeuger gezielt gesteuert werden.

Solche Eingriffe in den Betrieb von Eigenerzeugungsanlagen sind natürlich nur möglich, wenn die Betreiber des Managementsystems (z. B. der Netzbetreiber) und die Eigentümer der Anlagen entsprechende Verträge schließen oder wenn die Netzbetreiber verstärkt auf den Betrieb eigener verteilter Generatoren zurückgreifen. Entsprechend den rechtlichen

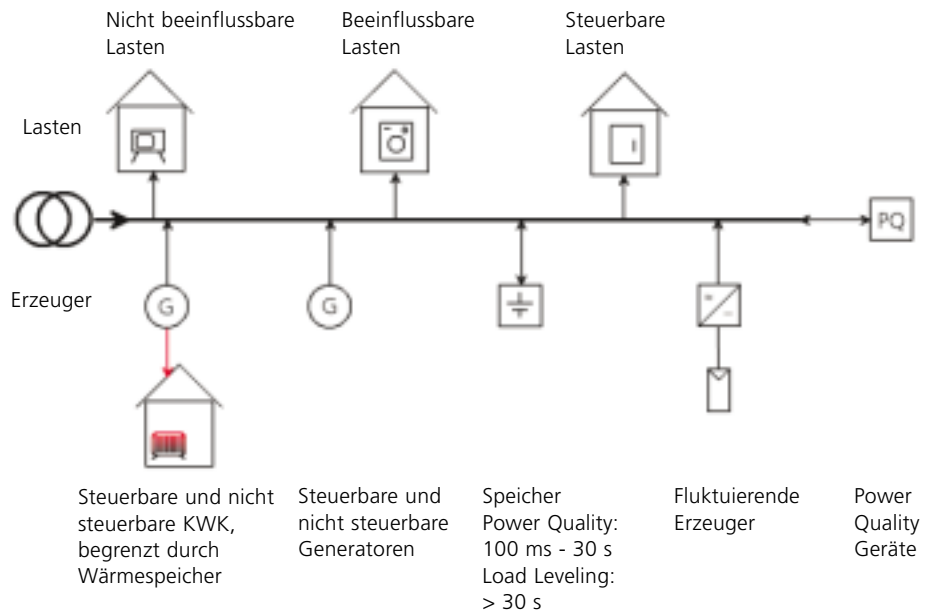


Abb. 2: Klassen verteilter Erzeuger, die beim aktiven Netzmanagement berücksichtigt werden müssen. Nicht beeinflussbare Lasten sind z. B. unterhaltungselektronische Geräte. Der Einschaltzeitpunkt von Waschmaschinen u.ä. kann z. B. durch variable Tarife beeinflusst werden. Steuerbare Lasten sind thermisch träge (z. B. Kühlschränke). Ihr Betrieb kann in gewissen Grenzen zeitlich verschoben werden. Power Quality-Geräte dienen zur gezielten Verbesserung der Spannungsqualität.

Rahmenbedingungen unterscheiden sich die Einsatzmöglichkeiten und Optimierungsziele je nach Land. Das Managementsystem wird in verschiedenen Pilotinstallationen eingesetzt werden. Die größte ist die Solar-siedlung in Querdeich, die derzeit von dem Energieversorgungsunternehmen MVV errichtet wird. In Querdeich werden viele Photovoltaikanlagen, ein BHKW und eventuell ein Batteriespeicher installiert. Ihr Betrieb soll bei höchster Versorgungsqualität technisch und ökonomisch optimiert werden.

Diese Arbeiten finden im Rahmen des europäischen Projektes »DISPOWER« statt (Distributed Generation With High Penetration of Renewable Energy Sources). Dort entwickeln wir gemeinsam mit 36 Partnern Konzepte und Technologien zur Integration verteilter Erzeuger in Stromnetze. Das Institut für Solare Energieversorgungstechnik (ISET) in Kassel und das Fraunhofer ISE koordinieren das Projekt.



Abb. 3: Plan der Solar-siedlung in Querdeich, in der im Rahmen von DISPOWER aktives Management des Niederspannungsnetzes betrieben wird.



Elektronikentwicklung

Leistungselektronische Schaltungen sind das entscheidende Bindeglied zwischen Stromerzeugern, Speichern und Verbrauchern. Im Auftrag der Industrie entwickeln wir kundenspezifische elektronische Schaltungen und Regelungen für Photovoltaik, Brennstoffzellen und Batterien.

Jochen Benz, Bruno Burger,
Jürgen Ketterer, Heribert Schmidt,
Christoph Siedle

Im Rahmen von Industrieprojekten entwickeln wir hocheffiziente DC/DC-Wandler und Wechselrichter im Leistungsbereich von einigen Milliwatt bis zu mehreren Kilowatt. Die Arbeitsgebiete reichen dabei vom Schaltungsentwurf über das Layout bis zur analogen oder digitalen Regelung. Bei der Simulation setzen wir die neuesten Programme und Methoden zur Schaltungs- und Reglersimulation ein. Zur Simulation induktiver Bauteile und des thermischen Verhaltens einzelner Baugruppen stehen Finite Elemente Programme zur Verfügung.

Wir entwickeln die Hardware nach den Vorgaben der Kunden: So sind bei geräteintegrierten Brennstoffzellen hohe Leistungsdichte oder angepasste Geometrien unsere Entwicklungsziele. Hoher Wirkungsgrad und geringe Kosten stehen dabei immer im Vordergrund. Unsere Softwareentwicklungen reichen von schnellen, stabilen Regelungen für Netz- und Inselwechselrichter über MPP-Regler bis hin zu Regelungen für spezielle Ein- und Ausgangscharakteristiken für stationäre Brennstoffzellen.

Wir entwickeln komplette Geräte oder auch nur Teilkomponenten wie Leistungsteile oder Reglerstrukturen einschließlich der Implementierung auf

DSPs und Mikrocontrollern. Auch im letzten Jahr haben wir viele solcher Entwicklungen für die Industrie durchgeführt, wie die folgenden Beispiele zeigen.

Wechselrichter

Photovoltaikmodule oder Brennstoffzellen liefern Gleichstrom, den gängige Stromverbraucher nicht direkt nutzen können. Wechselrichter wandeln diesen Gleichstrom in Wechselstrom um. Netzwechselrichter speisen den Strom dabei ins öffentliche Versorgungsnetz ein. Inselwechselrichter dienen zur autarken Versorgung von Verbrauchern ohne Netzanschluss.

Vorrangige Ziele bei der Entwicklung neuer Netzwechselrichter sind Kostenoptimierung, Gewichtsreduzierung und Wirkungsgradverbesserung.

Um diese Ziele zu erreichen, haben wir im vergangenen Jahr eine neuartige Wechselrichtertopologie entwickelt und zum Patent angemeldet. Im Markennamen HERIC® (Highly Efficient & Reliable Inverter Concept) spiegeln sich die ausgezeichneten Eigenschaften der neuartigen Topologie wider. Derzeit wird HERIC® in eine bestehende Wechselrichterbaureihe integriert. Messungen am Prototypen haben Wirkungsgrade von bis zu 98% ergeben.



Abb. 1: Am Fraunhofer ISE entwickelte Plattform für Wechselrichter der nächsten Generation. Sie verwendet die HERIC®-Topologie.

Brennstoffzellen in Netzen

Brennstoffzellen werden zunehmend in Netzen erprobt und eingesetzt. Sie können z. B. so gesteuert werden, dass sie dann Strom erzeugen, wenn der Eigenbedarf am größten ist. Die Eigenbedarfsspitzen werden so minimiert und der maximale Leistungsbedarf aus dem Netz verringert sich.

Wir entwickeln Steuerungen und Regelungen zur Integration von Brennstoffzellen in Netzen. Dabei dienen unsere hocheffizienten DC/DC-Wandler als Bindeglied zwischen den Brennstoffzellen und den Wechselrichtern zur Netzeinspeisung. Die entwickelten elektronischen Komponenten beinhalten dabei viele Funktionen wie:

- Ablaufsteuerung
- hocheffiziente DC/DC-Wandler
- hocheffiziente Wechselrichter
- Leistungsregelung
- Wasserstoff-Druckregelung
- Sauerstoff bzw. Lüfterregelung
- Impedanzregelung
- und Feuchteregelung.

Derzeit konzentrieren wir unsere Forschungsaktivitäten neben der Entwicklung neuer Wandler-schaltungen auf die Regelung des Feuchtehaushalts der Brennstoffzellen, die für einen stabilen Betrieb der Brennstoffzelle sehr wichtig ist (Beitrag S. 64).

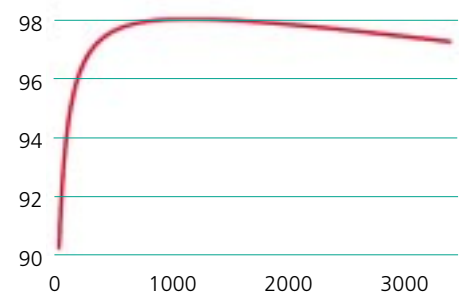


Abb. 2: Wirkungsgradkennlinie eines Wechselrichters mit der HERIC®-Topologie in %, aufgetragen über der Ausgangsleistung in W.



Batterieperipherie

Energiespeicher spielen eine wesentliche Rolle in Unterbrechungsfreien Stromversorgungen, stellen dort aber auch einen der Schwachpunkte dar. Zwei Dinge sind für eine hohe Lebensdauer wichtig: sorgfältige Auswahl der für die speziellen Anforderungen geeigneten Speichertechnologie und gute Betriebsführung. Um sicher zu stellen, dass alle Batteriezellen oder -blöcke einer Reihenschaltung innerhalb der zulässigen Grenzen betrieben werden, entwickeln wir automatisch wirkende Ausgleichsysteme. Diese CHarge EQUALIZER vermeiden das Überladen oder Tiefentladen einzelner Zellen. Sie werden in einer Reihe von Pilotanlagen getestet und haben sich bestens bewährt. Die Abbildung 3 zeigt den Einsatz in einer USV-Anlage der Stuttgarter Straßenbahn.

Für jede Anwendung (Photovoltaik- und USV-Anlagen, Elektrofahrzeuge, Netzstützung etc.) und jedes Speichersystem (Blei/Säure, Li-Ionen, Doppelschichtkondensatoren etc.) erarbeiten wir eine individuelle Lösung.



Abb. 3: Notstromversorgung an der Haltestelle Ruit der Stuttgarter Straßenbahn.

MPP-Regelung

Die Leistung eines Solargenerators ist abhängig von der Spannung, bei der er betrieben wird. Im sogenannten Maximum Power Point (MPP) ist die abgegebene Leistung maximal. Die zugehörige Spannung U_{MPP} ist aber nicht konstant, sondern abhängig von Einstrahlung, Temperatur und inneren Parametern der Solarzelle. Ein von uns entwickelter MPP-Regelalgorithmus findet den Punkt maximaler Leistung des Solargenerators ausschließlich mit Hilfe einfach messbarer Größen des Solargenerators wie Spannung und Strom. Dadurch eignet er sich für kristalline, amorphe und Dünnschicht-solarzellen. Der MPP-Regelalgorithmus wird in Netzwechselrichtern und Ladegeräten eingesetzt.

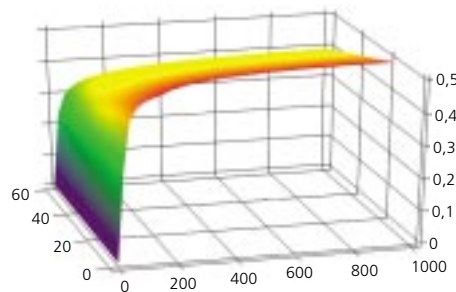


Abb. 4: Spannung einer kristallinen Si-Solarzelle im Punkt maximaler Leistung aufgetragen über der Einstrahlung und der Temperatur.

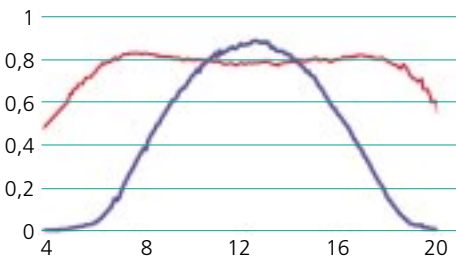


Abb. 5: Leistung eines Solargenerators (blau) und Verhältnis von MPP-Spannung zu Leerlaufspannung (rot) aufgetragen über der Uhrzeit an einem sonnigen Tag.

Modellbildung und Simulation

Um Regler für Wechselrichter oder DC/DC-Wandler optimal zu entwerfen, erstellen wir regelungstechnische Modelle der Leistungselektronik. Dabei wird die über Pulsweitenmodulation (PWM) getaktete Schaltung über »State Space Averaging« in ein lineares Modell überführt. Für dieses lineare Modell können dann Bode-Diagramme berechnet und die Regler dimensioniert werden. Bei der Simulation der Schaltungen wird durch den Einsatz des Modells die Rechenzeit deutlich verkürzt.

Wir entwickeln hauptsächlich Regelungen für getaktete Schaltungen. Schwerpunkte sind:

- Modellbildung
- Laplace-Transformation
- Z-Transformation
- Kaskadenregelung
- Zustandsregelung
- analoge Regler und
- digitale Regler auf Mikrocontrollern und DSPs.

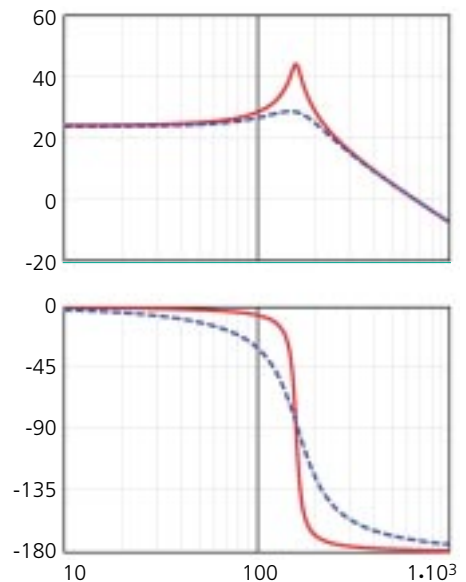


Abb. 6: Betragskennlinien in dB und Phasenkennlinien in Grad über der Frequenz in Hz für einen leistungselektronischen Wandler im Leerlauf (rot) und mit Last (blau).



Regenerative
Stromerzeugung
im Netzverbund

Malaysia: Netzgekoppelte Photovoltaik in Südostasien

Bei der Mehrzahl der bisher in Malaysia installierten PV-Anlagen handelt es sich um Inselsysteme. Gemeinsam mit lokalen Partnern erproben und demonstrieren wir an einem Musterhaus verschiedene Komponenten und Systemkonzepte für netzgekoppelte dachintegrierte Photovoltaik-Anlagen an typischen Wohnhäusern.

Thomas Erge, Klaus Kiefer, Frank Neuberger, Eberhard Rössler*

* freier Mitarbeiter



Abb. 1: Blick auf das »Prototyp Solarhaus«. Auf dem oberen Dach befinden sich die Standard-Silicium-Module, auf dem mittleren Dach die Si-Dünnschichtmodule und auf dem unteren Dach die Dachziegel mit polykristallinen Zellen.



Abb. 2: Blick in den Technikraum mit Schaltschränken und Wechselrichtern. In den Schaltschränken befinden sich neben einem Teil der Wechselrichter auch die Datenlogger und alle Energiezähler.

Photovoltaik kann einen wichtigen Beitrag zum Energiemix des südostasiatischen Landes Malaysia liefern. Bei den Inselsystemen wurden bereits umfangreiche Anstrengungen in dieser Richtung unternommen, während netzgekoppelte Anlagen erst in den letzten Jahren vereinzelt zu Testzwecken errichtet wurden. Für einen Durchbruch netzgekoppelter PV in Malaysia müssen nicht nur die ökonomischen Randbedingungen geschaffen, sondern auch eine Fülle technischer Fragen gelöst werden.

In enger Kooperation mit der Firma NLCC Architects Malaysia haben wir ein »Prototyp Solarhaus« (Abbildungen 1, 2) entwickelt und gebaut. Es demonstriert verschiedene Technologien zur Integration netzgekoppelter

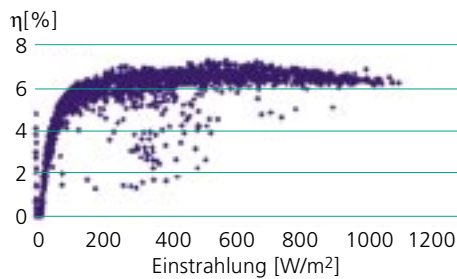


Abb. 3: Abhängigkeit des Generatorwirkungsgrades von der Einstrahlung für die Teilanlage mit PV-Dachziegeln. Die Punkte niedrigen Wirkungsgrades zwischen 200 und 400 W/m² deuten auf Teilverschattung hin.

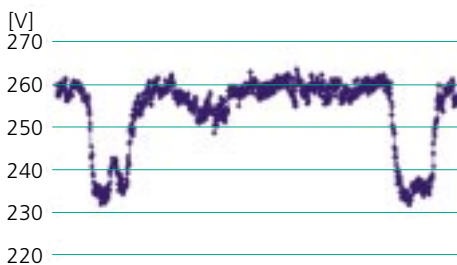


Abb. 4: Schwankungen der Netzwechselspannung am Einspeisepunkt bedingt durch Laständerungen im betroffenen Niederspannungs-Netzsegment. Dargestellt ist ein Zeitraum von 4 Tagen (Freitag bis Montag).

Photovoltaik-Anlagen in typische Wohngebäude. Durch den Einsatz unterschiedlichster Komponenten und Systemkonzepte an einem Standort kann man die Anlagen unmittelbar technisch vergleichen. Gleichzeitig zeigen wir mit dem Solarhaus, wie technische Anforderungen der Photovoltaik mit architektonischen Gesichtspunkten vereint werden können. Die rund 4 kWp Gesamtleistung haben wir mit monokristallinen Silicium-Standard-Modulen, Dünnschicht-Modulen und PV-Dachziegeln realisiert.

Außerdem wurde ein PV-Teststand errichtet, der die flexible Montage und Demontage von Modulen ermöglicht. Er ist für Tests und zur Ausbildung gedacht. Die verschiedenen Anlagen speisen über Wechselrichter in das Hausnetz bzw. das lokale Niederspannungsnetz ein.

Alle Teilanlagen und wichtigen Umgebungsgrößen erfassen wir in einem umfangreichen Messprogramm (Beispiel in Abbildung 3). Damit überwachen und bewerten wir den laufenden Betrieb, um belastbare Aussagen zu optimalen Systemkonzepten für netzgekoppelte Photovoltaik in Malaysia zu gewinnen. Gleichzeitig studieren wir Aspekte der Anbindung und der gegenseitigen Beeinflussung von Stromnetz und PV-Anlage (Abbildung 4).

Erste Auswertungen zeigen, dass die Anlagen zuverlässig und mit gutem Wirkungsgrad arbeiten. Durch unerwartet hohe Schwankungen in der lokalen Netzspannung (Abbildung 4) schaltet jedoch in einem Anlagenteil der Wechselrichter zeitweise ab.

Das »Ministry of Science, Technology and the Environment of Malaysia« finanzierte das Projekt.



Solarthermische Stromerzeugung

Solarthermische Kraftwerke können zukünftig einen wichtigen Beitrag zur Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien leisten. Wir ermöglichen über Materialentwicklung und Regelungsoptimierung eine Senkung der Stromgestehungskosten und führen Systemsimulationen zu Solarkraftwerken durch.

Wolfgang Graf, Andreas Häberle*,
Michael Köhl,
Hansjörg Lerchenmüller,
Max Mertins, Christof Wittwer

Solarthermische Kraftwerke erzeugen elektrische Energie indirekt über die Umwandlung von Solarstrahlung in Wärme: Direkte Solarstrahlung wird optisch auf einen Absorber konzentriert. Dabei entstehen hohe Temperaturen, bei denen Wasser verdampft wird. Der Dampf erzeugt in klassischen Dampfturbinen elektrische Energie.

Heute schon produzieren in Kalifornien neun Parabolrinnenkraftwerke mit einer installierten Gesamtleistung von 354 MW_p erfolgreich kostengünstigen Solarstrom im Kraftwerksmaßstab. Durch eine Gesetzesinitiative in Spanien, nach der solarthermisch erzeugter Strom mit rund 0,16 €/kWh vergütet wird, erlebt die solarthermische Stromerzeugung zur Zeit neuen Auftrieb. Zahlreiche Kraftwerksprojekte sind in Spanien, aber auch in anderen sonnenreichen Ländern, in Planung. Bei projektierten Stromgestehungskosten, die je nach Standort unter Einsatz heutiger Technik bei 0,10 bis 0,16 €/kWh liegen, besteht ein großes Potenzial für die kosteneffiziente CO₂-Einsparung im großen Maßstab. Die Stromgestehungskosten lassen sich voraussichtlich durch Effizienzsteigerungen und

durch Reduzierung der Investitionskosten noch deutlich weiter senken. Hierzu arbeiten wir an einer Vielzahl von Themen, wobei wir auf langjährige Erfahrung in Optik, Materialforschung, Wärmeflussberechnung sowie Systemsimulation und -regelung zurück greifen können.

So spielt beispielsweise die Beständigkeit von selektiven Solarabsorberschichten eine zentrale Rolle. Eine Degradation der mit hohen Temperaturen belasteten Schichten würde zu hohen Instandhaltungskosten bzw. verringertem solaren Energieertrag führen. Wir bieten Untersuchungen zur Alterungsbeständigkeit und zur Prognose der Lebensdauer von selektiven Absorberbeschichtungen an und unterstützen industrielle Kunden bei der Entwicklung selektiver Absorberschichten.

Eine andere Schlüsselkomponente konzentrierender Solarkraftwerke sind die Spiegel. Hohe solare Reflektion, gute Beständigkeit und geringe Kosten sind entscheidende Kriterien. Auch für Solarspiegel bieten wir Alterungsprüfung und die Entwicklung neuer Konzepte für hochreflektierende Spiegel an.

Optische Fresnel-Kollektoren, bei denen horizontal angeordnete Spiegelfacetten der Sonne nach-

geführt werden, stellen eine interessante Alternative zur Parabolrinne dar. Der einfache Aufbau des Fresnel-Kollektors, die Verwendung kostengünstiger Materialien und die Möglichkeit, den Raum unter dem Kollektor zu nutzen, bieten ein interessantes Potenzial für weitere Kostensenkungen.

Die von uns entwickelte Simulationsumgebung ColSim erlaubt zeitlich hoch aufgelöste Systemsimulationen zur Berechnung von Solarfelderträgen für vorgegebene Einstrahlungsdaten. Damit können wir Systemkonzepte insgesamt optimieren. Die Ergebnisse fließen in innovative Regelungskonzepte ein, die z.B. mit »verteilter Intelligenz« in Embedded Systems realisiert werden können. Das Ziel ist eine Optimierung des Zusammenspiels aller Regelgrößen und damit eine Maximierung des solaren Ertrags.

Gefördert durch das Bundesumweltministerium, erarbeiten wir gemeinsam mit der E.ON Energie AG und dem Deutschen Zentrum für Luft und Raumfahrt (DLR) Kraftwerksstudien, in denen die verschiedenen Möglichkeiten der Einkopplung von solarem Dampf in die konventionelle Kraftwerkstechnologie systematisch untersucht und vergleichbar gemacht werden.

* PSE GmbH Forschung Entwicklung Marketing, Freiburg

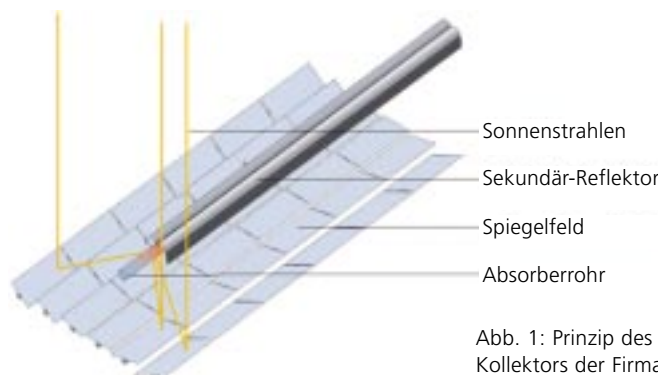


Abb. 1: Prinzip des horizontalen Fresnel-Kollektors der Firma SOLARMUNDO.



Regenerative
Stromerzeugung
im Netzverbund

Photovoltaik – Sicherheitsaspekte

Mit der wachsenden Verbreitung von Photovoltaik-Anlagen entstehen für die Netzbetreiber auch neue Fragen rund um Qualität und Sicherheit. Wir haben mit Simulationsrechnungen, Feldexperimenten und Laboren die Werkzeuge, um darauf Antworten zu finden. So haben wir eine Methodik entwickelt, um das Risiko von »Selbstlauf« (islanding) bei netzgekoppelten PV-Anlagen zu untersuchen.

Thomas Erge, Hermann Laukamp,
Edo Wiemken

»Selbstlauf« von Teilnetzen

Unter »Selbstlauf« (oder islanding) versteht man das unkontrollierte Bestehen einer Spannung im untergeordneten Netz, obwohl das übergeordnete Netz ausgefallen ist. Der »Selbstlauf« wird durch lokale Netzeinspeisung verursacht.

Für Wechselrichterhersteller ist »Selbstlauf« ein akutes Problem: Je nach Einsatzland müssen die Geräte unterschiedliche Sicherheitseinrichtungen aufweisen.

Last-/Erzeugungsbedingungen, bei denen ungewollter »Selbstlauf« auftreten könnte, sind extrem unwahrscheinlich. Messungen holländischer Wissenschaftler im Ortsnetz der Stadt Arnhem (Niederlande) zeigten, dass der höchste Wert für diese Wahrscheinlichkeit bei etwa 10^{-4} liegt. Dabei wurde eine Durchdringung mit 1 kWp PV pro Haushalt unterstellt. Wir entwickelten daraufhin eine Methodik, um das Risiko für Selbstlauf aus Messdaten einfach zu berechnen (Abbildung 1).

Das Risiko eines tödlichen Stromunfalls durch »Selbstlauf« liegt unter

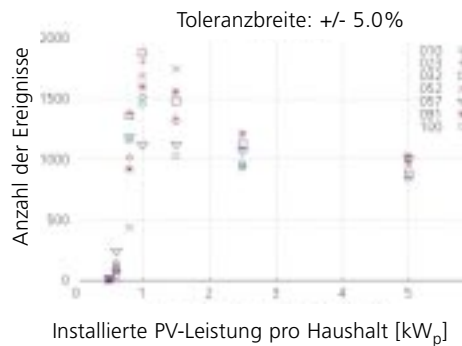


Abb. 1: Mit Daten aus dem »1000-Dächer Programm« untersuchten wir, wie häufig im Verlauf eines Jahres Stromverbrauch und erzeugte PV-Leistung einer Solarsiedlung gleich groß sind (in der Abbildung »Ereignis« genannt). Diese Untersuchung wurde für sieben Standorte und jeweils sechs verschiedene PV-Anlagengrößen pro Haus durchgeführt. Unterhalb einer Schwelle von etwa $500 W_p$ pro Haushalt ist die Last immer größer als die Erzeugung. Oberhalb von $1 kW_p$ pro Haushalt nimmt die Häufigkeit ab, dass Last und Erzeugung gleich groß sind.

10^{-10} . Das ist um Größenordnungen geringer als akzeptierte zivilisatorische Risiken wie Autofahren.

Damit »Selbstlauf« überhaupt auftreten kann, muss eine mittlere Anschlussdichte von etwa $400 W_p$ pro Haushalt erreicht werden. Derzeit beträgt die Anschlussdichte in Deutschland rund $6 W_p$ /Haushalt.

Die Arbeiten erfolgten im Rahmen des Forschungsprogramms »Photovoltaik Power Systems« (PVPS) der Internationalen Energieagentur (IEA), Task 5: »Netzkopplung vieler verteilter Eigenerzeugungsanlagen« (www.iea-pvps.org).

In Task 5 behandelten Experten aus zwölf Ländern unter anderem Anschluss- und Errichtungsbestimmungen, Risiko von »Selbstlauf« (islanding) und Auswirkungen hoher Dichte von dezentralen PV Anlagen auf den Netzbetrieb.



Abb. 2: In der »Solarsiedlung Schlierberg« speisen ca. 130 Wechselrichter den Strom von etwa 330 kWp Photovoltaik in das Niederspannungsnetz ein. (Foto: Andreas Weindel)

Mit diesem Know-how können wir Netz- und Anlagenbetreiber umfassend zu allen Fragen der Netzeinbindung von Photovoltaik beraten. Durch unsere internationalen Kontakte spielen Ländergrenzen dabei keine Rolle.

So können wir Wechselrichterhersteller unterstützen, die ihre Produkte für den Export an die neuesten Vorschriften anpassen wollen und zum Beispiel folgende Fragen haben:

- In welchen Grenzen bewegt sich die Netzspannung regulär?
- In welcher Zeit muss ein Wechselrichter abschalten, wenn die Netzspannung das zulässige Fenster verlässt?
- Welche Maßnahmen sind als Schutz vor »Selbstlauf« vorgeschrieben?
- Gibt es spezielle Anforderungen für Wechselrichter ohne Transformator?
- Welchen Spielraum für die Interpretation bestimmter Anforderungen gibt es?

Mehrere Wechselrichterhersteller haben bereits unser Beratungsangebot für ihre Neuentwicklungen in Anspruch genommen.



Satellitendaten für Qualitätssicherung und Betriebsführung

Wettersatelliten ermöglichen auch die flächendeckende und kostengünstige Bestimmung der solaren Einstrahlung am Boden. Wir nutzen diese Daten zur Ertragsabschätzung, zur Funktionskontrolle und demnächst auch zur Betriebsführung von Solaranlagen.

Christian Reise, Edo Wiemken

Aus den Bilddaten des geostationären METEOSAT-Satelliten lassen sich Karten der solaren Einstrahlung in hoher zeitlicher und räumlicher Auflösung erzeugen. Langjährige historische Datensätze werden bereits zur Potenzialabschätzung für Solarsysteme genutzt, zeitnah verfügbare aktuelle Daten erlauben die kostengünstige Funktionsüberwachung von verteilten Solarsystemen.

Ein Beispiel für die operationelle Nutzung am Fraunhofer ISE:

Qualitätssicherung für kleine Solarstromanlagen
Netzgekoppelte Solarstromanlagen leisten in immer mehr Wohngebäuden einen Beitrag zur Energieversorgung. Bei der aktuellen Einspeisevergütung lohnt sich eine laufende Qualitäts- und Ertragskontrolle sowohl in energetischer als auch in finanzieller Hinsicht. Im Auftrag von Shell Solar führen wir seit Mitte 2001 die satellitengestützte Ertragskontrolle SAT WATCH für alle neu installierten Shell-Solarstromanlagen durch. Shell Solar übermittelt nach der Installation die technischen Daten jeder Anlage an das Fraunhofer ISE. Aus den

METEOSAT-Bildern ermitteln wir (in Kooperation mit der Universität Oldenburg) die individuellen Werte der solaren Einstrahlung für jeden Anlagenstandort. Damit können wir den Soll-Ertrag errechnen und per E-Mail, Fax oder Postkarte direkt an die Anlagenbetreiber übermitteln. Diese können den Soll-Ertrag mit dem Stand ihres Einspeisezählers vergleichen. Bei größeren Abweichungen steht dann der lokale Shell-Installateur als Ansprechpartner zur Verfügung.

Die laufende Erweiterung des Verfahrens sieht zusätzlich den Einsatz einer preisgünstigen Vor-Ort-Datenerfassung vor, die über das Internet mit dem Auswerte-Server in Kontakt steht. Damit wird die Anlagenüberwachung weiter automatisiert. Das Verfahren lässt sich auch auf andere erneuerbare Energieträger erweitern und kann so die sichere Einbindung erneuerbarer Energieträger in bestehende Versorgungsnetze unterstützen.

Ausblick: Energie-Wetter-Prognosen

Geplant ist die Ausdehnung der Satellitendaten-Auswertung auf die Vorhersage der Einstrahlung (neben anderen energetisch relevanten Größen) für Zeiträume bis zu zwei Tagen. Für diese »Energie-Wetter-Prognosen« ergeben sich vielfältige Nutzungsmöglichkeiten, z. B. im Gebäudebereich. Hier erfordern Gebäudekonzepte mit großer thermischer Trägheit und kleinen spezifischen Heiz- und Kühlleistungen eine vorausschauende Regelung. Zur Integration der Wetterinformation in die Gebäudeleittechnik werden Kooperationen mit Herstellern von Gebäuderegelungstechnik angestrebt.



Abb. 1: METEOSAT 7 ist der zur Zeit aktive geostationäre europäische Wettersatellit. Aus seinen Bilddaten werden Karten der solaren Einstrahlung erzeugt, die in Mitteleuropa eine Auflösung von etwa 5 x 5 km² aufweisen.

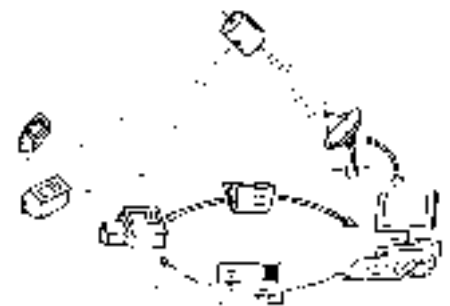
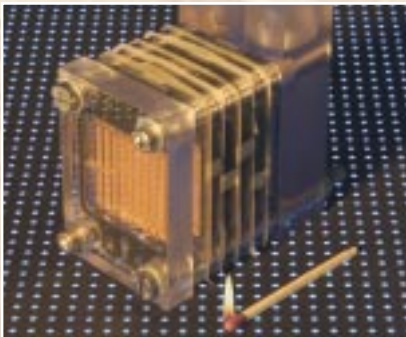
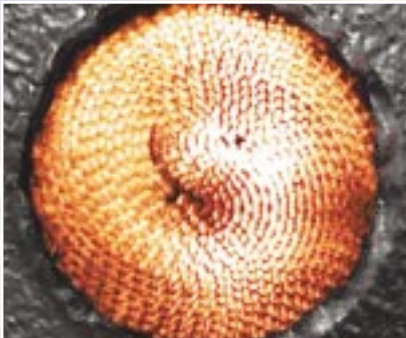
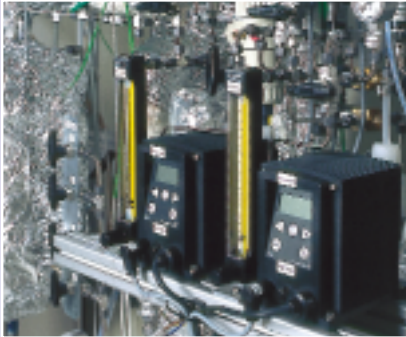
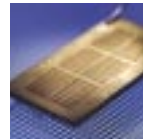


Abb. 2: Funktionsprinzip von SAT WATCH: Die Stammdaten jeder gemeldeten Anlage werden einmalig erfasst. Aus dem laufenden Empfang von Satellitenbildern und den individuellen Anlagedaten werden monatlich Sollerträge berechnet und an die Anlagenbetreiber versandt.

Wasserstofftechnologie





Wasserstoff – Energieträger der Zukunft

Wasserstoff setzt bei der Reaktion mit Sauerstoff nutzbare Energie frei. So wandeln Brennstoffzellen Wasserstoff in Strom und Wärme um. Da Wasserstoff in der Natur nicht in Reinform vorliegt, muss er aus seinen chemischen Verbindungen gewonnen werden. Das geschieht unter Einsatz von Energie, – im Idealfall erneuerbarer Energie – z.B. durch Elektrolyseverfahren mit regenerativ erzeugtem Strom oder durch Reformierung von biogenen und fossilen Brennstoffen.

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

Das Anwendungspotenzial von Wasserstoff ist gewaltig: In der Hausenergieversorgung können Brennstoffzellen Wärme und Strom mit bis zu 80% Gesamtwirkungsgrad erzeugen. Der notwendige Wasserstoff wird dabei z. B. im Haus durch Reformierung von Erdgas produziert. Im Verbund von Tausenden solcher Brennstoffzellen-Blockheizkraftwerke entsteht so ein »verteiltes Kraftwerk«. Mobile Anwendungen von Brennstoffzellen dienen zusammen mit Elektromotoren als schadstofffreie Antriebsaggregate für Automobile, LKWs und Busse. Ergänzend sorgen Brennstoffzellen in Auxiliary Power Units (APU) für die Bordnetz-Stromversorgung. Schließlich eignen sich Mikrobrennstoffzellen-Systeme wegen der hohen Energiedichte der Brennstoffspeicher hervorragend als Ergänzung oder Alternative zu Batterien und Akkus in Elektrogeräten.



Im Geschäftsfeld Wasserstofftechnologie erforschen wir innovative Technologien zur Gewinnung und Verstromung von Wasserstoff. Zusammen mit unseren Partnern aus Industrie und Wissenschaft entwickeln wir Komponenten und komplette Wasserstoffanlagen für eine kostengünstige und umweltfreundliche Energiewirtschaft.

Wir stellen Reformer zur Umwandlung flüssiger oder gasförmiger Brennstoffe her. Für die Wasserstoffgewinnung aus Wasser realisieren wir Elektrolyseure bis 2 kW. Außerdem forschen wir an der katalytischen Umsetzung von Wasserstoff zur Wärmeabgewinnung. Als effiziente, umweltfreundliche, geräusch- und wartungsarme Energiewandler im niedrigen Leistungsbereich setzen wir auf die Membranbrennstoffzelle. Schließlich entwickeln wir Mikrobrennstoffzellen für die Stromversorgung portabler Elektrogeräte. Sie ergänzen unsere Aktivitäten zu geräteintegrierten Solarmodulen und thermophotovoltaischen Systemen.

Neben der Komponenten- und Anlagenentwicklung arbeiten wir an der Integration in übergeordnete Systeme. Wir konzipieren und realisieren die elektrische Auslegung inklusive Spannungsaufbereitung und Sicherheitstechnik. Damit schaffen wir die Grundlagen für eine marktfähige Wasserstoffwirtschaft mit Wasserstoff-Tankstellen, Brennstoffzellen-Blockheizkraftwerken zur kombinierten Strom- und Wärmeabgewinnung, autonomen Stromversorgungen für netzferne Anwendungen und Kleinstsystemen zur portablen Energieversorgung.

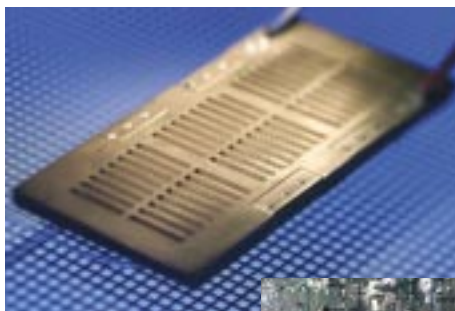


Ansprechpartner

Reformierung	Dr. Thomas Aicher	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-51 94 E-Mail: Thomas.Aicher@ise.fhg.de
	Dr. Peter Hübner	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-52 10 E-Mail: Peter.Huebner@ise.fhg.de
Elektrolyse	Dipl.-Ing. Ursula Wittstadt	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-52 04 E-Mail: Ursula.Wittstadt@ise.fhg.de
Mikroenergie-technik	Dr. Christopher Hebling	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-51 95 E-Mail: Christopher.Hebling@ise.fhg.de
Membranbrennstoffzellen	Dipl.-Ing. Mario Zedda	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-52 07 E-Mail: Mario.Zedda@ise.fhg.de
Integration von Brennstoffzellen in autonome Stromversorgungen	Dipl.-Phys. Dirk Uwe Sauer	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-52 19 E-Mail: Dirk-Uwe.Sauer@ise.fhg.de
Leistungs- und Regelungs- elektronik für Brennstoffzellen	Dr. Bruno Burger	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-52 37 E-Mail: Bruno.Burger@ise.fhg.de
Regelungsstrategien von Brennstoffzellen-Blockheiz- kraftwerken in Gebäuden	Dr. Christof Wittwer	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-51 15 E-Mail: Christof.Wittwer@ise.fhg.de
Marketing	Dipl.-Ing. Ulf Groos	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-52 02 E-Mail: Ulf.Groos@ise.fhg.de

Übergreifende Koordination

Wasserstofftechnologie	Dr. Christopher Hebling	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-51 95 E-Mail: Christopher.Hebling@ise.fhg.de
Netzunabhängige Stromversorgungen und Integration von BHKW in Stromnetze	Dr. Tim Meyer	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-52 29 E-Mail: Tim.Meyer@ise.fhg.de
Gebäude und technische Gebäudeausrüstung	Priv. Doz. Dr. Volker Wittwer	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-51 40 E-Mail: Volker.Wittwer@ise.fhg.de



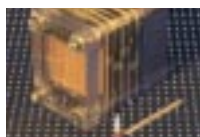
Planare, serienverschaltete Brennstoffzelle in Leiterplattenbauweise (Beitrag S. 78).



Teststand für einen Kerosinreformer, Detail (Beitrag S. 75).



Katalysatorwabe für die Gasprozesstechnik, vergrößert (Beitrag S. 76).



Miniaturelektrolyseur für gaschrome Scheiben.



Brennstoffzellen im Reformatgas-Betrieb – Optimierung von Betriebsführung und Komponenten

Wasserstoffreiches Reformatgas wird mittelfristig zur Versorgung von Polymermembran (PEM)-Brennstoffzellen in der dezentralen Energieversorgung dienen. Wir untersuchen, wie sich die Zusammensetzung des Reformatgases auf PEM-Brennstoffzellen auswirkt und optimieren deren Komponenten und Betriebsweise.

Peter Gesikiewicz, Tom Smolinka,
Ursula Wittstadt, Mario Zedda

Bei der Reformierung von Kohlenwasserstoffen mit integrierter Gasreinigung entsteht ein wasserstoffreiches Gas mit unterschiedlichen Anteilen an Kohlendioxid und Kohlenmonoxid, sowie – je nach Verfahren der Reformierung – Stickstoff. Gegenüber dem Einsatz von reinem Wasserstoff bedeutet der Einsatz dieses Reformatgases zur Versorgung von PEM-Brennstoffzellen erhebliche Leistungseinbußen im Betrieb. Während Stickstoff als Inertgas einen rein verdünnenden Effekt auf der Anodenseite hat, wirken bereits kleinste Mengen an Kohlenmonoxid als Katalysatorgift. Der Einfluss von Kohlendioxid ist umstritten. Es wird vermutet, dass sich aus CO_2 über die inverse Shift-Reaktion ebenfalls CO in der Zelle bildet.

Um den Aufwand der Gasreinigung gering zu halten und trotzdem eine möglichst hohe Leistungsausbeute aus der Zelle zu erzielen, untersuchen wir systematisch den Einfluss einzelner Bestandteile des Reformatgases auf die Brennstoffzelle. Dazu haben wir einen Teststand für Laborzellen und Brennstoffzellen-Stapel bis zu $250 \text{ W}_{\text{el}}$ aufgebaut. Er kann synthetisches Reformatgas beliebiger Zusammen-

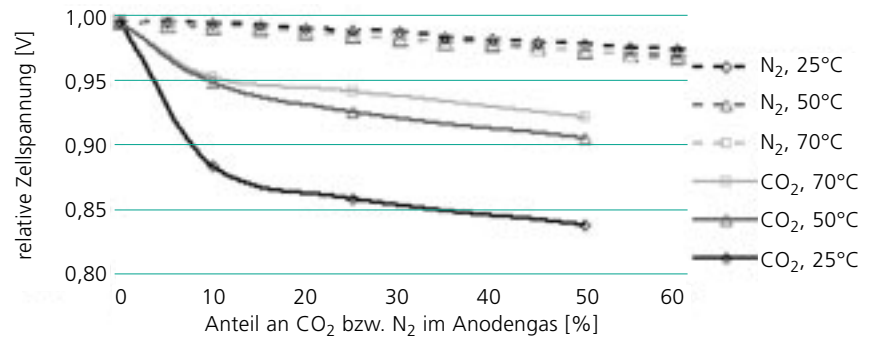


Abb. 1: Einfluss von CO_2 und N_2 auf die Zellspannung einer PEM-Brennstoffzelle (bezogen auf U_0 im Betrieb mit reinem H_2), bei einer Stromdichte von 400 mA/cm^2 und Temperaturen von 25, 50 und $70 \text{ }^\circ\text{C}$.

setzung und definierter Feuchte auch bei hohen Temperaturen (bis $130 \text{ }^\circ\text{C}$) als Brenngas bereitstellen. Zur Charakterisierung der Zellen können neben den Parametern wie Spannung und Temperatur auch Impedanzspektren in verschiedenen Betriebspunkten aufgenommen werden.

Abbildung 1 stellt exemplarisch die Abnahme der Zelleistung bei verschiedenen Temperaturen dar. Durch Zumischung von Stickstoff auf der Anodenseite sinkt bei einer konstanten Stromdichte die Zellspannung von ursprünglich 100% im reinen Wasserstoffbetrieb auf Werte um 97%. Die Beimischung von Kohlendioxid bedingt eine deutlich größere Verschlechterung. Die Spannung sinkt auf Werte bis zu 85%.

Die so gewonnenen Erkenntnisse nutzen wir, um verbesserte Komponenten für die Brennstoffzelle zu entwickeln oder ihre Betriebsweise zu optimieren. Unsere Kunden unterstützen wir außerdem bei der optimalen Abstimmung und Auswahl kommerziell erhältlicher Membran-Elektroden-Einheiten und Gasdiffusionsschichten (Screening). Ebenso sind wir bei der Charakterisierung neuer Membranmaterialien auf Polyarylenbasis für den Einsatz bei hohen Temperaturen beteiligt.

Besonders intensiv widmen wir uns der Weiterentwicklung von Flowfield-Strukturen und der Abdichtung von Brennstoffzellen-Stapeln. Abbildung 2 zeigt die Detailansicht einer Bipolarplatte für einen Reformatgas tauglichen Stapel mit einer aktiven Fläche von 100 cm^2 .

Die Arbeiten werden im Rahmen eines gemeinsamen Projektes mit dem Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoffforschung (ZSW) in Ulm durchgeführt und vom Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg unterstützt.

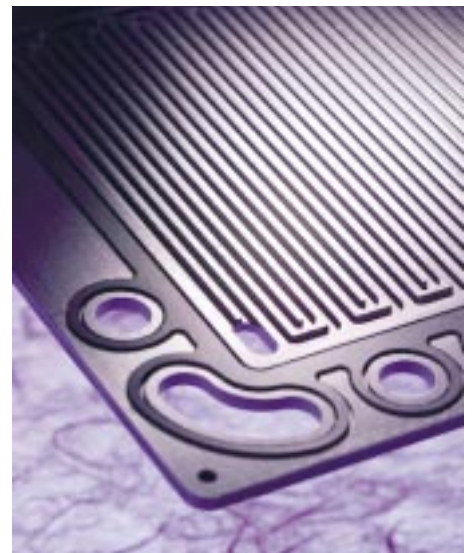


Abb. 2: Detailansicht einer Bipolarplatte.



Reformer gehen in die Luft – Effiziente Stromversorgung in Flugzeugen

In zukünftigen Großraumpassagierflugzeugen soll der Energiebedarf für Nebenaggregate trotz steigender Ansprüche an den Flugkomfort gesenkt werden. Hierfür entwickeln wir einen kompakten Kerosinreformer, der in Verbindung mit einer Feststoffoxidbrennstoffzelle (SOFC) Strom und Wärme effizient liefert.

Peter Hübner, Bettina Lenz

Nebenaggregate in Großraumpassagierflugzeugen, mit denen die Bordenergieversorgung gewährleistet wird, arbeiten im Allgemeinen mit sehr schlechtem Wirkungsgrad, d.h. unter 10%. Sollen Verbesserungen erzielt werden, sind zum Teil völlig neue Konzepte zu erproben. Ziel des Gesamtprojektes »Power Optimised Aircraft (POA)« ist die Energieeinsparung bei zukünftigen Großraumpassagierflugzeugen. Besonders der nicht für den Vortrieb benötigte Energieverbrauch soll verringert werden, und zwar um bis zu 25%. Dieses Ziel soll durch Gewichtseinsparung und eine intelligente Kopplung verbesserter Einzelkomponenten erreicht werden. Zusammen mit unseren Projektpartnern optimieren wir die Einzelkomponenten und deren Kopplung zunächst mit Hilfe einer dynamischen Simulation aller Komponenten.

Als einen Baustein für die zukünftige Energieversorgung von Nebenaggregaten eines Flugzeuges entwickeln wir einen Kerosinreformer. Der Reformer bereitet den Brennstoff für eine Hochtemperaturbrennstoffzelle auf, die 50 kW elektrische Leistung liefert. Ihre Abwärme kann z. B. zur Enteisung der Tragflügel genutzt werden.

Die Reformierung von Kerosin stellt eine besondere Herausforderung dar, da Kerosin nach Norm sehr viel Schwefel enthalten darf (z. B. Jet fuel A-1 nach ASTM D1655 maximal 0,3 Gew.-%). Der Schwefelanteil kann in unterschiedlichen Verbindungen vorkommen, z. B. als Thiole, Sulfid- oder Thiophenverbindungen. Da Schwefel als Katalysatorgift für die Brennstoffzelle wirkt und auch die Umsetzung des Kerosins bei der Reformierung beeinträchtigt, entwickeln wir für den Kerosinreformer eine kompakte Entschwefelungseinheit. In unserem Teststand (Abbildung 1) wird Kerosin autotherm zur Versorgung einer 5 kW-Brennstoffzelle reformiert.

Versuche zur autothermen Reformierung von einzelnen Komponenten, die in Kerosin enthalten sind, zeigen, dass die Umsetzung etwa 80% Wirkungsgrad erreicht, Tabelle 1. In Verbindung mit einer Hochtemperaturbrennstoffzelle lässt sich elektrische Energie mit etwa 40% Wirkungsgrad erzeugen.

Die Arbeiten werden im Rahmen des EU-Projektes »Power Optimised Aircraft (POA)« gefördert.



Abb. 1: Teststand für den POA-Kerosinreformer. Im Bildausschnitt: Eduktdosierung und Reaktor.

Stoff	Wirkungsgrad [%]	
	experimentell	berechnet
C ₇ H ₈ (Toluol)	83	88
C ₈ H ₁₆	79	91
C ₁₃ H ₂₆	76	90

Tab. 1: Reformierwirkungsgrad der autothermen Reformierung ausgewählter Komponenten von Kerosin.



Auswahl von Katalysatoren für die Gasprozesstechnik

Zum Betreiben von Brennstoffzellen wird Wasserstoff benötigt. Er wird derzeit am wirtschaftlichsten aus kohlenstoffhaltigen Energieträgern durch Reformierung hergestellt. Je nach Brennstoffzelle muss das wasserstoffreiche Gas danach noch gereinigt werden. Dies sind die zentralen Aufgaben der Gasprozesstechnik. Wir untersuchen, welche Katalysatoren dafür am besten geeignet sind.

Peter Hübner, Alexander Susdorf, Alexander Di Bella, Britta Hund, Thomas Rampe

Eine effiziente und wirtschaftliche Wasserstoffbereitstellung für Brennstoffzellen hat entscheidenden Einfluss auf die weitere Entwicklung der Brennstoffzellentechnik. Durch unsere Katalysator-Untersuchungen (screening) sorgen wir dafür, dass Wasserstofferzeugung und Gasreinigung möglichst einfach und effizient sind.

Damit wir den für unsere Kunden optimalen Katalysator finden, müssen unsere Messungen nicht nur hochgenau, sondern auch flexibel in den Parametervariationen sein. Hierfür haben wir mehrere Teststände aufgebaut, von denen einer auf dem Photo in Abbildung 4 zu sehen ist. Mit diesem Teststand können wir jede Einzelreaktion der Gasprozesstechnik untersuchen, da er über eine entsprechende Ausstattung (Gasflussregler, verschiedenartige Reaktoren zum Auswechseln) verfügt. Die Zusammensetzung von Produkt- und Eduktgasen messen wir mit Hilfe eines Gaschromatographen (rechts im Bild zu sehen).

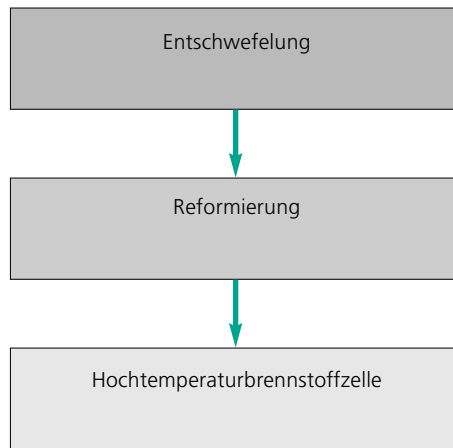


Abb. 1: Wasserstofferzeugung für Hochtemperatur-Brennstoffzellen, MCFC und SOFC.

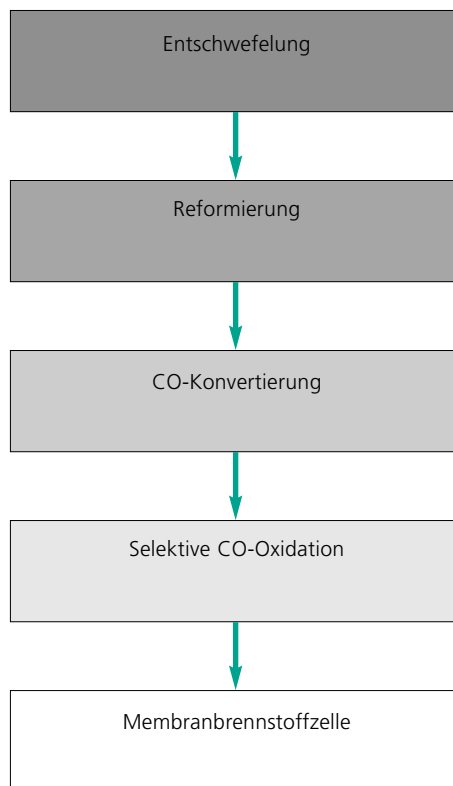


Abb. 2: Wasserstofferzeugung für Membranbrennstoffzellen, PEMFC.

Die Wahl der katalytischen Schritte bei der Herstellung von Wasserstoff aus kohlenstoffhaltigen Energieträgern wird auf der einen Seite vom Brennstoff und auf der anderen Seite von der Art der Brennstoffzelle bestimmt. Die Schritte zur Wasserstofferzeugung sind in Abbildung 1 für Hochtemperaturbrennstoffzellen auf Schmelzkarbonat- (MCFC) bzw. Feststoffoxidbasis (SOFC) und in Abbildung 2 für Membranbrennstoffzellen (PEMFC) dargestellt.

Je nach Brennstoff muss zunächst eine mehr oder weniger aufwändige Reinigung erfolgen. Im allgemeinen ist eine katalytische Stufe zur Entschwefelung ausreichend.

Bei gasförmigen Brennstoffen (z. B. Erdgas oder Campinggas) kann die Entschwefelung in der Gasphase erfolgen, meist wird Aktivkohle verwendet. Sie benötigt keine Wasserstoffrückführung und entfernt die wichtigsten Schwefelverbindungen (u.a. Schwefelwasserstoff) bei Raumtemperatur.

Die Entschwefelung von flüssigen Kohlenwasserstoffen (Benzin, Kerosin, Diesel) ist schwieriger. Entweder muss der Kraftstoff zunächst verdampft werden, so dass die Entschwefelung wiederum in der Gasphase erfolgen kann, oder es müssen Spezialadsorbentien eingesetzt werden. Am Fraunhofer ISE untersuchen wir beide Verfahren, u.a. im Rahmen des Projektes Power Optimised Aircraft (Beitrag Seite 75).

Für die Reformierung kommen grundsätzlich verschiedene Verfahren wie Dampfreformierung, partielle Oxidation oder autotherme Reformierung in Frage. Diese Verfahren, die groß-



technisch schon seit langem ausgereift sind, übertragen wir auf kleine, kompakte Einheiten zur Wasserstoffherzeugung für Brennstoffzellen von 1 kW bis 100 kW.

Die Auswahl von Katalysatoren (Katalysator-Screening) und weiterführende Untersuchungen zur Reaktionskinetik als Basis für eine Reaktorauslegung, führen wir an Labortestständen durch. Im Kundenauftrag untersuchen wir sowohl Katalysatoren als Schüttung (in Pulver- bzw. Pelletform) als auch Katalysatoren, die bereits auf Träger (Wabenstrukturen) aufgebracht sind, Abbildung 3.

Wird das wasserstoffreiche Gasgemisch für Membranbrennstoffzellen verwendet, so muss nach der Reformierung der Kohlenmonoxidanteil entfernt werden (Abbildung 2), da CO ein Katalysatorgift für die Elektroden der Brennstoffzelle darstellt. Der größte Anteil wird in einer CO-Konvertierungsstufe in Wasserstoff und CO₂ umgewandelt. Nach dieser Reaktionsstufe beträgt der CO-Anteil typischerweise 0,1 Vol-% bis 0,5 Vol-% im Reformat.

Das Verfahren kann sowohl ein- als auch zweistufig realisiert werden. Beim zweistufigen Verfahren wird ausgenutzt, dass bei der Hochtemperaturstufe (ca. 320 °C bis 400 °C) die Reaktionsgeschwindigkeit so hoch ist, dass eine kompakte Reaktorausführung möglich ist. Allerdings ist das thermodynamische Gleichgewicht der Konvertierungsreaktion erst bei der Niedertemperaturstufe (180 °C bis 240 °C) soweit auf Seite der Produkte verschoben, dass ein CO-Anteil von 0,1 Vol-% erreicht werden kann. Neuere Entwicklungen sehen nur eine einstufige CO-Konvertierungsstufe vor,

die bei mittleren Temperaturen (250 °C) arbeitet. Dabei beträgt der CO-Gehalt dann etwa 0,5 Vol-%, was einen Kompromiss zwischen Prozessvereinfachung und Verfahrenseffizienz darstellt.

In einer CO-Feinreinigungsstufe wird das restliche CO auf 10 ppm bis 100 ppm vermindert. Dafür gibt es verschiedene Verfahren, unter anderem Druckwechseladsorption, Metallmembranverfahren, selektive Methanisierung oder selektive (präferentielle) CO-Oxidation. Letztere favorisieren wir am Fraunhofer ISE. Sie oxidiert unter Sauerstoff- oder Luftzufuhr mit Hilfe eines Katalysators das Kohlenmonoxid selektiv zu CO₂. Soweit wie möglich soll der Wasserstoffgehalt des Reformats erhalten bleiben.

Die Vorteile der selektiven CO-Oxidation im Vergleich zur Druckwechseladsorption sind ein geringerer Platzbedarf und der Umstand, dass sich die selektive CO-Oxidation praktisch drucklos betreiben lässt. Im Vergleich zur selektiven Methanisierung erfordert die selektive Oxidation zwar zusätzlichen Regelungsaufwand für die Luftzugabe. Die Maßnahmen zur Betriebssicherheit sind jedoch bei der selektiven Methanisierung aufwändiger.

Nachdem wir zusammen mit unseren Industriepartnern effiziente Katalysatoren auf Edelmetallbasis für die einzelnen Reaktionsschritte entwickelt und ihre Funktionalität nachgewiesen haben, zielen weitere Untersuchungen darauf ab, die Kosten der Katalysatoren durch geringeren Edelmetallgehalt oder durch günstigere Materialien zu senken.

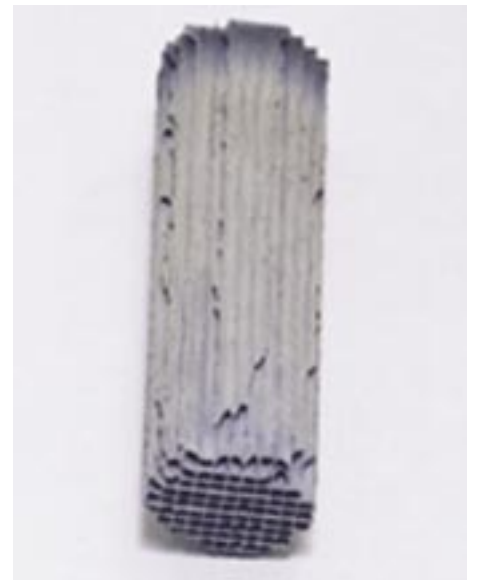


Abb. 3: Keramische Katalysatorwabe für Screening-Untersuchungen zur Reformierung von flüssigen Kohlenwasserstoffen.



Abb. 4: Teststand zur Charakterisierung von Katalysatoren zur Gasprozesstechnik. Mit dem rechts im Bild sichtbaren Gaschromatographen können wir die Zusammensetzung von Produkt- und Eduktgasen messen.



Flache Mikrobrennstoffzelle

Flache Brennstoffzellen lassen sich besonders gut in Gerätegehäuse integrieren. Außerdem können sie in Leiterplattenbauweise und bei entsprechender Massenproduktion kostengünstig gefertigt werden. Wir entwickeln in der Arbeitsgruppe Mikroenergie-technik eine solche planare Brennstoffzelle, deren Gehäuse aus Leiterplatten besteht. Sie soll über eine offene Kathode passiv mit Luft versorgt werden.

Christopher Hebling,
Andreas Schmitz, Marco Tranitz

Miniaturisierte Brennstoffzellen für den kleinen Leistungsbereich ermöglichen eine neue leistungsfähigere Generation von mobilen Anwendungen wie Notebooks und Handys. Energieträger ist Wasserstoff (PEMFC mit Metallhydridspeicher) oder Methanol (DMFC). Die äquivalenten Energiedichten sind deutlich höher als bei herkömmlichen Akkumulatoren. Besonders interessant sind miniaturisierte Brennstoffzellen für Anwendungen, bei denen die Energiedichte von Akkumulatoren bisher unzureichend ist. Wir entwickeln dafür zuverlässige und kostengünstige miniaturisierte Brennstoffzellensysteme.

Neben der üblichen Stapelbauweise (Stack-Design) widmen wir uns besonders den miniaturisierten Brennstoff-

zellen in flacher Bauweise. Diese Technik eignet sich hervorragend für die Integration in das Außengehäuse eines Gerätes und lässt dem Kunden einen großen Design-Spielraum für sein Produkt. Da die Brennstoffzelle gleichzeitig als Gehäusewand fungieren kann, wird das benötigte Volumen optimal genutzt. Denkbar ist z. B. die Integration einer planaren Brennstoffzelle in die Rückseite eines Notebook-Bildschirms oder eines Organizers.

Unsere planare Brennstoffzelle wird eine offene Luftseite (Kathode) haben. Damit kann sie völlig passiv mit Sauerstoff aus der Luft versorgt werden, ohne aktive Komponenten wie Lüfter oder Pumpen.

Die planaren Brennstoffzellen werden in Leiterplattenbauweise aufgebaut. Der besondere Reiz daran ist, dass die Leiterplattentechnologie ein bewährtes Massenproduktionsverfahren ist. Damit ist eine kostengünstige Produktion miniaturisierter Brennstoffzellen in hoher Stückzahl möglich.

Für die Stromversorgung von Geräten werden mehrere Brennstoffzellen in Serie geschaltet. Dafür ist die Leiterplattenbauweise mit Durchkontaktierungen in Multi-Layer-Technik ideal. Außerdem kann man auf der Leiterplatte der Brennstoffzelle auch noch die Elektronik zur Steuerung der Brennstoffzelle und eines elektrischen Verbrauchers unterbringen.

Als ersten Prototypen haben wir eine Serienschaltung von drei einzelnen Brennstoffzellen realisiert. Im Betrieb mit Wasserstoff hat er bei Umgebungsbedingungen 1,2 W Leistung. In Messungen mit mehr als 1 500 Betriebsstunden demonstrierten wir, dass auch mit offener Luftseite ein stabiler Langzeitbetrieb gewährleistet ist.

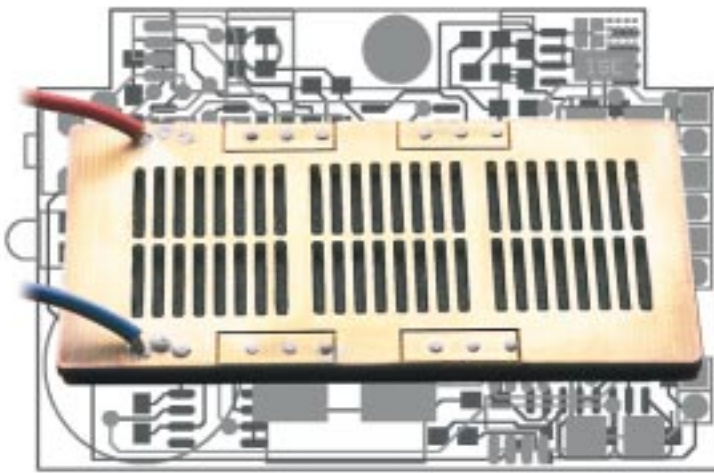


Abb. 1: Planare, serienschaltete Brennstoffzelle in Leiterplattenbauweise. Die Abmessungen betragen 40 x 75 mm². Die Dicke der Zelle beträgt lediglich 3 mm.

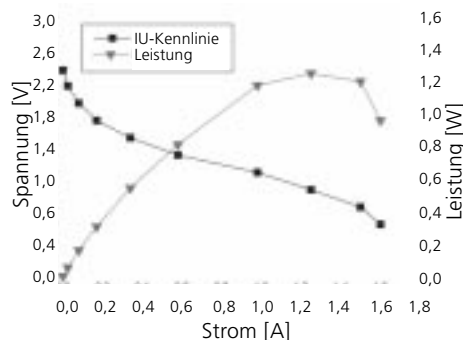


Abb. 2: Elektrische Kennlinien der planaren, serienschalteten Brennstoffzelle in Leiterplattenbauweise (Fläche 40 x 75 mm²).



Regelung und Simulation von Brennstoffzellen

Wir entwickeln Regelungskonzepte, unter anderem für portable Brennstoffzellensysteme und liefern unseren Kunden komplette Hardware-Regelungen. Außerdem unterstützen wir die Optimierung der Zellen durch ortsaufgelöste numerische Simulationen.

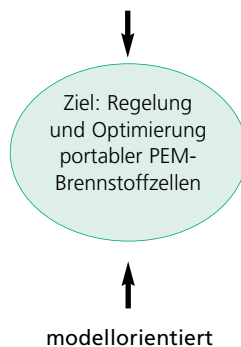
Bruno Burger, Peter Gemmar*, Alexander Hakenjos, Christopher Hebling, Karsten Kühn, Mario Ohlberger**, Andreas Schmitz, Jürgen Schumacher, Mario Zedda

Die Regelung portabler Brennstoffzellen soll auch nach einem Lastwechsel des Verbrauchers einen stabilen Betrieb gewährleisten. Dazu gehört das thermische und das Wassermanagement. Wir entwickeln die Regelungskonzepte an Prototypen bis zur Marktreife.

Wir haben den dynamischen Betrieb des Brennstoffzellen-Stacks der »Fraunhofer-Initiative Mikrobrennstoffzelle« detailliert untersucht. Aus den Messdaten wurden Kennfelder des Brennstoffzellenstapels generiert. Mit Fuzzy-Logik haben wir daraus empirische Modelle für den Wasserhaushalt erstellt und bewertet. Damit wurde ein Fuzzy-Regler entworfen und im dynamischen Betrieb erfolgreich erprobt. Es konnte das zuverlässige Einregeln des Stacks nach einem Lastwechsel des Verbrauchers demonstriert werden.

Zur Verlustanalyse und zur Optimierung von Niedertemperatur-Brennstoffzellen für den portablen Einsatz entwickeln wir detaillierte Brennstoffzellenmodelle (Abbildung 1). Sie

Vorgehensweise empirisch



Themengebiet

- Systemregelung
- Einfaches Verständnis des Wasser- und Wärmehaushalts
- Identifikation von Materialparametern
- Flow-Field-Design, Charakterisierung von Diffusionsschichten
- Zelloptimierung, Verständnis der Systemdynamik

Methodik

- Fuzzy-Logik
- Algebraische Modelle
- Impedanzspektroskopie
- Kommerzielle CFD-Software
- Stationäre Modellierung
- Zeitabhängige Modellierung des Stoff-, Wärme- und Ladungs- transports

Abb. 1: Zur Regelung portabler PEM-Brennstoffzellen werden empirische Modelle eingesetzt. Zur Optimierung der Zellen wird an detaillierten Modellen gearbeitet, die den Stoff- und Ladungs-transport ort- und zeitaufgelöst berechnen.

berechnen den Stoff-, Wärme- und Ladungstransport durch Finite-Elemente-Verfahren ortsaufgelöst. Abbildung 2 zeigt das Schema einer portablen PEM-Brennstoffzelle in flacher Bauweise. Der Wasserstoff wird unter Druck durch die Diffusionsschicht auf der linken Seite gepresst. Die Luft diffundiert an die offen liegende Diffusionsschicht der Kathodenseite (rechts in Abbildung 2). Ein Ergebnis der zeitunabhängigen numerischen Simulation für diese Geometrie ist in Abbildung 3 dargestellt. Man erkennt die Verteilung des Sauerstoffs in den Diffusionsschichten der Kathode bei zwei verschiedenen Zellspannungen.

Zur Zeit arbeiten wir an einem dynamischen Brennstoffzellenmodell, um die Verteilung des Wassers in der Zelle in gasförmiger und flüssiger Form zu berechnen. Damit wollen wir den Einfluss der Konstruktion des Brennstoffzellenstapels auf dessen Dynamik im Betrieb verstehen und die Regelalgorithmen weiter entwickeln. Die Modelle werden am Fraunhofer ISE durch Messungen validiert und zur Optimierung unserer Zellen eingesetzt.

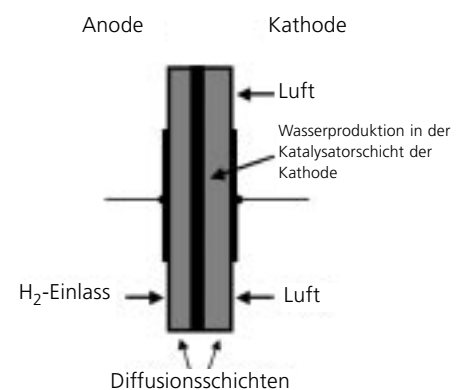


Abb. 2: Schema einer portablen PEM-Brennstoffzelle in flacher Bauweise.

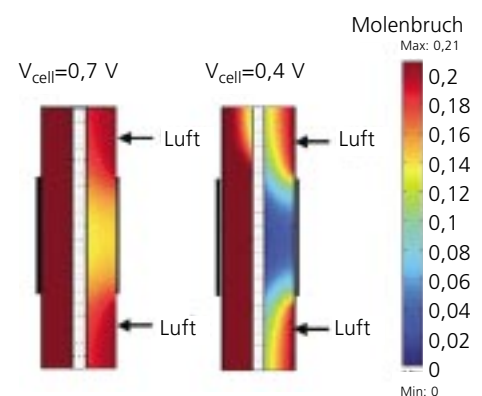
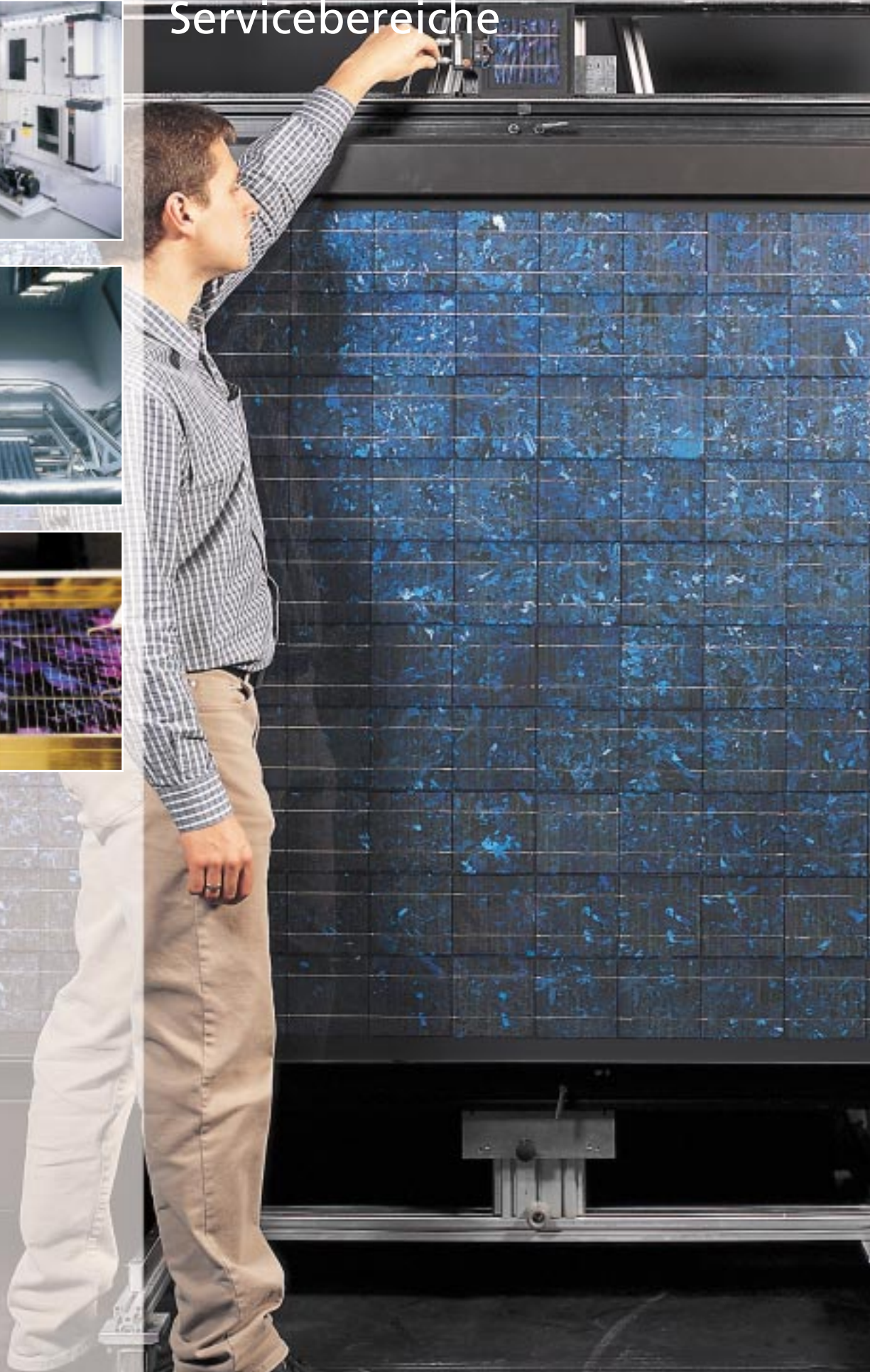


Abb. 3: Verteilung des Sauerstoff-Molenbruchs auf der Kathodenseite einer flachen PEM-Brennstoffzelle bei verschiedenen Zellspannungen.

* Institut für Innovative Informatik-Anwendungen, Fachhochschule Trier

** Institut für Angewandte Mathematik, Freiburg

Servicebereiche





Qualität setzt sich durch – wir helfen dabei

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

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

Zu unserer Servicepalette gehören ein Kalibrierlabor für Solarzellen und -module, ein thermisch-optisches Prüflabor, ein Lichtmesslabor, Tageslichtmessräume, ein Fassadenprüfstand, ein Teststand für solare, sorptionsgestützte Klimatisierung, ein Prüfzentrum für thermische Solaranlagen, ein Batterieprüflabor und eine Wechselrichtercharakterisierung.



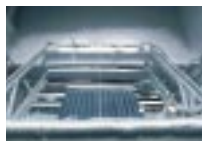
Servicebereiche



Präzisionsvermessung eines 3 m² großen Solarmoduls
(Servicebereiche S. 84).



Teststand für Solare Sorptionsgestützte
Klimatisierungsanlagen
(Servicebereiche S. 86).



Innen-Teststand für Kollektoren (Solarsimulator),
(Servicebereiche S. 85)



Präzisionsvermessung einer Solarzelle
(Servicebereiche S. 84).



Ansprechpartner

ISE CalLab

Zellkalibrierung	Dr. Wilhelm Warta	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-51 92
	Dipl.-Ing. Britta Hund	E-Mail: Wilhelm.Warta@ise.fhg.de Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-51 46 E-Mail: Britta.Hund@ise.fhg.de
Modulkalibrierung	Dipl.-Ing. Klaus Kiefer	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-52 18
	Dipl.-Ing. Frank Neuberger	E-Mail: Klaus.Kiefer@ise.fhg.de Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-52 80 E-Mail: Frank.Neuberger@ise.fhg.de

Prüfzentrum für Thermische Solaranlagen (PZTS)

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

Solare Klimatisierung

Teststand für Solare Sorptionsgestützte Klimatisierungsanlagen (SSGKTEST)	Dipl.-Ing. Carsten Hindenburg	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-53 53 E-Mail: Carsten.Hindenburg@ise.fhg.de
---	-------------------------------	---

Vermessung von Fassaden und transparenten Bauteilen

Thermisch Optisches Prüflabor (TOPLAB)	Dipl.-Ing. Tilmann Kuhn	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-52 97 E-Mail: Tilmann.Kuhn@ise.fhg.de
Tageslichtmessräume	Dipl.-Ing. Jan Wienold	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-51 33 E-Mail: Jan.Wienold@ise.fhg.de
Fassadenprüfstand (FASTEST)	Dr. Werner Platzer	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-51 31 E-Mail: Werner.Platzer@ise.fhg.de

Gebäudekonzepte und Simulation

Lichtplanung und -beratung	Dipl.-Phys. Christian Reise	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-52 82
	Dipl.-Ing. Jan Wienold	E-Mail: Christian.Reise@ise.fhg.de Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-51 33 E-Mail: Jan.Wienold@ise.fhg.de
Luftwechselfmessungen mit Tracergas	Dipl.-Ing. Sebastian Herkel	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-51 17 E-Mail: Sebastian.Herkel@ise.fhg.de
Prüfstand für Lüftungs-Kompaktgeräte	Dr. Andreas Bühring	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-52 88 E-Mail: Andreas.Buehring@ise.fhg.de

Photovoltaik-Systemkomponenten

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

Qualifizieren und Optimieren von DC-Komponenten für PV-Systeme

DC-Prüf- und Entwicklungslabor	Dipl.-Ing. Norbert Pfanner	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-52 24 E-Mail: Norbert.Pfanner@ise.fhg.de
Licht-Messlabor	Dipl.-Ing. Norbert Pfanner	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-52 24 E-Mail: Norbert.Pfanner@ise.fhg.de
Batterie-Prüflabor	Dipl.-Phys. Dirk Uwe Sauer	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-52 19 E-Mail: Dirk-Uwe.Sauer@ise.fhg.de



ISE Callab: Kalibrieren von Solarzellen und Modulen

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

Britta Hund, Klaus Kiefer,
Frank Neuberger, Wilhelm Warta,
Jürgen Weber

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

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

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

Zellkalibrierung – Referenz für Industrie und Forschung

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

- Kalibrierung von Standardsolarzellen
- Kalibrierung von Konzentratorzellen sowie von Tandemzellen
- Kalibrierung von Referenzzellen
- Messung der spektralen Empfindlichkeit
- Bestimmung der Temperaturabhängigkeit des Stroms
- Bestimmung des Jahreswirkungsgrads von Solarzellen.

Modulkalibrierung – eine effiziente Methode zur Qualitätssicherung

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

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

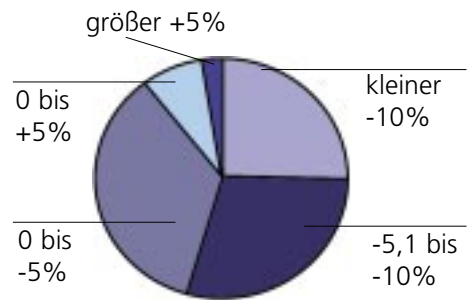


Abb. 1: Von 100 vermessenen Modulen liegen 55 außerhalb der heute üblichen Herstellertoleranzen von +/- 5%.

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

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

Internet

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



Prüfzentrum für Thermische Solaranlagen (PZTS)

Wir betreiben einen Freilandteststand für thermische Sonnenkollektoren und sind eine durch DIN CERTCO anerkannte Prüfstelle. Wir zertifizieren Sonnenkollektoren und unterstützen unsere Kunden bei der Entwicklung von solarthermischen Anlagenkomponenten. Seit einem Jahr führen wir auch Messungen an einem Innen-Teststand (Solarsimulator) durch.

Carsten Hindenburg, Volker Kallwellis, Joachim Koschikowski, Flaviu Marton, Matthias Rommel, Arim Schäfer, Vitali Schmidt, Yan Schmitt, Thorsten Siems

Zertifizierung von Sonnenkollektoren

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

- Kollektorprüfung nach DIN EN 12975 Teil 1 und 2 (neue europäische Kollektornorm)
- alle relevanten Funktionsprüfungen
- Bestimmung der Wärmeleistung
- Berechnung des Jahresenergieertrags
- direkte Messung des Einstrahlwinkel-Korrekturfaktors (IAM) mit einem Tracker.

Kollektor- und Systementwicklung

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

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

Innen-Teststand für Kollektoren (Solarsimulator)

Seit einem Jahr betreiben wir einen Solarsimulator-Teststand. Wir haben ihn so konstruiert, dass er den Freilandbedingungen so nah wie möglich kommt. Sein großer Vorteil – speziell für die Entwicklung von Kollektoren – ist die hohe Wiederholgenauigkeit der Messbedingungen.

Die wichtigsten technischen Daten:

- Größe der Prüffläche $2,4 \times 2 \text{ m}^2$; andere Geometrien der Prüffläche sind möglich (maximal $3,5 \times 3 \text{ m}^2$)
- Bestrahlungsintensität 1200 W/m^2 ohne künstlichen Himmel, 1000 W/m^2 mit künstlichem Himmel
- Homogenität dabei $\pm 10\%$
- Neigungswinkel des Lampenfeldes 0° bis 90°
- Strahldivergenz so gering, dass wir den Einstrahlwinkelkorrekturfaktor IAM auch für Kollektorkonstruktionen mit Reflektoren bestimmen können.

Die Konstruktion des Teststandes eröffnet folgende Möglichkeiten:

- Messung der Wirkungsgradkennlinie von Kollektoren
- Bestimmung des Winkelkorrekturfaktors IAM von Kollektoren
- Vermessung von Fassadenelementen
- Durchführung von thermischen Innenschocktests
- Bestimmung der Kollektorkapazität aus Einstrahlungs-Sprungantwort-Messungen
- gezielte Entwicklungsarbeiten zur Verbesserung von Kollektorkonstruktionen.

Solarluftkollektor-Teststand

Seit letztem Sommer betreiben wir einen Teststand für Solarluftkollektoren. Er ist in den Innen-Teststand Solarsimulator integriert. Daher können wir wetterunabhängig kurze Messzeiten garantieren. Die Solarluftkollektoren werden in Anlehnung an DIN EN 12975 geprüft. Es können Luftvolumenströme von $50 \text{ m}^3/\text{h}$ bis $1000 \text{ m}^3/\text{h}$ mit einer Messunsicherheit von maximal $\pm 1\%$ bestimmt werden.

Unsere Dienstleistungen:

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



Teststand für Solare Sorptionsgestützte Klimatisierungsanlagen (SSGKTEST)

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

Carsten Hindenburg,
Volker Kallwellis, Mario Motta



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

Komponentenentwicklung

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

Optimierung von Gesamtsystemen

Eine umfangreiche Mess- und Regelungstechnik ermöglicht uns, SGK-Systeme auch als komplette Einheit zu charakterisieren und zu verbessern. So können wir diese hinsichtlich Energie und Wasserverbrauch optimieren. Simulationsprogramme, die zum Teil am Institut entwickelt wurden, verkürzen die Messzyklen und damit die Entwicklungszeit insgesamt.

Entwicklung von Standardreglern

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

Feldtests von Solarkollektorfeldern

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

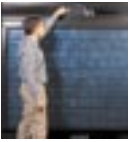
- Vermessung des Systemwirkungsgrades von Solarkollektorfeldern für definierte Verbraucher. Das ermöglicht realistische Ertragsprognosen, sowohl für Klimatisierungsanwendungen als auch für Brauchwassererwärmung oder Heizungsunterstützung
- gezielte Entwicklung von Kollektoren für die Klimatisierung.

Kundenspezifische Auslegungssoftware

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

Merkmale des SSGKTEST

- Nennvolumenstrom: 4000 m³/h
- 20 m² Flachkollektoren mit flüssigem Wärmeträger
- 20 m² Solarluftkollektoren
- 2 m³ Pufferspeicher
- Nachheizung über Gaskessel
- Simulation beliebiger Außenluftzustände
- Simulation von Raumlasten.



Vermessung von Fassaden und transparenten Bauteilen

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

Ulrich Amann, Georg Bopp, Sebastian Bundy, Angelika Helde, Tilmann Kuhn, Werner Platzer, Christian Reise, Jan Wienold, Helen Rose Wilson*

Thermisch-Optisches Prüflabor TOPLAB

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

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

Beispiele der Apparaturen:

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

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

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

Das Labor darf baurechtlich bei der Bestimmung des bauphysikalischen Kennwertes g (Gesamtenergiedurchlassgrad) einbezogen werden.

Die Entwicklung der Prüfverfahren wurde teilweise öffentlich gefördert.

Tageslichtmessräume

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

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

Fassadenprüfstand FASTEST

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

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

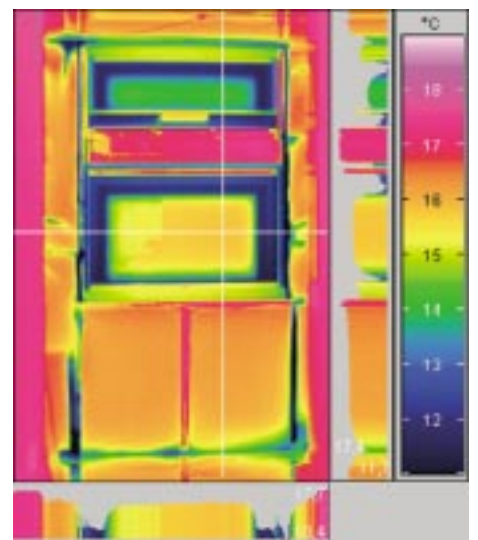


Abb. 1: Thermographische Aufnahme eines raumhohen Fassadenmoduls in einem Testraum (Aufnahme von innen).

* Interpane E&BmbH, Lauenförde



Gebäudekonzepte und Simulation

Wir unterstützen Sie beim Entwurf von Gebäuden und technischen Anlagen durch Simulationsrechnungen und Sonderplanungsleistungen. Wir nutzen dazu im thermischen Bereich die Software ESP-r, ColSim und TRNSYS. Die Lichttechnische Planung und Bewertung erfolgt durch RADIANCE. Mit Messungen vor Ort und Gutachten sorgen wir für Qualitätssicherung.

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

Lichtplanung und -beratung

Über Simulationsrechnungen mit validierten Modellen bewerten wir verschiedene Gestaltungsoptionen hinsichtlich:

- Blendung (Bildschirmarbeitsplatzverordnung)
- Tageslichtquotienten (Tageslichtautonomie).

Mit mobiler Tageslichtmesstechnik ermitteln wir Tageslichtquotienten und bewerten Blendung.

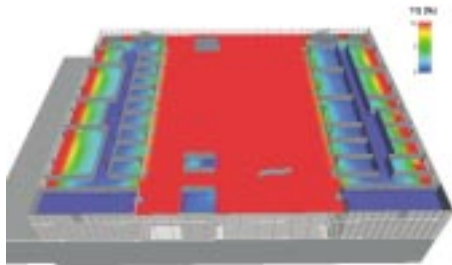


Abb. 1: Darstellung der Tageslichtquotienten in der 1. Etage des Design-Centers der EXPO 2000.

Luftwechsellmessungen mit Tracergas

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

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

Unsere Messmethode erfüllt die Bedingungen nach VDI 4300, Blatt 7. Sie gestattet SF₆ als Tracergas auch in bewohnten Gebäuden bei Analyse mit einem Gaschromatographen mit Electron Capture Detektor.



Abb 2: Blendschutzuntersuchungen eines Tageslichtsystems in einem Büro (Simulationsanalyse).

Prüfstand für Lüftungs-Kompaktgeräte

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

Laborprüfung

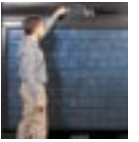
Auf unserem Teststand für Lüftungsgeräte messen wir die Energieeffizienz der Gesamtgeräte und ihrer Komponenten. Die Prüfbedingungen können wir in einer großen Bandbreite stationär wählen. Durch die Automatisierung des Teststandes können wir dynamisch veränderliche Bedingungen einstellen, z. B. entsprechend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

Monitoring

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



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



Charakterisierung von Wechselrichtern

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

Bruno Burger, Jürgen Ketterer,
Rainer Schätzle, Heribert Schmidt

Wir charakterisieren Ihre Wechselrichter in unseren Labors bezüglich:

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

Folgende Energiequellen für die Wechselrichter stehen dabei zur Verfügung:

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

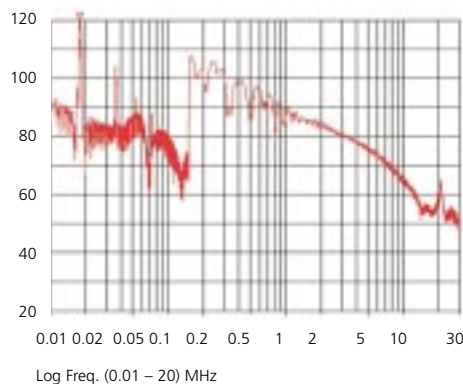


Abb. 1: EMV-Messung an einem transformatorlosen Wechselrichter auf der AC-Seite. Die von diesem Wechselrichter erzeugten Störspannungen liegen über den Grenzwerten.
x-Achse: Frequenz in MHz;
y-Achse: Störspannung in dBµV.

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

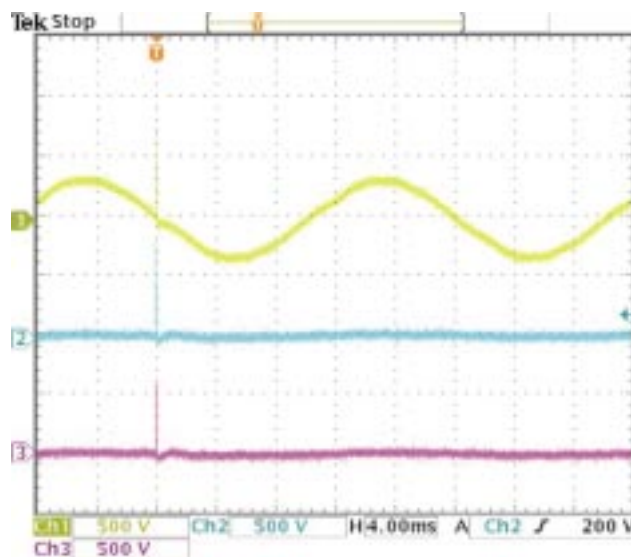


Abb. 2: Surge-Impuls mit einer Amplitude von 1000 V (nadel-förmige Spitze in allen drei Kurven) in der Netzspannung (gelbe Sinuskurve, oben) und dessen Auswirkung auf die Zwischenkreis-spannung des Wechselrichters (blau, Mitte) und die Spannung an den Leistungshalbleitern (pink, unten). Ergebnis: Dieses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

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

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



Qualifizieren und Optimieren von DC-Komponenten für Photovoltaik-Systeme

Technische Zuverlässigkeit und niedrige Kosten sind der Schlüssel für den dauerhaften Erfolg photovoltaisch versorgter Gleichspannungssysteme (DC-Systeme).

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

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

Rudi Kaiser, Norbert Pfanner,
Dirk Uwe Sauer

DC-Prüf- und Entwicklungslabor

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

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

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



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

Licht-Messlabor

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

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

Und wir führen präzise Messungen lichttechnischer Größen durch:

- Lichtstrom und Lichtausbeute
- Leuchtdichte
- Lichttechnisches Betriebsverhalten.

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

Batterie-Prüflabor

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

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


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




Gastwissenschaftler



Mitarbeit in Gremien



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



Vorlesungen und Seminare



Messebeteiligungen



Patente



Promotionen



Pressearbeit



Vorträge



Veröffentlichungen

Gastwissenschaftler

Antonio Buonassisi
University of California at Berkeley
Berkeley, USA
1.6.2002 – 31.7.2002
Arbeitsgebiet: Defektanalyse in monokristallinem Silicium

Prof. Andres Cuevas
Australian National University
Canberra, Australien
12. – 27.9.2002
Arbeitsgebiet: Analyse von Defekten in monokristallinem Silicium

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

Prof. Dr. Joachim Lämmel
Fachhochschule Frankfurt a.M.
Frankfurt, Deutschland
16.9. – 31.12.2002
Arbeitsgebiet: Photovoltaik-Systemtechnik

Zongcun Liang
Guangzhou Institute of Energy Conversion
Guangzhou, China
1.1.2001 – 31.5.2002
Arbeitsgebiet: GKSD-Solarzellen

Dr. Daniel Macdonald
Australian National University
Canberra, Australien
2. – 14.5.2002
Arbeitsgebiet: Analyse von Defekten in monokristallinem Silicium

Prof. Manfred von Mende
Fachhochschule Konstanz
Konstanz, Deutschland
1.10.2001 – 28.2.2002
Arbeitsgebiet: Solares Bauen

Anders Ødegård
Norwegian University for Science and Technology (NTNU)
Trondheim, Norwegen
21.8.2000 – 28.2.2003
Arbeitsgebiet: Mikroenergietechnik

Prof. Valeri Rummyantsev
A.S. Ioffe Physico-Technical Institute
St. Petersburg, Russland
20.2. – 20.4.2002
Arbeitsgebiet: III-V Konzentratormodul-Entwicklung

Dr. Nicolay Sadchikov
A. S. Joffe Physico-Technical Institute
St. Petersburg, Russland
20.5. – 20.7.2002
Arbeitsgebiet: III-V Konzentratormodul-Entwicklung

Dr. Mazim Shvarts
A. S. Joffe Physico-Technical Institute
St. Petersburg, Russland
14.1. – 22.3.2002
Arbeitsgebiet: III-V-Konzentratorsolarzellen-Messtechnik

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

Mitarbeit in Gremien

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

Club zur Ländlichen Elektrifizierung CLE
- Geschäftsführung

Deutsche Elektrotechnische Kommission DKE
- Komitee 221: »Elektrische Anlagen von Gebäuden«
- Komitee 373: »Photovoltaische Solarenergiesysteme«
- Komitee 384: Brennstoffzellen + Arbeitsgruppe Portable Fuel Cell Systems

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

Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie DGS
- Vorstand der Sektion Südbaden

Deutsche Physikalische Gesellschaft
- Arbeitskreis Energie

Deutscher Wasserstoff-Verein

European Photovoltaic Industry Association EPIA
- assoziiertes Mitglied

EUREC Agency, The European Association of Renewable Energy Research Centers
- President

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

European Fuel Cell Group

Exportinitiative Erneuerbare Energien
- Kontaktgruppe Verbände

Fachverband Transparente Wärmedämmung
- Fachausschuss »Produktkennwerte«

Fachinstitut Gebäude-Klima FGK
- Arbeitskreis »Sorptionsgestützte Klimatisierung«

FitLicht – Fördergemeinschaft innovative Tageslichtnutzung
- Mitglied

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

Forschungsallianz »Brennstoffzellen«, Baden-Württemberg

Forschungsverbund Sonnenenergie FVS
- Direktorium, Tagungsbeirat

Hahn-Meitner-Institut (HMI)
- Wissenschaftlicher Beirat

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

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

Institut für Solare Energieversorgungstechnik (ISET)
- Wissenschaftlicher Beirat

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

Kompetenznetzwerk Brennstoffzelle NRW (Nordrhein Westfalen)

Nationales Symposium Photovoltaische Solarenergie
- Wissenschaftlicher Beirat

Passivhaustagung 2003
- Wissenschaftlicher Beirat

Progress in Photovoltaics
- Editorial Board

Senat der Fraunhofer-Gesellschaft
- Mitglied

Verein Deutscher Elektrotechniker
- ETG-Fachausschuss »Brennstoffzellen«

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

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

WBZU, Weiterbildungszentrum Brennstoffzelle in Ulm

Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (WBGU)
- Mitglied

Zeitschrift »Physikalische Blätter«, Wiley-VCH
- Kuratorium

Zeitschrift »Solar Energy«, Elsevier
- Editor-in-Chief

Zentrum für Solarenergie und Wasserstoff (ZSW)
- Kuratorium

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

OTTI Energie-Kolleg Regensburg
8. Symposium Innovative Lichttechnik in Gebäuden
Bad Staffelstein, Kloster Banz, 24./25.1.2002

OTTI Energie-Kolleg Regensburg
Fachseminar Dezentrale Stromversorgung mit Photovoltaik
Freiburg, 30./31.1.2002

SolarBau:MONITOR
Workshop »Strategien und Konzepte für schlanke Gebäude«
Zwingenberg, 21. – 22.2.2002

OTTI Energie-Kolleg Regensburg
5. Fachforum Innovative Wohnungslüftung
Regensburg, 20./21.3.2002

Fachinstitut Gebäude-Klima FGK, IEA Task 25
Industrie-Workshop »Solar Assisted Air Conditioning of Buildings« im Rahmen der Light&Building – AirConTec, Frankfurt
Frankfurt, 17.4.2002

OTTI Energie-Kolleg Regensburg
12. Symposium Thermische Solarenergie
Bad Staffelstein, Kloster Banz, 24. – 26.04.2002

OTTI Energie-Kolleg Regensburg
Fachseminar Netzgekoppelte Photovoltaik-Anlagen
Freiburg 11./12.6.2002

Intersolar Freiburg
Fachseminar »Solar Assisted Air-Conditioning of Buildings«
Freiburg, 26./27.6.2002

Intersolar Freiburg
Technologie-Seminar
Freiburg, 28. – 30.6.2002

OTTI Energie-Kolleg Regensburg
Fachseminar EMV und Blitzschutz in Photovoltaik-Anlagen
Freiburg, 26./27.9.2002

5th TPV Conference
»International Workshop on the Integration of Social Aspect Tools in Commercial Rural Electrification Activities«
Rom, Italien, 6.10.2002

Internationale Energieagentur, SHCP Task 28 / ECBCS Annex 38
Expertentreffen »Energieversorgung für High Performance Houses«
Freiburg, 10. – 13.10.2002

SolarBau:MONITOR
Workshop »Nutzerakzeptanz – Erfassen-Bewerten-Planen«
Creuzburg, 21./22.11.2002

Vorlesungen und Seminare

Dr. Dietmar Borchert
Photovoltaik
Vorlesung SS 2002
Technische Fachhochschule Georg Agricola,
Bochum

Dr. Bruno Burger
Leistungselektronische Systeme für regenerative
Energiequellen
Vorlesung WS 02/03
Universität Karlsruhe

Dr. Andreas Gombert
Mikrostrukturierte Oberflächen mit optischen
Funktionen
Vorlesung WS 02/03
Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Fakultät für
Angewandte Wissenschaften

Sebastian Herkel
Bauökologie/Solarenergienutzung
Vorlesung SS 02
Staatliche Akademie der Bildenden Künste,
Stuttgart

Prof. Joachim Luther
Photovoltaische Energiekonversion
Vorlesung SS 02
Aktuelle Fragen der Sonnenenergiekonversion
Seminar SS 02
Thermische Solarenergiewandlung
Vorlesung WS 02/03
Aktuelle Fragen der Sonnenenergiekonversion
Seminar WS 02/03
Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Fakultät für
Physik

Jens Pfafferott
Konventionelle und regenerative
Energiewirtschaft
Vorlesung SS 02 / WS 02/03
Fachhochschule Biberach

Dr. Christel Russ
Modernisierung und Sanierung von Gebäuden
Vorlesung SS 02 / WS 02/03
Fachhochschule Biberach

Prof. Roland Schindler
Halbleitertechnologie I (Technologie),
Photovoltaik I
Vorlesung WS 02/03
Halbleitertechnologie II (Bauelemente),
Photovoltaik II
Vorlesung SS 02
FernUniversität, Hagen

Dr. Heribert Schmidt
Photovoltaik Systemtechnik
Vorlesung SS 02
Universität Karlsruhe

Priv. Doz. Dr. Gerhard Willeke
Grundlagen von Halbleiterbauelementen und
der optischen Datenübertragung
Vorlesung SS 02
Universität Konstanz

Priv. Doz. Dr. Volker Wittwer
Energieversorgung für Mikrosysteme
Vorlesung SS 02
Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Fakultät für
Angewandte Wissenschaften

Messebeteiligungen

Industrieausstellung im Rahmen des 17.
Symposiums Photovoltaische Solarenergie
Bad Staffelstein, Kloster Banz, 13. – 15.3.2002

Light & Building – AirConTec
Frankfurt/M., 13 – 18.4.2002

Hannover Messe Industrie, HMI 2002
Hannover, 15. – 20.4.2002

Intersolar 2002,
Freiburg, 28. – 30.6.2002

H2-Expo
Hamburg, 10. – 12.10.2002

f-cell
Stuttgart, 14./15.10.2002

Patente

Eingereichte Patente

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

Ulrich Hofmann, Markus Löhr, Dieter Schlegel,
Marc Straub, Robert Szolak, Bernd Tischhauser,
William Wiesner
»Vorrichtung zum Verfahren zur Reformierung
von Kohlenwasserstoffen aus einem Einsatzgas«

Axel Heitzler, Dr. Christopher Hebling,
Andreas Schmitz
»Brennstoffzellenanordnung«

Dr. Benedikt Bläsi, Christopher Bühler,
Dr. Andreas Georg, Dr. Andreas Gombert,
Wolfgang Graf, Dr. Peter Nitz,
Dr. Volker Wittwer,
»Schaltbare Sonnenschutzvorrichtung«

Dr. Alexander Susdorf, Dr. Jürgen Koy,
Dr. Albert Chigapov, Dr. Klaus Wanninger,
Prof. Angelika Heinzl, Dr. Peter Hübner
»Ce/Cu/Mn-Katalysator zur Entfernung von CO
aus wasserstoffreichen Gasgemischen«

Andreas Schmitz, Dr. Robert Hahn,
Dr. Christopher Hebling, Dr. Bruno Burger
»Brennstoffzellensystem in
Leiterplattenbauweise«

Dr. Andreas Gombert, Volkmar Boerner,
Dr. Benedikt Bläsi, Ilka Gehrke,
Michael Niggemann, Josef Robert,
Christian Schlemmer
»Verfahren zur Herstellung von Mikrosieben«

Dr. Heribert Schmidt, Jürgen Ketterer,
Dr. Christoph Siedle
»Wechselrichter sowie Verfahren zum
Umwandeln eines elektrischen Gleichstroms
in einen Wechselstrom«

Carsten Hindenburg, Volker Kallwellis,
Wolfgang Dotzler, Gerd Renner
»Verfahren zur Herstellung von hinterströmten
Strahlungsabsorbieren mit Wärmeleitblechen«

Dr. Andreas Gombert, Wolfgang Graf,
Dr. Andreas Hinsch, Michael Niggemann
»Optoelektronisches Bauelement mit elektrisch
leitfähigem organischen Material sowie
Verfahren zur Herstellung des Bauelements«

Prof. Adolf Goetzberger
»Verfahren zur großflächigen Herstellung von Si-
Dünnschichtsolarzellen«

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

Promotionen

Dr. Benedikt Bläsi, Christopher Bühler,
Dr. Andreas Gombert, Wolfgang Hoßfeld,
Jörg Mick, Dr. Peter Nitz,
»Vorrichtung zur Lichtlenkung und Verfahren zur
Herstellung der Vorrichtung«

Jörg Isenberg, Stephan Riepe, Dr. Wilhelm Warta
»Verfahren und Anordnung zur Messung lichtin-
duzierter Temperaturänderungen und
Leistungsverluste in Halbleiterbauelementen«

Uwe Armbruster, Dr. Peter Hübner, Helga Ströhl
»Verfahren für das Ausschalten eines Reformier-
Brennstoffzellen-Systems«

Dr. Heribert Schmidt
»Endplatte«

Dr. Heribert Schmidt
»Strahlungssensor mit reduzierter
Störsignalempfindlichkeit«

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

Christian Schlemmer, Dr. Andreas Georg,
Dr. Andreas Gombert, Wolfgang Graf
»Verfahren zur Herstellung von hochtemper-
aturstabilen, mikrostrukturierten selektiven
Metallemittern«

Alexander Hakenjos
»Verfahren zur Vermessung elektrochemischer
Zellen in einer Serienschaltung«

Erteilte Patente

Michael Hermann, Joachim Koschikowski
»Verfahren zur Herstellung von Hohlkörpern aus
pastösem Material und Vorrichtung zum
Durchführen des Verfahrens«

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

Orlando Parodi, Konstanze Fleige, Ulrike Seibert
»Vorrichtung zum Fördern von Roh- und
Brauchwasser«

Dr. Harry Wirth, Dr. Volker Wittwer
»Sonnenschutzvorrichtung für Gebäude«

Dr. Andreas Georg
»Optisches Bauelement«

Dr. Andreas Gombert, Michael Niggemann,
Hansjörg Lerchenmüller
»Verfahren und Vorrichtung zur Herstellung
eines Koppelgitters für einen Wellenleiter«

Konrad Lustig
»Experimentelle Untersuchungen zum
Stillstandsverhalten thermischer Solaranlagen«
Dissertation Universität Karlsruhe
Karlsruhe, 2002

Mario Motta
»Thermodynamic design and optimisation of
solar assisted desiccant cooling cycles for Italian
climates«
Dissertation Universita di Genova
Genova, Italien, 2002

Tomas Núñez
»Charakterisierung und Bewertung
von Adsorbentien für Wärmetrans-
formationsanwendungen«
Dissertation Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
Freiburg, 2002

Mathias Hein
»Entwicklung und Vergleich zweier konzentrie-
render Photovoltaik-Systeme für den wirt-
schaftlichen Einsatz von hocheffizienten
III-V Solarzellen«
Dissertation Carl von Ossietzky Universität
Oldenburg
Oldenburg, 2002

Pressearbeit

Presseinformationen

[www.ise.fhg.de/german/press/pi_2002/
index.html](http://www.ise.fhg.de/german/press/pi_2002/index.html)

19.3.2002
Fraunhofer-Institute demonstrieren kosten-
günstige Serienfertigung für Mikro-
Brennstoffzellen

28.3.2002
Mit der Sonne klimatisieren – Weltweit ein-
maliges Exponat und IEA-Workshop auf der
»aircontec« in Frankfurt

4.4.2002
Farbstoff- und Organische Solarzellen: Hohes
Anwendungspotenzial in der Zukunft

11.4.2002
Brennstoffzellensystem erstmals in Laptop
integriert

22.5.2002
Referenzzellen für geprüfte Sicherheit bei der
solaren Stromerzeugung – Fraunhofer ISE
Messtechnik für höchste Präzision nun auch
im Feld

29.6.2002
Fraunhofer ISE in der Endauswahl für den
»World Technology Network Award«

10.7.2002
»Club Ländliche Elektrifizierung«:
Exportorientierte Firmen fordern mehr
Unterstützung bei Markterschließung

27.8.2002
Autonome Energieversorgung mit Wasserstoff
aus erneuerbaren Energien

1.10.2002
Energieeffizienz und Solarenergienutzung im
Nichtwohnungsbau

20.11.2002
Neue Leichtbaustoffe als thermisches
Schwergewicht – Fraunhofer SOBIC
Seminar in Freiburg

5.12.2002
Benzin tanken und trotzdem schadstoffarm
fahren – Fraunhofer ISE entwickelt autotherme
Benzinreformierung für Brennstoffzellen

Vorträge

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

Agert, C.
 »The Future of Renewable Energy«, Northern African Power Industry Convention, 27.10.2002, Casablanca, Morocco
 Agert, C.; Beckert, R.; Bett, A.W.; Dimroth, F.; Heuken, M.¹; Giesen, C.¹; Dauelsberg, M.¹; Hannappel, T.²; Kollonitsch, Z.²; Möller, K.²; Seip, M.³; Greiling, A.³
 »Sb-Based Semiconductors for TPV Application Grown in an Industrial Sized MOVPE Reactor«, 5th Conference on Thermophotovoltaic Generation of Electricity, Rom, Italy, 15. – 19.9.2002
 (¹: AIXTRON AG, Aachen)
 (²: Hahn-Meitner-Institut, Berlin)
 (³: MOCHEM, Marburg)

Bett, A.W.
 »Tandem Cells for Very High Concentration«, 3rd Generation PV Workshop for High Efficiency through Full Spectrum Utilization, Cercedilla, Madrid, Spain, 21. – 23.3.2002

Bopp, G.; v. Dohlen, K.¹
 »Normkonforme Einbindung von PV-Anlagen in Gebäude mit und ohne äußeren Blitzschutz«, Fachseminar Blitzschutz und Potenzialausgleich in der Solartechnik, Cölbe, 22.3.2002
 (¹: Erhardt & Leimer Elektroanlagen, Augsburg)

Bopp, G.
 »Gefährdungspotenzial des Blitzes«, Fachseminar Blitzschutz und Potenzialausgleich in der Solartechnik, Cölbe, 22.3.2002

Bühning, A.; Russ, C.; Kiefer, K.; Harter, K.
 »Von der Wärmepumpe zur Brennstoffzellenheizung«, 6. Europäische Passivhaustagung, Basel, Switzerland, 25. – 26.1.2002

Bühning, A.,
 »Von der Wärmepumpe zur Brennstoffzellenheizung« OTTI Symposium Innovative Lüftungstechnik, Regensburg, 22. – 21.3.2002

Glunz, S.W.
 »Monokristalline Siliciumsolarzellen: Materialanalyse und Zellstrukturentwicklung am Fraunhofer ISE«, IPE Stuttgart, Seminar, Stuttgart, 17.6.2002

Glunz, S.W.
 »Zellstrukturentwicklung und Materialanalyse für monokristalline Siliciumsolarzellen«, ZAE Erlangen, Seminar, Erlangen, 14.6.2002

Glunz, S.W.
 »Neue Strategien für Solarzellen aus Wafersilicium«, 13. Internationales Sonnenforum, Berlin, 12. – 14.9.2002

Glunz, S.W.
 »Silicon Solar Cell Research at Fraunhofer ISE: Technology and Characterisation«, Australian National University, Canberra, Australia, 19.11.2002

Gombert, A.
 »Mikrostrukturierte Oberflächen mit optischen Funktionen«, IMT Seminar, Forschungszentrum Karlsruhe, 19.11.2002

Groos, U.
 »Mikrobrennstoffzellen – eine Fraunhofer-Initiative«, VDI/VDE-IT, Workshop Brennstoffzellen generieren Zukunftsprodukte – Mikrosystemtechnik als Schlüsseltechnologie, 27.2.2002, Berlin

Groos, U.
 »Brennstoffzellen und Solarzellen für das Mobile Office« HiTec-Pressclub, Hamburg, 9.10.2002

Groos, U.; Hebling, C.; Zedda, M.; Hakenjos, A. und Partner
 Fraunhofer-Initiative Mikrobrennstoffzelle
 »Brennstoffzellen-System für einen DV-Camcorder«, in: Proceedings of f-cell, Stuttgart, 15.10.2002

Hebling, C.
 »Fuel Cell Systems for Portable Electronic Appliances«, First Sino-German Workshop on Fuel Cells, Dalian, China, 31.10.2002

Hebling, C.,
 »Fuel Cells and Solar Cells as Device Integrated Power Sources«, Mobile Convergence, Monte Carlo, 09.6.2002

Hebling, C.; Groos, U.
 »Survey on Potential Utilization of TPV Systems«, 5th Conference on Thermophotovoltaic Generation of Electricity, Rom, Italy, 15. – 19.9.2002

Hebling, C.,
 »Fuel Cells as Competing Technology to Thermophotovoltaics«, 5th Conference on Thermophotovoltaic Generation of Electricity, Rom, Italy, 15. – 19.9.2002

Hebling, C.; Groos, U.
 »Technologie und Märkte portabler Brennstoffzellen im niedrigen Leistungsbereich«, Neuntes Fachforum Brennstoffzellen, OTTI-Energie-Kolleg, Ulm/Neu-Ulm, 8.10.2002

Hebling, C.
 »Technology and Markets of Micro Fuel Cell Systems«, International Workshop on Power MEMS, Tsukuba, Japan, 13.11.2002

Hebling, C.
 »Fuel Cell Related Research at the Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems«, Seminarvortrag Du Pont Fuel Cells, Wilmington, USA, 25.11.2002

Henning, H-M.
 »Beispiele und Lösungen für die solarunterstützte Klimatisierung«, Building Performance, Internationaler Kongress für Architektur und Technik, AirConTec – Light & Building, Frankfurt/M., 15.4.2002

Henning, H-M.
 »Solar Assisted Air-Conditioning of Buildings – Introduction & Overview«, IEA Task 25 Industry Workshop, AirConTec – Light & Building, Frankfurt/M., 17.4.2002

Henning, H-M.
 »Solar Assisted Adsorption System for a Laboratory of the University Freiburg«, IEA Task 25 Industry Workshop, AirConTec – Light & Building, Frankfurt/M., 17.4.2002

Henning, H-M.
 »Solar unterstützte Klimatisierung«, Fachtagung »Raumlufttechnische Anlagen - Energiesparende Planung und Betrieb«, Bayerisches Landesamt für Umweltschutz, Augsburg, 15.5.2002

Henning, H-M.
 »Solar unterstützte Klimatisierung – mit Sonnenenergie energiesparend sommerlichen Raumkomfort sicherstellen«, 1. Architekten- und Ingenieurtagung im Rahmen der SolarEnergy-Messe Berlin, Berlin, 14.6.2002

Henning, H-M.
 »Fundamentals: Thermodynamics and Overview on Thermal Driven Cooling and A/C«, Forum Solar Assisted Air-Conditioning of Buildings – INTERSOLAR 2002, IHK Freiburg, Freiburg, 26./27.6.2002

Henning, H-M.
 »Solar Assisted Air-Conditioning of Buildings – Examples of Realized Projects«, Forum Solar Assisted Air-Conditioning of Buildings – INTERSOLAR 2002, IHK Freiburg, Freiburg, 26./27.6.2002

Henning, H-M.
 »Solare Kühlung und Klimatisierung – Grundlagen und Techniken«, Fachforum Solarstadt München, Bauzentrum, München, 10.7.2002

Henning, H-M.
 »Solare Klimatisierung von Gebäuden«, SOLTEC 2002 – Tagung für Architekten und Ingenieure, Hameln, 16.8.2002

Henning, H-M.
 »Solarthermische Kühlung und Klimatisierung«, Solar – Cool! – Trends in der solaren Energietechnik, Fraunhofer Umsicht, Oberhausen, 17.9.2002

Hindenburg, C.; Backes, S.; Motta, M.; Bichler, C.
 »Erste thermisch solar autarke Klimaanlage in Deutschland – Betriebserfahrungen und ökonomische Gesichtspunkte«, 12. Symposium Thermische Solarenergie, OTTI-Energie-Kolleg, Bad Staffelstein, 24. – 26.4.2002

Hoffmann, V.U.
 »Photovoltaik zur Stromerzeugung – wirtschaftlich?«, Inventa 2002 – Forum Energie, Karlsruhe, 9.3.2002

Huljic, D.; Kieliba, T.; Beckert, R.; Hein, M.; Hube, W.
 »Kostenreduktion in der Photovoltaik – Ansätze aus der aktuellen Forschung«, Leistungsschau der deutschen Umwelttechnik und -forschung, Berlin, 3./4.6.2002

Huljic, D.; Kieliba, T.; Beckert, R.; Hein, M.; Hube, W.
 »Solaroptimierte Gebäudesysteme durch neuartige Regelungskonzepte«, Leistungsschau der deutschen Umwelttechnik und -forschung, Berlin, 3./4.6.2002

Kiefer, K.
 »Erfahrungsbericht über die Leistungsfähigkeit und Energieausbeute von Karlsruher Photovoltaik-Anlagen« Stadtwerke Karlsruhe: Photovoltaik-Anlagen, Karlsruhe, 17.9.2002

Kuhn, T.; Feimann B.¹
 »Impact of Ventilation and Cooling Systems regarding Façade Design«, European Construction Managers Meeting, Hines Immobilien, München, 28.6.2002
 (¹: HL-Technik, München)

Lerchenmüller, H.; Häberle, A.¹;
Dersch, J.²; Ewert, M.³
»Technische und wirtschaftliche
Machbarkeits-Studie zu horizontalen
Fresnel-Kollektoren«
Statusseminar, Hochtemperatur –
Solarthermische Stromerzeugung,
14.3.2002
(¹: PSE, Freiburg)
(²: Deutsches Zentrum für Luft-
und Raumfahrt e.V., Köln)
(³: E.ON Energie AG, München)

Luther, J.
»Solar Research and Development
– Roads to a Stronger Market«,
EuroSun 2002, The 4th ISES Europe
Solar Congress, Bologna, Italy,
23. – 26.6.2002

Luther, J.; Meyer, T.
»Verteilte Stromerzeugung und die
Nutzung erneuerbarer Energie-
quellen«, 13. Internationales
Sonnenforum der Deutschen
Gesellschaft für Sonnenenergie
e. V. (DGS), Berlin, 12. – 14.9.2002

Luther, J.
»Brennstoffzellensysteme in
Gebäuden und verteilte Stromer-
zeugung – Stand der Technik und
prinzipielle Möglichkeiten«,
Deutscher Wasserstoff-Energetag
2002, veranstaltet vom Forum für
Zukunftsenergien (Berlin), Essen,
12. – 14.11.2002

Luther, J.
»Solarenergie im Gebäudebereich
– Anwendungsbeispiele und
Innovationen«, 2. Forum Solar-
praxis »Solartechnik – Markt &
Finanzen, Marketing & Verkauf«,
Berlin, 14. – 15.11.2002

Luther, J.
»Neue Konzepte für die terrestrische
Photovoltaik«, Workshop:
Stand und Perspektiven der Photo-
voltaik, veranstaltet von Materials
Valley e.V., Alzenau,
27. – 28.11.2002

Majdandzic, L.
»Demonstration of New Concepts
of Solar Energy Systems on the
Island of Krk – Croatia«
EGE 5th International Symposium,
Dubrovnik, Croatia,
22. – 24.5.2002

Meyer, T.
»PV-Fassaden – eine Einführung«,
in: DGS, Fachseminar solare
Fassaden, Freiburg, 28.6.2002

Niggemann, M.; Gombert, A.;
Hinsch, A.; Wittwer, V.
»Concepts for Organic Solar Cell
Devices with Integrated Periodic
Microstructures«, European
Materials Research Society Spring
Meeting E-MRS 2002, Straßburg,
France, 18. – 21.6.2002

Niggemann, M.; Bläsi, B.;
Gombert, A.; Hinsch, A.;
Hoppe, H.¹; Lalanne, P.²;
Meissner, D.¹; Wittwer, V.
»Design Analysis of Diffraction
Gratings for Light Trapping in
Organic Solar Cells«, in: Organic
Optoelectronics: Technology and
Devices, Engelberg, Switzerland,
24. – 27.3.2002
(¹: Johannes Kepler Universität,
Linz, Austria)
(²: Laboratoires Charles Fabry de
l'Institut d'Optique, Centre Natio-
nal de la Recherche Scientifique,
Orsay, France)

Opara Krašovec, U.¹; Hauch, A.¹;
Georg, A.; Luther, J.
»Solid State Photoelectrochromic
Device«, NREL 5th International
Meeting on Electrochromism (IME-
5), Golden/Colorado (USA),
6. – 9.8.2002
(¹: Albert-Ludwigs-Universität,
Freiburger Materialforschungs-
zentrum FMF, Freiburg)

Reise, C.; Wienold, J.; Kuhn, T.;
Reetz, C.
»Simulation in der Tageslicht-
planung oder: Was man rechnen
müsste ...«, Forum Tageslicht auf
der Light & Building 2002, Messe
Frankfurt, 14.4.2002

Rentsch, J.; Huljic, D.
»Charakterisierung siebgedruckter
ohmscher Aluminium und Silber-
Aluminium Kontakte auf p-dotier-
tem Silicium«, DPG Frühjahrs-
tagung, Regensburg,
11. – 15.3.2002

Roth, W.
»Dezentrale Stromversorgung mit
Photovoltaik für Produkte aus den
Bereichen Telekommunikation,
Telematik und Telemetrie«, Tag des
Fachbereichs 1
Ingenieurwissenschaften FH Berlin,
Berlin 23.1.2002

Roth, W.
»Photovoltaische Energiever-
sorgungssysteme – Klimatische
Randbedingungen, prinzipieller
Systemaufbau und Einsatz-
möglichkeiten«, Fachseminar
Netzgekoppelte Photovoltaik-
Anlagen, OTTI-Energie-Kolleg,
Freiburg, 11./12.6.2002

Russ, C.; Voss, K.;
Küchenmeister, S.¹
»Der Balkon wird zum Winter-
garten«, Firmenseminar Solarlux,
Essen, 14.1.2002
(¹: Stadtbau Freiburg, Freiburg)

Sauer, D.U.
»Speichertechnologie für autono-
me Stromversorgungssysteme /
Storage technologies for auton-
omous power supply systems«,
Technologie-Seminar Intersolar,
Freiburg, 28.6.2002

Sauer, D.U.
»Rural Electrification – Technical
Concepts and Non-Technical Issues
for a Sustainable Market
Development«, Energy and
Sustainable Development Sino-
German Dialogue, Beijing, China
26./27.9.2002

Sauer, D.U.
»Autonomous Power Supply
Systems for Remote Locations –
Concepts and Examples. A Chance
for the Electrification of Croatian
Islands«, Vortrag bei der
Stadtverwaltung der Insel Krk,
Croatia, 24.10.2002

Schmidhuber, H.
»Solarzellen und Brennstoffzellen
als Stromversorgung für portable
elektronische Geräte«, ZAE
Erlangen, Seminar, Erlangen,
21.6.2002

Schmidhuber, H.
»Forschungsbedarf auf dem Gebiet
der PV-Modultechnologie«,
Fraunhofer ISE Labor- und Service-
center Gelsenkirchen, 18.11.2002

Schmidt, H.; Erge, T.; Wenz, W.¹;
Lewald, N.¹; Povh, D.²;
Stephanblome, T.³
»Intelligente Energieverteilungs-
netze für den Energiemarkt der
Zukunft – EDISON«, 17. Symposium
Photovoltaische Solarenergie, OTTI-
Energie-Kolleg, Bad Staffelstein,
13. – 15.3.2002
(¹: Stadtwerke Karlsruhe,
Karlsruhe)
(²: Siemens, Erlangen)
(³: EUS Gelsenkirchen,
Gelsenkirchen)

Siefer, G.; Baur, C.; Meusel, M.;
Dimroth, F.; Bett, A.W.; Warta, W.
»Influence of the Simulator
Spectrum on the Calibration of
Multi-Junction Solar Cells under
Concentration«, 29th IEEE Photo-
voltaic Specialists Conference
(PVSC), New Orleans, USA,
20. – 24.5.2002

Steinhüser, A.
»Simulationsprogramme«, OTTI-
Fachseminar »Netzgekoppelte
Photovoltaik-Anlagen«, Freiburg,
11./12.6.2002

Fakten im Überblick

Steinhüser, A.
»Kompakte PV-Hybridsysteme«,
Vorlesung an der Universität
Karlsruhe, Karlsruhe, 18.6.2002

Steinhüser, A.
»Computerunterstützte Auslegung
von PV-Kleinsystemen«, Vorlesung
an der Universität Karlsruhe,
Karlsruhe, 18.6.2002

Wittstadt, U.; Hübner, P.
»Bereitstellung von Wasserstoff –
Reformierung von Kohlenwasser-
stoffen und PEM-Elektrolyse«
Wasserstoff Expo, Hamburg,
10.10.2002

Wittwer, V.; Graf, W.; Georg, A.
»Gas-chromic Glazings with a
Large Dynamic Range in Total Solar
Energy Transmittance«, NREL 5th
International Meeting on Electro-
chromism (IME-5), Golden/
Colorado (USA), 6.8.2002

Veröffentlichungen

- Adib, R.; Reinmüller, D.¹
 »Rural Energy Models – Bringing Energy to the Rural Customer«, in: Asia Goldbook 2002, 101 – 107
 (¹: International Solar Energy Society ISES, Freiburg)
- Altermatt, P.P.^{1,2};
 Schumacher, J.O.; Cuevas, A.³;
 Glunz, S.W.; Kerr, M.³;
 King, R.R.⁴; Heiser, G.^{1,5};
 Schenk, A.⁶
 »Numerical Modeling of Highly Doped Si:P Emitters Based on Fermi-Dirac Statistics and Self-Consistent Material Parameters«, in: Journal of Applied Physics, Vol. 92, Nr. 6/2002, 3187 – 3197
 (¹: Centre for Photovoltaic Engineering, University of New South Wales, Sydney, Australia)
 (²: Iniang Consulting, Bondi Junction NSW, Australia)
 (³: Faculty of Engineering and IT, National University, Canberra, Australia)
 (⁴: Spectrolab Inc., Sylmar/California, USA)
 (⁵: School of Computer Science and Engineering, University of New South Wales)
 (⁶: Integrated Systems Laboratory, ETH Zürich, Switzerland)
- Aschaber, J.; Hebling, Ch.; Luther, J.
 »Realistic Modeling of TPV Systems«, in: AIP Conference Proceedings of 5th Conference on Thermophotovoltaic Generation of Electricity, Rom, Italy, 15. – 19.9.2002, in Druck
- Ballif, C.¹; Huljic, D.M.; Hessler-Wyser, A.²; Willeke, G.
 »Nature of the Ag-Si interface in screen-printed contacts: a detailed transmission electron microscopy study of cross-sectional structures«, in: Proceedings of 29th IEEE Photovoltaic Specialists Conference (PVSC), New Orleans, USA, 20. – 24.5.2002, in Druck
 (¹: Fraunhofer ISE, Labor- und Servicecenter Gelsenkirchen, Gelsenkirchen)
 (²: Swiss Federal Institute of Technology CIME, Lausanne, Switzerland)
- Ballif, C.¹; Peters, S.¹; Isenberg, J.; Riepe, S.; Borchert, D.¹
 »Shunt Imaging in Solar Cells Using Low Cost Commercial Liquid Crystal Sheets«, in: Proceedings of 29th IEEE Photovoltaic Specialists Conference (PVSC), New Orleans, USA, 20. – 24.5.2002, in Druck
 (¹: Fraunhofer ISE, Labor- und Servicecenter Gelsenkirchen, Gelsenkirchen)
- Ballif, C.¹; Peters, S.¹; Zerres, T.¹; Isenberg, J.; Borchert, D.¹; Willeke, G.
 »Efficient characterisation techniques for industrial solar cells and solar cell materials«, in: Proceedings of NREL 12th Workshop on Crystalline Silicon Solar Cell Materials and Processes, Breckenridge, USA, 11. – 14.8.2002, 136 – 146
 (¹: Fraunhofer ISE, Labor- und Servicecenter Gelsenkirchen, Gelsenkirchen)
- Bau, S.; Huljic, D.; Isenberg, J.; Rentsch, J.
 »Shunt-Analysis of Epitaxial Silicon Thin-Film Solar Cells by Lock-In Thermography«, in: Proceedings of 29th IEEE Photovoltaic Specialists Conference (PVSC), New Orleans, USA, 20. – 24.5.2002, in Druck
- Bett, A.W.
 »Hochkonzentrierende Photovoltaik: Modulwirkungsgrade bis zu 25%«, in: Tagungsband 17. Symposium Photovoltaische Solarenergie, OTTI-Energie-Kolleg, Bad Staffelstein, 13. – 15.3.2002, 38 – 42
- Bett, A.W.; Dimroth, F.
 »Concentrator Systems – A Challenge«, in: Proceedings of 2nd Workshop The Path to Ultra-high Efficient Photovoltaics, Ispra, Italy, 2./3.10.2002, in Druck
- Bett, A.W.; Dimroth, F.; Hein, F.; Lange, G.; Meusel, M.; Schubert, U.; Siefert, G.
 »Development of III-V-Based Concentrator Cells and their Application in PV-Modules«, in: Proceedings of 29th IEEE Photovoltaic Specialists Conference (PVSC), New Orleans, USA, 20. – 24.5.2002, in Druck
- Biro, D.; Emanuel, G.; Preu, R.; Willeke, G.; Wandel, G.¹; Schitthelm, F.¹
 »High Capacity Walking String Diffusion Furnace«, in: Proceedings of PV in Europe, from PV Technology to Energy Solutions, Rom, Italy, 7. – 11.10.2002, in Druck
 (¹: Centrotherm, Blaubeuren)
- Bläsi, B.
 »Tageslichtsysteme mit Mikrostrukturen«, in: inno – Innovative Technik Nr. 21, 1/2002, 20 – 21
- Bläsi, B.; Aufderheide, K.¹; Abbott, S.²
 »Antireflection with Moth-Eye Structures«, in: Kunststoffe plast europe Nr.92, 5/2002, 15 – 18
 (¹: Gebr. Krallmann GmbH, Hiddenhausen)
 (²: Autotype International Ltd, Wantage, UK)
- Bläsi, B.; Aufderheide, K.¹; Abbott, S.²
 »Entspiegeln mit Mottenaugenstrukturen«, in: Kunststoffe Nr.92, 5/2002, 50 – 53
 (¹: Gebr. Krallmann GmbH, Hiddenhausen)
 (²: Autotype International Ltd, Wantage, UK)
- Bopp, G.
 »Gefährdungspotenzial des Blitzes«, in: Seminarband Fachseminar EMV und Blitzschutz in Photovoltaik-Anlagen, OTTI-Energie-Kolleg, Freiburg, 26./27.9.2002, 69 – 82
- Bopp, G.; Schätzle, R.
 »Inwieweit tragen PV-Anlagen zum Elektrosmog bei?«, in: Seminarband Fachseminar EMV und Blitzschutz in Photovoltaik-Anlagen, OTTI-Energie-Kolleg, Freiburg, 26./27.9.2002, 60 – 68
- Bopp, G.; Erge, T.
 »Welche EMV-Normen sind für die Photovoltaik relevant?«, in: Seminarband Fachseminar EMV und Blitzschutz in Photovoltaik-Anlagen, OTTI-Energie-Kolleg, Freiburg, 26./27.9.2002, 5 – 26
- Bopp, G.; Schätzle, R.; Virnich, M.¹
 »Inwieweit tragen PV-Anlagen zum Elektrosmog bei?«, in: Tagungsband 1. EMV Tagung des Berufsverbandes Deutscher Baubiologen – VDB e.V., Hamm, 19./20.4.2002, 37 – 45
 (¹: Ingenieurbüro für Baubiologie und Umweltmesstechnik, Mönchengladbach)
- Bopp, G.; Laukamp, H.; Preiser, K.
 »Elektrische Sicherheit und Errichtungsbestimmungen«, in: Seminarband Fachseminar Dezentrale Stromversorgung mit Photovoltaik, OTTI-Energie-Kolleg, Freiburg, 30./31.1.2002, 245 – 282
- Bopp, G.; Preiser, K.; Sauer, D.U.
 »Netzferne Elektrifizierung vom Solar Home System über Alpenvereinhäuser bis hin zur Dorfstromversorgung«, in: Seminarband Fachseminar Dezentrale Stromversorgung mit Photovoltaik, OTTI-Energie-Kolleg, Freiburg, 30./31.1.2002, 525 – 559
- Burger, B.
 »Netzwechselrichter«, in: Seminarband Fachseminar Netzgekoppelte Photovoltaik-Anlagen, OTTI-Energie-Kolleg, Freiburg, 11./12.6.2002, 103 – 127
- Burger, B.
 »Wechselrichter für Inselsysteme«, in: Seminarband Fachseminar Dezentrale Stromversorgung mit Photovoltaik, OTTI-Energie-Kolleg, Freiburg, 30./31.1.2002, 213 – 243
- Buschmann, S.; Hube, W.; Wittwer, C.
 »Das ColSim Gebäudemodell: Eine realistische Wärmesenke zur Simulation solarer Kombianlagen«, in: Tagungsband Zwölftes Symposium Thermische Solarenergie, OTTI-Energie-Kolleg, Bad Staffelstein, 24. – 26.4.2002, 420 – 424
- Bühring, A.
 »Von der Wärmepumpe zur Brennstoffzellenheizung«, in: Moderne Gebäudetechnik, 10/2002, 12 – 15
- Bühring, A.
 »Wärmeversorgung im Passivhaus: Von der Wärmepumpe zur Brennstoffzellenheizung«, in: Tagungsband 3. Freiburger Praxis-Symposium Passivhäuser, Freiburg, 27.6.2002, Abschnitt 3
- Bühring, A.; Russ, C.; Kiefer, K.; Harter, K.¹
 »Von der Wärmepumpe zur Brennstoffzellen-Heizung«, in: Tagungsband 6. Europäische Passivhaustagung, Basel, Switzerland, 25./26.1.2002, 209 – 218
 (¹: EnBW Energie Baden-Württemberg AG, Karlsruhe)
- Dicker, J.; Schumacher, J.O.; Warta, W.; Glunz, S.W.
 »Analysis of One-Sun Mono-Crystalline Rear-Contacted Silicon Solar Cells with Efficiencies of 22.1%«, in: Journal of Applied Physics, Volume 91, Number 7, 1.4.2002, 4335 – 4343
- Dimroth, F.; Agert, C.; Bett, A.W.
 »Growth of Sb-Based Materials by MOVPE«, in: Journal of Crystal Growth, 11th European Workshop on MOVPE, Berlin, 3. – 7.6.2002, in Druck
- Garche, J.; Sauer, D.U.; Harnisch, P.; Jossen, A.
 »Energiespeicherung in photovoltaisch versorgten Geräten und Anlagen«, in: Tagungsband 17. Symposium Photovoltaische Solarenergie, OTTI-Energie-Kolleg, Bad Staffelstein, 13. – 15.3.2002, 51 – 58

- Georg, A.; Hauch, A.; Opara Krasovec, U.¹; Orel, B.; Wittwer, V.
»Photoelectrochromic Window«
in: <http://www.materialsweek.org>,
Deutsche Gesellschaft für
Materialkunde, Materials Week,
30.9. – 2.10.2002, München
(¹: Albert-Ludwigs-Universität,
Freiburger Materialforschungszentrum FMF, Freiburg)
- Geyer, M.¹; Lerchenmüller, H.;
Wittwer, V.; Häberle, A.²;
Lüpfert, E.³; Hennecke, K.³;
Schiel, W.⁴; Brakmann, G.⁵
»Parabolrinnensysteme«, in:
Tagungsband zur Jahrestagung
des Forschungsverbunds
Sonnenenergie, 14./15. Oktober
2002, in Druck
(¹: Flabeg Solar International
GmbH)
(²: PSE GmbH, Freiburg)
(³: Deutsches Zentrum für Luft-
und Raumfahrt DLR)
(⁴: Schlaich Bergemann und
Partner)
(⁵: Fichtner Solar GmbH)
- Glunz, S.W.; Dicker, J.; Esterle, M.;
Hermle, M.; Isenberg, J.;
Kamerewerd, F.; Knobloch, J.;
Kray, D.; Leimenstoll, A.; Lutz, F.;
Oßwald, D.; Preu, R.; Rein, S.;
Schäffer, E.; Schetter, C.;
Schmidhuber, H.; Schmidt, H.;
Steuder, M.; Vorgrimler, C.;
Willeke, G.
»High-Efficiency Silicon Solar Cells
for Low-Illumination Appli-
cations«, in: Proceedings of 29th
IEEE Photovoltaic Specialists
Conference (PVSC), New Orleans,
USA, 20. – 24.5.2002, in Druck
- Goetzberger, A.
»Applied Solar Energy«, in:
Proceedings of Rio02 World
Climate and Energy Event, Rio de
Janeiro, Brasil, 7. – 11.2.2002,
51 – 60
- Goetzberger, A.
»Photovoltaik – von der Ver-
gangenheit in die Zukunft«, in:
Tagungsband 17. Symposium
Photovoltaische Solarenergie,
OTTI-Energie-Kolleg, Bad
Staffelstein, 13. – 15.3.2002,
211 – 220
- Goetzberger, A.; Luther, J.;
Willeke, G.
»Solar Cells: Past, Present,
Future«, in: Solar Energy Materials
and Solar Cells, Vol. 74, Issue 1,
October 2002, 1 – 11
- Gombert, A.
»Mikrooptik im großen Stil«, in:
Physik-Journal Nr. 9, 1/2002,
37 – 41
- Gombert, A.; Bläsi, B.; Nitz, P.;
Bühler, C.
»Optik und Herstellung von mikro-
strukturierten Oberflächen für
Tageslichtanwendungen«, in:
Tagungsband 8. Symposium inno-
vative Lichttechnik in Gebäuden,
OTTI-Technologie-Kolleg,
Bad Staffelstein, 24./25.1.2002,
135 – 140
- Gombert, A.; Kübler, V.
»Im Schwitzkasten. Kondensation
in hocheffizienten Kollektoren:
welche Dämmstoffe geeignet
sind«, in: Sonnenenergie Nr. 4,
Juli 2002, 40 – 42.
- Gombert, A.
»An Overview of TPV Emitter
Technologies«, in: AIP Proceedings
of 5th Conference on Thermo-
photovoltaic Generation of
Electricity, 15. – 19.9.2002, Rom,
Italy, in Druck
- Green, M.A.¹; Emery, K.²; King,
D.L.³; Igarí, S.⁴; Warta, W.
»Solar Cell Efficiency Tables
(Version 20)«, in: Progress in
Photovoltaics, Nr. 10, August
2002, 355 – 360
(¹: Centre for Photovoltaic
Engineering, University of New
South Wales, Sydney, Australia)
(²: National Renewable Energy
Laboratory, Golden, USA)
(³: Sandia National Laboratories,
Albuquerque, USA)
(⁴: Energy Electronics Institute,
National Institute of Advanced
Industrial Science and Technology
(AIST), Ibaraki, Japan)
- Grohe, A.; Schneiderlöchner, E.;
Emanuel, G.; Preu, R.
»Laserunterstütztes Verfahren zur
Kontaktierung der Rückseite von
Silicium-Solarzellen«, in:
Tagungsband DPG Frühjahr-
tagung 2002, Regensburg,
11. – 15.3.2002, 189
- Hakenjos, A.; Schumacher, J.O.;
Hebling, C.
»Characterisation of PEM Fuel
Cells Using Impedance
Spectroscopy and Current
Distribution«, Poster Presentation
at Scientific Advances in Fuel Cell
Systems, 25./26.9.2002,
Amsterdam, Netherlands
- Häberle, A.¹; Zahler, C.¹;
Lerchenmüller, H.; Wittwer, C.;
Mertins, M.; Trieb, F.²; Dersch, J.²
»The Solarmundo Line Focussing
Fresnel Collector. Optical and
Thermal Performance and Cost
Calculations«, International
Symposium on Concentrated Solar
Power and Chemical Energy
Technologies, Zürich, Switzerland,
4. – 6.9.2002,
www.pse.de/downloads.html
(¹: PSE GmbH, Freiburg)
(²: Deutsches Zentrum für Luft-
und Raumfahrt DLR, Köln)
- Hauch, A.¹; Georg, A.;
Opara Krasovec, U.¹; Orel, B.²
»Comparison of Photoelectro-
chromic Devices with Different
Layer Configurations«, in: Journal
of Electrochemical Society,
September 2002, Nr. 149 (9),
H159 – H163
(¹: Albert-Ludwigs-Universität,
Freiburger Materialforschungz-
entrum FMF, Freiburg)
(²: National Institute of Chemistry,
Ljubljana, Slowenien)
- Hauch, A.¹; Georg, A.;
Opara Krasovec, U.¹; Orel, B.²
»Photovoltaically Self Charging
Battery«, in: Journal of Electro-
chemical Society, September 2002,
Nr. 149 (9), A1208 – A1211
(¹: Albert-Ludwigs-Universität,
Freiburger Materialforschungz-
entrum FMF, Freiburg)
(²: National Institute of Chemistry,
Ljubljana, Slowenien)
- Hebling, C.
»Portable Fuel Cell Systems«, in:
Fuel Cells Bulletin, Elsevier
Science, Oxford, United Kingdom
Juli 2002, 8 – 12
- Hebling, C.
»Miniature Fuel Cells for
Consumer Applications. The Fuel
Cell World«, in: Tagungsband
Luzern Fuel Cell Forum, Luzern,
Switzerland, 1. – 5.7.2002,
41 – 48
- Hebling, C.
»Fuel Cells for Portable
Applications«, in: Tagungsband 8th
Ulmer Electrochemical Talks, Ulm,
20./21.6.2002, 50
- Hebling, C.; Oedegaard, A.;
Schmitz, A.; Groos, U.; Zedda, M.;
Schumacher, J.O.; Hakenjos, A.;
Bilsing, A.¹; Kauffmann, A.²;
Bresseler, B.¹; Richter, M.¹;
Schwan, M.³; Hahn, R.⁴;
Schoening, S.³; Maurieschat, U.⁵;
Wagner, W.⁴
»Simulation, Characterization,
Construction and Manufacturing
of Small Fuel Cell Systems for Low
Power Applications«, in: Tagungs-
band Fuel Cell Seminar 2002,
Palm Springs, USA,
18. – 21.11.2002, 526 – 529
(¹: Fraunhofer-Institut für
Produktionstechnologie IPT,
Aachen)
(²: Fraunhofer-Institut für
Chemische Technologie ICT,
Pfinztal)
(³: Fraunhofer-Institut für Mikro-
elektronische Schaltungen und
Systeme IMS, München)
- Fakten im Überblick
- (⁴: Fraunhofer-Institut für Zuver-
lässigkeit und Mikointegration
IZM, Berlin)
(⁵: Fraunhofer-Institut für
Fertigungssteuerung und
Materialforschung IFAM, Bremen)
- Heinzel, A.¹; Vogel, B.; Hübner, P.
»Reforming of Natural Gas –
Hydrogen Generation for Small
Scale Stationary Fuel Cell
Systems«, in: Journal of Power
Sources 105 (2002), 202 – 207
(¹: Gerhard Mercator Universität,
Duisburg)
- Henning, H-M.
»Solare Klimatisierung von
Gebäuden«, in: 12. Symposium
Thermische Solarenergie, OTTI-
Energie-Kolleg, Bad Staffelstein,
24. – 26.4.2002, 211 – 221
- Henning, H-M.
»Solare Klimatisierung von
Gebäuden«, in: Tagungsband
6. Internationalen Symposium für
Sonnenenergienutzung –
Gleisdorf Solar 2002, Gleisdorf,
Österreich, 16. – 19.10.2002,
165 – 173
- Henning, H-M.
»Solare Klimatisierung von
Gebäuden – eine Übersicht«, in:
erneuerbare energie Nr. 2, Juli
2002, 4 – 8
- Henning, H-M.; Glaser, H.¹
»Erfahrungen mit einer Anlage der
solaren Kälteerzeugung mit
Adsorptionskältemaschine«, in:
erneuerbare energie Nr. 2,
Juli 2002, 9 – 11
(¹: Klinikum der Albert-Ludwigs-
Universität, Freiburg)
- Henning, H-M.; Wolkenhauer, H.¹;
Franzke, U.²
»Auslegung von Anlagen der sola-
ren Klimatisierung«, in: HLH
Heizung Lüftung/Klima Haus-
technik Bd. 53 (2002) Nr. 1 –
Januar, 42 – 49
(¹: KLIMAhaus Klima- und
Gebäudetechnik GmbH, Hamburg)
(²: Institut für Luft- und Kälte-
technik, Dresden)
- Herkel, S.
in: »SOLVIS – Auf dem Weg zur
Nullemissionsfabrik«, 2002,
Verlagsanstalt Alexander Koch,
ISBN 3-87422-803-7, 54 – 57

- Hindenburg, C.; Henning, H-M.
»Systemlösungen und Regelungskonzepte von Solarunterstützten Klimatisierungssystemen, Teil 2 – Sorptionsgestützte Klimatisierung«, in: HLH Heizung Lüftung/Klima Haustechnik Bd. 53 (2002) Nr. 6 – Juni, 83 – 90
- Hoffmann, V.U.; Armbruster, A.; Heydenreich, W.; Kiefer, K.
»Abschlussbericht – Wissenschaftliche Begleitung SONNEonline«, in: <http://www.sonneonline.de>
- Hoffmann, V.U.; Heins, M.¹
»Photovoltaik-Anlagen im Vorhaben Kirchengemeinden für die Sonnenenergie – erste Ergebnisse und Erfahrungen«, in: Tagungsband 17. Symposium Photovoltaische Solarenergie, OTTI-Energie-Kolleg, Bad Staffelstein, 13. – 15.3.2002, 191 – 195 (1: Deutsche Bundesstiftung Umwelt DBU, Osnabrück)
- Hube, W.; Wittwer, C.; Buschmann, S.
»Rücklauftemperatur der Heizung als Indikator zum Zustand solarer Gebäude – Systemoptimierung durch Rücklauf-Begrenzung«, in: Book of Abstracts 13. Internationales Sonnenforum, Berlin, 12. – 14.9.2002, 101 – 102, Langfassung auf CD-ROM
- Hube, W.; Wittwer, C.; Schossig, P.; Buschmann, S.
»Modellentwicklungen neuer Wandelemente in ColSim zur Untersuchung von Warmflussregelungen in solarthermischen Gebäudesystemen«, in: Tagungsband 12. Symposium Thermische Solarenergie, OTTI-Energie-Kolleg, Bad Staffelstein, 24. – 26.4.2002, 425 – 429
- Hübner, P.
»Reformierung von Kohlenwasserstoffen zur Wasserstoff-erzeugung für Brennstoffzellen«, in: 9. Tagungsband Fachforum Brennstoffzellen, OTTI-Energie-Kolleg, Ulm/Neu-Ulm, 7. – 9.10.2002, 239 – 247
- Hübner, P.; Siegel, C.; di Bella, A.
»Reforming of Liquid Fuels for PEM Fuel Cells«, in: Proceedings Fuel Cell Seminar, Palm Springs, USA, 18. – 21.11.2002, 768 – 771
- Huljic, D.M.; Thormann, S.; Preu, R.; Lüdemann, R.¹; Willeke, G.
»Pad printed front contact for c-Si solar cells – A technological and economical evaluation«, in: Proceedings of 29th IEEE Photovoltaic Specialists Conference (PVSC), New Orleans, USA, 20. – 24.5.2002, in Druck (1: Deutsche Cell, Freiberg)
- Isenberg, J.; Bartels, O.; Warta, W.
»Separation of Bulk Diffusion Length and Rear Surface Recombination Velocity in SR-LBIC Mappings«, in: Proceedings of 29th IEEE Photovoltaic Specialists Conference (PVSC), New Orleans, USA, 20. – 24.5.2002, in Druck
- Isenberg, J.; Dicker, J.; Riepe, S.; Ballif, C.; Peters, S.; Lautenschlager, H.; Schindler, R.; Warta, W.
»Correlation of Spatially Resolved Lifetime Measurements with Overall Solar Cell Parameters«, in: Proceedings of 29th IEEE Photovoltaic Specialists Conference (PVSC), New Orleans, USA, 20. – 24.5.2002, in Druck
- Isenberg, J.; Riepe, S.; Glunz, S.W.; Warta, W.
»Carrier Density Imaging (CDI): A Spatially Resolved Lifetime Measurement Suitable for In-Line Process-Control«, in: Proceedings of 29th IEEE Photovoltaic Specialists Conference (PVSC), New Orleans, USA, 20. – 24.5.2002, in Druck
- Kaiser, R.; Sauer, D.U.
»Wartungsfreie autonome Stromversorgung mit Parallelbetrieb verschiedener Speichertechnologien«, in: Design & Elektronik 2002, 145 – 147
- Kern, R.¹; Sastrawan, R.¹; Ferber, J.²; Stangl, R.; Luther, J.
»Modeling and Interpretation of Electrical Impedance Spectra of Dye Solar Cells Operated under Open-Circuit Conditions«, in: Electrochimica Acta, Vol.47, 2001, 4213 – 4225 (1: Albert-Ludwigs-Universität, Freiburger Materialforschungszentrum FMF, Freiburg) (2: MicroLas Lasersystem GmbH, Göttingen)
- Klappert, S.¹; Untiedt, D.¹; Preu, R.; Emanuel, G.; Huljic, D.M.; Lüdemann, R.²; Eversheim, W.¹
»Innovative Production Technologies for Solar Modules – SOLPRO III«, in: Proceedings of PV in Europe, from PV Technology to Energy Solutions, Rom, Italy, 7. – 11.10.2002, in Druck (1: Fraunhofer-Institut für Produktionstechnologie, Aachen) (2: Deutsche Cell GmbH, Freiberg)
- Koschikowski, J.; Rommel, M.; Wieghaus, M.
»Development of Solar Collectors with Corrosion-Free Absorbers for Operation in Desalination Plants«, in: Proceedings of World Renewable Energy Congress VII & Exhibition, Köln, 29.6. – 5.7.2002, 404
- Koschikowski, J.; Rommel, M.; Wieghaus, M.
»Solar Thermal Driven Desalination Plants Based on Membrane Distillation«, in: Proceedings of Production (MDIW 2002), Mühlheim a.d.R., Int. Water Assoc. und EDS und AWWA und JWVA, Membranes in Drinking and Industrial Water, 22. – 26.9.2002, 211 – 218
- Kray, D.; Willeke, G.
»50 µm Wafering Techniques – First Experimental Results«, in: Proceedings of 12th Workshop on Crystalline Silicon Solar Cell Materials and Processes, Breckenridge, USA, 11. – 14.8.2002, in Druck
- Luther, J.
»The Future for Renewable Energy 2«, EUREC Agency, James & James London 2002, ISBN 1-90291-631-X
- Luther, J.; Agert, C.
»Bemerkungen zur Evolution unserer Energiesysteme: Die Bedeutung langfristiger Strategien«, in: »Das Magazin 4/2002 zum Gipfel von Johannesburg«, Wissenschaftszentrum Nordrhein-Westfalen, Düsseldorf
- Mächel, H.; Lüdemann, R.¹
»Detailed Study of the Composition of Hydrogenated SiN_x Layers for High-Quality Silicon Surface Passivation«, in: Journal of Applied Physics, Vol. 92 #5, 1. Sept. 2002, 2602 – 2609 (1: Deutsche Cell, Freiberg)
- Majdandzic, L.
»Konzept des Modells eines energieautonomen Solarhauses auf der Insel Krk in Kroatien«, in: Tagungsband 13. Internationales Sonnenforum, Berlin, 12. – 14.9.2002, in Druck
- Majdandzic, L.
»Projekt eines energieautonomen Solarhauses auf der Insel Krk in Kroatien«, 12. Symposium Thermische Solarenergie, Bad Staffelstein, 24. – 26.4.2002, 202 – 207
- Majdandzic, L.; Sauer, D.U.
»Project of a Self-Sufficient Solar Building on the Island of Krk – Croatia«, in: Faculty of Engineering, University of Rijeka, Croatia, Energy and the Environment, 23. – 25.10.2002, Opatija, Croatia, 85 – 90
- Nitz, P.; Wagner, A.¹
»Schaltbare und regelbare Verglasungen«, in: BINE-Themen-Info I/2002, ISSN 1610 – 8302 (1: Universität Karlsruhe, Karlsruhe)
- Herkel, S.
»SOLVIS Fabrik – Energie- und Tageslichtkonzept«, in: Intelligente Architektur 09 – 10/2002, 38 – 39
- Herkel, S.
»Nullemissionsfabrik SOLVIS«, in: EnergieEffizientes Bauen 3/2002, 34 – 38
- Herkel, S.; Riecks, D.¹; Ufheil, M.²
»Verwaltungs- und Produktionsgebäude Solvis – auf dem Weg zur Nullemissionsfabrik«, in: Tagungsband 12. Symposium Thermische Solarenergie, OTTI-Energie-Kolleg, Bad Staffelstein, 24. – 26.4.2002, 542 – 549 (1: Banz + Riecks Diplomingenieure BDA, Bochum) (2: solares bauen Ingenieurgesellschaft mbH, Freiburg)
- Herkel, S.; Pfafferott, J.; Wambsganß, M.¹
»Design, Monitoring and Evaluation of a Low Energy Office Building with Passive Cooling by Night Ventilation«, in: Tagungsband 3rd European Conference on Energy Performance & Indoor Climate in Buildings EPIC 2002, Lyon, France, 23. – 26.10.2002, 487 – 492 (1: Universität Karlsruhe fbta, Karlsruhe)
- Hermann, M.; Koschikowski, J.; Rommel, M.
»Corrosion-Free Solar Collectors for Thermally Driven Seawater Desalination«, in: Solar Energy, Vol. 72, No. 5, Mai 2002, 415 – 426
- Hermann, M.; Wittwer, C.; Hube, W.; Gschwander, S.; Pfistner, A.¹
»Solarhaus Gundelfingen – Digitales Durchflusskonzept für minimalen Energieverbrauch« in: 12. Symposium Thermische Solarenergie, OTTI-Energie-Kolleg, Bad Staffelstein, 24. – 26.4.2002, 391 – 395 (1: Universität Karlsruhe, Karlsruhe)
- Hindenburg, C.
»Solar autarke sorptionsgestützte Klimaanlage mit Solarluftkolektoren – erste Betriebserfahrungen«, in: erneuerbare energie, April 2002, 12 – 16

- Oedegaard, A.; Hebling, C.; Schmitz, S.; Møller-Holst, S.; Tunold, R.
»Influence of Diffusion Layer Properties on Low Temperature DMFC«, in: Power Sources (Special Edition), 8th Ulm Electrochemical Talks, Ulm, 20./21.6.2002, in Druck
- Oedegaard, A.; Schmitz, A.; Hebling, C.; Møller-Holst, S.; Tunold, R.
»The Effect of Diffusion Layer on Low Temperature DMFC«, in: Abstract Book Fuel Cell Seminar 2002, 18. – 21.11.2002, Palm Springs, USA, 258 – 261
- Peters, S.; Ballif, C.; Borchert, D.; Schindler, R.; Warta, W.; Willeke, G.
»Record Fast Thermal Processing of 17.5% Efficient Silicon Solar Cells«, in: Semiconductor Science and Technology, Nr.17 (2002), 677 – 681
- Peters, S.¹; Lee, J.Y.; Ballif, C.¹; Borchert, D.¹; Glunz, S.W.; Warta, W.; Willeke, G.
»Rapid Thermal Processing: a Comprehensive Classification of Silicon Materials«, in: Proceedings of 29th IEEE Photovoltaic Specialists Conference (PVSC), New Orleans, USA, 20. – 24.5.2002, in Druck (1: Fraunhofer ISE, Labor und Servicecenter Gelsenkirchen, Gelsenkirchen)
- Preu, R.; Schneiderlöchner, E.; Grohe, A.; Glunz, S.; Willeke, G.
»Laser Fired Contacts (LFC) – Transfer of a Simple Efficiency Process Scheme to Industrial Production«, in: Proceedings of 29th IEEE Photovoltaic Specialists Conference (PVSC), New Orleans, USA, 20. – 24.5.2002, in Druck
- Puls, H.-G.
»Betriebswirtschaftliche Gesamtsystembetrachtung«, in: Tagungsband Dezentrale Stromversorgung mit Photovoltaik, OTTI-Energie-Kolleg, Regensburg, 30./31.1.2002, 361 – 386
- Reber, S.
»PTJ-Jahresbericht 2001 für das Projekt APROKSI«, in: PTJ-Jahresbericht 2001 im Internet (<http://www.ptj-jahresbericht.de>) und auf CD-ROM, 28.2.2002.
- Rein, S.¹; Glunz, S.W.; Willeke, G.
»Statusreport 2002 – Projekt VOCSI. Elektrische und thermische Eigenschaften des metastabilen Defektes in bordorientiertem Cz-Si«, in: Tagungsband Statustreffen 2002 ForschungsVerbund Sonnenenergie FVS, Würzburg, 18./19.2.2002, 25 – 34 (1: Albert-Ludwigs-Universität, Freiburger Materialforschungszentrum FMF, Freiburg)
- Rein, S.¹; Lichtner, P.; Warta, W.; Glunz, S.W.
»Advanced Defect Characterisation by Combining Temperature- and Injection-Dependent Lifetime Spectroscopy (TDLS and IDLS)«, in: Proceedings of 29th IEEE Photovoltaic Specialists Conference (PVSC), New Orleans, USA, 20. – 24.5.2002, in Druck (1: Albert-Ludwigs-Universität, Freiburger Materialforschungszentrum FMF, Freiburg)
- Rentsch, J.; Huljic, D.M.; Reber, S.; Preu, R.; Lüdemann, R.¹
»Progress in Screen-Printed Front Side Metallization Schemes for CsITF Solar Cells«, in: Proceedings of 29th IEEE Photovoltaic Specialists Conference (PVSC), New Orleans, USA, 20. – 24.5.2002, in Druck (1: Deutsche Cell, Freiburg)
- Rommel, M.; Koschikowski, J.; Schuler, M.; Schmidt, V.
»Neuer Solarsimulator zur Indoor-Vermessung thermischer Solar-kollektoren am Fraunhofer ISE« in: 12. Symposium Thermische Solarenergie, OTTI-Energie-Kolleg, Bad Staffelstein, 24. – 26.4.2002, 107 – 111
- Roth, W.
»Dezentrale Stromversorgung mit Photovoltaik – Einleitung«, in: Seminarband Fachseminar Dezentrale Stromversorgung mit Photovoltaik, OTTI-Energie-Kolleg, Regensburg, 30./31.1.2002, 7 – 47
- Roth, W.
»Anwendungen – Telekommunikation und Telematik«, in: Seminarband Fachseminar Dezentrale Stromversorgung mit Photovoltaik, OTTI-Energie-Kolleg, Regensburg, 30./31.1.2002, 419 – 449
- Roth, W.
»Photovoltaik zur Stromversorgung im Bahnbereich«, in: Elektrische Bahnen eb, Nr. 8-9-2002, 345 – 353
- Roth, W.; Anton, L.; Benz, J.; Kaiser, R.; Kuhmann, J.; Puls, H.G.; Pfanner, N.; Roth, W.; Schmidt, H.; Schulz, W.; Steinhüser, A.
»Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben »Photovoltaik für Geräte und Kleinsysteme«, Technische Informationsbibliothek (TIB), Hannover, 275 Seiten
- Roth, W.; Kaiser, R.¹
»Grundlagen zur Nutzung der Sonnenenergie«, in: Seminarband Fachseminar Dezentrale Stromversorgung mit Photovoltaik, OTTI-Energie-Kolleg, Regensburg, 30./31.1.2002, 49 – 70 (1: freier Mitarbeiter)
- Roth, W.; Steinhüser, A.
»Anwendungen – Industrieprodukte und Kleinsysteme«, in: Seminarband Fachseminar Dezentrale Stromversorgung mit Photovoltaik, OTTI-Energie-Kolleg, Regensburg, 30./31.1.2002, 387 – 418
- Roth, W.; Steinhüser, A.; Pfanner, N.
»Photovoltaik für Geräte und Kleinsysteme«, in: Tagungsband 17. Symposium Photovoltaische Solarenergie, OTTI-Energie-Kolleg, Bad Staffelstein, 13. – 15.3.2002, 117 – 122
- Rumyantsev, V.D.¹; Andreev, V.M.¹; Sadchikov, N.A.¹; Bett, A.W.; Dimroth, F.; Lange, G.
»Experimental Installations with High-Concentration PV Modules using III-V Solar Cells«, in: Proceedings of PV in Europe, from PV technology to energy solutions, 7. – 11.10.2002, Rom, Italy, in Druck (1: Ioffe Physico-Technical Institute, St. Petersburg, Russia)
- Rushworth, S.¹; Smith, L.M.¹; Ravetz, M.¹; Odedra, R.¹; Coward, K.¹; Dimroth, F.; Bett, A.W.
»Improved Properties for MOVPE Layers Using Reduced Oxygen Content Precursors«, in: Journal of Crystal Growth, 11th European Workshop on MOVPE, Berlin, 3. – 7.6.2002, in Druck (1: Epichem Ltd., Merseyside, United Kingdom)
- Russ, C.; Bühring, A.; Sicre, B.
»Faktor 4 ist möglich – Untersuchung der Wärmeversorgung mit Wärmepumpen in Passiv-Wohnhäusern«, in: EnergieEffizientes Bauen 4/2002, 3 – 10
- Sastrawan, R.¹; Kern, R.; Hirsch, A.
»Electrochemical and Optical Impedance Spectroscopy on Dye Solar Cells«, in: Proceedings of International Conference Spectroelectrochemistry of Conduction Polymers, Moskau, Russia, 20. – 23.10.2002, 107 (1: Albert-Ludwigs-Universität, Freiburger Materialforschungszentrum FMF, Freiburg)
- Sastrawan, R.¹; Kern, R.; Hirsch, A.; Ferber, J.²
»Electrochemical and Optical Impedance Spectroscopy on Dye Solar Cells«, Poster Presentation at: International Conference Spectroelectrochemistry of Conduction Polymers, Moskau, Russia, 20. – 23.10.2002 (1: Albert-Ludwigs-Universität, Freiburger Materialforschungszentrum FMF, Freiburg) (2: MicroLas Lasersystem GmbH, Göttingen)
- Sauer, D.U.
»Batterien in Anlagen mit dezentraler Stromversorgung – Anforderungen an Batterien, Speicherkonzepte, Bleibatterien, Ladezustand, Betriebsführung«, in: Seminarband Fachseminar Dezentrale Stromversorgung mit Photovoltaik, OTTI-Energie-Kolleg, Regensburg, 30./31.1.2002, 133 – 189

Schmitz, A.; Wagner, S.¹;
Hahn, R.¹; Hebling, C.
»Miniaturized Planar Fuel Cell with
Self Breathing Cathode Side«, in:
Proceedings of Fuel Cell Seminar
2002, Palm Springs, USA,
18. – 21.11.2002, 165 – 168
(¹: Fraunhofer-Institut für Zuver-
lässigkeit und Mikrointegration
IZM, Berlin)

Schmitz, A.; Wagner, S.¹;
Hahn, R.¹; Tranitz, M.¹;
Hebling, C.
»Planar Fuel Cell in PCB Design«,
in: Proceedings of France-
Deutschland Fuel Cell Conference
2002, Forbach (F)-Saarbrücken (D),
7. – 10.10.2002, 337 – 341
(¹: Fraunhofer-Institut für
Zuverlässigkeit und Mikrointegra-
tion IZM, Berlin)

Schmitz, A.; Wagner, S.¹;
Hahn, R.¹; Uzun, H.¹; Hebling, C.
»Stability of Planar PEMFC in
Printed Circuit Board Technology«,
in: Sonderausgabe Journal of
Power Sources zu 8th Ulm
Electrochemical Talks, Ulm,
20./21.6.2002, in Druck
(¹: Fraunhofer-Institut für
Zuverlässigkeit und Mikrointegra-
tion IZM, Berlin)

Schneiderlöchner, E.; Grohe, A.;
Preu, R.; Glunz, S.W.; Willeke, G.
»Laser Fired Contacts – a Fast
Contact Process for Passivated
Rear Silicon Solar Cells«, in:
Proceedings of 29th IEEE Photo-
voltaic Specialists Conference
(PVSC), New Orleans, USA,
20. – 24.5.2002, in Druck

Schneiderlöchner, E.; Preu, R.;
Lüdemann, R.; Glunz, S.W.
»Laser Fired Contacts for c-Silicon
Solar Cells«, in: Progress in Photo-
voltaics Vol. 10 Nr. 1
(Januar/2002), 29 – 34

Schönecker, A.¹; Roberts, S.²;
Jooss, W.³; Ferrazza, F.⁴;
v. Kerschaver, E.⁵; Leistiko, O.⁶;
Glunz, S.W. et al.
»ACE Design: The Beauty of Rear
Contact Solar Cells«, in:
Proceedings of 29th IEEE Photo-
voltaic Specialists Conference
(PVSC), New Orleans, USA,
20. – 24.5.2002, in Druck
(¹: ECN, Petten, Netherlands)
(²: BP Solar, Sunbury, United
Kingdom)
(³: Universität Konstanz, Konstanz)
(⁴: Eurosolare, Nettuno, Italy)
(⁵: IMEC, Leuven, Belgium)
(⁶: MIC, Lyngby, Denmark)

Schossig, P.; Henning, H.-M.;
Raicu, A.; Haussmann, T.
»Mikroverkapselte Phasenwechsel-
materialien in Wandverbund-
systemen zur Komfortsteigerung
und Energieeinsparung«, in:
Tagungsband 12. Symposium
Thermische Solarenergie, OTTI-
Energie-Kolleg, Bad Staffelstein,
24. – 26.4.2002, 169 – 173

Seibert, U.
»Anwendungen – Wasserauf-
bereitung. Desinfektion und
Entsorgung«, in: Seminarband,
Fachseminar Dezentrale Strom-
versorgung mit Photovoltaik,
OTTI-Energie-Kolleg, Freiburg,
30./31.1.2002, 509 – 524

Siefer, G.; Baur, C.; Meusel, M.;
Dimroth, F.; Bett, A.W.; Warta, W.
»Influence of the Simulator
Spectrum on the Calibration of
Multi-Junction Solar Cells under
Concentration«, in: Proceedings of
29th IEEE Photovoltaic Specialists
Conference (PVSC), New Orleans,
USA, 20. – 24.5.2002, in Druck

Steinhüser, A.
»Computerunterstützte Auslegung
und Simulation von Photovoltaik-
Systemen« in: Seminarband
Fachseminar Dezentrale Stromver-
sorgung mit Photovoltaik,
OTTI-Energie-Kolleg, Regensburg,
30./31.1.2002, 301 – 338

Steinhüser, A.
»Simulationsprogramme« in:
Seminarband Fachseminar
Dezentrale Stromversorgung mit
Photovoltaik, OTTI-Energie-Kolleg,
Regensburg, 30./31.1.2002,
339 – 359

Strobl, G.¹; Hilgarth, J.¹; Nell, M.¹;
Dietrich, R.¹; Kern, R.¹;
Köstler, W.¹; Bett, A.W.;
Dimroth, F.; Schubert, U.;
Flores, C.²; Campesato, R.²;
Timò, G.²; LaRoche, G.³;
Signorini, C.⁴; Bogus, K.⁴
»Advanced GaInP/Ga(In)As/Ge
Triple-Junction Space Solar Cells«,
in: Proceedings of 6th European
Space Power Conference ESPC
2002 Conference, Porto, Portugal,
6. – 10.5.2002, 539 – 543
(¹: RWE Solar GmbH, Heilbronn)
(²: CESI S.p.A., Mailand, Italy)
(³: Astrium GmbH, München)
(⁴: ESA/ESTEC, Noordwijk,
Netherlands)

Sulima, O.V.¹; Bett, A.W.;
Dutta, P.S.²; Mauk, M.G.¹;
Mueller, R.L.³
»Gasb-InGaSb and Ge-TPV Cells
with diffused emitters«, in:
Proceedings of 29th IEEE Photo-
voltaic Specialists Conference
(PVSC), New Orleans, USA, 20. –
24.5.2002, in Druck
(¹: AstroPower Inc., Newark, USA)
(²: Rensselaer Polytechnic Institute,
New York, USA)
(³: Jet Propulsion Laboratory,
Pasadena, USA)

Sulima, O.V.¹; Bett, A.W.;
Mauk, M.G.¹; Ber, B.Y.;
Dutta, P.S.²
»Diffusion on Zn in TPV Materials:
GaSb, InGaSb, InGaAsSb and
InAsSbP«, in: Proceedings of 5th
Conference on Thermophotovol-
taic Generation of Electricity, Rom,
Italy, 15. – 19.9.2002, in Druck
(¹: AstroPower Inc., Newark, USA)
(²: Rensselaer Polytechnic Institute,
New York, USA)

Sulima, O.V.¹; Bett, A.W.;
Mauk, M.G.¹; Dimroth, F.;
Dutta, P.S.²; Mueller, R.L.³
»GaSb-, InGaAsSb-, InAsSbP- and
Ge-TPV Cells for Low-Temperature
TPV Applications«, in: Proceedings
of 5th Conference on Thermo-
photovoltaic Generation of
Electricity, Rom, Italy,
15. – 19.9.2002, in Druck
(¹: AstroPower Inc., Newark, USA)
(²: Rensselaer Polytechnic Institute,
New York, USA)
(³: Jet Propulsion Laboratory,
Pasadena, USA)

Vetter, M.; Wittwer, C.
»Brennstoffzellen – Heizgeräte:
Chance oder Risiko für die
Solarthermie?«, in: Tagungsband
12. Symposium Thermische
Solarenergie, OTTI-Energie-Kolleg,
Bad Staffelstein, 24. – 26.4.2002,
177 – 182

Vetter, M.; Wittwer, C.
»Model-Based Development of
Control Strategies for Domestic
Fuel Cell Cogeneration Plants«, in:
Proceedings of France-Deutschland
Fuel Cell Conference 2002
Forbach (F)-Saarbrücken (D),
7. – 10.10.2002, 77 – 84

Voss, K.; Engelmann, P.; Hube, W.;
Bühning, A.; Ufheil, M.¹;
Neumann, C.¹
»Solarenergie und Energieeffizienz
im Geschosswohnungsbau –
Ergebnisse, Erfahrungen und
Trends aus aktuellen Demonstra-
tionsobjekten«, in: Tagungsband
12. Symposium Thermische
Solarenergie, OTTI-Energie-Kolleg,
Bad Staffelstein, 24. – 26.4.2002,
521 – 528
(¹: solares bauen Ingenieurgesell-
schaft mbH, Freiburg)

Sauer, D.U.; Puls, H.-G.; Benz, J.;
Neutz, M.; Schmidt, H.; Hacker, B.;
Kerzenmacher, S.; Roth, W.
»PV-Wasserstoff-Systeme zur auto-
nomen Versorgung von Telekom-
munikationseinrichtungen«, in:
Tagungsband 17. Symposium
Photovoltaische Solarenergie,
OTTI-Energie-Kolleg, Bad
Staffelstein, 13. – 15.3.2002,
65 – 70

Schlemmer, C.¹; Aschaber, J.¹;
Boerner, V.²; Luther, J.
»Thermal Stability of Micro-
Structured Selective Tungsten
Emitters«, in: AIP Proceedings of
5th Conference on Thermophoto-
voltaic Generation of Electricity,
15. – 19.9.2002, Rom, Italy, in
Druck
(¹: Albert-Ludwigs-Universität,
Freiburger Materialforschungszentrum
FMF, Freiburg)
(²: Holotools GmbH, Freiburg)

Schmidhuber, H.
»Geräteintegrierte hocheffiziente
Solarmodule / Thermophoto-
voltaik«, in: Tagungsband sun21,
Fachtagung – Erneuerbare
Energien in der Entwicklungs-
zusammenarbeit, Basel,
28.6.2002, 57 – 64

Schmidt, H.
»Laderegler und Überwachungs-
einrichtungen für Batterien in pho-
tovoltaischen Energieversorgungs-
systemen«, in: Seminarband
Fachseminar Dezentrale Strom-
versorgung mit Photovoltaik, OTTI-
Energie-Kolleg, Regensburg,
30./31.1.2002, 191 – 211

Schmidt, H.; Roth, W.
»Dezentrale Stromerzeuger –
Solargenerator«, in: Seminarband
Fachseminar Dezentrale Strom-
versorgung mit Photovoltaik, OTTI-
Energie-Kolleg, Regensburg,
30./31.1.2002, 91 – 132

Schmitz, A.; Tranitz, M.¹;
Wagner, S.¹; Hakenjos, A.;
Hahn, R.¹; Hebling, C.
»Planar Self Breathing Fuel Cells«
in: Sonderausgabe Journal of
Power Sources zu Scientific
Advances in Fuel Cell Systems,
Amsterdam, Netherlands,
25./26.9.2002, in Druck
(¹: Fraunhofer-Institut für Zuver-
lässigkeit und Mikrointegration
IZM, Berlin)

- Voss, K.; Hastings, R.¹
 »Sustainable Solar Housing – Definitionen, Projekte und erste Analysen aus einem neuen Arbeitsschwerpunkt der Internationalen Energieagentur IEA«, in: Tagungsband 6. Europäische Passivhaustagung an der Swissbau, Basel, Switzerland, 25./26.1.2002, 97 – 103
 (1: AEU, Wallisellen, Switzerland)
- Voss, K.; Kiefer, K.; Reise, C.
 »Gebäudeenergiekonzepte mit Photovoltaik«, in: EnergieEffizientes Bauen 1/2002, 16 – 21
- Wagner, J.¹; Dobbins, A.¹; Hinsch, A.; Luther, J.
 »Dye Solar Cells with P3OT as Solid Hole Conductor Prepared by Mechanical Pressing«, in: Proceedings of European Materials Research Society Spring Meeting E-MRS 2002, Straßburg, France, 18. – 21.6.2002
 (1: Albert-Ludwigs-Universität, Freiburger Materialforschungszentrum FMF, Freiburg)
- Wald, L.¹; Albuissou, M.¹; Best, C.²; Delamare, C.¹; Dumortier, D.³; Gaboardi, E.⁴; Hammer, A.⁵; Heinemann, D.⁵; Kift, R.⁶; Kunz, S.⁷; Lefèvre, M.¹; Leroy, S.¹; Martinoli, M.⁴; Ménard, L.¹; Page, J.⁶; Prager, T.⁸; Ratto, C.⁹; Reise, C.; Remund, J.⁷; Rimoczi-Paal, A.⁸; van der Goot, E.²; Vanroy, F.³; Webb, A.⁶
 »SoDa: a Project for the Integration and Exploitation of Networked Solar Radiation Databases«, in: Proceedings 16th Symposium »EnviInfo«, Vienna, Austria, 25. – 27.9.2002
 (1: Ecole des Mines de Paris, Paris, France)
 (2: JRC, Ispra, Italy)
 (3: ENTPE, Lyon, France)
 (4: iCons Srl, Castelnuovo Bocca d'Adda, Italy)
 (5: Carl von Ossietzky Universität, Oldenburg)
 (6: University of Manchester, United Kingdom)
 (7: Meteotest AG, Bern, Switzerland)
 (8: HuMet, Budapest, Hungary)
 (9: University of Genova, Italy)
- Walkenhorst, O.; Luther, J.; Reinhart, C.¹; Timmer, J.²
 »Dynamic Annual Daylight Simulations Based on One-Hour and One-Minute Means of Irradiance Data«, in: Solar Energy Nr. 72, 5, 385 – 395
 (1: National Research Council Canada, Ottawa, Canada)
 (2: Albert-Ludwigs-Universität, Freiburg Centre for Data Analysis and Modelling fdm, Freiburg)
- Will, S.¹; Vogt, G.
 »Nicht-technische Kompetenzen bei der Implementierung von ländlicher Elektrifizierung«, in: Tagungsband 3. Forum Solarpraxis, Berlin, 14./15.11.2002, 303 – 308
 (1: PSE GmbH, Freiburg)
- Willeke, G.P.
 »Thin Crystalline Silicone Solar Cells«, in: Solar Energy Materials & Solar Cells Nr. 72 (2002), 191 – 200
- Willeke, G.
 »The Fraunhofer ISE Roadmap for Crystalline Silicon Solar Cell Technology«, in: 29th IEEE Photovoltaic Specialists Conference (PVSC), New Orleans, USA, 20. – 24.5.2002, in Druck
- Willeke, G.; Bett, A.W.
 »Hochkonzentrierende photovoltaische Großanlagen – Stand und Perspektiven«, in: Tagungsband Forschungsverbund Sonnenenergie FVS Jahrestagung, Stuttgart, 14./15.10.2002, in Druck
- Wilson, H.R.¹
 »Chromogenic Glazing: Performance and Durability Issues«, in: Proceedings of IEA SHC Task 27 Workshop, Ottawa, Canada, 1.10.2002, Lose-Blatt-Sammlung
 (1: Interpane Entwicklungs- und Beratungsgesellschaft mbH, Lauenförde)
- Wilson, H.R.¹; Blessing, R.¹; Hagenström, H.¹; Hutchins, M.G.²; Dvorjetski, D.²; Platzer, W.J.
 »The Optical Properties of Gasochromic Glazing«, in: Proceedings of 4th International Conference on Coatings on Glass, 3./4.11.2002, Braunschweig, 649 – 657
 (1: Interpane Entwicklungs- und Beratungsgesellschaft mbH, Lauenförde)
 (2: Oxford Brookes University, Oxford, United Kingdom)
- Wittwer, C.
 »ConCheck, der simulationsgestützte Regelungsentwurf von Solarthermie2000 Anlagen«, in: erneuerbare energien 10/2002, 52/53
- Wittwer, C.; Rommel, M.; Lustig, K.
 »ConCheck – Der simulationsgestützte Regelungsentwurf von Solarthermie 2000 Anlagen«, in: Tagungsband 12. Symposium Thermische Solarenergie, OTTI-Energie-Kolleg, Bad Staffelstein, 24. – 26.4.2002, 399 – 403
- Wittwer, C.; Vetter, M.
 »Betriebsführung von netzgekoppelten BZK-Anlagen in der Hausenergieversorgung«, in: Tagungsband Neuntes Fachforum Brennstoffzellen, OTTI-Energie-Kolleg, 7. – 9.10.2002, Ulm/Neu-Ulm, 305 – 311
- Wittwer, V.; Nitz, P.; Gombert, A.
 »Application of Microstructured Surfaces in Architectural Glazings«, in: Proceedings of 4th International Conference on Coatings on Glass, Braunschweig, 3. – 7.11.2002, 643 – 647
- Wolkenhauer, H.¹; Henning, H.-M.²; Franzke, U.²
 »Bewertungs- und Auswahlkriterien für Systeme der solarunterstützten Gebäudeklimatisierung«, in: HLH Heizung Lüftung/Klima Haustechnik Bd. 53 (2002) Nr. 2 – Februar, 48 – 55
 (1: KLIMAhaus Klima- und Gebäudetechnik GmbH, Hamburg)
 (2: Institut für Luft- und Kältetechnik, Dresden)
- Wolkenhauer, H.¹; Henning, H.-M.²; Franzke, U.²
 »Planung von Anlagen der solaren Klimatisierung«, in: HLH Heizung Lüftung/Klima Haustechnik Bd. 53 (2002) Nr. 5 – Mai, 43 – 52
 (1: KLIMAhaus Klima- und Gebäudetechnik GmbH, Hamburg)
 (2: Institut für Luft- und Kältetechnik, Dresden)

Abkürzungen

AC	Alternating Current	LBIC	Light Beam Induced Current	TCO	Transparent Conducting Oxide
Ag	Silber	LBSF	Local Back Surface Field	TDLS	Temperature Dependent Lifetime Spectroscopy
Al	Aluminium	LED	Light Emitting Diode	Ti	Titan
AlGaAs	Aluminiumgalliumarsenid	LPE	Liquid Phase Epitaxy	TiO ₂	Titandioxid
AM	Air Mass	mc	Multikristallin	TPV	Thermophotovoltaik
APCVD	Atmospheric Pressure Chemical Vapour Deposition	MCFC	Molten Carbonate Fuel Cell	TWD	Transparente Wärmedämmung
ASTM	American Society for Testing and Materials	mc-Si	Multikristallines Silicium	V _{oc}	Leerlaufspannung
Bi	Wismut	MFCA	Modulated Free Carrier Absorption	WO ₃	Wolframoxid
BFC	Bifacial Cell	MgF ₂	Magnesiumfluorid	WPVS	World Photovoltaic Scale
BHKW	Blockheizkraftwerk	MOCVD	Metal Organic Chemical Vapour Deposition	Zn	Zink
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung	MOVPE	Metal Organic Vapour Phase Epitaxy	η	Wirkungsgrad
BMWi	Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie	MPP	Maximum Power Point		
BMZ	Bundesministerium für Wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung	MSC	Miniature Solar Cell Mapping		
BSF	Back Surface Field	MW-PCD	Microwave-detected Photoconductance Decay Point		
CDI	Carrier Density Imaging	N ₂	Stickstoff		
CFD	Computational Fluid Dynamics	NOCT	Nominal Operating Cell Temperature		
CIS	Copper Indium Diselenide	PCM	Phase Change Material		
CNRS	Centre Nationale de la Recherche Scientifique	PCVD	Photocurrent and Voltage Decay		
CO	Kohlenmonoxid	Pd	Palladium		
CO ₂	Kohlendioxid	PDA	Personal Digital Assistant		
CPC	Compound Parabolic Concentrator	PECVD	Plasma Enhanced Chemical Vapour Deposition		
c-Si	Kristallines Silicium	PEM	Polymermembran		
CV	Capacitance/Voltage	PEMFC	Proton Exchange Membrane Fuel Cell		
CVD	Chemical Vapour Deposition	PERC	Passivated Emitter and Rear Cell		
Cz	Czochralski	POA	Power Optimised Aircraft		
DC	Direct Current	PV	Photovoltaik		
DIN	Deutsches Institut für Normung	RCC	Rear Contacted Cell		
DLTS	Deep Level Transient Spectroscopy	RCWA	Rigorous Coupled Wave Analysis		
DMFC	Direct Methanol Fuel Cell	RIE	Reactive Ion Etching		
EBIC	Electron Beam Induced Current	REM	Rasterelektronenmikroskop		
EBR	Etchback Regrowth	RPHP	Remote Plasma Hydrogen Passivation (Wasserstoffpassivierung)		
ECR	Electron Cyclotron Resonance	RP-PERC	Random Pyramid, Passivated Emitter and Rear Cell		
EFG	Edge-Defined Film-Fed Growth	RRC	Realistic Reporting Conditions		
EMC	Electromagnetic Compatibility	RTCVD	Rapid Thermal Chemical Vapour Deposition		
EMV	Elektromagnetische Verträglichkeit	RTP	Rapid Thermal Processing		
EN	Europäische Norm	S/C	Steam/Carbon-Ratio Dampf-/Kohlenstoffverhältnis		
EU	Europäische Union	SGK	Sorptionsgestützte Klimatisierung		
FF	Füllfaktor	Si	Silicium		
FCKW	Fluor-Chlor-Kohlenwasserstoffe	SIMOX	Separation by IMplanted OXYgen		
FhG	Fraunhofer-Gesellschaft	SiN _x	Siliciumnitrid		
FZ	Floating Zone	SiO ₂	Siliciumdioxid		
GaAs	Galliumarsenid	Sn	Zinns		
GaInP	Galliumindiumphosphid	SOFC	Solid Oxide Fuel Cell		
GaSb	Galliumantimonid	SPV	Surface Photovoltage		
Ge	Germanium	SSP	Silicon Sheets from Powder		
GSM	Global System for Mobile Communication	SR	Spectral Response		
IEA	International Energy Agency	SR-LBIC	Spatially Resolved Light Beam Induced Current		
IR	Infrarot				
K	Kelvin				
KMU	Kleine und Mittlere Unternehmen				
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung				
KW _p	Kilowatt Peak (Spitzenleistung)				

Die Fraunhofer-Gesellschaft betreibt anwendungsorientierte Forschung zum Nutzen für Unternehmen und zum Vorteil der Gesellschaft. Vertragspartner und Auftraggeber sind Industrie- und Dienstleistungsunternehmen sowie die öffentliche Hand. Im Auftrag und mit Förderung durch Ministerien und Behörden des Bundes und der Länder werden zukunftsrelevante Forschungsprojekte durchgeführt, die zu Innovationen im öffentlichen Nachfragebereich und in der Wirtschaft beitragen.

Mit technologie- und systemorientierten Innovationen für ihre Kunden tragen die Fraunhofer-Institute zur Wettbewerbsfähigkeit der Region, Deutschlands und Europas bei. Dabei zielen sie auf eine wirtschaftliche, sozial gerechte und umweltverträgliche Entwicklung der Gesellschaft.

Ihren Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern bietet die Fraunhofer-Gesellschaft eine Plattform zur fachlichen und persönlichen Qualifizierung für verantwortliche Positionen in ihren Instituten, in der Wirtschaft und in anderen Bereichen der Wissenschaft.

Die Fraunhofer-Gesellschaft betreibt derzeit rund 80 Forschungseinrichtungen, davon 57 Institute, an über 40 Standorten in ganz Deutschland. Rund 13 000 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, überwiegend mit natur- oder ingenieurwissenschaftlicher Ausbildung, bearbeiten das jährliche Forschungsvolumen von etwa einer Milliarde €. Davon fallen etwa 900 Millionen € auf den Leistungsbereich Vertragsforschung.

Niederlassungen in Europa, in den USA und in Asien sorgen für Kontakt zu den wichtigsten gegenwärtigen und zukünftigen Wissenschafts- und Wirtschaftsräumen.

Mitglieder der 1949 gegründeten und als gemeinnützig anerkannten Fraunhofer-Gesellschaft sind namhafte Unternehmen und private Förderer.

Ihren Namen verdankt die Gesellschaft dem als Forscher, Erfinder und Unternehmer gleichermaßen erfolgreichen Münchner Gelehrten Joseph von Fraunhofer (1787-1826).

Fraunhofer-Gesellschaft
Presse- und Öffentlichkeitsarbeit
Postfach 19 03 39
80603 München
www.fhg.de

Redaktion

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

Solar Consulting, Freiburg
Dr. Klaus Heidler

Gestaltung

www.netsyn.de
Joachim Würger,
Freiburg

Druck

Furtwängler, Denzlingen

Anschrift der Redaktion

Fraunhofer-Institut für
Solare Energiesysteme ISE
Presse und Public Relations
Heidenhofstraße 2
79110 Freiburg
Telefon +49 (0) 7 61/45 88-51 50
Telefax +49 (0) 7 61/45 88-93 42
info@ise.fhg.de
www.ise.fhg.de

Bestellung von Publikationen

Bitte per E-Mail oder per Fax

Bei Abdruck ist die Einwilligung der
Redaktion erforderlich.

©Fraunhofer-Institut für
Solare Energiesysteme ISE
Freiburg 2003

Neben diesem Jahresbericht finden
Sie eine Fülle weiterer Informationen
unter www.ise.fhg.de

Kontaktadresse

Fraunhofer-Institut für
Solare Energiesysteme ISE
Heidenhofstraße 2
79110 Freiburg
Telefon +49 (0) 7 61/45 88-0
Telefax +49 (0) 7 61/45 88-90 00
info@ise.fhg.de
www.ise.fhg.de

