



Fraunhofer Institut
Solare Energiesysteme

Leistungen und Ergebnisse Jahresbericht 2001





Nach stetigem Wachstum auf heute rund 300 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter hat Europas größtes Solarforschungsinstitut nun erstmals ein eigenes Domizil. Im Sommer 2001 konnte das Fraunhofer ISE seinen Institutsneubau beziehen, der jeweils zur Hälfte vom Land Baden-Württemberg sowie dem Bundesministerium für Bildung und Forschung finanziert wurde. Mit einer Bau­summe in Höhe von 35 Mio € – die dem üblichen Kostenrahmen der öffentlichen Hand für Institutsgebäude dieser Größe entsprach – gelang es, ein Gebäude zu realisieren, das unter dem Motto »Vorbildliches Bauen mit der Sonne« Architektur und Solartechnik in beispielhafter Weise miteinander verbindet. Hohe Arbeitsplatz­qualität und effiziente Energienutzung unter selbstverständlicher Integration von Solarsyste­men waren die gemeinsame Zielsetzung des Bauherren, der Architekten Dissing+Weitling aus Kopenhagen, des Ingenieurbüros Rentschler&Riedesser aus Stuttgart sowie der Fachplaner aus dem Fraunhofer ISE.

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

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

Vorwort	4		
Das Institut im Profil			
- Kurzporträt	8		
- Organigramm	8		
- Das Forschungs- und Dienstleistungsangebot	8		
Das Institut in Zahlen	9		
Kuratorium	10		
Höhepunkte des Jahres 2001	11		
Kunden und Auftraggeber	12		
Internationale Kooperationen	14		
Die Abteilungen im Überblick	16		
Forschungstrends 2002	20		
Innovationen für den Markt	24		
Aus der Arbeit der Abteilungen	25		
		Aus der Arbeit der Abteilungen	
		Forschen & Entwickeln in Solarthermie und Optik	26
		- Oberflächenstrukturen zur gezielten Lichtverteilung	28
		- Sonnenschutz und Tageslichtnutzung durch Mikrostrukturen	29
		- Integration von komplexen Tageslichtsystemen in den Planungsprozess – Weiterentwicklung von Softwaretools	30
		- »ConCheck«: Entwicklung und Erprobung von Regelungssystemen für große solarthermische Anlagen	30
		- Mikroverkapselte Phasenwechselmaterialien in Wandverbundsystemen	31
		- Materialforschung für Adsorptionswärmespeicher: Einsatz molekularer Computersimulationen	32
		- Neue Gesamtenergieversorgungskonzepte für Gebäude	33
		- Photovoltaische Batterie	34
		- Farbstoff- und organische Solarzellen	35
		Messen & Prüfen in Solarthermie und Optik	38
		- Transparente Fassaden: Bewertung der solarthermischen und optischen Eigenschaften	40
		- SWIFT – Switchable Façade Technology: Transparente Fassaden mit steuerbarem Licht- und Energiedurchlass	41
		- Leistung, Haltbarkeit und Nachhaltigkeit von innovativen Fenstern und Solar-komponenten	42
		- Neuer Teststand für thermische Kollektoren – schneller und genauer	43
		Solares Bauen – Beraten, Planen, Umsetzen	44
		- Solares Bauen – Wohnhäuser	46
		- Solares Bauen – Gewerbliche Bauten	47
		- Solares Bauen – Querschnittsanalysen	49
		- Solare Klimatisierung	50
		- Solare Klimatisierung des Sitzungssaales der IHK Südlicher Oberrhein in Freiburg	51

Energietechnik	52	Elektronik	82
- Miniatur-Brennstoffzellensystem für einen digitalen Camcorder	54	- Kundenspezifische Leistungselektronik für Brennstoffzellensysteme	84
- Energiespeicherung mit einem reversiblen Elektrolyse/Brennstoffzellensystem	56	- Leistungsfähige Elektronik für Hybrid-systeme zur Versorgung von Tele-kommunikationseinrichtungen	85
- Wasserstofferzeugung durch Elektrolyse als Baustein einer emissionsfreien Energieerzeugung	57	- Photovoltaik für Geräte und Kleinsysteme	86
- Reformierung flüssiger Brennstoffe	58		
Solarzellen – Werkstoffe und Technologie	60	Netzgekoppelte Energiesysteme	88
- Neuartige und hocheffiziente Solarzellenstrukturen für kristallines Silicium	62	- Optimierung anspruchsvoller PV-Anwendungen am Gebäude – Beispiel: Neubau des Fraunhofer ISE	90
- Auf dem Weg zu kurzen Prozesszeiten	64	- Monitoring – ein übergreifendes Dienstleistungsangebot	92
- Neue Apparaturen für F&E an kristallinen Silicium-Dünnschichtsolarzellen	65		
- III-V Solarzellen und Epitaxie	66		
- Analyse örtlich verteilter Verluste in Silicium-Solarzellen	67		
- Expertenkreis: Innovative und rationelle Fertigungsverfahren für Silicium-Photovoltaikmodule – SOLPRO III	68	Fakten im Überblick	
- Labor- und Servicecenter Gelsenkirchen	69	Gastwissenschaftler	96
		Mitarbeit in Gremien	96
ISE Callab – Präzisionsmessung in der Photovoltaik	70	Vom Institut (mit-)organisierte Kongresse, Tagungen und Seminare	97
- Blitzmesstechnik für die Wirkungsgradbestimmung von Konzentrator-Solarzellen	72	Vorlesungen und Seminare	97
- Modulkalibrierung – eine effiziente Methode zur Qualitätssicherung	73	Messebeteiligungen	97
		Patente	98
Netzunabhängige Energieversorgung und Speichersysteme	74	Promotionen	98
- Club zur ländlichen Elektrifizierung C.L.E. – Verbund deutscher Industriefirmen zur Entwicklung des Marktes für ländliche Elektrifizierung	76	Pressearbeit	99
- Rural Energy Supply Models – Wie erreicht man die ländlichen Kunden?	77	Unternehmensgründungen	99
- Konzepte für die Verknüpfung von dezentralen Wasser- und Stromversorgungssystemen auf Basis von regenerativen Energien in ländlichen Gebieten der Maghreb Region	78	Vorträge	100
- Planungsleitfaden für Energiekonzepte von Berghütten	79	Veröffentlichungen	103
- Entwicklung von Prüfprozeduren für Speicherbatterien in autonomen Stromversorgungssystemen	80	Abkürzungen	110
- Produktentwicklung einer PV-versorgten Trinkwasseraufbereitungsanlage	81	Impressum	111



Das große Ereignis im Jahr 2001 war für unser Institut der Einzug in das lang ersehnte eigene Institutsgebäude. Das Fraunhofer ISE ist damit seit langer Zeit im wesentlichen wieder unter einem Dach vereint. Das schafft zum einen die Möglichkeit zu weiteren wichtigen Synergien in den Bereichen Forschung, Entwicklung und High-Tech-Dienstleistungen, zum anderen bietet die funkelneue Infrastruktur unseres Instituts eine hervorragende Basis für noch bessere und innovativere Arbeiten im Sinne unserer Kunden.

In ausgesprochen enger Kooperation zwischen den Architekten und den externen und internen Fachplanern der ISE-Arbeitsgruppe »Solares Bauen« entstand nicht nur ein wunderschönes, hochfunktionales Gebäude für die angewandte Solar- und Energieforschung, es gelang auch, den Primärenergieaufwand für den Betrieb der Bürobereiche in etwa zu halbieren. Dabei wurde der vorgegebene Kostenrahmen selbstverständlich eingehalten. Näheres zum Gebäudekonzept finden Sie unter www.solarbau.de, unserem Internetservice, den wir im Rahmen der Begleitforschung zum Förderprogramm SolarBau des BMWi entwickelt haben.

Der Einzug in unser neues Domizil fiel fast auf den Tag genau zusammen mit dem 20. Geburtstag des Fraunhofer ISE. Wir konnten beide Feste gemeinsam mit vielen hochrangigen Ehrengästen aus Politik, Wirtschaft und Wissenschaft gebührend feiern. Anlässlich dieses Ereignisses hatte ich die Möglichkeit, dem Ministerpräsidenten des Landes Baden-Württemberg und den Vertretern des Bundes noch einmal im Namen des ganzen Instituts für die gemeinsame Finanzierung unseres Neubaus von Herzen zu danken.

Besonders gefreut hat uns, dass mehr als 100 ehemalige Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des Fraunhofer ISE unserer Einladung gefolgt waren, das Doppelfest angemessen mit uns zu feiern.

Wie auch im Jahr 2000 konnte das Fraunhofer ISE 2001 erneut um etwa 10% wachsen. Diese hoch erfreuliche Entwicklung, die wir sicherlich auch als Anerkennung unserer Arbeiten interpretieren dürfen, führte allerdings dazu, dass Arbeitsgruppen im Bereich »optisch-funktionale Oberflächen« auf etwa 2 000 m² am alten Standort des Instituts verbleiben mussten. Wir werden große Anstrengungen unternehmen, um 2002 für diesen Bereich gute Arbeitsflächen in Institutsnähe zu realisieren.

Trotz aller Bemühungen ist es mir nicht gelungen, Frau Prof. Angelika Heinzl an unserem Institut zu halten. Duisburg mit einem C4-Lehrstuhl und einem neuen »Zentrum für Brennstoffzellentechnik« waren, im Sinne des Wortes, zu attraktiv. Die Leitung der Abteilung »Energietechnik« hat zum 1.10.2001 Herr Dr. Christopher Hebling übernommen. Herr Hebling hatte in den letzten Jahren hoch erfolgreich den Marktbereich »Mikroenergietechnik« am Fraunhofer ISE entwickelt.

Herr Dipl.-Ing. Klaus Preiser, Abteilungsleiter »Elektrische Energiesysteme« wird Anfang 2002 bei unserem regionalen Energieversorger »badenova« den Bereich »Eigenerzeugung Strom und Wärme« übernehmen. Sein Nachfolger wird ab 1.1.2002 Herr Dr. Tim Meyer. Herr Meyer hat bereits mehrere Jahre in der Abteilung »Elektrische Energiesysteme« gearbeitet. In der letzten Zeit koordinierte er die strategische Geschäftsfeldplanung am Fraunhofer ISE.

Frau Heinzl und Herrn Preiser möchte ich auch an dieser Stelle noch einmal herzlich für das am Fraunhofer ISE in vielen Jahren Geleistete danken. Ich bin sicher, ich spreche im Namen des ganzen Instituts!

Die Umhabilitation von Herrn Dr. Volker Wittwer zur Fakultät für Angewandte Wissenschaften der Universität Freiburg, Fachgebiet Mikrosystemtechnik wurde im Juli 2001 abgeschlossen. Herrn Wittwer möchte ich ganz herzlich gratulieren. Der Fakultät gilt mein Dank für die langjährige gute Zusammenarbeit, die auf diese Weise noch einmal nachdrücklich unterstrichen werden konnte.

Mit einer großen Anstrengung aller ISE-Mitarbeiter gelang es uns, für das ganze Institut noch vor dem Einzug in unser neues Gebäude ein Qualitätsmanagementsystem nach DIN EN ISO 9001:2000 einzuführen. Das Zertifikat hierfür wurde am 30.3.2001 ausgestellt. Von der Zertifizierung versprechen wir uns vor allem eine optimierte und transparente Organisation unserer Projekt- und Forschungsarbeit. Wir hoffen so insbesondere für unsere Industriekunden noch interessanter zu werden. Im internationalen Raum wirkt sich die Zertifizierung schon jetzt positiv im Rahmen unserer Akquisitionsbemühungen aus.

Allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern unseres Instituts danke ich auch an dieser Stelle für die kreative, hoch motivierte und erfolgreiche Arbeit. Ihr engagierter Einsatz für das Fraunhofer ISE, insbesondere während der Umzugsphase, verdient uneingeschränkte Bewunderung. Mein besonderer Dank gilt unseren Auftraggebern aus Industrie, Ministerien und Europäischer Union, die durch ihr Interesse und ihr Vertrauen unsere Arbeiten erst ermöglichten.



Prof. Joachim Luther





»Vorbildliches Bauen mit der Sonne« - unter diesem Motto entstand in Zusammenarbeit der Architekten Dissing+Weitling, der Gebäudetechnikingenieure Rentschler&Riedesser sowie der Fachplaner des Fraunhofer ISE der Institutsneubau. Dank finanziellen Engagements von Bund und Land Baden-Württemberg, die jeweils zur Hälfte die Baukosten in Höhe von 35 Mio € trugen, hat das ISE nun erstmals ein eigenes Domizil.

Gleichzeitig mit der Gebäude-Einweihung feierte das Fraunhofer ISE auch sein 20-jähriges Jubiläum. Rund 400 Gäste aus Solarindustrie, Wissenschaft und Politik waren am 23. November nach Freiburg gekommen, um mit den ISE-Forschern zu feiern.



Abbildungen

Linke Seite:

Grußredner und VIP-Rundgang

- 1 v.l.n.r. DGS-Präsidentin Prof. Sigrid Jannsen, Ministerpräsident Erwin Teufel, Institutsleiter Prof. Joachim Luther
- 2 v.l.n.r. Oberbürgermeister Dr. Rolf Böhme, MdL Dr. Walter Witzel, Ministerpräsident Erwin Teufel, Parlamentarischer Staatssekretär BMWi Siegmар Mosdorf, Institutsleiter Prof. Joachim Luther
- 3 Erwin Teufel, Ministerpräsident des Landes Baden-Württemberg
- 4 Siegmар Mosdorf, Parlamentarischer Staatssekretär BMWi
- 5 Dr. Rolf Böhme, Oberbürgermeister Stadt Freiburg
- 6 Prof. Hans-Jürgen Warnecke, Präsident der Fraunhofer-Gesellschaft
- 7 VIP-Rundgang bei der Mikroenergietechnik, v.l.n.r. Oberbürgermeister Dr. Rolf Böhme, der Präsident der Fraunhofer-Gesellschaft Prof. Hans-Jürgen Warnecke, der Parlamentarische Staatssekretär im Bundeswirtschaftsministerium Siegmар Mosdorf, dahinter MdL Dr. Walter Witzel, Ministerpräsident Erwin Teufel, der Abteilungsleiter Energietechnik Dr. Christopher Hebling



Rechte Seite:

- 8 links: Prof. Joachim Luther, Institutsleiter ISE
rechts: Sören Andersen, Dissing+Weitling, Kopenhagen

Im Rahmen der international ausgerichteten Podiumsdiskussion »Was braucht der Solarmarkt morgen und übermorgen« diskutierten Vertreter aus Industrie und Forschung die F&E-Zukunftsthemen für Photovoltaik, Solarthermie und Wasserstofftechnologie.

- 9 links: Prof. Peter Woditsch, Deutsche Solar AG
rechts: Dr. Rolf Blessing, Interpane Entwicklungs- und Beratungsgesellschaft mbH
- 10 links: Prof. Claes-Goran Granqvist, Uppsala Universitet, Schweden
rechts: Prof. Johan Nijs, IMEC, Belgien
- 11 links: Dr. Werner Lehnert, Forschungsallianz Brennstoffzellen Baden-Württemberg
rechts: Ingolf Baur, Moderator, SWR/3sat
- 12 Günter Cramer, SMA Regelsysteme GmbH



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

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

Das Institut ist in ein Netz von nationalen und internationalen Kooperationen eingebunden, es ist u.a. Mitglied des Forschungsverbundes Sonnenenergie und der European Renewable Energy Centers (EUREC) Agency. Besonders eng ist die Zusammenarbeit mit der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg.

Forschungs- und Dienstleistungsangebot

Das Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE ist Mitglied der Fraunhofer-Gesellschaft, einer Non-profit-Organisation, die sich als Mittler zwischen universitärer Grundlagenforschung und industrieller Praxis versteht. Es finanziert sich über angewandte Forschung und Dienstleistung für die technische Nutzung erneuerbarer Energiequellen. Ob mehrjähriges Großprojekt oder Kurzberatung, kennzeichnend für die Arbeitsweise ist der Praxisbezug und die Orientierung am Kundennutzen.

Organigramm

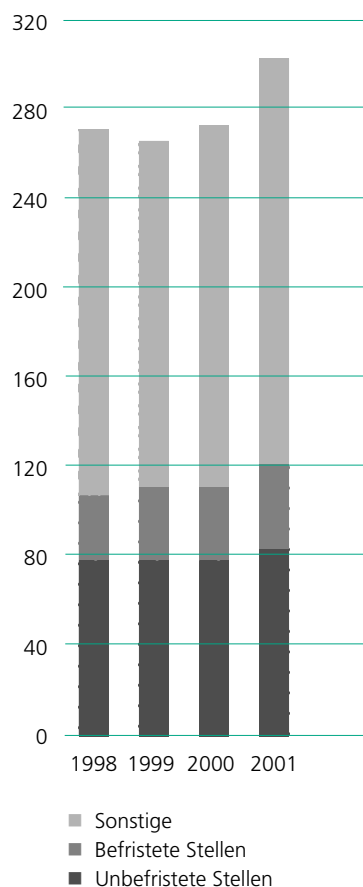
Institutsleitung	Prof. Joachim Luther	
Abteilungen	Thermische und Optische Systeme Priv. Doz. Dr. Volker Wittwer	+49 (0) 7 61/45 88-51 43
	Energietechnik Dr. Christopher Hebling*	+49 (0) 7 61/45 88-51 95
	Solarzellen - Werkstoffe und Technologie Priv. Doz. Dr. Gerhard Willeke	+49 (0) 7 61/45 88-52 66
	Elektrische Energiesysteme Dipl.-Ing. Klaus Preiser **	+49 (0) 7 61/45 88-52 16
Verwaltung, Technik und Servicebereiche	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. Tim Meyer***	+49 (0) 7 61/45 88-53 46

* Bis 30.9.2001 Prof. Angelika Heinkel

** Ab 1.1.2002 Dr. Tim Meyer

*** Ab 1.8.2002 Dr. Carsten Agert

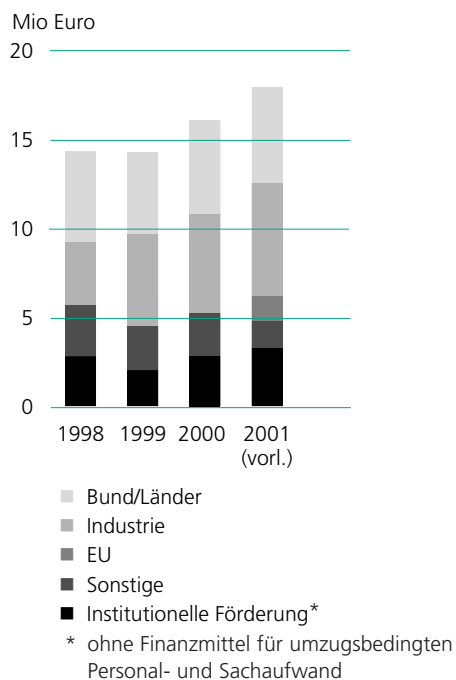
Personalentwicklung



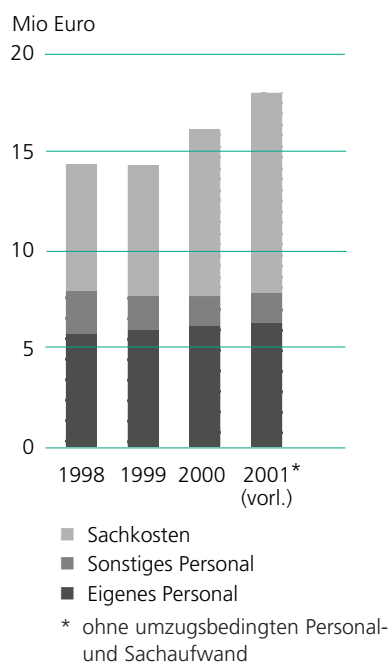
Eine wichtige Stütze des Instituts sind die »sonstigen« Mitarbeiter, welche die Arbeit in den Forschungsprojekten unterstützen und so wesentlich zu den erzielten wissenschaftlichen Ergebnissen beitragen. Im Dezember 2001 waren dies 35 Doktoranden, 37 Diplomanden, 9 Praktikanten, sowie 73 wissenschaftliche und 28 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 2001 Investitionen (außerhalb des Neubaubereichs) in Höhe von 2,6 Mio Euro.

Erträge



Kosten



Das Kuratorium begutachtet die Forschungsprojekte und berät die Institutsleitung und den Vorstand der Fraunhofer-Gesellschaft bezüglich des Arbeitsprogrammes des Fraunhofer ISE.
Stand: Januar 2002

Vorsitzender

Prof. Peter Woditsch
Deutsche Solar GmbH, Freiberg

Prof. Thomas Herzog
Technische Universität München

Stellvertretender Vorsitzender

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

Dr. Winfried Hoffmann
RWE SOLAR GmbH, Alzenau

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

Dr. Holger Jürgensen
Aixtron AG, Aachen

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. Richard Einzinger
Siemens Solar GmbH, München

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

Dr. Klaus Hassmann
Siemens AG, Erlangen

Prof. Werner Kleinkauf
Gesamthochschule Kassel, Kassel

Regierungsdirektor Dr. Thomas Pflüger
Ministerium für Wissenschaft, Forschung
und Kunst Baden-Württemberg, Stuttgart

Ministerialrat Peter Rothemund
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

Forschung und Entwicklung

- Nullemissions-Fabrik für einen Kollektorhersteller konzipiert
- Thermischen Kollektor mit korrosionsfestem Absorber zur Meerwasserentsalzung in einer Pilotanlage auf Gran Canaria erfolgreich erprobt
- Prismatische Mikrostrukturen für Tageslichtanwendungen mit holographischen Belichtungsverfahren hergestellt
- Querschnittsanalysen zum Energiebedarf und Energieaufwandszahlen in 100 realisierten Solar-Passivhäusern erstellt
- Digiflow: Thermo-hydraulisch optimierte Heizkreisregelung auf der Basis eines vernetzten »Embedded System« erstmals im Betrieb getestet
- Erdgasreformierung für Hausenergieversorgung durch eine 1 kW-Brennstoffzelle realisiert
- Prototyp zur Reformierung von Diesel zur Wasserstoffherzeugung entwickelt
- Miniaturisiertes Brennstoffzellen-System für handelsüblichen Camcorder von »Fraunhofer-Initiative Mikrobrennstoffzelle« der Öffentlichkeit präsentiert
- Brennstoffzellensteuerungen mit höchstem Wirkungsgrad für extreme Einsatzbedingungen (Camcorder, Laptop) entwickelt
- Katalysatoren mit reduzierter Edelmetallbelastung erreichen 80 % Wirkungsgrad bei der Benzinreformierung
- 20,5 % effiziente kristalline Silicium-Solarzelle aus einem 72 µm dünnen Wafer konventionell prozessiert
- Neue SSP (Silicon Sheet from Powder) und Si-CVD-Anlagen entwickelt und in China installiert
- Durchlauf-Pilotlinie für multikristalline Silicium-Solarzellen im Labor- und Servicecenter Gelsenkirchen in Betrieb genommen
- Monolithische Konzentratorzelle mit zwei Übergängen aus $\text{Ga}_{0,35}\text{In}_{0,65}\text{P}/\text{Ga}_{0,83}\text{In}_{0,17}\text{As}$ erreicht bei 300-facher Sonnenkonzentration 31,1 % Wirkungsgrad
- Mechanisch gestapelte Konzentratorzelle mit drei Übergängen aus $\text{Ga}_{0,35}\text{In}_{0,65}\text{P}/\text{Ga}_{0,83}\text{In}_{0,17}\text{As} - \text{GaSb}$ erreicht bei 300-facher Sonnenkonzentration den Weltrekord-Wirkungsgrad von 33,5 %
- Erste funktionstüchtige Infrarot-Solarzelle mit zwei Übergängen aus $\text{AlGaAsSb}/\text{GaSb}$ hergestellt
- Verfahren zur Ertragsüberprüfung von PV-Anlagen auf der Basis von Satellitendaten kommerzialisiert
- Kompaktsystem zur dezentralen Trinkwasserversorgung und -aufbereitung (WATERpps) als Produkt entwickelt
- C.L.E. - Club zur Ländlichen Elektrifizierung mit 20 Industriepartnern gegründet und Basis für eine erfolgreiche deutsche Exportstrategie von Erneuerbaren Energietechnologien gelegt

Rufe, Ernennungen, Preise

Frau Prof. Angelika Heinzl hat den Ruf auf eine C4 Professur an der Universität GH Duisburg, Lehrstuhl Energietechnik, angenommen.

Herr Prof. Joachim Luther wurde von der Bundesministerin für Bildung und Forschung, Frau Edelgard Bulmahn und dem Bundesminister für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Herrn Jürgen Trittin, für vier Jahre als neues Mitglied in den »Wissenschaftlichen Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen WGBU« berufen.

Herr Dr. Ralf Preu erhielt den Förderpreis der Sparkasse Hagen für hervorragende Promotionsleistungen. Der Preis wurde am 26. Oktober 2001 im Rahmen des DIES ACADEMICUS 2001 überreicht.

Frau Dr. Petra Schweizer-Ries wurde auf der 17th European Photovoltaic Solar Energy Conference in München mit dem »Young Professionals Award« ausgezeichnet.

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, Niedereschbach
- Adam Opel AG
- Aixtron GmbH, Aachen
- Akkumulatorenfabrik Sonnenschein GmbH (Exide German Group), Büdingen
- Ambient Recording, München
- AMG Palermo, Palermo, Italien
- Applied Films, Alzenau
- Architekturbüro Köster, Frankfurt
- Autotype Ltd., Wantage, UK
- Badenova AG, Freiburg
- BASF AG, Ludwigshafen
- Bayer AG, Krefeld-Uerdingen
- Beratung für Batterien und Energietechnik - BBE, Osterode
- British Petroleum BP Solar International, Sunbury, Großbritannien
- Bug-Alu Technik AG, Kennelbach, Österreich
- Bundesministerium für Bildung und Forschung BMBF, Berlin
- Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie BMWi, Berlin
- Bundesverband Leichtbetonzuschlag-Industrie e.V., Stuttgart
- Caparol Farben, Lacke, Bautenschutz, Ober-Ramstadt
- Centrotherm GmbH, Blaubeuren
- Compagnie Européenne d'Accumulateurs CEAC, Gennevilliers, Frankreich
- Creavis GmbH, Marl
- Daimler-Chrysler AG, Stuttgart
- Degussa-Hüls AG, Hanau
- DETA Batterien, Bad Lauterberg
- Deutsche Bundesstiftung Umwelt, Osnabrück
- Deutsche Everlite GmbH, Wertheim (Main)
- Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit GmbH GTZ, Eschborn
- Deutsche Solar GmbH, Freiberg
- Deutscher Alpenverein DAV, München
- OMG AG, Hanau
- ECN, Petten, Niederlande
- EKRA Maschinenfabrik GmbH, Bönningheim
- Energie Baden-Württemberg AG, EnBW, Karlsruhe
- E.ON Energie AG, München
- Europäische Union EU, Brüssel, Belgien
- Flabeg Holding GmbH, Gelsenkirchen
- Flughafen Köln/Bonn GmbH
- Ford AG, Köln
- Freiburger Energie- und Wasserversorgungs-AG FEW, Freiburg
- Fresnel Optics GmbH, Apolda
- G+H Isover, Ladenburg
- Gaia Kapital-Beteiligungsgesellschaft mbH, Köln
- Gebäudemanagement Schleswig-Holstein (GMSH), Kiel
- Gebr. Märklin & Cie. GmbH, Göppingen
- Grammer KG, Amberg
- GreenONetec, Ebenthal, Österreich
- Grundwert Verwaltungs- und Projektentwicklungs- GmbH (GVP), Frankfurt
- H.C. Starck GmbH & Co. KG, Goslar
- Haas-Laser-GmbH & Co. KG, Schramberg
- Hagen Batterie AG (Exide German Group), Soest
- Handwerkskammer zu Köln, Köln
- Heidelberger Druckmaschinen AG, Heidelberg
- Heraeus Quarzglas GmbH & Co. KG, Kleinostheim
- Hochbauamt der Stadt Mannheim
- Hüppe Form, Oldenburg
- IBC Solartechnik, Staffelstein
- Institut für Mikrosystemtechnik IMTEK, Freiburg
- Institut für Angewandte Photovoltaik INAP GmbH, Gelsenkirchen
- Instituto Nacional De Tecnologia Agropecuaria, San Juan, Argentinien
- Interpane E&B mbH, Lauenförde
- Karl Süß GmbH & Co. KG, Garching
- Klimahaus Hamburg, Hamburg
- Labor für Bildschirmtechnik, Universität Stuttgart

- Landis & Staefa , Stuttgart
- M + W Zander GmbH, Stuttgart
- Maico Haustechnik, Villingen-Schwenningen
- Maxit Baustoff- und Kalkwerk Mathis GmbH, Merdingen
- Merck KGaA, Darmstadt
- Messer Mahler AG, Stuttgart
- MHZ-Hachtel, Leinfelden-Echterdingen
- Ministerium für Wissenschaft und Forschung, Baden-Württemberg, Stuttgart
- Moonlight, Wehr
- MVV Energie AG, Mannheim
- NLCC Architects Sdn. Kuala Lumpur, Malaysia
- Okalux Kapillarglas GmbH, Marktheidenfeld
- OMG AG, Hanau
- 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
- Roto Frank AG, Bad Mergentheim-Edelfingen
- RWE Power AG, Essen
- RWE Solar GmbH, Alzenau und Heilbronn
- RWTH Aachen, Aachen
- Saint Gobain Glass, Herzogenrath
- Schott Rohrglas GmbH, Mitterteich
- S.E. del Acumulador Tudor, S.A., Madrid, Spanien
- Shell Solar, Gelsenkirchen
- Siemens & Shell Solar Deutschland GmbH, München
- Solar World, Bonn
- Solar-Application GmbH, Freiburg
- Solarenergieförderverein Bayern e.V., München
- Solar-Fabrik GmbH, Freiburg
- Solarwatt GmbH, Dresden
- Solvis GmbH, Braunschweig
- Sorpetaler Objekte GmbH, Sundern-Hagen
- Stadt Freiburg, Universitätsklinikum, Freiburg
- Stadtwerke Karlsruhe, Karlsruhe
- Stadtwerke Pforzheim, Pforzheim
- STAWAG, Aachen
- Steca GmbH, Memmingen
- Stiftung Energieforschung Land Baden-Württemberg
- Sto AG, Stühlingen
- Süd-Chemie AG, München
- Südwestrundfunk, Landesstudio Mainz
- Sunlight Power Maroc, Rabat, Marokko
- Sunways, Konstanz
- Suptina Grieshaber, Schapbach
- TeCe, Selb
- TNTA, National Institute of Aeospace Technology, Madrid, Spanien
- Trama Tecno Ambiental, Barcelona, Spanien
- Transénergie, Lyon, Frankreich
- Truma AG, München
- Uni Solar, Zulte, Belgien
- Vegla GmbH, Aachen
- Velux A/S, Vedbaek, Dänemark
- Viessmann AG, Allendorf
- Wagner & Co., Cölbe
- Warema Renkhoff GmbH, Marktheidenfeld
- Webasto AG, München
- Weltbank, Washington, USA
- Wilo GmbH, Dortmund
- Wirtschaftsministerium NRW
- Würth Solar GmbH & Co. KG., Marbach am Neckar
- Wuseltronik, Berlin
- Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung ZSW, Stuttgart/Ulm

Internationale Kooperationen

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

- Agricultural University of Athens, Griechenland
- Air Liquide S.A., Sassenage, Frankreich
- Alcatel Standard Electricia S.A., Madrid, Spanien
- Altaier Zentrum Nichttraditionelle Energetik u. Energieeinsparung, Barnaul, Russland
- APEX Ingénierie, Laverune, Frankreich
- Aplicaciones Technicas de la Energía S.A. – ATER SA, Valencia, Spanien
- Arge Erneuerbare Energie, Gleisdorf, Österreich
- A. S. Joffe Institute, St. Petersburg, Russland
- Australian Cooperative Research Centre for Renewable Energy – ACRE, Perth, Australien
- Australian National University – ANU, Canberra, Australien
- Berner Fachhochschule, Bern, Schweiz
- BPP Technologie LSDE, Technical Implementation Unit, Energy Technology Laboratory, Serpong Tangerang, Indonesien
- British Petroleum BP Solar International, Sunbury, Großbritannien
- 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
- CIEMAT Instituto de Energías Renovables IER, Madrid, Spanien
- Compagnie Européenne d'Accumulateurs CEAC, Gennevilliers, Frankreich
- Consejo Superior de Investigaciones Cientificas CSIC, Madrid, Spanien
- Council on Renewable Energy CORE in the Mekong Riparian Countries
- Curtin University of Technology Western Australia, Perth, Australien
- 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
- Elkem, Kjeller, Norwegen
- ENEA, Rom, Italien
- ENECOLO AG, Mönchaltorf, Schweiz
- Epichem Ltd, Merseyside, UK
- Esbensen Consulting Engineers, Virum, Dänemark
- Europäische Union EU, Brüssel, Belgien
- Guangzhou Institute of Energy Conversion (GIEC), Guangzhou, China
- Hebrew University, Jerusalem, Israel
- Hochschule für Technik und Architektur, Burgdorf, Schweiz
- Hydrogen Systems, Sint-Truiden, Belgien
- Instituto Catalan de Energía ICAEN, Barcelona, Spanien
- Instituto de Energía Solar IES, Madrid, Spanien
- Instituto de Investigaciones Electricas, Cuernavaca, Morelos, Mexiko
- Instituto Nacional de Tecnica Aeroespacial »Esteban Terradas« INTA, Madrid, Spanien
- Instituto Nacional de Engenharia e Tecnologia Industrial INETI, Lissabon, Portugal
- International Energy Agency IEA, Paris, Frankreich
- Photovoltaic Power Systems Programme PVPS
- Task 5: »Grid Interconnection of Building Integrated and Other Dispersed PV Power Systems«
- Task 7: »Photovoltaic Power Systems in the Built Environment«
- Task 9: »PV Deployment in Developing Countries«
- Solar Heating & Cooling Programme SHCP
- Task 21: »Daylight in Buildings«
- Task 25: »Solar Assisted Air Conditioning of Buildings«

- Task 27: »Performance of Solar Building Envelope Components«
- Task 28: »Sustainable Solar Housing«
- Task 31: »Daylighting Buildings in the 21st Century«
- Interuniversity Microelectronics Center, IMEC, Leuven, Belgien
- Joint Research Center ISPRA, ESTI Group, 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
- LG Caltex Oil Corp., Seoul, Südkorea
- Microelectronic Center – MIC, Kopenhagen, Dänemark
- National and Kapodistrian University of Athens, Athen, Griechenland
- National Institute for Chemistry, Ljubljana, Slowenien
- National Renewable Energy Laboratory NREL, Golden, USA
- Naval Research Laboratory, Washington, USA
- Netherlands Energy Research Foundation ECN, Petten, Niederlande
- Nuvera Fuel Cells, Mailand, Italien
- Oxford Brookes University, Oxford, Großbritannien
- Reflexite, Rochester, USA
- RISOE – National Laboratory, Roskilde, Dänemark
- S. E. del Acumulador Tudor S.A., Madrid, Spanien
- Solarenergie Prüf- und Forschungsstelle, Rapperswil, Schweiz
- Staatliche Prüf- und Forschungsanstalt, Borås, Schweden
- TNO Building and Construction Research, Delft, Niederlande
- Tokyo University of Agriculture and Technology, Tokyo, Japan
- Total Energie, La Tour de Salvagny, Frankreich
- Toyota Technological Institute, Nagoya, Japan
- Trama Tecno Ambiental, Barcelona, Spanien
- Universidad Indonesia, Jakarta, Indonesien
- University Center of Excellence for Photovoltaic Research, Atlanta, USA
- University of California, Berkeley, USA
- Universidad San Juan UNSJ, San Juan, Argentinien
- Universität Zürich, Schweiz
- Universiteit Utrecht, Utrecht, Niederlande
- University of New South Wales – UNSW, Sydney, Australien
- University of Reading, UK
- Uppsala University, Uppsala, Schweden
- Vergnet S.A., Ingré, Frankreich
- Velux A/S, Vedbaek, Dänemark
- World Bank, Washington, USA

Die Abteilungen im Überblick

Thermische und optische Systeme Priv. Doz. Dr. Volker Wittwer



Forschungsgebiete

- Optisch selektive Schichten
- Nano- und mikrostrukturierte Oberflächen
- Optisch schaltbare Fenster und Fassaden
- Thermische Kollektoren für Brauchwasser und Prozesswärme
- Thermochemische Speicher und Solare Kühlung
- Entwicklung und Vermessung komplexer Fenster- und Tageslichtsysteme
- Bewertungsmethoden für solare Fassaden
- Verbesserte Simulationsprogramme im Bereich optischer und thermischer Systeme
- Steuerung und Regelung von Energieversorgungssystemen
- Visualisierung der Lichtverteilung im Gebäude
- Energiekonzepte und Effizienz im Gebäude
- Kleinstwärmepumpen, Lüftungsgeräte, Luft-Erdregister
- Meerwasserentsalzung mit thermischen Verfahren

Dienstleistungen

- Spektralmessungen zur Qualitätssicherung
- Optische Beschichtungen nach Wunsch
- Beständigkeitsprüfungen (Alterungstests)
- Fluidynamische Simulationen
- Thermisches und Optisches Prüflabor (TOPLAB): Bestimmung von optischen und thermischen Systemkenngrößen
- Charakterisierung von Sorptionssystemen
- Leistungsmessungen an Brauchwasser- und Hochtemperaturkollektoren (DIN-Prüfstelle)
- Energetische und lichttechnische Vermessung von Fassaden im Freilandprüfstand FASTEST
- Energiekonzepte und Energieplanung
- Lichtplanung
- Dynamische Gebäude- und Anlagensimulation: TRNSYS, ESPr, SMILE, ColSim
- Lichtsimulation inkl. Videoanimation
- Softwareentwicklung für die Modellierung von thermischen und optischen Systemen
- Energiekonzepte für Gebäude
- Monitoring und Energieanalyse von Demonstrationsgebäuden
- Messungen von Lüftungskompaktgeräten

Apparative Ausstattung

- Optische Charakterisierungslabore
- PVD-Beschichtungsanlage (1 m² Größe)
- Feldemissionsrasterelektronenmikroskop
- Thermochemisches Analyselabor
- Laserbelichtungslabore zur Erzeugung von großflächigen Nano- und Mikrostrukturen
- Klimakammern für beschleunigtes Altern
- Freiland-Testfeld (Kollektoren)
- Zwei drehbare Tageslichtmessräume
- Fassadenteststand
- Speicher- und Systemteststände für solare Kollektorsysteme und solare Klimatisierung
- Teststand Lüftungs-Kompaktgeräte
- Laser- und Photogoniometer
- Solarsimulator (5 m²) und Indoor-Kollektorteststand

Energietechnik
Dr. Christopher Hebling



Prof. Angelika Heinzl
bis 30.9.2001

Forschungsgebiete

- Polymere Membran-Brennstoffzellen für Wasserstoff und Methanol
- Planare Mikrobrennstoffzellen
- Solarmodule zur Geräteintegration
- Thermophotovoltaik
- Miniaturisierte Energieversorgungssysteme zum Betrieb elektronischer Geräte
- Wasserstoffherzeugung durch Elektrolyse
- Wasserstoffherzeugung durch autotherme Reformierung, Dampfreformierung und partielle Oxidation von flüssigen oder gasförmigen Kohlenwasserstoffen bzw. regenerativen (Bio-)brennstoffen
- Katalytische Brenner für Erdgas, Heizöl und Wasserstoff
- Wasserstoff-Anlagen inklusive Sicherheits- und Speichertechnik für Wasserstoff

Dienstleistungen

- Beratung und Betreuung bei der Errichtung von Wasserstoffsystemen
- Konzeption von Energieversorgungssystemen mit Brennstoffzellen
- Charakterisierung von Brennstoffzellen und Brennstoffzellenkomponenten
- Simulation von Brennstoffzellen- und Reformierprozessen
- Entwicklung von miniaturisierten Brennstoffzellen-Systemen
- Entwicklung von Brennstoffzellen und Komponenten für Brennstoffzellen-Systeme
- Entwicklung schadstoffarmer Brenner
- Wissenschaftliche Studien, Studien zum Marktpotenzial

Apparative Ausstattung

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

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



Forschungsgebiete

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

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

Dienstleistungen

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

Apparative Ausstattung

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

Elektrische Energiesysteme Dipl.-Ing. Klaus Preiser



Dr. Tim Meyer ab 1.1.2002

Forschungsgebiete

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

Dienstleistungen

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

Apparative Ausstattung

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

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

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

umfassende Denkweise im Bereich ländlicher Elektrifizierung. Neben Naturwissenschaftlern unterstützen auch Sozialwissenschaftler die Einführung photovoltaischer Solar Home Systeme in Entwicklungsländern. Die Menschen vor Ort gestalten den Prozess mit und können die Technik nach dem Projektende selbstständig betreiben.

Daneben lebt auch anwendungsorientierte Forschung immer noch von einem kreativen Freiraum, in dem ganz neue Ansätze erdacht und getestet werden. Beispiele dieser angewandten Grundlagenforschung sind bei uns die organische Solarzelle, die Mehrfach-Solarzelle mit potenziell 40 % Wirkungsgrad und schaltbare Nanostrukturen für optische Anwendungen.

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

Thermische und optische Systeme

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

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

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

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

Ein genereller Trend, nicht nur für Gebäude, ist Multifunktionalität. War bisher Schutz oder Schönheit die wichtigste Funktion einer Gebäudeoberfläche, so werden die Oberflächen der Zukunft z.B. auch energiesammelnd sein. Ebenso zählen selbstreinigende Eigenschaften zur Multifunktionalität von Oberflächen der Zukunft.

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

- Große Systeme

Mit optimierten Regelungen mehrere Anwendungen gleichzeitig ermöglichen: Brauchwasser, Heizungsunterstützung, Klimatisierung, industrielle Prozesswärme

- Neue Anwendungsgebiete erschließen

Korrosionsfeste Kollektoren ermöglichen Meerwasserentsalzung zur Trinkwassergewinnung und sorptionsgestützte Prozesse liefern umweltfreundlich Klimatisierung mit Wasser als Kältemittel und Sonne als Antriebsenergie. Niedrigenergiebauweise rückt solare Raumheizung mit neuen Material- und Speicherkonzepten wieder in den Fokus.

Energietechnik

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

Die Brennstoffzelle ist zu einem Hauptthema geworden. Sie ist ähnlich modular an den Bedarf anpassbar wie die Solarzelle, hat ebenfalls keine bewegten Teile und liefert mit hohem Wirkungsgrad aus Wasserstoff umweltfreundlich Strom. Insbesondere für den Verkehr der Zukunft spielt die Erzeugung von Wasserstoff durch Reformierung von gasförmigen oder flüssigen Brennstoffen eine zentrale Rolle. Reformierung ist auch der Schlüssel, um Erdgas in Brennstoffzellen-Blockheizkraftwerken zur Energieversorgung von Gebäuden einsetzen zu können. Die Reformierung von Biogas und Bioalkoholen ermöglicht darüber hinaus die Verwendung nachwachsender Energieträger. Ebenso kann mittels Elektrolyse hochreiner Wasserstoff gewonnen werden – in Verbindung mit regenerativer Stromerzeugung ein effektiver und umweltfreundlicher Weg.

Solarzellen – Werkstoffe und Technologie

Ob kristallines Silicium oder III-V Verbindungshalbleiter, der gemeinsame Nenner heißt hier Industrierelevanz, Effizienzsteigerung und Kostensenkung. Das Institut verfolgt dabei drei Stoßrichtungen:

- Bewährtes Material weiter entwickeln: Der dominierende Marktführer kristallines Silicium besitzt ein hohes Kostensenkungspotenzial. Durch neue Herstellungsverfahren lassen sich mit den Arbeitspferden multikristallines Blockguss- und Czochralski-Silicium noch manche Rennen gewinnen. Die nächsten Ziele sind schnelles Prozessieren, die Verwendung dünnster Wafer und die industrielle Umsetzung von 20% Wirkungsgrad auf 10 x10 cm².
- Technologien der nächsten und übernächsten Generation erforschen: Hierzu zählt die kristalline Silicium-Dünnschichtsolarzelle mit 20 % Wirkungsgrad. Die nächsten Ziele sind kostengünstige Substrate und großflächige, kontinuierliche Abscheideverfahren. Eine andere Strategie verfolgen III-V Höchstleistungs-Solarzellen, die gerade den Weltraummarkt erobern. Für die terrestrische Anwendung macht ihr Einsatz in konzentrierenden Systemen Sinn und bringt deutliche Kostenvorteile. Die erreichten 33,5 % Wirkungsgrad lassen sich noch auf über 40 % steigern.
- Den Abstand zwischen Forschung und Fertigung verringern: Die Produktionskapazitäten werden größer, die Innovationszyklen kürzer, der Wettbewerb schärfer. Forschung wird deshalb immer stärker produktionsbegleitende Formen haben. Das Fraunhofer ISE geht diesen Weg konsequent mit seinem produktionstechnischen Labor in Gelsenkirchen.

Elektrische Energiesysteme

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

- Qualitätssicherung: Energieertrag sichern, grüne Stromtarife zertifizieren, deutsche Erfolgsmodelle ins Ausland exportieren
- Energieverteilung: Mit Energieversorgern und Industriepartnern den Umbau hin zu einer intelligenten, kundenfreundlichen, dezentralen Netzstruktur vorbereiten
- Ländliche Elektrifizierung: Die Menschen vor Ort einbeziehen, mit Mikrofinanzierung wirtschaftliche Barrieren beseitigen, mit nationalen Testlabors die Nachhaltigkeit der Projekte gewährleisten, mit lokalen Partnern neue Industrien aufbauen
- »Bundling Services«: Netzunabhängige Energieversorgungen in Dienstleistungen wie Telekommunikation, Trinkwasserversorgung und Gesundheitsversorgung etablieren
- Elektronikentwicklung: Spannungsaufbereitung, Systemregelungen und Energiemanagementsysteme entwickeln, für die Einbindung dezentraler Stromerzeuger und Speicher in portablen Geräten, netzunabhängigen Stromversorgungsanlagen und öffentlichen Stromnetzen

Für Anwendungen wie Telekommunikationseinrichtungen mit höchsten Anforderungen an die Verfügbarkeit, setzen sich Hybridsysteme immer mehr durch. Neben PV-Anlagen zur Einzelhausversorgung treten zunehmend Dorfstromversorgungsanlagen in den Vordergrund. In Entwicklungsländern wird die Bereitstellung von sauberem Trinkwasser zu einer immer wichtigeren Anwendung.

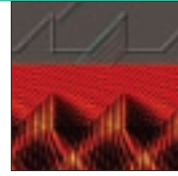
Wie bei Solar Home Systemen zeigt sich auch bei allen anderen Inselanwendungen, dass Batterien von der Anfälligkeit und der Kostenseite her die Schwachstelle sind. Batteriemangement und die Entwicklung spezieller Batterietypen sind zwei Antworten der Forschung darauf.

Innovationen für den Markt

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

Produkt	Markt/Branche	Fraunhofer ISE Ansprechpartner/in, Telefon
Mikrostrukturierte Sonnenschutz- und Lichtlenkfolien mit Teildurchsicht	Fassaden- und Fenster/ Sonnenschutz	Dr. Peter Nitz +49 (0) 7 61-45 88 -54 10 Peter.Nitz@ise.fhg.de
Reformeranlagen zur Wasserstoff-erzeugung	Automobilindustrie, Mineralöl- industrie, Energieversorger, Heizkesselbauer, Stadtwerke, Kommunen	Dr.-Ing. Peter Hübner +49 (0) 7 61-45 88 -52 10 Peter.Hübner@ise.fhg.de
Katalytische Brenner	Heizkesselbauer, Energieversorger, Stadtwerke, Kommunen	Dipl.-Ing. Dieter Schlegel +49 (0) 7 61-45 88 -52 09 Dieter.Schlegel@ise.fhg.de
Polymermembranelektrolyseure im kleinen Leistungsbereich	Gaslieferanten, Brennstoffzellenbe- treiber, Hersteller von Elektrolyseuren, Betreiber autarker Energiesysteme	Dipl.-Ing. Ursula Wittstadt +49 (0) 7 61-45 88 -52 04 Ursula.Wittstadt@ise.fhg.de
Mikrobrennstoffzellen	Hersteller von elektronischen Konsumergeräten, Sensorhersteller	Dr. Christopher Hebling +49 (0) 7 61-45 88 -51 95 Christopher.Hebling@ise.fhg.de
Laserbearbeitungsverfahren	Solarzellen	Dr. Ralf Preu +49 (0) 7 61-45 88 -52 60 Ralf.Preu@ise.fhg.de
CVD-Siliciumbeschichtungs- technologie	Halbleiter/PV-Industrie	Dr. Stefan Reber +49 (0) 7 61-45 88 -52 48 Stefan.Reber@ise.fhg.de Dr. Albert Hurrle +49 (0) 7 61-45 88 -52 65 Albert.Hurrle@ise.fhg.de
Optische Konzentratorsysteme	Photovoltaikindustrie	Dr. Andreas Bett +49 (0) 7 61-45 88 -52 57 Andreas.Bett@ise.fhg.de
SSP (Silicon Sheet from Powder)- Technology	Solarzellen	Dr. Achim Eyer +49 (0) 7 61-45 88 -52 61 Achim.Eyer@ise.fhg.de
ZMR (Zone-Melting-Recrystallisation)- Technology	Solarzellen	Dr. Achim Eyer +49 (0) 7 61-45 88 -52 61 Achim.Eyer@ise.fhg.de
Photovoltaisch versorgte Kleingeräte	Telekommunikation, Telematik, Industrieprodukte	Dipl.-Ing. Werner Roth +49 (0) 7 61-45 88 -52 27 Werner.Roth@ise.fhg.de
Charge Equalizer	Batterie-Industrie, Batterie-Lade- technik, Kfz-Industrie	Dr. Heribert Schmidt +49 (0) 7 61-45 88 -52 26 Heribert.Schmidt@ise.fhg.de
Ladezustandsmesser für Batterien	Photovoltaik, Elektrofahrzeuge, Energieversorgung	Dipl.-Phys. Dirk Uwe Sauer +49 (0) 7 61-45 88 -52 19 Dirk-Uwe.Sauer@ise.fhg.de

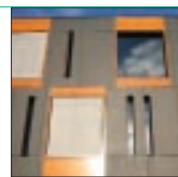
Forschen und Entwickeln in Solarthermie und Optik



Messen und Prüfen in Solarthermie und Optik



Solares Bauen – Beraten, Planen, Umsetzen



Energietechnik



Solarzellen – Werkstoffe und Technologie



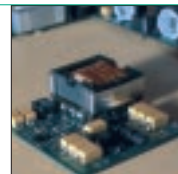
ISE Callab – Präzisionsmessung in der Photovoltaik



Netzunabhängige Stromversorgung und Speichersysteme

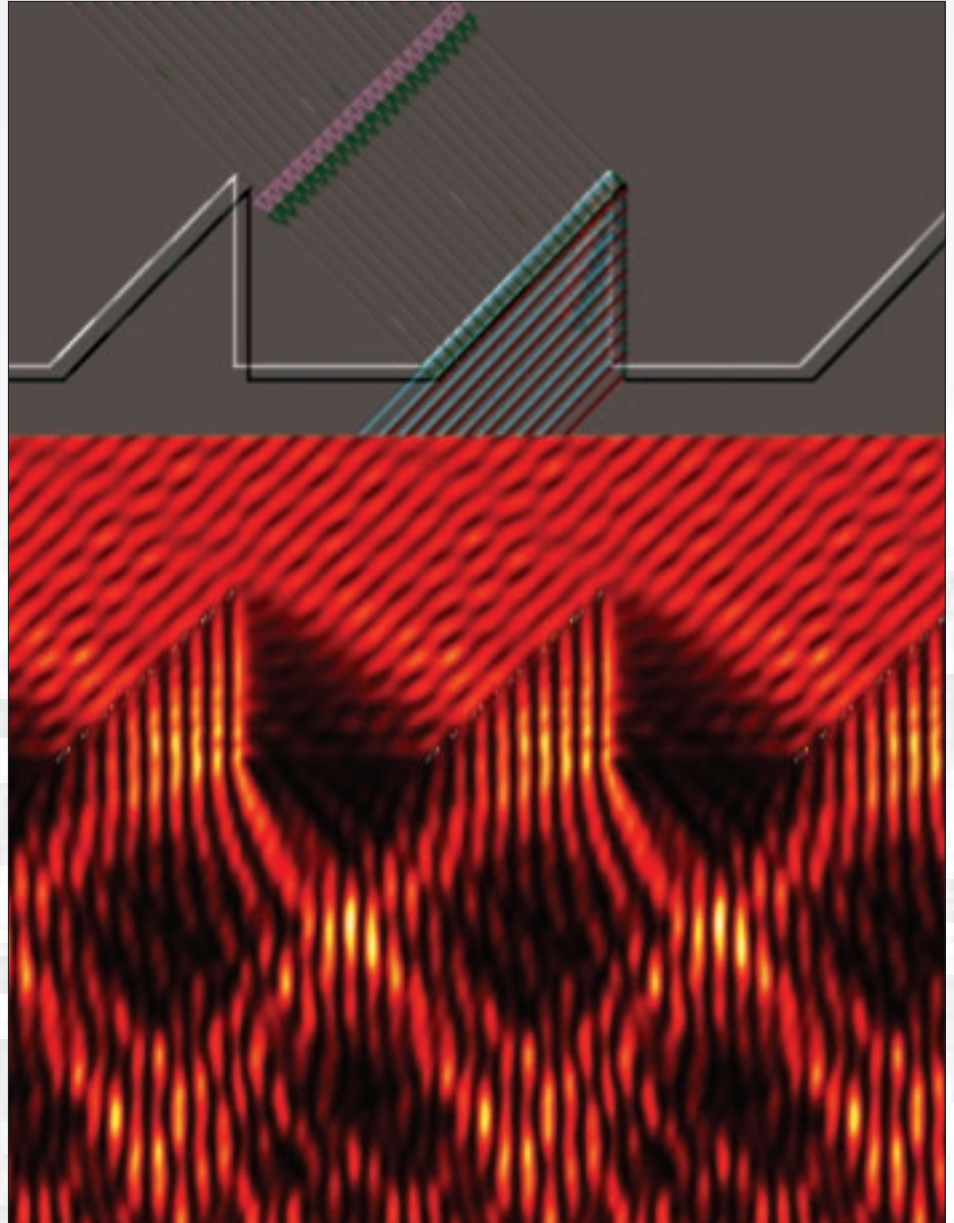


Elektronik



Netzgekoppelte Energiesysteme





Für Verglasungen entwickeln wir Elemente aus mikrostrukturierten transparenten Folien zur Lichtlenkung sowie zum Sonnen- und Blendschutz. Makroskopische Lichtlenkstrukturen simulieren wir wie oben angedeutet mit strahlenoptischen Methoden. Beim Übergang zu Mikrostrukturen verliert die Strahlenoptik ihre Gültigkeit. In der Optimierung der optischen Funktion der Elemente berücksichtigen wir wellenoptische Effekte mit dafür geeigneten Simulationswerkzeugen. Im unteren Bildteil ist die Amplitudenverteilung von Lichtwellen farblich codiert dargestellt. Deutlich erkennbar sind große Ähnlichkeiten zur strahlenoptischen Simulation (oben) ebenso wie rein wellenoptische Effekte.



Bauen und Wohnen ist in ökologischer und ökonomischer Hinsicht ein tragender Zukunftsmarkt.

Rund ein Drittel der Endenergie in Deutschland wird für Heizung und Warmwasser verbraucht. Mit Energieeffizienz und Solarenergie können wir ein riesiges CO₂-Minderungspotenzial erschließen. Viele dieser Maßnahmen sind schon heute wirtschaftlich, steigende Energiepreise erschließen dem Markt immer mehr Konzepte, die noch vor kurzem Forschung und Demonstration vorbehalten waren.

Hier setzen wir an: In enger Zusammenarbeit mit Herstellern entwickeln wir Materialien und Verfahren, um den Markt mit neuen Ideen und Innovation zu versorgen.

Zwei Beispiele:

Mit ultrafeinen Strukturen im Bereich 100 Nanometer bis einige Mikrometer bekommen Oberflächen besondere

Eigenschaften. Als optisch-funktionale Schichten machen sie aus herkömmlichen Produkten Innovationen, die mehr können, z.B. Projektionsschirme mit verbesserter Bildwiedergabe, Solarglas mit erhöhter Transmission oder selektiv schaltbarer Sonnenschutz.

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

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

Ansprechpartner

Beschichtungen	Dipl.-Ing. Wolfgang Graf	Tel.: +49 (0) 7 61/4 01 66-85 E-Mail: Wolfgang.Graf@ise.fhg.de
Bewertung und energetische Optimierung von Fassaden	Dr. Werner Platzer	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-51 31 E-Mail: Werner.Platzer@ise.fhg.de
Erdwärmetauscher	Dipl.-Phys. Christian Reise	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-52 82 E-Mail: Christian.Reise@ise.fhg.de
Lichtstreuung und thermotrope Schichten	Dr. Peter Nitz	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-54 10 E-Mail: Peter.Nitz@ise.fhg.de
Nano- und mikrostrukturierte Materialien	Dr. Andreas Gombert	Tel.: +49 (0) 7 61/4 01 66-83 E-Mail: Andreas.Gombert@ise.fhg.de
Neue Kollektorkonzepte	Dipl.-Phys. Matthias Rommel	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-51 41 E-Mail: Matthias.Rommel@ise.fhg.de
Regelung und Steuerung	Dr. Christof Wittwer	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-51 15 E-Mail: Christof.Wittwer@ise.fhg.de
Sorptive Materialien	Dr. Hans-Martin Henning	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-51 34 E-Mail: Hans-Martin.Henning@ise.fhg.de



Oberflächenstrukturen zur gezielten Lichtverteilung

Viele lichttechnische Anwendungen haben das Ziel, Licht in genau definierte Raumrichtungen umzuverteilen. Wir entwickeln großflächig mikrostrukturierte Oberflächen, die diese Aufgabe erfüllen.

Benedikt Bläsi, Volkmar Boerner*,
Andreas Gombert, Volker Kübler,
Michael Niggemann

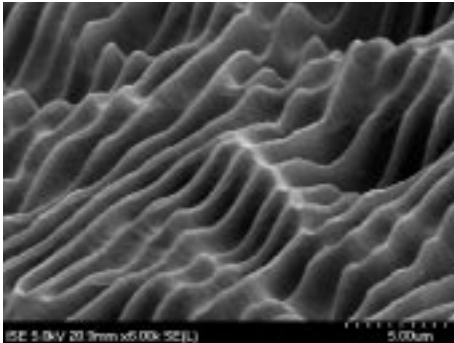


Abb. 1: Mikrostruktur in Photoresist.

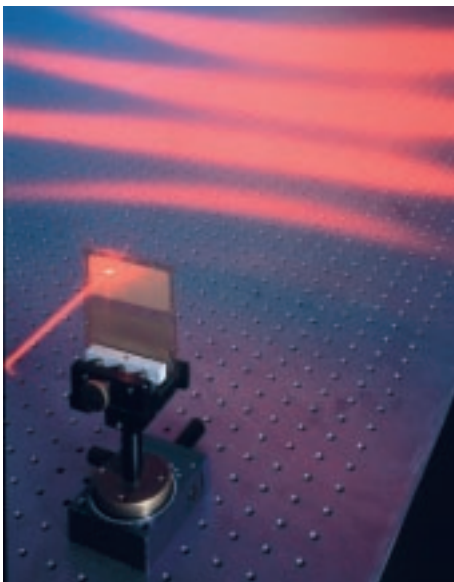


Abb. 2: Verteilung eines HeNe-Laserstrahls durch Oberflächenstrukturen.

Licht in gewünschte Richtungen zu lenken, ist eine Aufgabe, die sich in so unterschiedlichen Anwendungen wie Projektions- und Beleuchtungssystemen, Strahlformern für Leuchtdioden und in Komponenten zur verbesserten Tageslichtnutzung stellt. Als Beispiel seien Projektionsschirme genannt. Das auf den Schirm einfallende Licht sollte nur in den Raumbereich gelangen, in dem sich Betrachter befinden. So wird eine helle Wiedergabe des projizierten Bildes möglich. Da dieser Raumbereich vertikal kleiner als horizontal ist, sind isotrop streuende Projektionsschirme sehr ungünstig.

Wir entwickeln mikrostrukturierte Oberflächen, die Licht gezielt in bestimmte Raumrichtungen verteilen. Oberflächenstrukturen ermöglichen eine kostengünstige Produktion, da die aufwändige Originalstruktur durch Präge- oder Gießprozesse in hoher Stückzahl vervielfältigt wird.

Zur Herstellung der Originalstruktur setzen wir Interferenzlithographie ein. Hierbei wird ein Laserstrahl geteilt, aufgeweitet und überlagert. Im Überlagerungsgebiet entstehen Interferenzmuster, die lichtempfindlichen Lack, Photoresist genannt, belichten. Bei der Entwicklung wird der Photoresist selektiv abgetragen und die Oberflächenstrukturen (Abbildungen 1 und 2) entstehen. Der Vorteil der Interferenzlithographie liegt darin, dass auch sehr kleine Strukturen homogen und kostengünstig auf großen Flächen hergestellt werden können. Wir generieren zur Zeit Originalstrukturen auf Flächen von 60 x 80 cm².

Durch Überlagerung von nahezu ebenen Wellen bei der Interferenzlithographie entstehen periodische Strukturen. Wenn stark deformierte Wellenfronten überlagert werden, entstehen Strukturen mit einstellbarer Größenverteilung. Beide Strukturtypen können auch kombiniert werden. Dadurch hat man eine sehr große Flexibilität. So können wir nahezu jede Lichtverteilung, die physikalisch möglich ist, auch technisch realisieren.

Unsere Kunden setzen bei uns entwickelte Originalstrukturen mit galvanisch hergestellten Prägestempeln für Mikroreplikationsprozesse, wie Heißprägeverfahren, UV-aushärtende Verfahren und Spritzguß, ein.

* Holotools GmbH, Freiburg



Sonnenschutz und Tageslichtnutzung durch Mikrostrukturen

Architekten bauen heute hochtransparente Fassaden und beziehen Tageslicht in die Planung mit ein. Hohe Anforderungen an Energieeffizienz und Außenbezug sowie thermischen und visuellen Komfort lassen sich nur durch den differenzierten Umgang mit solarer Einstrahlung erfüllen. Die Kombination neuartiger, mikrostrukturierter Lichtlenkelemente mit schaltbaren Schichten eröffnet hier neue Möglichkeiten.

Benedikt Bläsi, Christopher Bühler, Andreas Georg, Andreas Gombert, Jörg Mick*, Peter Nitz, Volker Wittwer

Mikrostrukturierte Oberflächen können Licht aufspalten und in gewünschte Richtungen lenken. Als Folie auf einer Glasscheibe bewirken geeignete Strukturen einen effektiven Sonnenschutz. Aus einer Isolierglasscheibe wird so ein Tageslicht- oder ein Sonnenschutzelement.

Speziell entwickelte, neuartige Strukturen erlauben zusätzlich zu ihrer Lichtlenk- oder Sonnenschutzfunktion eine Teildurchsicht. Sie eignen sich damit für einen großflächigen Einsatz in vertikalen Fassaden (Abbildung 1). Der für viele Fassadenanwendungen wichtige Außenbezug bleibt bei diesen Strukturen trotz effektiver Abschattung von direktem Sonnenlicht erhalten. Gleichzeitig besitzen die Strukturen eine hohe Transmission für das helle Zenithimmelslicht und lenken es in die Tiefe des Raumes (Abbildung 2). Das ermöglicht die Raumausleuchtung mit natürlichem Tageslicht.

Ist das flach einfallende Winterlicht oder in den Raum umgelenktes Licht immer noch zu hell, z.B. für Bildschirmarbeit, kann man die Funktion der Mikrostrukturen noch weiter verbessern, indem man einzelne Bereiche mit schaltbaren Schichten versieht. Damit könnte man z.B. die »Nasenrücken« in Abbildung 1 selektiv von transparent auf undurchsichtig schalten und so die Tageslichtmenge nach Bedarf regeln, ohne die vorhandene Teildurchsicht zu trüben.

Im BMWi-geförderten Grundlagenprojekt »Mikrofun« erarbeiten wir das Know-how und die Technologie, um zukünftig in enger Zusammenarbeit mit der Industrie Verglasungsprodukte zu entwickeln.

Durch Interferenz-lithografische Strukturierung können wir große Flächen in einem Schritt strukturieren. Die derzeit zugänglichen Perioden liegen im Bereich ca. $0,3 \mu\text{m}$ bis ca. $15 \mu\text{m}$. Bei diesen Größenverhältnissen auftretende Beugungserscheinungen werden bei Design und Optimierung der Strukturen berücksichtigt.

Ziel ist es, großflächig homogen strukturierte Prägewerkzeuge herzustellen und damit kostengünstig die Strukturen auf Folien zu replizieren.

Mit PVD Verfahren (Physical Vapour Deposition) können wir schaltbare Wolframoxidschichten flächig oder nur auf Flanken mit bestimmter Orientierung aufbringen. Die Schaltung erfolgt durch Überströmen mit verdünntem Wasserstoff- oder Sauerstoffgas (»gaschrom«), wie es bereits für nicht-strukturierte Glassubstrate an Testfassaden des Instituts demonstriert wurde.

Das optische Verhalten der neuartigen Mikrostrukturen berechnen und optimieren wir sowohl mit strahlenoptischen Verfahren (Strahlverfolgung) wie auch wellenoptischen Verfahren (rigorose Wellenanalyse).

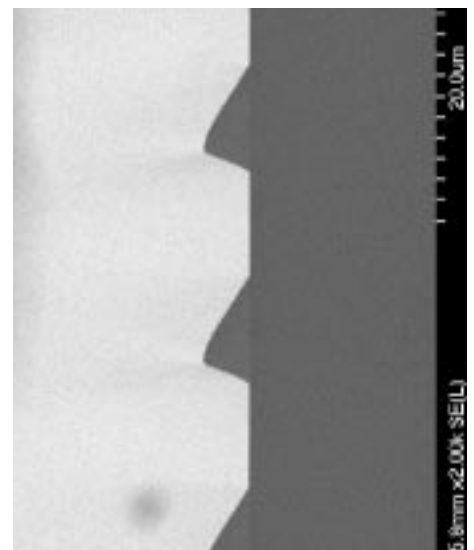


Abb. 1: Neuartige Mikrostruktur (rechts) mit Sonnenschutzfunktion und Teildurchsicht im Querschnitt. Sie wird z.B. als Folie auf eine Fensterscheibe aufgebracht. Steil von links oben einfallendes Licht (Sommer) wird vom »Nasenrücken« in die Struktur und über Totalreflexionen wieder nach außen gelenkt. Flach einfallendes Licht (Winter) gelangt ungehindert in den Raum. Die vertikalen Abschnitte der Struktur erlauben immer volle Durchsicht nach außen.

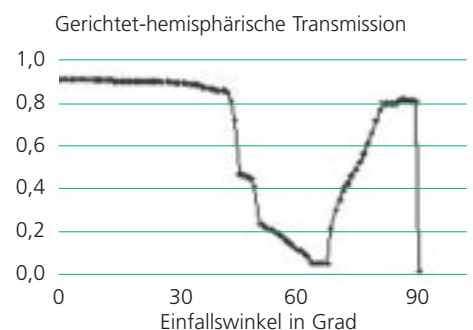


Abb. 2: Transmission einer Struktur ähnlich der in Abbildung 1 gezeigten (strahlenoptische Modellrechnung). Sommerliche Einfallswinkel von etwa 45 bis 67 Grad werden durch die Struktur ausgeblendet.

* Universität Freiburg, Institut für Mikrosystemtechnik



Integration von komplexen Tageslichtsystemen in den Planungsprozess – Weiterent- wicklung von Softwaretools

Innovative Tageslichtsysteme versprechen eine effiziente Nutzung des Tageslichtes, mehr Arbeitsqualität und geringeren Energieverbrauch. Wir erweitern Simulationswerkzeuge, die diese Tageslichtsysteme berechnen und damit Planern erschließen.

Jan Wienold, Roland Schregle*,
Christian Reetz **

Viele innovative Systeme zur Tageslichtnutzung sind bereits auf dem Markt, an weiteren wird gearbeitet. Die Spanne reicht von streuenden über starre, lichtlenkende Systeme bis hin zu beweglichen Reflektoren auf der Basis metallischer oder dielektrischer Spiegel. Neben multifunktionalen Verglasungen wird auch intensiv an der Weiterentwicklung von Sonnenschutzsystemen gearbeitet, die blendfreies Tageslicht am Arbeitsplatz ohne Überhitzung gewährleisten sollen. Die zuverlässige Quantifizierung dieser Aussagen ist eine anspruchsvolle Aufgabe. Computergestützte Rechenwerkzeuge können die Auswirkungen auf den Raum vieler Typen derartiger Systeme bis dato nicht behandeln (Abbildung 1).



Abb. 1: Beispiel der Wirkung einer lichtlenkenden Verglasung, die von existierenden Simulationswerkzeugen nicht berechnet werden kann.

Ein im Frühjahr 2001 gestartetes Forschungsvorhaben soll diese Hürde beseitigen. Eine benutzerfreundliche Erweiterung des Tageslicht-Simulationsprogramms RADIANCE auf Basis eines optischen Forward Raytracers wird Entwicklern innovativer Systeme zur Systemplanung und -optimierung zur Seite gestellt. Für Gebäudeplaner wird ein unabhängiges, benutzerfreundliches Programmmodul zur Berechnung und Analyse diverser Tageslichtsysteme entwickelt.

Mit diesen beiden Erweiterungen ist eine gezielte Auslegung und Bewertung der Systeme bereits in der Entwicklungs- und Planungsphase möglich. Eine integrierte Datenbank soll sämtliche Systemdaten, Kennwerte, Bilder und Anwendungsbeispiele zusammenfassen.

Dieses vom BMWi geförderte Projekt führen wir in Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP und Systemherstellern durch. Es ist gleichzeitig ein deutscher Beitrag im Rahmen der IEA Gruppe Daylighting in a New Century.

* Universität Freiburg, Freiburger Materialforschungszentrum FMF

** PSE GmbH Forschung Entwicklung Marketing, Freiburg

»ConCheck«: Entwicklung und Erprobung von Regelungssystemen für große solarthermische Anlagen

Bislang werden die meisten Solar Kollektoren in Ein- und Zweifamilienhäusern eingesetzt. Für die weitere Verbreitung der thermischen Solarenergienutzung ist eine stärkere Anwendung in Mehrfamilienhäusern wichtig.

Konrad Lustig, Matthias Rommel,
Arim Schäfer, Christof Wittwer

Wir untersuchen Anlagen zur Brauchwassererwärmung mit Kollektorfeldern größer 100 m² (Abbildung 1). Sowohl bei der solaren Beladung des Pufferspeichers, als auch bei seiner Entladung zur Trinkwasservorwärmung zeigen viele Anlagen regelungstechnische Mängel. So kann es vorkommen, dass trotz solaren Angebots das Wasser konventionell erwärmt wird. Außerdem ergeben sich im Hinblick auf zukünftige Anlagen für die Heizungsunterstützung eine Reihe grundlegend neuer Fragen.

Das Projekt »Entwicklung und Erprobung von Regelungssystemen für die Be- und Entladeseite von großen solarthermischen Anlagen« hat deshalb folgende drei Ziele:

Das erste Ziel ist, die regelungstechnischen Fragestellungen, simulations-technisch zu beantworten. Dazu werden vier Systemvarianten auf der Beladeseite und vier Systemvarianten auf der Entladeseite mit verschiedenen Regelungsstrategien simuliert, um das regelungstechnische Potenzial bei Anlagen zur reinen Warmwasserbereitung bestmöglich auszunutzen.

Das zweite Ziel ist es, die regelungstechnischen Grundfragestellungen zu beantworten, die sich ergeben, wenn nicht reine Warmwasseranlagen, son-



Abb. 1: Anlage mit großer Kollektorfläche im Mehrgeschosswohnungsbau, Solarthermie 2000 Programm.

den heizungsunterstützende Anlagen mit Kollektorflächen deutlich größer 100 m² gebaut werden sollen. Dazu bilden wir die Anlage simulations-technisch ab und analysieren drei Systemvarianten regelungstechnisch.

Das dritte Ziel ist die Entwicklung einer Baugruppe aus Wärmetauscher, Pumpe und Regelung zur Be- und Entladung großer thermischer Anlagen. Sie soll zentral gefertigt, weitgehend vormontiert und vorkonfektioniert sein. In zwei Anlagen des Förderprogramms Solarthermie 2000 sollen diese Baugruppen oder Wärmeübergabestationen eingebaut und erprobt werden.

Für die Untersuchungen setzen wir die am Fraunhofer ISE entwickelte, offene Simulationsumgebung ColSim ein. ColSim kann regelungstechnische Untersuchungen in der notwendigen Abbildungsgenauigkeit und Zeitschrittauflösung durchführen. Darüber hinaus kann der Regelungsalgorithmus im ANSI-C Code programmiert und direkt auf das Regelungssystem übertragen werden.

Die Daten für unsere Untersuchungen stammen aus Anlagen des BMWi-Förderprogramms Solarthermie 2000. Das BMWi fördert das Projekt.

Mikroverkapselte Phasenwechselmaterialien in Wandverbundsystemen

Das Einbringen von Phasenwechselmaterialien (PCM) in den Wandaufbau von Gebäuden erhöht deren Wärmekapazität. In einem definierten Temperaturbereich wird dann Raumwärme in Schmelzwärme umgewandelt, die Raumtemperatur kann nicht weiter ansteigen.

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

Die Kapazitätserhöhung ist oft wünschenswert, um Lastspitzen abzufangen und die gespeicherte Energie zu einem günstigeren Zeitpunkt – z.B. nachts – wieder abzugeben. So kann sommerliche Überhitzung von Bürogebäuden vermieden werden. Besonders bei Gebäuden in Leichtbauweise führt dies sowohl zu Energieeinsparung als auch zu erheblichem Komfortgewinn.

Mit der Mikroverkapselung von Paraffinen steht jetzt eine Technologie zur Verfügung, um Phasenwechselmaterial kostengünstig und leicht in herkömmliche Baumaterialien einzubringen.



Abb. 1: Mikroskopaufnahme der Mikrokapseln im Verbundsystem.

Mit den Industriepartnern BASF, DAW, Maxit und Sto identifizieren wir sinnvolle Einsatzgebiete und entwickeln marktfähige Systeme.

In der Anfangsphase haben wir durch Gebäude- und Bauteilsimulation das Potenzial abgeschätzt und einen Teststand für Wandmuster von 50 x 50 cm² aufgebaut.

In diesem Jahr wurden erste Demonstrationsgebäude mit verschiedenen PCM-Produkten der Industriepartner ausgestattet. Sie werden messtechnisch betreut und liefern erste Erfahrungen aus der Praxis.

Zur Validierung und Verfeinerung von Simulationsmodellen haben wir zwei identische Testräume am Fassadenteststand des Fraunhofer ISE mit detaillierter Messtechnik ausgestattet. Einen Raum werden wir mit PCM ausrüsten, der zweite gilt als Referenzraum. Das Experiment ermöglicht die quantitative Bewertung des PCM Effektes, unabhängig vom Nutzerverhalten.

Das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie fördert das Verbundprojekt.

* PSE GmbH Forschung Entwicklung
Marketing, Freiburg



Materialforschung für Adsorptionswärmespeicher: Einsatz molekularer Computersimulationen

Adsorptionswärmespeicher erlauben über lange Zeiträume eine nahezu verlustfreie Wärmespeicherung. Aktuelles Ziel ist eine Erhöhung der Wärmespeicherdichte um einen Faktor vier gegenüber Wasserspeichern. Die Erhöhung der Energiedichte erfordert vor allem neue Adsorptionsmittel und stellt deshalb neue Aufgaben an die Materialforschung.

Hans-Martin Henning,
Ferdinand Schmidt,
Stefan Henninger, Tomas Núñez

Adsorption ist die Anlagerung von Gasmolekülen an Grenzflächen von Feststoffen. Dabei wird – ähnlich wie bei der Kondensation eines Gases zur Flüssigkeit – Wärme frei. Durch Wärmezufuhr kann das adsorbierte Gas wieder ausgetrieben werden.

Diesen Zyklus wollen wir zur Wärmespeicherung nutzen. Je poröser die innere Oberfläche, desto höher ist die Speicherkapazität. Silikagel und Zeolith sind mikroporöse Feststoffe mit großer innerer Oberfläche. Die Menge adsorbierter Gase ist eine Funktion von Gasdruck und Temperatur. Wir suchen nun Materialien, deren Adsorptionseigenschaften mit Wasserdampf optimal auf die Druck- und Temperaturbedingungen des Anlagenzyklus abgestimmt sind: Bei gegebener Nutzwärmetemperatur (Heizsystem) und Regenerationstemperatur (Solarkollektor) soll ein möglichst großer sorptiver Wärmeumsatz im Adsorbens erfolgen. Heute kommerziell verfügbare Adsorbentien wurden auf ganz andere Eigenschaften hin optimiert.

Sowohl bei Zeolithen als auch bei Silikagel-artigen Materialien erlaubt die Materialsynthese eine Fülle von Modifikationen, die zu veränderten Adsorptionseigenschaften führen. Es ist derzeit jedoch unklar, welche Eigenschaften auf der Ebene molekularer Wechselwirkungen in den Mikroporen zu dem für die Speicheranwendung gewünschten Adsorptionsverhalten führen. Um zielgerichtet in die Materialsynthese eingreifen zu können, brauchen wir ein grundlegendes Verständnis der mikroskopischen Materialparameter: Wie wirken sich die chemische Struktur der Porenoberflächen, die Porengeometrie und die Varianz dieser Parameter (strukturelle Heterogenität) auf das Adsorptionsverhalten aus?

Zur Beantwortung dieser Fragen setzen wir molekulare Computersimulationen (Abbildung 1) ein. Dabei berechnen wir aus Modellannahmen für die intermolekularen Wechselwirkungen ein Adsorptionsgleichgewicht in einer modellierten Pore. Wir nutzen dabei die numerische Erzeugung von Zufallszahlen (Monte-Carlo-Simulation). So lässt sich der Einfluss der Materialparameter für idealisierte Modell-Adsorbentien untersuchen. Besondere Sorgfalt ist hier bei der Validierung der Potenzialmodelle für die molekularen Wechselwirkungen geboten.

Wir bearbeiten diese Aufgaben in Kooperation mit der School of Engineering and Applied Science der University of Pennsylvania (Philadelphia, USA).

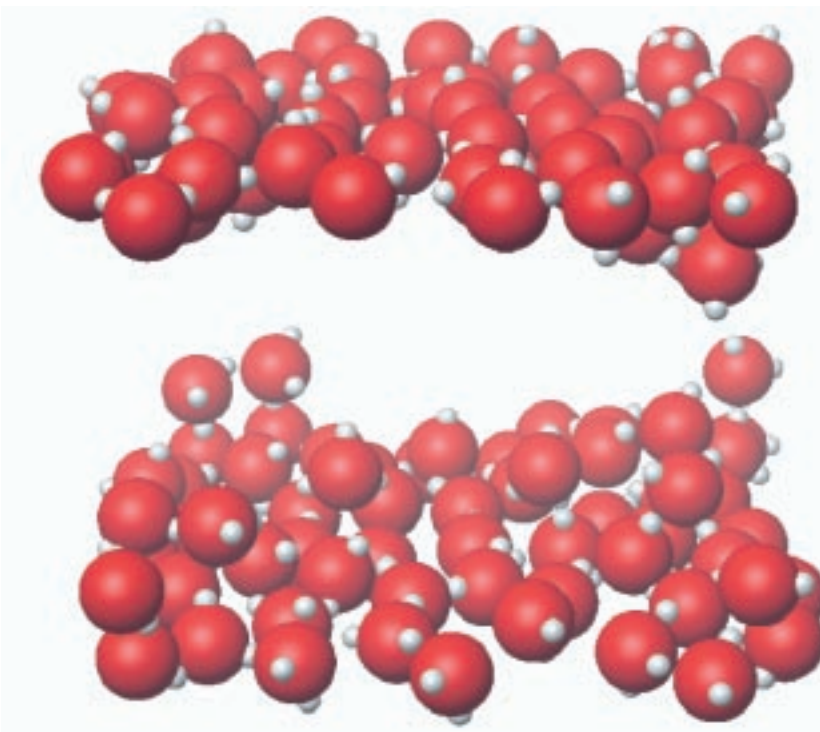


Abb. 1: Momentaufnahme aus einer Simulation von Wassermolekülen in einer Schlitzpore mit glatter, unpolarer Oberfläche. Die großen Kugeln bezeichnen Sauerstoffatome, die kleinen Wasserstoff. Die beiden Porenoberflächen befinden sich direkt oberhalb und unterhalb der Wassermoleküle, sie sind nicht eingezeichnet.



Neue Gesamtenergieversorgungs- konzepte für Gebäude

Unter der Leitung des Fraunhofer ISE werden gemeinsam mit zwölf Partnern aus der Industrie neue Systeme und Komponenten zur Energieversorgung von Wohngebäuden entwickelt und in Feldversuchen getestet: Brennstoffzellen-BHKW, Lüftungs-Kompaktgeräte für Solar-Passivhäuser, Sorptionspeicher und neue Reglerkonzepte.

Andreas Bühring, Sebastian Bundy, Carsten Dittmar, Ulf Groos, Peter Hübner, Walter Mittelbach, Tim Schmid*, Matthias Vetter, Christof Wittwer, Volker Wittwer

Brennstoffzellen-BHKW

Eine dezentrale Energieversorgung für Strom und Wärme kann Schadstoffe und CO₂-Emission reduzieren. Innerhalb des Projektes wird ein neues Brennstoffzellen-BHKW entwickelt. Wir legen den Reformer dafür aus. Voraussetzung für einen umweltgerechten Einsatz dieser Systeme ist ein modernes Energiemanagement, das auch solare Erträge optimal nutzt.

Lüftungs-Kompaktgeräte

Zur Wärmeversorgung von Passivhäusern entwickeln wir zusammen mit industriellen Partnern Lüftungs-Kompaktgeräte. Sie können mit integrierter Abluftwärmepumpe oder mit einem kleinen Brennstoffzellen-BHKW ausgestattet sein. Für die Versorgung von Niedrigenergiehäusern werden ergänzende Komponenten, für die dezentrale Versorgung von Mehrfamilienhäusern wird ein neues Gerät entwickelt.

Wir haben einen Teststand für Lüftungs-Kompaktgeräte aufgebaut, der Messungen in einem breiten Spektrum von Betriebsbedingungen

zulässt (Abbildung 1). Auch mehrtägige Testprozeduren unter reproduzierbaren Randbedingungen (EN 255) werden durchgeführt.

Speicherkonzepte

Maßgeblich für den optimierten Betrieb von Brennstoffzellen und Lüftungskompaktgeräten sind thermische Speicher zum Abpuffern des Wärmeangebots und der Lasten. Wir untersuchen geschichtete Wasserspeicher und neuartige sorptive Systeme (Abbildung 2).

Reglerkonzepte

Die Simulation von Komponenten und kompletten Anlagen einschließlich der Regelungssysteme liefert wichtige Aussagen zu Systemdimensionierung, Materialbelastung, Effizienz und Betriebsführungsstrategien. Für den Regelungsentwurf bilden wir das gesamte Energieversorgungssystem simulationstechnisch ab – z.B. Brennstoffzellen-BHKW mit thermischer Solaranlage, Pufferspeicher und Heizkreis. So können wir das dynamische Systemverhalten vorhersehen und an beliebigen Betriebspunkten untersuchen.

Die im virtuellen System getestete Regelungssoftware, kann dann ohne Neuimplementierung auf »Embedded Systems« (Elektronische Regeleinheiten, Abbildung 3) portiert werden. Sie verfügen über Schnittstellen für die Integration in Intranet und Internet. Auch die Einbindung von Wetterprognosen oder die Kommunikation mit dem Energieversorger ist möglich. Das »Erlernen« von dynamischen Strom- und Gaspreistarifen und die Erfassung des Nutzerverhaltens ist wichtig für die optimale



Abb. 1: Teststand für Lüftungs-Kompaktgeräte im Solarhaus Freiburg.



Abb. 2: Sorptionspeicher im Solarhaus Freiburg. Die Abbildung zeigt zwei mit Sorptionsmittel gefüllte Behälter und einen Wasserbehälter, in dem zugleich der Verdampfer und Kondensator untergebracht sind.



Abb. 3: Embedded System Prototyp.

Regelungsstrategie. Wir entwickeln dazu in Zusammenarbeit mit Energieversorgern Konzepte und Kommunikationsprotokolle.

Das BMWi fördert alle Arbeiten in seinem Leitprojekt NEGEV.

* PSE GmbH Forschung Entwicklung
Marketing, Freiburg



Photovoltaische Batterie

Durch Kombination einer Farbstoff-sensibilisierten Solarzelle mit einer Ionen-Interkalationsschicht haben wir eine photovoltaische Batterie realisiert. Sie kann Licht in Strom umwandeln und Energie speichern. Eine Anwendung ist die Stromversorgung von Kleinverbrauchern, die auch bei geringen Beleuchtungsstärken arbeiten müssen.

Daniel Abou-Ras*, Andreas Georg, Wolfgang Graf, Anneke Hauch*

Aufbau

Ein Substrat wird mit einer elektrisch leitfähigen Elektrode und einer porösen Interkalationsschicht (z.B. WO_3) belegt (Abbildung 1). Darauf wird eine nanoporöse TiO_2 Schicht aufgebracht. Die durch die Porosität stark vergrößerte Oberfläche des TiO_2 ist mit einer Monolage eines Farbstoffes bedeckt. Die Poren und der Freiraum zwischen TiO_2 und Gegenelektrode

(500 μm in Abbildung 1) sind mit einem Elektrolyt ausgefüllt, in dem Lithiumjodid (LiI) gelöst ist. Die Gegenelektrode ist ein zweites, mit einer transparenten Elektrode bedecktes Substrat, beschichtet mit einer dünnen, transparenten Pt-Schicht. Die beiden Elektroden versorgen einen externen Verbraucher mit elektrischer Energie. Prinzipiell können die TiO_2 - und die Interkalationsschicht in ihrer Reihenfolge vertauscht oder zu einer Schicht vereinigt werden. Dies ist für spezielle Anwendungen oder Produktionsprozesse vorteilhaft.

Funktion des Ladeprozesses

Unter Beleuchtung wird der Farbstoff energetisch angeregt (obere Hälfte der Abbildung). Er gibt ein Elektron an das TiO_2 ab, dieses leitet es weiter zum WO_3 . Dort reduziert es das Wolfram. Der Farbstoff erhält sein Elektron von einem I^- -Ion aus dem Elektrolyt zurück, welches zu I_3^- oxidiert wird.

Die überschüssig gewordenen Li^+ -Ionen diffundieren durch das poröse TiO_2 in die WO_3 -Schicht und sorgen so für den Ladungsausgleich.

Funktion des Entladeprozesses

Verbindet man die beiden Elektroden über einen externen Schalter und einen Verbraucher (untere Hälfte der Abbildung), so können die Elektronen aus dem WO_3 zur Gegenelektrode fließen und dabei Arbeit verrichten. An der Gegenelektrode katalysiert das Platin die Rückreaktion des I_3^- zum I^- . Gleichzeitig wandern Li^+ -Ionen zurück in den Elektrolyten.

Erste Messergebnisse

Zur Herstellung von ersten Labor-mustern haben wir unter Anwendung von Sol-Gel-Verfahren Pasten hergestellt, die sich gut für Siebdruckprozesse eignen. Die Muster erreichen eine Spannung von 0.6 V und eine gespeicherte Ladung von 1.8 C/cm². Im Dunkeln fließen maximale Entladeströme von 5 mA/cm², bei Beleuchtung stellen sich 1.3 mA/cm² dauerhaft ein. Die Ladung kann über einen Tag gehalten werden. Speicherung über Wochen bis Monate ist noch nicht erreichbar.

Bei voller Sonneneinstrahlung reicht eine Stunde zur Ladung der PV-Batterie. Geringere Beleuchtungsintensitäten senken die Ladung und Spannung nur geringfügig ab. Z.B. fallen bei Reduzierung der Intensität von einer vollen Sonne auf 1/7 Sonne die gespeicherte Ladung nur um 40 % und die Spannung nur um 17 %. Das macht das System besonders geeignet für Anwendungen mit geringer Beleuchtung. Größere Speicherkapazitäten lassen sich durch dickere Interkalationsschichten oder andere Oxide erreichen.

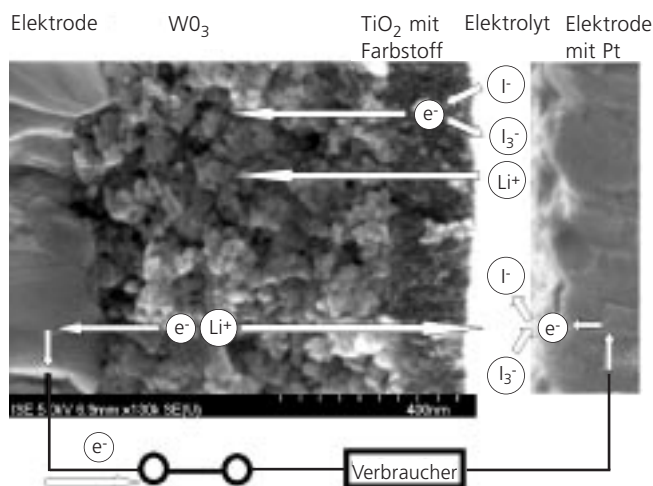


Abb. 1: Aufbau und Funktionsweise der photovoltaischen Batterie. Das REM Bild zeigt die Poren, nicht aber die Schichtdicken maßstabsgetreu. Tatsächliche Schichtdicken der WO_3 -Schicht betragen typischerweise 50 μm , der TiO_2 Schicht 10 μm und der Elektrolyt-Schicht (weißer Streifen rechts) 500 μm . Schematisch ist der Stofftransport beim Aufladen (obere Hälfte) und beim Entladen (untere Hälfte) eingezeichnet. Beleuchtet wird von der rechten Seite.

* Universität Freiburg, Freiburger Materialforschungszentrum FMF



Farbstoff- und organische Solarzellen

Seit einiger Zeit wird weltweit an der Entwicklung von Farbstoff- und organischen Solarzellen geforscht. Bei diesen Zelltypen kommen im Vergleich zu herkömmlichen Solarzellen vollständig andere Materialien mit einem hohen Kostensenkungspotenzial zum Einsatz. Bevor an eine industrielle Produktion von Farbstoff- und organischen Solarzellen gedacht werden kann, sind folgende Fragen zu klären: Langzeitstabilität, Wirkungsgrad, Modul- und Herstellungskonzepte sowie Produzierbarkeit.

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

Seit Beginn diesen Jahres arbeiten wir verstärkt an Farbstoff- und organischen Solarzellen. Im Vordergrund steht der Aufbau einer Laborlinie (Baseline) für Farbstoff-Solarzellen (FSZ) sowie die Effizienzsteigerung von organischen Solarzellen mit nanostrukturierten Elektroden. Weitere Themen sind Tests zur Langzeitstabilität und die Weiterentwicklung von Charakterisierungsverfahren wie der Impedanzspektroskopie und zeitaufgelöster Messmethoden.

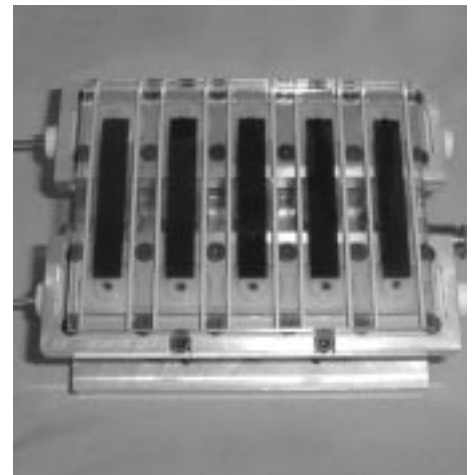
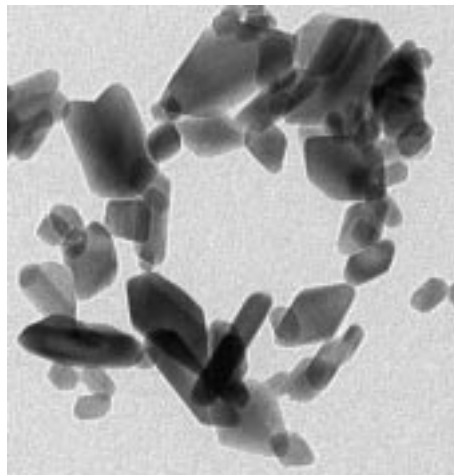
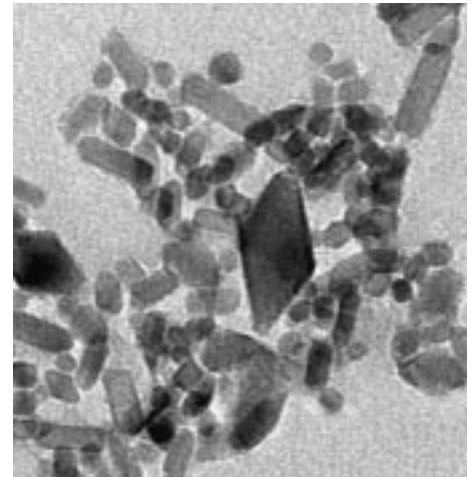
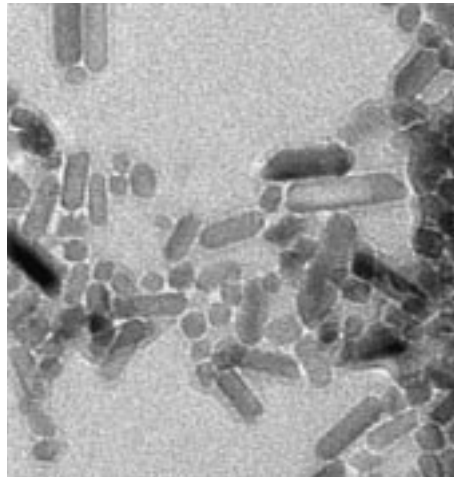


Abb. 1: Elektronen-mikroskopische Aufnahmen (TEM) von Titandioxid-Nanopartikeln. Diese Nanopartikel finden aufgrund ihrer hohen Oberfläche Verwendung in der Photoelektrode von Farbstoffsolarzellen. Das Bild rechts unten zeigt fünf identische Testzellen auf einer gemeinsamen Platte auf einer Befüllungsstation.

* Universität Freiburg, Freiburger Materialforschungszentrum FMF



Die Baseline ist ausgelegt für die Herstellung von Demonstrationsmodulen mit einer Fläche von 30 x 30 cm² und für die reproduzierbare Fertigung vieler Testzellen. Unsere Schwerpunkte dabei sind:

- präziser Sieb- bzw. Schablonendruck
- thermische Versiegelungstechnik mit Glasloten oder Ionomeren
- Geräte zur Strukturierung der Glasplatten
- Dispersiereinheiten zur Formulierung der Siebdruckpasten
- Stationen zum Befüllen der Zellen und Module mit Farbstoff- bzw. Elektrolytlösung.

Die Baseline wird ab Mitte 2002 betriebsbereit sein.

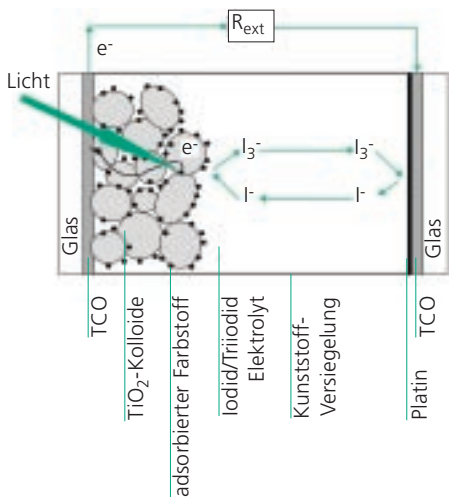


Abb. 2: Aufbau der farbstoffsensibilisierten Solarzelle. Zur Funktionsweise siehe Text rechte Spalte.

Die Arbeiten am Fraunhofer ISE sind eingebunden in Aktivitäten am Freiburger Materialforschungszentrum FMF. Dies betrifft besonders die Synthese nanokristalliner Metalloxide sowie Untersuchungen an elektrisch leitfähigen Polymeren und stark lichtabsorbierenden Halbleiter-Nanopartikeln. Über die Teilnahme an einem europäischen Projekt (NANOMAX) kooperieren wir mit anderen führenden Forschungsgruppen auf dem Gebiet der Farbstoffzellen. Kürzlich hat das Kalibrierlabor des Fraunhofer ISE an 2.5 cm² großen FSZ, an denen wir mit gearbeitet haben, den Rekord-Wirkungsgrad von 8.2 % gemessen.

Organische Solarzellen haben noch geringe Wirkungsgrade von etwa 2.5 % unter AM1.5 Bedingungen. Der Hauptgrund liegt in der geringen Absorption des Lichtes in den dünnen organischen Schichten. Hier können neue Materialkonzepte aber auch eine Verbesserung der optischen Eigenschaften Abhilfe bringen. Wir versuchen, die Lichtabsorption durch Aufprägen von Nanostrukturen zu erhöhen. Dabei können wir auf die langjährige Erfahrung des Instituts bei der großflächigen Nanostrukturierung von polymeren Materialien zurückgreifen. Die Experimente werden unterstützt durch Modellierung der elektrischen Feldverteilungen in den strukturierten Absorberschichten mit »Rigorous Coupled Wave Analysis« (RCWA). Außerdem arbeiten wir an produktionsstauglichen Zellkonzepten.

Das Fraunhofer ISE koordiniert zwei durch das BMBF geförderte Verbund- und Netzwerkprojekte mit universitären und außeruniversitären Forschungsgruppen in Deutschland und Österreich.

Aufbau und Funktion einer Farbstoffsolarzelle (FSZ)

Etwa 20 nm große TiO₂-Kristallite bilden eine nanoporöse Schicht von etwa 10 µm Dicke, die auf ein TCO-Glas-Substrat aufgebracht ist (TCO = Transparent Conducting Oxide, z.B. F:SnO₂). Auf deren Oberfläche sind Farbstoffmoleküle (meist ein Ruthenium-Dibipyridyl-Komplex) adsorbiert. Dieser TiO₂-Elektrode gegenüber befindet sich im Abstand von etwa 10 µm ein platinisiertes TCO-Glas. Die Poren der hochporösen nanokristallinen TiO₂-Schicht und der Zwischenraum zwischen beiden Elektroden sind mit einem Elektrolyten gefüllt. Dieser Elektrolyt besteht meistens aus einem organischen Lösungsmittel mit einem Redoxpaar, z.B. Iodid- und Triiodid-Anionen.

Ein einfallendes Photon regt ein Farbstoffmolekül an. Das angeregte Elektron wird schnell in das Leitungsband des TiO₂ injiziert. Der ionisierte Farbstoff wird vom Elektrolyten durch die Bildung von Triiodid aus Iodid reduziert. Die Elektronen fließen dann im TiO₂-Leitungsband zur TCO-Elektrode, von dort über einen äußeren Verbraucher zur platinisierten Gegenelektrode und werden vom Elektrolyten wieder zum Farbstoff transportiert: Triiodid nimmt am katalytischen Platin Elektronen auf und wird dadurch wiederum zu Iodid.

Aufbau und Funktion einer organischen Solarzelle (OSZ)

Bei einer organischen Solarzelle findet die Erzeugung und Trennung der Ladungsträger in einer dünnen (Submikrometer) Absorberschicht statt, die aus einem Gemisch von n- und p-leitenden organischen Materialien besteht. Es sind jedoch auch Mehr-



schichtsysteme bzw. Stapel aus diesen Materialien möglich. Die äußere Trennung der Ladungsträger erfolgt dann spezifisch an den Elektroden, d.h. einem transparenten Leiter, z.B. ITO (Indium dotiertes Zinnoxid) und einer Metallschicht. In Abbildung 3 ist dies gezeigt für die an der Universität Linz entwickelte Variante, bei der als Absorberschicht ein Gemisch aus n-leitendem Fullerenen (1-(3-Methoxycarbonyl)-propyl-1,1-phenyl-6,6-C₆₁) und p-leitendem PPV (Poly-p-phenylenvinylene) verwendet wird.

Außer der erfolgreichen Optimierung der Eigenschaften des substituierten Fulleren in diesem Konzept hat es jedoch bisher kaum eine spezifische Materialentwicklung für organische Solarzellen gegeben. Die gegenwärtig verwendeten p- und n-leitenden Materialien stammen aus der internationalen Polymer-LED-Entwicklung und sind für diese Anwendung optimiert. Deshalb muss in Zukunft insbesondere die Palette der zur Verfügung stehenden polymeren oder oligomeren Halbleiter erweitert und deren Eigenschaftsprofil an die Spezifik des Einsatzes in der Solarzelle angepasst werden. Eine wichtige Rolle für weitere Entwicklungen spielt auch die Anpassung der Schichtmorphologie, um eine möglichst hohe Lebensdauer der Ladungsträger zu erreichen.

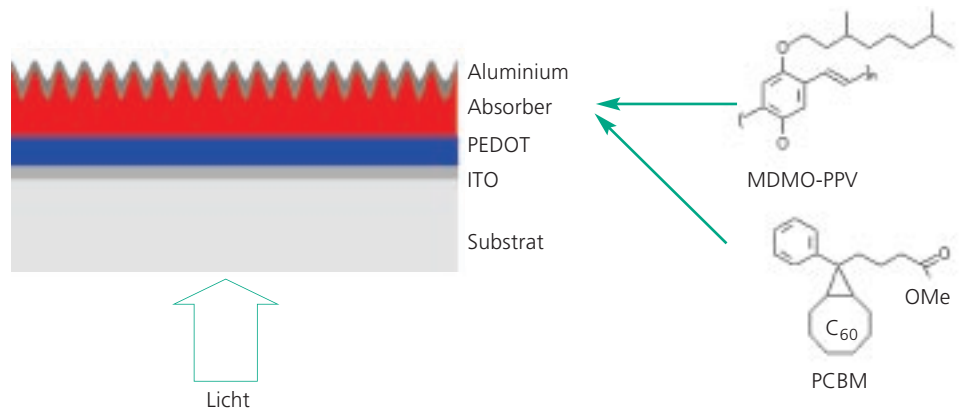


Abb. 3: Aufbau einer organischen Solarzelle in der Form wie sie an der Universität Linz entwickelt wurde. Zu erkennen ist außerdem die periodische Nanostrukturierung, die vom Fraunhofer ISE zur Verbesserung der Lichteinkopplung in der Absorberschicht entwickelt wird. Der elektrische Kontakt zur transparenten ITO-Schicht wird durch ein kommerzielles, leitfähiges Polymer PEDOT hergestellt.



Für das geplante Hochhaus GALLILEO der Dresdner Bank (links im Bild) hat das Fraunhofer ISE die Sonnenschutzwirkung von verschiedenen Fassadenvarianten bewertet. Das Neue an unserer Bewertungsmethode ist die gleichzeitige Berücksichtigung folgender Parameter: typische Wetterdaten, winkelabhängige g-Werte sowie unterschiedliche Strategien zur Regelung der Lamellenstellung der Jalousien (Beitrag S 40).



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

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

was sie im Labor versprochen hat. Unsere Kunden profitieren dreifach:

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

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

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

Ansprechpartner

Fenster- und Fassadentests	Dr. Werner Platzer	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-51 31 E-Mail: Werner.Platzer@ise.fhg.de
	Dipl.-Phys. Tilman Kuhn	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-52 97 E-Mail: Tilman.Kuhn@ise.fhg.de
Kollektor- und Speichertests	Dipl.-Phys. Matthias Rommel	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-51 41 E-Mail: Matthias.Rommel@ise.fhg.de
Lebensdauerprüfung von Materialien	Dipl.-Phys. Michael Köhl	Tel.: +49 (0) 7 61/4 01 66-82 E-Mail: Michael.Koehl@ise.fhg.de
Lichtmessräume	Dipl.-Ing. Jan Wienold	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-51 33 E-Mail: Jan.Wienold@ise.fhg.de



Transparente Fassaden: Bewertung der solarthermischen und optischen Eigenschaften

Transparente Fassaden versorgen Räume mit Sonne und Tageslicht und ermöglichen den Sichtkontakt mit der Umgebung. Gleichzeitig muss sommerlicher Wärmeschutz und Blendenschutz sichergestellt werden.

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

Oft werden die Regelung der Systeme und die richtungsabhängige Einstrahlung bei der Gebäudeplanung unzureichend berücksichtigt. Wir entwickeln neue Bewertungsmethoden, wirken beratend in Planungsteams mit und engagieren uns in der Europäischen Normungskommission in Fragen des visuellen und thermischen Komforts.

Süd-Südost Fassade GALAXY

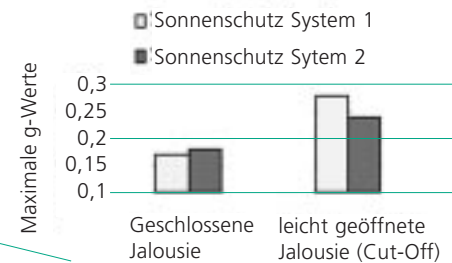


Abb. 2: Die Sonnenschutzwirkung ist stark von der Art der Benutzung abhängig. Die Reihenfolge der Bewertung kehrt sich um, wenn die Jalousie nicht geschlossen wird.

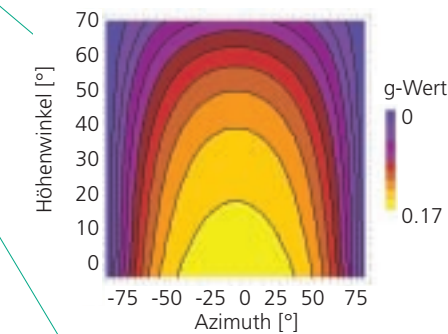


Abb. 3: Winkelabhängige g-Werte.

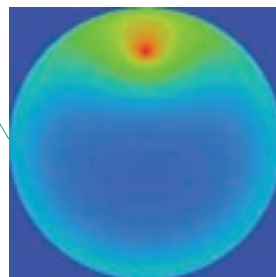


Abb. 4: Typische Himmelsleuchtdichten.

Wir konnten unsere Forschungsergebnisse bei den geplanten Hochhäusern GALAXY, Commerzbank Wien und GALLILEO, Dresdner Bank Frankfurt (Main), praktisch anwenden. Dazu untersuchten wir für die jeweilige Fassade mehrere Systeme und unterschiedliche Regelstrategien (Lamellenstellung in Abhängigkeit von der Sonnenposition). Die Vor- und Nachteile stellten wir als Entscheidungsgrundlage für den Auftraggeber Bug-Alutechnik, Kennelbach in Österreich, zusammen. Bei der Entscheidung für innenliegende Jalousien waren folgende Faktoren ausschlaggebend:

- Unempfindlichkeit gegen Fehlbedienung, sowohl beim Sonnen- als auch beim Blendenschutz. Wir verwarfen Systeme, die nur bei ganz bestimmtem Nutzerverhalten sehr gut funktionieren, ansonsten aber wirkungslos sind.
- Die maximalen g-Werte, die sich für typische Wetterdaten für Wien oder Frankfurt ergeben, mussten unterhalb von bestimmten Schranken liegen, um eine energiesparende Dimensionierung der Kühlanlagen zu ermöglichen.
- Auf der Basis von Stundenwerten für die typische Einstrahlung wurde die Häufigkeitsverteilung der g-Werte im Zeitraum 21. Juni bis 21. September evaluiert. Auch hier berücksichtigten wir verschiedene Regelstrategien für die Lamellenstellung.

Die Ergebnisse der Untersuchung werden gemeinsam mit Bug-Alutechnik in einer Nutzerfibel zusammengefasst und so allen künftigen Nutzern der Gebäude zugänglich gemacht.



Abb. 1: Geplantes Hochhaus GALAXY, Commerzbank Wien. Die Planungssicherheit wird erhöht, wenn unterschiedliche Strategien zur Regelung der Sonnen- und Blendschutzsysteme berücksichtigt werden. Insbesondere konnten Systeme gewählt werden, die sich bei einer »Fehlbedienung« gutmütig verhalten.



SWIFT – Switchable Façade Technology: Transparente Fassaden mit steuerbarem Licht- und Energiedurchlass

Neue Produkte für Gebäude müssen nicht nur technisch entwickelt und geprüft werden, sie müssen für die Integration ins Gesamtsystem Gebäude fit gemacht werden. Die zukünftigen Planer und Kunden benötigen Informationen und Richtlinien, wie neue Funktionalitäten und Eigenschaften architektonisch und technisch optimal eingebunden werden können.

Ulrich Amann, Sebastian Bundy, Markus Heck*, Angelika Helde, Michael Köhl, **Werner Platzer**, Jan Wienold

Elektrochrome Verglasungen der Firma Flabeg, Fürth, sowie die gaschromen Verglasungen (Abbildung 1) der Firma Interpane, Lauenförde, sind die Grundlagen für transparente Fassaden mit steuerbarem Licht- und Energiedurchlass. Beide Varianten werden in dem von der Europäischen Gemeinschaft geförderten Projekt SWIFT umfassend charakterisiert, bewertet und optimiert. Dabei arbeiten zwölf Partner aus Industrie und Forschung unter der Koordination des Fraunhofer ISE zusammen. Fassadensystem, Ansteuerung, Kunstlichtergänzung sowie Regelalgorithmen aller Teilkomponenten ergänzen die Verglasungen. Die Firmen Philips Lighting B.V., Eindhoven, und Metallbau Boetker, Stuhr, arbeiten intensiv an diesen Aspekten.

Das Projekt bearbeitet viele Teilaufgaben:

- Die dynamischen optischen und thermischen Eigenschaften der Fassaden werden im Labor geprüft und über längere Zeiträume in Testfassaden vermessen.
- Die Haltbarkeit und Belastbarkeit werden in beschleunigten Kurzzeittests und in der Außenbewitterung untersucht.
- Dazu müssen bewährte Prüfverfahren an die neuartigen Systeme angepasst und weiterentwickelt werden.
- Die Integration der schaltbaren Fassadensysteme in Architektur und Technik des Gebäudes wird optimiert. Die Regelung von Kunstlicht, Fassade und Kühlung wird simultan optimiert.
- Die Maximierung des thermischen und visuellen Komforts sollte einhergehen mit minimalem Energieaufwand. Evaluierungen in realen Büros liefern Information über Vorlieben und Verhalten der Nutzer.

Im bisherigen Projektverlauf haben wir die Fassadensysteme optisch und thermisch soweit charakterisiert und in Simulationsmodelle (Abbildungen 2 und 3) eingebaut, dass wir sie für verschiedenste Klimazonen und Nutzungsvarianten optimieren können. Die Langzeituntersuchungen haben begonnen; mit Ergebnissen rechnen wir im nächsten Jahr.

Für die Fachöffentlichkeit werden – neben speziellen Daten und Hintergrundinformationen für die beteiligten Firmen – zwei Handbücher zur architektonischen und technischen Integration der schaltbaren Fassaden entstehen.



Abb. 1: Durchsicht durch eingefärbte gaschrome Verglasung mit Temperatursensoren am Fassadenteststand.

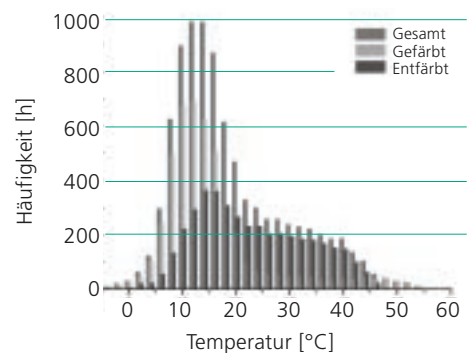


Abb. 2: Häufigkeitsverteilung der Temperaturen der beschichteten Glasscheibe in einer gaschromen Verglasung (Stunden pro Jahr).

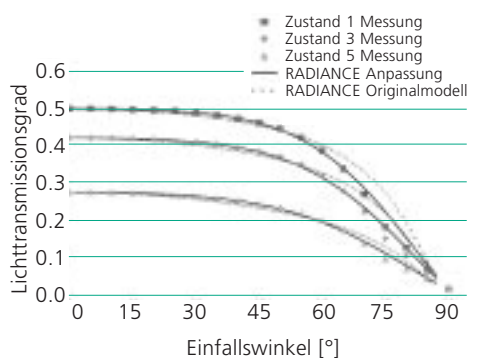


Abb. 3: Lichttransmissionsgrad – Modellierung der verschiedenen Schaltzustände einer elektrochromen Verglasung in dem Tageslichtsimulationsprogramm RADIANCE (Zustand 1: vollständig gebleicht; Zustand 3: intermediär; Zustand 5: vollständig gefärbt).

* PSE Projektgesellschaft Solare Energiesysteme mbH, Freiburg



Leistung, Haltbarkeit und Nachhaltigkeit von innovativen Fenstern und Solarkomponenten

Innovative Produkte mit vollständig neuen Funktionseigenschaften und Anwendungsbereichen, wie schaltbare Fenster, werden immer schneller entwickelt und auf den Markt gebracht. Unter der Leitung des Fraunhofer ISE wird gemeinsam mit 35 internationalen Partnern aus Industrie und Forschung im Rahmen der Task27 des Solar Heating and Cooling Programme der International Energy Agency (IEA) die Grundlage für eine anwendungsorientierte Prüfung und Beurteilung solarer Bauteile entwickelt.

Andreas Gombert, Bettina Greiner, Markus Heck*, Michael Köhl, Werner Platzer, Helen Rose Wilson**

Für die Durchführung von Prüfungen haben wir auf unserem Instituts-Neubau einen Freibewitterungs-Teststand mit Monitoring für Klima- und Probenparameter aufgebaut sowie eine Doppel-Klimaprüfkammer konzipiert und beschafft (Abbildung 2).

Ziele der Arbeiten sind:

- die Unterstützung der Industrie bei der Weiterentwicklung und Spezialisierung ihrer Produkte
- die Förderung des Vertrauens der Verbraucher in den Einsatz dieser Produkte durch Bewertung von Leistung, Haltbarkeit und Nachhaltigkeit von solaren Bauteilen.

Die breite internationale Basis der Task27 mit Experten aus Industrie und Forschung aus Europa, Japan, USA und Kanada ermöglicht die Vorbereitung international akzeptierter Normen.

* PSE Projektgesellschaft Solare Energiesysteme mbH, Freiburg
** Interpane E&BmbH, Lauenförde



Abb. 1: Testfassade mit eingefärbten und entfärbten schaltbaren (gaschromen) Fenstern am Fraunhofer ISE.



Abb. 2: Doppel-Klimaprüfkammer für Fenster und solare Fassaden am Fraunhofer ISE.

Leistung

Die messbaren thermischen und solaren Eigenschaften von Komponenten der Gebäudehüllen sowie deren Effekte auf den Energieverbrauch und die thermische und visuelle Behaglichkeit in Gebäuden sollen zusammengeführt und zu strukturiertem Wissen weiterentwickelt werden.

Dazu entwickeln wir anwendungsorientierte Messverfahren und

Rechenmodelle für:

- Schaltbare Fenster
- Tageslichtsysteme
- Verschattungssysteme
- Transparente Wärmedämmelemente
- Doppel-Fassaden
- Fenster-Wand-Schnittstellen.

Haltbarkeit

Für eine erfolgreiche Kommerzialisierung müssen Solarprodukte für Gebäude drei wichtige Kriterien erfüllen:

- maximale Leistung
- minimale Kosten
- gesicherte Gebrauchsdauer

Ein weiteres Ziel der Arbeiten ist deshalb eine generelle Methodik für Haltbarkeits-Tests und für die Vorhersage der Gebrauchsdauer. Sie soll auch für viele neuen Materialien und Komponenten der energieeffizienten Solarthermie am Gebäude gelten. Fallstudien an schaltbaren Fenstern, Kollektorverglasungen, Reflektoren und Fassadenkollektorbeschichtungen dienen der Validierung der Verfahren.

Nachhaltigkeit

Zur Nachhaltigkeit solarer Komponenten der Gebäudehülle werden im Rahmen der Task27 vor allem zwei Aspekte untersucht:

- Umwelteinwirkungen bei Herstellung, Betrieb und Recycling/Entsorgung
- Bewertung der Anwendungs- und Lebensdauerbeschränkung durch Alterung und damit verbundenem Bauteilversagen.

Entsprechende Verfahren (Environmental Impact Assessment, Failure Mode Effect Analysis) werden zunächst an Isolierglas-Fenstern erprobt.



Neuer Teststand für thermische Kollektoren – schneller und genauer

Das Fraunhofer ISE hat im Sommer 2001 seinen Neubau bezogen. Dadurch war die Möglichkeit gegeben, einen neuen großen Solarsimulator und Indoor-Kollektorteststand aufzubauen. Damit können wir thermische Kollektoren und Fassadenkomponenten bis zu einer Abmessung von $2,4 \times 2 \text{ m}^2$ vermessen.

Uli Gardemann, Joachim Koschikowski*, **Matthias Rommel**, Arim Schäfer, Vitali Schmidt, Marco Schuler

Mit dem neuen Teststand können wir wetterunabhängig und schnell:

- Kollektoren nach europäischen Normen testen
- neue Produkte charakterisieren und damit deren Entwicklung beschleunigen.

Wir können alle praxisrelevanten Einstrahlungsbedingungen nachbilden und auch vertikale Fassadenelemente oder Kollektoren mit Reflektoren untersuchen. Den Kollektor-Wirkungsgradfaktor F' können wir an kompletten Absorbern bestimmen.

Abbildung 1 gibt einen Eindruck des Gesamtaufbaus. Das Lampenfeld des Solarsimulators besteht aus 8 einzelnen Halogen-Metaldampflampen. Ihr Spektrum ist sehr gut dem AM 1.5 Solarspektrum angepasst. Die Strahler haben wir mit elektrischer Versorgungseinheit gekauft. Alle anderen Komponenten des Sonnensimulators und des Indoor-Kollektorteststands haben wir selbst konstruiert und aufgebaut.

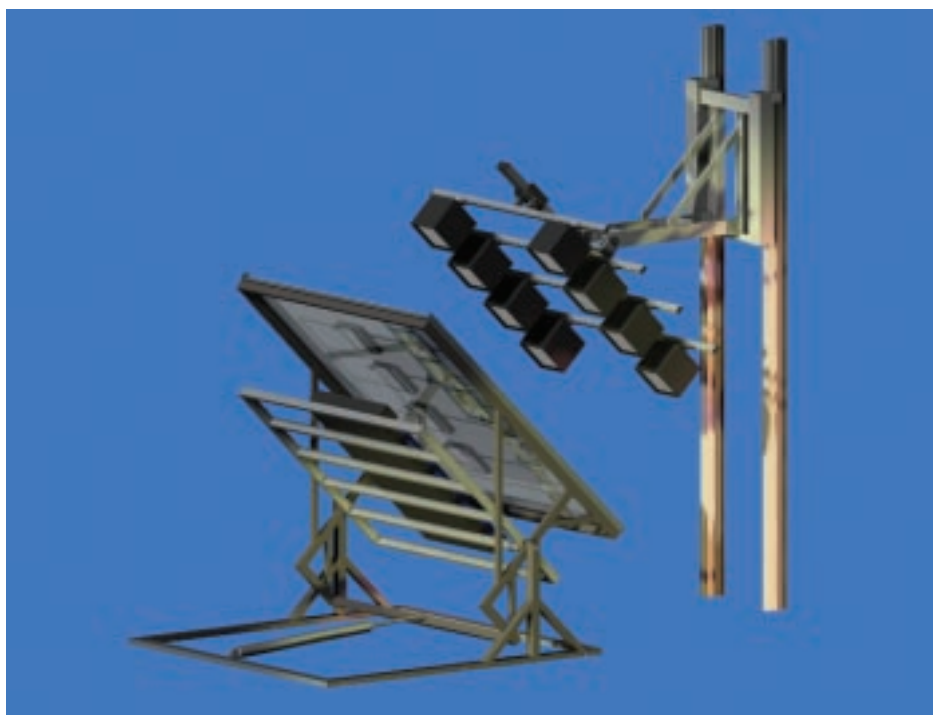


Abb. 1: Gesamtaufbau des Solarsimulators.

Über Höhenverstellung und Kippen des Lampenfeldes können wir Intensität, Einstrahlwinkel und Homogenität flexibel verändern.

Zwischen Lampenfeld und Kollektor befindet sich ein »künstlicher Himmel« aus zwei parallelen Glasscheiben deren Zwischenraum von kalter Luft durchströmt wird. Damit entsprechen die Messbedingungen den Strahlungsverhältnissen im tatsächlichen Einsatz.

Die wichtigsten technischen Angaben zum Solarsimulator sind:

- Größe der Prüffläche $2,4 \times 2 \text{ m}^2$. Andere Geometrien der Prüffläche sind möglich.
- Bestrahlungsintensität 1200 W/m^2 ohne künstlichen Himmel,

1000 W/m^2 mit künstlichem Himmel

- Homogenität dabei $\pm 10 \%$
- Neigungswinkel des Lampenfeldes $0^\circ - 90^\circ$
- Divergenz so gering, dass wir den Einstrahlwinkelkorrekturfaktor IAM auch für Kollektorkonstruktionen mit Reflektoren bestimmen können.

* PSE Projektgesellschaft Solare Energiesysteme mbH, Freiburg



Tageslichtangebot, Luftqualität und sommerliches Raumklima am Arbeitsplatz profitieren von einer frühzeitigen konzeptionellen Abstimmung von Architektur und Technik. Das Beispiel zeigt die Fassade des neuen Verwaltungsgebäudes der Pollmeier Massivholz GmbH in Kreuzburg bei Eisenach. Trotz hoher Anforderungen an die Arbeitsplatzqualität soll der Primärenergieeinsatz für Heizen, Lüften, Kühlen und Beleuchten unter $100 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ liegen. Energiemessungen und Untersuchungen zur Nutzerakzeptanz beginnen 2002.

Architektur: Seelinger & Vogels, Darmstadt
Technische Gebäudeausrüstung: solares bauen GmbH, Freiburg
Sonderplanungsleistungen: Fraunhofer ISE, Freiburg



Zukunftsfähige Gebäude erfordern eine deutliche Minderung des Energieverbrauchs. Die Energieeinsparverordnung wird ab 2002 den Weg zu sinkendem Wärmebedarf von Neubauten fortschreiben. Darüber hinaus zeigen gebaute Beispiele, dass schon heute mit verfügbaren Strategien und Technologien Gebäude bis hin zum Nullemissionshaus zu vertretbaren Kosten umsetzbar sind. Die erhöhte Energieeffizienz ist die Basis für die große Bedeutung der Solarenergie im Energiehaushalt der Gebäude.

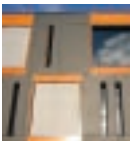
Während der Energieverbrauch bei Wohngebäuden vom Wärmebedarf für Heizung und Warmwasser dominiert wird, überwiegt in Bürogebäuden schon heute der Stromverbrauch.

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

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

Ansprechpartner

Solar-Passivhäuser	Dr. Andreas Bühring	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-52 88 E-Mail: Andreas.Buehring@ise.fhg.de
	Dr. Christel Russ	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-51 30 E-Mail: Christel.Russ@ise.fhg.de
Demonstrationsprojekte und Querschnittsanalysen	Dr. Karsten Voss	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-51 35 E-Mail: Karsten.Voss@ise.fhg.de
Gebäudesimulation	Dipl.-Ing. Sebastian Herkel	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-51 17 E-Mail: Sebastian.Herkel@ise.fhg.de
Solare Klimatisierung	Dr. Hans-Martin Henning	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-51 34 E-Mail: Hans-Martin.Henning@ise.fhg.de
	Dipl.-Ing. Carsten Hindenburg	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-53 53 E-Mail: Carsten.Hindenburg@ise.fhg.de
Sonnenschutz	Dipl.-Phys. Tilmann Kuhn	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-52 97 E-Mail: Tilmann.Kuhn@ise.fhg.de
Tageslichtnutzung	Dipl.-Ing. Jan Wienold	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-51 33 E-Mail: Jan.Wienold@ise.fhg.de



Solares Bauen – Wohnhäuser

Solar-Passivhäuser haben durch eine sehr gut gedämmte Gebäudehülle und Lüftungswärme-Rückgewinnung derart geringe Wärmeverluste, dass diese durch die Solargewinne der Fenster und eine Zuluftheizung gedeckt werden können. Solaranlagen zur Trinkwassererwärmung und zur Stromerzeugung decken einen hohen Anteil des Energiebedarfs.

Rico Blattert, **Andreas Bühring**,
Volker Hoffmann, Klaus Kiefer,
Christel Russ, Karsten Voss

Wir untersuchen in einem Monitoringprogramm die Effizienz neuartiger Wärmeversorgungskonzepte in rund 100 Solar-Passivhäusern in ganz Baden-Württemberg. Die Wärmeversorgung basiert nur auf elektrisch betriebenen Wärmepumpen und Solarkollektoren.

Für den Einsatz in Solar-Passivhäusern wurde von der Industrie – teilweise mit Unterstützung durch das Fraunhofer ISE – eine neue Klasse haustechnischer Anlagen entwickelt, die Lüftungs-Kompaktgeräte. Sie haben neben der passiven Wärmereückgewinnung mit Luft-Luft-Wärmeübertrager eine Wärmepumpe, die der Abluft Restwärme entzieht und zur Raumheizung und Trinkwassererwärmung nutzt. Meist sind die Geräte über einen Speicher mit einer thermischen Solaranlage zu verbinden, um im Sommer die Trinkwassererwärmung möglichst vollständig zu übernehmen.

In anderen untersuchten Solar-Passivhäusern liefert jeweils eine erdreichgekoppelte Wärmepumpe zusammen mit einer Solaranlage die Wärme. In einer ebenfalls untersuchten kleinen Passivhaus-Siedlung übernehmen dies je eine zentrale Wärmepumpe und Solaranlage für acht Häuser gemeinsam. Zur detaillierten, vergleichenden

Analyse zwischen einer zentralen und dezentralen Wärmeversorgung fördert die Stiftung Energieforschung Baden-Württemberg ein Intensiv-Monitoring dieser Anlage. Das Monitoring der anderen Häuser fördert die Energie Baden-Württemberg EnBW.

Die Auswertung der bisher vorliegenden Ergebnisse zeigt Unterschiede entsprechend der Versorgungsstruktur (Abbildung 1). Vergleicht man den Stromverbrauch für Heizung, Lüftung und Trinkwassererwärmung, so haben die regelungstechnisch gut abgestimmten Lüftungs-Kompaktgeräte den geringsten Stromverbrauch. Lüftung, Restheizung und Trinkwassererwärmung mit modular zusammengesetzten Aggregaten unterschiedlicher Hersteller zeigen einen deutlich höheren Stromverbrauch. Dieser wird teilweise durch eine schlechte Abstimmung der Regelungen verursacht. Bei der zentralen Wärmeversorgung bewirken die Wärmeverluste durch große Leitungslängen und nicht optimale Regelung einen erhöhten Stromverbrauch der Haustechnik.

Im Passivhaus gleichen sich die Nutzenergieanforderungen für Wärme und Strom weitgehend an.

Brennstoffzellen-Heizungen sind für Passivhäuser besonders geeignet, denn sie haben eine hohe Stromkennzahl. Das ist das Verhältnis gelieferten Stroms zur gelieferten Wärme. Wir entwickeln für die Industrie Konzepte zur Integration von Brennstoffzellen geringer Leistung in Lüftungs-Kompaktgeräte. Die Versorgung von Passivhäusern mit Brennstoffzellen-Heizungen im Vergleich mit anderen Wärmeversorgungssystemen untersuchen wir in einem im Jahr 2002 anlaufenden Projekt.

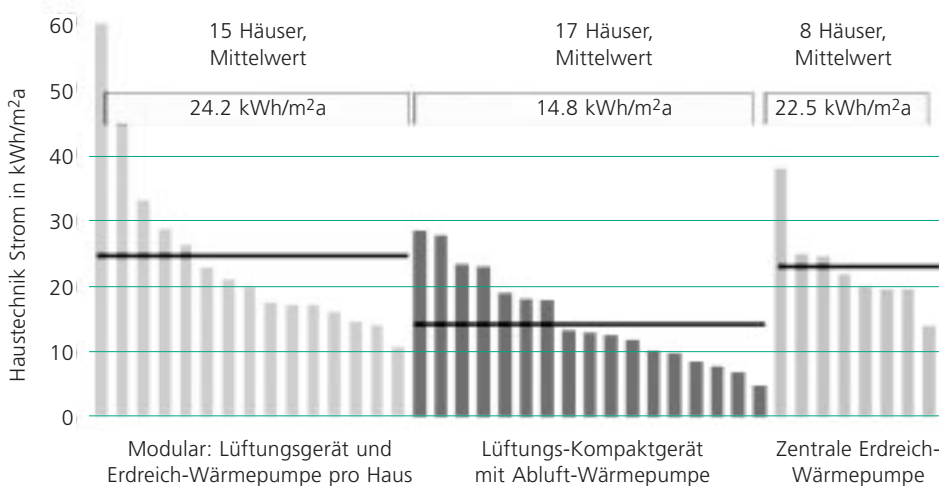


Abb. 1: Stromverbrauch der Haustechnik in Solar-Passivhäusern mit drei unterschiedlichen Wärmeversorgungstechniken. Jeder Balken entspricht einem Haus. Innerhalb einer Gruppe sind die Häuser nach ihrem Energieverbrauch angeordnet. Messungen im Auftrag der EnBW und der Stiftung Energieforschung Baden-Württemberg.



Solares Bauen – Gewerbliche Bauten



Kleine Passiv-Reihenhauszeile in Ötigheim.



Frei stehendes Passivhaus in Hohenstein.



Passiv-Doppelhäuser in Königsbach-Stein.



Frei stehendes Passivhaus in Bretzfeld.

Abbildungen: Projekte in Baden-Württemberg aus dem Monitoring-Programm zur Bewertung der Effizienz unterschiedlicher Wärmeversorgungssysteme in Solar-Passivhäusern.

Optimale Bedingungen am Arbeitsplatz stehen im Mittelpunkt einer Gebäudeplanung für gewerbliche Bauten. Thermischer und visueller Komfort sind dabei entscheidende Aspekte und eng verbunden mit dem planerischen Konzept eines Gebäudes in den Bereichen Lüftung, Kühlung und Beleuchtung.

Armin Furkert, **Sebastian Herkel**, Tilmann Kuhn, Jens Pfafferott, Patrick Schröder, Karsten Voss, Jan Wienold

Verwaltungs- und Produktionsgebäude Solvis

Im Frühjahr 2002 wird das neue Verwaltungs- und Produktionsgebäude Solvis in Braunschweig fertiggestellt (Abbildung 1). Im Auftrag der Firma arbeiten wir im Planungsteam an dem Ziel einer Null-Emissionsfabrik mit hohem Solaranteil bei der Energieversorgung (Abbildung 2). Auf dem Gebäudedach werden eine 60 kWp Solarstromanlage und eine 200 m² Solarkollektoranlage installiert.



Abb. 1: Modell des Solvis Gebäudes (Quelle: Banz+Riecks).

Der Heizwärmebedarf des Gebäudes liegt bei 25 kWh/m²a. Der Primärenergiebedarf für Heizen, Lüften, Kühlen und Beleuchten liegt bei 85 kWh/m². Die Deckung erfolgt ausschließlich über erneuerbare Energie.

Die Büros verfügen über eine Abluftanlage in Kombination mit einer Abluftwärmepumpe. Die Produktionshallen besitzen eine Zu- und Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung. Im Sommer sorgt erhöhter Volumenstrom für nächtliche Entwärmung.

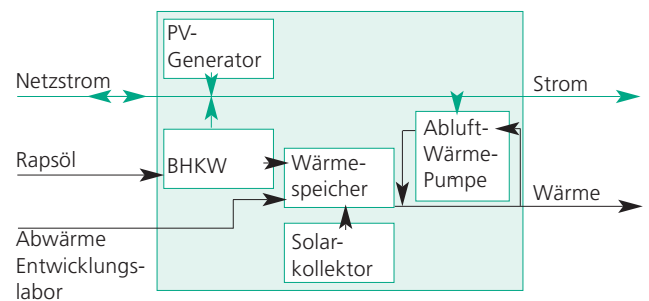
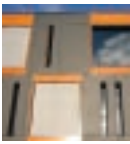


Abb. 2: Schaltskizze zur Energieversorgung des Solvis Gebäudes.



Die im Gebäude aufgestellten Sprinklertanks dienen gleichzeitig als Wärmespeicher für die Kollektoranlage. Sie stehen ungedämmt in der Halle und tragen als Niedertemperaturstrahler zur Heizung bei.

Abwärme aus dem Entwicklungslabor für Heizungs Brenner wird dem Pufferspeicher der Rapsöl-Blockheizkraft-Anlage zugeführt. Abwärme der EDV-Zentrale unterstützt im Winter die Heizung der Lagerhalle.

Den Anteil Glasfläche an der Fassade haben wir durch gekoppelte Tageslicht- und Raumklima-Simulationen optimiert. Büros und Hallen erhalten eine tageslichtabhängige Beleuchtungssteuerung. Produktionshallen und Lagerhalle werden durch Oberlichter mit Tageslicht versorgt.

	Länge [m]	Nennvolumenstrom [m ³ /h]	Heizenergie [MWh/a]	Kühlenergie [kWh/a]
Lamparter	180	1.200	1,17	2,6
DB-Hamm	2150	11.000	25	22,9

Tabelle 1: Kenndaten und Beiträge der EWT zur Energiebilanz bei Deutsche Bahn, Hamm und Lamparter, Weilheim.

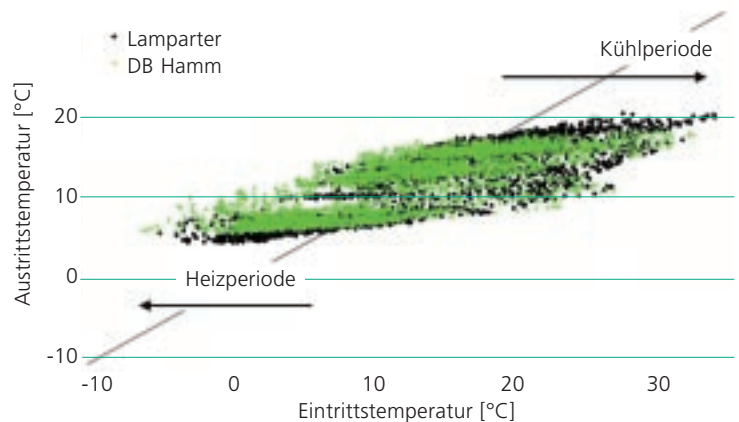
Erdwärmetauscher in Bürogebäuden

Wegen der hohen Nachfrage bei luftdurchströmten Erdwärmetauschern (EWT) haben wir unsere Aktivitäten ausgedehnt. Neben Auslegung und Integration in die Anlagentechnik bieten wir jetzt auch Betriebsoptimierung und Monitoring realisierter Erdwärmetauscher.

Der Vergleich von zwei Monitoring-Ergebnissen für ein komplettes Jahr demonstriert das Potenzial dieser Technik (Tabelle 1). Der EWT für das Bürohaus Lamparter in Weilheim ist deutlich kleiner als der EWT für das Verwaltungsgebäude der Deutsche Bahn Netz AG in Hamm. Der höhere spezifische Energieertrag (kWh/ma) des EWT in Hamm ist auf eine längere jährliche Laufzeit und den Aufbau des EWT zurückzuführen.

Beide EWT haben Optimierungspotenziale: Zeitweise wird die Luft im Winter ungewollt gekühlt bzw. im Sommer ungewollt erwärmt (Abbildung 3). Für beide EWT haben wir daher eine Außentemperaturgeführte Regelung vorgeschlagen. Ein weiteres Ergebnis des Monitoring ist die Verbesserung unserer Auslegungswerkzeuge.

Abb. 3: Der Erdwärmetauscher (EWT) Lamparter erzielt im Sommerbetrieb bis zu 11 K Temperaturabsenkung, der EWT DB Hamm bis zu 13 K. Im Winterbetrieb liefert der EWT Lamparter bis zu 11 K Temperaturhub, der EWT DB Hamm bis zu 13 K. Der EWT DB Hamm stellt eine gleichmäßigere Austrittstemperatur als der EWT Lamparter bereit. Das gesamte Temperaturniveau am EWT Lamparter ist wegen des Standortes Weilheim 1,5 K höher als am EWT DB Hamm.

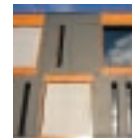


Hochhaus Galaxy

Wir unterstützten das Planungsteam für das Hochhaus Galaxy der Commerzbank in Wien mit Modellrechnungen und kalorimetrischen g-Wert-Messungen. Auftraggeber war die Firma Bug Alutech, Kennelbach Österreich.

	Gebäudekonzept	Simulation Raumklima	Simulation Licht	Beratung	Produktprüfung	Qualitätssicherung	Monitoring
DB Hamm							•
Fraunhofer ISE	•	•	•	•	•		•
Fraunhofer ZV		•	•	•		•	
Pollmeier			•			•	•
Gallileo				•	•	•	
Rocade	•	•	•	•			
Lamparter	•	•					•
Galaxy				•		•	
Solvis	•	•	•	•			

Tabelle 2: Die Projekte des Jahres 2001.



Solares Bauen – Querschnittsanalysen

In Querschnittsprojekten für nationale und internationale Programme dokumentieren und analysieren wir Demonstrationsbauten und führen Potenzialanalysen durch.

Karsten Voss, Jan Wienold

Sustainable Solar Housing

Seit April 2000 besteht die gleichnamige Arbeitsgruppe innerhalb der Programme »Solar Heating and Cooling« und »Energy Conservation in Building and Community Systems« der Internationalen Energieagentur IEA (www.solarbau.de). Im Rahmen eines BMWi-Vorhabens koordinieren wir die internationalen Aktivitäten zu einem abgestimmten Gebäude-Monitoring und beteiligen uns mit eigenen Demonstrationsprojekten, Simulationsrechnungen (Erdwärmetauscher) und Teststandmessungen (Lüftungs-Kompaktgeräte).

Je geringer der Heizenergiebedarf eines Gebäudes, desto wichtiger werden Wärmeverluste bei Speicherung und Verteilung sowie der Anteil an Hilfsenergie z.B. für Pumpen und Ventilatoren. Bei der Analyse von Monitoring-Ergebnissen differenzieren wir deshalb genau zwischen Nutzwärmebedarf einerseits und seiner Deckung in Form von End- und Primärenergie andererseits (Abbildung 1). Dazu entwickeln wir Analyseverfahren, die wir zur breiten Nutzung im Internet zur Verfügung stellen werden.

SolarBau:MONITOR

Bereits seit 1998 arbeiten wir mit der Universität Karlsruhe und dem Berliner Architekturbüro solidar an einer zusammenfassenden Evaluierung des Förderkonzepts SolarBau des BMWi. Dazu werten wir die Ergebnisse von

Demonstrationsprojekten des Nichtwohnungsbaus aus.

Einen Höhepunkt in 2001 bildete das Symposium »Solaroptimiertes Bauen geplant – gebaut – geprüft« am 24. und 25. Juni im Berliner Museum für Verkehr und Technik mit 150 Teilnehmern aus Planungsbüros, Universitäten und Instituten. Schon seit Anfang des Jahres steht eine 80-seitige Dokumentation zum Thema zur Verfügung (Bezug via Internet: <http://bine.fiz-karlsruhe.de>).

Die Internetseite www.solarbau.de findet mit monatlich 20.000 Zugriffen ein breites Echo in der Fachwelt. Sie wird ständig erweitert, derzeit sind bereits 18 Projekte dokumentiert.

SolGain

Im Rahmen eines EU-Projektes haben wir den Beitrag der passiven Solargewinne zur Deckung des Heizwärmebedarfs im europäischen Wohngebäudebestand rechnerisch ermittelt. Dieser Beitrag wird bisher in keiner Energiestatistik ausgewiesen. Daher wird der Anteil erneuerbaren Energien an der Energieversorgung systematisch weit unterschätzt.

Zur Klärung der solaren Beiträge haben wir in Zusammenarbeit mit der TU München ein international abgestimmtes Verfahren basierend auf statistischen Angaben zum Gebäudebestand (Gebäudetypen, Baualterklassen, Versorgungstechnik) und Wärmebedarfsberechnungen gemäß der EN 832 »Thermal Performance of Buildings« entwickelt und angewendet.

Die Ergebnisse zeigen, dass schon heute die Solarenergienutzung eine große Rolle im Energiehaushalt von

Wohngebäuden spielt. Abhängig vom Standort, Gebäudestandard und anderen Einflussfaktoren, beträgt der solare Deckungsbeitrag zum Heizenergiebedarf zwischen 10 und 15 %. (Tabelle 1).

Die Werte von Tabelle 1 beziehen sich auf die jeweiligen Heizperioden. Der »tatsächliche« passive Solarbeitrag liegt nochmals höher, denn die Heizperiode wäre deutlich länger, wären keine Solargewinne vorhanden. Beispielrechnungen für Deutschland zeigen, dass sich der nutzbare Solarbeitrag zur Gesamtheizenergiebilanz verdoppelt, wenn auch die Zeiten außerhalb der Heizperiode berücksichtigt werden.

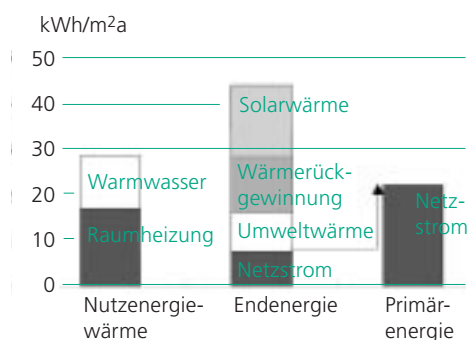
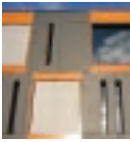


Abb. 1: Gemessene Energiekennzahlen für die Wärmeversorgung eines Solar-Passivhauses in Neuenburg. Das Haus verfügt über ein Lüftungs-Kompaktgerät mit Luft-/Erdregister und eine thermische Solaranlage.

Land	SA [%]	GSG [TWh]	GE [Mio€]	GCO2 [Mt]
N	10	4.4	295	0.4
SF	15	8.6	541	2.4
UK	15	57	2631	22.5
Irl	12	1.9	128	1.8
D	13	76	3230	30
B	12	13	646	4.4
Gr	12	5.5	352	2.1

Tabelle 1: Ergebnisübersicht SolGain
SA: Deckungsanteil der passiven Solargewinne
GSG: Gesamte Solargewinne
GE: Gesamte Kosteneinsparungen
GCO2: Gesamte eingesparte CO₂ Emissionen



Solare Klimatisierung

Wir untersuchen seit rund sechs Jahren intensiv die Klimatisierung von Gebäuden mit Solarenergie. Unsere F&E-Aktivitäten reichen von der Entwicklung neuer Kühlverfahren auf der Basis von Adsorptionstechnik über die wissenschaftliche Begleitung von Pilot- und Demonstrationsanlagen bis hin zur Beratung von Planern und Architekten.

Andreas Baumeister,
Hans-Martin Henning,
Carsten Hindenburg, Mario Motta,
Tomas Núñez, Katja Scheuble,
Tim Selke*, Edo Wiemken

Die Nutzung der Solarenergie zur sommerlichen Gebäudeklimatisierung bietet sich wegen der Gleichzeitigkeit von Lasten und Solargewinnen im saisonalen Maßstab an. Die praktische Erfahrung zeigt allerdings, dass sorgfältige Auslegung und Ausführung der Anlage notwendig sind, um avisierte Energieeinsparungen gegenüber herkömmlicher Klimatisierung in der Praxis zu realisieren. Wir arbeiten an Verfahren, die thermische Solarenergie zur Kühlung und/oder Luftentfeuchtung nutzen (Abbildung 1).

Neben grundlegenden Arbeiten (Materialforschung, Beitrag Seite 32, Wärme- und Stofftransportunter-

suchungen in Adsorptionsanlagen) ist die wissenschaftliche Begleitung von Pilot- und Demonstrationsprojekten ein Schwerpunkt unserer Untersuchungen. Eine Übersicht der wichtigsten Projekte zeigt Tabelle 1. Durch diese Projekte und zahlreiche Studien zu neuen Anlagen haben wir ein breites Know-how über Verfahren, Möglichkeiten und Grenzen der solaren Klimatisierung erworben.

Wir haben Anlagenkonzepte für unterschiedliche klimatische Regionen (z.B. Bangkok/Thailand, Isfahan/Iran, Palermo/Italien) untersucht und können sie auf andere lokale Erfordernisse anpassen. Mittlerweile liegen physikalisch-mathematische Modelle für alle wesentlichen Komponenten solarer Klimatisierungssysteme und erprobte Simulations-Tools vor.

Unsere Erfahrungen werden u.a. in ein Handbuch zur solaren Klimatisierung einfließen, das derzeit im Rahmen von TASK25 »Solar Assisted Air Conditioning of Buildings« des Solar Heating & Cooling Programme der Internationalen Energie-Agentur (IEA) unter Federführung des Fraunhofer ISE erarbeitet wird.

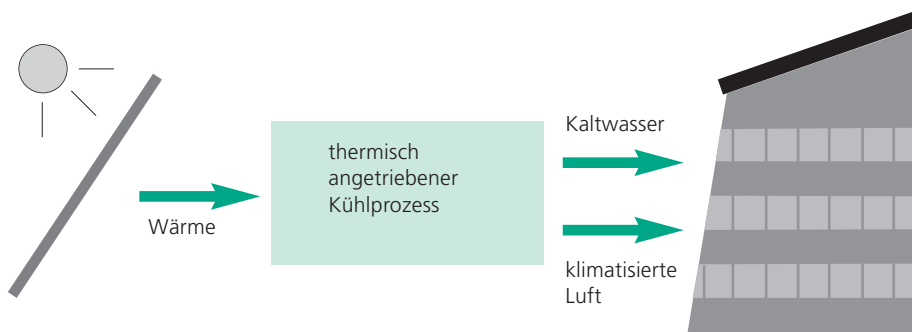


Abb. 1: Generelles Anlagenschema von Anlagen zur solaren Klimatisierung von Gebäuden.

* PSE GmbH Forschung Entwicklung Marketing, Freiburg

Projekt	Förderung durch	Aufgabe Fraunhofer ISE	Inbetriebnahme
Sorptionsgestützte Klimatisierungsanlage Technologiezentrum Riesa	Land Sachsen	Projektleitung; Konzeption und Planung der Gesamtanlage; Begleitung der Installation und Inbetriebnahme; begleitende Vermessung	1997
Solar Desiccant Cooling System for an Office in Portugal	EU-Thermie	Projektleitung; Konzeption und Planung der Gesamtanlage; begleitende Simulation; Design des Monitoring-Systems und der Anlagen-Regelung	1999
Solare Kühlung mit Adsorptionskältemaschine	BMWi	Beratung während der Planungsphase; wissenschaftliche Begleitung des Betriebs; detaillierte Messdatenerfassung und -auswertung, begleitende Simulation; Entwicklung von optimierten Regelungskonzepten	1999
Design and Installation of a Solar Driven Desiccant Cooling Demonstration System	EU-INCO-COPERNICUS	Konzeption und Planung einer Sorptionsgestützten Klimatisierungsanlage zur solaren Klimatisierung eines Hörsaals an der Universität in Eriwan/Armenien; Entwicklung der Regelung; Begleitung der Inbetriebnahme; Monitoring und begleitende Simulation	2001
Advanced Solar Desiccant Cooling Systems for Central European and Mediterranean Climates (Beitrag Seite 51)	EU	Projektleitung; Konzeption und Planung einer Anlage zur solaren sorptionsgestützten Klimatisierung eines Versammlungsraums an der Industrie- und Handelskammer Südlicher Oberrhein in Freiburg; Begleitung der Inbetriebnahme; begleitende Messungen und Auswertung; Entwicklung der Regelung	2001

Tabelle 1: Übersicht über die wichtigsten ausgeführten Anlagen der solaren Klimatisierung mit Beteiligung des Fraunhofer ISE.



Solare Klimatisierung des Sitzungssaales der IHK Südlicher Oberrhein in Freiburg

Die Sorptionsgestützte Klimatisierung stellt eine umweltfreundliche Klimatisierungstechnik dar, die gänzlich ohne Ozonschicht-zerstörende oder klimaschädliche Kältemittel arbeitet. Wegen der niedrigen Antriebstemperaturen ist sie sehr gut für die Einbindung von thermischen Solar Kollektoren und Abwärme z.B. aus Blockheizkraftwerken geeignet.

Sascha Backes, Christian Bichler,
Carsten Hindenburg,
Volker Kallwells*, Mario Motta

Im letzten Jahr wurde in Freiburg die erste Klimaanlage in Deutschland aufgebaut und in Betrieb genommen, die im Sommer thermisch solarautark arbeitet. Sie klimatisiert bei der Industrie- und Handelskammer Südlicher Oberrhein den großen Sitzungssaal und eine Cafeteria im Dachgeschoss. Die sorptionsgestützte Anlage hat einen Nennvolumenstrom von 10.200 m³/h in Verbindung mit einer Solarluftkollektoranlage von 100 m².

Wir haben die Anlage konzipiert und mit von uns entwickelten Simulationsmodellen ausgelegt. Zusammen mit einer großen Regelungstechnikfirma haben wir das System Ende Juni 2001 in Betrieb genommen. Es hat den ersten Sommer mit Bravour bestanden. Selbst bei Außentemperaturen von 35 °C blieben die Innentemperaturen angenehm. Das Projekt (Abbildung 1) hat zwei Besonderheiten:

- Die Solarluftkollektoren sind die einzige Wärmequelle zur Regeneration des Sorptionsmittels.
- Es gibt keinen thermischen Energiespeicher.

Dadurch konnten wir die Systemtech-

nik vereinfachen und die Investitionskosten für die solare Systemtechnik deutlich senken. Als Ergebnis blieb der Anteil für die Solarluftkollektoren und deren Montage unter 10 % der Gesamtinvestitionskosten.

Neben Klimatisierung im Sommer liefert die Anlage auch in den Übergangs- und Wintermonaten einen nennenswerten Beitrag zur Raumheizung. Abbildung 2 zeigt die 100 m² Solarluftkollektoranlage auf dem Dach der IHK.

Bei der wissenschaftlichen Begleitung werden neben der kritischen Überprüfung des Konzeptes in der Praxis vor allem die Optimierung der Regelung und Betriebsführung der Anlage sowie deren energetische Bewertung im Mittelpunkt stehen. Mit Hilfe der real gemessenen Anlagen- und Raumluftzustände können wir bestehende Simulationsmodelle validieren und verbessern. Damit können in Zukunft sorptionsgestützte Klimaanlage noch zuverlässiger ausgelegt und geplant werden.

Durch die Einbindung in das vom Fraunhofer ISE geleitete europäische Projekt »ASODECO: Advanced Solar Driven Desiccant Cooling Systems for Central European and Mediterranean Climates« mit acht Partnern aus vier Ländern ist eine vergleichende Betrachtung mit anderen solargestützten Klimatisierungsanlagen gewährleistet.

Wir danken der Europäischen Union, dem Land Baden-Württemberg, sowie den Firmen GWE Gesellschaft für wirtschaftliche Energieversorgung mbH & Co. KG aus Freiburg, Dieter Bühler Ingenieurbüro GmbH aus Bahlingen und der Grammer KG Solar-Luft-Technik aus Amberg für die finanzielle Unterstützung dieser innovativen Anlage.

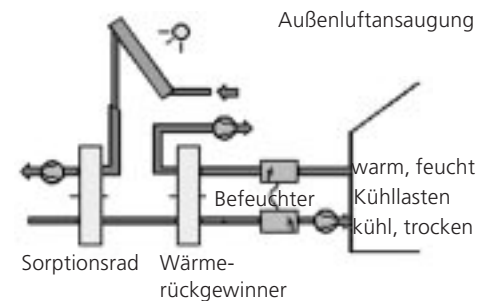


Abb. 1: Systemskizze der Anlage.



Abb. 2: Solarluftkollektoranlage auf dem Dach der IHK Südlicher Oberrhein.



Abb. 3: Blick in klimatisierte Cafeteria.

* PSE GmbH Forschung Entwicklung
Marketing, Freiburg



Brennstoffzellen-Energieversorgung für eine digitale Videokamera. Die »Fraunhofer-Initiative Mikrobrennstoffzelle« entwickelte neuartige Bipolarplatten, den Brennstoffzellenstack, die Systemregelung sowie die Prozesse für eine Serienfertigung (Beitrag S. 54).



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

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

hoher Energiedichte wie Methanol oder Benzin einsetzen.

Die Verwendung im Gebäude ist typisch für den Trend der Brennstoffzellentechnik in zunehmend kleineren Leistungsbereichen. Unsere Mikroenergietechnik arbeitet an Systemen mit 0,1–50 W Leistung. Ob Notebook oder Camcorder, die Brennstoffzelle anstelle eines Akkus erschließt neue Dimensionen bei den Laufzeiten der Geräte und gestattet maßgenaues Design: Elektrische Leistung und Laufzeit sind getrennte Parameter. Ersterer legt die Größe der Brennstoffzelle fest, letzterer die des Speichers.

Dem »Trend« kleiner und kostengünstiger entspricht auch unser neues Projekt eines reversiblen Elektrolyse/Brennstoffzellensystems zur Langzeitspeicherung von hochwertiger Energie. Die gleiche Zelle, die einzuspeichernden Strom in Wasserstoff umwandelt, erzeugt aus diesem bei Bedarf wieder Strom.

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

Ansprechpartner

Brennstoffzellen	Dipl.-Ing. (FH) Mario Zedda	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-52 07 E-Mail: Mario.Zedda@ise.fhg.de
Gasprozesstechnik	Dr. Peter Hübner	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-52 10 E-Mail: Peter.Huebner@ise.fhg.de
	Dr. Thomas Aicher	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-51 94 E-Mail: Thomas.Aicher@ise.fhg.de
Elektrolyse	Dipl.-Ing. Ursula Wittstadt	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-52 04 E-Mail: Ursula.Wittstadt@ise.fhg.de
Systemtechnik und emissionsarme Verbrennung	Dipl.-Ing. Dieter Schlegel	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-52 09 E-Mail: Dieter.Schlegel@ise.fhg.de
Mikroenergietechnik	Dr. Christopher Hebling	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-51 95 E-Mail: Christopher.Hebling@ise.fhg.de
Marketing	Dipl.-Ing. Ulf Groos	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-52 02 E-Mail: Ulf.Groos@ise.fhg.de



Miniatur-Brennstoffzellensystem für einen digitalen Camcorder

Die »Fraunhofer-Initiative Mikrobrennstoffzelle« hat unter Leitung des Fraunhofer ISE das erste miniaturisierte und vollständig funktionsfähige Energieversorgungssystem für einen Camcorder auf Basis einer PEM-Brennstoffzelle entwickelt. Darüber hinaus wurden Lösungen für Produktion und Montage in einer Serienfertigung vorgestellt.

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

Die Fraunhofer-Initiative hat zwei Ziele:

- Brennstoffzellensysteme im Leistungsbereich bis 50 W entwickeln
- Technologien für eine kostengünstige Serienfertigung bereitstellen.

Die Initiative ist Ansprechpartner sowohl für die einzelnen Funktionseinheiten als auch für das Gesamtsystem portabler Brennstoffzellen.

Sie bündelt die Kompetenzen mehrerer Fraunhofer-Institute:

- Brennstoffzellenentwicklung für Wasserstoff- oder Methanol-Betrieb (Fraunhofer ISE)
- Simulation und Charakterisierung von Brennstoffzellen (Fraunhofer ISE)
- Entwicklung der Systemregelung (Fraunhofer ISE / Fraunhofer IZM)
- Entwicklung von Fertigungsverfahren (Fraunhofer IPT)
- Entwicklung von Montagetechnologien (Fraunhofer CMI)
- Entwicklung von leitfähigen und heißpressbaren Polymermaterialien für Bipolarplatten (Fraunhofer ICT)
- Entwicklung von funktionalen und montagegerechten Gehäusen (Fraunhofer ICT)
- Entwicklung von Mikroventilen und Mikropumpen zur Brennstoffzufuhr (Fraunhofer IMS)
- Entwicklung von Verbindungstechnologien (Fraunhofer CMI und Fraunhofer IFAM)

Ein handelsüblicher Camcorder (Abbildungen 1 und 2) demonstriert die Leistungsfähigkeit der miniaturisierten Brennstoffzellen. Deren Leistung beträgt 10 W. Ein hocheffizienter Spannungswandler mit über 95 % Wirkungsgrad regelt die Ausgangsspannung auf 8 V. Die Brennstoffzelle arbeitet selbsttätig mit Lüfter-Unterstützung. Ein Metallhydridspeicher liefert Energie für vier Stunden Betrieb.

Der modulare Aufbau der Brennstoffzelle erlaubt es, sie flexibel an die jeweils geforderte Leistung, Spannung und Geometrie anzupassen.

Neben Brennstoffzellen in Stackbauweise entwickelt die Initiative eine neuartige planare Brennstoffzelle auf Basis von Kunststoffplatten- bzw. Folientechnologien (Fraunhofer ISE und Fraunhofer IZM; Abbildung 3). Geplant sind Systeme für Wasserstoff (PEMFC) als auch für Methanol



Abb. 1: Handelsüblicher Camcorder mit einem Brennstoffzellensystem als Energieversorgung. Der Zylinder rechts ist ein Metallhydridspeicher für Wasserstoff.

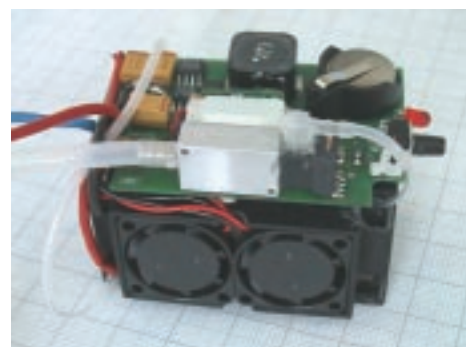


Abb. 2: Vollintegriertes Brennstoffzellen-System mit Lüftern, dem Brennstoffzellen-Stapel (unten) und Mikroventil für die Zufuhr des Wasserstoffs (Mitte). Die Elektronik steuert die Lüfter, regelt die Spannung und das getaktete Ventil. Skala des Millimeterpapiers zum Größenvergleich beachten!



(DMFC). Vorteile von Methanol sind die höhere Energiedichte und die variable geometrische Gestaltung des Tanks. Demgegenüber erreicht die wasserstoffbetriebene Brennstoffzelle höhere Leistungsdichten.

Diese planare Brennstoffzelle wird ein komplett passives und selbstatmendes System (ohne Lüfter) sein. Wegen der flachen Form kann es einfach in das Gehäuse eines Gerätes eingebaut werden. Polymermaterialien erlauben eine Leichtbauweise für die Gaszuführung.

Zur Herstellung der planaren Brennstoffzelle auf Polymerbasis können serientaugliche Produktionsverfahren eingesetzt werden, die sehr niedrige Herstellungskosten versprechen. Da Kunststoffplatten elastisch sind, brechen sie nicht so leicht wie spröde Graphitplatten. Die Energieversorgung kann wegen ihres flachen Aufbaus als Gehäusewand dienen.

Erste Funktionsmuster (Abbildung 3) erzielten im Betrieb mit Wasserstoff unter Umgebungsbedingungen die sehr hohe Leistungsdichte von 150 mW/cm^2 (Stromdichte bis 300 mA/cm^2 , Zellspannung $0,5 \text{ V}$). Die Daten beim Betrieb mit Methanol betragen bisher 15 mW/cm^2 bei $0,3 \text{ V}$.

Ein vielversprechender Ansatz ist die Entwicklung einer Brennstoffzelle in Folientechnologie. Dabei werden Luft und Brennstoff (Wasserstoff oder Methanol) durch strukturierte Folien an die Membran-Elektrodeneinheit herangeführt. Metallfolien leiten den Strom seitlich ab. Fertigungsverfahren der Mikrosystemtechnik erlauben

später eine wirtschaftliche Herstellung. Die Brennstoffzellen-Folien lassen sich flexibel in Geräte integrieren. Sogar eine Folienwicklung ist denkbar. Ebenso einfach kann die Energieversorgung auf die Gehäuseoberfläche aufgebracht werden.

Wir unterstützen die konstruktiven Arbeiten der Fraunhofer-Initiative durch Simulationen von PEM-Brennstoffzellen. Hierzu setzen wir ein- bzw. mehrdimensionale numerische Methoden ein. Die Rechnungen umfassen eine Beschreibung der Reaktionskinetik und des Massentransports innerhalb der Brennstoffzelle.

Parallel dazu haben wir Testeinrichtungen aufgebaut, die u.a. eine orts aufgelöste Messung der charakteristischen Kenngrößen wie Temperatur, Impedanz, Stromdichte und Spannung auf den Elektroden ermöglichen (Abbildung 4). Durch iteratives Vergleichen von Simulationen und orts aufgelösten Messungen können wir die Zuverlässigkeit und Leistungsdichte der Brennstoffzellen optimieren.

Ein Ergebnis dieser Arbeiten ist eine Systemregelung, die schnellen Start und stabilen Betrieb der Brennstoffzellen-Systeme gewährleistet.

Weitere Informationen unter www.mikrobrennstoffzelle.com www.mikroenergietechnik.de

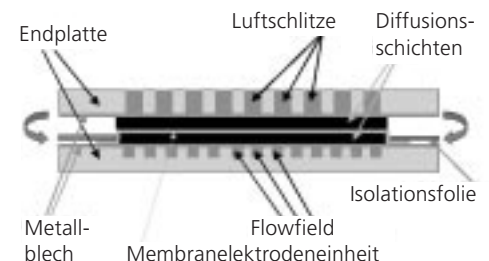


Abb. 3: Schematischer Aufbau der planaren Brennstoffzelle.

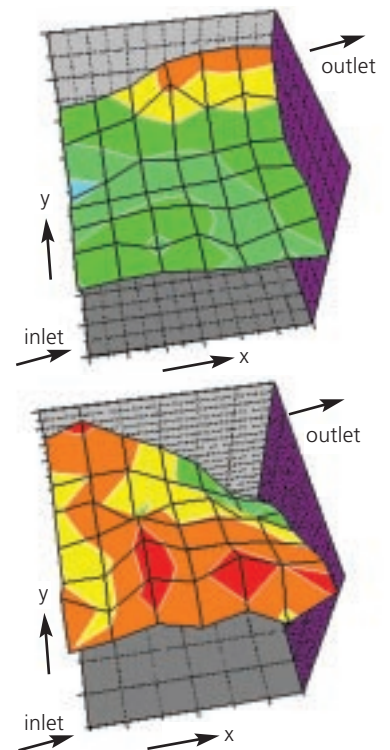


Abb. 4: Die Verteilung der elektrischen Stromdichte ist über dem in der xy-Ebene liegenden Mäandergaskanal einer quadratischen Test-Brennstoffzelle dargestellt. Oberes Bild: nach 58 Minuten Betriebszeit. Unteres Bild: nach 134 Minuten Betriebszeit.



Energiespeicherung mit einem reversiblen Elektrolyse/Brennstoffzellensystem

Wir haben für ein Energiespeicherungssystem eine elektrochemische Polymermembran-Zelle entwickelt, die sowohl als Elektrolyseur als auch als Brennstoffzelle betrieben werden kann.

Angelika Heinzl, Ansgar Rau, Marc Valerius, Ursula Wittstadt

Das in Zusammenarbeit mit verschiedenen europäischen Partnern entstandene System besteht aus folgenden Komponenten (Abbildung 1): einer reversiblen elektrochemischen Zelle, Speichereinheiten für Wasserstoff, Sauerstoff und Wasser sowie Gas-Trocknungseinheiten.

Kern des Systems ist ein Stapel von 15 Zellen. Er kann als Elektrolyseur Wasserstoff und Sauerstoff erzeugen oder als Brennstoffzelle Strom liefern. Das reduziert Materialkosten, Platzbedarf und Gewicht gegenüber einem System mit getrennten Zellen für die beiden Prozesse.

Bauteile wie Membran-Elektroden-Einheiten und Diffusionsschichten sind jeweils nur für Elektrolyse oder Brennstoffzelle optimiert. Um in beiden Betriebsarten einen möglichst guten Wirkungsgrad und hohe Langzeitstabilität zu erreichen, müssen neue Lösungen gefunden werden.

So ist Platin im Brennstoffzellenbetrieb der beste Katalysator, während für die Sauerstoffentwicklung im Elektrolysebetrieb andere Edelmetalle geeigneter sind. Wir haben daher eine Membran-Elektroden-Einheit entwickelt, die auf der Sauerstoffseite mit einer Mischung aus Platin und Iridium beschichtet ist.

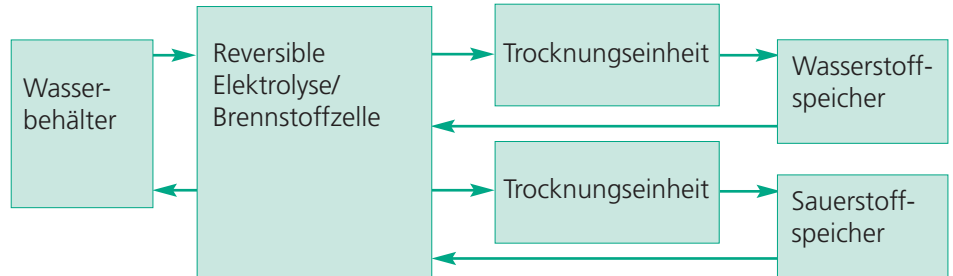


Abb.1: System des Energiespeichersystems auf Basis einer reversiblen Elektrolyse/Brennstoffzelle.

Die während des Elektrolysebetriebs erzeugten Gase werden gespeichert. Für den Wasserstoff verwenden wir einen auf diese Anwendung abgestimmten Metallhydridspeicher. Er zeichnet sich durch kompaktes Design und ein kleines Druckfenster (2-10 bar) für Be- bzw. Entladung aus.

Der Sauerstoff wird adsorptiv an Aktivkohle gespeichert. Bei 10 bar konnte damit die Speicherkapazität des Tanks gegenüber einem konventionellen Druckspeicher verdreifacht werden.

Die entstehenden Gase sind mit Wasser gesättigt. Um zu vermeiden, dass sich in den Gasspeichern Wasser ansammelt und damit die Kapazität beeinträchtigt, sind Trocknungseinheiten auf Silikagel-Basis vorgeschaltet. Als Alternative wurden verschiedene Membranverfahren untersucht, die einen wartungsfreien Betrieb ermöglichen.

Abbildung 2 zeigt unseren ersten Prototypen. Die Peripherie des Systems ist so gewählt, dass möglichst wenig Hilfsenergie benötigt wird. Die Wasserzufuhr im Elektrolysebetrieb erfolgt ohne jegliche Zusatzenergie. Lediglich im Brennstoffzellenprozess rezirkulieren Pumpen geringen Leistungsbedarfs (ca. 1-3 W) das Gas, um das entstehende Wasser aus dem Zellstack auszutreiben.

Die EU fördert das Projekt.

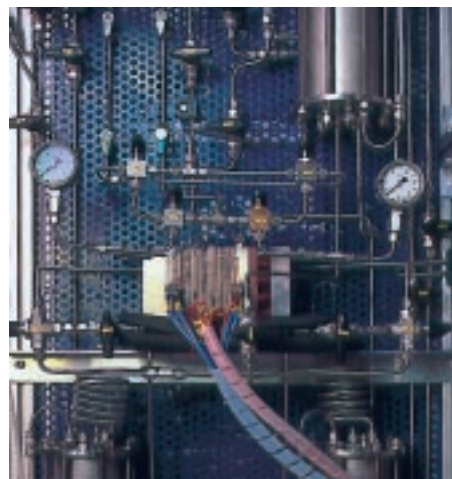


Abb. 2: Demoanlage eines Energiespeichersystems mit reversiblen Elektrolyse/Brennstoffzellen-Stack.



Wasserstoffherzeugung durch Elektrolyse als Baustein einer emissionsfreien Energieerzeugung

Langzeitspeicherung von Energie hilft das Potenzial von regenerativen Energiequellen besser auszuschöpfen. So könnte Wasserstoff den solaren Sommerüberschuss für die Nutzung im Winterhalbjahr bereitstellen. Abgestimmt auf die zur Verfügung stehenden Energiequellen und Speichertechniken entwickeln wir Elektrolyseure zur Wasserstoffherzeugung.

Beatrice Hacker, Thomas Jungmann*, Sven Kerzenmacher, Carsten Krämer, Ursula Wittstadt

Bei der Entwicklung von Elektrolyseuren verfolgen wir drei Ziele:

- Optimierung der Elektrolysezelle
- gut abgestimmtes Gesamtsystem mit Gas- und Wassermanagement
- Automatisierung und Sicherheitstechnik.

Komponentenentwicklung und Materialauswahl stehen im Vordergrund. Abbildung 1 zeigt die Prinzipskizze einer Elektrolysezelle. Kernstück ist die Membranelektrodeneneinheit (MEA). Sie besteht aus einer protonenleitenden Membran, die mit Katalysatoren beschichtet ist. Durch Anlegen einer Spannung wird das Wasser an der Katalysatorschicht aufgespalten. Es entsteht Sauerstoff, die Protonen wandern durch die Membran auf die Kathode, wo sie zu Wasserstoff rekombinieren.

Der entstehende atomare Sauerstoff ist stark korrosiv. Die Zelle besteht deshalb aus hochbeständigen Materialien wie Titan oder spritzgießbaren Kunststoffen. Bis zu 30 bar Betriebsdruck stellen zusätzlich hohe Anforderungen an die Festigkeit der Materialien.

Wir verbessern kontinuierlich das bestehende Konzept der Membran-Druckelektrolyseure. Durch eine neue Form der Stromableiter konnten wir die Leistung erhöhen und die Kosten deutlich reduzieren.

Der modulare Aufbau der Zellen in Stack-Bauweise erlaubt eine einfache Anpassung an die jeweiligen Bedürfnisse der Energiequelle. So können wir das Spannungsniveau durch die Anzahl der zum Stack verbundenen Einzelzellen variabel gestalten.

Im Rahmen des EU-Projekts FIRST haben wir als Teil einer energieautarken Stromversorgung von Telekommunikationsanlagen einen Elektrolyseur für 20 A Nennstrom entwickelt (Abbildung 2). Zusammen mit einem Wasserstoffspeicher auf Metallhydridbasis und einer Brennstoffzelle bildet er ein Energiespeichersystem. Es soll – im Gegensatz zu Batterien – Energie für lange Zeiten speichern. Bei hoher Sonneneinstrahlung erzeugt Überschussstrom aus einer Photovoltaikanlage durch Elektrolyse Wasserstoff, der in Zeiten geringer Sonneneinstrahlung mit der Brennstoffzelle wieder verstromt wird.

Unser Elektrolyseur produziert bei einer elektrischen Leistung von 1 kW 250 Normliter Wasserstoff pro Stunde. Eine zusätzliche Gasdiffusionssperre auf der Membran hält den Sauerstoffanteil im erzeugten Wasserstoff unter 0,2 %.

Während des Betriebs garantiert die Abwärme der Brennstoffzelle auch bei niedrigen Außentemperaturen den Frostschutz. Die Anlage besitzt eine integrierte Wasseraufbereitung und muss nur einmal im Jahr gewartet werden.

Die Anlage wird automatisch gesteuert. Pneumatische Ventile reduzieren den Energiebedarf für die Steuerung auf ein Minimum. Eine separate Sicherheitskette überwacht den Elektrolyseur und führt im Fehlerfall automatisch eine Notabschaltung durch.

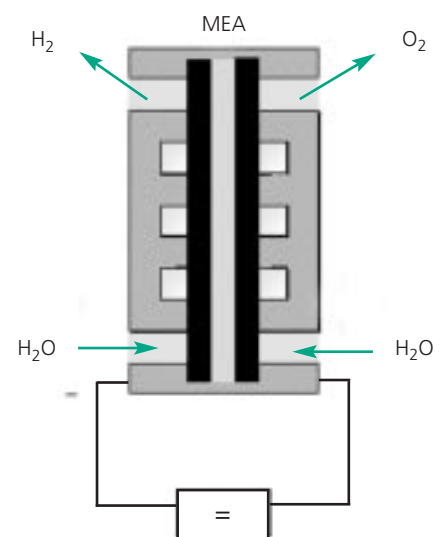


Abb. 1: Prinzipskizze einer Polymermembran (PEM)-Elektrolysezelle. MEA bezeichnet die Membranelektrodeneneinheit.

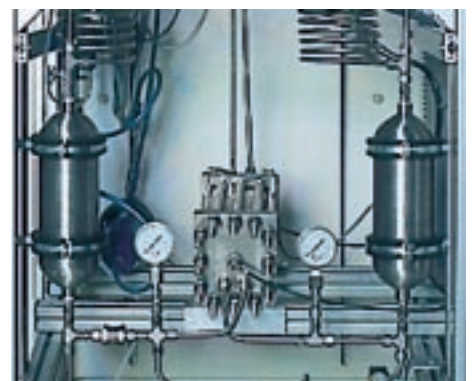


Abb. 2: PEM-Druckelektrolyseur (250 NI/h, 1 kW_{el}) für ein System zur autarken Energieversorgung einer Telekommunikationseinheit (EU Projekt FIRST).

* PSE Projektgesellschaft Solare Energiesysteme mbH, Freiburg



Reformierung flüssiger Brennstoffe

Die Reformierung kohlenstoffhaltiger Energieträger wird zur Wasserstoffversorgung von Polymermembran (PEM)-Brennstoffzellen in letzter Zeit stark vorangetrieben. Wir dehnen deshalb unsere Forschungsaktivitäten auf die Reformierung verschiedener flüssiger Brennstoffe für mobile und stationäre Anwendungen aus.

Peter Hübner, Thomas Rampe,
Christian Siegel, Bettina Lenz

Motivation für die zunehmenden Aktivitäten bei der Reformierung ist der Einsatz von Brennstoffzellen in elektrisch betriebenen »Null-Emissions-Fahrzeugen«. Praktisch alle großen Fahrzeughersteller haben der Öffentlichkeit in den letzten Jahren entsprechende Demonstrationsfahrzeuge vorgeführt.

Da regenerativ erzeugter Wasserstoff kurz- und mittelfristig nicht flächendeckend zur Verfügung stehen wird, reformiert man oft flüssige Brennstoffe an Bord. Abbildung 1 zeigt ein solches System mit der für PEM-Brennstoffzellen erforderlichen Gasreinigung (CO-Entfernung).

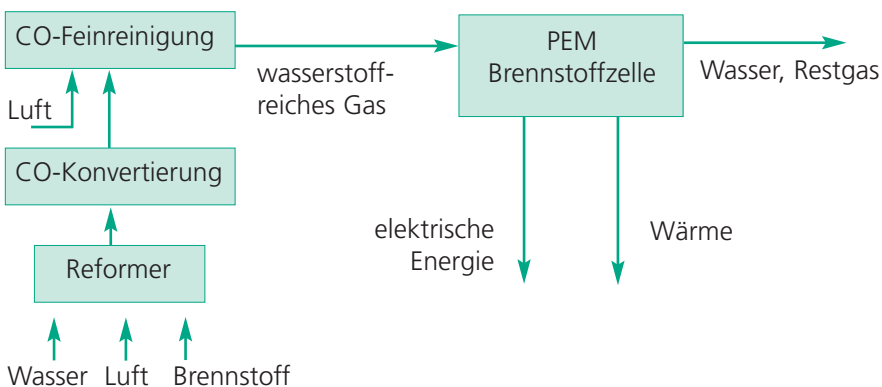


Abb. 1: Reformierung flüssiger Brennstoffe für PEM-Brennstoffzellen; Restgas enthält CO₂, N₂ und Reste von H₂.

Der Reformer erzeugt wasserstoffhaltiges Gas mit etwa 10 Vol % CO-Anteil. Die CO-Konvertierung reduziert das für die Brennstoffzelle schädliche CO zunächst auf etwa 0,5 Vol%, die CO-Feinreinigung mit selektiver Oxidation dann auf 10–50 ppm.

Wir entwickeln die Reformierung flüssiger Brennstoffe auch für andere Anwendungen weiter – zum Teil in Verbindung mit Hochtemperaturbrennstoffzellen (SOFC, MCFC):

- zum Antrieb elektrischer Wasser- und Schienenfahrzeuge
- als auxiliary power units (APUs) für die Bordstromversorgung von Personenfahrzeugen, Bussen, Lastkraftwagen und Flugzeugen
- für die (stationäre) Hausenergieversorgung von Insellagen (Ersatz von Ölheizung und Dieselgenerator zur Stromerzeugung).

Verfügbarkeit und vorhandene Infrastruktur bestimmen die Wahl des Brennstoffes. Neben der technisch einfacheren Methanolreformierung arbeiten wir deshalb verstärkt an der Reformierung folgender Brennstoffe:

- Benzin (für Antriebe und APUs in Fahrzeugen)
- Diesel (insbesondere für APUs in Bussen und Lastkraftwagen)
- Kerosin (für Flugzeuge)
- biogene Brennstoffe (Rapsöl, Bioethanol).

Für die verschiedenen Anwendungen kann die Reformierreaktion in drei Varianten erfolgen:

- als Dampfreformierung: katalytisches Cracken der Kohlenwasserstoffe mit Wasserdampf,
- mit partieller Oxidation: unterstöchiometrische Verbrennung,
- mit autothermer Reformierung als Kombination der o.g. Verfahren.

Bei Dampfreformern finden die endotherme Reformierungsreaktion und die Verbrennungsreaktion, die die erforderliche Energie liefern, in räumlich getrennten Zonen statt. Für die Verbrennung verwenden bzw. entwickeln wir verschiedene Konzepte (Flammenbrenner, Strahlungsbrenner, katalytisch beschichtete Brenner), die vorgemischt bzw. nicht vorgemischt arbeiten.

Die partielle Oxidation erlaubt Kaltstart in Sekunden und kann Lastwechseln sehr schnell folgen. Damit sind wesentliche Voraussetzungen für mobile Anwendungen gegeben. Ein weiterer Vorteil ist, dass dieser Prozess ohne Zufuhr von Wasser arbeitet.

Bei autothermen Reformern laufen beide Reaktionen in einer einzigen Reaktionszone und direkt miteinander gekoppelt ab. Die für die Reformierung erforderliche Wärme wird durch die parallel ablaufende unterstöchiometrische Verbrennung erzeugt.



Je nach Zusammensetzung der verschiedenen flüssigen Brennstoffe erhält man ideale Wirkungsgrade der Wasserstoffherzeugung von 88 % bis 96 %. Dies ist in Abbildung 2 exemplarisch für die autotherme Reformierung ohne Wärmeverluste dargestellt. Die Brennstoffe sind vereinfacht durch das H/C-Verhältnis ihrer Komponenten repräsentiert. Unsere experimentellen Ergebnisse an Wabenkatalysatoren (Abbildung 3) kommen bereits sehr nahe an die maximal mögliche Umsetzung heran. Höhere Wirkungsgrade werden wir durch Minimierung der Wärmeverluste und mit optimierten Reaktorgeometrien und Katalysatoren erreichen.

Der Schwefelanteil heutiger Kraftstoffe (Benzin, Diesel) mindert allerdings die Katalysatoraktivität erheblich. Die Umsetzung steigt mit verbesserter Entschwefelung stark an (Abbildung 4). Das nach künftigen Richtlinien entschwefelte Benzin (S-Gehalt unter 10 ppm) ist bestens für die Reformierung geeignet.

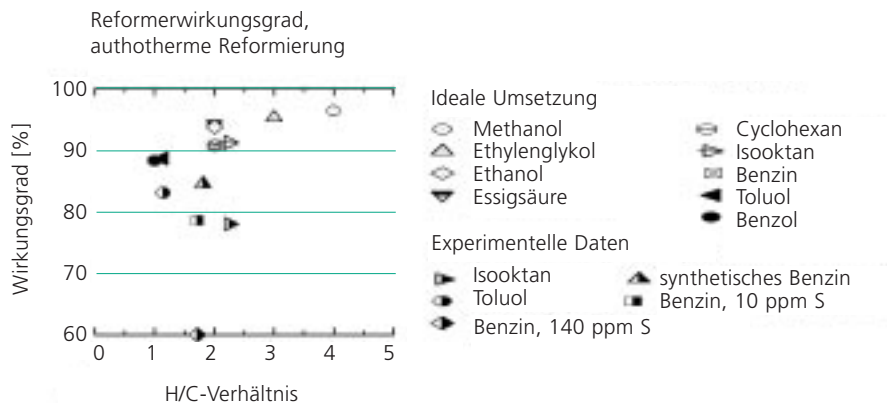


Abb. 2: Idealer Wirkungsgrad (adiabatisch, ohne Wärmeverluste) der Wasserstoffherzeugung bei der Reformierung verschiedener flüssiger Brennstoffe – charakterisiert durch das H/C-Verhältnis ihrer Komponenten. S bedeutet Schwefel.

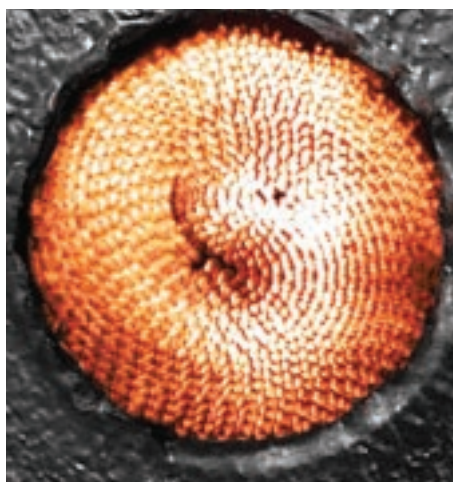


Abb. 3: Wabenkatalysator für die Reformierung flüssiger Brennstoffe (Innendurchmesser 30 mm).

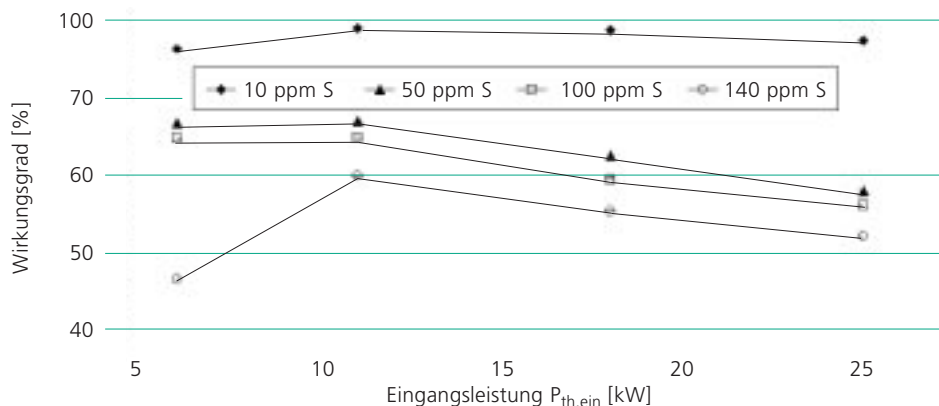
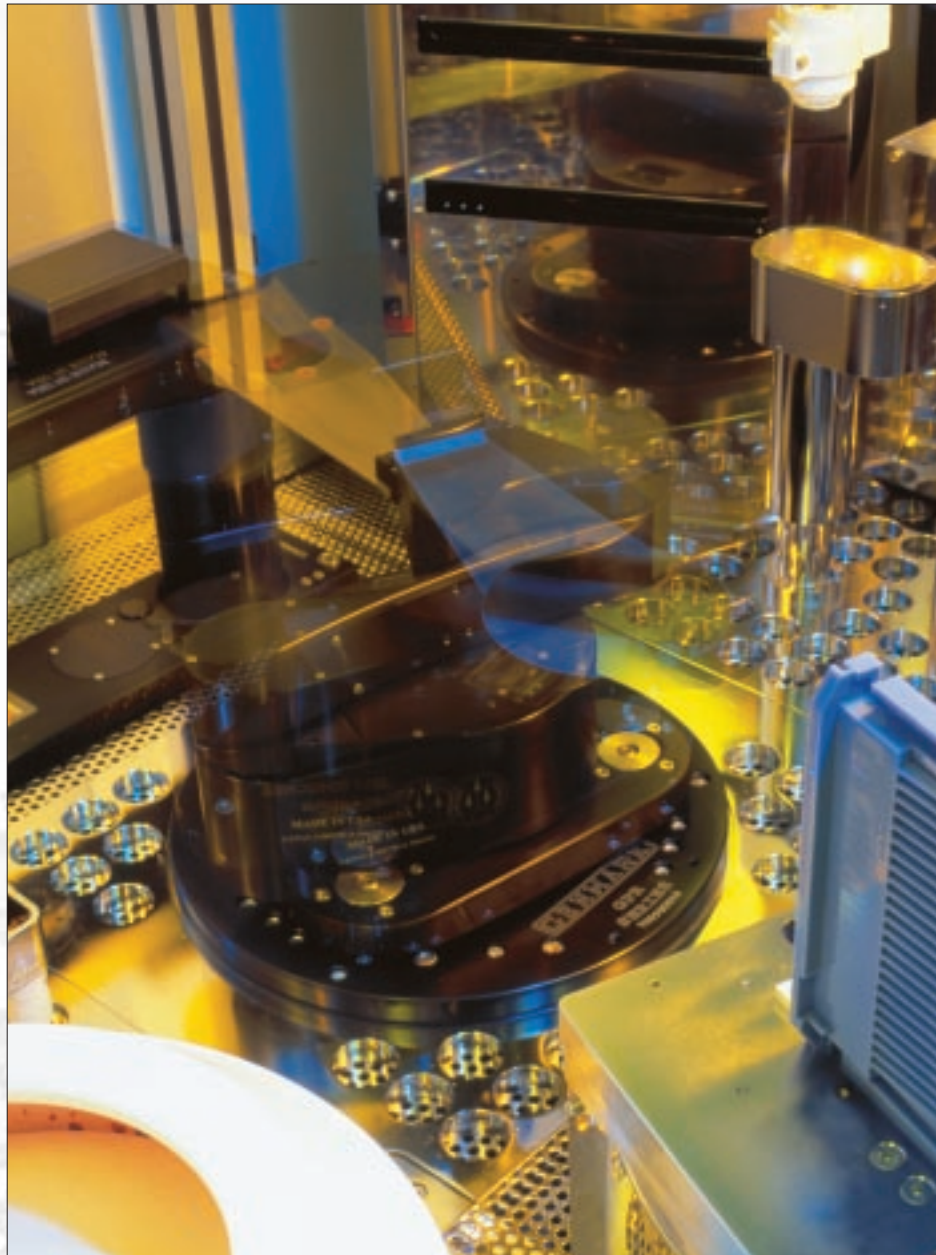


Abb. 4: Einfluß des Schwefelgehaltes auf den Wirkungsgrad der Umsetzung bei der autothermen Reformierung von Benzin in Abhängigkeit von der thermischen Eingangsleistung P.



Roboter des automatischen Belackungssystems für Siliciumwafer im Reinraum des Fraunhofer ISE. Dieses System ist Teil der Pilotlinie zur Herstellung von hocheffizienten Silicium-Solarzellen.



Über 90 % aller Solarzellen sind aus kristallinem Silicium. Preis/Leistungsverhältnis, Langzeitstabilität und Kostenreduktionspotenziale sprechen dafür, dass dieses Material zumindest in den nächsten zehn Jahren weiter marktbeherrschend bleibt. Die Siliciumscheiben werden immer dünner, bei angepassten Zellstrukturen bleiben die Wirkungsgrade konstant hoch.

III-V Halbleiter wie Galliumarsenid sind das zweite Materialsegment, das wir bearbeiten. Es steht noch für einen Spezialmarkt, der mit den Stichworten Weltraum, optische Konzentration, Sonderanwendungen beschrieben werden kann.

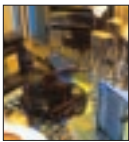
In beiden Bereichen rückt die Forschung noch näher an die kommerzielle Anwendung heran:

- In unserem Labor- und Servicecenter in Gelsenkirchen können wir unter Produktionsbedingungen im Labor arbeiten. Die Industrie kann die Ergebnisse ohne Produktionsausfälle 1:1 in die Fertigung übernehmen.

- Mit einem zum Patent angemeldeten, laserunterstützten Verfahren haben wir Hocheffizienz-Solarzellen für die industrielle Serienfertigung vorbereitet.
- 70 µm dünne Wafer können wir mit konventionellen Verfahren zu 20.5 % effizienten Solarzellen prozessieren.
- Mit einer Wärmebildkamera und Lock-In-Technik können wir kristalline Siliciumwafer um mehr als das 100-fache schneller charakterisieren als bisher.
- Für kristalline Silicium-Dünnschicht-solarzellen untersuchen wir die physikalischen Grundlagen und entwickeln die Fertigungstechnik, z.B. für Bandsilicium-Substrate.
- Wir arbeiten an strahlungs-resistenten III-V Tandemzellen für den Weltraum. Für die terrestrische Anwendung entwickeln wir ein preisgünstiges Herstellungsverfahren für Fresnellinsen in optischen Konzentratormodulen und bauen komplette Module für den Außen-einsatz auf.

Ansprechpartner

Silicium-Material-entwicklung	Dr. Achim Eyer	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-52 61 E-Mail: Achim.Eyer@ise.fhg.de
Silicium-CVD	Dr. Albert Hurrle	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-52 65 E-Mail: Albert.Hurrle@ise.fhg.de
Kristalline Silicium-Dünnschichtzellen	Dr. Stefan Reber	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-52 48 E-Mail: Stefan.Reber@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
Hocheffiziente Silicium-Solarzellen	Dr. Stefan Glunz	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-51 91 E-Mail: Stefan.Glunz@ise.fhg.de
III-V-Photovoltaikzellen und Schichtstrukturen	Dr. Andreas Bett	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-52 57 E-Mail: Andreas.Bett@ise.fhg.de
Dielektrische und elektrische Schichten	Dr. Friedrich Lutz	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-52 67 E-Mail: Friedrich.Lutz@ise.fhg.de
Charakterisierung von PV-Materialien	Dr. Wilhelm Warta	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-51 92 E-Mail: Wilhelm.Warta@ise.fhg.de
Innovative Fertigungstechnologien	Dr. Ralf Preu	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-52 60 E-Mail: Ralf.Preu@ise.fhg.de
Labor und Servicecenter Gelsenkirchen	Dr. Dietmar Borchert	Tel.: +49 (0) 2 09/16 8-33 18 E-Mail: Dietmar.Borchert@ise.fhg.de



Neuartige und hocheffiziente Solarzellenstrukturen für kristallines Silicium

Aus Kostengründen müssen Solarzellen aus Siliciumwafern immer dünner und effizienter werden. Darum wurden am Fraunhofer ISE neue Solarzellenstrukturen entwickelt, die hohe Wirkungsgrade auch auf Material mittlerer Qualität ermöglichen. Mit einem patentierten laserunterstützten Verfahren können nun hocheffiziente Solarzellenstrukturen, die bisher nur im Labor hergestellt wurden, industriell gefertigt werden.

Stefan Glunz, Ralf Preu,

Jochen Dicker, Franz J. Kamerewerd, Joachim Knobloch, Daniel Kray, Antonio Leimenstoll, Ralf Lüdemann, Daniela Oßwald, Tobias Rehl, Stefan Rein*, Elisabeth Schäffer, Eric Schneiderlöchner, Wilhelm Warta, Gerhard Willeke

Zwischen Laborzellen mit Rekordwirkungsgraden über 20 % und kommerziellen Solarzellen klafft immer noch eine gravierende Lücke. Hauptgrund ist die Komplexität der Zellstrukturen, die für hohe Wirkungsgrade notwendig sind. Am Fraunhofer

ISE ist nun ein entscheidender Schritt zur Vereinfachung dieser Strukturen gelungen. Sie werden damit auch für die industrielle Produktion interessant.

Die Rückseiten von Solarzellen mit höchsten Wirkungsgraden sind mit einer dünnen, elektrisch nichtleitenden Schicht aus Siliciumoxid oder -nitrid beschichtet. Diese Beschichtung wird an wenigen Punkten geöffnet. Anschließend wird ganzflächig die metallische Rückseitenelektrode der Zelle aufgedampft, die damit zum größten Teil auf der nichtleitenden Schicht liegt und nur an wenigen Stellen direkt das Silicium kontaktiert (Abbildung 1).

Diese Rückseitenstruktur hat große Vorteile gegenüber der konventionellen ganzflächigen Kontaktierung mit Metall. Einerseits reflektiert sie stark, so dass langwelliges Licht, das den Wafer durchdringt, wieder in die Zelle zurückgeworfen wird. Andererseits gestattet sie eine optimale Passivierung der Rückseite, so dass Ladungsträger, die die Rückseite erreichen, dort mit hoher Wahrscheinlichkeit

nicht rekombinieren. Diese beiden Eigenschaften sind gerade bei dünnen Zellen von fundamentaler Bedeutung, um hohe Wirkungsgrade zu erreichen. Die Verringerung der Zelldicke und die industrielle Umsetzung eines hohen Wirkungsgrades sind die zentralen Voraussetzungen für eine deutliche Reduktion der Produktionskosten.

Beim Einsatz von dünnen Siliciumscheiben ist es außerdem wichtig, dass eine starke Verbiegung des Wafers vermieden wird, wie sie bei der Herstellung der Rückseitenelektrode in den gängigen kommerziellen Prozessen mit hohen Temperaturen auftritt. Dieses Problem tritt bei der am Fraunhofer ISE verwendeten Niedertemperatur-Rückseitenkontaktierung nicht auf, wie die erfolgreiche Herstellung von Zellen mit Dicken weit unter 100 µm gezeigt hat. Der entscheidende Nachteil dieser Struktur war bisher die aufwändige Öffnung der Punkte in der dielektrischen Schicht mittels Photolithographie und Nasschemie. Erst dann konnte die ganzflächige Rückseitenelektrode aufgebracht werden. Das machte die Herstellung der Struktur teuer, obwohl die verwendeten Materialien sehr kostengünstig sind.

Am Fraunhofer ISE wurde nun ein neuer Prozess entwickelt, der die Herstellung dieser hochwertigen Rückseitenstruktur sehr einfach macht. Wie bisher wird zuerst die dielektrische Schicht auf die Rückseite aufgebracht. Daran anschließend wird aber sofort die Rückseitenelektrode aus Aluminium ganzflächig abgeschieden. Schließlich wird mit einem Laser an den jeweiligen Kontaktierungspunkten das

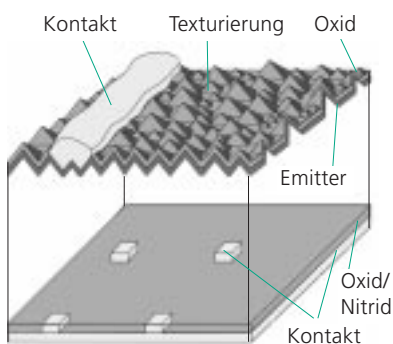


Abb. 1: Hocheffiziente Solarzelle mit punktwiser Rückseitenkontaktierung.

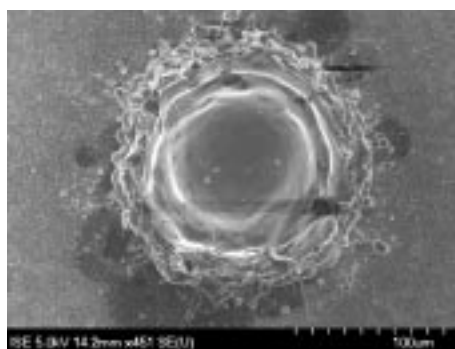


Abb. 2: Mit dem neuartigen Laser Fired Contacts -Verfahren »gefeuerter« Rückseitenpunkt.



Aluminium durch die dielektrische Schicht »durchgefeuert« (Abbildung 2).

Daher auch der Name der neuen Methode »Laser Fired Contacts« auf die das Fraunhofer ISE ein Patent angemeldet hat [R. Preu, E. Schneiderlöchner, S. Glunz, R. Lüdemann, Patent pending]. Da der Laserschritt sehr schnell ist, wird die Prozessierung um Größenordnungen einfacher und schneller. Wir haben das Verfahren schon so weit optimiert, dass zuverlässig Wirkungsgrade von über 21 % erreicht werden – ein Wert vergleichbar dem der ursprünglichen komplexen Prozessierung. Die neue Methode stößt deshalb bei der Photovoltaik-Industrie auf großes Interesse.

Für die Verschaltung von Solarzellen in einem Modul wäre es einfacher, wenn sich die p- und n-Kontakte nicht auf der Vorder- und Rückseite, sondern nur auf einer Seite der Solarzelle befänden. Dies ist bei Rückseitenkontakt-Solarzellen realisiert. Diese Struktur hat außerdem auch keine Abschattungsverluste durch Frontkontakte.

Da sich der pn-Übergang auf der lichtabgewandten Seite der Zelle befindet, müssen allerdings praktisch alle durch das Licht generierten Ladungsträger durch die gesamte Zelle diffundieren. Bei gutem Ausgangsmaterial mit hoher Diffusionslänge spielt das keine große Rolle. Wir konnten schon Wirkungsgrade über 22 % mit diesem Zellkonzept erreichen. Da die Rückseite dieses Zelltyps nicht vollständig mit Kontaktflächen bedeckt ist, eignet

sie sich auch sehr gut als beidseitig beleuchtbare (bifaziale) Solarzelle. So haben wir die weltweit erste Zelle hergestellt, die auf beiden Seiten jeweils über 20 % Wirkungsgrad hat.

Kommt allerdings Material mit geringer Diffusionslänge zum Einsatz, so muss das Rückseitenkontaktkonzept modifiziert werden. Dabei werden Emitter auf beiden Seiten des Wafers diffundiert und mittels Löchern miteinander verbunden (Abbildung 3 oben). Dadurch können die am lichtzugewandten pn-Übergang gesammelten Ladungsträger über die Löcher zur Rückseite der Zelle und damit zu den Kontakten geleitet werden. Abbildung 3 zeigt deutlich, dass mit dieser sogenannten EWT (Emitter-Wrap-Through)-Struktur der Wirkungsgrad auch bei kleinen Diffusionslängen recht hoch bleibt, während er bei »reinen« Rückseitenkontaktzellen drastisch absinkt.

Auf FZ-Si haben wir bereits eine EWT-Zelle mit 21.4 % Wirkungsgrad hergestellt. Das große Potenzial dieser Struktur zeigt sich allerdings wesentlich eindrucksvoller auf Material mittlerer Qualität: Auf 235 µm dickem Czochralski-Silicium erreichten wir einen Kurzschluss-Strom von 40.6 mA/cm², obwohl das Material eine Diffusionslänge von nur 187 µm aufweist. Bei herkömmlichen Strukturen bräuchte man für diesen Strom Ausgangsmaterial mit der 3–4 fachen Diffusionslänge.

* Universität Freiburg, Freiburger Materialforschungszentrum FMF

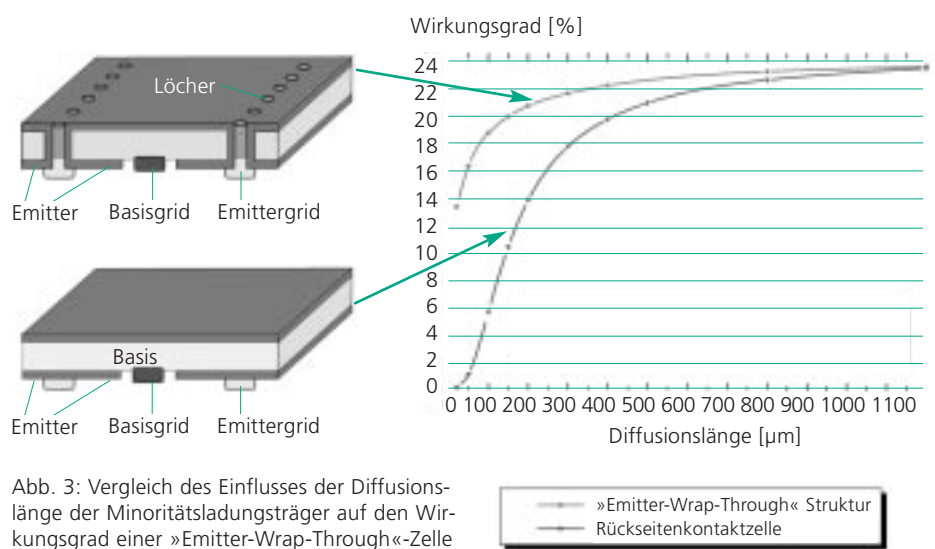
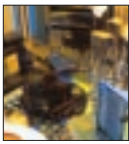


Abb. 3: Vergleich des Einflusses der Diffusionslänge der Minoritätsladungsträger auf den Wirkungsgrad einer »Emitter-Wrap-Through«-Zelle (oben) und einer Rückseitenkontaktzelle (unten).



Auf dem Weg zu kurzen Prozesszeiten

Der Wirkungsgrad multikristalliner Siliciumsolarzellen liegt im Vergleich zu dem Wirkungsgrad einkristalliner Zellen je nach Qualität der Ausgangscheiben um etwa 2–3 % absolut niedriger. Dies trifft sowohl auf Laborzellen als auch auf industriell gefertigte Zellen zu. Der niedrigere Wirkungsgrad wird der hohen Dichte an Versetzungen und Korngrenzen und einem inhärent höheren Restverunreinigungsgrad mit (metallischen) Fremdatomen zugeschrieben. Durch optimale Prozessführung kann multikristallines Material unter Umständen so verbessert werden, dass es dem einkristallinen Material nahe kommt.

Christophe Ballif, Dietmar Borchert, Harald Lautenschlager, Elisabeth Schäffer, Christian Schetter, **Roland Schindler**, Wilhelm Warta

Eine Möglichkeit zur Verbesserung von mc-Solarzellen sind Getterschritte, bei denen Verunreinigungen aus dem Volumen der Solarzelle entfernt werden. Dies ist jedoch in der Regel mit langen Prozesszeiten verbunden, die sich industriell schlecht umsetzen lassen.

Der von uns in den vergangenen Jahren entwickelte und gepflegte einfache Solarzellenprozess leistet dasselbe. Bei ihm erfolgt der Getterschritt zeitgleich mit der Diffusion. Das kommt der Solarzellenindustrie entgegen, die die Prozesszeiten weiter verkürzen will.

Aus diesem Grunde ist es auch wünschenswert, das Temperaturfenster, bei dem die Diffusionen erfolgen, in Richtung höherer Temperaturen zu erweitern. Das verkürzt die

Diffusionszeit und erhöht den Durchsatz durch den Diffusionsofen.

Die Begrenzung der Diffusionstemperatur nach oben ist durch die Wechselwirkung der Kristalldefekte und Verunreinigung gegeben, die sich in der Trägerlebensdauer des Materials niederschlagen. So ist bekannt, dass sehr hohe Temperaturen in den meisten multikristallinen Materialien die Trägerlebensdauer reduzieren. Das Hochtemperaturverhalten ist auch abhängig vom jeweiligen Kristallisationsverfahren.

Abbildung 1 zeigt ein Beispiel für die Abhängigkeit der Trägerlebensdauer von der Diffusionstemperatur. Generell gilt: Je höher die Prozessstemperatur ist, um so geringer ist die Trägerlebensdauer. Das Silicium liegt als Block vor, das Verhalten der Trägerlebensdauer hängt von der Höhe des Materials im Block ab.

Glücklicherweise kann diese temperaturbedingte Reduzierung der Trägerlebensdauer zum größten Teil durch eine Wasserstoffpassivierung RPHP wieder ausgeglichen werden. Dies zeigt Abbildung 2 am Beispiel der Leerlaufspannungen von Solarzellen vor der Antireflexbeschichtung.

Wir führten systematische Untersuchungen an multikristallinen Materialien verschiedener Hersteller durch und konnten zeigen, dass durchaus zu höheren Temperaturen bei der Phosphordiffusion gegangen werden kann, wenn man die Zelltechnologie, einschließlich der Metallisierung, anpasst. Damit sind wir dem Ziel kürzerer Prozesszeiten und höherer Durchsätze näher gekommen.

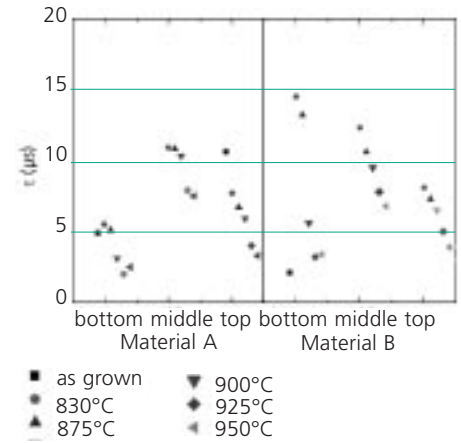


Abb. 1: Die Minoritätsträgerlebensdauer τ nimmt für beide untersuchte Materialien (A, B) mit der Diffusionstemperatur (Messpunkte siehe Legende) ab. Die Stärke der Abnahme hängt von der Position (bottom, middle, top) im Siliciumblock ab.

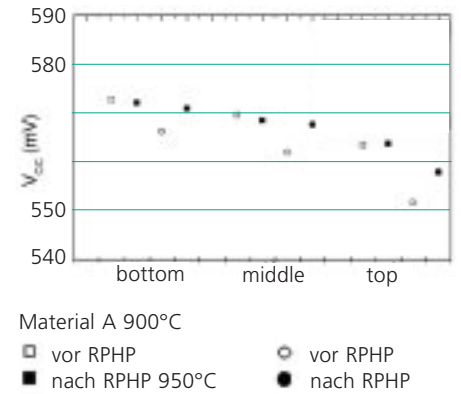


Abb. 2: Leerlaufspannung V_{OC} von Solarzellen vor und nach der Wasserstoffpassivierung. Die Passivierung erhöht die Leerlaufspannung deutlich. Die Höhe der Leerlaufspannung hängt von der Position (bottom, middle, top) des Materials im Siliciumblock ab.

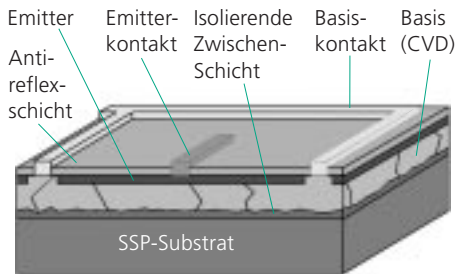


Abb. 1: Schema einer KSD-Solarzelle auf Bandsiliciumsubstrat.

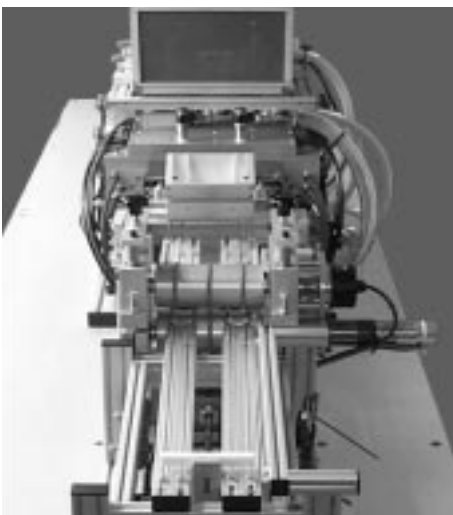


Abb. 2: Apparatur zur Herstellung von Silicium-Bandsubstraten nach dem SSP-Verfahren.



Abb. 3: Apparatur zum Abscheiden von Siliciumschichten nach dem CVD-Verfahren.

Neue Apparaturen für F&E an kristallinen Silicium-Dünnschicht-Solarzellen

Effiziente Forschung an kristallinen Silicium-Dünnschicht- (KSD-)Solarzellen ist nur mit angepassten Apparaturen möglich. Für die Herstellung von Bandsilicium-Substraten und dünnen Siliciumschichten haben wir Apparaturen entwickelt, die speziell auf die Bedürfnisse von F&E-Einrichtungen zugeschnitten sind.

Sandra Bau, Achim Eyer, Fridolin Haas, Albert Hurrle, Thomas Kieliba, Stefan Reber, Norbert Schillinger

Die KSD-Solarzelle (Abbildung 1) ist ein Ansatz, um die Kosten für Solarzellen in Zukunft deutlich zu reduzieren. Argumente dafür sind der drastisch verringerte Verbrauch an teurem, hochwertigem Silicium und der vollständige Verzicht auf den aufwändigen Sägeschnitt herkömmlicher Wafertechnologie. Es muss jedoch noch viel Forschungsarbeit geleistet werden, um die KSD-Solarzelle zu einer Marktreife zu bringen. Die notwendigen Werkzeuge sind aber nicht immer auf dem Markt verfügbar. Beispielsweise gab es keine kostengünstigen Apparaturen für die Herstellung von Silicium-Substraten oder von Siliciumschichten, die für KSD-Solarzellen benötigt werden. Wir bieten diese Apparaturen jetzt vor allem F&E-Einrichtungen an.

Schon seit Jahren arbeiten wir an Apparaturen für die Herstellung von Substraten aus Bandsilicium nach dem SSP- (Silicon Sheets from Powder) Verfahren. Entwicklungs-Schwerpunkt im vergangenen Jahr war die Bedienerfreundlichkeit. Das Ergebnis ist die »SSP120«, mit der aus Siliciumpulver Bänder bis 100 mm Breite, und über 1 m Länge hergestellt werden können.

Mit unterschiedlichen Siliciumpulvern und Prozesseinstellungen kann der Nutzer sowohl routinemäßig Bänder fertigen, als auch direkt F&E an Siliciumsubstraten durchführen – ideal für F&E-Einrichtungen. Auch der Durchsatz der Anlage ist am Bedarf von F&E-Einrichtungen orientiert, so dass wir auf teure Handlingmechanismen verzichten konnten. Das reduziert den Preis der Anlage auf ein Minimum.

Ähnlich wie bei der SSP-Apparatur haben wir bei der Abscheidung von Siliciumschichten aus der Gasphase (CVD: Chemical Vapor Deposition) langjährige Erfahrung. Auch hier entwickeln wir Anlagen, die speziell an die Bedürfnisse der Forschung an KSD-Solarzellen angepasst sind. Jüngstes Ergebnis ist die RTCVD160. Mit dieser Anlage können bei Temperaturen um 1 200°C aus dem Gas Trichlorsilan Siliciumschichten auf Substrate abgeschieden werden. Der Vorteil der kompakt aufgebauten RTCVD160 liegt in der großen Flexibilität der Prozessparameter. So können bis zur Breite von 125 mm prinzipiell alle Probengrößen bis zu einer Länge von 300 mm beschichtet werden. Durch geeignete Temperatur- und Substratwahl wächst die Siliciumschicht entweder feinkristallin auf, oder epitaktisch als hochwertiger, defektarmer Kristall. Natürlich kann die Dotierung der Siliciumschicht frei und stufenlos rechnergesteuert in einem weiten Bereich variiert werden. Die optische Beheizung der Substrate ermöglicht kurze Prozesse und damit mehrere Versuchsläufe pro Tag. Die Vorteile der beiden Anlagen nutzt bereits erfolgreich ein F&E-Institut in China.



III-V Solarzellen und Epitaxie

Ziel unserer Arbeiten mit III-V Materialien sind hohe Wirkungsgrade bis zu 35 %. Wir nutzen dazu die MOVPE-, LPE- und Gasphasendiffusions-Technologie, um pn-Übergänge in unterschiedlichen Materialsystemen herzustellen. Zusätzlich entwickeln wir optisch hochkonzentrierende Konzentratorsysteme.

Carsten Agert, Carsten Baur, Rolf Beckert, **Andreas W. Bett**, Frank Dimroth, Mathias Hein, Vladimir Hinkov, Gerrit Lange, Gergö Létay*, Matthias Meusel*, Sascha van Riesen, Ute Schubert, Gerald Siefert

Entwicklung von hocheffizienten Kaskadenzellen

Für Solarzellen mit einem pn-Übergang werden theoretische Wirkungsgrade bis 30 % errechnet, erzielt wurden mit einer GaAs Solarzelle 26 %. Für noch höhere Wirkungsgrade müssen neue Wege beschritten werden. Ein für die nahe Zukunft aussichtsreicher Pfad ist die Entwicklung von Kaskadensolarzellen, bei denen mehrere Solarzellen »optisch« in Reihe geschaltet werden.

Wir untersuchen zwei mögliche Realisierungen: monolithische Tripelzellen auf der Basis $\text{Ga}_{0.51}\text{In}_{0.49}\text{P}/\text{Ga}_{0.95}\text{In}_{0.05}\text{As}/\text{Ge}$ und mechanisch gestapelte Tripelzellen auf der Basis von $\text{Ga}_{0.35}\text{In}_{0.65}\text{P}/\text{Ga}_{0.83}\text{In}_{0.17}\text{As} - \text{GaSb}$. Monolithische Zellstrukturen wachsen wir mittels der Metallorganischen Gasphasenepitaxie (MOVPE) auf einem Substrat auf. Damit sind sie nicht nur optisch sondern auch elektrisch seriell verschaltet. Bei der mechanisch gestapelten Zelle verwenden wir eine monolithische Tandemzelle als Ober-

zelle, die wiederum mittels MOVPE auf ein GaAs-Substrat gewachsen wurde. Die Rückseite dieser Zelle präparieren wir so, dass nicht absorbiertes Licht transmittiert wird und für die darunterliegende, Infrarotempfindliche Zelle aus GaSb zur Verfügung steht (Abbildung 1). Die GaSb-Zellstruktur wird mit Zn-Gasphasendiffusion hergestellt. Parallel arbeiten wir daran, komplexere Strukturen – monolithische Infrarot-Tandemzellen – aus $\text{AlGaAsSb}/\text{GaSb}$, mit MOVPE herzustellen. Mit solchen Strukturen könnten wir dann Quadrupel-Solarzellen herstellen, die einen Wirkungsgrad von bis zu 40 % erwarten lassen.

Für die mechanisch gestapelte Tripel-Solarzelle konnten wir einen Weltrekord-Wirkungsgrad von 33.5 % bei 308-facher Sonnenkonzentration erzielen (Abbildung 1).

Erste monolithische Tripelzellen aus $\text{Ga}_{0.51}\text{In}_{0.49}\text{P}/\text{Ga}_{0.95}\text{In}_{0.05}\text{As}/\text{Ge}$ wurden hergestellt. Abbildung 2 zeigt die Messung der externen Quanteneffizienz einer solchen Zelle. Die Infrarot-Empfindlichkeit aufgrund der aktiven Ge-Unterzelle ist deutlich zu sehen.

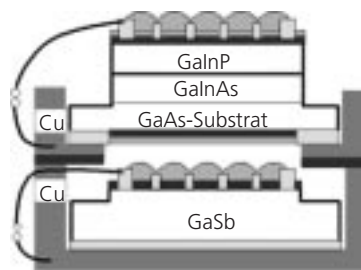


Abb. 1: Prinzipschema der mechanisch gestapelten Tripelsolarzellen aus $\text{Ga}_{0.35}\text{In}_{0.65}\text{P}/\text{Ga}_{0.83}\text{In}_{0.17}\text{As} - \text{GaSb}$. Mit dieser Tripelsolarzelle konnten wir einen Weltrekord-Wirkungsgrad von 33.5 % bei 308-facher Sonnenkonzentration (AM1.5d, 25 °C) erzielen.

Von der Zelle zum Konzentratorsystem

Um die im letzten Jahr am Fraunhofer ISE entwickelten Tandem-Solarzellen aus $\text{Ga}_{0.35}\text{In}_{0.65}\text{P}/\text{Ga}_{0.83}\text{In}_{0.17}\text{As}$ auch in der Anwendung zu testen, entwickeln wir in Zusammenarbeit mit dem Ioffe-Institut St. Petersburg, Russland, Fresnellinsen-Konzentratormodule. Dazu prägen wir in einen 2 mm dicken Silikonfilm auf Glas Fresnelstrukturen als optische Linse. Weiterhin entwickeln wir Verkapselungstechniken für die Konzentratormodule, sowie mechanische Nachführeinheiten, um sie der Sonne nachzuführen. Ziel dieser Arbeiten ist ein langzeitstabiles hochkonzentrierendes Konzentratormodul mit hohen Modulwirkungsgraden im Außentest. In den vergangenen Jahren wurden Module mit einem Konzentrationsfaktor von 120 und Wirkungsgraden bis 24.8 % hergestellt. Ziel unserer Arbeiten ist – neben den Langzeittests – eine Erhöhung der Sonnenkonzentration bis auf 500x. Um die höhere Konzentration zu erzielen, wurden neue Fresnelstrukturen entwickelt und der Solarzellendurchmesser auf 2 mm verkleinert. Erste Testmodule werden derzeit hergestellt und vermessen.

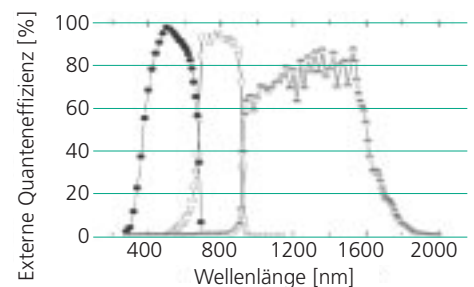
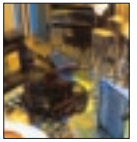


Abb. 2: Externe Quanteneffizienz einer monolithischen $\text{Ga}_{0.51}\text{In}_{0.49}\text{P}/\text{Ga}_{0.95}\text{In}_{0.05}\text{As}/\text{Ge}$ Tripelzelle. Durch geeignete Messtechnik können die Beiträge der einzelnen Unterzellen dargestellt werden.

* Universität Freiburg, Freiburger Materialforschungszentrum FMF



Analyse örtlich verteilter Verluste in Silicium-Solarzellen

Die örtliche Verteilung der Verluste in Solarzellen gibt oft die entscheidenden Hinweise auf Verbesserungsmöglichkeiten von Material und Solarzellentechnologie. Wir entwickeln in einem langfristig angelegten Programm Modelle und experimentelle Methoden, um diese wichtige Informationsquelle für die Fertigung nutzbar zu machen.

Oliver Bartels, Jochen Dicker, Manuel Esterle, Jörg Isenberg*, Stephan Riepe, **Wilhelm Warta**

Die Gründe dafür, dass kommerziell hergestellte Silicium-Solarzellen nicht annähernd die im Labor erreichbaren Umwandlungswirkungsgrade über 20 % erreichen, liegen auf der einen Seite bei den Ausgangsmaterialien: In der Industrie wird statt des im Labor üblichen FZ-Materials Czochralski-gezogenes Silicium oder in den letzten Jahren vermehrt, multikristallines, im Block gerichtet erstarrtes Material eingesetzt. Bei beiden Materialien, ganz besonders aber bei multikristallinem Silicium, ist die Materialqualität örtlich stark schwankend und verändert sich zudem während der Solarzellenherstellung.

Auf der anderen Seite werden bei der Herstellung im Vergleich zu Hochleistungs-

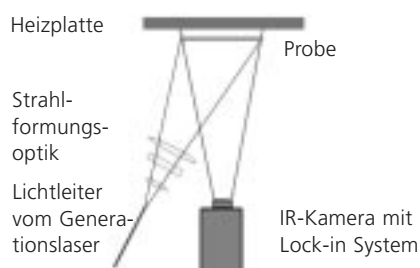


Abb. 1: Prinzip der CDI-Messtechnik.

tungssolarzellen in der Industrie Verfahren mit hohem Durchsatz wie Siebdruck benutzt. Diese schnellen Verfahren führen leicht zu zusätzlichen, technologisch bedingten Verlusten, wie Kurzschlüssen am Rand der Zelle, die stark inhomogen verteilt sind.

Bei der Analyse globaler Solarzellenparameter kommt man so oft nicht zu klaren Aussagen, weil verschiedene inhomogen verteilte Einflüsse überlagert sind. Andererseits kann man häufig gerade aus den Details der örtlichen Verteilung von Verlustfaktoren wichtige Hinweise auf ihre Ursachen gewinnen.

Sowohl für Solarzellen als auch Wafer haben wir bereits bildgebende Verfahren im Einsatz. Für einen Industriekunden und das Labor- und Servicecenter in Gelsenkirchen haben wir jetzt die am Institut entwickelte Apparatur zur spektral aufgelösten Kurzschlussstrommessung (SR-LBIC) in einer neuen Version gebaut. Neue Merkmale sind: Kapazität für Solarzellen bis 30 x 30 cm²; weiterentwickelte Laserdiodenoptik; Messung der diffusen Reflexion, der internen Quantenausbeute und der effektiven Diffusionslänge auch bei texturierten Zelloberflächen.

Verbesserte Auswerteverfahren zur getrennten Beurteilung von Volumen und Rückseite der Solarzelle haben wir

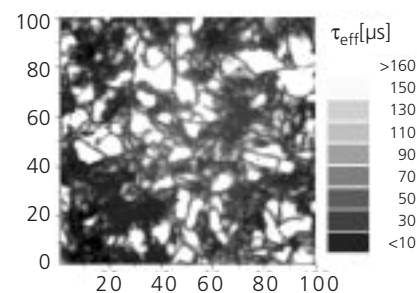


Abb. 2: Lebensdauerbild gemessen mit der neuen CDI-Messtechnik. Skala von x- und y-Achse in mm.

getestet, die Anwendbarkeit wird durch sehr hohe Anforderungen an die Messgenauigkeit eingeschränkt.

Eine bei uns entwickelte Messmethode für die Verteilung der Rekombinationsverluste nutzt die Absorption von Infrarotstrahlung an optisch erzeugten Überschussladungen (MFCA: Modulated Free Carrier Absorption). Wir können damit auch teilweise prozessierte Wafer untersuchen. Die bisherige Apparatur arbeitet mit schrittweiser Messung, was bei angemessener Ortsauflösung und großflächigen Solarzellen zu Messzeiten von einigen Stunden führt. Diese Methode ist der konventionellen Mikrowellen-PCD z.B. bei hochdotiertem Silicium überlegen. So konnten in einem soeben abgeschlossenen europäischen Forschungsprojekt (ARTIST), mit MFCA als einziger Methode Trägerlebensdauern auf billigem, hochdotiertem Ausgangsmaterial gemessen werden. Um diesem Messprinzip den Weg zur breiten industriellen Anwendung zu öffnen, musste die Messgeschwindigkeit wesentlich erhöht werden. Dies gelang uns durch den Einsatz einer Wärmebildkamera. Die Verteilung der Ladungsträgerdichte wird direkt als Bild erfasst (CDI: Carrier Density Imaging) und daraus das Trägerlebensdauer-Bild ermittelt (Abbildung 1). Einen groben Überblick erhält man in Sekunden, in weniger als einer Minute ein Bild mit gutem Signal-Rausch-Verhältnis (Abbildung 2). Dies ist um Größenordnungen schneller als ein schrittweises Messen vergleichbarer Qualität mit der verbreiteten Mikrowellen-PCD-Methode.

Mit Lock-In-Technik konnten wir die Empfindlichkeit so steigern, dass die in Industriesolarzellen üblichen Lebensdauern gemessen werden können. Wir generieren dabei die Ladungsträger mit einer schnell schaltbaren Hochleistungs-Laserdiode.

* Universität Freiburg, Freiburger Materialforschungszentrum FMF



Expertenkreis: Innovative und rationale Fertigungsverfahren für Silicium-Photovoltaikmodule – SOLPRO III

Unter der Leitung des Fraunhofer ISE und des Fraunhofer IPT, Aachen, wurde im Rahmen eines durch das BMWi geförderten Projekts ein »runder Tisch« von Produzenten und Zulieferern der Photovoltaikindustrie gebildet, der innovative Technologien für die Photovoltaikproduktion evaluiert.

Daniel Biro, Dietmar Borchert, Gernot Emanuel*, Dominik Huljic, Sascha Klappert*, Ralf Lüdemann, Stefan Peters, Ralf Preu, Eric Schneiderlöchner, Dirk Untiedt**

Die vergleichsweise hohen Kosten für Solarstrom behindern derzeit noch die Wettbewerbsfähigkeit der emissionsfreien Energiequelle Photovoltaik. In diesem Zusammenhang förderte das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie BMWi das Projekt »Expertenkreis: Innovative und rationale Fertigungsverfahren für Silicium-Photovoltaikmodule – SOLPRO III«, das nach zweijähriger Laufzeit am 31.10.2001 erfolgreich abgeschlossen wurde.

Ziel des Projektes war es, in einem ganzheitlichen Ansatz Optimierungspotenziale in der Produktion von Photovoltaikmodulen über die gesamte Prozesskette vom Silicium bis zum anschlussfertigen Modul im Hinblick auf den Wirkungsgrad und die Fertigungskosten zu erschließen, um so die Wettbewerbsfähigkeit der Photovoltaik langfristig zu sichern und auszubauen.

Wir stellten ein Konsortium aus Wafer-, Zell- und Modulherstellern, Maschinen-, Anlagen- und Komponentenherstellern sowie einem Energieversorgungsunternehmen zusammen, um Expertenwissen zu allen Bereichen der Fertigungskette am »runden Tisch« zusammenzuführen. Insgesamt waren 15 Unternehmen an der gemeinschaftlichen Forschung beteiligt. Wissenschaftlich begleitet und koordiniert wurde das Projekt vom Fraunhofer-Institut für Produktionstechnologie IPT in Aachen und dem Fraunhofer ISE. Die Kompetenzen der beteiligten Institute ergänzten sich gegenseitig im Bereich rationeller Fertigungskonzepte und Entwicklung von Solarzellenprozessen. Das war eine Grundlage für die erfolgreiche Projektarbeit und die erzielten Ergebnisse.

Die unternehmens- und institutsübergreifende Zusammenarbeit reichte von der Entwicklung innovativer Fertigungskonzepte bis zu experimentellen Untersuchungen entlang der gesamten Wertschöpfungskette der Solarzellen- und -modulfertigung. Dabei wurden die Erfordernisse des Marktes durch Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen und Potenzialabschätzungen einbezogen. Dazu gehörte beispielsweise eine Analyse möglicher Einsatzfelder zukunftsreicher Technologien wie Laser- und Sputtertechnologien in der Photovoltaik. In zehn Teilprojekten wurden folgende Fragen bearbeitet:

- Integrierte Zellen- und Modulfertigung aus dünnen Scheiben
- Einsatzgebiete der Drucktechnologie in der Solarzellenfertigung
- Substitution der Nasschemie durch die Plasmatechnologie

- Einsatz des Lasers in der Produktion
- Handlingfreies Prozessieren
- Prozessieren dünner Scheiben
- Vorderseitenmetallisierung für höhereffiziente Solarzellen
- Texturierungsverfahren für multikristallines Silicium
- Materialflussanalyse

Dabei identifizierten die Teilnehmer Optimierungspotenziale für die Produktion von Solarzellen und -modulen. Sie betreffen Wirkungsgrad steigernde als auch Kosten reduzierende Maßnahmen, die zum Teil noch während der Projektlaufzeit umgesetzt wurden. Für die beteiligten Unternehmen konnten darüber hinaus kurz-, mittel- und langfristige Handlungsempfehlungen abgeleitet und neue Einsatzgebiete erschlossen werden. Die positive Zusammenarbeit der beteiligten Unternehmen wurde über den Rahmen des Projektes hinaus durch bilaterale Projekte fortgeführt.

Vor allem die vollständige Abdeckung der gesamten Wertschöpfungskette in Zusammenhang mit der Forschungskompetenz der beteiligten Fraunhofer-Institute, ermöglichte eine marktnahe und interdisziplinäre Gemeinschaftsforschung. Der Expertenkreis war ein wichtiges Instrument zur Technologiebewertung und für den Transfer von Entwicklungen aus dem Labor in den industriellen Einsatz.

Weitere Informationen finden Sie im Internet unter: www.solpro.de.

* Universität Freiburg, Freiburger Materialforschungszentrum FMF

** Fraunhofer Institut für Produktionstechnologie IPT, Aachen



Labor- und Servicecenter Gelsenkirchen

Eine vielversprechende Möglichkeit, die Kosten der Solarzellenherstellung stark zu reduzieren, sind Durchlaufprozesse mit hohem Durchsatz von 1200 bis 1500 Wafern pro Stunde. In unserem Labor- und Servicecenter Gelsenkirchen bieten wir Solarzellenherstellern die Möglichkeit, solche Prozesse produktionsnah im Labor zu testen und zu optimieren. Die Ergebnisse können dann 1:1 in die Produktion übertragen werden. Dabei steht eine entsprechende Messtechnik, sowohl zur Substrat- als auch zur Solarzellencharakterisierung zur Verfügung.

Christophe Ballif, **Dietmar Borchert**, Helge Ehrhard, Ricardo Guerrero, Ali Kenanoglu, Stefan Müller, Stefan Peters, Alexander Poddey, Roland Schindler, Wilhelm Warta, Gerhard Willeke, Janez Zemva, Thomas Zerres

Durchlaufprozesse sind eine neue Herausforderung für die Forschung im Labor. Das Labor- und Servicecenter Gelsenkirchen widmet sich ihnen im besonderen Maße.

Zur optimalen Unterstützung der Solarzellenhersteller haben wir eine Pilotlinie für multikristallines Silicium aufgebaut. In ihr können Solarzellen mit Größen bis 150 x 150 mm² nach folgendem Standardprozess hergestellt werden: Ätzen des Sägeschadens, Emitterdiffusion aus dotierten SiO₂-Emulsionen im Durchlaufdiffusionsofen, Abätzen des Phosphorglases, Plasma-Abscheidung einer Siliciumnitrid-Antireflexschicht, Siebdruck der Vorder- und Rückseitenkontakte und Durchfeuern der Kontaktierung im Durchlauf-Sinterofen.

Eine Besonderheit der Produktionslinie ist der Durchlauf-Diffusionsofen. Der Ofen arbeitet mit einem kontinuierlichen Schnurtransport mit kleiner thermischer Masse. Massearmer Transport und optisches Heizen der Substrate ermöglichen kurze Aufheizzeiten und schnelle Abkühlrampen. Damit kann man den Diffusionsprozess in Durchlaufanlagen noch besser an die Materialeigenarten anpassen. Zusätzlich verfügt der Ofen über ein integriertes RTP (Rapid Thermal Processing)-Modul, das Temperaturrampen von 50 bis 100 K/s gestattet. Vor allem Bändermaterialien wie EFG (edge defined film-fed growth) und RGS (ribbon growth on substrate) können vom Einsatz der RTP-Prozesse profitieren. Unser Ziel ist es, RTP-Prozesse in Durchlauf-Produktionsanlagen zu integrieren.

Die Siliciumnitrid-Antireflexschicht wird in einer Parallelplatten-Anlage abgeschieden. Die Beschichtungsfläche ist 450 x 450 mm², die Anregungsfrequenz 13.56 MHz. Mit der Anlage können nicht nur Depositionsprozesse sondern auch Ätzprozesse durchgeführt werden.

Zur Charakterisierung von multikristallinem Silicium haben wir die Mikrowellen-Reflexion speziell an Wafern aus dem Boden und Deckenbereich einer Block-gegossenen Säule gemessen. Dieses Material wird normalerweise Zellherstellern nicht zur Verfügung gestellt. Wir fanden Eisen als Hauptkontamination im Bodenbereich. Durch Phosphordiffusion konnten wir die Lebensdauer im Material so verbessern, dass daraus gute Solarzellen hergestellt werden können.

Die bereits vorhandene Messtechnik haben wir um einen Messplatz zur

schnellen Ermittlung des Schichtwiderstandes auf großen Flächen erweitert. Er reduziert die Messzeit im Vergleich zu konventionellen Systemen um bis zu 90 %. Während diese einen Messkopf mit vier Nadeln tragen, befinden sich im neuen System auf einer Halteplatte 100 kleine Mess-Sonden mit je vier Nadeln. Die Platte muss für 100 Messpunkte nur einmal mit dem Substrat in Kontakt gebracht werden. Dabei sind die Anzahl der Messpunkte und die Anordnung auf der Halteplatte nahezu frei wählbar. Der Vorteil ist umso größer, je mehr Messpunkte man erfassen will.



Abb. 1: Herstellung von Solarzellen im Durchlaufverfahren.

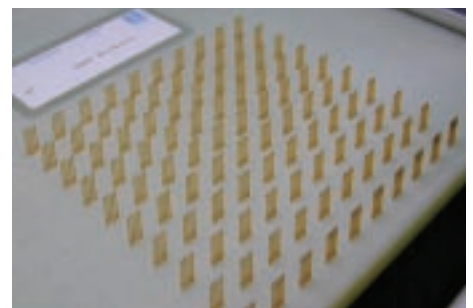


Abb. 2: Halteplatte mit 100 Mess-Sonden zur großflächigen Ermittlung von Schichtwiderständen auf einer 150 x 150 mm² Fläche.



Präzisionsmessung eines 3 m² großen Solarmoduls mit einer Nennleistung von 290 Watt.



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

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

Der Erfolg des Kalibrierlabors geht auf die Grundidee der Fraunhofer-Gesellschaft zurück, Forschung und An-

wendung zu verbinden: Das wissenschaftliche Know-how wird durch eigene Forschung ständig aktualisiert, die fast 20-jährige Erfahrung mit Photovoltaik-Systemen sorgt für Praxis. Die Anwendungsorientierung des ISE Callab zeigt sich auch bei seiner Homepage: www.callab.de. Sie informiert über technische Einzelheiten, nennt Preise und ermöglicht Auftragserteilung online.

Eine Besonderheit des ISE Callab ist seine Bandbreite: Ob kommerzielle Solarzelle aus Silicium, farbstoffsensibilisierte Solarzelle, Dünnschicht-technologie oder Mehrfachzelle für 1 000-fache optische Konzentration bis hin zu kompletten Photovoltaik-Modulen. Forscher aus aller Welt kommen mit ihren Neuentwicklungen nach Freiburg. Denn eine Messung des ISE Callab wird auf Kongressen und in Fachzeitschriften anerkannt.

Ansprechpartner

Zellkalibrierung	Dr. Wilhelm Warta	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-51 92 E-Mail: Wilhelm.Warta@ise.fhg.de
	Jürgen Weber	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-51 08 E-Mail: Juergen.Weber@ise.fhg.de
Modulmessung	Frank Neuberger	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-52 80 E-mail: Frank.Neuberger@ise.fhg.de
	Klaus Kiefer	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-52 18 E-Mail: Klaus.Kiefer@ise.fhg.de



Blitzmesstechnik für die Wirkungsgradbestimmung von Konzentrador-Solarzellen

Das Kalibrierlabor für Solarzellen und Module des Fraunhofer ISE (CalLab) ist mit einem hochwertigen Blitzmessplatz ausgerüstet, mit dem routinemäßig Module institutsintern und im Kundenauftrag vermessen werden. Ein wichtiger neuer Einsatzbereich der Blitzmesstechnik ist die Vermessung von Solarzellen für den Einsatz in optischen Konzentrador-Systemen.

Klaus Kiefer, Matthias Meusel, Frank Neuberger, Gerald Siefer, **Wilhelm Warta**, Jürgen Weber

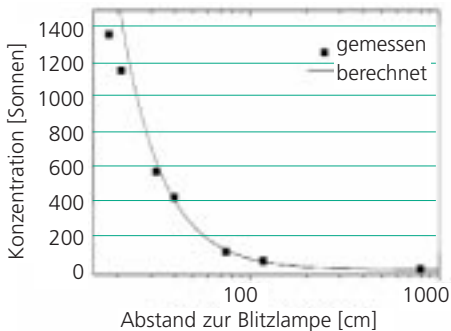


Abb. 1: Erreichbare Lichtintensitäten bei Blitzmessung.

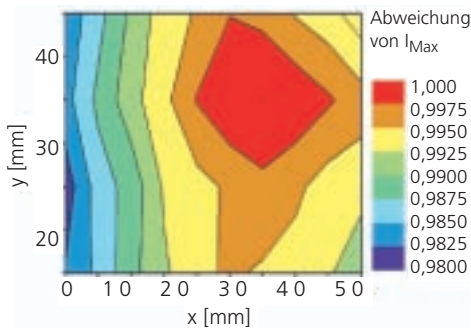


Abb. 2: Homogenität der Einstrahlung bei einer Lichtintensität von 400 Sonnen.

Konzentratorsysteme haben ein hohes Kostensenkungspotenzial für Strom aus Photovoltaik: Zum einen sinkt die benötigte Solarzellen-Fläche um den Konzentrationsfaktor, zum anderen steigt der Wirkungsgrad mit wachsender Konzentration leicht an. Bisher werden solche Systeme nur begrenzt kommerziell angeboten. Entsprechend sind international gültige Standards zur Bewertung der Effizienz von Konzentrador-Systemen bisher noch nicht verfügbar. In einem von der Europäischen Gemeinschaft geförderten Projekt erarbeiten wir zusammen mit dem IES Madrid, JRC Ispra, RWE Solar Heilbronn und ITER Teneriffa die Grundlagen für einen zukünftigen Mess-Standard. Das Fraunhofer ISE bearbeitet dabei Fragen im Zusammenhang mit dem Einsatz synthetischer Lichtquellen für die Konzentradorzellen-Messung. Dazu haben wir im letzten Jahr die relevanten Eigenschaften unseres Blitzmessplatzes analysiert.

Zunächst untersuchten wir, welche Lichtintensitäten mit dem Messplatz erreichbar sind. Abbildung 1 zeigt gemessene Lichtintensitäten über dem Abstand von der Blitzwendel (Punkte) im Vergleich zu einer einfachen Abhängigkeit vom Quadrat der Entfernung. Abweichungen von dem erwarteten Verlauf treten bei hohen Konzentrationen auf, Messungen mit Lichtintensitäten bis 1 400 Sonnen sind möglich.

Die Homogenität der Lichtintensität ist bei unserem Blitzmessplatz auf einer Fläche von 2.4 x 2.4 m² und bei 1 Sonne Einstrahlung besser als 2 %.

Wir haben auch die örtliche Verteilung der Bestrahlungsstärke für unterschiedliche Lichtintensitäten vermessen. Abbildung 2 zeigt das Ergebnis für 400 Sonnen.

Für alle betrachteten Solarzellengrößen ergab sich, dass bei den für sie typischen Konzentrationen immer Flächen mit einer Homogenität besser 2 % verfügbar sind.

Eine weitere Frage ist die Qualität des Blitzspektrums im Vergleich zu den Normspektrern. Dies ist insbesondere bei Stapelzellen für Konzentrador-Anwendung ein sehr kritischer Punkt. Untersuchungen an Zellen aus eigener Herstellung zeigten sehr hohe Fehlbewertungen, wenn das Spektrum von der Norm abweicht.

Mit einem schnellen Diodenarray-Spektralradiometer konnten wir die spektrale Verteilung unserer Blitzlichtquelle messen. Dabei fanden wir eine Abhängigkeit des Spektralverlaufs vom Alter der Blitzlampe. Diese Veränderungen liegen jedoch innerhalb der Variationsbreite eines Klasse A Simulators. Ein Modell der Änderung des Spektrums mit dem Alter ermöglicht es uns jetzt, jederzeit einen genauen Verlauf des Spektrums anzugeben. Mehrere Blitzlampen in verschiedenem Alterungszustand erlauben die gezielte Auswahl eines bestimmten Spektrums.



Modulkalibrierung – eine effiziente Methode zur Qualitätssicherung

Durch den boomenden Photovoltaikmarkt in Deutschland hat sich auch der Bedarf für Modulummessungen enorm vergrößert. Immer mehr Großhändler und Installateure lassen bei uns Stichproben größerer Modulbestellungen im Flasherlabor oder im Freiland vermessen, um die Leistungsdaten der Hersteller zu überprüfen. Für beide Dienstleistungen sind die technischen Voraussetzungen in unserem neuen Gebäude optimal. Auch personell haben wir uns verstärkt, so dass wir unsere Kunden optimal bedienen können.

Klaus Kiefer, Frank Neuberger, Wilhelm Warta, Jürgen Weber

Unsere Kompetenzen

Basierend auf langjähriger praktischer Erfahrung in der PV-Messtechnik bieten wir unseren Kunden:

- Zuverlässige Messergebnisse durch regelmäßige Messvergleiche mit anderen international anerkannten Laboratorien
- Einhalten internationaler Standards in allen Kalibrierschritten sowie bei der Verwendung von Referenzelementen und Messeinrichtungen
- Ständige Weiterentwicklung der Messverfahren mit den Forschungsergebnissen des Fraunhofer ISE
- Schnelle, unbürokratische Abwicklung
- Streng vertrauliche Behandlung der Aufträge
- Regelmäßige Überprüfung unserer Messeinrichtungen
- Intensive und kompetente Beratung bei individuellen Messaufgaben

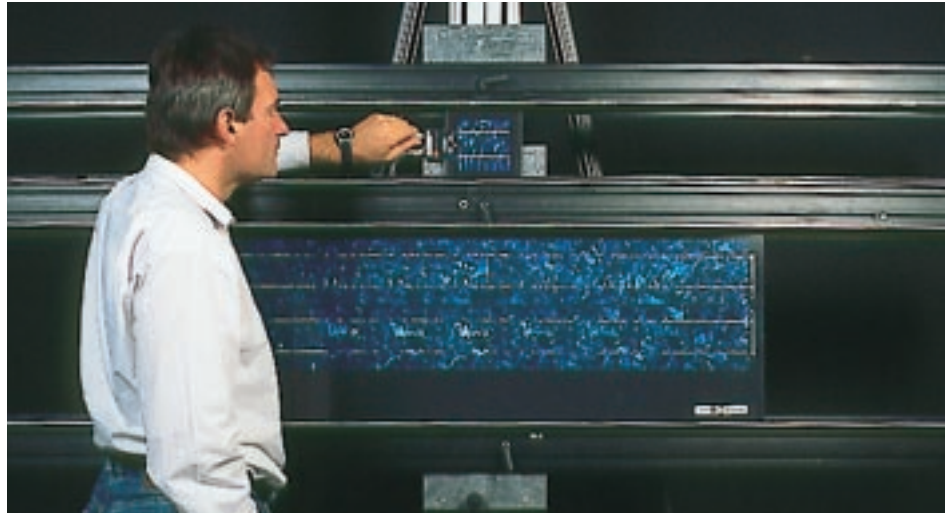


Abb. 1: Vermessung eines Photovoltaik-Dachziegelelementes.

Unsere Leistungen

Wir charakterisieren PV-Module jeglicher Bauart bis zu einer Größe von zwei auf zwei Meter:

- Leistungsmessung mit Flasher
- Leistungsmessung im Freiland
- NOCT-Temperatur und -Leistung
- Winkel- und Temperaturabhängigkeit der Modulparameter

Unsere Ausstattung

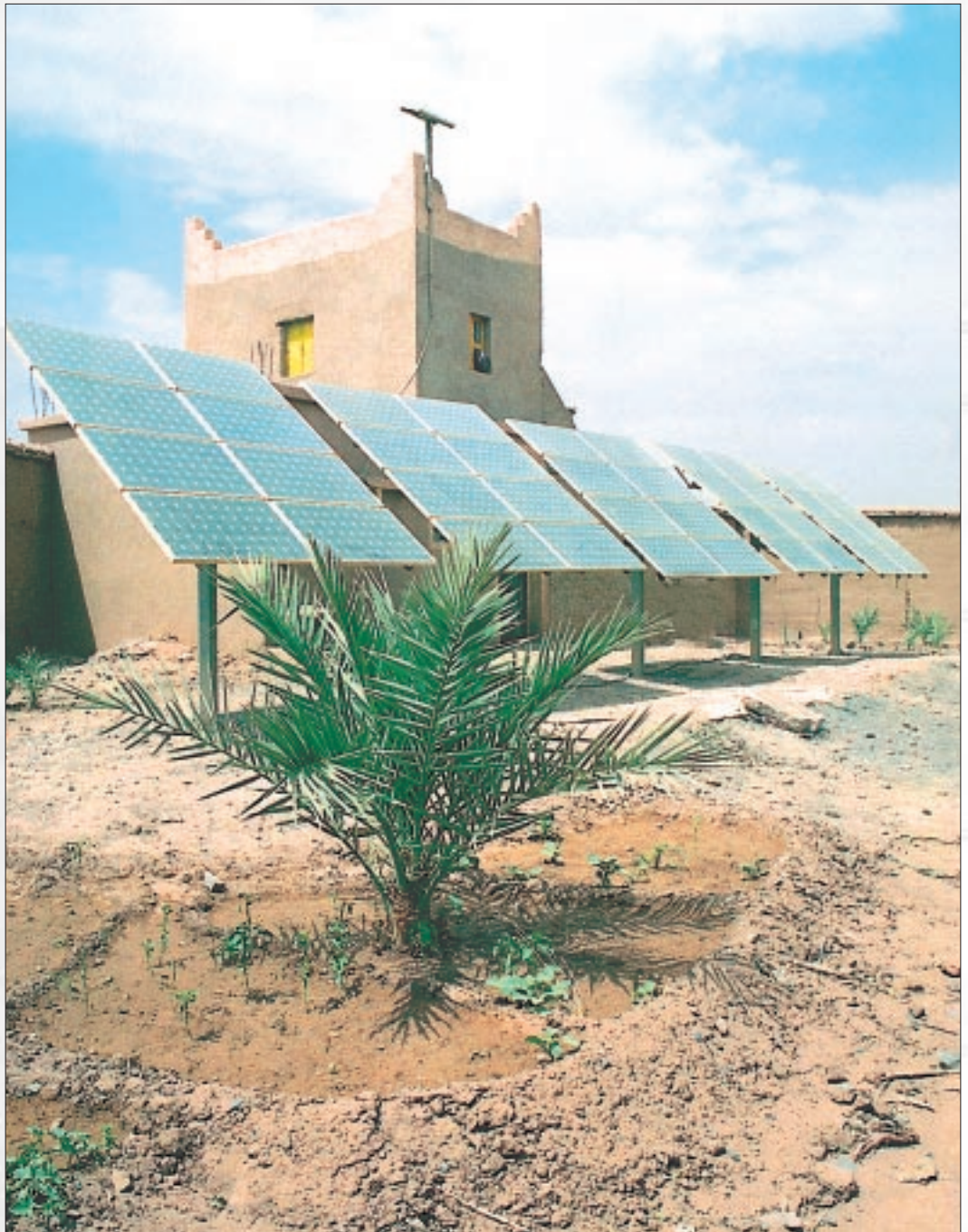
Zur Bearbeitung anspruchsvoller Messaufgaben steht dem ISE Callab eine hochwertige Geräteausstattung zur Verfügung:

- Klasse A Dauerlicht-Sonnensimulator (AM 1.5; AM0)
- 3-Lichtquellen-Simulator
- Konzentrierender Sonnensimulator (bis zu 1200 Sonnen)
- Blitzlicht-Sonnensimulator (AM 1.5)
- Filter-Monochromator (300 nm bis 1400 nm)

- Gitter-Monochromator (300 nm bis 1800 nm)
- Verschiedene Spektralradiometer
- Freilandmessstand

Internet

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



Photovoltaik-Pumpstation des Dorfes Ifert in Marokko für Trinkwasser und Bewässerung. Auf dem Dach ist eine weitere Photovoltaik-Versorgung für die Trinkwasserdesinfektionseinheit montiert (Beitrag Seite 78).



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

Neben Solar Home Systemen - mit rund 50 W_p Leistung kleinster energetischer »Lichtblick« in ländlichen Gegenden von Entwicklungsländern – beschäftigen wir uns zunehmend mit Photovoltaiksystemen von 1–20 kW_p Leistung für die netzferne Stromversorgung. Sie ermöglichen gewerbliche Aktivitäten oder z.B. den Betrieb einer Krankenstation. Energiewirtschaftlich sind sie als kleinste Einheit eines dezentral zusammenwachsenden Netzes interessant. Bei den netzunabhängigen Dorfstromanlagen ist die Verteilung der Energie ein heißes Thema. Hier bewährt sich unser Ansatz, mit den Menschen vor Ort die Technik zu entwickeln und dabei die sozialen und die ökonomischen Aspekte stets mit betrachten. Auch bei Alpenhütten, die wir zum Teil schon seit mehr als einem Jahrzehnt mit Planung, Energiekonzepten und Monitoring betreuen, zeigt sich diese Methode als erfolgreich.

Die Bleibatterie ist immer noch das Arbeitspferd der Photovoltaik-Systemtechnik. Für die Industrie entwickeln

wir neue Produkte und Ladeverfahren für die Solaranwendung. Das bedeutet nicht nur höhere nutzbare Speicherkapazitäten und Wirkungsgrade, sondern verlängerte Lebensdauer und damit reduzierte Kosten. Sowohl für die Batteriehersteller als auch für die Anwender sind schnell zu erzielende Aussagen über die Lebensdauer der Batterien sehr wichtig.

Immer deutlicher wird der Stellenwert von sauberem Trinkwasser. Das Wohlbefinden der Menschen und die Wirtschaftskraft eines Landes hängen davon ab. Oft wird Oberflächenwasser unbehandelt getrunken, 2 Milliarden Krankheitsfälle pro Jahr sind die direkte Folge. Photovoltaik kann kostengünstig Energie für Wasserförderung und -aufbereitung bereitstellen. Aber auch die Desinfektions- und Entsalzungstechniken für die Wasseraufbereitung entwickeln wir für die dezentrale Anwendung weiter.

Es geht um einen Markt von mehreren Milliarden US\$. Wir engagieren uns für Qualitätssicherung und nachhaltige Marktentwicklung. So beraten wir Regierungen weltweit und begleiten Markteinführungsprogramme mit unserer technischen, sozialwissenschaftlichen und ökonomischen Expertise. Im »Club zur ländlichen Elektrifizierung« engagieren wir uns gemeinsam mit Industriepartnern für eine Stärkung des deutschen Photovoltaikexports.

Ansprechpartner

Systemtechnik	Dipl.-Ing. Georg Bopp	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-52 40 E-Mail: Georg.Bopp@ise.fhg.de
Sozialwissenschaft	Dr. phil. Petra Schweizer-Ries	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-52 28 E-Mail: Petra.Schweizer-Ries@ise.fhg.de
Autonome und dezentrale Stromversorgung	Dipl.-Ing. Werner Roth	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-52 27 E-Mail: Werner.Roth@ise.fhg.de
Trinkwasserversorgung und -aufbereitung	Dipl.-Ing. Andreas Steinhüser	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-52 25 E-Mail: Andreas.Steinhueser@ise.fhg.de
Speichersysteme	Dipl.-Phys. Dirk Uwe Sauer	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-52 19 E-Mail: Dirk-Uwe.Sauer@ise.fhg.de



Club zur ländlichen Elektrifizierung C.L.E. - Verbund deutscher Industriefirmen zur Entwicklung des Marktes für ländliche Elektrifizierung

Eine Umfrage des Fraunhofer ISE im April 2000 hat ergeben, dass die deutsche Photovoltaik- und Systemtechnik-Branche erheblichen Bedarf an einer gemeinsamen Strategie zur Erschließung des Marktes zur ländlichen Elektrifizierung hat. In der Folge haben sich im September 2000 16 Firmen zum Club zur Ländlichen Elektrifizierung C.L.E. zusammengeschlossen. Das Fraunhofer ISE koordiniert C.L.E., dessen Mitgliederzahl mittlerweile auf 20 angewachsen ist.

Rana Adib, Dirk Uwe Sauer, Silke Drescher*, Klaus Preiser

In einem kooperativen Netzwerk haben sich vom Modulhersteller über den Systementwickler bis hin zum Installateur und Finanzier bisher schon 20 deutsche Unternehmen im Club zur ländlichen Elektrifizierung C.L.E. zusammengeschlossen. Gemeinsames Ziel ist die Erschließung der Märkte zur ländlichen Elektrifizierung. C.L.E. strebt eine nachhaltige PV-Wirtschaft in Deutschland an. Dazu will C.L.E. in den Entwicklungsländern dauerhafte Strukturen aufbauen, die stabile Exportmärkte für deutsche Solarfirmen ermöglichen. C.L.E. ist eine breit angelegte Exportinitiative, in der deutsche PV-Unternehmen die Rahmenbedingungen für den PV-Export verbessern und dezentrale Energieversorgungskonzepte umsetzen.

C.L.E. bündelt die gesamte Expertise der Mitgliedsfirmen im Bereich der ländlichen Elektrifizierung. Das ermöglicht einen umfassenden, abgestimmten Auftritt in den strategisch bedeu-

tenden Solarmärkten – bis hin zur Vermarktung des weltweit überzeugenden Gütesiegels »Made in Germany«.

Den überwiegend kleinen und mittleren Unternehmen der PV-Branche ermöglicht C.L.E. außerdem, sich als Konsortium erfolgreich dem internationalen Wettbewerb zu stellen.

Gleichzeitig sieht sich C.L.E. im Bereich der ländlichen Elektrifizierung auch als Vertreter der PV-Branche gegenüber den deutschen Institutionen, die den Export fördern. Dies sind vor allem die Bundesministerien für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung BMZ und für Wirtschaft und Technologie BMWi, die Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit GTZ und die Kreditanstalt für Wiederaufbau KfW und der in Gründung befindliche Exportrat für erneuerbare Energien. Wesentliche Ziele sind dabei verbesserter Informationsfluss, ausreichende Berücksichtigung deutscher Firmen bei Projekten in Entwicklungsländern und Unterstützung der deutschen Firmen bei der Erschließung der Märkte, z.B. durch enge Verbindung mit Entwicklunghilfeprojekten oder Kreditsicherungsmechanismen.

Wichtig ist dabei, dass die Instrumente zur Exportförderung den Märkten zur ländlichen Elektrifizierung angepasst werden. 10 000 Solar Home Systeme mit einem Wert von je 1 000 Euro benötigen andere Unterstützung als ein Wasserkraftwerk für

10 000 000 Euro. Auch die Rahmenbedingungen in den Zielländern (Steuern, Zölle, u.ä.) werden diskutiert.

C.L.E. hat bereits wichtige Gespräche mit den Ministerien geführt und wird in engem Kontakt mit ihnen die Rahmenbedingungen für den Export in die ländliche Elektrifizierung weiter verbessern.

C.L.E. möchte auch Firmen mit unterschiedlichen Produkten zusammenbringen, die dann gemeinsam an Ausschreibungen für System- oder Elektrifizierungslösungen teilnehmen. Gemeinsam sollen Marktinformationen beschafft und Studien zu Märkten und Ländern erstellt, über Handeshäuser und Messebeteiligungen Partner in den Zielländern identifiziert und gewonnen sowie Qualitätsstandards auf Basis der vorhandenen Normen am Markt durchgesetzt werden.

Eine enge Kooperationen mit den Verbänden der deutschen Solarindustrie ist für C.L.E. selbstverständlich. Ende 2001 wurde die endgültige Rechtsform von C.L.E. verabschiedet.

Weitere Mitglieder sind willkommen. Informationen zu den Zielen von C.L.E. sowie Informationen zu den Mitgliedern finden sich auf der Internetseite www.cle-export.de.

* freie Mitarbeiterin



Rural Energy Supply Models – Wie erreicht man die ländlichen Kunden?

Bei der marktorientierten ländlichen Energieversorgung stellt sich die grundsätzliche Frage, wie man die Energieversorgungssysteme bzw. die Dienstleistung zu den Endkunden bringt. Zur Unterstützung von Industrie, Regierungsinstitutionen und Finanzierungsunternehmen haben wir die Marketing- und Infrastrukturmodelle kategorisiert und charakterisiert.

Rana Adib, Klaus Preiser

Für die Versorgung ländlicher Haushalte in Entwicklungs- und Schwellenländern werden erneuerbare Energien als gute und natürliche Lösung angesehen. Mittlerweile wählen die Schlüsselakteure für die nachhaltige Energieversorgung der nicht elektrifizierten Bevölkerung – mehr als zwei Milliarden Menschen weltweit – einen marktorientierten Ansatz. Da mit solchen Großvorhaben bisher wenig Erfahrungen existieren, sind noch zahlreiche Fragen zu klären.

Zusammen mit der International Solar Energy Society (ISES) haben wir die vielbeachtete Studie »Rural Energy Supply Models (RESuM)« durchgeführt. Ziel ist es, Akteure wie Regierungen, Unternehmen und Finanzierungsinstitutionen bei ihren Aktivitäten in der ländlichen Energieversorgung zu unterstützen.

Die Studie schließt Wissenslücken bezüglich geeigneter Energieversorgungsmodelle für ländliche Gebiete in Entwicklungsländern. Sie gibt Informationen zum Aufbau der verschiedenen Vertriebs- und Verbreitungs-

modelle und fasst Erfahrungen mit diesen Modellen zusammen. Die Informationen sind strukturiert auf einer speziell entwickelten Internetanwendung verfügbar (Abbildung 1).

Die Studie erlaubt es, einen marktorientierten und marktgesteuerten Ansatz mit nachhaltiger Elektrifizierungspolitik zusammenzubringen. Mit den Ergebnissen können wir Firmen und Finanzinstitutionen bei ihrem Markteintritt begleiten und gemeinsam mit ihnen die optimale Vermarktungsstrategie erarbeiten.

Folgende Modellkategorien werden identifiziert und definiert: Cash, Kredit, Leasing und Service. Der Leser erhält einen strukturierten Überblick über die zugehörigen Energieversorgungsmodelle, ihre Charakteristika, Vor- und Nachteile. Er erfährt etwas über die vertraglichen Vereinbarungen zwischen System- bzw. Service-Anbieter und dem Endkunden. Die Studie untersucht aber auch Geschäftsabläufe wie Werbung und Installation. Für jedes Energieversorgungsmodell wird die strukturierte Analyse durch Praxisbeispiele gestützt.

Als Beispiel stellen wir nachfolgend Ergebnisse für das Modell »Fee for Service« vor (Abbildung 2).



Abb. 1: Interaktive Internetseite (<http://resum.ises.org>).

Beim »Fee for Service«-Modell zahlt der Kunde für eine fest vereinbarte Energiedienstleistung einen regelmäßigen Betrag. Der Preis des Services ergibt sich aus den Hardwarekosten plus Händlermarge, den Finanzierungskosten sowie den Kosten für Installation, Inkasso und Wartungsservice. Für Verkauf, Installation, Wartung und Inkasso ist eine Infrastruktur notwendig. Das Modell sieht lange Laufzeiten vor.

Für den Dienstleister ergeben sich folgende Probleme und Risiken:

- hohe Kosten für die Infrastruktur
- Reparaturkosten bzw. Frage der Verantwortlichkeit bei Systemausfällen
- Vorhaltung von Ersatzteilen über lange Zeiträume
- fehlende technische Einrichtungen zur Überwachung der Übernutzung durch den Kunden.

Allerdings erlaubt das »Fee for Service«-Modell eine sehr gute Markterschließung auch im Bereich armer Haushalte, da keine hohen Erstinvestitionskosten für den Kunden entstehen.

Das Bundesministerium für Umwelt förderte die Studie.

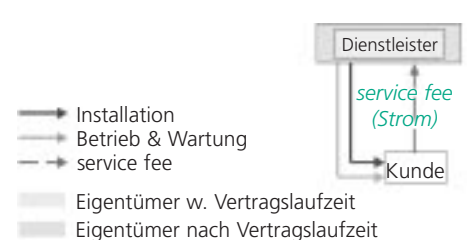


Abb. 2: Betreiber- und Finanzierungsmodell »Fee for Service«.



Konzepte für die Verknüpfung von dezentralen Wasser- und Stromversorgungssystemen auf der Basis von regenerativen Energien in ländlichen Gebieten der Maghreb Region

Die ländliche Wasser- und Energieversorgung in Schwellen- und Entwicklungsländern wurde in der Vergangenheit nur zögerlich vorangetrieben. So haben heute noch mehr als 1 Mrd. Menschen keinen vernünftigen Zugang zu einer Wasser- und Stromversorgung. Dabei sind Energie- und Wasserversorgung eng miteinander verknüpft, da Wasser mit Energieaufwand gefördert und aufbereitet werden muss. Gemeinsam mit lokalen Partnern erarbeiten wir technische und organisatorische Konzepte, die in Zukunft die Wasserversorgung mit der ländlichen Energieversorgung stärker verknüpfen sollen.

Rana Adib, Christian Brenning, Silke Drescher*, Dirk Uwe Sauer, Martin Wegmann

Die Technologieentwicklung für netzferne, dezentrale Energie- und Wasserversorgung in Entwicklungsländern allein ist ein wichtiger Aspekt einer dauerhaften Verbesserung der Lebenssituation in den Zielländern. Angepasste Finanzierungs- und Managementmodelle für die eingesetzten Systeme garantieren eine langfristige Sicherung der Infrastruktur im ländlichen Raum.

Hier setzt das EU-Projekt JARUWA an, das wir gemeinsam mit unserem marokkanischen Partner in der Maghreb Region durchführen. Ökonomen und Ingenieure entwickeln gemeinsam Konzepte, die sowohl technische und organisatorische als auch finanzielle Aspekte einer kombinierten ländlichen Wasser- und

Energieversorgungsinfrastruktur auf der Basis von regenerativen Energien berücksichtigen. Hierbei geht es insbesondere darum, die Synergien bei einer gemeinsamen Einführung und dem Management von Wasser- und Stromversorgungssystemen heraus zu arbeiten.

Im Rahmen des Projektes haben wir Marokko als Länderbeispiel herausgegriffen, da dort bereits staatliche Programme für die Verbesserung der Wasserversorgung (PAGER) sowie der Energieversorgung (PERG) in den ländlichen Gebieten umgesetzt werden und somit erste Erfahrungen vorliegen. Dezentrale Versorgungsansätze mit erneuerbaren Energiequellen werden dort explizit gefördert.

Wir verglichen und kombinierten die beiden Programme anhand ihrer Klassifizierungskriterien für Dörfer, die nicht an das nationale Stromnetz angeschlossen werden. Anhand dieser Kriterien identifizierten wir Dörfer als Fallbeispiele, deren Bedürfnisse wir mit Hilfe von Vor-Ort-Untersuchungen detaillierter beschreiben konnten. Gleichzeitig diskutierten wir Implementierungs- und Managementansätze für die ländliche Wasser- und Stromversorgung mit den zuständigen Akteuren aus Politik, Forschung und Wirtschaft.

Die Zwischenergebnisse machen deutlich, dass die Einführung der Wasser- und Energieversorgung in Marokko bisher unabhängig voneinander vorangetrieben wird. Vorhandene Synergien aus technischer und organisatorischer Sicht werden nicht genutzt, obwohl viele Kriterien für die Technologieauswahl ähnlich sind.

Für die Wartung und das Management der Systeme kommen unterschiedliche Ansätze in Frage. Dem

»Community Management« Ansatz, bei dem die Nutzer selbst für einen reibungslosen Betrieb der Anlagen sorgen, steht das »Service-Konzept« gegenüber. Letzteres setzt auf die Einbindung von privatwirtschaftlich organisierten Institutionen (Einzelpersonen oder Unternehmen), die gegen eine Gebühr den sicheren Betrieb der Anlagen garantieren.

Das große Interesse an unseren Aktivitäten unterstützt unsere Pläne, die Ergebnisse der Studie als Diskussionsgrundlage für einen internationalen Workshop mit Teilnehmern aus Europa und dem Maghreb zu verwenden. Dieser Workshop hat sowohl den Nord-Süd-Austausch als auch den Süd-Süd-Austausch von Erfahrungen und Konzepten zum Ziel. Die Ergebnisse sollen in enger Zusammenarbeit zwischen den Maghreb Staaten und der EU zu einer Weiterentwicklung der europäisch-maghrebinischen Zusammenarbeit im ländlichen Infrastruktursektor und zu einer stärkeren Förderung der Solarenergie in den sonnenreichen Staaten des Maghrebs führen.



Abb. 1: PV-betriebene Wasserversorgung in Efert, Marokko mit integrierter Desinfektion. In Zukunft soll das Dorf zusätzlich mit einem PV-betriebenen Mini-Stromnetz versorgt werden.

* freie Mitarbeiterin



Planungsleitfaden für Energiekonzepte von Berghütten

Für die Energieversorgung von netzfernen Gebäuden wie Berghütten sind erneuerbare Energien eine ideale Alternative zum Dieselgenerator. In einem Planungsleitfaden haben wir die wichtigsten Punkte für eine erfolgreiche Umstellung zusammengefasst.

Georg Bopp, Klaus Kiefer,
Dirk Uwe Sauer

Der Planungsleitfaden hilft bei der Ermittlung des Energiebedarfs und dem Aufbau einer umweltgerechten Energieversorgung von Schutz- und Berghütten. Er wendet sich sowohl an die Eigentümer und Betreiber (z.B. Hüttenwarte oder Hüttenpächter) wie auch an Ingenieurbüros und planende Handwerker. Er will alle am Planungsprozess Beteiligten unterstützen und so einen Beitrag zur Entwicklung hochwertiger Versorgungskonzepte leisten.

Der Leitfaden baut auf unseren Erfahrungen mit über 45 photovoltaisch versorgten, netzfernen Wohnhäusern und Berghütten auf. Danach ist der erste Schritt die Ermittlung des aktuellen Energieverbrauchs und der Möglichkeiten zu dessen Reduzierung.

Die Standardmethode zur Berechnung des elektrischen Einsparpotenzials verwendet Verbrauchsmessungen und -berechnungen im jeweiligen Einzelprojekt. Ergänzend dazu haben wir erstmalig drei Methoden vorgeschlagen, die auf Energiekennzahlen beruhen. Basis der Kennzahlen waren 15 bereits vermessene Anlagen. Wir haben dort nach einer Korrelation zwischen dem elektrischen Energieverbrauch einerseits und der Geräteausstattung, der Gästezahl, den

Sitzplätzen, den Übernachtungsplätzen, dem Speiseangebot, der Dauer des Anstiegs zur Hütte und dem Wasserverbrauch andererseits gesucht. Unter der Voraussetzung, dass im Haus weitgehend Energiespargeräte der Energieeffizienzklasse A eingesetzt werden, ergaben sich schließlich drei belastbare Korrelationen. Als Beispiel zeigt Abbildung 1 die Korrelation zwischen Energiebedarf und Gästezahl für große Hütten, die über 4 000 Übernachtungsgäste pro Saison haben oder ganzjährig genutzt werden.

Ohne Verbrauchsmessungen lässt sich jetzt für diese Kategorie von Hütten der Energiebedarf schnell und ausreichend genau über die Kennzahl »Energieverbrauch pro Gast« berechnen.

Ist das Einsparpotential ermittelt, zeigt der Leitfaden, unter Berücksichtigung der Randbedingungen im Gebirge, wie der verbleibende Energiebedarf umweltgerecht und unter Einsatz regenerativer Energiequellen gedeckt werden kann.

Ein entsprechendes Entscheidungsdiagramm berücksichtigt z.B. Photovoltaikanlagen, mit Rapsöl betriebene Blockheizkraftwerke, Sonnenkollektoranlagen zur Warmwassererzeugung oder mit Holz-Pellets befeuerte Kachelöfen. Mit dem Diagramm kann der Leser ein schlüssiges Gesamtkonzept entwickeln.

Zur Validierung der Annahmen haben wir für die Göppinger Hütte des Deutschen Alpenvereins DAV ein Energiekonzept erstellt und damit die Praxistauglichkeit des Leitfadens nachgewiesen.

Der Planungsleitfaden wurde von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) finanziert. Sie hat ein Förderprogramm zur beispielhaften umweltgerechten Ver- und Entsorgung von netzfernen Berghütten initiiert. Dies umfasst Maßnahmen zur Energie- und Wasserversorgung sowie zur Abwasser- und Abfallentsorgung. Als Teil des Antrags auf Förderung durch die DBU ist eine detaillierte Bestandsanalyse und Konzeptdarstellung vorgeschrieben, die der Planungsleitfaden sehr erleichtert.

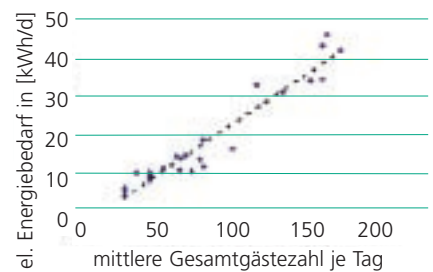


Abb. 1: Mittlerer täglicher Energiebedarf in Abhängigkeit der mittleren täglichen Gästezahl.

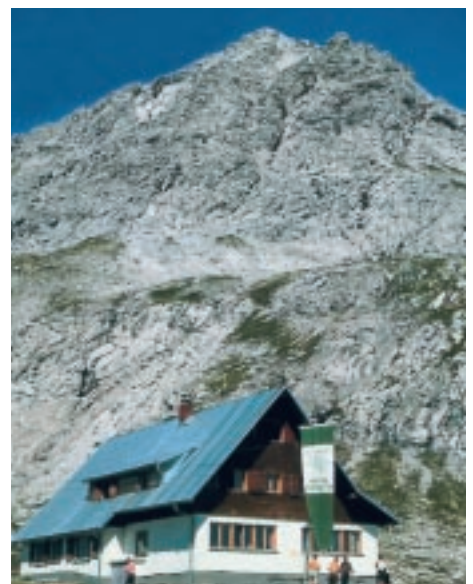


Abb. 2: Der Planungsleitfaden für Energiekonzepte wurde an der Göppinger Hütte erstmalig validiert.



Entwicklung von Prüfprozeduren für Speicherbatterien in autonomen Stromversorgungssystemen

Um die Lebensdauer von Batterien in autonomen Stromversorgungen zuverlässig zu bestimmen, gibt es bis heute keine geeigneten Prüfverfahren. Wir entwickeln Verfahren, um Batterien entsprechend ihrer Einsatzbedingungen zu charakterisieren. Zudem arbeiten wir an Verfahren für beschleunigte Alterungstests.

Dirk Uwe Sauer, Pascal Fischer, Rudi Kaiser, Hans-Georg Puls

Batterien verursachen einen großen Teil der Kosten in autonomen Stromversorgungen. Die Lebensdauer der Batterien hängt ganz erheblich von zwei Faktoren ab:

- Auswahl des optimalen Batterietyps bzw. der geeigneten Batterietechnologie
- Einstellung der Betriebsbedingungen.

Bis heute gibt es aber keine Prüfverfahren, die die Lebensdauer von Batterien in autonomen Stromversorgungen in kurzer Testzeit zuverlässig bestimmen können. Dies liegt zum einen daran, dass die Betriebsbedingungen ganz entscheidend von der Anwendung, dem Standort und der Systemauslegung abhängen.

Zum anderen laufen in Batterien sehr viele Alterungseffekte parallel ab, die sich nicht gleichmäßig bei beschleunigten Alterungstests verstärken lassen. Dadurch geht die Möglichkeit der Reskalierung auf normale Betriebsbedingungen verloren. Auch unter beschleunigten Bedingungen dauern Alterungstest bei guten Batterien wenigstens ein Jahr; werden reale Betriebsbedingungen verwendet, vergehen fünf bis acht Jahre bis belastbare Ergebnisse vorliegen.

Wir arbeiten in zwei Projekten an Verfahren, mit denen das Lebensdauerverhalten von Batterien in autonomen Stromversorgungen charakterisiert werden kann.

Im Projekt BENCHMARKING (Projektstart Januar 2002) charakterisieren und klassifizieren wir zusammen mit führenden Instituten aus Europa, den USA und Australien die Betriebsbedingungen von Batterien. Dazu werden Daten aus realen Anlagen analysiert und daraus die Belastungsprofile für die Batterien bestimmt. Für jede Klasse von Betriebsbedingungen wird ein typischer Prüfzyklus entwickelt. Damit können nicht-beschleunigte Alterungstests durchgeführt werden, die für die getestete Batterie einen belastbaren Lebensdauerwert in der entsprechenden Klasse ergeben. Darüber hinaus sollen beschleunigte Prüfzyklen entwickelt werden, die die Betriebsbedingungen ebenfalls möglichst getreu wiedergeben.

Einen Schritt weiter geht die Entwicklung im Projekt ACTUS. Hier wird, zusammen mit Industriefirmen und auf die Elektrochemie von Batterien spezialisierten Partnern, ein neuartiges Verfahren für beschleunigte Alterungstests an Bleibatterien entwickelt. Es besteht aus einer Kombination von elektrochemischen Tests und einer Lebensdauersimulation des Alterungsverhaltens von Bleibatterien im System. Dabei entwickeln wir für die verschiedenen Alterungsmechanismen jeweils spezifische elektrochemische oder physikalische Tests. Mit ihnen können wir die Alterungsanfälligkeit des Prüflings charakterisieren. Dabei soll kein Test länger als drei Monate dauern. Nach drei Monaten liegen charakteristische Werte für die ver-

schiedenen Alterungseffekte vor. Diese Daten verwenden wir, um die Parameter für ein detailliertes physikalisch-chemisches Alterungsmodell der Batterie zu bestimmen. Mit ihm können wir die Lebensdauer unter verschiedenen Betriebsbedingungen simulieren. Die einmalige Bestimmung der charakteristischen Werte für die Alterung ermöglicht somit eine schnelle Berechnung der zu erwartenden Lebensdauer. Gleichzeitig werden die Ergebnisse anhand von nicht-beschleunigten Alterungstests verifiziert.

Beide Projekte werden von der EU gefördert.

Das Fraunhofer ISE arbeitet auch im Netzwerk-Projekt der Europäischen Union INVESTIRE mit, das CEA-GENEC, Aix-en-Provence, leitet. 35 Partner werden den aktuellen Stand zu allen Speichertechnologien für autonome Stromversorgungen zusammentragen und deren Entwicklungspotenzial evaluieren. Wir sind dabei für die Bestimmung der Betriebsbedingungen in unterschiedlichen Anwendungsklassen zuständig.

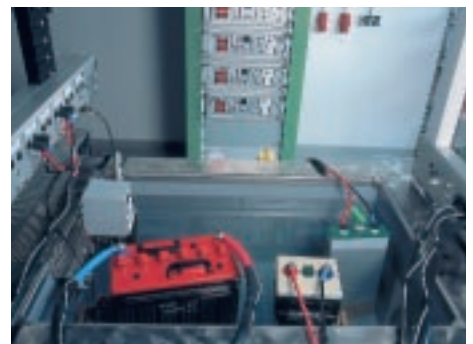


Abb. 1: Insgesamt verfügen wir über mehr als 50 Batterie-Prüfkreise mit Strombereichen zwischen 20 mA und 300 A sowie für Spannungen zwischen 1 V und 500 V für elektrische Kurz- und Langzeitcharakterisierungen. Drei Wasserbäder und zwei Temperaturschränke ermöglichen die Temperierung der Batterien.



Produktentwicklung einer photovoltaisch versorgten Trinkwasseraufbereitungsanlage

Eine Milliarde Menschen leben sowohl ohne Zugang zu elektrischem Strom als auch ohne Zugang zu hygienisch einwandfreiem Trinkwasser. Für eine nachhaltige Versorgung dieser Menschen mit Trinkwasser müssen Technologien zur Trinkwasseraufbereitung an die Bedingungen in netzfernen Regionen angepasst werden.

Jochen Benz, **Georg Bopp**,
Markus Brandl, Orlando Parodi,
Ulrike Seibert, Andreas Steinhüser

In ländlichen Regionen von Entwicklungsländern fehlt neben dem Anschluss an ein öffentliches Elektrizitätsversorgungsnetz häufig auch eine Trinkwasserversorgung. Zur Versorgung dieser Gebiete mit hygienisch unbedenklichem Trinkwasser sind netzunabhängige und dezentrale Anlagen geeignet. Wir erarbeiten daher Konzepte für photovoltaisch versorgte Trinkwasseraufbereitungsanlagen.

In Zusammenarbeit mit der Solar-Fabrik GmbH in Freiburg entwickelten wir eine energieautarke Trinkwasserdesinfektionsanlage speziell für den Einsatz in Entwicklungsländern.

Bei einer Vorortrecherche in Marokko, einem der Zielländer, fanden wir heraus, dass potenzielle Kunden die Kombination von Wasserförderung und Wasseraufbereitung wünschen. Diese beiden Funktionalitäten des Systems führten zum Produktnamen WATERpps (**WATER** Pumping and Purification System).

Das grundlegende Konzept des WATERpps sieht so aus:

- Brauchwasserförderung und Trinkwasseraufbereitung
 - Wasserversorgung von 25 bis 50 Personen
 - Trinkwasserdesinfektion durch Mikrofilter von Katadyn (CH)
 - Energieautarkie durch PV-Versorgung
 - Kompakte und robuste Bauform
 - Benutzerfreundlichkeit
 - Kostengünstige Produzierbarkeit
- Bei der Umsetzung beachteten wir bis ins Detail die Bedingungen im Einsatzgebiet. So verfügt der Prototyp des WATERpps über hervorragende Transporteigenschaften. Die kompakte Gehäuseeinheit ermöglicht einen sicheren Transport der Anlage an den möglicherweise entlegenen Aufstellungsort. Der Klappmechanismus gewährleistet zudem einen einfachen Aufbau. Eine mikrobiologische Gefährdung des Trinkwassers kann nur entstehen, wenn der Filter längeren Stillstandszeiten ausgesetzt ist (Gefahr der Durchwachsung). Davor warnt eine aktive Schutzeinrichtung. Eine automatische Pumpenabschaltung und eine einfache Energiespeicheranzeige sorgen für sparsame Energienutzung.

Innerhalb der Produktentwicklung haben wir verschiedene Dauertests des Systems durchgeführt. Dabei entstand ein universell verwendbarer Teststand für Trinkwasseraufbereitungsanlagen. Mit ihm können wir auch andere Trinkwasseraufbereitungsanlagen charakterisieren.

Die Arbeiten werden im Rahmen des Programms »Photovoltaik für Geräte und Kleinsysteme« vom BMWi unterstützt.

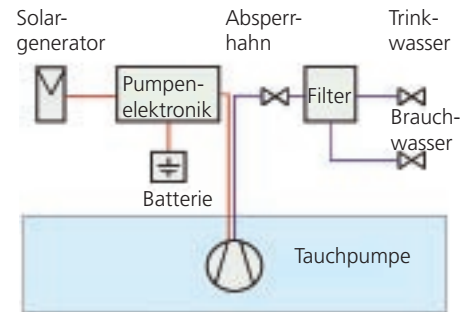


Abb. 1: Prinzipschaltbild des WATERpps.

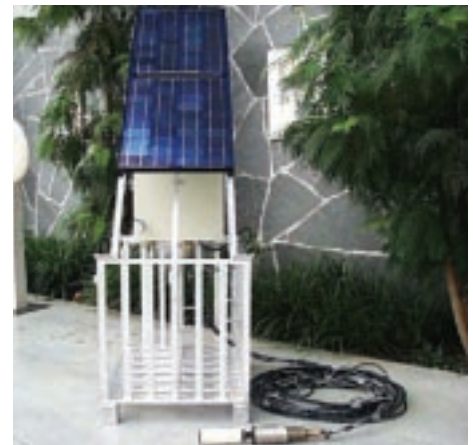
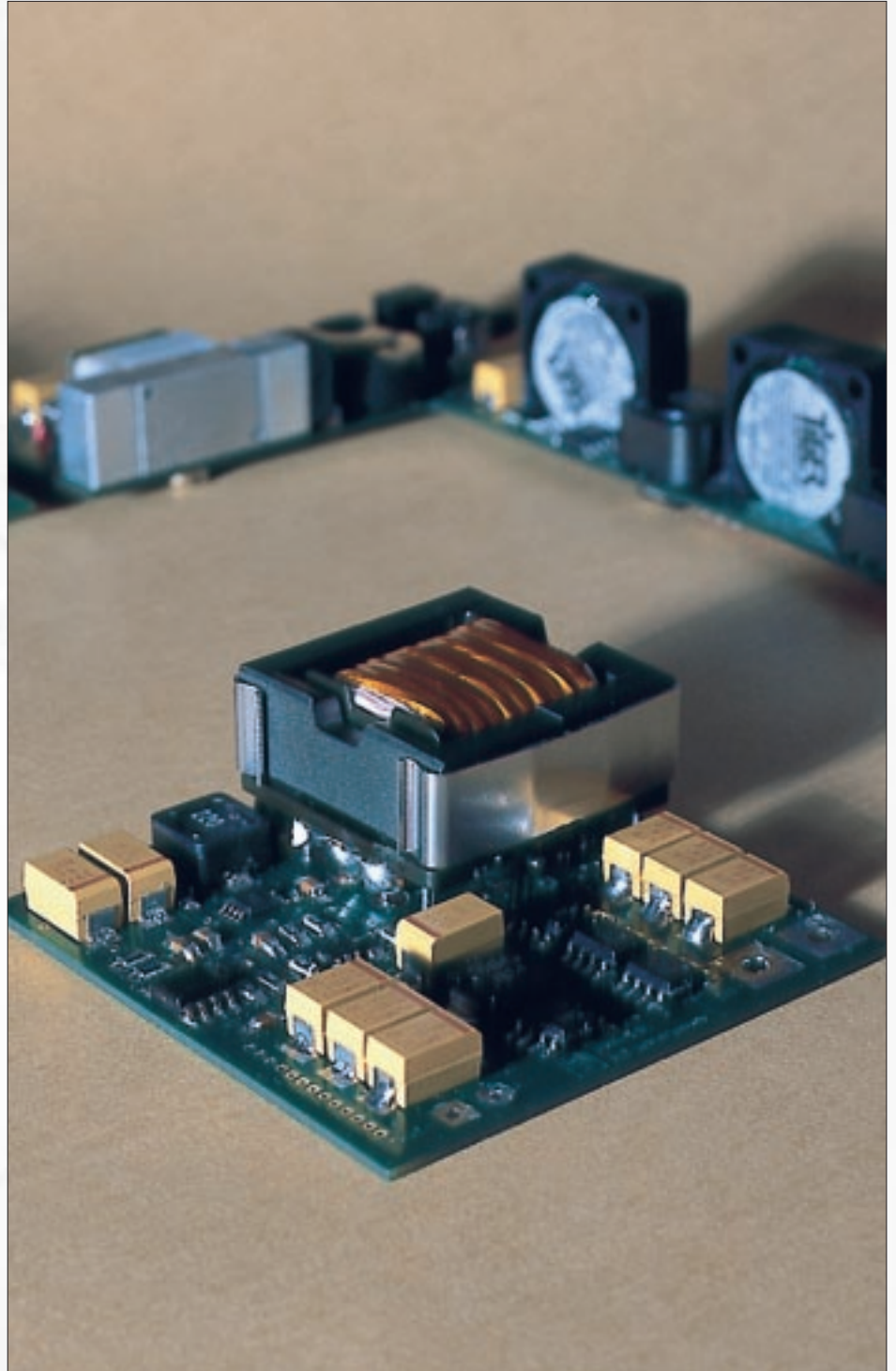


Abb. 2: Prototyp WATERpps (Querseite).



Abb. 3: Transportzustand des Prototypen WATERpps (Längsseite).



Durch den Einsatz hocheffizienter DC/DC-Wandler können die Arbeitspunkte von Brennstoffzellen oder Solarzellen flexibel an die Verbraucher angepasst werden. Die Abbildung zeigt einen Wandler zur Versorgung eines Notebooks aus einer Brennstoffzelle mit einer Leistung von 10 Watt und einem Wirkungsgrad von $>91\%$ bei einer Eingangsspannung von nur 1 Volt (Beitrag S. 84).



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

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

Flexible Einsetzbarkeit und effiziente Energiewandlung charakterisieren solare Stromversorgungen. Deshalb

passen wir die Elektronik an die jeweilige Anwendung an. So haben wir mit einem DC/DC-Wandler für sehr hohe Ströme bei niedrigen Eingangsspannungen das Tor zu einer neuen Produktfamilie aufgestoßen, die auch für Brennstoffzellen interessant ist. Ein anderes Beispiel ist unser Energiemanagementsystem, das unterschiedlichste Energieerzeuger, Lasten und Speicher effizient kombiniert. Es »lernt« aus dem Nutzerverhalten und ist auf die verschiedensten Anwendungen adaptierbar. Auch autonome Stromversorgungen mit saisonaler Speicherung und 10-Jahren wartungsfreiem Betrieb sind damit möglich.

Unser zweites Standbein neben der wissenschaftlichen Kompetenz ist die praktische Erfahrung aus 20 Jahren Zusammenarbeit mit Herstellern und Nutzern. Letztlich entscheidet nicht das Konzept sondern der Markterfolg. Mit umfassender Qualitätssicherung – im Institut, aber auch in nationalen und internationalen Gremien – sorgen wir für hochwertige Komponenten und Systeme.

Ansprechpartner

Leistungselektronik	Dr.-Ing. Bruno Burger	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-52 37 E-Mail: Bruno.Burger@ise.fhg.de
Komponentenentwicklung und Messgerätebau	Dr.-Ing. Heribert Schmidt	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-52 26 E-Mail: Heribert.Schmidt@ise.fhg.de



Kundenspezifische Leistungselektronik für Brennstoffzellensysteme

Werden portable Geräte wie Notebooks und Camcorder durch Mikrobrennstoffzellen statt durch einen herkömmlichen Akku mit Strom versorgt, kann dies Betriebsdauer und Nutzen erheblich vergrößern. Die Kopplung des Energiewandlers mit dem Verbraucher passen wir an die individuellen Erfordernisse an.

Jochen Benz, Bruno Burger, Jürgen Ketterer, Heribert Schmidt

Brennstoffzellen, ob im großen Maßstab oder im kleinen, sind aufgrund ihrer elektrischen Charakteristik nicht dazu geeignet, direkt herkömmliche Batterien oder andere Spannungsquellen zu ersetzen. Für einen sicheren und effizienten Betrieb muss eine Anpassung durch modernste Leistungselektronik und ausgefeilte Regelungsstrategien erfolgen. Die Brennstoffzelle wird dann kontrolliert gestartet, in ihrem optimalen Arbeitspunkt betrieben und vor Schäden durch Überlastung geschützt.

Da Spannungswandler mit diesen Eigenschaften nicht am Markt erhältlich sind, haben wir für verschiedene Kunden maßgeschneiderte DC/DC-Wandler entwickelt. Die Leistung bewegt sich dabei von wenigen Watt bis zu Kilowatt. Die Wirkungsgrade liegen durchweg weit über 90 %. Neben der Spannungswandlung haben wir insbesondere bei kleinen Leistungen weitere Funktionen integriert, die für ein Brennstoffzellensystem wichtig sind, z.B.:

- Steuerung für den kontrollierten Anlauf des Systems ohne externe Spannungsquelle
- Regelung des Wasserstoffdrucks
- Ansteuerung der Belüftung zur Kontrolle des Wasserhaushalts.

Die Integration in portable Anwendungen stellt besonders hohe Forderungen an Bauform und -größe. Wir konnten sie durch miniaturisierte Bauelemente und innovative Anordnung der Komponenten erfüllen.

Beispiel: Camcorder

Hier ersetzen wir den Standardakku durch eine kompakte Einheit aus Wasserstofftank und Brennstoffzelle. Ein miniaturisierter DC/DC-Wandler höchster Effizienz passt die Ausgangsspannung an die Erfordernisse des Verbrauchers an (Abbildung 1). Die Schaltung regelt außerdem den Druck des Gaszuflusses und kontrolliert den Start der Brennstoffzelle.

Beispiel: Personal Digital Assistant (PDA)

Als weitere Miniaturisierungsstufe von Notebooks gilt der PDA, bei dem Tastatur und Display vereinigt sind. Als Gerät für den mobilen Einsatz ist eine ausdauernde Stromversorgung essentiell. Dafür sind Brennstoffzellen hervorragend geeignet.

Für diese Anwendung haben wir einen Wandler mit großem Übersetzungsverhältnis und hohem Wirkungsgrad entwickelt (Abbildung 2). Dadurch konnten wir die Zellenzahl des Brennstoffzellen-Stacks und damit das Bauvolumen reduzieren.

Beispiel: Telekommunikation

Für die autonome Stromversorgung (Photovoltaik und Brennstoffzelle) einer Sendeanlage zum Aufbau von Telefonnetzen in ländlichen Gegenden haben wir einen DC/DC-Wandler entwickelt, der Brennstoffzelle und Batterie verbindet. Seine Besonderheit ist die integrierte Regelung, die die Brennstoffzelle vor Überlastung schützt. Eingangsseitig überwacht er Strom und Spannung des Brennstoffzellenstacks und regelt entsprechend der Vorgaben die entnehmbare Leis-

tung. Der Wandler erkennt eventuelle Abweichungen oder vorübergehende Einbrüche und berücksichtigt sie. Der Wirkungsgrad von über 95 % schont die Ressourcen.

Diese Entwicklung wurde im Projekt »FIRST« von der EU gefördert.

Eingangsleistung	300 W
Eingangsspannung	16 V – 25 V
Ausgangsspannung	40 V – 60 V (48 V Batterie)
Nennwirkungsgrad	95 %

Tab. 1: Technische Daten des Wandlers für Telekommunikationsanwendungen.



Abb. 1: DC/DC-Wandler für Brennstoffzellen-Camcorder mit 97 % Wirkungsgrad. Die Baugruppe schließt außerdem das Wasserstoffventil und eine Knopfzelle für die Startschaltung ein. Die Länge der Platine ist 50 mm.

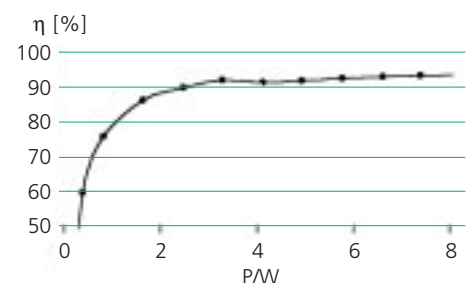


Abb. 2: Wirkungsgradverlauf eines DC/DC-Wandlers für Brennstoffzellen-PDA. Eingangsspannung 1 V–3 V, Ausgangsspannung 8 V, Leistung 8 W.



Leistungsfähige Elektronik für Hybridsysteme zur Versorgung von Telekommunikationseinrichtungen

Wir konzipieren und realisieren die Steuerung autonomer Stromversorgungssysteme basierend auf Photovoltaikgenerator, Brennstoffzelle mit optionalem Elektrolyseur und Wasserstoff-Jahresspeicher.

Jochen Benz, Bruno Burger,
Jürgen Ketterer, Michael Neutz,
Dirk Uwe Sauer, Heribert Schmidt

Zur Energieversorgung von Sendeanlagen bieten sich Hybridsysteme mit Photovoltaik und Zusatzstromerzeugern an, weil die Standorte oft abgelegen und schlecht zugänglich sind. So kann die kostspielige Verlegung von Stromleitungen entfallen bzw. aufwändiger Brennstofftransport reduziert werden. Der Zusatzstromerzeuger garantiert in einstrahlungsschwachen Perioden die Versorgungssicherheit, während die Photovoltaik den größten Teil des Energiebedarfs abdeckt. Völlige Autarkie kann mit einem zusätzlichen saisonalen Energiespeicher erreicht werden (Abbildung 1). Für Telekommunikationsanlagen ist die Versorgungssicherheit entscheidend. Moderne Elektronik und Software tragen wesentlich dazu bei, die Randbedingungen Wirtschaftlichkeit und Lebensdauer einzuhalten. Zentrale Steuereinheit der Anlage ist ein Mikrocontroller-gestütztes Energie-



Abb. 2: Realisierte Elektronik des Energiemanagementsystems zur Steuerung von Hybridsystemen.

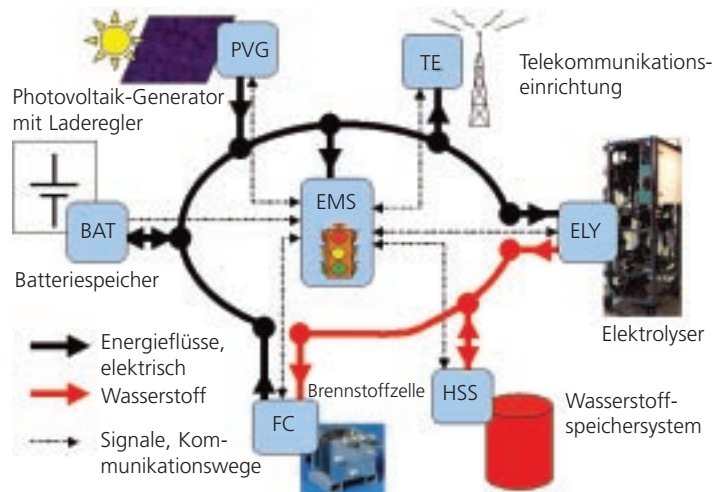


Abb. 1: Blockschaltbild des Hybridsystems für Telekommunikationseinrichtungen.

managementsystem (EMS), das alle Energieflüsse überwacht und regelt (Abbildung 2). In einem EU-geförderten Projekt erproben wir modulare Konzepte für den kommerziellen Einsatz. Dabei fließen neueste Erkenntnisse der Systemsimulation und Speicherforschung ein.

Ladezustandsbestimmung der Batterie

Eine zentrale Größe der Betriebsführung ist der Ladezustand der Batterie. Wir bestimmen ihn mit einem Algorithmus, der die Parameter des zugrundeliegenden Batteriemodells im laufenden Betrieb selbsttätig einstellt. Eine angepasste präzise Sensorik sorgt für aussagekräftige Ergebnisse.

Saisonaler Wasserstoffspeicher

Der Elektrolyseur braucht eine halbe Stunde Vorlaufzeit, bevor er überschüssige Leistung des Photovoltaik-Generators in Wasserstoff umwandeln kann. Das Energiemanagementsystem erkennt stabile Einstrahlungsperioden, in denen der Betrieb des Elektrolyseurs sinnvoll ist. Das EMS überwacht die Befüllung der Metallhydridspeicher und ermittelt die gespeicherte Gasmenge. In einstrahlungsschwachen Perioden des Winterhalbjahrs startet es die Brennstoffzelle, um die Stromversorgung aufrecht zu erhalten.

Sicherheit und Defekterkennung

Das EMS überprüft die Systemkomponenten kontinuierlich und meldet etwaige Schäden per Funk an eine Leitstelle weiter, bevor es zu einem Versorgungsengpass kommt. Die elektrische Ansteuerung von Gasventilen der Brennstoffzelle wurde derart konzipiert, dass Schäden an der Elektronik selbst erkannt werden können und damit ungewollter Gasaustritt auf jeden Fall verhindert wird.

Modulares Konzept

Beim Hardwareaufbau, der sich auch in der Betriebsführungs-Software widerspiegelt, haben wir möglichst autonome Einheiten gebildet. Sie sind über einen Energie-Bus gekoppelt und über eine Kommunikationsschnittstelle an die Zentrale angebunden. Optional ist eine Sicherheitsschleife vorgesehen. So lässt sich das entwickelte System einfach abwandeln und an andere Rahmenbedingungen anpassen. Ein auf diesem Konzept basierendes PV-Brennstoffzellen-System wurde im Juni 2001 in Madrid errichtet. Erfahrungen des Feldtests fließen in das System mit saisonalem Speicher ein, das im ersten Quartal 2002 in Betrieb geht.



Photovoltaik für Geräte und Kleinsysteme

Immer mehr Geräte und Kleinsysteme werden dezentral betrieben. Oft ist ein Netzanschluss nicht möglich oder zu teuer. Hier kann eine photovoltaische Stromversorgung helfen. Wir unterstützen speziell kleine und mittlere Unternehmen darin, das in der Photovoltaik liegende vielfältige Innovationspotenzial für neue Produkte zu nutzen.

Sergej Aingorn, Jochen Benz, Rudi Kaiser, Frank Kreuz, Norbert Pfanner, **Werner Roth**, Dirk Uwe Sauer, Heribert Schmidt, Andreas Steinhüser

Drei Beispiele zeigen die Bandbreite unserer Arbeiten.

Verkehrslenkungssystem

Vor allem entlang der Bundesautobahnen gibt es immer mehr Verkehrslenkungssysteme mit Prismenwender. Bei ihnen ist die Anzeige in drehbare, prismenförmige Elemente aufgeteilt. Die Systeme sind in der Regel an das 230 V-Netz angeschlossen. Zusammen mit der Firma via traffic controlling gmbh haben wir ein autarkes System mit drahtloser Datenübertragung und intelligenter Sensorik entwickelt. Es ist photovoltaisch versorgt und besteht aus einem 3-fach Prismenwender in Alu-Gehäuse, der drei Verkehrszeichen darstellen kann. Im Gehäuse befinden sich neben der Antriebsmechanik für die Prismen die Steuerplatine, ein GSM-Funkmodem und der Laderegler. Am Gehäuse ist eine GSM-Planarantenne befestigt. Ein Infrarot-Sensor zur Fahrbahntemperaturmessung, ein Windsensor oder ein Radardetektor zur Geschwindigkeitsmessung können das System ergänzen.

Der solar versorgte Prismenwender soll vorwiegend in Kommunen den Verkehr steuern (Abbildung 1). Die verschiedenen Verkehrszeichen können nach einem zeit-, fern- oder sensorgesteuerten Ablauf angezeigt werden.



Abb. 1: Photovoltaisch versorgter Prismenwender: Schnell installiert, wartungsarm und über das Mobilfunknetz einfach ansteuerbar (Foto: via traffic controlling gmbh).

Solarversorgte Außenleuchten

Neben Straßen- und Wegeleuchten müssen auch Akzentbeleuchtungen oft fern des öffentlichen Stromnetzes aufgestellt werden (Abbildung 2). Zur autarken Stromversorgung von Kugel- und Halbkugelleuchten haben wir zusammen mit der Firma Moonlight GmbH ein photovoltaisches Stromversorgungssystem entwickelt, aufgebaut und getestet.

Zur energieeffizienten und homogenen Beleuchtung der Kugeln haben wir verschiedene Beleuchtungstechnologien untersucht. Für Kugelleuchten bis 35 cm Durchmesser wurde eine Beleuchtung mit superhellen Leuchtdioden in Kombination mit Konstantstromquellen entwickelt. Größere Leuchten werden mit Kompakt-Leuchtstofflampen ausgestattet. Bei Leuchten mit

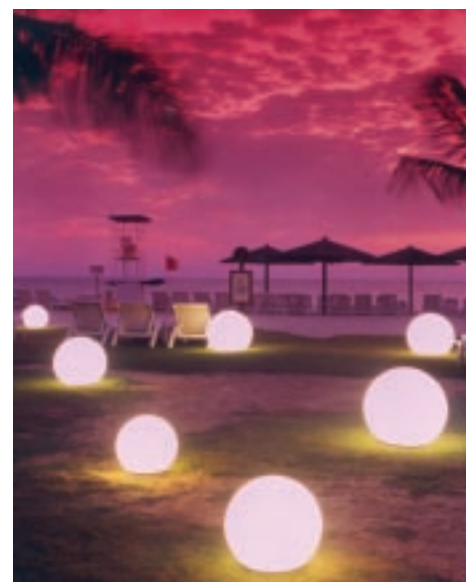


Abb. 2: Beleuchtung eines Strandabschnittes mit Kugelleuchten (Foto: Moonlight GmbH).



mehreren Lichtquellen sorgt eine ladezustandsabhängige Steuerung durch automatisches Zu- und Abschalten von einzelnen Lampen für eine optimale Betriebsführung.

Ein Haupteinsatzgebiet photovoltaisch versorgter Akzentleuchten liegt in südlichen Ländern mit hohen Umgebungstemperaturen. Für diese Anwendungen haben wir den Schaltschrank (Abbildung 3) mit einem Wärmetauscher zur Batteriekühlung ausgestattet. Die bei hoher solarer Einstrahlung anfallende Überschussenergie versorgt den Wärmetauscher. Dadurch können wir die Batterielebensdauer erheblich verlängern.

Wartungsfreie autonome Stromversorgung

Autonome Stromversorgungen versorgen z.B. Transponder, Sensoren sowie Telematiksysteme und ermöglichen so wartungsfreien und zuverlässigen Betrieb über lange Zeiträume.

Bei sehr kleinem Leistungsbedarf können Primärbatterien auch für mehrjährigen Betrieb eingesetzt werden.



Abb. 3: Schaltschrank zur Aufnahme von Energiespeicher und Steuerelektronik. Auf dem Dach ist der Wärmetauscher für die Batteriekühlung zu sehen. Er wird mit Überschuss-Strom versorgt.

Sobald aber der Verbrauch höher liegt und netzfreier Betrieb möglich sein soll, ist eine autonome Stromversorgung mit Photovoltaikgenerator die erste Wahl. Da Energieangebot und Energiebedarf in der Regel nicht zeitgleich sind, braucht man einen Akkumulator. Er sollte hohen Wirkungsgrad, hohe Zuverlässigkeit und lange Lebensdauer bieten.

Oft kann eine Speichertechnologie alleine diese Forderungen nicht erfüllen. Dies gilt besonders bei starken jahreszeitlichen Schwankungen der solaren Einstrahlung. Dann muss Energie im Sommer gespeichert und im Winter zur Verfügung gestellt werden können. Ferner muss die Energieversorgung sehr zuverlässig sein. So wird z.B. bei vollständiger Entladung der Akkumulatoren ein Warnsignal an die Zentrale abgesetzt und über eine Notreserve weiterhin ein zuverlässiger Betrieb sichergestellt.

Unser Konzept ist sehr flexibel und erlaubt den parallelen Betrieb unterschiedlicher Akkumulatortechnologien, Verbraucher und PV-Generatoren (Abbildung 4).

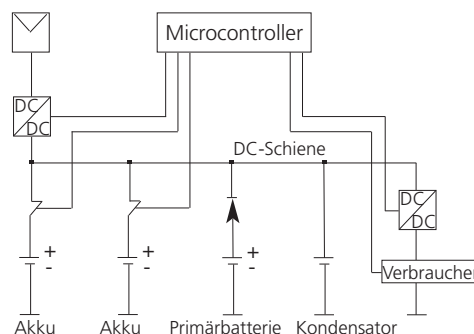


Abb. 4: Prinzipieller Aufbau eines Systems zur jahreszeitlichen Speicherung von Energie mit einem Lebensdauerziel von zehn Jahren.

Alle Komponenten sind an eine gemeinsame DC-Schiene angeschlossen, deren Spannung in einem weiten Bereich schwanken kann. Ein Kondensator stabilisiert die Spannung der DC-Schiene, so dass auch bei Schaltvorgängen die kontinuierliche Stromversorgung des Verbrauchers sichergestellt ist. Der Verbraucher wird über einen DC/DC-Wandler mit konstanter Spannung versorgt. An der DC-Schiene können nahezu beliebig viele Akkumulatoren angeschlossen werden. Eine Primärbatterie ist dabei über eine Diode auf die DC-Schiene aufgeschaltet und liefert nur dann Energie, wenn die Spannung auf der DC-Schiene unter die Spannung der Primärbatterie abgefallen ist. Das Gesamtkonzept sieht vor, dass dies nur geschehen kann, wenn alle wiederaufladbaren Akkumulatoren vollständig entladen sind. Die Primärbatterie hat in dem Konzept die niedrigste Spannungslage aller Energiespeicher. Sie sollte eine Lebenserwartung haben, die mindestens der Zeit zwischen zwei Wartungsintervallen entspricht und sie sollte eine minimale Selbstentladung aufweisen. Für das Gesamtsystem streben wir zehn Jahre wartungsfreien Betrieb an. Das Konzept ist zum Patent angemeldet. Das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie förderte die Arbeiten in seinem Programm »Photovoltaik für Geräte und Kleinsysteme«.



Leistungsvermessung eines Solarkraftwerks für
die RWE in Essen (Beitrag S. 92).



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

So umfassend wie das Know-how, so lückenlos ist auch das Serviceangebot, auf das unsere Kunden zurückgreifen können: Wir überwachen die Qualität schon bei der Lieferung der Module in unserem Flasherlabor. Die nächste Stufe ist die Abnahme im Feld. Danach lassen wir die Anlage nicht mehr aus den Augen: Fernüberwachung mit nächtlichem Datentransfer und differenzierten Alarmebenen, taggenaue Auswertung und Darstellung der Anlagendaten im Internet, Bewertung der Ergebnisse und Beratung. Auch für kleine Anlagen haben wir eine kostengünstige Lösung: Das satellitengestützte SAT-Watch-Angebot ermöglicht Ertragssicherheit für die eigene Anlage auch ohne zusätzliche Installations- und Betriebskosten.

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

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

Gemeinsam mit Industriepartnern arbeiten wir am intelligenten Stromnetz der Zukunft, das einen hohen Anteil erneuerbarer Energien ermöglicht. Viele sich ergänzende Erzeuger wie PV, Wind, Wasser und Biomasse werden zusammen mit Speicher- und Regelgliedern dafür sorgen, dass die Stromkunden gar nichts vom Übergang zur nachhaltigen Energiewirtschaft merken, weil der Netzkomfort so bleibt wie er ist.

Ansprechpartner

PV-Monitoring	Dipl.-Ing. Klaus Kiefer	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-52 18 E-Mail: Klaus.Kiefer@ise.fhg.de
Systemanalyse und -entwurf	Dr. Thomas Erge	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-53 37 E-Mail: Thomas.Erge@ise.fhg.de
Systemkomponenten	Dr. Bruno Burger	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-52 24 E-Mail: Bruno.Burger@ise.fhg.de
Photovoltaik an Gebäuden	Dipl.-Ing. Hermann Laukamp	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-52 75 E-Mail: Hermann.Laukamp@ise.fhg.de
	Dr. Karsten Voss	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-51 35 E-Mail: Karsten.Voss@ise.fhg.de
Energiespeicher in Stromnetzen	Dirk Uwe Sauer	Tel.: +49 (0) 7 61/45 88-52 19 E-Mail: Dirk-Uwe.Sauer@ise.fhg.de



Optimierung anspruchsvoller PV-Anwendungen am Gebäude – Beispiel: Neubau des Fraunhofer ISE

Beim Neubau unseres Institutsgebäudes wurden vier Photovoltaik-Anlagen mit zusammen rund 20 kWp Nennleistung eingeplant. Diese Anlagen sind konstruktiv, gestalterisch und energetisch in das Gebäude integriert. Generell können wir dank ausgeklügelter Schaltungstechnik und umfassender Produktkenntnisse auch ausgefallene Photovoltaik-Anwendungen in Gebäuden betriebsicher und hoch-effizient gestalten.

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



Abb. 1: In die Fassade der »Magistrale« ist ein 2,4 kWp PV Generator integriert.

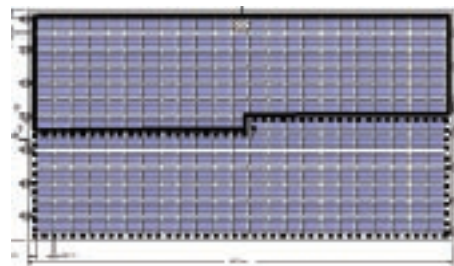


Abb. 2: Zeichnung eines »Magistralen-Moduls« mit zwei elektrisch getrennten Teilmodulen. Eine unsymmetrische Verschaltung erlaubt, trotz der ungeraden Anzahl von Zeilen und Spalten alle Zellen zu nutzen. Daten: 299 Zellen, 400 Wp, 2 x (87 V, 3 A). (Zeichnung: Flabeg Solar)



Abb. 3: Ein Blick die Shed-Dach-Konstruktion des Atriums, mit integrierter Photovoltaik.

Die bauliche Integration von Solarstromanlagen erfordert ein sorgfältiges Abwägen von Ansprüchen an Gestaltung und Ertrag der Anlagen. Zwei Teilanlagen des Fraunhofer ISE Neubaus zeigen exemplarisch, wie sich guter elektrischer Ertrag mit klaren gestalterischen und städtebaulichen Randbedingungen erreichen lässt.

Fassade der Magistrale

Die Architekten wählten große Module im Rastermaß des Gebäudes von ca. 2,5 x 1,8 m². Die Zahl der Zeilen und Spalten ist jeweils ungerade, um bestimmte Zellzwischenräume mit Durchsicht zu erhalten. Die Fassade wird teilweise beschattet. Diese Umstände und die Größe der Module führten dazu, dass der Modulbauer je eine Reihe und eine Spalte von Blindzellen vorschlug.

Wir erarbeiteten daraufhin eine unsymmetrische Verschaltung im Modul (Abbildung 2) und eine feine vertikale Aufteilung der Anlage in Stränge. Jedes Modul ist in zwei elektrisch getrennte Teilmodule unterteilt. Ein Strang umfasst drei Teilmodule, die in Reihe geschaltet werden. Insgesamt vier Stränge arbeiten auf zwei Wechselrichtern. Diese Lösung ermöglicht ein gleichmäßiges Erscheinungsbild und 12 % mehr elektrischen Ertrag als die Lösung mit Blindzellen.

Shed-Dach über dem Atrium

Bei sehr niedrigen Einfallswinkeln beschatten die vorderen Sheds die hinteren (Abbildung 4). Wir haben deshalb alle Module in drei elektrisch getrennte

* Architekturbüro Dissing+Weitling, Kopenhagen



Teilmodule (Abbildung 5) geteilt und diese jeweils horizontal zu Strängen verschaltet. Damit sind nur Teilmodule mit gleichen Bestrahlungsbedingungen in Reihe geschaltet und die »Mismatch«-Verluste minimiert. Der Ertrag ist rund 8 % höher als bei konventioneller Verschaltung.

Energiekonzept

Insgesamt sind rund 20 kWp Photovoltaik am Neubau des Fraunhofer ISE installiert. Das deckt bei einer Jahreserzeugung von 15 MWh in etwa den Strombedarf für die elektrische Beleuchtung der Büros (Abbildung 6).

Die PV-Anlagen unseres neuen Gebäudes werden als »Case Study« des IEA Projektes PVPS Task 7 »PV in the Built Environment« (www.task7.org) publiziert. Unsere Mitarbeit an »Task7« wird vom BMWi gefördert. Die Anlagen werden von der Europäischen Union im Rahmen des »Thermie«-Programms gefördert.

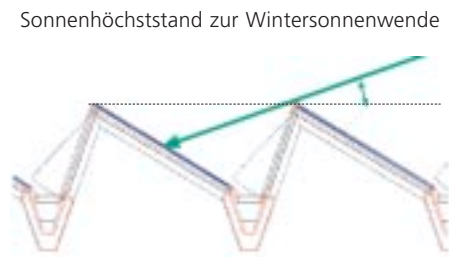


Abb. 4: Die vorderen Sheds beschatten die hinteren.

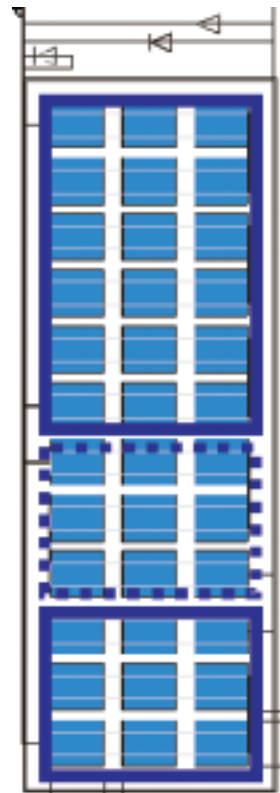


Abb. 5: Die Shed-Dach-Spezialmodule sind in drei elektrisch getrennte Teilmodule unterteilt, die dann horizontal verschaltet werden. (Zeichnung: St. Gobain Glass Solar)

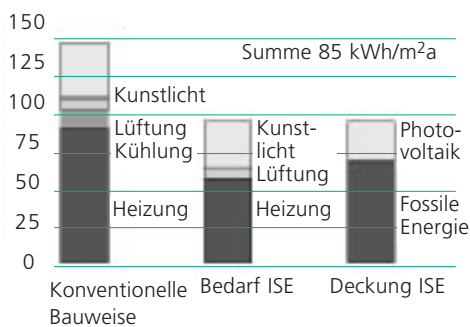


Abb. 6: Primärenergiebedarf und Energieversorgung des Bürobereichs im neuen Gebäudes (Mitte und rechts) im Verhältnis zum Energiebedarf eines konventionell geplanten Bürogebäudes (links). Einheiten: Primärenergieäquivalente



Abb. 7: Der Fraunhofer ISE Neubau von Südosten gesehen.



Monitoring – ein übergreifendes Dienstleistungsangebot

Messen, Bewerten und Kommunizieren sind die Stärken unseres Dienstleistungsangebotes MONITORING von Photovoltaik-Anlagen. Wir konzipieren, installieren und betreiben komplette Mess-Systeme aller Größenordnungen. Mit langjähriger Erfahrung analysieren und interpretieren wir die Ergebnisse. Auch die transparente, zeitnahe Darstellung der Ergebnisse durch entsprechende Publikationen oder über das Internet gehört zu unserem Leistungsumfang.

Alfons Armbruster*, Thomas Erge, Volker U. Hoffmann, Frank Neuberger, Wolfgang Heydenreich**, Klaus Kiefer, Christian Reise, Eberhard Rössler**

Wissenschaftliche Begleitung von Programmen zur Markteinführung

Mittlerweile haben wir etwa 3000 Anlagen eingehend untersucht. Die Referenzen für unser Monitoring sind in Tabelle 1 zusammengestellt.

Vorhaben	Auftraggeber
1000-Dächer	BMBF
Sonne i. d. Schule	BMWi
SonneOnline	E.ON Energie AG
600 Kirchendächer	Deutsche Bundesstiftung Umwelt DBU
Umwelttarif	RWE Power AG
Regiostrom	Badenova AG
Euralp	Deutscher Alpenverein DAV
100 Passivhäuser	Energie Baden Württemberg EnBW

Tab. 1: Beispiele von Monitoring-Vorhaben, die wir durchführen bzw. durchgeführt haben.

* PSE GmbH Forschung Entwicklung Marketing, Freiburg
 ** freie Mitarbeiter

Wie stark die Streuung der Erträge von PV-Anlagen zum Beispiel im Jahr 1999 innerhalb von Deutschland sein kann, zeigt Abbildung 1. Hier sind die Jahreserträge der Anlagen aus verschiedenen Vorhaben in Ertragsbereiche eingeteilt. Obwohl 1999 ein Jahr mit hoher Einstrahlung war, hat die Hälfte der Anlagen aus dem 1000-Dächer-Programm weniger als 700 kWh/kWp erzeugt. Das bedeutet einen sehr starken Minderertrag gegenüber den zu erwartenden 800 kWh/kWp.

Bei den Anlagen im »Umwelttarif« und bei »SONNEonline« liegen nur wenige Anlagen unter 700 kWh/kWp. Hier haben wir im Vorfeld entsprechende Maßnahmen zur Qualitätssicherung durchgeführt. Im einzelnen sind dies:

- Sorgfältige Auswahl der Standorte zur Vermeidung von Teilverschattung des Solargenerators
- Stichprobenvermessung von Einzelmodulen im Kalibrierlabor des Fraunhofer ISE
- Anlagenabnahme mit Prüfung der Generatorleistung
- Laufende Betriebsdatenerfassung

In Abbildung 2 sind beispielhaft gemessene Kennlinien eines Solargenerators aus der Praxis dargestellt. Die blaue Kennlinie zeigt einen Strang mit defekten Modulen.

Auch die Initiative »Kirchengemeinden für Sonnenenergie« der Bundesstiftung Umwelt zeigt, wie wichtig die Qualitätssicherung im derzeitigen

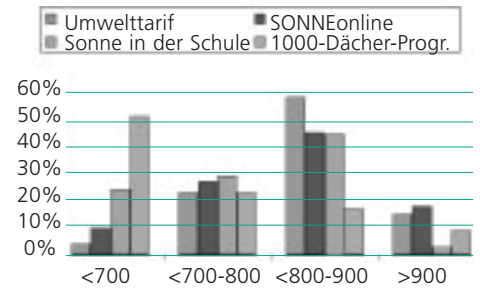


Abb. 1: Spezifische Jahreserträge einzelner PV-Vorhaben für das Jahr 1999. Die Anlagen erträge sind in kWh pro kWp installierter PV-Generator-Nennleistung angegeben.

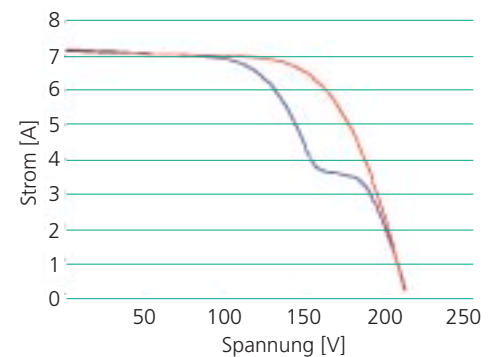


Abb. 2: Beispiel für die strangweise Kennlinienmessung des Generators. Die rote Kennlinie zeigt den zu erwartenden Verlauf, die blaue einen Strang mit defekten Modulen.



Abb. 3: Die Anlage der Katholischen Studentengemeinde in Berlin liegt mit einem spezifischen Jahresertrag von 680 kWh/kWp erheblich unter dem Durchschnittswert.



Stadium der Marktein-führung von netzgekoppelten PV Anlagen ist. Durch monatliche Erfassung der Ertragsdaten machen wir Anlagen mit Minderertrag ausfindig und prüfen die Ursachen. So ist zum Beispiel bei einer Anlage in Berlin (Abbildung 3) Teilverschattung die Hauptursache für einen Jahresertrag, der mehr als 10 % unter den Erwartungen liegt.

Qualitätssicherung für Anlagenerrichter und Hersteller

Bei der derzeitigen Einspeisevergütung von 0,99 DM pro kWh PV Strom lohnen sich für den Anlagenbetreiber gute Anlagenplanung und -qualität auch finanziell. Immer mehr Industriekunden nutzen das Dienstleistungsangebot des Fraunhofer ISE. Hier einige ausgewählte Beispiele:

SAT Watch für Shell Siemens

Im Auftrag von Shell Solar führt das Fraunhofer ISE die satellitengestützte Ertragsüberwachung für alle neu installierten Shell-Solarstromanlagen durch. Nach der Installation übermittelt Shell Solar einmalig die technischen Daten und den Standort der Anlage sowie die Ausrichtung und den Neigungswinkel der Solarmodule an das Fraunhofer ISE. Die monatlichen Einstrahlungswerte für jeden beliebigen Standort erhalten wir durch Auswertung der Bilddaten des Satelliten METEOSAT. Mit diesen beiden Informationen errechnen wir mit unseren Programmen die Monatserträge. Die Werte werden den Anlagenbetreibern per SMS, e-mail, Fax oder Postkarte monatlich übermittelt. So können die Betreiber ganz

einfach feststellen, ob ihre Anlage den zu erwartenden Ertrag bringt. Bei Abweichungen wendet sich der Kunde an seine zuständige Fachfirma.

Ertragsdaten von Anlagen der RWE Solar im Internet

Die RWE Solar möchte die Messergebnisse aus Photovoltaik-Anlagen mit verschiedenen ASE-Modultechnologien für ihre Endkunden und Vertragspartner transparent machen. Dafür haben wir gemeinsam mit dem Auftraggeber ein Konzept entwickelt, damit Kunden sich tagesaktuell über die Leistungsfähigkeit der ASE-Produkte informieren können. In Abbildung 5 sind beispielhaft ein Monatsverlauf des täglichen Energieertrags in kWh/kWp und die tägliche Einstrahlungssumme für den August 2001 zu sehen: www.solarmonitoring.de/tessag

Karlsruher Sonnendach der Stadtwerke Karlsruhe

Das »Karlsruher Sonnendach« ist eine Initiative von Karlsruher Bürgern und den Stadtwerken Karlsruhe. Schon im Vorfeld haben wir die Stadtwerke bei Anlagenplanung, Ausschreibung und Vergabe der Installationsarbeiten beraten. Nach der Inbetriebnahme haben wir eine technische Abnahme durchgeführt. Damit das »Karlsruher Sonnendach« möglichst viel Solarstrom erzeugt, überwachen wir auch den laufenden Betrieb mit einer automatisierten Datenübertragung über das Telefonnetz. In 2000 erreichte die Anlage einen Ertrag von 985 kWh pro kWp und übertraf damit die Prognosen um 10 Prozent.

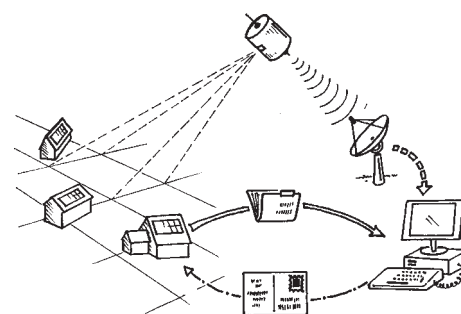


Abb. 4: Funktionsprinzip von SAT Watch.

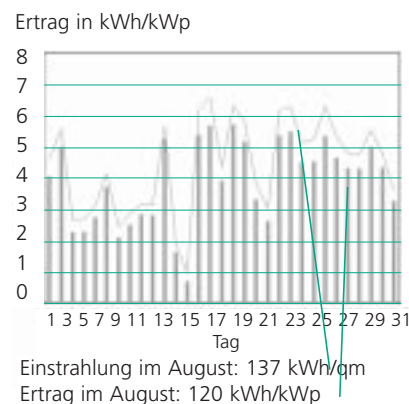


Abb. 5: Monatskurve im August 2001 für die Anlage der RWE in Alfhausen. Die Kurve zeigt die täglichen Schwankungen bei der solaren Einstrahlung. Die Balken stellen die täglichen Ertragswerte dar.




Abb. 6: Karlsruher Sonnendach mit einer Nennleistung von 50 kWp.




Gastwissenschaftler



Mitarbeit in Gremien



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



Vorlesungen und Seminare



Messebeteiligungen




Patente



Promotionen



Pressearbeit



Unternehmensgründungen 2001



Vorträge



Veröffentlichungen

Gastwissenschaftler

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

Hiroshi Hashigami
Tokyo University of Agriculture and Technology
Tokyo, Japan
1.1.2001-31.3.2001
Arbeitsgebiet: Solarzellencharakterisierung

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

Mario Motta
Politecnico di Milano
Mailand, Italien
1.1.2001-31.12.2001
Arbeitsgebiet: Thermische Anlagen und Komponenten

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

Prof. Valeri Rumyantsev
A. S. Joffe Physico-Technical Institute
St. Petersburg, Russland
16.6.2001-15.8.2001
Arbeitsgebiet: III-V Konzentratormodul-Entwicklung

Dr. Nicolay Sadchikov
A. S. Joffe Physico-Technical Institute
St. Petersburg, Russland
16.6.2001-14.9.2001
Arbeitsgebiet: III-V Konzentratormodul-Entwicklung

Mitarbeit in Gremien

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

Deutsche Elektrotechnische Kommission DKE
- Komitee 221: Elektrische Anlagen von Gebäuden
- Komitee 373: Photovoltaische Solarenergiesysteme
- Komitee 384: Brennstoffzellen

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

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

Deutsche Gesellschaft für Psychologie
- Fachausschuss Umweltpsychologie

Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie DGS
- Vorstand der Sektion Südbaden

Deutsche Elektrotechnische Kommission DKE
- Komitee 384: Brennstoffzellen

Deutsche Physikalische Gesellschaft
- Arbeitskreis Energie

Deutscher Wasserstoff-Verein

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

European Fuel Cell Group

European Renewable Energy Centres EUREC Agency
- President

Fachinstitut Gebäude-Klima FGK
- Arbeitskreis Sorptionsgestützte Klimatisierung

Fachverband Transparente Wärmedämmung
- Fachausschuss »Produktkennwerte«

Forschungsallianz »Brennstoffzellen«, Baden-Württemberg

Forschungsverbund Sonnenenergie FVS
- DirektoriumHahn-Meitner-Institut HMI
- Wissenschaftlicher Beirat

Institut für Solare Energieversorgungstechnik ISET
- Wissenschaftlicher Beirat

International Solar Energy Society ISES
- Board of Directors

International Solar Energy Society Europe ISES-Europe
- Governing Board

Nationales Symposium Photovoltaische Solarenergie
- Wissenschaftlicher Beirat

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

Verein Deutscher Elektrotechniker
- ETG-Fachausschuss »Brennstoffzellen«

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

Verein Deutscher Ingenieure VDI-Gesellschaft Energietechnik
- Fachausschuss »Brennstoffzellen«

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

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, Stuttgart
- Kuratorium

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

OTTI Energie-Kolleg Regensburg
7. Symposium Innovative Lichttechnik
Staffelstein, Kloster Banz, 25./26.1.2001

OTTI Energie-Kolleg Regensburg
16. Symposium Photovoltaische Solarenergie
Staffelstein, Kloster Banz, 14.-16.3.2001

OTTI Energie-Kolleg Regensburg
11. Symposium Thermische Solarenergie
Staffelstein, Kloster Banz, 9.-11.5.2001

Solarbau 2001
Symposium Neubau Deutsches Technikmuseum
Berlin, 24./25.6.2001

Intersolar Freiburg
Technologie Seminar
Freiburg, 6.-8.7.2001

OTTI Energie-Kolleg Regensburg
Fachseminar Netzgekoppelte Photovoltaik-
Anlagen
Freiburg, 27./28.6.2001

Forschungsverbund Sonnenenergie
Jahrestagung
Potsdam, 20./21.9.2001

OTTI Energie-Kolleg Regensburg
Fachseminar Photovoltaisch versorgte Geräte
und Kleinsysteme
Freiburg, 25./26.9.2001

8th International Workshop on Space Solar Cell
Calibration and Measurement Techniques
Freiburg, 17.-19.10.2001

17th European Photovoltaic Solar Energy
Conference
München, 22.-26.10.2001

Vorlesungen und Seminare

Dr. Bruno Burger
Leistungselektronische Systeme für regenerative
Energiequellen
Vorlesung WS 01/02
Universität Karlsruhe

Prof. Joachim Luther
Photovoltaische Energiewandlung
Vorlesung SS 01
Aktuelle Fragen der Sonnenenergiekonversion
Seminar SS 01
Thermische Solarenergiewandlung
Vorlesung WS 01/02
Aktuelle Fragen der Sonnenenergiekonversion
Seminar WS 01/02
Universität Freiburg, Fakultät für Physik

Prof. Roland Schindler
Photovoltaik Teil I und II,
Vorlesung WS 00/01, SS 01
FernUniversität Hagen

Dr. Heribert Schmidt
Photovoltaik Systemtechnik
Vorlesung SS 01
Universität Karlsruhe

Priv. Doz. Dr. Gerhard Willeke
Halbleiter für Bauelemente und alternative
Energien
Seminar SS 01
Universität Konstanz, Fachbereich Physik

Priv. Doz. Dr. Volker Wittwer
Innovative Energiesysteme
Vorlesung SS 01
Innovative Energiesysteme
Seminar WS 01/02
Universität Freiburg, Fakultät für angewandte
Wissenschaften, Bereich Mikrosystemtechnik

Messebeteiligungen

5. Passivhaus Tagung und Ausstellung für
energieeffizientes Bauen im CongressCentrum
Böblingen, 16.-18.2.2001

Industrierausstellung im Rahmen des 16.
Symposiums Photovoltaische Solarenergie
Staffelstein, Kloster Banz, 14.-16.3.2001

European Coatings Show
Gemeinschaftsstand der Projekte »WISA« und
»Innofass«
Nürnberg, 2.-4.4.2001

Hannover Messe Industrie, HMI
- Verbundprojekt »Nanofab« auf
VDI-Gemeinschaftsstand »Nanoworld«
- Mikroenergietechnik auf Gemeinschaftsstand
»Hydrogen and Fuel Cells«
Hannover, 23.-28.4.2001

Intersolar 2001
Freiburg, 6.-8.7.2001

17th European Photovoltaic Solar Energy
Conference and Exhibition
München, 22.-26.10.2001

Patente

Eingereichte Patente

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

Axel Heitzler, Dr. Christopher Hebling, Andreas Schmitz
»Brennstoffzellensystem und Verfahren zur Druckregulation in Brennstoffzellensystemen«

Prof. Adolf Goetzberger, Dr. Manuel Goller, Michael Müller
»Optisches Element nach Art einer linearen Fresnel Linse sowie Verwendung des optischen Elements als Blendschutz«

Dr. Andreas Hinsch, Dr. Andreas Georg, Michael Niggemann
»Verfahren zur Herstellung von polymeren Solarzellen auf porösen Substratfolien«

Dr. Peter Nitz, Dr. Andreas Gombert, Dr. Benedikt Bläsi, Christopher Bühler
»Isolierverglasung mit integriertem Sonnenschutz- und Lichtlenksystem mit Teildurchsicht (auf der Basis von prismatisch strukturierten Oberflächen) sowie Verfahren zur Herstellung eines solchen Systems«

Erteilte Patente

Dr. Harry Wirth
»Thermo-Lichtschalter (TLS)«

Dr. Andreas Gombert, Jörg Jungjohann
»Lichtumlenkelement«

Dr. Andreas Georg, Wolfgang Graf, Prof. Konstantin Ledjeff-Hey, Dr. Volker Wittwer
»Katalytisches, transparentes Hezelement«

Marcel Lorenz, Dr. Armin Zastrow
»Photoleitende Triode«

Prof. Angelika Heinzel, Dr. Roland Nolte, Mario Zedda
»Brennstoffzelle für hohe Ausgangsspannungen«

Dr. Hans-Martin Henning, Michael Hermann, Carsten Hindenburg, Peter Schossig
»Aktives Thermisches Bauelement mit Phasenwechselmaterial«

Dr. Harry Wirth, Dr. Volker Wittwer
»Nachgeführter transluzenter Sonnenschutz mit Konzentratorkfunktion«

Promotionen

Carsten Agert
»MOVPE of GaSb-based Materials and Solar Cell Structures«
Dissertation Phillips-Universität Marburg, Marburg, 2001

Simone Baumgärtner
»Herstellung und Charakterisierung hochporöser Titandioxid-Schichten. Einfluss ihrer Struktur auf optische und elektrische Eigenschaften von Farbstoffsolarzellen.«
Dissertation Albert-Ludwigs-Universität Freiburg Freiburg, 2001

Rolf Beckert
»Charakterisierung von Infrarot-empfindlichen Photovoltaikzellen«
Dissertation Albert-Ludwigs-Universität Freiburg Freiburg, 2001

Andreas Bühring
»Theoretische und experimentelle Untersuchungen zum Einsatz von Lüftungs-Kompaktgeräten mit integrierter Kompressionswärmepumpe«
Dissertation Technische Universität Hamburg-Harburg Hamburg-Harburg, 2001

Rainer Kern
»Untersuchungen zur Langzeitstabilität von Farbstoffsolarzellen mittels optischer und elektrischer Impedanzspektroskopie«
Dissertation Albert-Ludwigs-Universität Freiburg Freiburg, 2001

Christian Peter
»Physikalische Charakterisierung optisch schaltender Fenster auf der Basis photoelektrochemischer elektrochromer Systeme«
Dissertation Albert-Ludwigs-Universität Freiburg Freiburg, 2001

Christoph F. Reinhart
»Daylight Availability and Manual Lighting Control in Office Buildings – Simulation Studies and Analysis of Measurements«
Dissertation Universität Karlsruhe Karlsruhe, 2001

Steffen Schattner
»Die elektromagnetische Verträglichkeit und der Blitzschutz von Photovoltaik-Anlagen«
Dissertation Universität Karlsruhe Karlsruhe, 2001

Matthias Zenker
»Thermophotovoltaische Konversion von Verbrennungswärme«
Dissertation Albert-Ludwigs-Universität Freiburg Freiburg, 2001

Walter Zimmermann

»Kristalline Silicium-Dünnschichtsolarzellen auf SSP Substraten«
Dissertation Albert-Ludwigs-Universität Freiburg Freiburg, 2001

Pressearbeit

Presseinformationen

<http://www.ise.fhg.de/german/press/index.html>

1.2.2001

Prof. Joachim Luther in den »Wissenschaftlichen Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen WBGU« berufen

14.3.2001

Der Einstieg in den Milliardenmarkt: Fraunhofer ISE koordiniert den »Club zur ländlichen Elektrifizierung«

23.3.2001

Solaroptimiertes Bauen für Büro- und Gewerbebauten

9.4.2001

Camcorder tankt Wasserstoff

14.5.2001

Leichtbauwände mit massivem Komfort
Neuer Baustoff mit mikroverkapselten
Phasenwechsellmaterialien

11.6.2001

Symposium zu Solaroptimiertem Bauen für Büro- und Gewerbebauten
(24./25. Juni 2001 in Berlin)

17.6.2001

Sonnenfinsternis auf Knopfdruck – Gaschrome Fenster als moderner Sonnenschutz

21.6.2001

Solare Klimatisierung – Solarenergie sorgt für Wärme, Kälte und kontrollierte Luftfeuchte

30.7.2001

Solarenergie schützt Bergwelt
Photovoltaik-Hybridssysteme zur
Energieversorgung von Alpenhütten

17.9.2001

Fortschritt bei Solarzellen – Neue Verfahren des Fraunhofer ISE

15.10.2001

Infrastrukturmodelle zur ländlichen Elektrifizierung jetzt im Internet – Ergebnisse der Vergleichsstudie RESuM erleichtern Markteintritt

23.11.2001

Ein Haus für die Sonne: Fraunhofer ISE weiht neues Institutsgebäude ein

Unternehmensgründungen 2001

Holotools GmbH

12.09.2001

Wiesentalstr. 29, 79100 Freiburg

Vorträge

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

Agert, C.
»Alternative Aluminiumquellen für die MOVPE von (AlGa)(AsSb) im Multiwafer Planetenreaktor«, DGKK-Tagung, Bad Dürkheim, 11.12.2000

Agert, C.
»MOVPE von GaSb-basierenden III/V-Halbleitern«, Ferdinand-Braun-Institut, Berlin, 15.12.2000

Agert, C.
»MOVPE von GaSb-basierenden III/V-Halbleitern im Planetenreaktor«, Hahn-Meitner-Institut, Berlin, 25.1.2001

Agert, C.
»MOVPE antimonhaltiger Verbindungshalbleiter«, Hahn-Meitner-Institut, Berlin, 26.1.2001

Agert, C.
»MOVPE of Antimonides at Fraunhofer ISE«, TU Berlin, Berlin, 29.1.2001

Agert, C.; Bett, A.W.; Hinkov, V.;
»Growth of (AlGa)(AsSb) in a Multiwafer Planetary MOVPE Reactor«, 9th European Workshop on MOVPE (EW-MOVPE IX), Wrexham, North Wales/ United Kingdom, 10.-13.6.2001, Poster

Ballif, C.; Peters, S.; Borchert, D.; Schultz, O.; Biro, D.; Willeke, G.
»Lifetime Measurements of Various Silicon Structures«, Photovoltaic Devices: High Efficiency Solar Cells, Tomar, Portugal, 8.-13.9.2001, Poster

Bett, A.W.
»III-V-Konzentratorsolarzellen-Herstellung und Anwendung«, Hahn-Meitner-Institut, Berlin, 13.12.2000

Bett, A.W.; Sulima, O.V.¹
»State of the Art of TPV, Market and Perspective«, 4th International Conference Mid Infrared Optoelectronics Materials and Devices MIO MD, Montpellier, France, 1.-4.4.2001
(¹: Astropower Inc., Newark, DE, USA)

Bett A.W.
»Multi-Band-Gap Solar Cells and Their Applications«, Workshop The Path to Ultra High Efficient Solar Cells, Ispra, Italy, 15.-16.11.2001

Bläsi, B.
»Mikrostrukturierte funktionale Oberflächen – holographische Herstellung, Replikationsverfahren und Anwendungen«, Seminar zur Oberflächentechnik, Universität Bonn, Bonn, 30.11.2001

Bopp, G.; Schattner, S.
»Einfluss der Anlagenkomponenten auf die EMV«, Fachseminar EMV und Blitzschutz in Photovoltaik-Anlagen, OTTI-Technologie-Kolleg, Freiburg, 15.-16.2.2001

Bopp, G.
»Gefährdungspotential des Blitzes«, Fachseminar EMV und Blitzschutz in Photovoltaik-Anlagen, OTTI-Technologie-Kolleg, Freiburg, 15.-16.2.2001

Bopp, G.
»Netzverhalten, Wartungsaufwand und Kosten von PV-Hybrid-systemen«, Internationales Fachseminar der DBU, Benediktbeuern, 2.-3.3.2001

Bopp, G.; Dohlen, K. von
»Normkonforme Einbindung von PV-Anlagen in Gebäude mit und ohne äußeren Blitzschutz«, Fachseminar Blitzschutz für Solarthermie und Photovoltaik, Cölbe, 22.11.2001

Bopp, G.
»Gefährdungspotential des Blitzes« Fachseminar Blitzschutz für Solarthermie und Photovoltaik, Cölbe, 22.11.2001

Bühning, A.; Bundy, S.; Dittmar, C.; Greuel, B.; Guter, W.; Schmid, T.; Seigel, B.
»Entwicklung von Lüftungs-Kompaktgeräten für Passivhäuser«, 5. Passivhaus Tagung, Böblingen, 16.-18.2.2001, Poster

Bühning, A.
»Lüftungs-Kompaktgeräte: Erfahrungen und Messergebnisse bei Passivhäusern«, Sonderschau Wohnungs Lüftung des Fachinstituts Gebäude-Klima auf der ISH, Frankfurt a/M, 28.3.2001

Bühning, A.
»Lüftungs-Kompaktgeräte für Solar-Passivhäuser«, Wochner Passivhauskongress, Balingen, 12.7.2001

Bühning, A.
»Lüftungs-Kompaktgeräte für Solar-Passivhäuser: Vom Konzeptentwurf über Anlagensimulation und Teststandmessungen bis zu Feldversuch und Markteinführung«, Graduierten Kolleg Energiebereitstellung aus regenerativen Energiequellen der DFG, Chemnitz, 28.8.2001

Bühning, A.
»Das Solar-Passivhaus: Hoher Komfort bei niedrigen Betriebskosten«, VDI Mittelrhein-Koblenz, Koblenz, 25.9.2001

Bühning, A.; Schmitz, G.¹
»Theoretische und experimentelle Untersuchungen zum Einsatz von Lüftungs-Kompaktgeräten mit integrierter Kompressionswärmepumpe«, Thermodynamik Kolloquium, Würzburg, 8.-9.10.2001
(¹: TU Hamburg Harburg, Hamburg)

Dimroth, F.; Chapman, D.C.¹; Shurtleff, J.K.¹; Stringfellow, G.B.¹
»Surfactant Effects on the Growth of GaAs:N and B:GaAs«, Proceedings 9th European Workshop on MOVPE (EW-MOVPE IX), Wrexham, North Wales/ United Kingdom, 10.-13.6.2001, Poster
(¹: University of Utah, Salt Lake City, U.S.A.)

Georg, A.; Hauch, A.¹; Opara Krasovec, U.²; Orel, B.²
»New Photoelectrochromic Device«, UPS 01, Unconventional Photoactive Systems, Les Diablerets, Switzerland, 4.-8.9.2001, Poster
(¹: Freiburger Materialforschungszentrum FMF, Freiburg)
(²: National Institute of Chemistry, Ljubljana, Slovenia)

Gladkov, P.S.¹; Sulima, O.V.²; Bett, A.W.
»Surface Preparation Dependent Photoluminescence Properties of Bulk GaSb Substrates«, 4th International Conference Mid Infrared Optoelectronics Materials and Devices MIO MD, Montpellier, France, 1.-4.4.2001, Poster
(¹: Academy of Sciences of Czech Republic, Prague, Czech Republic)
(²: AstroPower Inc., Newark, DE, USA)

Gombert, A.
»Selbstreinigende Oberflächen durch Mikrostrukturierung mit Blick auf Anwendungen der Holz- und Möbelindustrie«, Interzum 2001, Köln 19.5.2001

Gombert, A.
»Mikrostrukturierte Oberflächen mit optischen Funktionen«, Süddeutsches Kunststoffzentrum, Würzburg, 30.-31.5.2001

Hebling, Chr.
»Mikrobrennstoffzelle als Alternative zur Batterie«, Bewag-Workshop Brennstoffzelle, Berlin, 21.3.2001

Hebling, Chr.
»Solar Cells and Fuel Cells as Power Sources for Portable Electronic Devices«, Batteries'2001, Paris, France, 17.-19.4.2001

Hebling, Chr.; Heinzel, A.; Groos, U.
»Technology and Markets of Portable Fuel Cells«, 7th Grove Fuel Cell Symposium, London, United Kingdom, 11.-13.9.2001

Hebling, Chr.
»Solar Cells and Fuel Cells as Power Sources for Portable Electronic Devices«, Power 2001, Anaheim, CA, USA, 30.9.-3.10.2001

Hebling, Chr.
»Fuel Cells for the Low Power Range – Technology and Markets«, Monthly Materials Colloquium, Eindhoven, the Netherlands, 7.11.2001

Hebling, Chr.
»Fuel Cells for Portable and Stationary Power Generation«, Environmental Forum Seeking Quality Life through Sustainable Development, Freiburg, 5.-6.12.2001

Hebling, Chr.
»Solar Energy and Fuel Cells«, Environmental Forum Seeking Quality Life through Sustainable Development, Freiburg, 5.-6.12.2001

Henning, H.-M.
»Kühlung mit offenen und geschlossenen Adsorptionsverfahren und Einbindung von Solarenergie zum Antrieb der Prozesse«, Workshop Innovative Technologien zur Kälteerzeugung und Klimatisierung, Ulm, 18.7.2001

- Henning, H.-M.
»Solare Klimatisierung. Solare Wärme – aktuelle Technologien, wachsende Märkte, neue Förderinstrumente«, Haus der Wirtschaft, Stuttgart, 26.7.2001
- Henning, H.-M.; Schossig, P.
»Encapsulated Phase-Change-Materials Integrated in Construction Materials«, ZAE-Symposium Heat und Cold Storage, Garching, 4.-5.10.2001
- Henning, H.-M.; Scheuble, K.
»Modellierung und messtechnische Bewertung einer Adsorptionskältemaschine in einer solarthermisch unterstützten Kälteanlage«, NEW-Forum, Fachhochschule Offenburg, Offenburg, 15.11.2001, Poster
- Hindenburg, C.
»Solare sorptionsgestützte Klimatisierung – ein aussichtsreicher neuer Markt für die Solarthermie?!«, Fraunhofer ISE Technologie-Seminar, Intersolar, Freiburg, 6.-8.7.2001
- Hoffmann, V.U.
»Stand und Zwischenergebnisse des 100.000-Dächer-Solarstrom-Programms«, 4. Solartag Sachsen, Dresden, 7.-8.4.2001
- Hoffmann, V.U.
»Stand und Perspektiven der Photovoltaik«, 4. Solartag Sachsen, Dresden, 7.-8.4.2001
- Hoffmann, V.U.
»Stand und Ergebnisse des Vorhabens Sonne in der Schule«, 4. Solartag Sachsen, Dresden, 7.-8.4.2001
- Hoffmann, V.U.
»Einträgliche Anlagenerträge«, Tagung zur Förderinitiative Kirchengemeinden für die Sonnenenergie, Hoisbüttel bei Hamburg, 28.-29.6.2001
- Hoffmann, V.U.
»Einträgliche Anlagenerträge«, Tagung zur Förderinitiative Kirchengemeinden für die Sonnenenergie der DBU, Ostritz, 11.-12.9.2001
- Hoffmann, V.U.
»Photovoltaik und ihre technologischen Entwicklungstendenzen«, Symposium Viktor Kaplan und die Zukunft, Müzzuschlag, Austria, 3.-6.10.2001
- Hoffmann, V.U.
»Einträgliche Anlagenerträge«, Tagung zur Förderinitiative Kirchengemeinden für die Sonnenenergie der DBU, Münster, 16.-17.10.2001
- Huljic, D.M.; Castillo, C.C.; Willeke, G.
»Bestimmung des Übergangswiderstandes zwischen siebgedruckten Dickfilmkontakten und n-dotierten Siliciumschichten«, AKF-Frühjahrstagung der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, Hamburg, 26.-30.3.2001
- Huljic, D.M.; Hirth, E.; Lüdemann, R.; Willeke, G.
»Large Area Crystalline Silicon Solar Cells with Pad Printed Front Side Metallisation«, 17th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, München, 22.-26.10.2001, Poster
- Huljic, D.M.; Craff Castillo, C.; Kray, D.; Lüdemann, R.
»Behaviour of PECVD Silicon Nitride Antireflection and Passivation Layers in Rapid Thermal Firing Through Processes«, Proceedings 17th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, München, 22.-26.10.2001, Poster
- Hurre, A.; Faller, F.; Schillinger, N.
»Großflächige Silicium-CVD-Abschneidung für kristalline Silicium-Dünnschicht-Solarzellen«, Tagung Spezielle Probleme der Festkörperphysik, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Freiburg 19.1.2001
- Kiefer, K.
»Solare Stromerzeugung heute und morgen«, Infoveranstaltung Kundenzentrum Stadwerke Karlsruhe, Karlsruhe, 4.4.2001
- Kiefer, K.
»Bundesweite Analyse der Betriebsergebnisse von PV-Anlagen«, Berliner Energie Tage, Berlin, 14.6.2001
- Köhl, M.
»Singulett-Sauerstoff: Erzeugung und Wechselwirkung mit Wasser«, Workshop Singulett Sauerstoff und Wasser, Glottertal, 15.3.2001
- Köhl, M.
»Singulett-Sauerstoff: Erzeugung und Wechselwirkung mit Wasser«, Kolloquium des Leibniz-Instituts für Gewässerökologie und Binnenfischerei, Berlin, 26.04.2001
- Köhl, M.
»Pre-Normative Research within IEA-SHC Task27«, Seminar Innovation and Quality in Solar-Thermal Application, INETI, Lissabon, Portugal, 19.11.2001
- Köhl, M.
»Einflussmöglichkeiten auf Energiehaushalt und Betauung von Gebäuden«, Workshop Innovative Fassaden, Würzburg, 4.12.2001
- Köhl, M.
»Der Einfluss von photosensibilisiert generiertem Singulett-Sauerstoff auf die physiko-chemischen Eigenschaften von Wasser – erste Ergebnisse und Hypothesen«, Schwerpunkt-Kolloquium zur Makromolekül- und Vielteilchenphysik, Berlin, 17.12.2001
- Kray, D.
»High-Efficiency Flexible Solar Cells«, Thin Semiconductor Devices – Manufacturing and Applications, München, 3.-4.12.2001
- Létay, G.¹; Wettling, W.; Bett, A.W.
»Wirkungsgradlimit für Photovoltaikzellen«, 10. Internes Kolloquium des Freiburger Materialforschungszentrums, Breisach, 9.-10.11.2001 (1: Freiburger Materialforschungszentrum FMF, Freiburg)
- Lüdemann, R.
»The Status of Dry Processing in Silicon Solar Cell Technology«, Flemish-Hungarian Workshop on Advanced Concept for Low Thermal Budget Processing of Crystalline Silicon Solar Cells, IMEC, Leuven, Belgium, 13.-14.3.2001
- Lüdemann, R.
»Low Thermal Budget Processing of Silicon Solar Cells – the RTP Approach«, Flemish-Hungarian Workshop on Advanced Concepts for Low Thermal Budget Processing of Crystalline Silicon Solar Cells, IMEC, Leuven, Belgium, 13.-14.3.2001
- Lüdemann, R.
»Silicium-Photovoltaik: Ein Beispiel für interdisziplinäre physikalische Forschung«, Institut für Angewandte Physik, Universität Karlsruhe, Karlsruhe, 11.5.2001
- Luther, J.
»Stromerzeugung mit Solarzellen«, Shell Solarfabrik, Gelsenkirchen, 26.1.2001
- Luther, J.
»Photovoltaik – Strom aus Sonnenenergie: Status, Entwicklungschancen, Visionen«, Jahrestagung Kerntechnik 2001, Dresden, 15.-17.5.2001
- Luther, J.
»Solare Fassaden – Gebäudeklimatisierung und Tageslichttechnik«, Fachseminar der Deutschen Gesellschaft e.V. für Solare Fassaden und Bedachungen, Intersolar, Freiburg, 6.-8.7.2001
- Luther, J.
»Renewable Energies in Residential Buildings and Integration of Domestic Energy Systems into Main Energy Systems«, Konferenz der Europäischen Kommission, Bruxelles, Belgium, 25.-26.9.2001
- Luther, J.
»Photovoltaische Stromerzeugung«, Universität Kassel, Kassel, 8.11.2001
- Luther, J.
»Forschung für den Markt – Photovoltaik und solares Bauen«, 2. Forum Solarpraxis, Berlin, 15.-17.11.2001
- Kaiser, R.; Bohlen, O.; Sauer, D.U.
»Ladeintegriertes Batteriemangement mit automatischer Ladezustands- und Kapazitätsbestimmung«, 16. Symposium Photovoltaische Solarenergie, OTTI-Energie-Kolleg, Staffelstein, 14.-16.3.2001, Poster
- Meusel, M.; Bett, A.W.; Baur, C.; Beckert, R.; Dimroth, F.; Letay, G.; Hein, M.; Riesen, S. van; Schubert, U.; Siefert, G.; Sulima, O.V.¹; Tibbits, T.N.D.
»Development of High-Efficiency Mechanically Stacked GaInP/GaInAs-GaSb Triple-Junction Concentrator Solar Cells«, 17th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, München, 22.-26.10.2001 (1: AstroPower, Inc., Newark, DE, USA)
- Peters, S.; Radt, V.; Preu, R.; Huljic, D.; Schindler, R.
»Oberflächenpassivierung kristalliner Silicium-Solarzellen mittels Rapid Thermal Processing«, AKF-Frühjahrstagung der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, Hamburg, 26.-30.3.2001

- Peters, S.; Ballif, Chr.; Borchert, D.; Radt, V.; Preu, R.; Willeke, G.
»Rapid Thermal Oxidation for Surface Passivation of Silicon Solar Cells«, Photovoltaic Devices: High Efficiency Solar Cells, Tomar, Portugal, 8.-13.9.2001, Poster
- Preiser, K.
»Stand und Perspektiven der Photovoltaik-Systemtechnik aus Sicht der angewandten Forschung«, Fraunhofer ISE-Technologie-Seminar, Intersolar, Freiburg, 6.-8.7.2001
- Radt, V.; Peters, S.; Schindler, R.
»Rasches thermisches Prozessieren von multikristallinen Silicium-solarzellen«, AKF-Frühjahrstagung der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, Hamburg, 26.-30.3.2001
- Rein, S.; Warta, W.; Glunz, S.W.
»Investigation of Carrier Lifetime in P-Type Czochralski-Silicon (Cz-Si): Specific Limitations and Realistic Prediction of Cell Performance«, AKF-Frühjahrstagung der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, Hamburg, 26.-30.3.2001
- Rehrl, T.; Rein, S.; Warta, W.; Glunz, S.W.
»Temperature-Dependent Lifetime Spectroscopy (TDLS) in Silicon for Solar Cells«, AKF-Frühjahrstagung der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, Hamburg, 26.-30.3.2001
- Riesen, S. van; Bett, A.W.
»Photovoltaik-Zellen für die Laserleistungsübertragung«, AKF-Frühjahrstagung der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, Hamburg, 26.-30.3.2001, Poster
- Riesen, S. van; Schubert, U.; Bett, A.W.
»GaAs Photovoltaic Cells for Laser Power Beaming at High Power Densities«, 17th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, München, 22.-26.10.2001, Poster
- Rommel, M.; Lustig, K.; Pitz-Paál, R.
»Stand der Technik und neue Entwicklungen bei thermischen Solaranlagen«, Konferenz Solarthermie – Auslegung, Anwendung, technische Regeln, Gelsenkirchen, 7.3.2001
- Rommel, M.
»Stand der Technik und Entwicklung bei thermischen Solaranlagen«, Fraunhofer ISE Technologie-Seminar, Intersolar, Freiburg, 6.-8.7.2001
- Roth, W.
»Solarprodukte für den privaten Gebrauch«, Volkshochschule Offenburg, Offenburg, 23.3.2001
- Russ, Chr.
»Ergebnisse der Sanierung von Typenschulen in den neuen Bundesländern am Beispiel der Schulen Leipzig, Wurz und Erfurt«, Informationsaustausch im Förderprogramm ENSAN, Dresden, 13.2.2001
- Russ, Chr.
»Energieeffiziente Sanierung von Typenschulen-Vermittlung von Ergebnissen und Erfahrungen aus der Sanierung von Typenschulen in den neuen Bundesländern«, Workshop des Finanzministeriums des Freistaates Thüringen im Rahmen des Schul-Bauprogramms, Erfurt, 11.4.2001
- Sauer, D.U.; Schmidt, H.; Kuhmann, J.
»Elektrische Energiespeicher und Laderegler für Geräte und Kleinsysteme«, Fachseminar Photovoltaisch versorgte Geräte und Kleinsysteme, OTTI-Energie-Kolleg, Freiburg, 25.-26.9.2001
- Schmid, T.; Russ, Chr.; Bühring, A.
»Lüftungskompaktgeräte in Passivhäusern«, Konferenz Die Lüftungsanlage in der Praxis, Vienna, Austria, 9.11.2001
- Schmitz, A.; Müller, M.¹; Müller, C.¹; Hahn, R.²; Schumacher, J.O.; Hebling, Chr.
»Optimisation of Electrical Losses in Microstructured Fuel Cells«, 7th Grove Fuel Cell Symposium, London, United Kingdom, 11.-13.9.2001, Poster (1: Institut für Mikrosystemtechnik IMTEK, Freiburg) (2: Fraunhofer-Institut für Zuverlässigkeit und Mikrointegration IZM, Berlin)
- Schossig, P.; Henning, H.-M.
»Mikroverkapselte Phasenwechselmaterialien in Wandverbundsystemen«, Workshop Wärmespeicherung, Köln, 28.-29.5.2001
- Schumacher, J.O.; Hakenjos, A.; Tonn, D.; Herrmann, A.; Schmitz, A.; Hebling, Chr.
»Water Balance Characterisation of a PEM Fuel Cell Using Impedance Spectroscopy and an Empirically Verified Fuel Cell Model«, 7th Grove Fuel Cell Symposium, London, United Kingdom, 11.-13.9.2001, Poster
- Schweizer-Ries, P.; Vogt, G.; Casper, C.
»Die gemeinschaftliche Nutzung einer Stromanlage aus Umwelt- und organisatorischer Sicht: das Beispiel Rambla del Agua/ Spanien«, Tagung der Fachgruppe Umweltpsychologie, Kassel, 20.-23.9.2001
- Schweizer-Ries, P.
»Combined Project on Multi-User Solar Hybrid Grids (MSG)«, Integration of Renewable Energy Sources and Distributed Generation in Energy Systems, Brussels, Belgium, 25.-26.9.2001
- Steinhüser, A.
»Präsentation des Fraunhofer-Instituts für Solare Energiesysteme ISE und der Abteilung Elektrische Energiesysteme«, 16. Symposium Photovoltaische Solarenergie, OTTI-Energie-Kolleg, Staffelstein, 14.-16.3.2001
- Steinhüser, A.
»Computerunterstützte Auslegung und Simulation von Photovoltaik-Kleinsystemen«, Vorlesungsreihe Photovoltaik-Systemtechnik, Universität Karlsruhe, Karlsruhe, 29.5.2001
- Steinhüser, A.
»Simulationsprogramme«, Fachseminar Netzgekoppelte Photovoltaik-Anlagen, OTTI-Energie-Kolleg, Freiburg, 27.-28.6.2001
- Steinhüser, A.
»Photovoltaik-Kleingeräte, Photovoltaik-Kleinsysteme und Solar Home Systeme«, Vorlesungsreihe Photovoltaik-Systemtechnik, Universität Karlsruhe, Karlsruhe, 25.7.2001
- Steinhüser, A.
»Grundlagen zur Nutzung der Sonnenenergie«, Fachseminar Photovoltaisch versorgte Geräte und Kleinsysteme, OTTI-Energie-Kolleg, Freiburg, 25.-26.9.2001
- Steinhüser, A.
»Aspekte zur Entwicklung von photovoltaisch versorgten Geräten«, Fachseminar Photovoltaisch versorgte Geräte und Kleinsysteme, OTTI-Energie-Kolleg, Freiburg, 25.-26.9.2001
- Steinhüser, A.
»Kompakte Photovoltaik-Hybridsysteme«, Fachseminar Photovoltaisch versorgte Geräte und Kleinsysteme, OTTI-Energie-Kolleg, Freiburg, 25.-26.9.2001
- Steinhüser, A.
»Computerunterstützte Auslegung und Simulation von Photovoltaik-Kleinsystemen«, Fachseminar Photovoltaisch versorgte Geräte und Kleinsysteme, OTTI-Energie-Kolleg, Freiburg, 25.-26.9.2001
- Steinhüser, A.
»Simulationsprogramme«, Fachseminar Photovoltaisch versorgte Geräte und Kleinsysteme, OTTI-Energie-Kolleg, Freiburg, 25.-26.9.2001
- Vetter, M.
»Systeme zur thermischen Solarenergienutzung. Neue Anwendungsgebiete und aktuelle Entwicklungen«, 6. Deutsch-Türkisches Energiesymposium Erneuerbare Energiequellen und Umweltschutz, Izmir, Turkey, 21.-24.6.2001
- Wienold, J.
»Solarenergie als Bestandteil der modernen Haustechnik«, Informationsveranstaltung Klimaschutz in Emmendingen – Neue Geschäftsfelder für das Handwerk: Altbaumodernisierung und Solarenergie, Emmendingen-Kaiserstuhl, 17.10.2001
- Willeke, G.
»Solarzellentechnologien – Stand der Entwicklung und Perspektiven«, Fraunhofer ISE-Technologie-Seminar, Intersolar, Freiburg, 6.-8.7.2001
- Wilson, H.R.¹
»Glazing – Transparent Component for Energy-Saving Architecture«, Summer Academy on Multi-Family Solar Housing, Freiburg, 20.7.2001 (1: Interpane E&B mbH, Lauenförde)
- Wittwer, Chr.
»Simulation solarthermischer Systeme«, 14. Arbeitstreffen Simulation solarer Energiesysteme, Oldenburg, 18.-19.6.2001
- Wittwer, Chr.; Hube, W.; Schossig, P.
»ColSim – a New Simulation Environment for Complex System Analysis and Controllers«, Building Simulation 2001, Rio de Janeiro, Brasil, 13.-15.8.2001

Veröffentlichungen

Afjei, T.; Bühring, A.; Dürig, M.; Huber, A.; Kelle, P.; Shafai, E.; Widmer, P.; Zweifel, G.
»Kostengünstige Wärmepumpenheizung für Niedrigenergiehäuser: Technisches Handbuch: Grundlagen, Planungsvorgehen und Beispiele – Schlussbericht«, Nr. 200126 ENET-Publikationen, Arbon, Switzerland, 2001

Agert, C.; Beckert, R.; Hinkov, V.; Sulima, O.V.¹; Bett, A.W.
»Novel Device Structures for Infrared Solar Cells Based on GaSb: PN-Homojunctions, PN-Heterojunctions and Tandem Cells«, Proceedings 17th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, München, 22.-26.10.2001, im Druck
(¹: AstroPower, Inc., Newark, DE, USA)

Agert, C.; Lanyi, P.; Bett, A.W.
»MOVPE of GaSb, (AlGa)Sb and (AlGa)(AsSb) in a Multiwafer Planetary Reactor«, in: Journal of Crystal Growth, 225 (2001), 426-430

Agert, C.; Gladkov, P.S.¹; Bett, A.W.
»Origin of the Photoluminescence Line at 0.8 eV in Undoped and Si-Doped GaSb Grown by MOVPE«, in: Semiconductor, Science and Technology, im Druck
(¹: Academy of Sciences of Czech Republic, Prague, Czech Republic)

Aschaber, J.; Schumacher, J.O.; Schlemmer, Chr.; Boerner, V.; Hebling, Chr.; Luther, J.
»Modelling of a Thermophotovoltaic System for Different Microstructured Tungsten Surfaces as Selective Emitters«, Proceedings 17th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, München, 22.-26.10.2001, im Druck

Ballif, Chr.; Peters, S.; Borchert, D.
»Lifetime Mapping of Solar Cells and Control of the Effective Surface Recombination Velocity by Application of a Bias Voltage«, Proceedings 17th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, München, 22.-26.10.2001, im Druck

Ballif, Chr.; Peters, S.; Borchert, D.; Isenberg, J.; Schindler, R.; Warta, W.; Willeke, G.; Hässler, Chr.¹
»Lifetime Investigations of Degradation Effects in Processed Multicrystalline Silicon Wafers«, Proceedings 17th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, München, 22.-26.10.2001, im Druck
(¹: Bayer AG, Krefeld)

Bau, S.; Denter, J.; Schillinger, N.; Hurrle, A.
»Herstellung von Si-Schichten mittels CVD für kristalline Si-Dünnschichtszellen«, Tagungsband AKF-Frühjahrstagung der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, Hamburg, 26.-30.3.2001, 209

Bau, S.; Kieliba, T.; Obwald, D.; Hurrle, A.
»Chemical Vapor Deposition of Silicon on Ceramic Substrates for Crystalline Silicon Thin-Film Solar Cells«, Proceedings 17th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, München, 22.-26.10.2001, im Druck

Baumgärtner, S.¹; Sastrawan, R.¹; Schubert, M.¹; Ferber, J.¹; Luther, J.
»Influence of TiO₂ Properties and Tert-Butylpyridine Addition on Electron Lifetime and Diffusion Coefficients in Dye-Sensitized Solar Cells«, Proceedings 17th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, München, 22.-26.10.2001, im Druck
(¹: Freiburger Materialforschungszentrum FMF, Freiburg)

Beckert, R.; Meusel, M.; Siefert, G.; Warta, W.; Bett, A.W.
»Determination of Absolute External Quantum Efficiency of Monolithic Triple Junction Solar Cells«, Proceedings 12th International Photovoltaic Science and Engineering Conference PVSEC, Cheju Island, Korea, 11.-15.6.2001, 577-578

Benz, J.
»Energiemanagement für autonome Photovoltaik-Systeme«, Seminarband Fachseminar Photovoltaisch versorgte Geräte und Kleinsysteme, OTTI-Energie-Kolleg, Freiburg, 25.-26.9.2001, 373-389

Betcke, J.W.H.¹; Dijk, V. van; Wiezer, F.²; Reise, Chr.; Wiemken, E.; Dufner, H.³; Toggweiler, P.⁴; Heinemann, D.⁵
»PVSTAT: Remote Performance Check for Grid Connected PV Systems Using Satellite Data«, Proceedings 17th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, München, 22.-26.10.2001, im Druck
(¹: Utrecht Universität, Utrecht, the Netherlands)
(²: O.D.E., Utrecht, the Netherlands)
(³: DFS e.V., Freiburg)
(⁴: Enecolo AG, Mönchaltorf, Switzerland)
(⁵: Universität Oldenburg, Oldenburg)

Bett, A.W.; Baur, C.; Beckert, R.; Dimroth, F.; Letay, G.; Hein, M.; Meusel, M.; Riesen, S. van; Schubert, U.; Siefert, G.; Sulima, O.V.¹; Tibbits, T.N.D.
»Development of High Efficiency Mechanically Stacked GaInP/GaInAs-GaSb Triple-Junction Concentrator Solar Cells«, Proceedings 17th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, München, 22.-26.10.2001, im Druck
(¹: Astro Power, Inc., Newark, DE, USA)

Bett, A.W.
»Multi-Junction Solar Cells: Development and Their Applications«, Proceedings Workshop the Path to Ultra High Efficient Solar Cells, Ispra, Italy, 15.-16.11.2001

Beyer, H.G.¹; Heinemann, D.²; Hoyer, C.²; Reise, Chr.; Wiemken, E.; Musikowski, H.-D.³
»Accuracy of the Estimation of Monthly Performance Figures of Grid-Connected PV Systems Based on Remote Data Sources«, Proceedings 17th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, München, 22.-26.10.2001, im Druck
(¹: Fachhochschule Magdeburg, Magdeburg)
(²: Universität Oldenburg, Oldenburg)
(³: Universität Magdeburg, Magdeburg)

Fakten im Überblick

Biro, D.; Preu, R.; Schulz, O.; Peters, S.; Huljic, D.M.; Zickermann, D.; Schindler, R.; Lüdemann, R.; Willeke, G.
»Advanced Diffusion System for Low Contamination In-Line Rapid Thermal Processing of Silicon Solar Cells«, Proceedings 12th International Photovoltaic Science and Engineering Conference PVSEC, Cheju Island, Korea, 11.-15.6.2001, 589-590

Biro, D.; Schultz, O.; Preu, R.; Ballif, Chr.; Zickermann, D.; Lüdemann, R.
»Screen Printed Selective Emitters Prepared by Fast Rapid Thermal Diffusion«, Tagungsband 17th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, München, 22.-26.10.2001, im Druck

Biro, D.; Warta, W.
»Low Temperature Passivation of Silicon Surfaces by Polymer«, in: Solar Energy Materials & Solar Cells, (Vol. 71, 2002), 369-374

Bläsi, B.; Boerner, V.; Gombert, A.; Kübler, V.; Niggemann, M.; Wittwer, V.
»Functional Surface-Relief Structures Manufactured by Holography and Subsequent Microreplication«, Proceedings 2nd Euspen International Conference, Turin, 27.-31.5.2001, 12-15

Bläsi, B.; Lalanne, Ph.¹; Boerner, V.; Bühler, Chr.; Gombert, A.
»Microstructures in the Refractive-Diffractive Transition Range for Light Management«, Proceedings EOS Topical Meeting on Diffractive Optics 2001, Budapest, Hungary, 9.-11.10.2001, 20-21
(¹: Lab. Charles Fabry de l'Institut d'Optique, Centre National de la Recherche Scientifique, Orsay, France)

- Boerner, V.; Gombert, A.; Bläsi, B.; Kübler, V.; Meier, M.; Niggemann, M.; Wittwer, V.
»Large Area Surface Microstructures at the Frontier to Commercialisation«, Proceedings EOS Topical Meeting on Diffractive Optics 2001, Budapest, Hungary, 9.-11.10.2001, 10-11
- Bopp, G.; Pfanner, N.; Preiser, K.; Roth, W.; Schweizer-Ries, P.
»DC-Kleinsysteme zur Basisstromversorgung ländlicher Haushalte«, Seminarband Fachseminar Photovoltaisch versorgte Geräte und Kleinsysteme, OTTI-Energie-Kolleg, Freiburg, 25.-26.9.2001, 425-462
- Bühning, A.
»Theoretische und experimentelle Untersuchungen zum Einsatz von Lüftungs-Kompaktgeräten mit integrierter Kompressionswärmepumpe«, Dissertation an der TU Hamburg-Harburg, Fraunhofer IRB-Verlag, Stuttgart, 2000, ISBN 3-8167-6031-7
- Bühning, A.; Russ, Chr.
»Lüftungs-Kompaktgeräte: Messergebnisse, Erfahrungen, Hersteller«, Tagungsband 5. Passivhaus Tagung, Böblingen, 16.-18.2.2001, 165-175
- Bühning, A.
»Wärmepumpen-Type 176: Komponentenorientierte Simulation vor der ersten Messung, mit mehreren Verflüssigern, Latentwärmennutzung, internem Wärmeübertrager, Vereisung und Abtauung« Tagungsband TRNSYS-Usertag 2001, Stuttgart, 23.2.2001
- Bühning, A.; Russ, Chr.
»Lüftungs-Kompaktgeräte für Solar-Passivhäuser: Messergebnisse, Erfahrungen, Marktangebot«, Tagungsband 2. Freiburger Praxis-Symposium für Passivhäuser, Freiburg, 6.4.2001
- Bühning, A.
»Lüftungskompaktgeräte für Solar-Passivhäuser – Betriebserfahrung und Marktübersicht«, Internationale Fachmesse und Kongress Intersolar, Freiburg, 6.-8.7.2001, in: Tagungsband Solares Heizen
- Bühning, A.; Heinzel, A.; Fritz, H.-L.¹; Luther, J.
»Energieversorgung im Niedrigstenergiebau: von der Abluftwärmepumpe mit Solarkopplung zum Brennstoffzellen-Heizgerät«, Integration Erneuerbarer Energie in Versorgungsstrukturen, Jahrestagung des Forschungsverbund Sonnenenergie, Potsdam, 20.-21.9.2001, im Druck (1: Maico HaustechnikSysteme, Villingen-Schwenningen)
- Dicker, J.; Isenberg, J.¹; Warta, W.
»Effect of Shunt Distribution on the Overall Solar Cell Performance Investigated by Circuit Simulation«, Proceedings 17th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, München, 22.-26.10.2001, im Druck (1: Freiburger Materialforschungszentrum FMF, Freiburg)
- Dimroth, F.; Beckert, R.; Meusel, M.; Schubert, U.; Bett, A.W.
»Metamorphic Ga_{1-x}In_{1-y}P/Ga_{1-x}In_xAs Tandem Solar Cells for Space and for Terrestrial Concentrator Applications at C>1000Suns«, in: Progress in Photovoltaics: Res. Appl. (9/2001), 165-178
- Dimroth, F.; Schubert, U.; Bett, A.W.; Kunze, J.¹; Hilgarth, J.¹; Nell, M.¹; Strobl, G.¹; Bogus, K.²; Signorini, C.²
»Next Generation GaIn/GaInAs/Ge Triple-Junction Space Solar Cells«, Proceedings 17th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, München, 22.-26.10.2001, im Druck (1: RWE Solar, Heilbronn) (2: ESA-ESTEC, Noordwijk, the Netherlands)
- Emanuel, G.; Schneiderlöchner, E.; Stollhof, J.¹; Gentscher, J.²; Preu, R.; Lüdemann, R.
»High Throughput Laser Isolation of Crystalline Silicon Solar Cells«, Proceedings 17th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, München, 22.-26.10.2001, im Druck (1: Haas Laser GmbH + Co. KG, Schramberg) (2: ACR GmbH, Niedereschach)
- Erge, T.; Kiefer, K.; Hoffmann, V.U.
»The German Experience with Grid-Connected PV-Systems«, in: Solar Energy, Vol. 70 (6/2001), 479-487
- Erge, T.; Kiefer, K.; Rössler, E.; Beuschel, A.¹; Schmitz, W.¹
»Operation Experience of the 120 kWp PV System Butzweilerhof«, Proceedings 17th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, München, 22.-26.10.2001, im Druck (1: Handwerkskammer zu Köln, Köln)
- Georg, A.; Hauch, A.¹; Opara Krasovec, U.²; Orel, B.³; Wittwer, V.
»New Photoelectrochromic Device«, Proceedings UPS 01, Unconventional Photoactive Systems, Les Diablerets, Switzerland, 4.-8.9.2001, in: Journal of Electrochemical Society, im Druck, (1: Freiburger Materialforschungszentrum FMF, Freiburg) (2: National Institute of Chemistry, Ljubljana, Slovenia)
- Glunz, S.W.
»Hocheffiziente Solarzellenstrukturen auf kristallinem Silicium«, Tagungsband 10. Diskussionsstagung Anorganische-Technische Chemie, DECHEMA, Frankfurt/M, 21.-22.2.2001, 15
- Glunz, S.W.; Dicker, J.; Kray, D.; Lee, J.Y.; Preu, R.; Rein, S.; Schneiderlöchner, E.; Sölter, J.; Warta, W.; Willeke, G.
»High Efficiency Cell Structures for Medium-Quality Silicon«, Proceedings 17th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, München, 22.-26.10.2001, im Druck
- Glunz, S.W.; Dicker, J.; Altermatt, P.P.¹
»Band Gap Narrowing in p-Type Base Regions of Solar Cells«, Proceedings 17th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, München, 22.-26.10.2001, im Druck (1: University of South Wales, Sydney, Australia)
- Glunz, S.; Rein, S.; Warta, W.
»Minority Carrier Lifetime Degradation in Czochralski Silicon«, in: Journal of Applied Physics, Vol. 90(5) (2001), 2397-2404
- Goetzberger, A.; Luther, J.; Willeke, G.
»Solar Cells: Past, Present and Future«, Proceedings 12th International Photovoltaic Science and Engineering Conference PVSEC, Cheju Island, Korea, 11.-15.6.2001, 5-10
- Goetzberger, A.
»Solar Cell Materials and Technology: from the Past to the Future«, Proceedings 17th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, München, 22.-26.10.2001, im Druck
- Goetzberger, A.
»Möglichkeiten und Probleme der Photovoltaik«, Nordrhein-Westfälische Akademie der Wissenschaften, Vorträge 11/2001, 21
- Goetzberger, A.
»Optical Principles for Daylighting and New Components for SunProtection«, Advances in Solar Energy, Vol. 14, 2001, 1
- Häberle, A.¹; Zahler, Chr.¹; Lalaing, J. de²; Ven, J.²; Sureda, M.²; Graf, W.; Lerchenmüller, H.; Wittwer, V.
»The Solarmundo Project. Advanced Technology for Solar Thermal Power Generation«, Proceedings ISES 2001 Solar World Congress, Adelaide, Australia, 25.11.-2.12.2001, im Druck (1: PSE GmbH, Freiburg) (2: Solarmundo N.V., Antwerpen, Belgium)
- Hauch, A.¹; Georg, A.; Baumgärtner, S.; Opara Krasovec, U.²; Orel, B.²
»New Photoelectrochromic Device«, in: Electrochimica Acta, Vol. 46, Issues13-14 (April/2001), 2131-2136 (1: Freiburger Materialforschungszentrum FMF, Freiburg) (2: National Institute of Chemistry, Ljubljana, Slovenia)
- Hauch, A.¹; Georg, A.
»Diffusion in the Electrolyte and Charge-Transfer Reaction at the Platinum Electrode in Dye-Sensitized Solar Cells«, Electrochimica Acta, Vol. 46, Issue 22 (August/2001), 3457-3466 (1: Freiburger Materialforschungszentrum FMF, Freiburg)

- Hauch, A.¹; Georg, A.; Opara Krasovec, U.²; Orel, B.²
 »Photovoltaically Self-Charging Battery«, Proceedings 17th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, München, 22.-26.10.2001, im Druck
 (1: Freiburger Materialforschungszentrum FMF, Freiburg)
 (2: National Institute of Chemistry, Ljubljana, Slovenia)
- Hauch, A.¹; Georg, A.; Opara Krasovec, U.²; Orel, B.²
 »Photovoltaically Self-Charging Battery«, in: Journal of Electrochemical Society, im Druck
 (1: Freiburger Materialforschungszentrum FMF, Freiburg)
 (2: National Institute of Chemistry, Ljubljana, Slovenia)
- Hauch, A.¹; Georg, A.; Baumgärtner, S.; Opara Krasovec, U.²; Orel, B.²
 »Comparison of Photoelectrochromic Devices with Different Layer Configuration«, in: Journal of Electrochemical Society, im Druck
 (1: Freiburger Materialforschungszentrum FMF, Freiburg)
 (2: National Institute of Chemistry, Ljubljana, Slovenia)
- Hebling, Chr.
 »Simulation, Construction and Characterisation of Small Fuel Cells for Low Power Applications«, Proceedings 3rd Annual International Symposium Small Fuel Cells and Battery Technologies for Portable Power Applications, Washington, D.C., USA, 22.-24.4.2001
- Hebling, Chr.; Schmidt, H.
 »Brennstoffzellen und Solarzellen als geräteintegrierte Stromerzeuger«, Design & Elektronik (09/01), 38-41
- Hebling, Chr.; Groos, U.
 »Brennstoffzellen im kleinen Leistungsbereich«, Tagungsband ‚f-cell‘ – Die Brennstoffzelle, Stuttgart, 15.10.2001
- Hebling, Chr.; Heinzel, A.; Zedda, M.
 »Portable Brennstoffzellen – ein Überblick über die aktuellen Entwicklungen. Die portablen Anwendungen holen auf.«, in: H2Tec (10/2001), 8-11
- Hebling, Chr.
 »Wasserstoff-Brennstoffzelle: Der vielseitige Leistungsriese: Erste gehäuseintegrierte Lösungen«, in: Markt & Technik (43/2001), 30-32
- Hein, M.; Bett, A.W.; Dimroth, F.; Siefer, G.
 »Characterisation of a High Concentration System with One-Axis-Tracking«, Technical Digest, 12th International Photovoltaic Science and Engineering Conference PVSEC, Cheju Island, Korea, 11.-15.6.2001, 303-304
- Hein, M.; Meusel, M.; Dimroth, F.; Lange, G.; Siefer, G.; Tibbits, T.N.D.; Bett, A.W.; Andreev, V.M.¹; Rumyantsev, M.Z.¹; Shvartz, M.Z.¹
 »Characterisation of a 25 % High-Efficiency Fresnel-Lens-Module with GalnP/GalAs Tandem Concentrator Solar Cells«, Proceedings 17th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, München, 22.-26.10.2001, im Druck
 (1: Ioffe Physico-Technical Institute, St. Petersburg, Russia)
- Heinzel, A.; Hebling, Chr.; Zedda, M.
 »Brennstoffzellen im kleinen Leistungsbereich für portable Anwendungen«, Tagungsband Stationäre Brennstoffanlagen-Markteinführung, Heilbronn, 3.-4.4.2001, im Druck
- Henning, H.-M.
 »Energetische und wirtschaftliche Aspekte solar unterstützter Klimatisierung«, Tagungsband Solare Kühlung in der Praxis, Stuttgart, 23.-24.4.2001, 22-24
- Henning, H.-M.; Scheuble, K.; Glaser, H.¹; Wöfle, D.²
 »Solare Kälteerzeugung mit Adsorptionskältemaschine«, 11. Symposium Thermische Solarenergie, OTTI-Energie-Kolleg, Staffelstein, 9.-11.5. 2001, 156-163
 (1: Universitätsklinikum Freiburg, Freiburg)
 (2: Sulzer Infra Baden GmbH, Freiburg)
- Henning, H.-M.
 »Wärme-Kälte-Kopplung mit Ab- bzw. Adsorptionskältemaschinen – Teil1«, KI Luft- und Kälte (Mai/2001), 230
- Henning, H.-M.
 »Wärme-Kälte-Kopplung mit Ab- bzw. Adsorptionskältemaschinen – Teil2«, KI Luft- und Kälte (Juni/2001), 277
- Henning, H.-M.
 »Solare Klimatisierung«, Konferenzband, Solare Wärme Konferenz, Stuttgart, 26.6.2001, 41-52
- Henning, H.-M.; Hindenburg, C.
 »Kühle Räume dank solarer Wärme«, in: Erneuerbare Energien (11/2001), 42-45
- Henning, H.-M., Hindenburg, C.
 »Wann wird solare Kälteerzeugung wirtschaftlich?«, in: Erneuerbare Energien (12/2001), 50-52
- Henze, N.¹; Bopp, G.; Degner, T.²; Häberlin, H.²; Schattner, S.
 »Radio Interference on the DC Side of PV Systems, Research Results and Limit of Emissions«, Proceedings 17th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, München, 22.-26.10.2001, im Druck
 (1: Institut für Solare Energieversorgungstechnik ISET, Kassel)
 (2: Berner Fachhochschule, Burgdorf, Switzerland)
- Herkel, S.
 »Energieeffizienz und regenerative Energie bei Bürogebäuden: das Konzept der schlanken Gebäude«, 5. Passivhaus Tagung, Böblingen, 16.-18.2.2001, 145-146
- Hindenburg, C.; Henning, H.-M.
 »Solar Thermal Energy for Air Conditioning of Buildings«, in: Chemie Ingenieur Technik (CIT), 3rd European Congress of Chemical Engineering, Nürnberg, 26.-28.6.2001
- Hindenburg, C.; Henning, M.
 »Thermische Solarenergie für die Gebäudeklimatisierung«, in: BHKs-Almanach 2001, Bonn, 18-23
- Hindenburg, C.; Kalwellis, V.; Fuchsberger, B.; Backes, S.; Matekenya, W.
 »SSGKTEST – Ein neuer Teststand für solare sorptionsgestützte Klimatisierungssysteme«, Tagungsband 11. Symposium Thermische Solarenergie, OTTI-Energie-Kolleg, Staffelstein, 9.-11.5. 2001, 176-180
- Hoffmann, V.U.; Kiefer, K.; Armbruster, A.
 »SONNEonline Wissenschaftliche Auswertung für das Jahr 2000«, in: www.sonneonline.de
- Hoffmann, V.U.
 »300 Kirchengemeinden für die Sonnenenergie«, Broschüre (Juli/2001)
- Hoffmann, V.U.
 »Sonne in der Schule«, BMWi-Bericht, Broschüre (Juli/2001)
- Fakten im Überblick
- Hube, W.; Wittwer, Chr.
 »Betrachtungen zur Heizkennlinie eines Niedrigenergie-Mehrfamilienhauses und CoSim-Erweiterungen zur Untersuchung integraler Regelungen zur Wärmeversorgung«, Tagungsband 11. Symposium Thermische Solarenergie, OTTI-Energie-Kolleg, Staffelstein, 9.-11.5.2001, 214-219
- Huljic, D.; Hirth, E.; Lüdemann, R.; Willeke, G.
 »Large Area Crystalline Silicon Solar Cells with Pad Printed Front Side Metallisation«, Proceedings 17th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, München, 22.-26.10.2001, im Druck
- Huljic, D.M.; Mäkel, H.; Craff Castillo, C.; Kray, D.; Ballif, C.; Lüdemann, R.
 »Behaviour of PECVD Silicon Nitride Antireflection and Passivation Layers in Rapid Thermal Firing Through Processes«, Proceedings 17th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, München, 22.-26.10.2001, im Druck
- Isenberg, J.¹; Dicker, J.; Warta, W.
 »Analysis of the Effect on Diffusion Length Distributions on Global Solar Cell Parameters by Simplified 2-D Modeling«, Proceedings 17th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, München, 22.-26.10.2001, im Druck
 (1: Freiburger Materialforschungszentrum FMF, Freiburg)
- Isenberg, J.¹; Reber, S.; Warta, W.
 »Diffusion Properties of Ion-Implanted Vanadium in PECVD-SiO₂ and PECVD-SiN_x«, Journal of the Electrochemical Society, im Druck
 (1: Freiburger Materialforschungszentrum FMF, Freiburg)
- Kaiser, R.; Bohlen, O.; Sauer, D.U.
 »Ladereglerintegriertes Batteriemangement mit automatischer Ladezustands- und Kapazitätsbestimmung«, Tagungsband, 16. Symposium PV-Solarenergie, OTTI-Technologie-Kolleg, Staffelstein, 14.-16.3.2001, 461-466

- Kern, R.¹; Ferber, J.¹; Hinsch, A.²; Kroon, J.²; Luther, J.; Meyer, A.³; Sastrawan, R.¹; Uhlendorf, I.⁴
 »Investigation of the Long-Term Stability of Dye-Sensitized Solar Cells by Optical and Electrochemical Impedance Spectroscopy«, 13th Workshop on Quantum Solar Energy Conversion - QUANSOL 2001, Kirchberg, Austria 11.-17.3.2001, in: www.esqsec.unibe.ch/qu01_public.htm
 (1: Freiburger Materialforschungszentrum FMF, Freiburg)
 (2: Netherlands Energy Research Foundation ECN, Le Petten, the Netherlands)
 (3: Solaronix SA, Aubonne, Switzerland)
 (4: Institut für Angewandte Photovoltaik INAP, Gelsenkirchen)
- Kern, R.¹; Ferber, J.¹; Hinsch, A.²; Kroon, J.²; Luther, J.; Meyer, A.³; Sastrawan, R.¹; Uhlendorf, I.⁴
 »Long Term Stability of Dye-Sensitized Solar Cells«, Proceedings European Material Research Society Spring Meeting, Strasbourg, France, 5.-8.6.2001 (1: Freiburger Materialforschungszentrum FMF, Freiburg)
 (2: Netherlands Energy Research Foundation ECN, Le Petten, the Netherlands)
 (3: Solaronix SA, Aubonne, Switzerland)
 (4: Institut für Angewandte Photovoltaik INAP, Gelsenkirchen)
- Kiefer, K.; Weber, P.¹
 »Umweltgerechte Energiekonzepte bei Berghütten des DAV – Herangehensweise, Stand und Erfahrungen aus realisierten Förderprojekten, Perspektiven«, Tagungsband Internationales Fachseminar der DBU, Benediktbeuren, 2.-3.3.2001 (1: Deutscher Alpenverein DAV, München)
- Kiefer, K.; Hoffmann, V.U.; Becker, G.¹
 »Langzeiterfahrung mit netzgekoppelten PV Anlagen«, Tagungsband 16. Symposium Photovoltaische Solarenergie, OTTI-Energie-Kolleg, Staffelstein, 14.-16.3.2001, 320-327
 (1: Solarenergieförderverein Bayern e.V.; München)
- Kiefer, K.
 »Ertragsicherung und Qualitätskontrolle von netzgekoppelten Photovoltaik-Anlagen«, Seminarband Fachseminar Netzgekoppelte Photovoltaik-Anlagen, OTTI-Energie-Kolleg, Freiburg, 27.-28.6.2001, 221-234
- Kiefer, K.
 »Energiebericht 2000 zum Regio-Strom der FEW«, Broschüre (Mai/2001)
- Kiefer, K.
 »Monitoring Bericht 2000 zum Umwelttarif der RWE«, Broschüre (Mai/2001)
- Kiefer, K.
 »Sonne auf den Hütten. Alpenvereinsstütten mit solarer Energieversorgung – das Projekt Euralp«, Broschüre
- Kiefer, K.; Becker, G.¹
 »Architectural Integration of Photovoltaic Systems- Consideration on Aesthetic and Technology of Awared PV Plants in Bavaria«, Proceedings 17th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, München, 22.-26.10.2001, im Druck
 (1: Solarenergieförderverein Bayern e.V., München)
- Kieliba, T.; Reber, S.; Bau, S.; Hässler, C.¹; Stollwerck, G.¹
 »Kristalline Silicium-Dünnschicht-solarzellen auf Si₃N₄-Keramiken«, Tagungsband AKF-Frühjahrstagung der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, Hamburg, 26.-30.3.2001, 232
 (1: Bayer AG, Krefeld)
- Kieliba, T.; Bau, S.; Reber, S.; Obwald, D.¹; Eyer, A.¹; Schober, R.²
 »Crystalline Silicon Thin-Film Solar Cells on ZrSiO₄ Ceramic Substrates«, Proceedings 12th International Photovoltaic Science and Engineering Conference PVSEC, Cheju Island, Korea, 11.-15.6.2001, 557-558
 (1: Freiburger Materialforschungszentrum FMF, Freiburg)
 (2: Fraunhofer-Institut für Keramische Technologien und Sinterwerkstoffe IKTS, Dresden)
- Kieliba, T.; Bau, S.; Obwald, D.¹; Eyer, A.
 »Coarse-Grained Si-Films for Crystalline Si Thin-Film Solar Cell Prepared by Zone-Melting Recrystallization«, Proceedings 17th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, München, 22.-26.10.2001, im Druck
 (1: Freiburger Materialforschungszentrum FMF, Freiburg)
- Köhl, M.
 »IEA-SHC Task 27: Performance, Durability and Sustainability of Advanced Windows and Solar Components for Building Envelopes«, Tagungsband North Sun 2001, Leiden, the Netherlands, 7.-8.5.2001
- Köhl, M.
 »Durability of Solar Energy Materials«, in: Renewable Energy 24 (2001), 597-607
- König, P.; Bopp, G.; Müller, M.; Puls, H.-G.; Sauer, D.U.
 »Universelles, standardisiertes Auswertetool für autonome Stromversorgungssysteme –THESA«, Tagungsband, 16. Symposium PV-Solarenergie, OTTI-Technologie-Kolleg, Staffelstein, 14.-16.3.2001, 580-586
- Kray, D.; Dicker, J.; Rein, S.; Kamerewerd, F.-J.; Obwald, D.; Schäffer, E.; Glunz, S.W.; Willeke, G.
 »High-Efficiency Emitter-Wrap-Through Cells«, Proceedings 17th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, München, 22.-26.10.2001, im Druck
- Kray, D.; Leimenstoll, A.; Glunz, S.W.; Willeke, G.
 »20 % Efficient Flexible Silicon Solar Cells«, Proceedings 17th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, München, 22.-26.10.2001, im Druck
- Kuhn, T.E.; Platzer, W.J.
 »Evaluation of Overheating Protection with Sun-Shading Systems«, in: Solar Energy, Vol. 69/1-6, 2000, 59-74
- Laukamp, H.
 »Strom von der Sonne – Gebäude mit Solarzellen«, in: Deutsches Architektenblatt (Juni/2001), 70-75
- Laukamp, H.; Herkel, S.; Kiefer, K.; Voss, K.; Andersen, S.¹
 »Architectural Integration of Photovoltaic Systems – The New Premises of Fraunhofer ISE«, Proceedings 17th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, München, 22.-26.10.2001, im Druck
 (1: Dissing+Weitling, Copenhagen, Denmark)
- Lawrencic Stangar, U.¹; Groselj, N.¹; Orel, B.¹; Schmitz, A.; Colomban, Ph.²
 »Proton-Conducting Sol-Gel Hybrids Containing Heteropoly Acids« in: Solid State Ionics (145/2001), 109-118
 (1: National Institute of Chemistry, Ljubljana, Slovenia)
 (2: Laboratoire de Dynamique, Interactions et Réactivité, Thiais, France)
- Lee, J.Y.; Peters, S.; Dicker, J.; Rein, S.; Glunz, S.W.
 »Carrier Lifetime Improvement in Czochralski Silicon for Solar Cells by Rapid Thermal Processing«, Proceedings 12th International Photovoltaic Science and Engineering Conference PVSEC, Cheju Island, Korea, 11.-15.6.2000, 27-28
- Lee, J.Y.; Rein, S.; Glunz, S.W.
 »Advanced RTP-Process for the Stable Lifetime in Czochralski Silicon for Solar Cells«, Proceedings 17th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, München, 22.-26.10.2001, im Druck
- Lee, J.Y.; Peters, S.; Rein, S.; Glunz, S.W.
 »Improvement of Charge Carrier Lifetime in p(boron)-type Czochralski Silicon by Rapid Thermal Annealing«, in: Progress in Photovoltaics, 9/2001, 417-424, im Druck
- Létay, G.¹; Bett, A.W.
 »EtaOpt – a Program for Calculating Limiting Efficiency and Optimum Bandgap Structure for Multi-Bandgap Solar Cells and TPV Cells«, Proceedings 17th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, München, 22.-26.10.2001, im Druck
 (1: Freiburger Materialforschungszentrum FMF, Freiburg)
- Lüdemann, R.; Biro, D.; Peters, S.; Huljic, D.M.; Preu, R.
 »Rapid Thermal Processing for High Throughput Silicon Solar Cell Production«, Proceedings 11th Workshop on Crystalline Silicon Solar Cells, Estes Park, Colorado, USA, 19.-22.8.2001, 114-121
- Lüdemann, R.; Damiani, B.M.¹; Rohatgi, A.¹; Willeke, G.
 »Multicrystalline Silicon Solar Cells with Black Silicon Texturization«, Proceedings 17th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, München, 22.-26.10.2001, im Druck
 (1: Georgia Institute of Technology, Atlanta, GA, USA)

- Lüdemann, R.; Preu, R.; Willeke, G.
»Innovation in Solar Cell Production Technology«, Proceedings 17th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, München, 22.-26.10.2001, im Druck
- Lustig, K.; Rommel, M.
»Simulationstechnische Abbildung der Vorgänge in einem Solar-system während des Stillstands«, 11. Symposium Thermische Solarenergie, OTTI-Energie-Kolleg, Staffelstein, 9.-11.5.2001, 111-115
- Luther, J.; Wittwer, V.; Voss, K.
»Energie für Gebäude – solare Technologien und Konzept«, Physikalische Blätter, Heft 11 (November/2001), 39-44
- Luther, J.
»Nachhaltige Architektur – der Beitrag der Disziplinen – Sustainable Architecture – the Contribution of the Various Disciplines«, Katalog zur Ausstellung Thomas Herzog – Architektur und Technologie – Architecture and Technology (Dezember/2001), 12-15
- Luther, J.
»Solares Bauen heute – auf dem Weg zu zukunftsfähigen Wohn- und Bürogebäuden«, in: Energie im Wandel. Politik, Technik und Szenarien einer nachhaltigen Energiewirtschaft, FS für J. Nitsch, hrsg. v. O. Langniß, M. Pehnt, Stuttgart 2001, ISBN 3-540-41329-4, 195-212
- Mäckel, H.; Huljic, D.M.; Craff Castillo, C.; Lüdemann, R.
»Passivation Quality and Thermal Stability of Silicon Nitride Layers on Silicon and Phosphorus-Diffused Silicon Solar Cell Emitters«, Proceedings ISES 2001 Solar World Congress, Adelaide, Australia, 25.11.-2.12.2001, im Druck
- Messenger, S.R.¹; Walters, R.J.¹; Summers, G.P.¹; Bett, A.W.; Dimroth, F.; Baur, C.; Meusel, M.; Takamoto, T.²; Agui, T.²; Imaizumi, M.³; Matsuda, S.³
»Radiation Response Analysis of Triple Junction InGaP/inGaAs/Ge Solar Cells«, Proceedings 17th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, München, 22.-26.10.2001, im Druck
(¹: U.S. Naval Research Lab., Washington, DC, USA)
(²: Sharp Corporation, Nara, Japan)
(³: National Space Development Agency of Japan, Tsukuba, Japan)
- Meusel, M.; Adelhelm, R.¹; Dimroth, F.; Bett, A.W.; Warta, W.
»Spectral Mismatch Correction and Spectrometric Characterisation of Monolithic III-V Multijunction Solar Cells«, in: Progress in Photovoltaics, im Druck
(¹: Astrium GmbH, München)
- Niggemann, M.; Bläsi, B.; Bühler, Chr.; Boerner, V.; Gombert, A.; Kübler, V.; Wittwer, V.
»Periodic Microstructures for Large Area Applications Generated by Holography«, SPIE's 46th Annual Meeting, International Symposium on Optical Science and Technology, San Diego, CA, USA, 29.7.-3.8.2001, im Druck
- Niggemann, M.; Bläsi, B.; Gombert, A.; Hinsch, A.; Hoppe, H.¹; Lalanne, P.²; Meissner, D.¹; Wittwer, V.
»Trapping Light in Organic Plastic Solar Cells with Integrated Diffraction Gratings«, Proceedings 17th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, München, 22.-26.10.2001, im Druck
(¹: Johannes Kepler Universität, Linz, Austria)
(²: Lab. Charles Fabry de l'Institut d'Optique, Centre National de la Recherche Scientifique, Orsay, France)
- Noël, S.^{1,2}; Lautenschlager, H.; Müller, J.C.¹
»Record Rapid Thermal Processed Multicrystalline Silicon Solar Cells«, Progress in Photovoltaics (Januar-Februar/2001) Vol. 9, No. 1, 41-47
(¹: Laboratoire PHASE, CNRS, Strasbourg, France)
(²: J.I.P.ELEC, Meylan, France)
- Parretta, A.¹; Schnell, M.; Lüdemann, R.
»Angle-Resolved Reflectance Measurements on Textured Silicon Materials and Devices«, Proceedings 17th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, München, 22.-26.10.2001, im Druck
(¹: ENEA Centro Ricerche, Portici, Italy)
- Peters, S.; Ballif, Chr.; Borchert, D.; Radt, V.; Schindler, R.; Warta, W.; Willeke, G.; Hässler, Chr.¹; Lauinger, T.²
»Improving the Efficiency of Silicon Ribbon Solar Cells Using Rapid Thermal Processing«, Proceedings 17th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, München, 22.-26.10.2001, im Druck
(¹: Bayer AG, Krefeld)
(²: RWE Solar GmbH, Alzenau)
- Peters, S.; Ballif, Chr.; Borchert, D.; Huljic, D.; Lee, J.Y.; Radt, V.; Preu, R.; Schindler, R.; Schneiderlöchner, E.; Warta, W.
»Rapid Thermal Surface Passivation of Silicon Solar Cells«, Proceedings 17th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, München, 22.-26.10.2001, im Druck
- Pfanner, N.; Roth, W.
»Photovoltaik in der Beleuchtungstechnik«, Seminarband Fachseminar Photovoltaisch versorgte Geräte und Kleinsysteme, OTTI-Energie-Kolleg, Freiburg, 25.-26.9.2001, 211-289
- Platzer, W.J.
»Measurement of Angular Light and Total Solar Energy Transmittance for Complex Glazings: the ALTSET Project«, CEN-Star Workshop, Paris, France, 5.-6.10.2000, in: Rivista della Stazione Sperimentale del Vetro, Vol. 31/1 (2001)
- Platzer, W.J.
»Transparent Insulation Materials and Products: a Review«, Chapter 2, in: Advances in Solar Energy, Vol. 14 (2001), 33-65, ISBN 0-89553-257-3
- Puls, H.-G.; Sauer, D.U.; Bopp, G.
»Least Cost Planning for Autonomous Energy Supply Systems«, Proceedings 17th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, München, 22.-26.10.2001, im Druck
- Raicu, A.¹; Wilson, H.R.²; Nitz, P.; Platzer, W.; Wittwer, V.; Jahns, E.
»Facade Systems with Variable Solar Control Using Thermotropic Polymer Blends«, in: Solar Energy, im Druck
(¹: Sto AG, Stühlingen-Weizen)
(²: Interpane E&B mbH, Lauenförde)
- Räuber, A.¹; Wettling, W.
»Die PV-Szene heute – Technologie, Industrie, Markt«, Tagungsband 16. Symposium Photovoltaische Solarenergie, OTTI-Energie-Kolleg, Staffelstein, 14.-16.3.2001, 260-270
(¹: PSE Projektgesellschaft Solare Energiesysteme mbH, Freiburg)
- Reber, S.; Dicker, J.; Huljic, D.M.; Bau, S.
»Epitaxy of Emitters for Crystalline Silicon Solar Cells«, Proceedings 17th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, München, 22.-26.10.2001, im Druck
- Rein, S.; Rehrl, T.; Warta, W.; Glunz, S.W.; Willeke, G.
»Electrical and Thermal Properties of the Metastable Defect in Boron-Doped Czochralski Silicon«, Proceedings 17th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, München, 22.-26.10.2001, im Druck
- Rein, S.; Rehrl, T.; Warta, W.; Glunz, S.W.
»Temperature Dependent Lifetime Spectroscopy (TDLS) in Silicon«, Proceedings 17th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, München, 22.-26.10.2001, im Druck
- Rein, S.; Rehrl, T.; Warta, W.; Glunz, S.
»Lifetime Spectroscopy for Defect Characterisation: Systematic Analysis of the Possibilities and Restrictions«, in: Journal of Applied Physics, im Druck
- Reinhart, Chr.
»Monitoring and Analysis of the Manual Control Strategies for Artificial Lighting and Venetian Blinds of 20 Users – Experimental Setup and Preliminary Results«, Tagungsband 7. Symposium über Innovative Lichttechnik in Gebäuden, OTTI-Technologie-Kolleg, Staffelstein, 25.-26.1.2001, 208-212
- Reinmüller, D.¹; Adib, R.; Preiser, K.
»Dissemination Models for Rural Energy Supply in Developing Countries – Decision Making Support for Governments, Industry and Financial Institutions«, 17th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, München, 22.-26.10.2001, im Druck
(¹: International Solar Energy Society ISES, Freiburg)

- Reise, Chr.; Wiemken, E.; Toggweiler, P.¹; Dijk, V. van²; Heinemann, D.³
 »Ertragsberechnung für netzgekoppelte PV-Anlagen: erste Ergebnisse aus der Testphase von PVSAT«, Tagungsband 16. Symposium Photovoltaische Solarenergie, OTTI-Energie-Kolleg, Staffelstein, 14.-16.3.2001, 53-58
 (1: Enecolo AG, Mönchaltorf, Switzerland)
 (2: Utrecht Universität, Utrecht, the Netherlands)
 (3: Universität Oldenburg, Oldenburg)
- Riechel, S.¹; Lemmer, U.¹; Feldmann, J.¹; Berleb, S.²; Mückl, A.G.²; Brütting, W.; Gombert, A.; Wittwer, V.
 »A Very Compact Tunable Solid State Laser Utilizing a Thin Film Organic Semiconductor«, eingereicht bei Optics Letters (26/2001), 593-595
 (1: Ludwig-Maximilians-Universität München, München)
 (2: Universität Bayreuth, Bayreuth)
- Riechel, S.¹; Gombert, A.; Lemmer, U.¹; Feldmann, J.¹
 »Laser Modes in Organic Solid State Distributed Feedback Lasers«, in: Applied Physics B 71 (2000), 897-900
 (1: Ludwig-Maximilians-Universität München, München)
- Riepe, S.; Isenberg, J.; Ballif, Chr.; Glunz, S.W.; Warta, W.
 »Carrier Density and Lifetime Imaging of Silicon Wafers by Infrared Lock-In Thermography«, Proceedings 17th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, München, 22.-26.10.2001, im Druck
- Rommel, M.; Lustig, K.; Pitz-Paal, R.¹
 »Stand der Technik und neue Entwicklungen bei thermischen Solaranlagen«, in: VDI: Solarthermie – Auslegung, Anwendung, technische Regeln, Wissenschaftspark Gelsenkirchen, 7.3.2001, (VDI-Berichte Nr. 1584, 2001), 1-16 (1: DLR, Köln)
- Rommel, M.
 »Neue Entwicklungen bei thermischen Solaranlagen«, Internationale Fachmesse und Kongress Intersolar, Freiburg, 6.-8.7.2001, in: Tagungsband Solares Heizen
- Rosenfeld, J.L.C.¹; Platzer, W.J.; Dijk, H. van²; Maccari, A.³
 »Modelling the Optical and Thermal Properties of Complex Glazing: Overview of Recent Developments«, in: Solar Energy, Vol. 69/1-6 (2000), 1-13
 (1: Technical University of Denmark, Lyngby, Denmark)
 (2: TNO Building and Construction Research, Delft, the Netherlands)
 (3: ENEA Centro Ricerche, Rom, Italy)
- Roth, W.; Steinhüser, A.
 »Photovoltaik in der Telekommunikation, Telematik und Telemetrie«, Tagungsband 16. Symposium Photovoltaische Solarenergie, OTTI-Energie-Kolleg, Staffelstein, 14.-16.3.2001, 90-97
- Roth, W.
 »Photovoltaische Energieversorgungssysteme – Prinzipieller Systemaufbau und Einsatzmöglichkeiten«, Seminarband Fachseminar Netzgekoppelte Photovoltaik-Anlagen, OTTI-Energie-Kolleg, Freiburg, 27.-28.6.2001, 7-47
- Roth, W.
 »Photovoltaik zur dezentralen Stromversorgung im Bereich Telekommunikation«, Tagungsband von SOLTEC – Tagung für Architekten und Ingenieure, Hameln, 16.-18.8.2001
- Roth, W.
 »Prinzipieller Systemaufbau, Anwendungsbeispiele und Marktpotential photovoltaisch versorgter Geräte und Kleinsysteme«, Seminarband Fachseminar Photovoltaisch versorgte Geräte und Kleinsysteme, OTTI-Energie-Kolleg, Freiburg, 25.-26.9.2001, 1-52
- Ruddell, A.J.¹; Dutton, A.G.¹; Wenzl, H.²; Ropeter, C.²; Sauer, D.U.; Merten, J.³; Orfanogiannis, C.⁴; Twidell, J.W.⁵; Vezin, P.⁶
 »Analysis of Battery Current Microcycles in Autonomous Renewable Energy Systems«, in: Power Sources, im Druck
 (1: Rutherford Appleton Lab., Didcot, United Kingdom)
 (2: Technische Universität Clausthal, Clausthal-Zellerfeld)
 (3: Trama TechnoAmbiental TTA, Barcelona, Spain)
 (4: ESCO, Athens, Greece)
 (5: AMSET Centre, Hornighold, United Kingdom)
 (6: Vergnet, Saran, France)
- Russ, Chr.; Kappert, M.
 »Sanierung der Regelschule Erfurt«, in: EB Energie Effizientes Bauen (1/2001), 46-50
- Sastrawan, R.¹; Kern, R.¹; Ferber, J.¹; Luther, J.
 »Electrochemical and Optical Impedance Spectroscopy on Dye-Sensitised Solar Cells«, Proceedings European Material Research Society Spring Meeting, Strasbourg, France, 5.-8.6.2001
 (1: Freiburger Materialforschungszentrum FMF, Freiburg)
- Schattner, S.; Bopp, G.; Erge, T.; Fischer, R.¹; Häberlin, H.¹; Minkner, R.¹; Venhuizen, R.²; Verhoeven, B.²
 »A New Measurement Technique Ensuring the EMC of Photovoltaic Systems«, Proceedings 14th International Zurich Symposium on Electromagnetic Compatibility, Zurich, Switzerland, 20.-22.2.2001
 (1: Berner Fachhochschule, Burgdorf, Switzerland)
 (2: KEMA T & D Power, Arnhem, the Netherlands)
- Schmidhuber, H.; Hebling, Chr.
 »First Experiences and Measurements with a Solar Powered Personal Digital Assistant (PDA)«, Proceedings 17th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, München, 22.-26.10.2001, im Druck
- Schmidhuber, H.; Krannich, K.
 »Why Using EVA for Modul Encapsulation if there is a Much Better Choice?«, Proceedings 17th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, München, 22.-26.10.2001, im Druck
- Schmidt, H.; Steinhüser, A.; Häberle, A.¹; Heidler, K.²
 »Spielerisch die Zukunft begreifen – Hightech Exponate für Aus- und Weiterbildung«, Tagungsband 16. Symposium Photovoltaische Solarenergie, OTTI-Energie-Kolleg, Staffelstein, 14.-16.3.2001, 120-124
 (1: PSE Projektgesellschaft Solare Energiesysteme mbH, Freiburg)
 (2: Solar Consulting, Freiburg)
- Schmidt, H.; Roth, W.
 »Solarzellen und Module: Aufbau und Eigenschaften«, Seminarband Fachseminar Netzgekoppelte Photovoltaik-Anlagen, OTTI-Energie-Kolleg, Freiburg, 27.-28.6.2001, 61-102
- Schmidt, H.
 »Wechselrichter für Photovoltaik-Anlagen« Seminarband Fachseminar Netzgekoppelte Photovoltaik-Anlagen, OTTI-Energie-Kolleg, Freiburg, 27.-28.6.2001, 103-119
- Schmidt, H.; Erge, T.; Sauer, D.U.; Weissmüller, G.¹; Stephanblome, T.²; Povh, D.³; Boll, M.⁴
 »Intelligent Electricity Distribution Grids with Integrated Decentralised Power Generators for the Energy Market of the Future«, Proceedings 17th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, München, 22.-26.10.2001, im Druck
 (1: Stadtwerke Karlsruhe, Karlsruhe)
 (2: EUS, Gelsenkirchen)
 (3: Siemens, Erlangen)
 (4: Energie Baden-Württemberg EnBW, Stuttgart)
- Schmidt, J.¹; Cuevas, A.²; Rein, S.; Glunz, S.W.
 »Fill Factor Limitations and Non-Ideal Diode Behaviour of Czochralski Silicon Solar Cells Due to Light-Induced Recombination Centres«, Proceedings 17th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, München, 22.-26.10.2001, im Druck
 (1: Universität Stuttgart, Stuttgart)
 (2: Australian National University, Canberra, Australia)
- Schmidt, J.¹; Cuevas, A.²; Rein, S.; Glunz, S.W.
 »Impact of Light-Induced Recombination Centres on the Current Voltage Characteristics of Czochralski Silicon Solar Cells«, in: Progress in Photovoltaics, Vol. 9, 2001, 249-255
 (1: Universität Stuttgart, Stuttgart)
 (2: Australian National University, Canberra, Australia)
- Schneiderlöchner, E.; Preu, R.; Lüdemann, R.; Glunz, S.W.; Willeke, G.
 »Laser Fired Contacts – the Path to Economical High-Efficiency Technology for the Rear Contact of Crystalline Silicon Solar Cells«, Tagungsband 17th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, München, 22.-26.10.2001, im Druck
- Schossig, P.; Henning, H.-M.; Weingarten, G.; Raicu, A.¹
 »Mikroverkapselte Phasenwechselmaterialien in Wandverbundsystemen«, Tagungsband 11. Symposium Thermische Solarenergie, OTTI-Energie-Kolleg, Staffelstein, 9.-11.5.2001, 287-292
 (1: Sto AG, Stühlingen-Weizen)

- Schultz, O.; Biro, D.; Preu, R.; Ballif, Chr.; Zickermann, D.; Lüdemann, R.
 »Screen Printed Selective Emitters Prepared by Fats and Rapid Thermal Diffusion«, Proceedings 17th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, München, 22.-26.10.2001, im Druck
- Schweizer-Ries, P.; Vogt, G.; Casper, C.
 »Mensch-Technik-Organisations(MTO)-Analyse von netzunabhängigen Dorfstromanlagen am Beispiel von Rambla del Agua/ Spanien«, Tagungsband 16. Symposium Photovoltaische Solarenergie, OTTI-Energie-Kolleg, Staffelstein, 14.-16.3.2001, 125-130
- Schweizer-Ries, P., Djuwita, R.¹; Ramirez, E.²; Hidalgo de Avila, E.³; Casper, C.⁴
 »Social Interventions to Achieve Success with Off-Grid Village Power Supply Systems«, Proceedings 17th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, München, 22.-26.10.2001, im Druck
 (1: University of Indonesia, Jakarta, Indonesia)
 (2: Trama Techno Ambiental TTA, Barcelona, Spain)
 (3: Instituto Nacional de Agricultura INTA, San Juan, Argentina)
 (4: Freelancer for Fraunhofer ISE, Barcelona, Spain)
- Schweizer-Ries, P.
 »Decentralized Energy Use in Mountain Regions: Solar-Electric Stand-Alone Systems«, in: Mountain Research and Development, im Druck
- Seigel, B.; Bühring, A.
 »Simulation von Wärmeübertragern in Lüftungskompaktgeräten für Passivhäuser mit TRN-SYS«, TRNSYS-Usertag 2001, Stuttgart, 23.2.2001
- Vetter, M.; Wittwer, Chr.
 »Simulationsbasierte Entwicklung von Regelungsstrategien zur optimierten Einbindung von erdgasbetriebenen netzgekoppelten Brennstoffzellen-BHKWs in teilsolare Energieversorgungssysteme von Gebäuden«, Tagungsband 11. Symposium Thermische Solarenergie, OTTI-Energie-Kolleg, Staffelstein, 9.-11.5.2001, 413-418
- Voss, K.
 »Mit Fassaden Solarenergie nutzen«, in: Tagungsband Symposium Industriebau, Dresden, 31.1.-1.2.2001
- Voss, K.; Kiefer, K.; Reise, Chr.
 »Gebäudeenergiekonzepte mit Photovoltaik«, Tagungsband 16. Symposium Photovoltaische Solarenergie, OTTI-Energie-Kolleg, Staffelstein, 14.-16.3.2001, 172-178
- Voss, K.
 »Ein Institutsgebäude für ein son- niges Jahrtausend – Der Neubau des Fraunhofer ISE«, EB Energie Effizientes Bauen (4/2001), 28-32
- Voss, K.
 »Schlanke Gebäude – Hohe Arbeitsplatzqualität bei geringem Energieverbrauch«, EB Energie Effizientes Bauen (3/2001), 12-17
- Voss, K.; Wagner, A.¹; Löhnert, G.²
 »Energieeffizienz und Solarener- gienutzung im Nichtwohnungs- bau. Konzepte und Bauten«
 Solarbau: MONITOR Journal 2000, 1. Aufl., Freiburg 2001
 (1: Universität Karlsruhe, Karlsruhe)
 (2: sol^oid^oar, Berlin)
- Wagner, F.¹; Dobbins, A.¹; Würfel, U.¹; Hinsch, A.; Luther, J.
 »Solid-State Dye-Sensitised Solar Cells Prepared by Mechanical Pressing: an Initial Study«, 17th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, München, 22.-26.10.2001, im Druck
 (1: Freiburger Materialforschungs- zentrum FMF, Freiburg)
- Walkenhorst, O.; Reinhart, Chr.; Timmer, J.¹
 »Jahressimulation des Tageslichtangebotes in Gebäuden auf der Basis von stündlichen und minütlichen Strahlungsdaten«, Tagungsband 7. Symposium Innovative Lichttechnik in Gebäu- den, OTTI-Energie-Kolleg, Staffelstein, 25.-26.1.2001
 (1: Albert-Ludwigs-Universität, Freiburg)
- Wiemken, E.; Beyer, H.G.¹; Heydenreich, W.; Kiefer, K.
 »Power Characteristics of PV Ensembles. Experiences from the Combined Power Production of 100 Grid Connected PV Systems Distributed Over the Area of Germany«, in: Solar Energy, Vol. 70 (6/2001), 513-518
 (1: Fachhochschule Magdeburg, Magdeburg)
- Wienold, J.; Kuhn, T.E.
 »Tageslichtnutzung versus Energie – Gesamtheitliche Bewertung von Tageslicht und Sonnenschutz- systemen« in: Tagungsband 7. Symposium Innovative Lichttechnik in Gebäuden, OTTI- Energie-Kolleg, Staffelstein, 25.-26.1.2001, 174-182
- Willeke, G.; Kray, D.
 »A New Route Towards 50 mm Thin Crystalline Silicon Wafer Solar Cells«, Proceedings 17th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, München, 22.-26.10.2001, im Druck
- Wittwer, Chr.; Mertins, M.
 »Regelungstechnische Modellie- rung von DEC-Systemen«, Tagungsband 11. Symposium Thermische Solarenergie, OTTI- Energie-Kolleg, Staffelstein, 9.-11.5. 2001, 372
- Wittwer, Chr.; Hube, W.; Schossig, P.
 »ColSim – a New Simulation Environment for Complex System Analysis and Controllers«, Proceedings Building Simulation 2001, Rio de Janeiro, Brasil, 13.8-15.8.2001, 237
- Wittwer, V.; Graf, W.; Georg, A.
 »Gaschromic Glazing with a Large Dynamic Range in Total Energy Transmittance«, Proceedings 7th International Conference on Architectural and Automotive Glass, Tampere, Finland, 18.-21.6.2001, 725-728
- Wolkenhauer, H.¹; Henning, H.-M.; Franzke, U.²
 »Systemkomponenten der solaren Klimatisierung – Teil 1«, in: Heizung, Lüftung/ Klima, Haustechnik HLH (10/2001), 26-39
 (1: Klimahaus GmbH, Hamburg)
 (2: Institut für Luft- und Kälte- technik, Dresden)
- Wolkenhauer, H.¹; Henning, H.-M.; Franzke, U.²
 »Systemkomponenten der solaren Klimatisierung – Teil 2«, in: Heizung, Lüftung/ Klima, Haustechnik HLH (11/2001), im Druck
 (1: Klimahaus GmbH, Hamburg)
 (2: Institut für Luft- und Kälte- technik, Dresden)
- Würfel, U.¹; Wagner, J.¹; Ferber, J.¹; Luther, J.
 »PEDT, a Solid – Hole-Conducting Polymer in Dye Solar Cells«, European Material Research Society, Spring Meeting, Strasbourg, France, 5.-8.6.2001
 (1: Freiburger Materialforschungs- zentrum FMF, Freiburg)
- Zenker, M.; Heinzel, A.; Stollwerck, G.; Ferber, J.; Luther, J.
 »Efficiency and Power Density Potential of Combustion-Driven Thermophotovoltaic Systems Using GaSb Photovoltaic Cells«, in: Electronic Devices, Vol. 48 (2/2001), 367-376
- Fakten im Überblick
 Zerres, T.; Ballif, Chr.; Borchert, D.; Peters, S.
 »High Speed Mapping of Sheet Resistance on Large Area Wafers: the Fakir System«, Proceedings 17th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, München, 22.-26.10.2001, im Druck

Abkürzungen

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

Die Fraunhofer-Gesellschaft ist die führende Trägerorganisation für Einrichtungen der angewandten Forschung in Europa. Sie betreibt Vertragsforschung für die Industrie, für Dienstleistungsunternehmen und die öffentliche Hand. Für Kunden aus der Wirtschaft werden einsatzreife Lösungen technischer und organisatorischer Probleme rasch und kostengünstig erarbeitet.

Eine weitere wichtige Aufgabe der Fraunhofer-Gesellschaft ist die strategische Forschung: 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 Schlüsseltechnologien beitragen. Dazu gehören die Forschungsgebiete Kommunikation, Energie, Mikroelektronik, Produktion, Verkehr und Umwelt.

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

Die Fraunhofer-Gesellschaft betreibt derzeit 56 Forschungseinrichtungen an Standorten in der gesamten Bundesrepublik. Rund 11 000 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, überwiegend mit natur- oder ingenieurwissenschaftlicher Ausbildung, bearbeiten das jährliche Forschungsvolumen von über 900 Millionen €. Davon fallen mehr als 800 Millionen € auf den Leistungsbereich Vertragsforschung.

Ihren Namen verdankt die Gesellschaft dem als Forscher, Erfinder und Unternehmer gleichermaßen erfolgreichen Münchner Gelehrten Joseph von Fraunhofer (1787-1826).

Informationen zur Fraunhofer-Gesellschaft und ihren Forschungseinrichtungen erhalten Sie bei:

Fraunhofer-Gesellschaft
Presse- und Öffentlichkeitsarbeit
Postfach 19 03 39
D-80603 München
Telefon +49 (0) 89/12 05-3 54
Telefax +49 (0) 89/12 05-3 17
www.fhg.de

Redaktion

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

Solar Consulting, Freiburg
Dr. Klaus Heidler

Gestaltung

netsyn GbR
Hoffmann & Würger,
Freiburg

Druck

Furtwängler, Denzlingen

Anschrift der Redaktion

Fraunhofer-Institut für
Solare Energiesysteme ISE
Presse und Public Relations
Heidenhofstraße 2
D-79110 Freiburg
Telefon +49 (0) 7 61/45 88-51 50
Telefax +49 (0) 7 61/45 88-93 42
www.ise.fhg.de

Bestellung von Publikationen

Bitte schriftlich oder per Fax

Bei Abdruck ist die Einwilligung der Redaktion erforderlich.

©Fraunhofer-Institut für
Solare Energiesysteme ISE
Freiburg 2002

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
www.ise.fhg.de



Impressionen aus dem Fraunhofer ISE Neubau