



Fraunhofer

ISE

FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR SOLARE ENERGIESYSTEME ISE



JAHRESBERICHT
2009

Titelfoto:

Blick in den Eingangsbereich des Fraunhofer ISE in Freiburg. Das Atrium wird von einem Sheddach mit einer 7,5 kW_p Solarstromanlage überdacht. Mehr als 200 m² Photovoltaikmodule sind in Dach- und Fassadenelemente integriert und unterstützen die Stromversorgung des Instituts. Das Energiekonzept des Gebäudes setzt auf Energieeinsparung und effiziente Energieversorgung (© Bernd Lammel, Berlin).

VORWORT



Das Jahr 2009 war von der größten globalen Finanz- und Wirtschaftskrise seit 70 Jahren gekennzeichnet. Trotz der damit verbundenen kurzfristigen Entlastung der Energieversorgung und -preise ist weltweit die Bedeutung eines globalen Wandels bei der Energieerzeugung und -verwendung weiter gestiegen. Auch die neue deutsche Bundesregierung hat sich eindeutig zu den erneuerbaren Energien bekannt, im Koalitionsvertrag ist das Ziel festgeschrieben, »dass die erneuerbaren Energien den Hauptteil an der Energieversorgung übernehmen«. Dies wird sich hoffentlich im Energiekonzept und im 6. Energieforschungsprogramm niederschlagen, die beide im Jahr 2010 erarbeitet und verabschiedet werden sollen. Es bleibt das Ziel, schnellstmöglich die Energieeffizienz in Gebäuden, Verkehr und Produktion deutlich zu erhöhen und die noch benötigte Energie aus regenerativen Quellen bereit zu stellen.

Das Fraunhofer ISE ist bestens aufgestellt, um dieser Herausforderung zu begegnen. Unser Institut bietet ein breites Spektrum innovativer Technologien in diesen Bereichen an: Gebäude (»Zero Energy House«), Verkehr (»E-Mobility«) und Verteilsysteme (»Smart Grids«), solare Strom- und Wärmege- winnung (Photovoltaik/Solarthermie) sowie Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie. Durch die Innovationskraft und den unermüdlichen Einsatz unserer über 900 Mitarbeiter ist es auch unter den aktuellen wirtschaftlichen und politischen Rahmenbedingungen gelungen, den Betriebshaushalt 2009 um 17 Prozent auf mehr als 47 Mio. Euro (55 Mio. mit Investitionen), zu steigern. Einen nicht unwesentlichen Anteil an diesem erfreulichen Ergebnis hatte unsere erfolgreiche Teilnahme an den 2009 lancierten Konjunkturpaketen der Bundesregierung.

Nach 28jähriger wissenschaftlicher Laufbahn bei Fraunhofer haben wir im Juni 2009 unseren stellvertretenden Institutsleiter Prof. Volker Wittwer in den Ruhestand verabschiedet. Wir freuen uns, dass er dem Fraunhofer ISE auch in Zukunft beratend zur Seite steht. Mit Dr. Andreas Bett, Materialien – Solarzellen und Technologie, und Dr. Hans-Martin Henning, Thermische Anlagen und Gebäudetechnik, haben zwei erfahrene Abteilungsleiter als stellvertretende Institutsleiter seine Nachfolge angetreten.

Gerhard Stryi-Hipp hat mit seinem Start am Fraunhofer ISE 2009 gleich zwei Funktionen übernommen. Er ist als Leiter der Gruppe »Thermische Kollektoren und Anwendungen« und erstmals als Leiter »Energiepolitik« im Bereich der nationalen und internationalen Politikberatung für uns tätig.

Unser neu gegründetes Geschäftsfeld »Solarthermie« verantwortet Dr. Werner Platzer. Er ist bereits seit 2008 Leiter der Abteilung »Materialforschung und Angewandte Optik«. Durch die Ernennung von Teamleitern innerhalb der Gruppenstruktur des Instituts ermöglichen wir es nun unseren jungen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern, bereits früh Personalverantwortung für die Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen ihres Teams zu übernehmen.

Eine ganz besondere Ehre wurde unserem Institutsgründer Prof. Adolf Goetzberger zuteil. Das Europäische Patentamt zeichnete ihn für sein Lebenswerk aus. Im Rahmen einer feierlichen Verleihung im Prager Hradschin erhielt er den Preis »Inventor of the Year 2009«.

Auf der 24th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition wurde Dr. Andreas Bett, Abteilungsleiter »Materialien – Solarzellen und Technologie« und stellvertretender Institutsleiter, der Becquerel-Preis verliehen. Mit dieser hochrangigen Auszeichnung wurde er von der EU-Kommission für seine Pionierarbeit bei der Entwicklung der Photovoltaik-Konzentrator-technologie geehrt.

Mit der Entwicklung von Micronal[®] PCM, einem mikroverkapselten Latentwärmespeicher für Baumaterialien, waren Prof. Volker Wittwer und Dr. Peter Schossig gemeinsam mit Dr. Ekkehard Jahns (BASF) unter den drei Finalisten für den Deutschen Zukunftspreis 2009. Die Grundlage ihrer Innovation bilden mikroverkapselte Latentwärmespeicher oder Phasenwechselmaterialien (PCM), die in Baumaterialien eingesetzt werden können. Sie haben die Fähigkeit, Wärmenergie aus der Umgebung aufzunehmen und bei Bedarf wieder abzugeben, um so die Raumtemperatur zu stabilisieren.

Auch in unseren Forschungsabteilungen gab es wieder herausragende Ergebnisse und Zahlen zu vermelden: Für III-V-Mehrfachsolarzellen auf Germanium-Substrat hatten wir Anfang 2009 einen neuen Weltrekord-Wirkungsgrad aufgestellt. Dr. Andreas Bett und Dr. Frank Dimroth sowie ihre Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter haben für die Umwandlung von Sonnenlicht in elektrischen Strom erstmals einen Wirkungsgrad von 41,1 % erzielt. Hierzu wurde das Sonnenlicht 450fach auf eine 5 mm² kleine Zelle konzentriert.

Mit 99,03 Prozent Weltrekordwirkungsgrad bei PV-Wechselrichtern mit Siliciumcarbid haben wir unseren bisherigen Weltrekord erneut überboten. Durch neue Bauelemente und verbesserte Schalttechnik konnte das Team um Prof. Bruno Burger die Verluste gegenüber der eigenen Bestleistung um ein weiteres Drittel reduzieren.

Daniel Biro, Stefan Reber und Roland Schindler erhielten 2009 Exzellenzzulagen der Fraunhofer-Gesellschaft für ihre besondere wissenschaftliche Arbeit.

Auch unsere nationalen und internationalen Standorte, Ausgründungen und Kooperationen konnten wir in diesem Jahr mit Erfolg weiterführen und ausbauen: Unsere deutschen Außenstandorte, das Labor- und Servicecenter LSC in Gelsenkirchen, das Fraunhofer-Center für Silizium-Photovoltaik CSP in Halle, das gemeinsam mit dem Fraunhofer-Institut für Werkstoffmechanik IWM gegründet wurde, sowie das Technologiezentrum Halbleitermaterialien THM in Freiberg haben ihre Arbeit erfolgreich fortgesetzt und ausgebaut.

Im Februar 2009 konnte das Fraunhofer ISE mit »SolarSpring« ein weiteres Spin-off ausgründen. Das Unternehmen wird solarbetriebene Wasseraufbereitungsanlagen für dezentrale Anwendungen produzieren und in den Markt bringen. Die am Fraunhofer ISE entwickelten Anlagen zur Membrandestillation werden z. B. für die Meer- und Brackwasserentsalzung eingesetzt.

Zusammen mit dem Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI in Karlsruhe haben wir die Forschungsgruppe »Renewable Energy Innovation Policy« gegründet, deren Freiburger Teil von Dr. Thomas Schlegl geleitet wird. Ziel dieser Zusammenarbeit ist es, Technologieentwicklung und angewandte Forschung mit ökonomischer Systemanalyse und Innovationsforschung zu verknüpfen.

Unser TestLab Solar Thermal Systems konnte 2009 deutlich ausgebaut werden und verfügt nun über noch umfangreichere Mess- und Testeinrichtungen für Solarkollektoren – darunter mehrere neue Tracker und ein neuer Hagelschlagteststand. Mit Unterstützung des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) haben wir das Photovoltaik Modul-Technologiecenter (MTC) aufgebaut. Die neue Plattform bietet eine einzigartige Palette an experimentellen und analytischen Methoden und schafft so eine Brücke zwischen Laborentwicklung und industrieller Produktionstechnologie.

Das Fraunhofer Center for Sustainable Energy Systems CSE in Boston weihte mit zahlreichen Gästen, darunter der deutsche Botschafter Klaus Scharioth, sein Labor für PV-Module ein. Forscher des Fraunhofer ISE arbeiten dort seit 2008 eng mit Wissenschaftlern des Fraunhofer CSE sowie des amerikanischen Massachusetts Institute of Technology MIT zusammen, um in Europa etabliertes Fachwissen und Technologien im schnell wachsenden amerikanischen Markt für erneuerbare Energien anzubieten.

Auf internationaler Ebene haben wir gemeinsam mit dem VDE Institut und dem Solar Energy Research Institute of Singapore SERIS das erste Test- und Zertifizierungszentrum für Solarmodule in Südostasien gegründet. Das »VDE-ISE Pte. Ltd. – New Energy Technology (NET)« bietet ein breites Spektrum an, von der Zertifizierung für Solarmodule und Modulkomponenten nach internationalen Standards bis hin zu Lebenszeit- und Leistungsmessungen sowie Sicherheitstests.

Für die Fraunhofer-Gesellschaft konnte ich im Frühjahr ein Memorandum of Understanding mit der Leitung des Projekts »Masdar City« unterzeichnen. Unser Institut wird zusammen mit den Fraunhofer-Instituten für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO und für Bauphysik IBP den Aufbau der ökologischen, energieautarken Musterstadt in Abu Dhabi begleiten. Die Beratung und Unterstützung in den Bereichen nachhaltige Stadtentwicklung und Gebäudeplanung sowie photovoltaische Systeme stehen bei der Zusammenarbeit im Vordergrund.

An dieser Stelle sei noch ein Hinweis auf kommende Veranstaltungen erlaubt: Wir werden 2010 die internationale Kongressreihe »Solar Summits« fortsetzen. Die wissenschaftliche Konferenz widmet sich diesmal dem Thema »Solar Mobility – Fuel Cells and Energy Supply for Sustainable Electromobility«. Wissenschaftler und Unternehmer aus der ganzen Welt laden wir dazu herzlich ein.

Auch auf dem Gebiet der Konzentrator-technologie wird es 2010 in Freiburg eine wissenschaftlich hochkarätige Veranstaltung geben. Die »International Conference on Concentrating Photovoltaic Systems (CPV-6)« findet bereits vom 7.–9. April 2010 ebenfalls in Freiburg statt. Mehr als 120 Wissenschaftler aus 22 Ländern werden über den Stand der Technik berichten. Begleitend zur Konferenz werden erstmals Industrieunternehmen über Marktdaten und Produkte informieren. Wir freuen uns, Sie zu diesen Veranstaltungen in Freiburg willkommen zu heißen.

Außerdem startet im Sommersemester 2010 erstmals der Studiengang »Master Online Photovoltaics«. Ziel ist die berufsbegleitende Aus- und Weiterbildung von Fachkräften für den Photovoltaikmarkt. Das Fraunhofer ISE ist maßgeblich an der Einrichtung und Durchführung des Studiengangs an der Universität Freiburg beteiligt (www.pv-master.com).

Meinen Rückblick auf das Jahr 2009 und kurzen Ausblick auf das Jahr 2010 möchte ich mit einem ausdrücklichen Dank schließen. Dieser gilt unseren Kuratoren und Stipendiengebern, unseren Ansprechpartnern in den Ministerien auf Bundes- und Länderebene sowie bei den Projektträgern, und ganz besonders unseren Projektpartnern in der Industrie. Sie haben uns durch ihre kontinuierliche Förderung und eine vertrauensvolle Zusammenarbeit in diesem wie auch in den vergangenen Jahren maßgeblich unterstützt und so die erfreuliche, weitere Entwicklung unseres Instituts ermöglicht.



INHALTSVERZEICHNIS

- 6 Organisationsstruktur
 - 8 Das Institut im Profil
 - 10 FuE-Höhepunkte des Jahres 2009
 - 12 Ehrungen und Preise
 - 14 Kuratorium
-
- 16 ENERGIEEFFIZIENTE GEBÄUDE UND GEBÄUDETECHNIK**
 - 20 Freibewitterung von PV-Modulen in extremen Klimaten
 - 21 Alterungsuntersuchung und Charakterisierung von Polymeren
 - 22 PV-Potenzial als Standortvorteil
 - 23 Aktive Solarfassaden
 - 24 Transmission von eisenarmen, strukturierten Solargläsern
 - 25 Zyklenstabilität von Sorptionsmaterialien
 - 26 Monitoring von Anlagen zur solaren Kühlung
 - 27 Wärmeträgerflüssigkeiten mit Phasenwechselmaterialien
 - 28 Konzeption eines Nullenergiegebäudes für die Stadt Seoul
 - 29 Haus der Zukunft – Das Solar Aktivhaus Sonnenkraft in Regensburg
 - 30 Monitoring von Wärmepumpen – 180 Anlagen im Feldtest
 - 31 Kostengünstige Fehlererkennung im Gebäudebetrieb
-
- 32 ANGEWANDTE OPTIK UND FUNKTIONALE OBERFLÄCHEN**
 - 36 Maßgeschneiderte optische Diffusoren auf großen Flächen
 - 38 Charakterisierung von Fresnellinsen für die konzentrierende Photovoltaik
 - 39 Transparente Elektroden auf Basis dünner Silberschichten
-
- 40 SOLARTHERMIE**
 - 44 Designoptimierung von Parabolrinnenkollektoren
 - 45 Auslegungsoptimierung von solarthermischen Kraftwerken
 - 46 Solarthermische Meerwasserentsalzung
 - 47 Niedertemperatur-Prozesswärme mit RefleC-Konzept
-
- 48 SILICIUM-PHOTOVOLTAIK**
 - 52 Kristallisation und Analyse neuer Feedstock-Materialien
 - 53 Lumineszenzbasierte Qualitätskontrolle von Wafern
 - 54 Verteilung metallischer Verunreinigungen in Silicium: ortsaufgelöste Detektion und Simulation
 - 56 Entwicklung und Analytik nasschemischer Prozesse
 - 57 Siebdgedruckte EWT-Solarzellen
 - 58 Epitaxy-Wrap-Through: Unser Konzept für Rückseitenkontakt-Waferäquivalent-Solarzellen
 - 59 Metal Wrap Through-Solarzellen für niederkonzentrierende Systeme
 - 60 Industriennahe n-Typ Siliciumsolarzellen mit Aluminium-Emitter
 - 61 Industrielle Solarzellen mit passivierter und lokal kontaktierter Rückseite
 - 62 Rückseitenmetallisierung mit dielektrischer Passivierung
 - 63 Atomic Layer Deposition (ALD): Passivierung p-Typ dotierter Oberflächen
 - 64 Hochpassivierendes PECVD-Aluminiumoxid
 - 65 Höchsteffiziente Siliciumsolarzellen mit nickelplatierten Kontakten
 - 66 Laser Chemical Processing (LCP): Selektive Emitterstrukturen für Solarzellen
 - 67 Silicium-Heterosolarzellen für die industrielle Produktion
 - 68 Aufbau des Photovoltaik Modul-Technologiecenters
 - 69 Entwicklung einer Modultechnologie für Rückkontakt-Zellen

70 ALTERNATIVE PHOTOVOLTAIK-TECHNOLOGIEN

- 74** Effizienzsteigerung und Aufskalierung organischer Solarzellen
- 75** Module und Fertigungstechnologien für die konzentrierende Photovoltaik
- 76** Hocheffiziente Mehrfach-Solarzellen aus III-V-Halbleitern

78 REGENERATIVE STROMVERSORGUNG

- 82** Integration von Elektrofahrzeugen in die Stromnetze der Zukunft
- 83** Innovative Batteriespeichersysteme für die Elektromobilität
- 84** Bidirektionale Ladegeräte für Elektrofahrzeuge
- 85** Entwicklung einer Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge
- 86** Ländliche Elektrifizierung: nachhaltige Programme in Südostasien
- 87** Ländliche Elektrifizierung: Mitarbeitertrainings
- 88** Zustandsbestimmung bei Lithium-Ionen-Batterien
- 89** Höchste Wirkungsgrade bei PV-Wechselrichtern mit SiC-Transistoren
- 90** CallLab PV Modules belegt Spitzenplatz im Rundvergleich
- 91** Monitoring von PV-Anlagen: Wie gut sind unsere Ertragsgutachten?
- 92** Betriebsführung von KWK-Anlagen in der E-Energy-Modellregion Cuxhaven
- 93** Dezentrales Energie-/Netzmanagement mit flexiblen Stromtarifen

94 WASSERSTOFFTECHNOLOGIE

- 98** Mini-LPG-Reformer für ein 100 W_{el}-SOFC-System zur mobilen Energieversorgung
- 99** Bioethanol-Reformer mit Hochtemperatur-Polymer-Elektrolyt-Membran-Brennstoffzelle
- 100** Innovative Lösungsansätze mit Monoelektrolyt-Brennstoffzellen
- 102** Eine Elektronik für viele Brennstoffzellen
- 103** Biomasse-Vergasung zur Erzeugung eines teerfreien Synthesegases
- 104** Alternative Wasserstoffquelle für portable Brennstoffzellensysteme
- 105** Vanadium-Redoxflow-Batterien für dezentrale Anwendungen

106 SERVICEBEREICHE

- 110** Kapazitäten für Tests von PV-Modulen ausgebaut
- 111** Qualitätssicherung von PV-Kraftwerken
- 112** Vermessung von Fassaden und transparenten Bauteilen
- 114** Kalibrierung von PV- und Konzentratormodulen
- 115** Kalibrieren von Solarzellen nach internationalen Standards
- 116** Charakterisierung und Tests von Batterien und Batteriesystemen
- 117** Erweiterung der Testkapazitäten für Wärmepumpen
- 118** Prüfen von Sonnenkollektoren und Komplettsystemen
- 120** Gastwissenschaftler
- 121** Mitarbeit in Gremien
- 123** Messen
- 124** Kongresse, Tagungen und Seminare
- 125** Promotionen
- 126** Vorlesungen und Seminare
- 128** Patente
- 130** Reviewed Journals
- 135** Bücher und Beiträge zu Büchern
- 137** Vorträge



ORGANISATIONSTRUKTUR

Die Organisationsstruktur des Fraunhofer-Instituts für Solare Energiesysteme ISE basiert auf zwei parallel verlaufenden, sich wechselseitig ergänzenden Komponenten: den wissenschaftlichen Abteilungen und den Geschäftsfeldern. Die wissenschaftlichen Abteilungen des Instituts sind für die Forschung und Entwicklung (FuE) in den Labors, die Projektarbeit und die konkrete Arbeitsorganisation entscheidend. Der Großteil der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter aus den Bereichen Wissenschaft und Technik ist in den wissenschaftlichen Abteilungen tätig. Die Außendarstellung unseres Instituts, unsere Marketingaktivitäten im Bereich FuE und vor allem unsere Strategieplanung orientieren sich an den sieben Geschäftsfeldern, die die inhaltlichen Schwerpunkte unserer Forschungstätigkeiten widerspiegeln.



Eicke R. Weber

Hans-Martin Henning

Christopher Hebling

Günther Ebert

Werner Platzer

Holger Schroeter

INSTITUTSLEITUNG

Prof. Dr. Eicke R. Weber +49 761 4588-5121

STELLVERTRETENDE INSTITUTSLEITUNG

Dr. Andreas Bett +49 761 4588-5257

Dr. Hans-Martin Henning +49 761 4588-5134

WISSENSCHAFTLICHE ABTEILUNGEN

Elektrische Energiesysteme

Dr. Günther Ebert +49 761 4588-5229

Energietechnik

Dr. Christopher Hebling +49 761 4588-5195

Materialforschung und Angewandte Optik

Dr. Werner Platzer +49 761 4588-5983

Materialien – Solarzellen und Technologie

Dr. Andreas Bett +49 761 4588-5257

PV-Produktionstechnologie und Qualitätssicherung

Dr. Ralf Preu +49 761 4588-5260

Siliciumsolarzellen – Entwicklung und Charakterisierung

Dr. Stefan Glunz +49 761 4588-5191

Thermische Anlagen und Gebäudetechnik

Dr. Hans-Martin Henning +49 761 4588-5134

KAUFMÄNNISCHER DIREKTOR

Dr. Holger Schroeter +49 761 4588-5668

PRESSE UND PUBLIC RELATIONS

Karin Schneider M.A. +49 761 4588-5147

STRATEGIEPLANUNG

Dr. Thomas Schlegl +49 761 4588-5473

ENERGIEPOLITIK

Dipl.-Phys. Gerhard Stryi-Hipp +49 761 4588-5686

DAS INSTITUT IM PROFIL

Kurzportrait

Das Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE setzt sich für ein nachhaltiges, wirtschaftliches, sicheres und sozial gerechtes Energieversorgungssystem ein. Es schafft technische Voraussetzungen für eine effiziente und umweltfreundliche Energieversorgung, sowohl in Industrie- als auch in Schwellen- und Entwicklungsländern. Hierzu entwickelt das Institut Materialien, Komponenten, Systeme und Verfahren in den Geschäftsfeldern: Energieeffiziente Gebäude und Gebäudetechnik, Angewandte Optik und funktionale Oberflächen, Solarthermie, Silicium-Photovoltaik, Alternative Photovoltaik-Technologien, Regenerative Stromversorgung und Wasserstofftechnologie. Über die Grundlagenforschung hinaus beschäftigt sich das Institut mit der Entwicklung von Produktionstechniken und Prototypen sowie der Ausführung von Demonstrationsanlagen und dem Betrieb von Testzentren. Das Institut plant, berät, prüft und stellt Know-how und technische Ausrüstung für Dienstleistungen zur Verfügung. Seit März 2001 ist das Fraunhofer ISE nach DIN EN ISO 9001:2000 zertifiziert.

Forschungs- und Dienstleistungsangebot

Das Fraunhofer ISE ist Mitglied der Fraunhofer-Gesellschaft, die sich als Mittler zwischen universitärer Grundlagenforschung und industrieller Praxis versteht und anwendungsorientierte Forschung zum Nutzen der Wirtschaft und zum Vorteil der Gesellschaft betreibt. Das Fraunhofer ISE finanziert sich zu über 90 Prozent durch Aufträge in den Bereichen angewandte Forschung, Entwicklung und Hochtechnologie-Dienstleistungen. Kennzeichnend für seine Arbeitsweise sind der Praxisbezug und die Orientierung am Kunden. Das Institut ist in nationale und internationale Kooperationen eingebunden, es ist u. a. Mitglied des Forschungsverbands Erneuerbare Energien (FVEE) und der European Renewable Energy Research Centres (EUREC) Agency. Das Institut kann auf die Kompetenz anderer Fraunhofer-Institute zurückgreifen und so interdisziplinäre Komplettlösungen erarbeiten.

Vernetzung Fraunhofer-Gesellschaft

- Mitglied der Fraunhofer-Allianzen Bau, Energie, Nanotechnologie, Optic Surfaces und SysWasser
- Mitglied der Fraunhofer Systemforschung Elektromobilität
- Mitglied im Fraunhofer-Themenverbund »Werkstoffe, Bauteile« (Materialforschung)
- Gastmitglied im Fraunhofer-Themenverbund »Oberflächentechnik und Photonik«
- Koordination des Fraunhofer-Innovationsthemas Mikroenergie-technik im Rahmen der »Perspektiven für Zukunftsmärkte«

Internationale Auftraggeber und Kooperationspartner

Das Fraunhofer ISE arbeitet seit Jahren mit internationalen Kooperationspartnern und Auftraggebern erfolgreich zusammen. Eine Auflistung unserer Partner im In- und Ausland finden Sie unter www.ise.fraunhofer.de/ueber-uns/partner.

Außenstandorte und Kooperationen

Das seit 2000 bestehende Labor- und Servicecenter LSC in Gelsenkirchen ist über die Landesgrenzen von NRW hinaus Partner für die Photovoltaik-Industrie. Solarzellenhersteller nutzen die Dienstleistung des LSC für die Qualitätskontrolle ihrer Produktion ebenso wie für kurzfristige Problemlösungen in der Prozesslinie. Das Angebot des Labors umfasst die Simulation und Optimierung von Durchlaufprozessen, die Entwicklung neuer Prozesse und Strukturen für Solarzellen sowie die Erforschung großflächiger Heterosolarzellen aus amorphem und kristallinem Silicium. Das LSC Gelsenkirchen führt auch Trainings im Bereich Charakterisierungsverfahren und Solarzellentechnologie durch.

Das 2007 gegründete Fraunhofer-Center für Silizium-Photovoltaik CSP in Halle/Saale wird gemeinsam von den Fraunhofer-Instituten für Werkstoffmechanik IWM, Freiburg und Halle, und dem Fraunhofer ISE betrieben. Im Kristallisations- und Materialanalysezentrum am Standort Halle wird gemeinsam mit Industriepartnern gezielt Forschung und

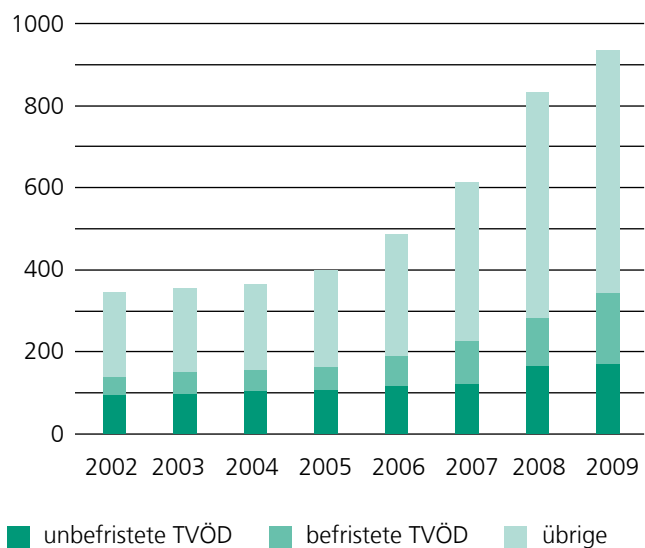
Entwicklung zu Siliciummaterial durchgeführt. Darüber hinaus werden Konzepte für Dünnschichttechnologien und Modulintegration entwickelt. Der vom Fraunhofer CSP koordinierte Spitzenclusterantrag »Solarvalley Mitteldeutschland«, ein Verbund aus etwa 40 Partnern aus Industrie, Forschung und Bildung, gehörte 2008 zu den fünf Gewinnern in einem vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) ausgeschrieben deutschlandweiten Wettbewerb. In den nächsten fünf Jahren soll mit dem Ziel der Netzparität 2015 gemeinsam geforscht werden.

Das 2008 neu gegründete Fraunhofer Center for Sustainable Energy Systems CSE in Boston trägt dazu bei, in Europa etabliertes Know-how und Technologien im Bereich erneuerbarer Energien für den amerikanischen Markt weiterzuentwickeln und dort einzuführen. Schwerpunkte der Aktivitäten sind die Solartechnik und das energieeffiziente Bauen. Die Arbeiten erfolgen in enger Kooperation der Forscher des Fraunhofer ISE mit Wissenschaftlern des Fraunhofer CSE sowie des amerikanischen Massachusetts Institute of Technology MIT.

Das Technologiezentrum Halbleitermaterialien THM in Freiberg, Sachsen, ist eine Kooperation des Fraunhofer ISE mit dem Fraunhofer-Institut für Integrierte Systeme und Bauelementetechnologie IISB, Erlangen. Das THM unterstützt Firmen bei der Forschung und Entwicklung zur Materialpräparation und -bearbeitung für 300-mm-Silicium, Solarsilicium und III-V-Halbleiter. Darüber hinaus bietet es Dienstleistungen für die laufende Produktion der Industriepartner im Bereich Analytik, Charakterisierung und Test an.

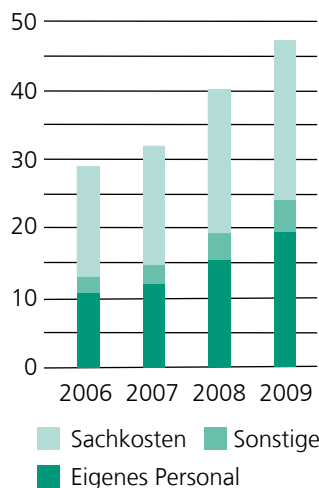
Die Finanzstruktur der Fraunhofer-Gesellschaft unterscheidet zwischen dem Betriebs- und dem Investitionshaushalt. Der Betriebshaushalt umfasst alle Personal- und Sachaufwendungen sowie deren Finanzierung durch externe Erträge und institutionelle Förderung. Zusätzlich zu den in der Grafik angegebenen Ausgaben tätigte das Institut im Jahr 2009 Investitionen in Höhe von 7,7 Mio € (ohne Bauinvestitionen und Konjunkturprogramme).

Personal

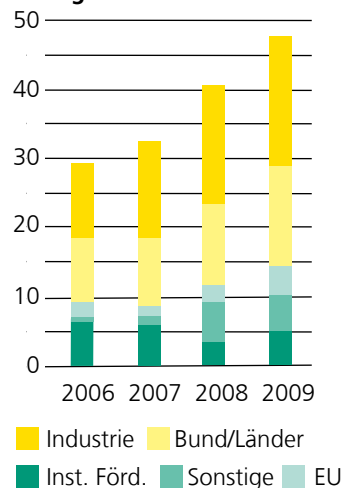


Am 31.12.2009 waren am Fraunhofer ISE insgesamt 936 Mitarbeiter beschäftigt. Davon unterstützen 99 Doktoranden, 112 Diplomanden, 53 Praktikanten, 5 Auszubildende, 229 wissenschaftliche Hilfskräfte sowie weitere 93 Mitarbeiter (z. B. Gastwissenschaftler) die Arbeit in den Forschungsprojekten und tragen wesentlich zu den wissenschaftlichen Ergebnissen bei. Das Fraunhofer ISE leistet auf diese Weise einen wichtigen Beitrag zur Ausbildung von Forschern in diesem wichtigen Arbeitsgebiet.

Kosten Mio €



Erträge Mio €



FuE-HÖHEPUNKTE DES JAHRES 2009

ENERGIEEFFIZIENTE GEBÄUDE UND GEBÄUDETECHNIK

- Start des Wärmepumpenmonitoringprojekts »WP Monitor« mit Wärmepumpenherstellern und Energieversorgern
- Erfolgreiche Demonstration der ausgereiften gaschromen Systemtechnologie
- Leistungsfähige Werkzeuge zur Betriebsdiagnose und Analyse der Betriebsführung von Gebäuden
- Leistungsfähige Verbundmaterialien – Zeolith-Metallschwamm für kompakte Adsorptions-Wärmepumpen
- Energiekonzept für Plusenergie-Einfamilienhaus der Firma »Sonnenkraft«
- Anlage zur Untersuchung der Stabilität von Adsorbens-Metall
- Simulationsverfahren zur Identifikation relevanter Wärme- und Stofftransportparameter (Diffusion, Wärmeleitfähigkeit, Wärmeübergang) von Adsorbens-Metall-Kompositen
- Dynamisches Tageslicht-Blendungsbewertungsverfahren entwickelt und validiert
- Bestimmung des Solarenergiepotenzials von Dachflächen anhand von Laser-Scan-Daten

ANGEWANDTE OPTIK UND FUNKTIONALE OBERFLÄCHEN

- Projektionsschirme für 3D-Displays mit 50" Bild diagonale durch Interferenzlithographie hergestellt
- Erstmals aktive Phasenstabilisierung für Interferenzlithographie mit drei Wellen realisiert
- Entwicklung von kostengünstigen transparenten Elektroden auf Silberbasis

SOLARTHERMIE

- Dynamische Wirkungsgradmessung für CSP-Kollektoren ermöglicht Bestimmung der Winkelabhängigkeit des optischen Wirkungsgrads
- Entwicklung eines techno-ökonomischen Optimierungsmodells für solarthermische Kraftwerke mit detaillierter gekoppelter Simulation von Solarfeld und Kraftwerkblock
- Neuer Solarkollektor mit statischem Reflektor für hohe Effizienz bei Betriebstemperaturen >100 °C

- Verbesserter Photovoltaik-Thermie-Kollektor zur gleichzeitigen Erzeugung von Strom und Wärme
- Ermittlung eines Einsparpotenzials von solarer Kraft-Wärme-Kopplung im Inselbetrieb im Vergleich zum Einsatz großer Dieselgeneratoren
- Ausgründung der Firma »SolarSpring« im Bereich solarthermisch angetriebener Meerwasserentsalzungsanlagen auf Basis von Membrandestillation

SILICIUM-PHOTOVOLTAIK

- Erster multikristalliner Siliciumblock für Feedstock-Evaluation mit 15 kg Gewicht kristallisiert
- 17,1 % Wirkungsgrad für eine großflächige (156 x 156 mm²) MWT-Solarzelle aus multikristallinem Silicium auf PV-TEC Demonstrationsniveau
- 18,8 % Wirkungsgrad für eine siebgedruckte EWT-Solarzelle
- 20,6 % Wirkungsgrad für eine Solarzelle mit gedrucktem Vorder- und Rückseitenkontakt und Laser-Fired-Contacts
- 23,5 % Wirkungsgrad für eine n-Typ Siliciumsolarzelle mit vorderseitigem Bor-Emitter
- 18,2 % Wirkungsgrad für eine großflächige (148 cm²) n-Typ Solarzelle mit einem siebgedruckten Aluminium Rückseitenemitter
- 18,5 % Wirkungsgrad für eine a-SiC/c-Si-Heterosolarzelle auf p-Typ Silicium
- 20,6 % p-Typ Siliciumsolarzelle mit Kontakten aus abgeschiedenem Nickel (Ni-Plating+Ag-Galvanik) und laserablatierter Antireflexschicht
- Hochraten-PECVD-Abscheidung für hochpassivierendes Aluminiumoxid demonstriert
- MWT-Si-Konzentratorsolarzelle mit 18,6 % Wirkungsgrad für einen Konzentrationsfaktor (C) von 1 und 19,5 % bei C = 6
- Fluoreszenzkonzentratorsystem mit 6,9 % Wirkungsgrad
- Erstmals Erhöhung des Kurzschlussstroms einer Silicium-solarzelle durch eine Hochkonverterschicht bei Beleuchtung mit Weißlicht
- Erfolgreiche Demonstration eines randversiegelten laminatfreien PV-Moduls mit 16 Zellen

- Metallische Präzipitate als eine Ursache für Rückwärtsdurchbrüche in Siliciumsolarzellen identifiziert
- Aufbau des Photovoltaik Modul-Technologiecenter (MTC)

ALTERNATIVE PHOTOVOLTAIK-TECHNOLOGIEN

- 41,1 % Weltrekordwirkungsgrad für eine III-V-Konzentratorsolarzelle bei 454facher Sonneneinstrahlung
- 28,9 % für eine Multi-Quantum-Well GaAs-Solarzelle bei 297facher Sonneneinstrahlung
- 29,6 % Konzentration-Modulwirkungsgrad im realen Betrieb
- Indoor-Konzentratormodulmessplatz steht zur Verfügung
- 5,4 % Wirkungsgrad für organische Solarzelle
- 5 % Effizienz für glaslotversiegeltes Farbstoffsolarzellenmodul (30 cm x 30 cm) auf aktiver Fläche

REGENERATIVE STROMVERSORGUNG

- 99,03 % Weltrekordwirkungsgrad für PV-Wechselrichter mit Sperrschicht-Transistoren (JFETs) aus Siliciumcarbid der Firma »SemiSouth«
- Koordination des Fraunhofer-Verbundprojekts zur Entwicklung von innovativem Batteriesystem für Elektrofahrzeuge
- Zuverlässige Algorithmen zur Ladezustands- und Alterungsbestimmung von Lithiumbatterien entwickelt
- Konzepte zur nachhaltigen ländlichen Elektrifizierung in Südostasien auf Basis erneuerbarer Energien entwickelt
- Engagement im Bereich Elektromobilität: Potenzialermittlung für die Integration von Elektrofahrzeugen in Fahrzeugflotten; Entwicklung von intelligenten Steuerungskonzepten für ein ausgewogenes Last-, Speicher- und Erzeugungsmanagement
- Smart Metering-Konzept für Smart Grids: InnoNet-Verbundprojekt DEMAX (Dezentrales Energie- und Netz Management mit flexiblen Stromtarifen), innovatives Energiemanagement- und Kommunikationssystem, mit dem dezentrale Erzeuger und Lasten aus dem gewerblichen und privaten Bereich am Energiemarkt teilnehmen können

WASSERSTOFFTECHNOLOGIE

- Planare Brennstoffzelle in Multilayer-Keramik realisiert
- Reformer-Brennstoffzellen-System: Stromerzeugung aus Bioethanol
- HT-PEM-Brennstoffzellensystem bis 1 kW_{el} erfolgreich getestet
- Inbetriebnahme einer 50-Kanal-Impedanzmessanlage zur orts aufgelösten Charakterisierung von Brennstoffzellen
- Aufbau und Inbetriebnahme einer 1 kW Vanadium-Redox-Flow Batterie
- Erfolgreicher Betrieb eines kommerziellen Gasbrenners mit Heizöl-Dampf aus patentiertem Öl-Verdampfer
- Mobiles, vollautomatisches Reformer-Brennstoffzellen-System zur Stromerzeugung aus Bioethanol auf der Hannover Messe vorgestellt
- Flüssiggas-Reformer in ein mobiles Stromversorgungssystem mit einer Hochtemperatur-Brennstoffzelle (SOFC) integriert und betrieben

SERVICEBEREICHE

- CalLab PV Cells: Signifikant reduzierte Unsicherheitsangaben für die Kalibrierung von Solarzellen nach Erteilung der Akkreditierung als Kalibrierlabor gemäß ISO 17025 beim Deutschen Kalibrierdienst (DKD)
- Ausbau Batterie-Prüflabor: Tests bis 250 KW möglich
- Inbetriebnahme eines weltweit modernen, hochgenauen Trackers (z. B. für IAM-Messungen an Solarkollektoren)
- Inbetriebnahme eines neuen Systemteststands für solarthermische Anlagen
- Neuer Hageltest für PV-Module und solarthermische Kollektoren
- Neuer mechanischer Lasttest für PV-Module
- Teststand auf Gran Canaria zur maritimen Bewitterung und Prüfung von PV-Modulen in Betrieb genommen
- Neue Prüfkammer zur gleichzeitigen Bewitterung von ganzen PV-Modulen und Kollektoren mit UV und hoher Feuchtigkeit bei hohen Temperaturen
- Hochempfindliche Testeinrichtung zur temperaturabhängigen Messung der Permeation von atmosphärischen Gasen (O₂, N₂, H₂O, CO₂, Ar) durch Barrierefolien

EHRUNGEN UND PREISE



Patrick Dupeyrat erhielt im Januar 2009 auf der 18th International Photovoltaic Science and Engineering Conference (PVSEC-18) in Kalkutta/Indien einen Poster Award. Titel seines Posters: »Analysis of a Hybrid PV-Thermal Collector Concept«.

Für das Projekt »Nano-Structured Electrodes for High Efficient Solar Hydrogen Production by Means of PEM Water Electrolysis« wurden **Sebastian Rau** und **Dr. Tom Smolinka**, sowie ihre Kollegen Roderick Fuentes und Prof. John Weidner im April 2009 mit dem E.ON Research Award 2008 der E.ON International Research Initiative ausgezeichnet.

Institutsgründer **Prof. Dr. Adolf Goetzberger** wurde im April 2009 vom Europäischen Patentamt für sein Lebenswerk geehrt. Im Rahmen der feierlichen Preisverleihung im Prager Hradschin wurde er mit dem Inventor of the Year ausgezeichnet.

Prof. Dr. Adolf Goetzberger und **Prof. Dr. Volker Wittwer** erhielten den Spirit of Energy. Mit der Auszeichnung wurden im Mai 2009 erstmals Wegbereiter der OTTI-Symposien Thermische Solarenergie geehrt.

Die Electrochemical Society ECS, San Francisco, verlieh **Prof. Dr. Eicke R. Weber** im Juni 2009 den Electronics and Photonics Division Award.

Marc Steiner wurde für seine Diplomarbeit »Minimierung von seriellen Widerstandsverlusten in III-V-Solarzellen mit Hilfe einer SPICE-Netzwerksimulation« ausgezeichnet. Anlässlich der Jahrestagung der Fraunhofer-Gesellschaft im Juni 2009 wurde ihm in München der 2. Hugo-Geiger-Preis verliehen.

Raymond Hoheisel erhielt im Juni 2009 auf der 34th IEEE PVSEC den Young Researcher Award für seinen Beitrag zum Thema »Analysis of Radiation Hardness of Rear-Surface Passivated Germanium Photovoltaic Cells«. Auf der gleichen Konferenz erhielt **Nicola Mingirulli** den Best Poster-Award im Bereich »Crystalline Silicon Technologies« für seinen Beitrag »Hot-Melt Inkjet as Masking Technology for Back-Contacted Cells«.

Auf dem European Fuel Cell Forum im Juni/Juli 2009 in Luzern wurden **Arno Bergmann, Timo Kurz** und **Dietmar Gerteisen** mit der Schönbein-Medaille in Bronze für ihr Poster zum Thema »Dynamic Modelling of CO Poisoning in PBT HTPEM Fuel Cells« ausgezeichnet.

Dr. Lisbeth Rochlitz, Timo Kurz und **Dr. Thomas Aicher** erhielten im Juli 2009 auf der 17th European Biomass Conference in Hamburg einen Poster Award. Titel ihres Posters: »Bio-Ethanol Reformer with HT-PEM Fuel Cell for Domestic Combined Heat and Power Generation«.

Im Rahmen der 24th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition ehrte die EU-Kommission **Dr. Andreas Bett**, Abteilungsleiter »Materialien – Solarzellen und Technologie« und stellvertretender Institutsleiter, mit dem Becquerel-Preis. Die hochrangige Auszeichnung wurde im September 2009 anlässlich der größten europäischen Photovoltaikkonferenz in Hamburg überreicht. Außerdem wurde anlässlich der 24th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition **Dr. Wilhelm Warta** mit dem Poster-Award im Themenbereich »Wafer-Based Silicon Solar Cells and Material Technology« ausgezeichnet. Titel seines Posters: »Precise Measurement of Solar Cell Performance in Production«.



2

Prof. Dr. Bruno Burger und **Dirk Kranzer** wurden im Rahmen der 24th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition der Solar Industry Award 2009 in der Kategorie »Industry Development« verliehen.

Im Oktober 2009 wurde Institutsleiter **Prof. Dr. Eicke R. Weber** zum Ehrenmitglied des IOFFE Physical-Technical Institute of the Russian Academy of Sciences in St. Petersburg ernannt.

Martin Keller wurde im Oktober 2009 der Kulturpreis Bayerns für seine Diplomarbeit zum Thema »Design der Oberflächentextur einer Dünnschichtsolarzelle mithilfe statistischer Versuchsplanung« verliehen.

Sebastian Burhenne erhielt im Oktober 2009 den IMTECH-Hermann-Rietschel-Preis. Seine Masterarbeit zum Thema »Simulationsmodelle zur Energieoptimierung des Gebäudebetriebs« belegte den dritten Platz.

Dr. Jan Wienold wurde im November 2009 von der Hochschulgemeinschaft für Lichttechnik an der Universität Karlsruhe für seine Dissertation »Daylight Glare in Offices« ausgezeichnet.

Benjamin Knödler erhielt im November 2009 den E.ON Westfalen Weser Energy Award 2009 für seine Diplomarbeit »Modellbasierte Ladezustandsbestimmung bei Lithium-Ionen Batterien mit Kalman-Filtern«.

Prof. Dr. Bruno Burger, Dirk Kranzer, Florian Reiners und **Christian Wilhelm** wurden im Dezember 2009 von Prof. Bullinger, dem Präsidenten der Fraunhofer-Gesellschaft, der Sonderpreis 2009 des Zukunftspreises der Stiftung Ewald Marquardt verliehen. Sie wurden in Donaueschingen für ihre Arbeit zum Thema »Kompakte Photovoltaik-Wechselrichter mit höchstem Wirkungsgrad« ausgezeichnet.

Karl-Anders Weiß wurde von der Zeitschrift »Desktop Engineering« im Rahmen der Change the World Challenge ausgezeichnet. Sein Beitrag mit dem Titel »New Solar Collector Materials Modeled with COMSOL Multiphysics« belegte im Dezember 2009 den zweiten Platz in der Kategorie »Simulations that Change the World«.

Steffen Jack belegte mit seiner Masterarbeit zum Thema »Simulationsgestützte Qualifizierung neuer Konzepte zur Gestaltung von thermischen Solarkollektoren auf Polymerbasis« den 2. Platz beim Tiburtius-Preis der Berliner Hochschulen.

Mit ihrer gemeinsamen Entwicklung von Micronal® PCM, dem mikroverkapselten Latentwärmespeicher für Baumaterialien, waren Fraunhofer ISE – **Prof. Dr. Volker Wittwer** und **Dr. Peter Schossig** – und BASF – Dr. Ekkehard Jahns – gemeinsam unter den drei Finalisten für den Deutschen Zukunftspreis 2009. Mit seinem Preis für Technik und Innovation würdigt der Bundespräsident Forscher und Entwickler, die ausgehend von exzellenter Forschung, neue Produkte erfolgreich auf den Weg in den Markt bringen.

1 *Adolf Goetzberger, Gewinner des »European Inventor of the Year« in der Kategorie Lebenswerk und Alison Brimelow, Präsidentin des Europäischen Patentamts (EPA) bei der Preisverleihung in Prag am 28.4.2009.*

2 *Verleihung des Becquerel-Preises auf der »24th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition«, Dr. Armin Räufer, Prof. Joachim Luther, Preisträger Dr. Andreas Bett, Prof. Adolf Goetzberger, Prof. Wolfram Wettling (v.l.n.r.).*

KURATORIUM

Das Kuratorium begutachtet die Forschungsprojekte und berät die Institutsleitung und den Vorstand der Fraunhofer-Gesellschaft bezüglich des Arbeitsprogramms des Fraunhofer ISE. Stand: 16.11.2009

VORSITZENDER

Dr. Hubert Aulich

PV Crystalox Solar GmbH, Erfurt

STELLVERTRETENDER VORSITZENDER

Dipl.-Ing. Helmut Jäger

Solvis GmbH & Co. KG, Braunschweig

MITGLIEDER

Ministerialrätin Susanne Ahmed

Ministerium für Wissenschaft, Forschung und Kunst
Baden-Württemberg, Stuttgart

Hans-Josef Fell

Mitglied des Deutschen Bundestags, Berlin

Ministerialrat Dr. Frank Güntert

Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg, Stuttgart

Peter Hertel

W.L. Gore & Associates GmbH, Putzbrunn/München

Prof. Thomas Herzog

Herzog + Partner GbR, München

Dr. Winfried Hoffmann

Applied Materials GmbH & Co. KG, Alzenau

Dipl.-Ing. Wilfried Jäger

VDE Prüf- und Zertifizierungsinstitut GmbH, Offenbach

Ministerialrat Dr. Knut Kübler

Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi),
Berlin

Dr. Ralf Lüdemann

Solar World Innovations GmbH, Freiberg

Dipl.-Volkswirt Joachim Nick-Leptin

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und
Reaktorsicherheit (BMU), Berlin

Klaus-Peter Pischke

Kreditanstalt für Wiederaufbau, Frankfurt

Dr. Klaus-Dieter Rasch

AZUR SPACE Solar Power GmbH, Heilbronn

Dr. Dietmar Roth

Roth & Rau AG, Hohenstein-Ernstthal

Ministerialrat Prof. Klaus Sachs

Ministerium für Innovation, Wissenschaft, Forschung und
Technologie des Landes NRW, Düsseldorf

Prof. Günter Schatz

Nano-Zentrum, Center of Competence for Technology
Transfer, Konstanz

Dipl.-Ing. Rainer Schild

Alpha-InnoTec GmbH, Kasendorf

Prof. Frithjof Staib

Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung
(ZSW), Stuttgart

Dr. Peter Wawer

Q-Cells SE, OT Thalheim, Bitterfeld-Wolfen

Karl Wollin

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF), Bonn

GESCHÄFTSFELDER

16 ENERGIEEFFIZIENTE GEBÄUDE
UND GEBÄUDETECHNIK

32 ANGEWANDTE OPTIK UND
FUNKTIONALE OBERFLÄCHEN

40 SOLARTHERMIE

48 SILICIUM-PHOTOVOLTAIK

70 ALTERNATIVE PHOTOVOLTAIK-
TECHNOLOGIEN

78 REGENERATIVE
STROMVERSORGUNG

94 WASSERSTOFFTECHNOLOGIE

106 SERVICEBEREICHE

EFFIZIENTES BAUEN MIT DER SONNE



ENERGIEEFFIZIENTE GEBÄUDE UND GEBÄUDETECHNIK

Gebäude sind heute Energieverbraucher. Die Schaffung eines angenehmen Raumklimas, die Beleuchtung und die Gebäudenutzung bedingen einen – je nach Gebäudestandard unterschiedlich hohen – Verbrauch an Strom und sonstigen, meistens fossilen, Energieträgern. In der Zukunft können Gebäude zu Netto-Energieerzeugern werden, indem lokal regenerative Energien genutzt und auftretende Überschüsse ins Netz eingespeist werden. Bei Gebäuden mit einem sehr hohen Energiestandard und entsprechend niedrigem Verbrauch kann im jahreszeitlichen Mittel eine positive Bilanz erzielt werden. Derartige Gebäude sind bereits heute in Betrieb, allerdings handelt es sich bislang noch um wenige Pilotobjekte. Das Europäische Parlament hat aber einen Gesetzesvorschlag formuliert, der vorsieht, dass ab 2019 neue Gebäude einen Nullenergie-Standard erfüllen – also über das Jahr eine neutrale oder positive Energiebilanz aufweisen müssen. In der aktuellen Diskussion entwickelt sich der Nullenergieansatz als neuer Leitgedanke zur Bewertung von Gebäuden. Ganz unabhängig davon, wie dieser Standard im Einzelnen erreicht wird, kommt der Nutzung von Solarenergie eine zentrale Rolle zu. Solarwärmanlagen helfen, den verbleibenden Energiebedarf für Brauchwasser und Heizung – und gegebenenfalls auch Kühlung – deutlich zu reduzieren, und Photovoltaikanlagen können nicht nur zur Deckung des Strombedarfs beitragen, sondern im Fall von Überschüssen Strom ins Netz einspeisen. Die große Herausforderung für die Zukunft liegt einerseits darin, eine viel stärkere Integration der Solaranlagen in das Gebäude und die Gebäudehülle zu ermöglichen, ohne bauliche Anforderungen und die Lebensdauer der Bausysteme zu beeinträchtigen. Andererseits müssen entsprechende Konzepte auch für den Gebäudebestand entwickelt und in die breite Anwendung geführt werden.

Am Fraunhofer ISE sind Gebäude und ihre technische Ausrüstung ein zentrales Geschäftsfeld. Unsere umfassenden Kenntnisse im Bereich der Technologien zur Solarenergienutzung einerseits und unsere langjährigen FuE-Aktivitäten im Bereich

energieeffizienter Gebäude andererseits ermöglichen uns, in optimaler Weise Lösungen für die oben skizzierten Nullenergiegebäude zu entwickeln. Wir unterstützen Hersteller bei der Entwicklung neuer Komponenten und Geräte ebenso wie Planer und Architekten bei der Konzipierung anspruchsvoller Bauwerke. Die Bearbeitungstiefe der Themen reicht von der Grundlagenentwicklung, beispielsweise bei Materialien oder Beschichtungstechniken, bis zur Markteinführung von Komponenten und Systemen. Bei der Umsetzung in Bauprojekten bieten wir Planung, Beratung und Konzeptentwicklung zu allen Fragen im Bereich Energie und Nutzerkomfort an. Dabei verwenden wir modernste Simulationsverfahren, die wir bei Bedarf selbst weiter entwickeln. Eine wichtige Rolle spielt die Qualitätssicherung im praktischen Einsatz, die wir durch die Begleitung von Demonstrationsgebäuden und -programmen sowie die Durchführung umfangreicher Feldtests und Monitoringkampagnen unterstützen.

Klassische Themen unserer Arbeiten im Bereich der Gebäudehülle sind die Tageslichtnutzung und der Sonnenschutz. Hinzu kommt zunehmend die Integration von aktiven Komponenten in die Gebäudehülle, Solarenergietechniken eingeschlossen. Die Wärmespeicherfähigkeit der Bausysteme spielt eine wichtige Rolle, um energiesparende Kühlkonzepte zu verwirklichen. Hier entwickeln wir Verfahren und Systeme auf der Basis von Phasenwechselmaterialien für Leichtbauten und befassen uns eingehend mit Systemen zur thermischen Bauteil-Aktivierung.

Bei der Energieversorgung gewinnen Wärmepumpen ebenso eine wachsende Bedeutung wie Systeme der Kraft-Wärme-Kopplung und im Weiteren auch der Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung. Im Bereich des Einsatzes von Solarenergie stellen neben der solaren Brauchwassererwärmung und der Heizungsunterstützung mit Solarenergie die Integration von Photovoltaik in die Gebäudehülle sowie die sommerliche Klimatisierung mit Solarenergie aussichtsreiche Anwendungen für die Zukunft dar.



Entscheidend für das Funktionieren der Gesamtsysteme – Gebäudehülle, Versorgungstechnik und Nutzer – ist die Betriebsführung. Mit Hilfe neuer modellbasierter Konzepte zur Betriebsführung wird die Leistungsfähigkeit einzelner Komponenten des Gebäudes permanent überwacht, evaluiert und gegebenenfalls korrigiert. Derartige Maßnahmen mit vergleichsweise geringem Investitionsaufwand ermöglichen signifikante Effekte zur Einsparung von Energie und Kosten. Sowohl die Entwicklung als auch die Implementierung neuer Verfahren zur energieeffizienten Betriebsführung und Regelung sind deshalb ein wichtiges Arbeitsgebiet.

Im Team mit Architekten, Fachplanern und der Industrie entwickeln wir Gebäude für morgen. Dabei verfolgen wir einen integralen Planungsansatz, um hinsichtlich Wirtschaftlichkeit, Energieeffizienz und Nutzerkomfort optimierte Konzepte zu verwirklichen. Die internationalen Rahmenbedingungen hierfür gestalten wir unter anderem durch unsere Mitarbeit in Projekten der Internationalen Energieagentur IEA.

Eine zentrale Bedeutung kommt der Langzeitbeständigkeit neuer Materialien und Komponenten zu. Wir konnten unsere Kompetenzen in diesem Thema in den vergangenen Jahren kontinuierlich ausbauen und bieten Dienstleistungen an, die neben der messtechnischen Charakterisierung – indoor und/oder outdoor – auch die modellbasierte Prognose von Alterungsprozessen umfassen.

Mit ihrer Entwicklung von Micronal® PCM, dem mikroverkapselten Latentwärmespeicher für Baumaterialien, waren Prof. Volker Wittwer und Dr. Peter Schossig – Fraunhofer ISE – und Dr. Ekkehard Jahns – BASF – gemeinsam für den Deutschen Zukunftspreis 2009 nominiert. 1999 starteten die Forscher mit der Entwicklung von mikroverkapselten Latentwärmespeichern für Gebäude. Sie identifizierten hochreines Paraffinwachs als geeigneten Latentwärmespeicher. Die Wachströpfchen werden in wenige Mikrometer kleinen Hohlkugeln aus Acrylglas eingeschlossen. Die so entstehenden Mikrokapseln lassen sich leicht in Baustoffe wie Mörtel, Gips und Holz integrieren und sind sehr robust: Baustoffe mit Micronal® PCM können wie gewohnt verarbeitet werden, auch Bohren oder Nageln stellen kein Problem dar.

ANSPRECHPARTNER

Fassaden und Fenster	Dipl.-Phys. Tilmann Kuhn	Telefon +49 761 4588-5297 tilmann.kuhn@ise.fraunhofer.de
Gebäudekonzepte, Analyse und Betrieb	Dipl.-Ing. Sebastian Herkel	Telefon +49 761 4588-5117 sebastian.herkel@ise.fraunhofer.de
Wärme- und Kältespeicher	Dr. Peter Schossig	Telefon +49 761 4588-5130 peter.schossig@ise.fraunhofer.de
Energieeffiziente und solare Kühlung	Dr. Jens Pfafferott	Telefon +49 761 4588-5129 jens.pfafferott@ise.fraunhofer.de
Energie-Versorgungsanlagen für Gebäude	Dipl.-Ing. Sebastian Herkel	Telefon +49 761 4588-5117 sebastian.herkel@ise.fraunhofer.de
Lichttechnik	Dr. Jan Wienold	Telefon +49 761 4588-5133 jan.wienold@ise.fraunhofer.de



FREIBEWITTERUNG VON PV-MODULEN IN EXTREMEN KLIMATEN

Hersteller von Solarmodulen geben derzeit Leistungs-garantien von 20 Jahren und mehr. Dies ist nur möglich, weil für die verwendeten Materialien entsprechende Erfahrungen zur Gebrauchsdauer vorliegen. Wer alternative, preiswertere Materialien einsetzen möchte, kann ihre Zuverlässigkeit nur schwer einschätzen. Um hierfür neue Möglichkeiten zu schaffen, entwickeln wir einen beschleunigten Lebensdauertest für Solarmodule und bauen Bewitterungsstandorte in Extremklimaten auf.

Claudio Ferrara, Markus Heck, **Michael Köhl**, Daniel Philipp, Karl-Anders Weiß, Hans-Martin Henning

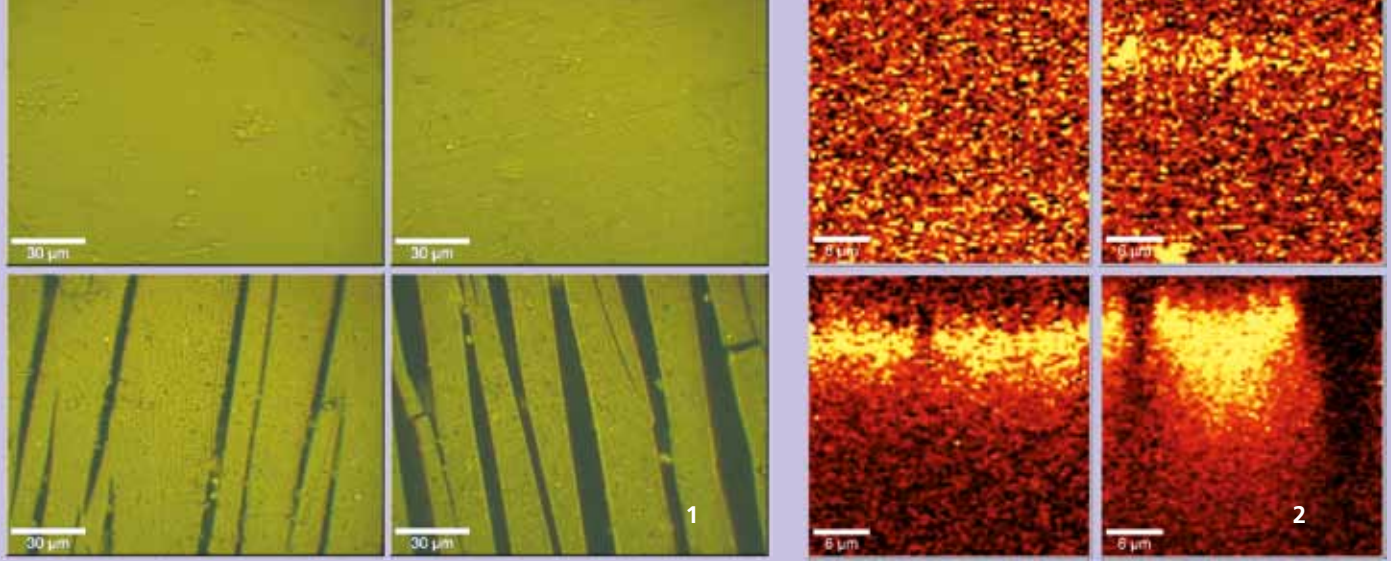
1 *Zwei Beispiele für unsere Freibewitterungsprüfstände: links Pozo Izquierdo (Gran Canaria), rechts Zugspitze.*

Für die Bewitterung von Materialien und Komponenten zur Umwandlung von Sonnenenergie sind hauptsächlich folgende Faktoren relevant: ultraviolette Strahlung, mechanische Belastung durch Schnee und Wind, Schadstoffe (insbesondere Salz), innere Spannungen infolge unterschiedlicher Wärmeausdehnungskoeffizienten sowie die Permeation von Wasser und Sauerstoff.

Es ist schwierig, in beschleunigten Laborprüfungen alle Abbaufaktoren realitätsnah zu kombinieren, um deren Wechselwirkung bei der Alterung der Prüflinge nachzustellen. Deshalb ist die Exposition unter natürlichen Verhältnissen unabdingbar für die Validierung von Simulationsergebnissen und beschleunigten Gebrauchsdauerprüfungen. Extremklimata ermöglichen eine schnellere Detektion von Schwachstellen einerseits und eine Qualifizierung der Prüflinge für die speziellen klimatischen Bedingungen andererseits.

Dafür betreiben wir Freibewitterungsstationen in arider, tropischer, alpiner und urbaner (als Referenz) Umgebung. Vor kurzem wurde in Zusammenarbeit mit dem Instituto Tecnológico de Canarias (ITC) ein weiterer Prüfstand aufgebaut, dessen spezielle Eigenheiten die hohe Windbelastung, hoher Staubeintrag und die Korrosivität durch die Meeresnähe sind. Dort werden wir PV-Module und solarthermische Kollektoren sowie Materialien für die Anwendung in maritimen Klimaten qualifizieren.

Das Clusterprojekt »Zuverlässigkeit von PV-Modulen« wird vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) gefördert.



ALTERUNGSUNTERSUCHUNG UND CHARAKTERISIERUNG VON POLYMEREN

Die Witterungsbeständigkeit von Polymeren ist essenzielle Voraussetzung für die Verwendung dieser Materialien in der Solarindustrie. Wir haben das Alterungsverhalten von Polymermaterialien mit verschiedenen Stabilisierungssystemen in Freibewitterung und beschleunigter Bewitterung systematisch untersucht. Darüber hinaus wurde die Eignung von Verfahren zur Materialcharakterisierung wie hochaufgelöste Raman-Mikroskopie und anderen zerstörungsfreien Verfahren analysiert.

Thomas Kaltenbach, Michael Köhl, Cornelia Peike,
Karl-Anders Weiß, Hans-Martin Henning

Die Witterungsbeständigkeit von solaren Energiesystemen hängt wesentlich von den verwendeten Werkstoffen ab. Dies stellt besonders für Polymere eine Herausforderung dar. Für deren Verwendung in solaren Energiesystemen ist die Kenntnis und Bewertung der Einflüsse einzelner Faktoren wie UV-Strahlung, Feuchtigkeit und Temperatur und deren zeitliche Entwicklung unbedingt erforderlich.

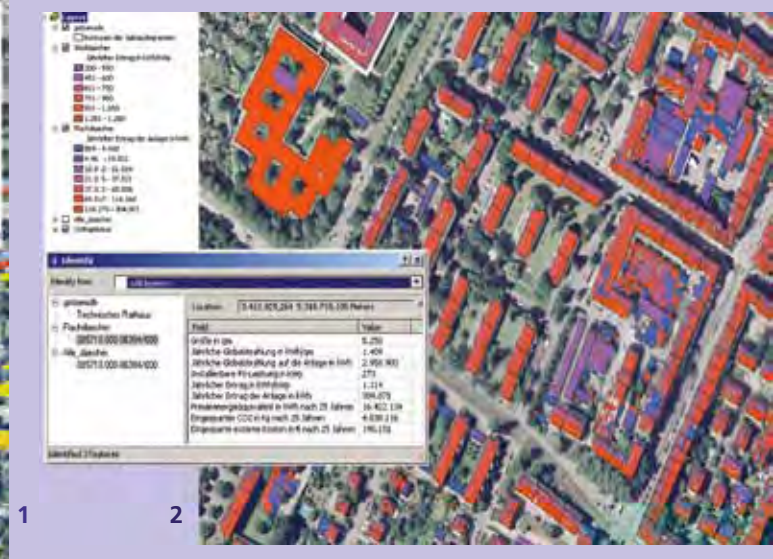
In einer systematischen Untersuchung haben wir Polypropylen (PP)-, Polyamid (PA)- und Polycarbonat (PC)-Proben mit verschiedenen Stabilisierungssystemen und Füllmaterialien, mit oder ohne optisch selektive Beschichtungen bewittert und untersucht. Ein Teil der Proben wurde über einen Zeitraum von bis zu 100 Wochen unter Freibewitterung in Arizona/USA regelmäßig charakterisiert. Proben gleichen Typs wurden beschleunigten Indoor-Bewitterungsprüfungen unterzogen und durchliefen neun verschiedene Temperatur- und Feuchtestufen bei gleichzeitiger UV-Bestrahlung. Die Charakterisierung der

1 Mikroskopische Aufnahmen der Oberfläche von PP-Homopolymer-Proben nach 0, 20, 40 und 60 Wochen Freibewitterung in Arizona. Gut zu erkennen ist der Fortschritt der Rissbildung auf der Oberfläche.

2 Ramanmikroskopische Tiefenscans in PP-Homopolymer nach 0, 20, 40 und 60 Wochen Freibewitterung in Arizona (vgl. Abb. 1). Untersucht wurde eine Tiefe von bis zu 30 µm. Nahe der Oberfläche zeigen sich deutliche Materialveränderungen beginnend nach 20 Wochen. Nach 40 Wochen ist die Rissbildung ebenfalls zu erkennen.

Proben erfolgte durch zerstörungsfreie Verfahren wie die Bestimmung des Carbonyl-Indexes mittels Infrarot-Spektroskopie, der Farbänderung, der Oberflächenversprödung, der Änderung des Glanzes sowie durch Raman-Mikroskopie und Rasterkraft-Mikroskopie. Unsere Ergebnisse zeigen deutlich die Einflüsse der verwendeten Additive sowie eine sehr gute Korrelation zwischen mikroskopischen Untersuchungen und der makroskopischen Degradation, Rissbildung und Glanzverlust. In der Versuchsreihe weist die konfokale Raman-Mikroskopie einige wichtige Vorteile auf. Mit ihr steht ein Verfahren zur schnellen, zerstörungsfreien und orts aufgelösten Analyse von Materialien für die Optimierung der relevanten Parameter und deren Alterungsbeständigkeit für die Anwendung in solaren Energiesystemen zur Verfügung.

Unsere Arbeiten werden vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) gefördert.



PV-POTENZIAL ALS STANDORTVORTEIL

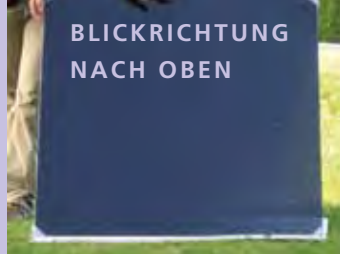
Im Rahmen einer Studienarbeit wurde eine Methode entwickelt, um das theoretische, technische und wirtschaftliche Potenzial der Nutzung von Solarenergie innerhalb eines ausgewählten geografischen Raums zu ermitteln. Die dafür notwendigen Daten wurden in einem Geoinformationssystem zusammengeführt. Zusätzlich wurden die substituierbare Primärenergie, das einsparbare CO₂, sowie die vermeidbaren externen Kosten abgeschätzt, die sich aus der Realisierung des wirtschaftlichen PV-Potenzials ergeben.

Claudio Ferrara, **Michael Köhl**, Karl-Anders Weiß, Pascal Zimmer, Hans-Martin Henning

Im Rahmen einer Diplomarbeit am Fraunhofer ISE wurde ein Verfahren angewandt, um das Solarenergiepotenzial der Dachflächen eines vorgegebenen geografischen Raums sowie die Eignung einzelner Dachflächen für die Installation von Solaranlagen zu berechnen. Durch die Zusammenführung verschiedener Datenquellen – Automatisierte Liegenschaftskarte (ALK), Light Detection and Ranging (LIDAR), Klimadaten – und die Darstellung der Ergebnisse in einem Geografischen Informationssystem (GIS) kann der Nutzer gezielt nach Informationen zu einzelnen Gebäuden suchen und neue Ergebnisse generieren. Diese Vorgehensweise stellt einen großen Vorteil im Vergleich zu anderen Verfahren von Potenzialstudien dar, da sie eine höhere räumliche Auflösung bietet und die Eigeninitiative aller Akteure ermöglicht. Das Verfahren wurde erstmals an einem 3 x 3 km² großen Testgebiet der Stadt Freiburg im Breisgau angewendet. Für das Testgebiet wurden die theoretischen, technischen und wirtschaftlichen Potenziale der Nutzung von Photovoltaik berechnet. Zusätzlich wurden die damit korrelierten Größen wie substituierbare Primärenergie, CO₂-Einsparung und die vermeidbaren externen Kosten abgeschätzt, die sich aus der Realisierung des wirtschaftlichen PV-Potenzials ergeben.

- 1 Falschfarbenbild im Geoinformationssystem (GIS) mit jährlicher Einstrahlung auf die Dachflächen in kWh/m².
- 2 Ausgabe von Informationen zu einer einzelnen Dachfläche im GIS.

Das entwickelte Verfahren kann auf andere Regionen übertragen werden. Damit sind wichtige Voraussetzungen geschaffen, um das Potenzial für Solarenergienutzung in jedem beliebigen Raum in kurzer Zeit zu ermitteln. Hierfür müssen lediglich die Eingangsdaten für die Dachflächenextraktion und die Einstrahlungssimulation angepasst werden. So können beispielsweise ein landes- oder bundesweit flächendeckendes »Solarkataster« erstellt und geeignete Flächen zur Installation von thermischen und photovoltaischen Solaranlagen identifiziert werden. Unterschiedlichste Akteure – u. a. Behörden, öffentliche Einrichtungen, Vermieter, Wohnungsbaugenossenschaften, Energieversorgungsunternehmen und private Hauseigentümer – profitieren von den Ergebnissen und können durch Investitionen sowohl finanzielle Gewinne erwirtschaften als auch einen Beitrag zu einer breiteren Nutzung von Solarenergie leisten.



1



2

AKTIVE SOLARFASSADEN

Hohe solare Deckungsraten lassen sich bei vielen großen Gebäuden aufgrund der relativ kleinen Dachfläche nur dann realisieren, wenn auch die Fassade zur Energiegewinnung genutzt wird. Insbesondere bei großen Null- oder Plusenergiehäusern ist die gleichzeitige Nutzung von Fassade und Dach zur Energiegewinnung erforderlich. Das Fraunhofer ISE hat erste Erfolge bei der Entwicklung von multifunktionalen Fassadenkomponenten erzielt, die im transparenten Teil der Gebäudehülle eingesetzt werden können.

Francesco Frontini, Michael Hermann, **Tilmann Kuhn**, Christoph Maurer, Helen Rose Wilson, Hans-Martin Henning

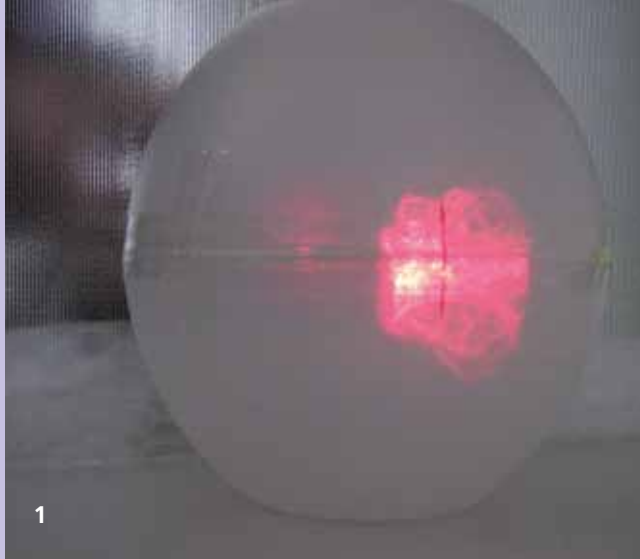
Rund 40 % der CO₂-Emissionen innerhalb der EU werden durch Gebäude verursacht. Auf der anderen Seite sind bereits heute Nullenergiegebäude mit einer im Jahresmittel ausgeglichenen Primärenergie- und CO₂-Bilanz möglich und werden ab 2019 für Neubauten vorgeschrieben, wenn der Beschluss des Europaparlaments vom April 2009 umgesetzt wird. Bei größeren Gebäuden mit relativ kleiner Dachfläche und großer Fassadenfläche lassen sich Null- oder gar Plusenergiegebäude nur dann realisieren, wenn auch die Fassade zur Energiegewinnung genutzt wird.

Das Fraunhofer ISE entwickelt im Rahmen eines EU-Projekts (www.cost-effective-renewables.eu) Komponenten und Systeme mit dem Ziel, nicht nur die opaken Fassadenflächen für die Energiegewinnung nutzen zu können, sondern auch die transparenten. Dies ist insbesondere bei voll verglasten Gebäuden wichtig, bei denen die neuen Komponenten vor allem im Brüstungsbereich eingesetzt werden sollen. Dort helfen sie gleichzeitig die sommerlichen Kühllasten zu reduzieren.

1 Prototyp für eine neue Generation von winkelselektiven, transparenten BIPV-Elementen mit verbessertem Wirkungsgrad bei vertikalem Einbau, sehr guter Sonnen- und Blendschutzwirkung und verbessertem visuellem Kontakt nach außen. Der Prototyp zeigt nur die optische Funktionalität, die Struktur ist noch nicht aus aktiven PV-Elementen hergestellt.

2 Visualisierung eines neuen, transparenten thermischen Fassadenkollektors, der in eine Verglasung integriert werden kann. Die Öffnungen im Absorber haben einen winkelselektiven Transmissionsgrad für einen verbesserten Wirkungsgrad bei vertikalem Einbau, für sehr gute Sonnen- und Blendschutzwirkung und für visuellen Kontakt nach außen.

Die Prototypen zeigen, dass bei sommerlichem Wärmeschutz effektive g-Werte < 10 % bei gleichzeitig gutem visuellem Kontakt zur Außenwelt möglich sind. Die BIPV-Verglasung in Abb. 1 zeigt, dass sich auch mit DGP-Werten < 0,30 (DGP = Daylight Glare Probability) ein sehr guter Blendschutz realisieren lässt. Eine solche Verglasung wird sich auch sehr gut in großen, voll verglasten Räumen von Flughäfen oder ähnlichen Nichtwohn-Gebäuden einsetzen lassen.



Struktur	Tnh,sol nach EN410 (strukturierte Gläser)		(geschliffene Gläser)
	Mittelwert (15 Messgeräte)	σ (15 Messgeräte)	Messwert
glatt	0,905	0,001	0,904
geringfügig gewellt	0,901	0,004	0,903
kleine umgekehrte Pyramiden	0,888	0,012	0,905

2

TRANSMISSION VON EISENARMEN, STRUKTURIERTEN SOLARGLÄSERN

Der Transmissionsgrad des Deckglases geht unmittelbar in den Wirkungsgrad eines Flachkollektors ein. Die Transmissionsmessung von häufig verwendeten, strukturierten »Solargläsern« ist jedoch mit größeren Fehlern behaftet, wenn kommerziell erhältliche Ulbrichtkugeln verwendet werden. Dies wurde durch die Auswertung eines Messrundvergleichs nachgewiesen, der vom Fraunhofer ISE koordiniert und im Rahmen des Technischen Ausschusses 10 der »International Commission on Glass« (ICG-TC10) durchgeführt wurde.

Angelika Helde, Johannes Hanek, Tilmann Kuhn,
Helen Rose Wilson, Hans-Martin Henning

Für Kollektorabdeckungen wird häufig sogenanntes »solares« Strukturglas eingesetzt, d. h. Strukturglas mit niedrigem Eisenoxidgehalt. Sowohl die Struktur als auch der niedrige Absorptionsgrad des verwendeten Glases führen dazu, dass sich optische Messungen schwieriger gestalten als für herkömmliches Flachglas mit üblichem Eisenoxidgehalt.

Beim Rundvergleich des ICG-TC10 lieferten 15 Messlabors spektrale Messergebnisse für fünf verschiedene Glastypeen. Die Strukturen reichten von glatt (als Kontrolle) bis zu umgekehrten Pyramiden verschiedener Größe. Einige Ergebnisse des Rundvergleichs werden in Abb. 2 zusammengefasst. Während die Ergebnisse für die glatten Kontrollproben hervorragend miteinander übereinstimmen, zeigen schon die Ergebnisse für die »glatteste« Struktur (»geringfügig wellig«), dass eine Angabe des Transmissionsgrads mit mehr als zwei signifikanten Stellen nicht gerechtfertigt ist. Allgemein gilt: je größer die Struktur, desto größer die Abweichung in den Messergebnissen.

1 Laserstrahl nach Transmission durch ein solares Strukturglas in eine transluzente Kugel. Die Strukturseite mit kleinen umgekehrten Pyramiden war zur Kugel hin ausgerichtet. Die räumlich inhomogene Verteilung des transmittierten Strahls ist offensichtlich und verursacht Fehler bei der optischen Vermessung solcher Strukturgläser mit kommerziell erhältlichen Ulbrichtkugeln.

2 Mittelwerte und Standardabweichungen (σ) für den normal-hemisphärischen solaren Transmissionsgrad (Tnh,sol) für drei »solare Strukturgläser«. Die Tnh,sol-Werte für geschliffene Proben aus denselben Glaschargen stellen die Obergrenze für den solaren Transmissionsgrad dieser Gläser dar.

Die Transmissions- und Reflexionsgrade wurden auch für glatte Proben gemessen, die aus den Strukturgläsern durch Abschleifen und Polieren hergestellt wurden. Aus diesen Messergebnissen in Verbindung mit geometrischer Optik haben wir theoretische Grenzen für die Transmissionswerte abgeleitet. Der Vergleich mit den Messergebnissen zeigte, dass bei zunehmender »Rauigkeit« der Struktur nicht nur die Standardabweichung, sondern auch die Abweichung des Mittelwerts vom theoretisch richtigen Wert größer wird. Deswegen ist Vorsicht geboten, wenn z. B. Kollektorertragsprognosen auf solchen Messwerten basieren.

Bei kommerziellen Ulbrichtkugeln stellen unterschiedliche Reflexionsgrade für verschiedene Bereiche innerhalb der Kugel eine häufige Fehlerursache bei der Messung an solaren Strukturgläsern dar. Die Konstruktion und das verwendete Wandmaterial der am Fraunhofer ISE entworfenen Ulbrichtkugel verringern diesen Fehler erheblich.



ZYKLENSTABILITÄT VON SORPTIONSMATERIALIEN

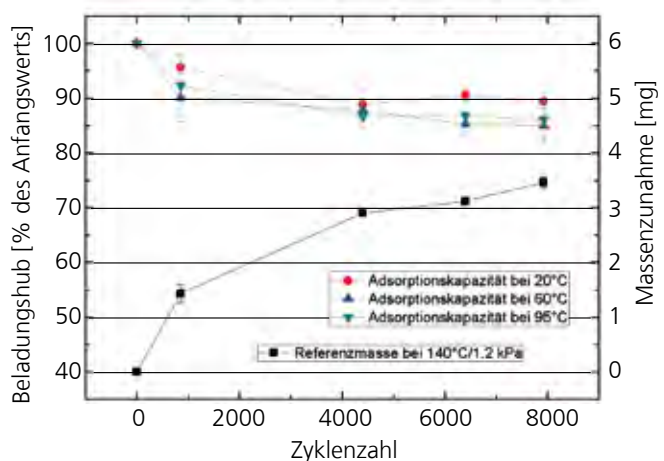
Thermisch angetriebene Adsorptionswärmepumpen/-kältemaschinen kleiner Leistung sind seit kurzem am Markt verfügbar. Im Hinblick auf einen erfolgreichen Markteintritt muss die volle Betriebsfähigkeit über typische Anlagenlebensdauern gewährleistet werden. Hierzu führen wir anwendungsrelevante Stabilitätsuntersuchungen von Sorptionsmaterialien und Kompositen an speziell entwickelten Alterungsapparaturen durch.

Stefan K. Henninger, Gunther Munz, Sebastian Müller, Karl-Friedrich Ratzsch, Peter Schossig, Peter Villain, Hans-Martin Henning

Aus den Erfahrungen vorangegangener Entwicklungen zeichnete sich die Notwendigkeit einer intensiven Lebensdaueranalyse von Materialien für den Einsatz in Adsorptionswärmepumpen und -kältemaschinen ab. Im Hinblick auf die gesamte Entwicklungskette untersuchen wir daher die Materialien vom Syntheseprodukt in Pulverform über Granulate bis hin zu Verbundproben, bestehend aus metallischen Trägerstrukturen und sorptiven Beschichtungen, auf ihre Stabilität. Die Beanspruchung der Proben orientiert sich dabei an den Anwendungsbedingungen einer realen Sorptionskältemaschine/-wärmepumpe im Alltagsbetrieb. Dieser ist gekennzeichnet durch aufeinanderfolgende Ad- und Desorptionsphasen und damit verbunden schnellen Temperaturwechseln des Materials unter Wasserdampfatmosfera.

Diese »hydrothermale« Belastung wird durch Aufheizen auf 140 °C und Abkühlen auf 20 °C in entsprechender Atmosphäre in einer Thermowaage sowie einer speziellen Zyklenapparatur nachgebildet. Während der thermischen Belastung erfolgt fortlaufend eine Charakterisierung der Proben bezüglich des Sorptionsverhaltens mit präzisen Thermoanalysegeräten sowie eine Dokumentation von optisch erkennbaren Veränderungen.

1 Probenhalterung mit Verbundprobe bei geöffneter Vakuumkammer am Teststand zur Langzeitzyklierung. Die Anlage bietet Platz für drei Kompositproben in jeweils getrennten und unabhängig voneinander schaltbaren Einheiten (sehr kurze Aufheiz- und Abkühlzeiten von je 90 Sekunden, Temperaturspanne von 20-140 °C und sehr hohe Zyklenanzahlen von 10 000 innerhalb von drei Wochen möglich).



2 Abnahme der Adsorptionskapazität einer Verbundprobe durch die hydrothermale Belastung. Bereits nach 500 Zyklen ist eine Degradation von 10 % zu erkennen. Im weiteren Verlauf reduziert sich die Kapazität weiter, wobei eine Stabilisierung nach ca. 4000 Zyklen zu erkennen ist. Gleichzeitig kann eine Zunahme der Referenzmasse beobachtet werden. Beide Effekte können durch eine teilweise Zerstörung der Struktur bei gleichzeitiger Anlagerung von Abbauprodukten erklärt werden.

Die Ergebnisse dieser Untersuchungen geben wertvolle Hinweise zur Eignung von Sorptionsmaterial, Trägerstrukturen und Hilfsstoffen sowie unterschiedlicher Herstellungsverfahren für konkrete Anwendungsfelder.

Die Arbeiten werden durch das Umweltministerium Baden-Württemberg unterstützt.



MONITORING VON ANLAGEN ZUR SOLAREN KÜHLUNG

Zur Systemoptimierung und zur Bestimmung primär-energetischer Einsparungen in der solarthermisch angetriebenen Klimatisierung und Kälteversorgung ist eine detaillierte Kenntnis des Anlagenbetriebs installierter Anlagen erforderlich. Das Fraunhofer ISE ist in mehrere Detail-Monitoringprojekte eingebunden, die sowohl die Demonstration marktüblicher Technik als auch die Erprobung innovativer Technologien zur solaren Kühlung umfassen. Zwei Beispiele werden im Folgenden vorgestellt.

Jochen Döll, **Tomas Núñez**, Jakub W. Wewiór, Edo Wiemken, Peter Schossig, Hans-Martin Henning

Solarthermisch unterstützte Klimatisierung für das Technologie-Zentrum der FESTO AG & Co. KG

Die Klimatisierung für die ca. 26 000 m² Bürofläche des Technologiezentrums der FESTO AG in Esslingen-Berkheim erfolgt seit 2001 durch Adsorptionskältetechnik mit 1,05 MW Nennkälteleistung. Die Kältemaschinen werden über Abwärme aus der Produktionsstätte, über Gaskessel und seit 2008 anteilig mit solarthermischer Wärme versorgt. Dazu steht ein Kollektorfeld mit 1218 m² (Aperturfläche) Vakuumröhren-Kollektoren zur Verfügung. Als Kollektorfluid wird nur Wasser eingesetzt. Bei einer Gebäudeversorgung in dieser Größenordnung kann mit der gegebenen Kollektorfeldfläche naturgemäß nur ein kleiner Teil des Wärmebedarfs aus solarer Wärme gedeckt werden. Durch eine veränderte Betriebsführung der Gaskessel in 2009 wurde der gemeinsame Anteil an solarer Wärme und Abwärme am Gesamtwärmebedarf zum thermischen Antrieb der Adsorptionskältemaschinen in den Sommermonaten auf bis zu 80 % angehoben. Das Projekt wurde im Förderprogramm »Solarthermie 2000plus« des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) durchgeführt.

1 *Anlage für die solare Kühlung eines Winzerbetriebs in Tunesien.*

Solare Prozesskälte für Agrarprodukte im südlichen Mittelmeerraum

Im Rahmen eines von der Europäischen Union geförderten Projekts »MEDISCO« (www.medisco.org) wurde 2008 eine solare Kühlungsanlage auf einem Weingut in Tunesien installiert (Abb. 1). Die Anlage besteht aus einem linear konzentrierenden Fresnel-Kollektor mit 88 m² Primärspiegelfläche und einer 12 kW Wasser-Ammoniak Absorptionskältemaschine mit integrierter trockener Rückkühlung. Um kalte Sole mit Temperaturen um die 0 °C bei hohen Außentemperaturen und trockener Rückkühlung produzieren zu können, sind Antriebstemperaturen ab 120 °C nötig. Die ersten Messdaten der vorliegenden Pilotanlage demonstrieren die Machbarkeit dieses Konzepts und zeigen, dass der Fresnel-Kollektor die zum Antrieb erforderlichen Temperaturen erreicht und Kälte bei 0 °C solar bereitgestellt werden kann.



WÄRMETRÄGERFLÜSSIGKEITEN MIT PHASENWECHSELMATERIALIEN

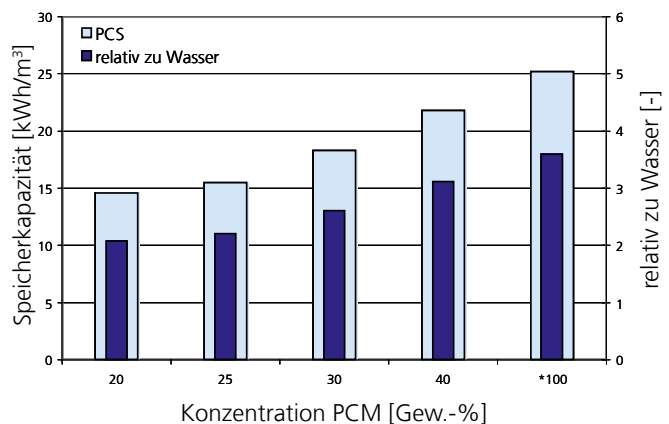
Phase Change Slurries (PCS) sind Wärmespeicherflüssigkeiten, deren Wärmekapazität durch dispergierte Phasenwechselmaterialien (PCM) in einem definierten Temperaturbereich erhöht ist. Der Einsatz dieser Flüssigkeiten bietet sich überall dort an, wo innerhalb geringer Temperaturdifferenzen Wärme oder Kälte gespeichert werden muss. Die Speicherkapazität der PCS variiert hierbei je nach Konzentration der PCM zwischen etwa 50 und 100 kJ/kg.

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

PCS bestehen im Wesentlichen aus zwei Komponenten: einer Trägerflüssigkeit und PCM-Partikeln, die in der Flüssigkeit dispergiert werden. Die Trägerflüssigkeit besteht in der Regel aus Wasser, aber auch aus anderen Flüssigkeiten wie z. B. Wärmeträgeröle. Als PCM wird bisher hauptsächlich Paraffin eingesetzt. Da Paraffin hydrophob ist, kann es direkt im Wasser mit Hilfe eines Emulgators emulgiert werden. Bei einer anderen Methode wird das PCM zunächst mikroverkapselt und danach in der Trägerflüssigkeit suspendiert. Mikroverkapselte PCM können in vielen verschiedenen Trägerflüssigkeiten suspendiert werden.

Eine hohe PCM-Konzentration im PCS führt zu einer hohen Wärmekapazität. Da sich mit der Konzentration auch die Viskosität stark erhöht, sind hier Grenzen gesetzt. Unsere Untersuchungen ergaben, dass bei gleicher PCM-Konzentration Emulsionen niedrigere Viskositäten erreichen als Mikro kapsel-PCS. Bisher erreichen die Mikro kapsel-PCS jedoch eine deutlich höhere Stabilität. Hier haben wir eine Zyklusstabilität von über 20 000 erzielt. Der Einsatz der PCS ist besonders bei Anwendungen interessant, die nur eine geringe Temperatur spreizung erlauben, z. B. bei Kälteanwendungen. Hier kann die Speicherkapazität oft ausschließlich durch Verringerung

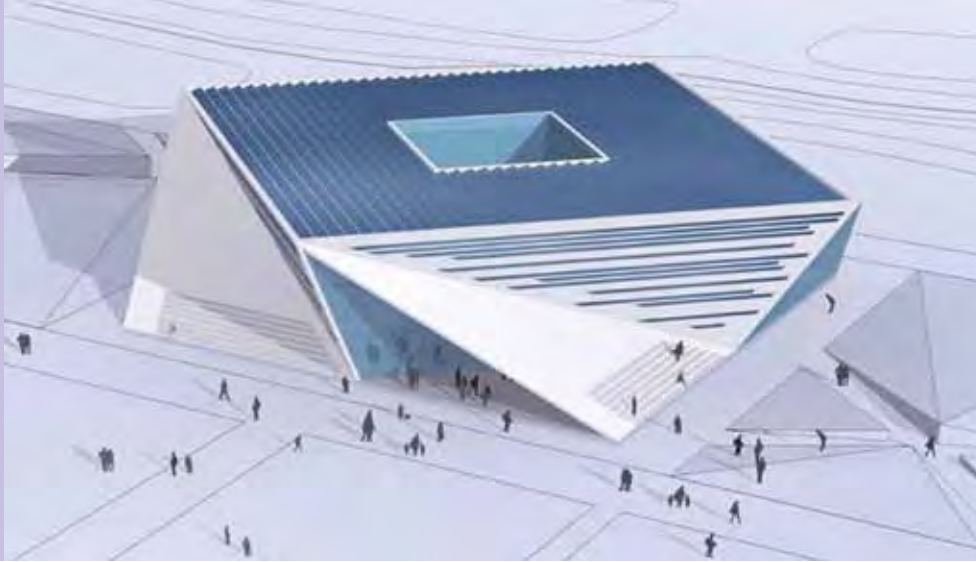
1 Phase Change Slurries bestehen aus einem Phasenwechselmaterial und einer Trägerflüssigkeit. Es entsteht eine Dispersion, die unabhängig vom Aggregatzustand des Phasenwechselmaterials flüssig ist. Die Viskosität hängt hierbei von der Konzentration des dispergierten PCM ab.



2 Der Vorteil gegenüber Wasser als Wärmeträgerflüssigkeit hängt stark von der Konzentration des PCM in der Trägerflüssigkeit ab. Zu beachten ist, dass mit steigender PCM-Konzentration auch die Viskosität des PCS stark ansteigt.

der Temperatur oder Vergrößerung der Speichertanks erhöht werden. Dies führt zu schlechten Wirkungsgraden der eingesetzten Kältemaschinen bzw. zu großen, voluminösen Speichertanks. Gerade bei Kälteerzeugung zur Klimatisierung von Gebäuden machen tiefe Speichertemperaturen keinen Sinn, da die Kühltemperaturen im Bereich der zu erzielenden Raumtemperatur (z. B. 20 °C) liegen können.

Das Projekt wird von Partnern aus der Industrie und dem Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) unterstützt.



1

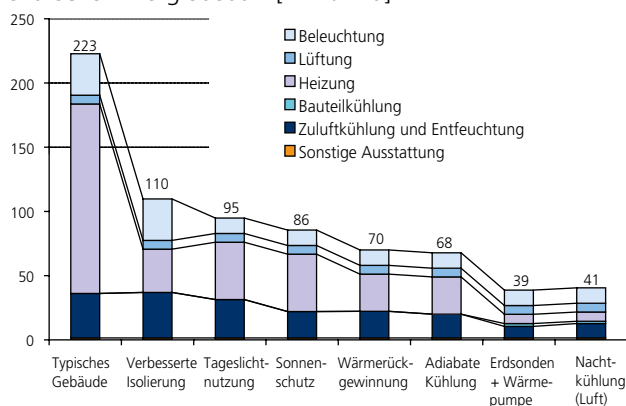
KONZEPTION EINES NULLENERGIEGEBÄUDES FÜR DIE STADT SEOUL

Für die Stadt Seoul konzipiert das Fraunhofer ISE in Zusammenarbeit mit einem Planungskonsortium ein Nullenergiegebäude. Der Energiebedarf des ca. 3000 m² Nutzfläche umfassenden Ausstellungs- und Bürogebäudes wurde von uns in der Konzeption so weit reduziert, dass die Energieversorgung des Gebäudes und dessen Nutzung im Jahresmittel rein regenerativ durch Photovoltaik erfolgen kann. Die Ausführung des Gebäudes startet 2010.

Sebastian Herkel, **Jan Wienold**, Hans-Martin Henning

Die Stadt Seoul hat dem Fraunhofer ISE die Konzeption und Planung eines Nullenergiegebäudes übertragen. In Zusammenarbeit mit dem Architekturbüro »GAP«, dem Projektsteuerer »solidar Planungswerkstatt« und dem TGA-Planer »solares bauen« sowie dem koreanischen Auftraggeber BAHO wurde ein ca. 3000 m² großes Gebäude geplant. Etwa ein Drittel der Grundfläche dient als Ausstellungsbereich und ein weiteres Drittel der Grundfläche als Edutainmentbereich. Das restliche Drittel steht Firmen aus dem Bereich erneuerbare Energien als Bürofläche zur Verfügung.

Elektrischer Energiebedarf [kWh/m²a]



1 3D-Visualisierung des vom Fraunhofer ISE gemeinsam mit Projektpartnern konzipierten Nullenergiegebäudes in Seoul.

Im ersten Planungsschritt wurde der Energiebedarf des Gebäudes konsequent minimiert. Das in Seoul herrschende Klima zwang das Planungsteam sowohl die Wärmeverluste im Winter als auch die Kühl- und vor allem die Entfeuchtungsenergie im Sommer zu minimieren. Die Außenhülle wurde in der Form gestaltet, dass möglichst wenig Wärmebrücken entstehen. Der Verglasungsanteil wurde so abgestimmt, dass eine gute Tageslichtversorgung vorliegt, aber übermäßige Solareinträge im Sommer vermieden werden.

Die Wärmeversorgung erfolgt durch eine an das Erdreich gekoppelte Wärmepumpe über ein Fußboden-Heiz- und Kühlsystem. Ein Problem für eine regenerative Energieversorgung stellt die hohe Luftfeuchtigkeit in den Sommermonaten bei gleichzeitig geringer direkter Solarstrahlung dar, so dass solarthermisch angetriebene sorptive Kühlprozesse nicht in Frage kommen. Die dem Gebäude zugeführte Luft wird aus diesem Grund konventionell über eine hocheffiziente Turbokompressorkälteanlage entfeuchtet und der Luftvolumenstrom auf das hygienisch notwendige Maß begrenzt. Die darüber hinaus notwendige Kühlenergie wird durch die Erdsonden bereitgestellt und über das Fußbodensystem verteilt. Um die für den Gebäudebetrieb notwendige elektrische Energie regenerativ auszugleichen, wird eine 200 kWp PV-Anlage installiert.

2 Einfluss verschiedener untersuchter Maßnahmen zur Reduktion des elektrischen Energiebedarfs des Gebäudes im Vergleich zum aktuellen Bau-Referenzstandard in Korea. Jede zusätzliche Maßnahme (von links nach rechts) wurde additiv konzipiert. In Summe resultiert eine Reduktion des verbleibenden Strombedarfs für den Gebäudebetrieb um mehr als 80 % in Bezug auf den Referenzstandard.



© Herbert Stolz, Regensburg

HAUS DER ZUKUNFT – DAS SOLAR AKTIVHAUS SONNENKRAFT IN REGENSBURG

Der Nullenergieansatz rückt in den Fokus der Energieversorgung neuer Gebäude. Auf Basis eines stark reduzierten Gesamtenergiebedarfs eines Gebäudes ist es Ziel, durch umfangreiche Nutzung von regenerativen Energiequellen einen über das Jahr bilanziellen Ausgleich von Primärenergiebedarf und -erzeugung zu erreichen. Die hier angewandte Mehrfachnutzung der Solarthermie durch die Kombination mit einer Wärmepumpe bietet einen interessanten Ansatz, die Effizienz des Gesamtsystems zu steigern.

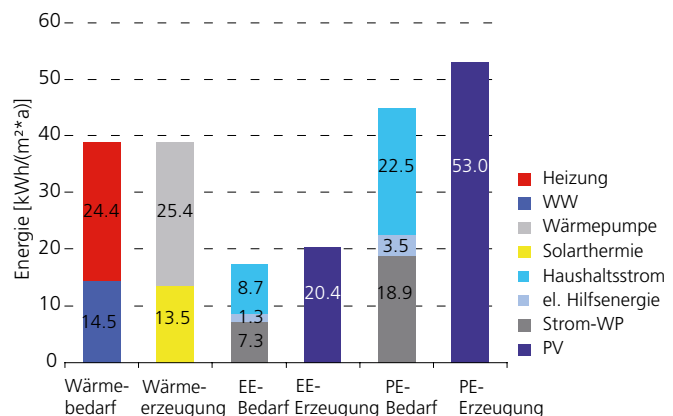
Sebastian Herkel, **Florian Kagerer**, Hans-Martin Henning

Für die Firma »Sonnenkraft« wurde in Zusammenarbeit mit »fabi architekten«, Regensburg, und der Fachhochschule Regensburg ein Konzept für ein Nullenergie-Einfamilienhaus erarbeitet. Vorgabe war es, den Energieverbrauch des Gebäudes für Betrieb und Nutzung soweit zu reduzieren, dass die Versorgung bei bilanzieller Betrachtung über ein Jahr vollständig auf Solarenergie beruhen kann.

Hierzu wurde eine Gebäudegeometrie entwickelt, die, unter Berücksichtigung der architektonischen Integration, eine umfassende Nutzung von passiver Solarenergie (Fenster) und aktiver Solarenergie (Photovoltaik und Solarthermie) erlaubt. Ergänzt wird das bauliche Konzept durch ein Wärmepumpensystem, bei dem auf Quellseite in Abhängigkeit von Temperaturniveau und Verfügbarkeit sowohl Außenluft als auch Solarthermie zum Einsatz kommen kann.

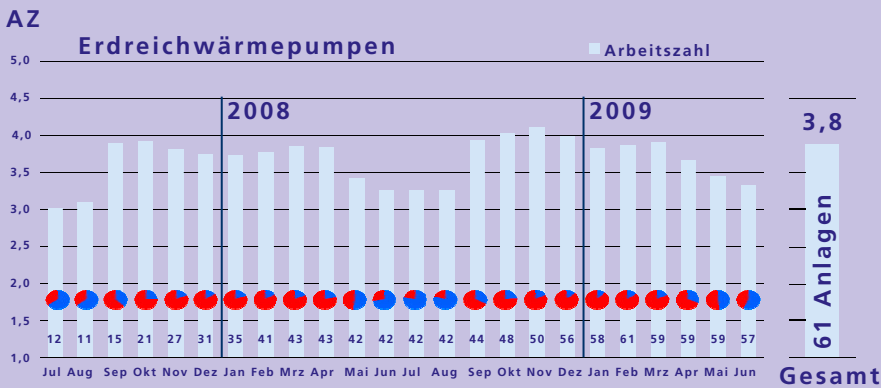
Kollektortemperaturen, die zu niedrig sind, um für eine Speicherladung genutzt zu werden, heben das Temperaturniveau auf Quellseite/Verdampferseite der Wärmepumpe an und steigern so die Effizienz der Wärmepumpe. In der Anlagen- und Gebäudesimulation ergibt sich daraus im vorliegenden Fall eine Verbesserung der Jahresarbeitszahl von 2,9 auf 3,4

1 Südansicht des Sonnenkraft-Gebäudes mit integrierten thermischen Kollektoren in der Fassade (80° Neigung) und PV-Dachfläche (27° Neigung).



2 Bilanzierung von Energiebedarf und -erzeugung für Wärme, Endenergie und Primärenergie. Das Gebäude weist durch die solaren Erträge der Photovoltaik eine über das Jahr positive End- und Primärenergiebilanz auf. Das Ziel eines bilanziellen Nullenergiegebäudes wird übertroffen.

gegenüber einer reinen Außenluftwärmepumpe. In Kombination mit knapp 50 m² Photovoltaik und 35 m² thermischen Kollektoren ergibt sich rechnerisch ein Plusenergiegebäude mit einer im Jahresmittel positiven Primärenergiebilanz. Die messtechnische Begleitung über die nächsten zwei Jahre ermöglicht eine genaue Analyse und Qualitätskontrolle des Konzepts.



1



2

MONITORING VON WÄRMEPUMPEN – 180 ANLAGEN IM FELDTTEST

Deutschlandweit erhöhte sich der Absatz von Wärmepumpen 2008 gegenüber 2007 um 27 % bei Sole-Wasser- und um 33 % bei Luft-Wasser-Wärmepumpen. Diese Entwicklung dokumentiert die Akzeptanz dieser Versorgungssysteme sowohl in Neubauten als auch im Gebäudebestand. Die energetische, ökologische und ökonomische Bewertung von 180 Wärmepumpen im Feldtest ergab, dass eine dem Bedarf angepasste Planung und Installation Voraussetzung für die Einsparung von Primärenergie und CO₂-Emissionen ist.

Holger Dittmer, Danny Günther, Lukasz Kaczmarek,
Thomas Kramer, **Marek Miara, Christel Russ,**
Hans-Martin Henning

Seit 2007 bewerten wir in zwei Feldtests – »WP-Effizienz« und »WP im Gebäudebestand« – die energetische, ökologische und ökonomische Effizienz von Wärmepumpen in insgesamt 180 neuen Ein- und Zweifamilienhäusern sowie im Gebäudebestand. Die Messdaten werden minutengenau erfasst. Dazu gehören auf der Seite der Wärmesenke und der Wärmequelle die Wärmemengen inklusive der Vor- und Rücklauftemperaturen und der Volumenstrom. Mit der Erfassung der Stromverbräuche für den Verdichter, die Solepumpe bzw. den Ventilator, die elektrische Zusatzheizung und die Ladepumpen im Heizkreis ist eine genaue Bilanzierung der Versorgungssysteme möglich.

1 *Sole/Wasser-Wärmepumpen in Neubauten (Projekt »Wärmepumpen-Effizienz«): Dargestellt sind die mittleren monatlichen Arbeitszahlen aller Sole/Wasser-Wärmepumpen von 2007 bis 2009 sowie die Anteile der erzeugten Wärme für Heizung und Warmwasser. Die Arbeitszahl im Sommer ist kleiner als im Winter, da der Warmwasseranteil mit höheren Vorlauftemperaturen überwiegt. Die Kreisdiagramme zeigen die monatliche Verteilung zwischen Heizwärme (rot) und Warmwasserbereitstellung (blau).*

89 % der untersuchten Neubauten sind mit Fußbodenheizungen ausgestattet; die mittlere Vorlauftemperatur aller Heizsysteme beträgt 38 °C. Von den untersuchten Bestandsgebäuden sind 71 % mit Heizkörpern ausgestattet und die mittleren Vorlauftemperaturen liegen bei 52 °C. Die Mittelwerte der Jahresarbeitszahlen (JAZ) aller Anlagen betragen im Jahr 2008:

- Neubau: 3,8 (Sole-Wasser), 3,0 (Luft-Wasser)
- Bestand: 3,3 (Sole-Wasser), 2,6 (Luft-Wasser)

Zur detaillierteren Beurteilung der Effizienz der Systeme werden weitere Systemparameter wie die Wärmequelle, die Wärmesenke und der hydraulische Systemaufbau detailliert bewertet.

Beispielhaft ergibt sich aus der Analyse der JAZ unterschiedlicher Systemkonzepte bei Neubauten:

- direkte Wärmenutzung über Fußbodenheizung und separater Trinkwarmwasserspeicher: 3,88
- Heizwärmeversorgung über Pufferspeicher und separater Trinkwarmwasserspeicher: 3,83
- kombinierter Speicher für Heizung und Trinkwarmwasser: 3,51

Unsere Ergebnisse unterstützen die Hersteller bei der Anlagenoptimierung, die zu einer Effizienzsteigerung der Systeme führen kann. Das Projekt wird teilweise vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) gefördert.

2 *Beispiel einer installierten Wärmepumpenanlage. Im Hintergrund zu sehen sind die installierten Wärmemengenzähler für die Messdatenerfassung und der Schaltkasten mit den elektrischen Stromzählern für die Erfassung der Stromverbräuche des Verdichters, der Solepumpe bzw. des Ventilators und der Ladepumpen.*

KOSTENGÜNSTIGE FEHLERERKENNUNG IM GEBÄUDEBETRIEB

Das Energieeinsparpotenzial, das durch Fehlerbeseitigung und Optimierung beim Gebäudebetrieb erreicht werden kann, liegt bei 5–30 %. Eingesetzt werden hier gering- und nicht-investive Maßnahmen. Wir entwickeln Methoden und Werkzeuge zur schnellen und kostengünstigen Erkennung dieser Potenziale. Erste Ergebnisse zeigen, dass sich die Methoden wirtschaftlich einsetzen lassen.

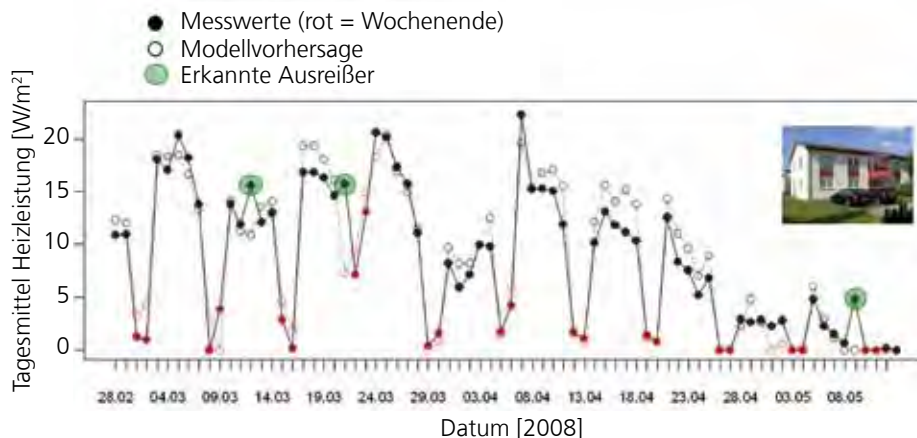
Sebastian Burhenne, Dirk Jacob, **Christian Neumann**, Nicolas Réhault, Sebastian Zehnle, Hans-Martin Henning

Das Potenzial zur Energieeinsparung in Bestandsgebäuden ist riesig. Allein durch die korrekte Einstellung von Steuer- und Regelparametern können in der Regel 5–30 % des Endenergiebezugs eingespart werden und in Einzelfällen sogar noch mehr. Dabei handelt es sich meist um einfache Maßnahmen wie z. B. die Anpassung von Zeitprogrammen für den Anlagenbetrieb, die korrekte Einstellung von Heiz- und Kühlkurven oder die Anpassung von Luftvolumenströmen.

In den Projekten »Building EQ« (www.buildingeq.eu) und »ModBen« (www.modben.org) entwickeln wir Verfahren und Werkzeuge, um diese Potenziale möglichst schnell und kostengünstig zu ermitteln und dauerhaft zu erschließen. Wir erproben diese Verfahren derzeit an über 15 Demonstrationsgebäuden.

Ausgangspunkt unserer Analysen ist die Erfassung eines fest definierten Umfangs an Messdaten, der in jedem Gebäude erhoben wird. Wir haben ein Werkzeug entwickelt, das auf Grundlage dieses Datensatzes folgende Funktionen abdeckt: Datenspeicherung und -prozessierung, intelligente Visualisierung der Daten, modellbasierte Analysen und automatische Ausreißererkennung zur Erkennung von ungewöhnlichen Energieverbräuchen.

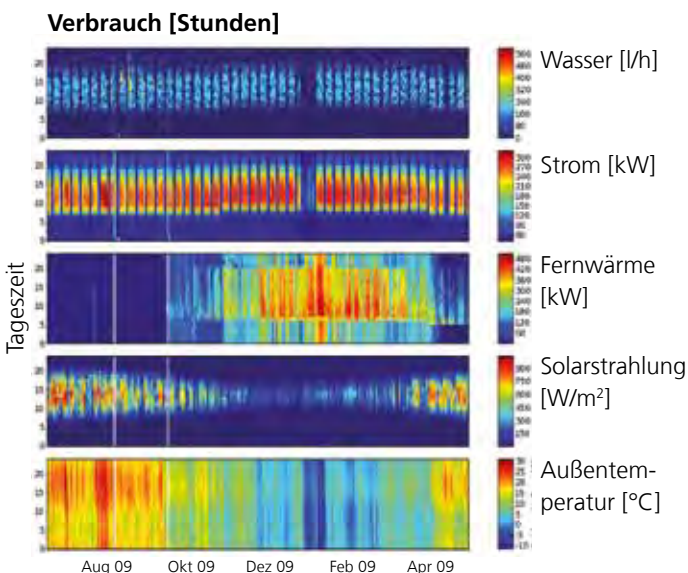
2 Automatische Ausreißererkennung: Mit Hilfe spezieller Regressionsmodelle kann der tägliche Energie- und Wasserverbrauch automatisch überwacht werden. Dazu muss das Modell zunächst lernen, wie sich das Gebäude verhält (Kalibrierung). Danach kann es zur Überprüfung eingesetzt werden. Die Abbildung zeigt den Vergleich von Modellvorhersage und Messwerten für den Heizenergieverbrauch eines kleinen Bürogebäudes.



Mit Hilfe dieser Funktionen können zum einen sowohl typische Fehler im Gebäudebetrieb erkannt und hierauf aufbauend einfache Optimierungen vorgenommen werden. Zum anderen hilft die automatische Ausreißererkennung einen einmal optimierten Betrieb dauerhaft sicherzustellen.

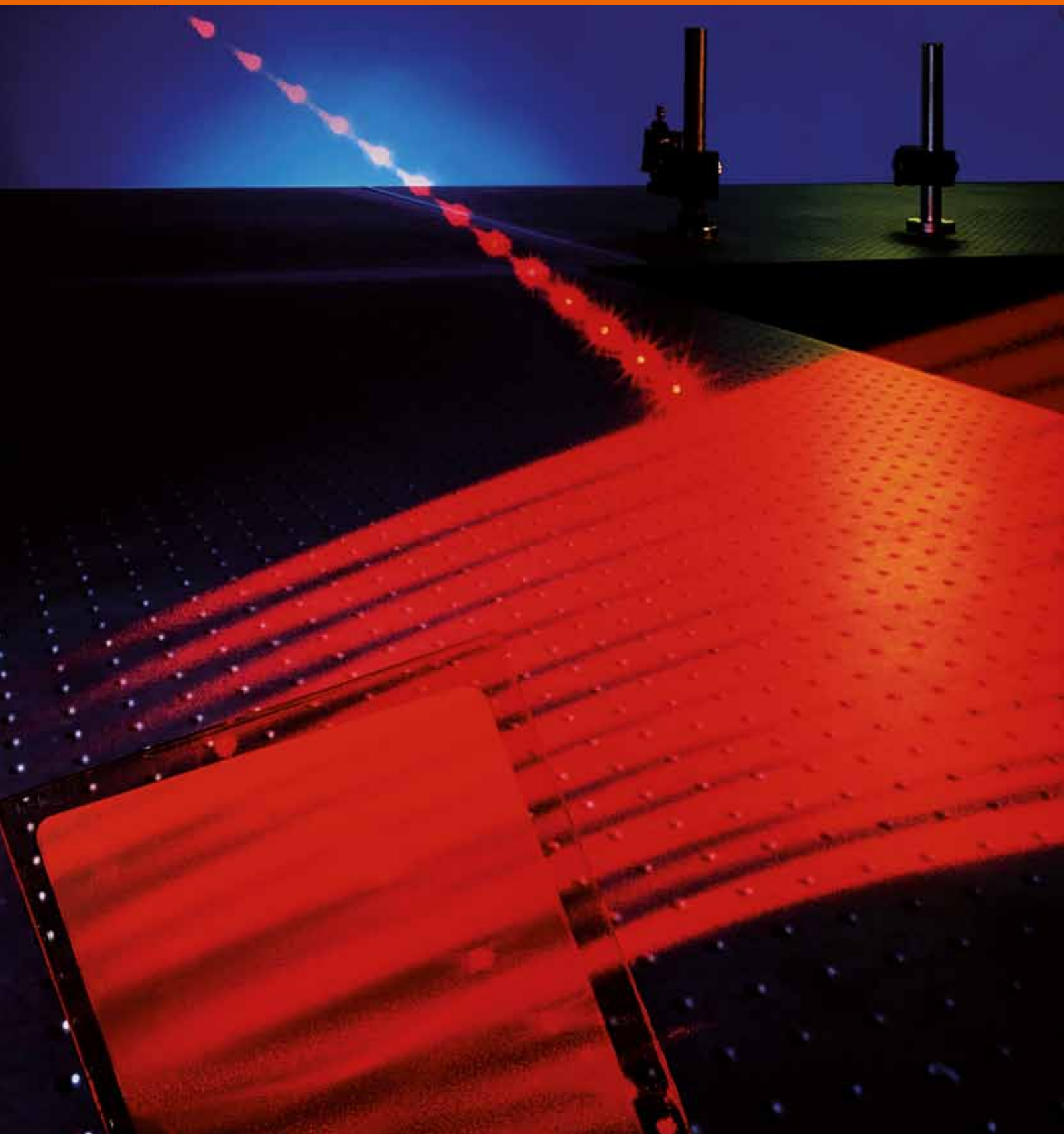
Für die Demonstrationsgebäude konnten wir Einsparungen im Bereich zwischen 10–40 % erreichen. Bezogen auf die Investitionen, die zur Einrichtung der Datenerfassung und zur Erstanalyse notwendig waren, werden statische Amortisationszeiten im Bereich von 0,5–3 Jahren erreicht.

Die Arbeiten wurden durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) und durch die Europäische Kommission unterstützt.



1 Intelligente Visualisierung: Jedes einzelne Rasterdiagramm zeigt den zeitlichen Verlauf einer Messgröße als Farbmuster. Tage mit ähnlichem Verlauf haben ähnliche Farbverläufe, so dass sich typische Muster ergeben. Diese können von geschulten Fachleuten einfach und schnell interpretiert werden.

BESSER MIT GUTER OPTIK



ANGEWANDTE OPTIK UND FUNKTIONALE OBERFLÄCHEN

Solare Energiesysteme wandeln Solarenergie, die in Form von elektromagnetischer Strahlung auf die Erde trifft, in thermische, elektrische oder chemische Energie um. Wir entwickeln optische Komponenten und Systeme, um die Solarstrahlung je nach Anforderung besser zu transmittieren, zu reflektieren, zu absorbieren, zu filtern, zu lenken oder zu konzentrieren.

Dabei stellen die große Bandbreite des solaren Spektrums mit Wellenlängen von 0,3–2,5 μm sowie die Notwendigkeit der großflächigen und kostengünstigen Herstellbarkeit von optischen Komponenten und Systemen vielfältige Herausforderungen dar. Um diesen zu begegnen, verfolgen wir neuartige Lösungsansätze, die ein Zusammenführen von Materialforschung, optischem Design und Fertigungstechnik erfordern. Für die erfolgreiche Umsetzung in neue Produkte der Solartechnik ist neben optischem Know-how, Kenntnis der Materialeigenschaften und enger Zusammenarbeit mit unseren Kunden auch eine umfassende spezifische Kenntnis der entsprechenden solaren Energiesysteme erforderlich – eine Voraussetzung, für die am Fraunhofer ISE besonders gute Synergien vorhanden sind.

Das Geschäftsfeld »Angewandte Optik und funktionale Oberflächen« bedient als Querschnittsthema mehrere Marktsegmente der Solartechnik: Fenster und Fassaden, solarthermische Kollektoren, Konzentratorsysteme für die Photovoltaik und für solarthermische Kollektoren. Unsere Expertise wird aber ebenso bei Kunden geschätzt, die nicht aus der Solarbranche kommen. So unterstützen wir auch die Licht- und die Displaytechnik.

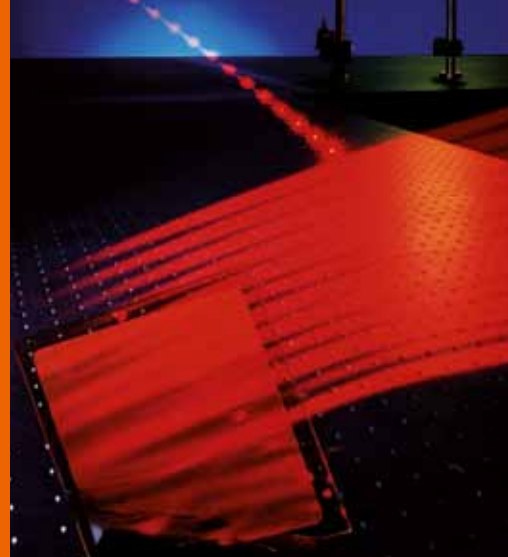
Die effektive Regelung des solaren Licht- und Energiestroms in der Fassade wird bei großflächig verglasten und energieeffizienten Gebäuden immer wichtiger. Schaltbare Beschichtungen auf Fensterscheiben erlauben es, die Transmission der Fenster über eine große Bandbreite zu verändern. Als nicht-mechanische Sonnenschutzsysteme bieten sie beispielsweise

Vorteile bezüglich Durchsicht und Anfälligkeit gegenüber Wind. Unsere gaschromen Verglasungen, bei denen die Absorption über weite Bereiche einstellbar ist, sind bereits in Demonstrationsfassaden mit der gesamten dazugehörigen Systemtechnik erfolgreich getestet worden.

Verglasungen mit sehr guter Wärmedämmung können mit hochtransparenten, aber niedrig emittierenden low-e Schichten und Edelgasfüllung erreicht werden, aber auch mit Vakuum oder transparenten Wärmedämmmaterialien. Bei sehr hohem Dämmwert zeigen sie an bestimmten Wintertagen Beschlag und sogar Befrostung an der Außenseite. Um diese unerwünschten Nebeneffekte zu reduzieren, werden niedrig emittierende, stabile Schichten für die Außenseite der Verglasung entwickelt.

Mikrostrukturierte Oberflächen ermöglichen Sonnenschutzsysteme, die unerwünschte direkte Solarstrahlung reflektieren und dennoch diffuses Tageslicht durchlassen. Photonische Gitter und Lighttrapping-Strukturen erhöhen die Effizienz von organischen und Siliciumsolarzellen. In photovoltaischen Konzentratormodulen wird die Solarstrahlung auf kleinflächige Hochleistungssolarzellen konzentriert. Wir optimieren Konzentratoroptiken hinsichtlich Wirkungsgrad und Kosten.

Das mikro-optische Know-how und die großflächige Interferenzlithographie haben für das Fraunhofer ISE ein Anwendungsgebiet außerhalb der Solartechnik interessant werden lassen: die Displaytechnik. Hier arbeiten wir an mikrostrukturierten Kunststoff-Filmen, die eine höhere Helligkeit und einen besseren Kontrast von Displays erlauben. Lichtlenkung und Lichtstreuung in abbildenden und nicht-abbildenden Optiken ist zentrales Thema in der Lichttechnik. Aufbauend auf unseren Arbeiten im Bereich der Tageslichttechnik bieten wir unsere Expertise zu optischen Material- und Oberflächeneigenschaften auch für optisches Design in der Kunstlichttechnik an.



In den vergangenen Jahren haben wir unsere Modellierungsverfahren kontinuierlich erweitert. Sie umfassen grundlegende physikalische Modelle wie Effektiv-Medium-Theorien, rigorose und skalare Beugungstheorie, Streutheorien, Dünnschichtmethoden, geometrische und nicht-abbildende Optik sowie Planungswerkzeuge z. B. für die Leuchtenplanung. So können wir bei Anfragen unserer Kunden die Machbarkeit einer gewünschten optischen Komponente schnell und effizient klären. Als Fertigungsverfahren stehen uns Vakuumbeschichtungsverfahren und Mikrostrukturierungsverfahren zur Verfügung. Die verfügbaren Charakterisierungsmethoden bieten neben den Standardverfahren auch spezialisierte Sonderaufbauten z. B. zur Bestimmung der Formtreue von Spiegeln mit Rasterstreifenreflektometrie. In guter Zusammenarbeit mit anerkannten Forschungseinrichtungen innerhalb und außerhalb der Fraunhofer-Gesellschaft komplettieren wir unser Angebot, wann immer dies notwendig wird.

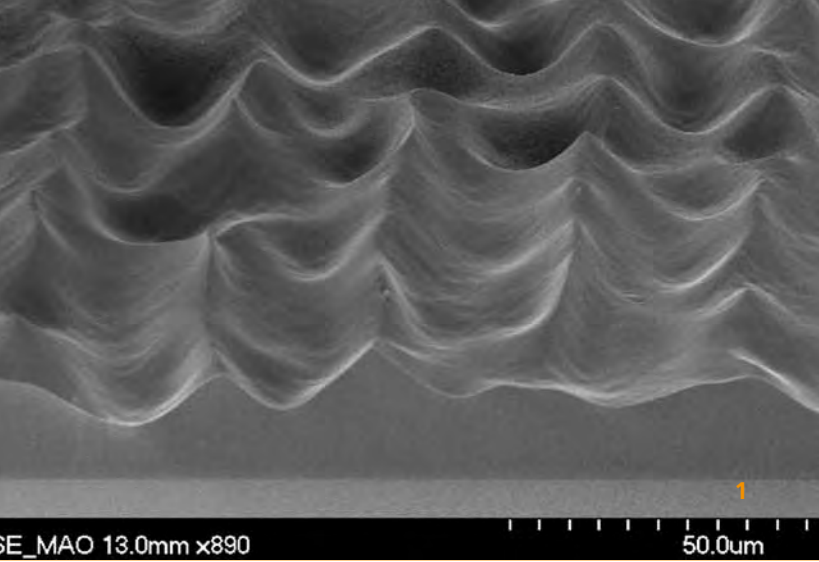
Besondere Einrichtungen:

- Vakuumbeschichtungsanlage zur industrienahen Herstellung großflächiger (140 x 180 cm²) komplexer Schichtsysteme
- Interferenzlithographieanlagen zur homogenen Herstellung von Mikro- und Nanostrukturen auf Flächen von bis zu 20 x 120 cm²
- Optische Messtechnik: Spektrometrie, Goniometrie, Streulichtmessung, Leuchtdichtemessungen mit bildgebenden Verfahren, Streifenreflektometrie, Sonderaufbauten für Konzentratoroptiken

Im Interferenzlithographielabor des Fraunhofer ISE werden mikrostrukturierte Oberflächen mit optischen und anderen Funktionalitäten entwickelt. Anwendungsfelder sind Sonnenschutzsysteme, die unerwünschte direkte Solarstrahlung reflektieren und dennoch diffuses Tageslicht durchlassen ebenso wie photonische Gitter und Lighttrapping-Strukturen zur Erhöhung der Effizienz von organischen und von Siliciumsolarzellen. Auch für Displays oder Anzeigen erfüllen Mikrostrukturen Funktionen wie Entspiegelung, Lichtlenkung, definierte Lichtstreuung, Unterdrückung von Pixeln, Polarisation, Lichtauskopplung und Einkopplung von Tageslicht. Sie verbessern damit die Qualität von Kontrast und Auflösung und erhöhen die Effizienz des Systems.

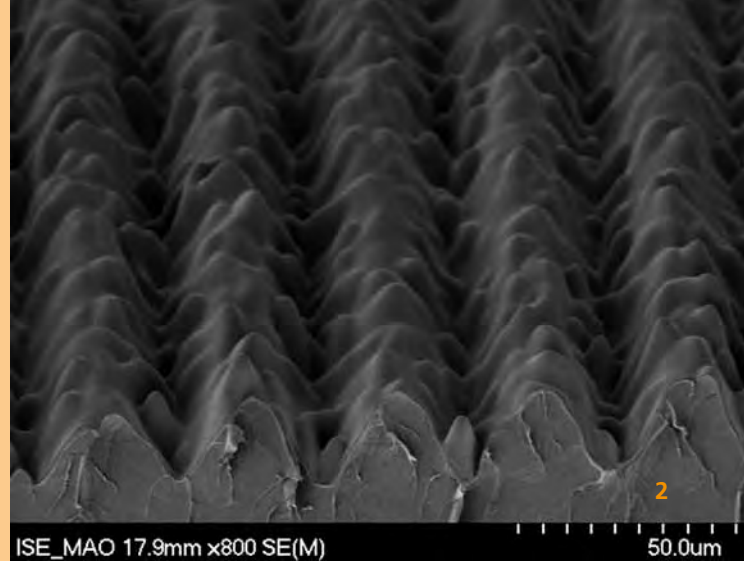
ANSPRECHPARTNER

Beschichtungen – Technologien und Systeme	Dipl.-Phys. Wolfgang Graf	Telefon +49 761 4588-5946 wolfgang.graf@ise.fraunhofer.de
Mikrostrukturierte Oberflächen	Dr. Benedikt Bläsi	Telefon +49 761 4588-5995 benedikt.blaesi@ise.fraunhofer.de
Konzentratoroptik	Dr. Peter Nitz	Telefon +49 761 4588-5410 peter.nitz@ise.fraunhofer.de
Fassaden und Fenster	Dipl.-Phys. Tilmann Kuhn	Telefon +49 761 4588-5297 tilmann.kuhn@ise.fraunhofer.de
Lichttechnik	Dr. Jan Wienold	Telefon +49 761 4588-5133 jan.wienold@ise.fraunhofer.de



SE_MAO 13.0mm x890

50.0um



ISE_MAO 17.9mm x800 SE(M)

50.0um

MASSGESCHNEIDERTE OPTISCHE DIFFUSOREN AUF GROSSEN FLÄCHEN

Optische Diffusoren sind bei vielen Anwendungen gefragt. Von besonderem Interesse sind Streuscheiben mit einer komplexen Winkelverteilung des gestreuten Lichts. Mit neu entwickelten interferenzlithographischen Prozessen sind wir in der Lage, solche Diffusoren mit einer maßgeschneiderten Streucharakteristik auf großen Flächen zu erzeugen.

Benedikt Bläsi, Volkmar Boerner*, Volker Kübler, Jörg Mick*, Michael Nitsche, Andreas J. Wolf, Werner Platzer

* Holotools GmbH

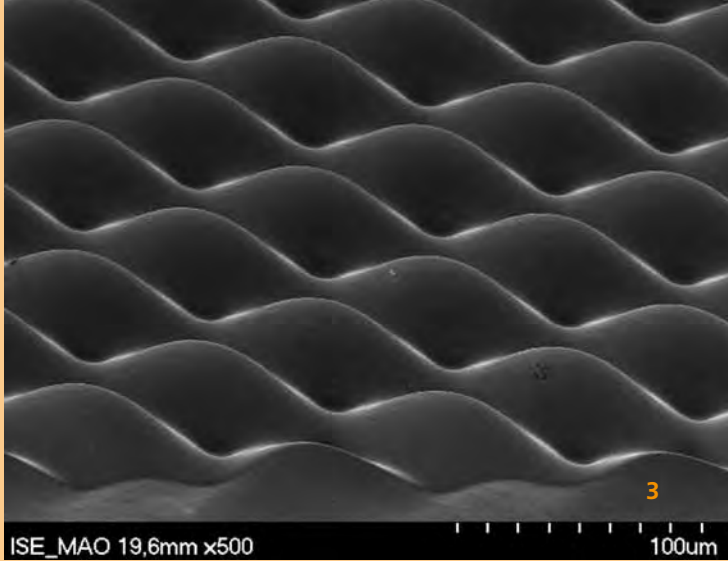
1 Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme der Oberfläche eines anisotrop streuenden Diffusors. Hier ist die Urform abgebildet. Unter der strukturierten Photoresistschicht ist die Grenzfläche zum Glassubstrat erkennbar.

2 Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme einer Diffusoroberfläche mit »Bat Wing«-Charakteristik. Die Mikrostruktur wurde durch Heißprägen in den transparenten Kunststoff Polymethylmethacrylat (PMMA) übertragen.

Optische Diffusoren oder Streuscheiben werden für eine Vielzahl von Produkten z. B. Displays, Leuchten, Photovoltaik-Systeme oder Verglasungen benötigt. Je nach Einsatz ist eine definierte Streuwirkung in Transmission oder in Reflexion gefordert. Für viele Anwendungen werden solche Diffusoren zudem auf großen Flächen benötigt.

Mit der Interferenzlithographie steht uns eine Technologie zur Verfügung, mit der Oberflächenstrukturen im Mikro- und Nanometermaßstab auf Flächen von mehr als 1 m² homogen mit höchster Präzision hergestellt werden können. Mit diesem Verfahren sind wir in der Lage, periodische und aperiodische Profile zu erzeugen und so Urformen für Oberflächendiffusoren mit maßgeschneiderter Streucharakteristik anzufertigen. Aus diesen Urformen werden dann Prägewerkzeuge hergestellt, die in Mikroreplikationsprozessen wie Heißprägen, UV-Replikation oder Nanoimprint-Lithographie zur Herstellung von großflächigen Streuscheiben eingesetzt werden können. Im Rahmen des EU-Projekts »OSIRIS« haben wir Diffusorstrukturen für großflächige Projektionsdisplays entwickelt. Je nach Endanwendung (Aufprojektion oder Rückprojektion, 2D- oder 3D-Wiedergabe) waren sehr unterschiedliche Anforderungen zu erfüllen: z. B. Streuung in Reflexion oder Transmission bzw. mehr oder weniger starke Anisotropie der Streucharakteristik. Am Anfang der Strukturentwicklungen standen wellenoptische Simulationen, mit denen wir das Streuverhalten verschiedener Oberflächenprofile modelliert und ideale Zielstrukturen entworfen haben. Danach haben wir den Interferenzlithographie-Prozess, bestehend aus Photoresistauswahl, Substratbelackung, Belichtung und Entwicklung, auf die jeweiligen Streucharakteristiken angepasst.

Im Folgenden werden beispielhaft drei Diffusorstrukturen beschrieben.



Anisotrop streuender Projektionsschirm für Transmissions- und Reflexionsanwendungen

Herausforderung bei diesem für 2D- und 3D-Displays benötigten optischen Element war es, in einer Richtung große und in der anderen Richtung kleine Streuwinkel zu realisieren. Insbesondere für 3D-Anwendungen muss diese Anisotropie extrem ausgeprägt sein. Diese Funktionalität haben wir mit einer anisotropen stochastischen Struktur verwirklicht, die wir auf Substraten der Größe 120 x 70 cm² hergestellt haben (Abb. 1).

»Bat Wing«-Diffusor

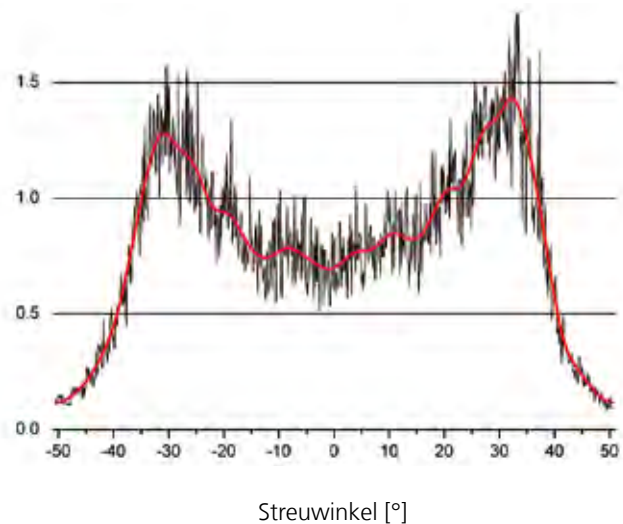
Diese Streuscheibe zeichnet sich durch eine besonders starke Ablenkung des einfallenden Lichts in die Richtung großer Winkel aus. Sie ist vor allem für den Einsatz in der Displayhinterleuchtung oder in Leuchten interessant, da z. B. von Leuchtstoffröhren ausgehendes Licht sehr günstig verteilt werden kann. Die »Bat Wing«-Funktionalität haben wir durch eine Kombination aus mehreren Belichtungen mit periodischen und aperiodischen Interferenzmustern erzielt (Abb. 2 und 4).

Asymmetrische Mikrolinsenarrays

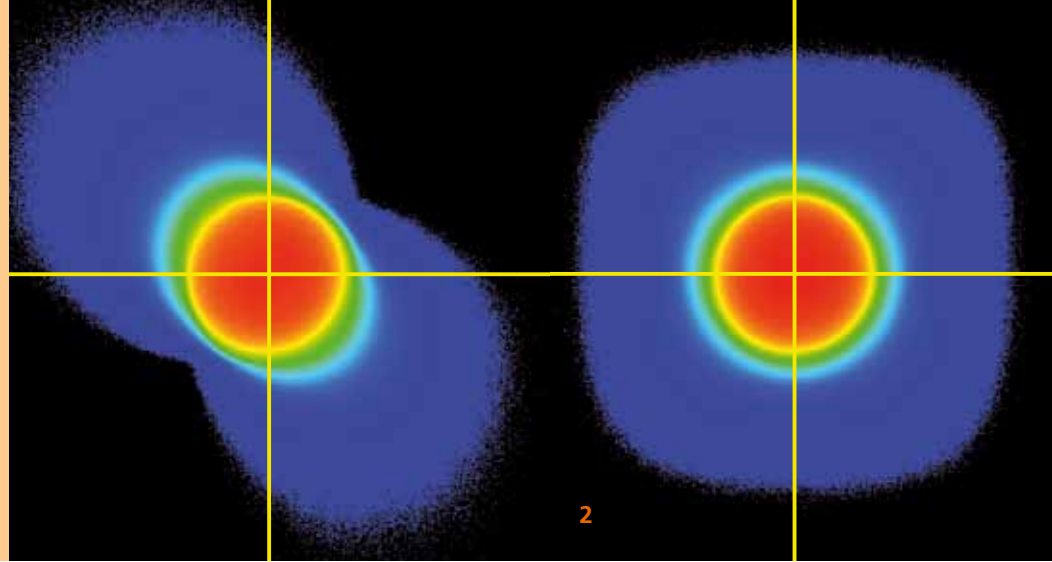
Für die Erzeugung von Strukturen mit einer sehr präzise definierten anisotropen Streucharakteristik haben wir einen Prozess zur Herstellung asymmetrischer Mikrolinsen entwickelt. Durch die Interferenz von drei Wellen können wir elongierte Linsenelemente erzeugen, deren Geometrie durch eine Kombination aus Belichtungsgeometrie und Polarisation eingestellt werden kann (Abb. 3).

Die Arbeiten wurden von der EU im Rahmen des integrierten Projekts »OSIRIS« gefördert.

3 Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme eines asymmetrischen Mikrolinsenarrays, das durch Interferenz von drei Wellen in Photoresist erzeugt und dann in Silikon repliziert wurde.



4 Streucharakteristik eines »Bat Wing«-Diffusors in Transmission (Größenskala in bel. Einheiten). Klar erkennbar sind die Maxima bei Winkeln von mehr als 30°. Die Messung wurde mit einem Laser durchgeführt, weshalb die schwarze Messkurve ein starkes Rauschen aufweist (Speckle-Effekt). Zusätzlich ist in rot die geglättete Streucharakteristik dargestellt.



CHARAKTERISIERUNG VON FRESNELLENSEN FÜR DIE KONZENTRIERENDE PHOTOVOLTAIK

In der Photovoltaik mit Flachmodulen wird das Sonnenlicht über großflächige Halbleiter eingesammelt und in elektrische Energie umgewandelt. Die konzentrierende Photovoltaik (CPV) senkt die Kosten, indem sie diese großen Flächen mit kostengünstigen Optiken überdeckt, die das Licht auf viele wesentlich kleinere Solarzellen fokussieren. An unserem Messplatz können wir die hierbei verwendeten Fresnellinsen charakterisieren. Dies ermöglicht die Optimierung von Design und Herstellprozessen sowie Qualitätskontrollen.

Thorsten Hornung, Martin Neubauer*, Peter Nitz, Werner Platzer

* Concentrix Solar GmbH

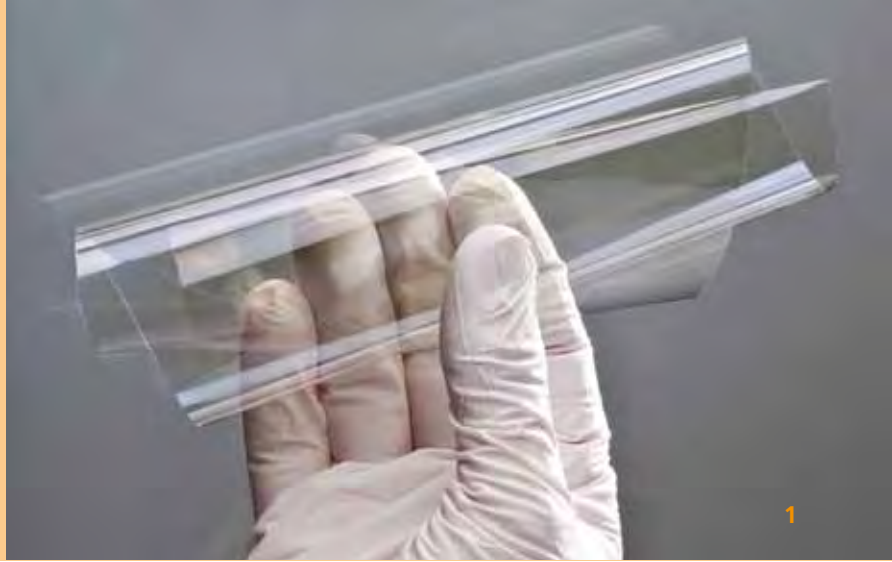
1 Der Messplatz zur Charakterisierung von Fresnellinsen besteht aus einer beweglichen Aufnahme für Linseplatten, einer Lichtquelle darüber und einer Kamera darunter. Die Lichtquelle erzeugt weißes oder monochromatisches Licht, das wahlweise parallelisiert ist oder sonnenähnliche Divergenz besitzt. Die Kamera kann in den Brennpunkt der Linse gefahren werden und nimmt dort die Intensitätsverteilung auf.

2 Wir führten vier getrennte Messungen von unterschiedlichen Teilbereichen einer quadratischen Fresnellinse mit 60 mm Kantenlänge durch. Die bei der Messung eines Teilbereichs ermittelte Lichtintensität ist links farbkodiert dargestellt. Anschließend berechneten wir aus den vier Einzelmessungen das rechts gezeigte Bild des Brennpunkts der vollständigen Fresnellinse. Die Abweichung der optischen Effizienz zu einer direkten Messung der gesamten Linse ist kleiner als 1 % relativ.

In der konzentrierenden Photovoltaik setzt man häufig Fresnellinsen zur Konzentration des Sonnenlichts ein (s. Beitrag S. 75), die sowohl zur Optimierung der Herstellungsprozesse und des optischen Designs als auch für die Qualitätskontrolle in der laufenden industriellen Produktion exakt optisch charakterisiert werden müssen. In unserem Labor haben wir vor einigen Jahren einen Messplatz aufgebaut, mit dem sich einzelne Linsen und ganze Platten mit vielen Linsen eingehend optisch untersuchen lassen. Eine monochromatische oder weiße Lichtquelle beleuchtet dazu die Linsen mit weitgehend parallelisiertem oder sonnenähnliche Divergenz aufweisendem Licht. Im Brennvolumen der Linsen detektiert eine CCD-Kamera (Charge-Coupled Device) mit hoher Linearität die flächige Verteilung der Bestrahlungsstärke, worüber wir die Güte der Fokussierung mit sehr hoher Genauigkeit bestimmen.

Größere Linsenplattenformate machten den Aufbau einer erweiterten und verbesserten Version (Abb. 1) notwendig. Quadratische Fresnellinsen mit einer Kantenlänge von bis zu 60 mm, runde Linsen mit Durchmessern von über 80 mm sowie Linsenplatten bis 450 x 850 mm² lassen sich direkt vermessen. Einzelne Bereiche von noch größeren Linsen werden getrennt vermessen. Die Mechanik des Messaufbaus ist dabei so genau, dass die einzeln gemessenen Bereiche wieder zu einem Gesamtbild zusammengefügt werden können (Abb. 2). Damit ist es uns derzeit möglich, Linsen mit bis zu 120 mm Kantenlänge und Brennweiten > 60 mm zu charakterisieren.

Darüber hinaus können wir besonders interessante Teilbereiche der Linsen gezielt untersuchen und die Fresnellinsen temperieren, um temperaturabhängige Effekte zu untersuchen. Die Messungen gleichen wir mit unserer optischen bzw. thermo-mechanischen Modellierung der Linsen ab und erhalten so Hinweise auf die Ursachen der beobachteten Effekte.



TRANSPARENTE ELEKTRODEN AUF BASIS DÜNNER SILBERSCHICHTEN

Dünne Silberschichten eingebettet in Oxidschichten weisen eine hohe Leitfähigkeit und eine hohe Lichttransmission auf. Sie sind als Wärmeschutzschichten für Architekturverglasungen im Einsatz, lassen sich aber unter Anpassung der Oxidschichten auch als Elektroden für Solarzellen oder Leuchtdioden einsetzen. Da sie sehr dünn sind (ca. 10 nm) sind sie kostengünstig und lassen sich gut auf flexiblen Kunststoffsubstraten abscheiden. Für bestimmte Anwendungen ist die Anpassung der Austrittsarbeit von besonderer Bedeutung.

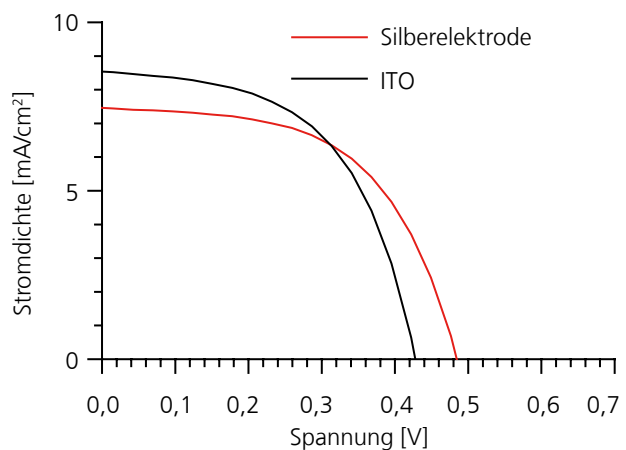
Andreas Georg, Leonard Kraus, Thomas Kroyer, Hans-Frieder Schleiermacher, Tobias Schosser, Werner Platzer

Silberbasierte Elektroden bestehen aus dünnen Silberschichten (Schichtdicke ca. 10 nm), die in Oxidschichten (Schichtdicke ca. 50 nm) eingebettet sind. Solche Schichtsysteme werden seit längerem als Wärmeschutzschichten für Architekturverglasungen eingesetzt. Hier werden typischerweise Lichttransmissionswerte von 89 % und elektrische Schichtwiderstände von 4 Ohm erreicht. Herkömmliche transparente Elektroden auf Basis von Indium-Zinn-Oxid (ITO) sind relativ teuer. Silber Elektroden stellen eine preiswerte Alternative dar.

Hierzu müssen insbesondere die Oxidschichten angepasst werden. Für manche Systeme, wie organische Solarzellen oder Leuchtdioden, ist eine Anpassung der Austrittsarbeit erforderlich. Bei Variation des Metalls in dem Metalloxid konnte eine Variation der Austrittsarbeit von 1 eV erreicht werden. Bei Variation des Sauerstoffgehalts betrug dieser Wert ca. 0,3 eV. Die Anforderungen an die Leitfähigkeit des Metalloxids sind sehr moderat, insbesondere im Vergleich zu konventionellen transparenten leitfähigen Oxiden (TCOs).

Eine Abstimmung der Schichtdicken erlaubt eine bessere Ausnutzung von Interferenzen als es im Vergleich zu den

1 *Transparente Silberelektrode auf Polyesterfolie.*



2 *Strom-Spannungskennlinie einer organischen Solarzelle mit ITO und einer Silberelektrode.*

wesentlich dickeren TCO-Schichten möglich wäre. Dadurch kann z. B. die Absorption in einer Solarzelle gesteigert werden. Insbesondere bei organischen Solarzellen können saure Medien zum Einsatz kommen. Hier ist die Silberelektrode unter Verwendung geeigneter einbettender Oxide beständiger als aluminiumdotiertes Zinkoxid oder auch als ITO, welche häufig als transparente Elektroden verwendet werden.

Silberelektroden lassen sich gut auf flexiblen Kunststoffsubstraten abscheiden, was bei üblichen TCOs nicht ohne Weiteres möglich ist (Abb. 1). Abb. 2 zeigt die Strom-Spannungskennlinie einer organischen Solarzelle mit einer Silberelektrode und einer ITO-Schicht, wie sie üblicherweise als Elektrode eingesetzt wird. Das teure ITO konnte ohne Einbuße im Wirkungsgrad durch eine Silberelektrode ersetzt werden.

WÄRME, KÄLTE, STROM VON DER SONNE



SOLARTHERMIE

Solarthermische Systeme mit unterschiedlichen Arbeitstemperaturen finden Einsatz in der Gebäudetechnik in Wohn- und Geschäftsgebäuden, in der Industrie oder als Freilandanlagen. Die solar erzeugte Wärme kann entweder direkt genutzt oder über Wärmekraftmaschinen in Strom oder mittels thermischer Kältemaschinen in Kälte gewandelt werden. Generell sind die beiden entscheidenden Faktoren für die Leistungsfähigkeit der Systeme der optische Strahlungstransport und die Minimierung der Wärmeverluste. In der Vergangenheit waren Komponentenentwicklungen und Anwendungen der Solarthermie am Fraunhofer ISE in verschiedenen Geschäftsfeldern aufgehoben. Die Gemeinsamkeiten der vielfältigen Systemansätze kamen dabei zu kurz. Das Fraunhofer ISE hat sich deshalb entschlossen, die Gemeinsamkeit dieser verschiedenen Anwendungen und Systeme zu betonen, um die Synergien zwischen den involvierten Arbeitsgruppen und den jeweiligen Technologien zu verstärken. Hierfür wurde das Geschäftsfeld »Solarthermie« geschaffen.

Das Geschäftsfeld »Solarthermie« umfasst den Markt von Nieder- bis Hochtemperaturanwendungen: Solarthermische Kollektoren und Kollektorsysteme mit Flach- und Vakuumröhrenkollektoren haben vielseitige Anwendungen von der Brauchwasser- und Solarheizungsanlage über die Kühlung und Klimatisierung bis hin zur seewasserfesten Entsalzungsanlage. Auch fassadenintegrierte Kollektoren und Fensterkollektoren werden eingesetzt. Mit linear konzentrierenden Kollektoren können Betriebstemperaturen von 150 °C bis über 400 °C erreicht werden. Sowohl Rinnen- als auch Fresnelkollektoren werden nicht nur für die solarthermische Stromversorgung von Großkraftwerken eingesetzt, sondern auch in oft einfacheren und kostengünstigeren Varianten für die Erzeugung von Prozesswärme, Prozessdampf und Antriebswärme von Absorptionskältemaschinen.

Solarthermische Energiesysteme wandeln Solarenergie, die in Form von elektromagnetischer Strahlung auf die Erde trifft, in Wärme um. Dabei kann je nach Ausformung der solarthermischen Kollektoren eine Temperaturerhöhung über die Umgebungswärme von wenigen Grad bis hin zu mehreren hundert Grad erfolgen. Je geringer die thermischen Verluste eines Empfängers, desto höher sind die möglichen Betriebstemperaturen. Optische Oberflächen und Materialien sind wichtig für die Realisierung effizienter Systeme. Hier liegt die Verbindung zum Geschäftsfeld Angewandte Optik und Funktionale Oberflächen.

Selektive Absorberschichten solarthermischer Kollektoren (Temperaturen bis 230 °C) werden von uns seit vielen Jahren entwickelt und in die Industrie transferiert. Als Beschichtungen von Absorberrohren in solarthermischen Kraftwerken müssen solche Schichtsysteme aber wesentlich höhere Temperaturen (bis zu 450 °C) dauerhaft aushalten. Dafür werden abhängig von der Absorberrohrvariante zusätzliche Schichten als Diffusionsbarrieren in das Schichtsystem integriert.

Der Wirkungsgrad eines Kollektors hängt aber nicht nur von den Oberflächeneigenschaften ab, auch die strömungstechnischen Eigenschaften sowie die Wärmeübertragung innerhalb des Kollektors sind wesentlich. Eine gleichmäßige Durchströmung bei niedrigem Druckverlust bei Flachkollektoren wird mit unserem *FracTherm*[®]-Konzept aus der Bionik erreicht. Auf Basis dieses Ansatzes ergeben sich auch gänzlich neue Konstruktions- und Fertigungsmöglichkeiten für solarthermische Kollektoren.

Offene sorptionsgestützte Klimatisierungsverfahren können effektiv mit einfachen Flachkollektoren betrieben werden. Sie ermöglichen eine bedarfsgerechte Konditionierung der Frischluft in Bezug auf Temperatur und Luftfeuchte. Andere thermische Kühlverfahren benötigen zum Teil höhere Arbeitstemperaturen. Deswegen werden für die Optimierung des Gesamtsystems auch konzentrierende Kollektoren entwickelt und eingesetzt.



Solarthermische Kraftwerke besitzen in Ländern mit hoher Direktstrahlung ein riesiges Potenzial, Solarstrom sowohl für den Tagesspitzenbedarf als auch für die Grundlast kostengünstig zu erzeugen. Bei hohen Temperaturen wird Wasserdampf erzeugt, der wie in einem konventionellen Kraftwerk die Turbine antreibt. Deswegen können Solarfelder auch einfach in Hybrid-Kraftwerke integriert werden. Die nichtsolare Wärmeerzeugung kann beispielsweise auch regenerativ über Biomasse geschehen. Über Hybridisierung oder alternativ über die thermische Speicherung können die Kraftwerke auch nachts Strom liefern. Normalerweise wird bei solaren Kraftwerken an Großprojekte von 20–400 MW_{el} gedacht. Wir untersuchen aber auch die Chancen von mittleren solarthermischen Anlagen im Industriemaßstab, deren Wirtschaftlichkeit über die Kraft-Wärme-(Kälte-)Kopplung und einfachere Betriebsbedingungen deutlich verbessert werden kann.

Besondere Einrichtungen:

- Vakuumbeschichtungsanlage zur industrienahen Herstellung komplexer Absorber- und Spiegelprototypen auf planen und gekrümmten Flächen und Rohren (140 x 180 cm²)
- materialtechnische Messtechnik (REM, Auger, EDX) zur Untersuchung von Veränderungen der Schichten durch thermische oder anderen Belastungen
- optische Messtechnik: Spektrometrie, Goniometrie, Leuchtdichtemessungen mit bildgebenden Verfahren, Streifenreflektometrie, Sonderaufbauten für Konzentratoroptiken
- TestLab Solar Thermal Systems: zertifiziertes solarthermisches Prüflabor für Kollektoren und Systeme nach Solar Keymark (Leistungs- und Qualifizierungstests, Außen- und Innenprüfung, Mitteltemperaturvermessung bis 200 °C), auch geeignet für die Vermessungen von Solarluftkollektoren

Demonstrationsanlage Fresneltechnologie, Plataforma Solar, Almería, Spanien. Mit diesem Kollektor wurde erstmals in relevanter Größe die technische Machbarkeit und der praktische Betrieb der Fresneltechnologie nachgewiesen. Das Fraunhofer ISE optimierte das Kollektorkonzept im Hinblick auf die Zielgröße minimaler spezifischer Energieerzeugungskosten. Eine Reihe von frei wählbaren Parametern, z. B. die Anzahl der Spiegelreihen und die Form des Sekundärspiegels waren zu berücksichtigen. Die Industriepartner Solar Power Group/IMAN Ferrostal Power Industry übernahmen die konstruktive Ausführung. Das Fraunhofer ISE führte die Beschichtung der Schlüsselkomponenten Receiverrohr und Sekundärspiegel durch.

ANSPRECHPARTNER

Thermische Solaranlagen Dipl.-Phys. Gerhard Stryi-Hipp Telefon +49 761 4588-5686
gerhard.stryi-hipp@ise.fraunhofer.de

Energieeffiziente und solare Kühlung Dr. Peter Schossig Telefon +49 761 4588-5130
peter.schossig@ise.fraunhofer.de

Solare Prozesswärme Dr. Werner Platzer Telefon +49 761 4588-5983
werner.platzer@ise.fraunhofer.de

Solarthermische Kraftwerke Dipl. Wi.-Ing. Gabriel Morin Telefon +49 761 4588-5994
gabriel.morin@ise.fraunhofer.de

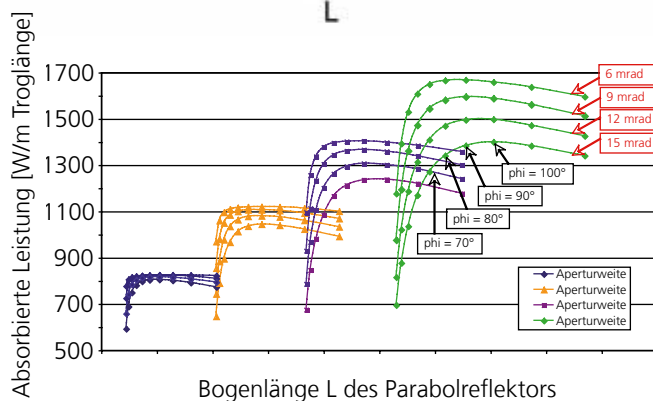
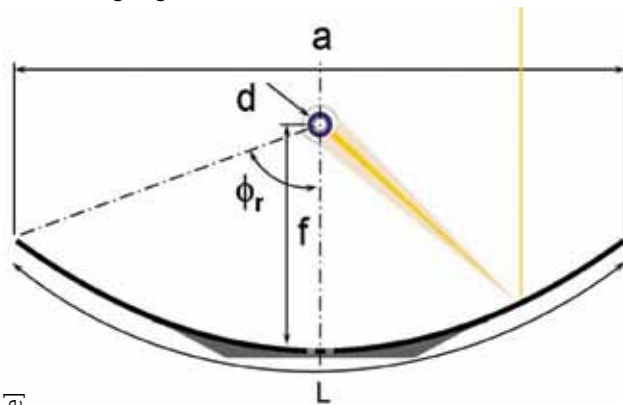
Wärme- und Kältespeicher Dr. Peter Schossig Telefon +49 761 4588-5130
peter.schossig@ise.fraunhofer.de

DESIGNOPTIMIERUNG VON PARABOLRINNENKOLLEKTOREN

Kleine Parabolrinnenkollektoren eignen sich besonders gut für die Erzeugung von Prozesswärme bei Temperaturen zwischen 180 °C und 300 °C. Wir unterstützen die Industrie bei der Entwicklung ihrer Kollektoren, indem wir systematisch die Einflüsse von Reflektormaterial, geometrischer Anordnung und optischer Genauigkeit untersuchen. Zur optischen Modellierung setzen wir Strahlverfolgung ein. Wir charakterisieren relevante Reflektormaterialien im Labor und verwenden die detaillierten Ergebnisse in unseren Designstudien.

Anna Heimsath, Stefan Hess, Paolo di Lauro, Peter Nitz, Thomas Schmidt, Hans-Martin Henning, Werner Platzer

Parabolrinnenkollektoren mit Aperturweiten von 1–2 m nutzen die Direktstrahlung der Sonne, um Prozesswärme zu erzeugen. Hierfür wird die Direktstrahlung über parabelförmige Reflektoren auf einen Absorber konzentriert (Abb.1). Für die Erzeugung industrieller Prozesswärme im Temperaturbereich > 180 °C und für die kombinierte Erzeugung von Prozesswärme und Strom sind konzentrierende Kollektoren besonders geeignet.



Bei der Entwicklung eines neuen Kollektors müssen eine Vielzahl von Parametern und Materialien festgelegt werden. Am Fraunhofer ISE modellieren wir die unterschiedlichen Designoptionen mittels Strahlverfolgung. In die Modelle werden geometrische Abmessungen, Komponenteneigenschaften und Abbildungsfehler integriert. Ergebnis der optischen Simulation ist der winkelabhängige optische Wirkungsgrad, der dann für die Berechnung von Jahreserträgen für gegebene Standorte und Kollektorfeldgeometrien verwendet werden kann.

Um möglichst präzise Vorhersagen der Leistungsfähigkeit zu treffen, ist es notwendig einzelne Kollektoren und ihre Materialien im Vorfeld zu charakterisieren. Spezifische relevante optische Eigenschaften sind dabei z. B. die winkelabhängige direkte Reflektivität, die Strahlaufweitung durch die Reflektoroberfläche oder die exakte Form der Parabolrinne. Die Kenntnis dieser Daten erlaubt uns eine möglichst realitätsnahe Modellierung.

Innerhalb des Projekts »dCSP« wurde eine systematische, theoretische Studie zum Einfluss der Kollektorgeometrie und Genauigkeit der Spiegel auf den optischen Ertrag eines kleinen Parabolrinnenkollektors durchgeführt. Die Arbeiten wurden im Auftrag der Alcan Speciality Sheet und Alcan Innovation Cells durchgeführt.

1 *Design einer kleinen Parabolrinne für Prozesswärme. Die direkte Solarstrahlung wird über einen parabelförmigen Spiegel auf das Absorberrohr reflektiert. Für das Design sind zahllose Kombinationen von Aperturweite (a) und Brennweite (f), Randwinkel (ϕ_r) und Absorberdurchmesser (d) möglich. Eine Kostenoptimierung entscheidet letztlich über das günstigste Design für die Realisierung.*

2 *Einfluss von Aperturweite (A_p), Randwinkel (ϕ) und Spiegelfehler (als Strahlaufweitung in mrad) auf die absorbierte Leistung (pro Meter Rinne), aufgetragen gegen den Materialeinsatz (Bogenlänge) des Reflektorblechs. Dabei zugrunde gelegte Annahmen sind eine direkte Einstrahlung von 1000 W/m²; keine Wärmeverluste; der Randwinkel wurde zwischen 30° und 120° variiert. Die farbigen Kennlinien stehen für ansteigende Aperturweiten (von blau nach grün).*

AUSLEGUNGSOPTIMIERUNG VON SOLARTHERMISCHEN KRAFTWERKEN

Wie bei allen technischen Systemen sind auch bei der Auslegung solarthermischer Kraftwerke verschiedene Parameter optimal aufeinander einzustellen. Wir haben einen neuartigen Ansatz entwickelt, der die verschiedenen technischen und ökonomischen Komponentenmodelle sowie ein leistungsstarkes Multi-Parameter-Optimierungsverfahren so integriert, dass unterschiedliche Auslegungsvariablen vom Kollektorfeld bis hin zum Kraftwerksprozess simultan optimiert werden können.

Torsten Gutjahr, **Gabriel Morin**, Sanmati Naik, Pascal Richter, Werner Platzer

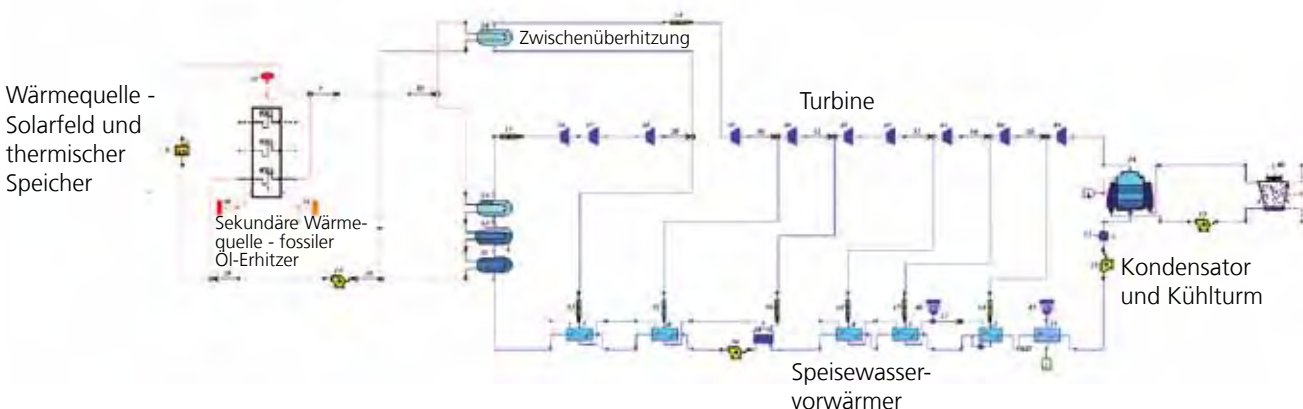
Im Lauf der vergangenen Jahre haben wir einen Ansatz verfolgt, der darauf abzielt, das Optimierungspotenzial bei der Auslegung von konzentrierenden Solarkollektoren voll auszuschöpfen, indem alle technischen und wirtschaftlichen Faktoren simultan in einem integrierten Programmpaket berücksichtigt werden. Nachdem wir diese Methodik erfolgreich in der Produktentwicklung konzentrierender Solarkollektoren angewandt hatten, haben wir nun die Methodik auf gesamte Kraftwerke und dabei insbesondere auf den konventionellen Kraftwerksteil ausgeweitet.

Üblicherweise werden heute bei der Auslegung eines solarthermischen Kraftwerks sequenziell Solarfeld, Kraftwerksprozess und andere Komponenten dimensioniert, woran sich eine ökonomische Bewertung der Konfiguration anschließt. Mit dieser sequenziellen Vorgehensweise ist es sehr zeitaufwändig, ein solarthermisches Kraftwerk nach ökonomischen Kriterien optimiert auszulegen.

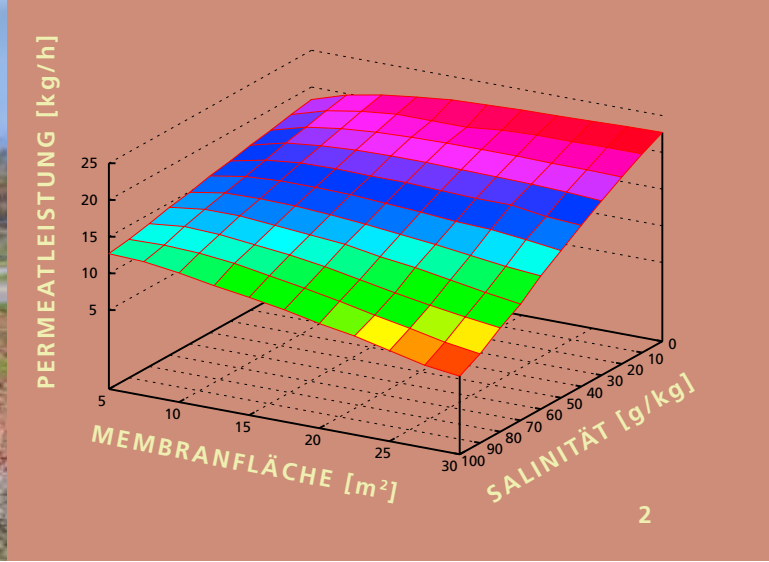
Wir haben daher die technischen und ökonomischen Simulationsprogramme der Subsysteme über Schnittstellen mit einem zeiteffizienten Optimierungsverfahren gekoppelt, um fallspezifisch relevante Parameter zu optimieren. In Anlehnung an die biologische Evolution kreiert dabei das Optimierungsverfahren stets neue verbesserte Parameterkonfigurationen (Individuen).

Als Anwendungsbeispiel haben wir – ausgehend von einer Kraftwerksauslegung in Anlehnung an das spanische 50 MW-Parabolrinnenkraftwerk »Andasol-I« – folgende Parameter hinsichtlich der Stromgestehungskosten simultan optimiert: Solarfeld-Größe, Abstand zwischen den parallelen Kollektorreihen, Größe des thermischen Speichers, Betriebstemperatur sowie die Prozesskomponenten Kondensator, Kühlturm, Speisewasservorwärmung und Zwischenüberhitzung.

Die Arbeiten werden durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) unterstützt.



1 Neu an dem integrierten Simulationspaket OPTISIM ist, dass auch der konventionelle Kraftwerksteil detailliert abgebildet wird und in der Auslegung simultan optimiert werden kann. Wir verwenden dabei das Programm Thermoflex, das neben der energetischen Bewertung ebenfalls über ein Kostenschätzungsmodul verfügt.



SOLARTHERMISCHE MEERWASSERENTSALZUNG

Die Bereitstellung von Trinkwasser durch die Entsalzung von Meerwasser ist in einigen Teilen der Welt heute nicht mehr wegzudenken. Der Einsatz von Solarenergie ist hierzu aufgrund geographischer Gegebenheiten zumeist hervorragend geeignet. Am Fraunhofer ISE entwickeln wir thermisch getriebene Membrandestillationsanlagen, die zur Aufbereitung von Salzwasser zu Trinkwasser dienen, aber auch in industriellen Trennprozessen eingesetzt werden können. Der Antrieb erfolgt solarthermisch oder mittels Abwärme.

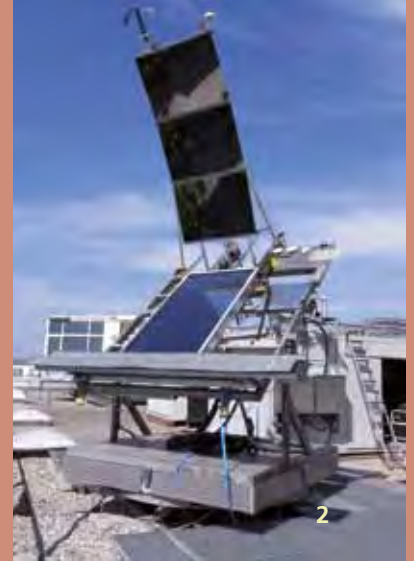
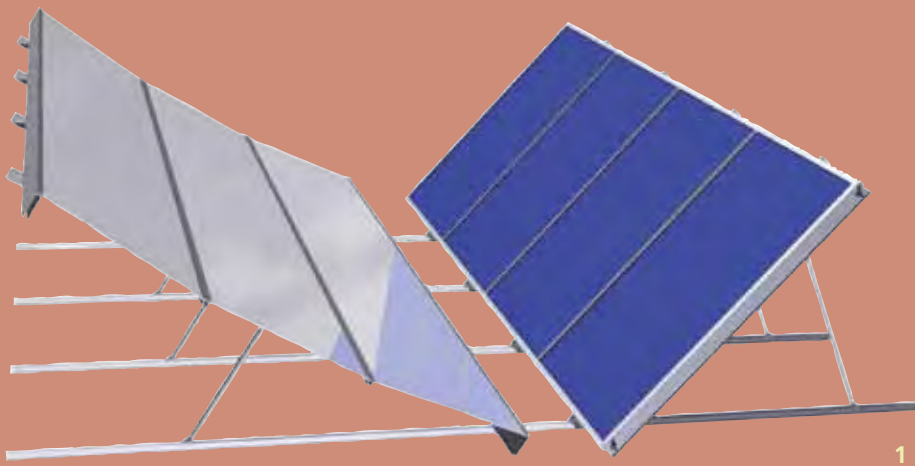
Florian Groß, Mario Hillebrand, **Joachim Koschikowski**, Christian Schirmer, Hamdi Timoumi, Marcel Wieghaus, Daniel Winter, Hans-Martin Henning

1 Zwei identische solarbetriebene Membrandestillationsanlagen für vergleichende Untersuchungen. Die Kollektorfläche beträgt jeweils 7 m². Die typische Kapazität einer Anlage liegt zwischen 90 und 150 l/Tag.

2 Simulationsergebnis zur Bewertung der membranflächenabhängigen Destillatleistung unter Berücksichtigung der Salzkonzentration des Rohwassers. Diese Ergebnisse sind für bestimmte fixe Betriebsparameter gültig (Einlauftemperatur, Rohwassermassenstrom). Hieraus lässt sich die Modulkonfiguration auf die konkreten Betriebsbedingungen abstimmen.

Die Membrandestillation (MD) ist ein thermisches Trennverfahren, bei dem eine Verdampfung aus einer Sole heraus durch eine Membran hindurch stattfindet. Die flüssige Sole wird dabei von der Membran zurückgehalten. Als treibende Kraft muss eine Temperaturdifferenz zwischen den beiden Seiten der Membran aufgebaut werden. Am Fraunhofer ISE entwickeln wir MD-Module, die eine integrierte Wärmerückgewinnung enthalten und damit besonders energieeffizient sind. Diese Module integrieren wir z. B. in solar betriebene Entsalzungsanlagen. Im Mittelpunkt stehen dabei vor allem energieautarke Systeme, die zur dezentralen Wasseraufbereitung eingesetzt werden. Um detaillierte Untersuchungen des Gesamtsystems durchführen zu können, haben wir zwei identische Anlagen auf unserem Versuchsgelände aufgebaut (Abb. 1). Hier können parallel, unter exakt gleichen Umgebungsbedingungen, unterschiedliche Betriebsweisen, der Einfluss unterschiedlicher Bauteile oder die Auswirkung unterschiedlicher MD-Modulkonfigurationen untersucht werden.

Diese Betriebsergebnisse nutzen wir ebenfalls dazu, unsere Simulationsmodelle zu validieren, die sowohl den physikalischen Transportprozess im MD-Modul als auch das Gesamtsystem genau abbilden. Die in Abb. 2 dargestellte Simulation zeigt, wie wichtig eine genaue Abstimmung der Modulkonfiguration auf den Betrieb der Anlage ist. In der Grafik ist zu erkennen, dass der Destillatsertrag bei der Behandlung schwach salzhaltiger Wässer mit einer Vergrößerung der Membranfläche ansteigt. Bei der Behandlung hoch konzentrierter Wässer führt eine Vergrößerung der Membranfläche unter Umständen aber zu einer signifikanten Reduzierung des Ertrags. Im Rahmen verschiedener Projekte bauen wir derzeit mit unseren Partnern aus Forschung und Industrie mehrere solar- sowie abwärmebetriebene MD-Anlagen (0,15–5 m³/Tag) in Italien, Tunesien, Namibia und auf den Kanarischen Inseln.



NIEDERTEMPERATUR-PROZESSWÄRME MIT REFLEC-KONZEPT

Etwa ein Fünftel des europäischen Endenergieverbrauchs fällt im Bereich der industriellen Prozesswärme an – ein wesentlicher Anteil davon kann bei Temperaturen unter 150 °C bereitgestellt werden. Seit mehreren Jahren arbeiten wir in diesem Temperaturbereich unter anderem am Projekt »ReflecC«, in dem wir die Firma Wagner & Co. Solartechnik bei der Entwicklung eines zweifach abgedeckten Prozesswärme-Flachkollektors mit externen Reflektoren unterstützen.

Stefan Heß, Paolo di Lauro, Axel Oliva, Hans-Martin Henning

Zur Ermittlung der optimalen Reflektorgeometrie haben wir Akzeptanz-Halbwinkel, Reflexionsgrad, Reflektorform und weitere Parameter des Kollektors systematisch mit Hilfe von Strahlverfolgungssimulationen variiert, wobei jeweils der optische Wirkungsgrad der Variante sowie der Verlauf des Einstrahlwinkelkorrekturfaktors (IAM) für Direktstrahlung berechnet wurden. Unsere optischen Simulationen konnten wir durch Outdoor-Messungen dreier Testmuster validieren. Im Vorfeld wurden einige Kollektorkomponenten am Fraunhofer ISE optisch vermessen. Verschiedene Reflektormaterialien haben wir mit Eiskugeln auf ihre Hagelschlagbeständigkeit getestet. Für verschiedene Abstände und Materialien der zweiten Kollektorabdeckung haben wir die thermischen und optischen Verluste theoretisch untersucht und messtechnisch validiert.

Zur Berechnung der Kollektorerträge haben wir ein neues Modul für das Simulationsprogramm »TRNSYS« entwickelt, in dem die Diffusstrahlung in jedem Zeitschritt anisotrop über die Hemisphäre verteilt wird. Mit dem IAM für Direktstrahlung aus der Strahlverfolgung können wir so die Strahlungsakzeptanz des Kollektors korrekt bestimmen.

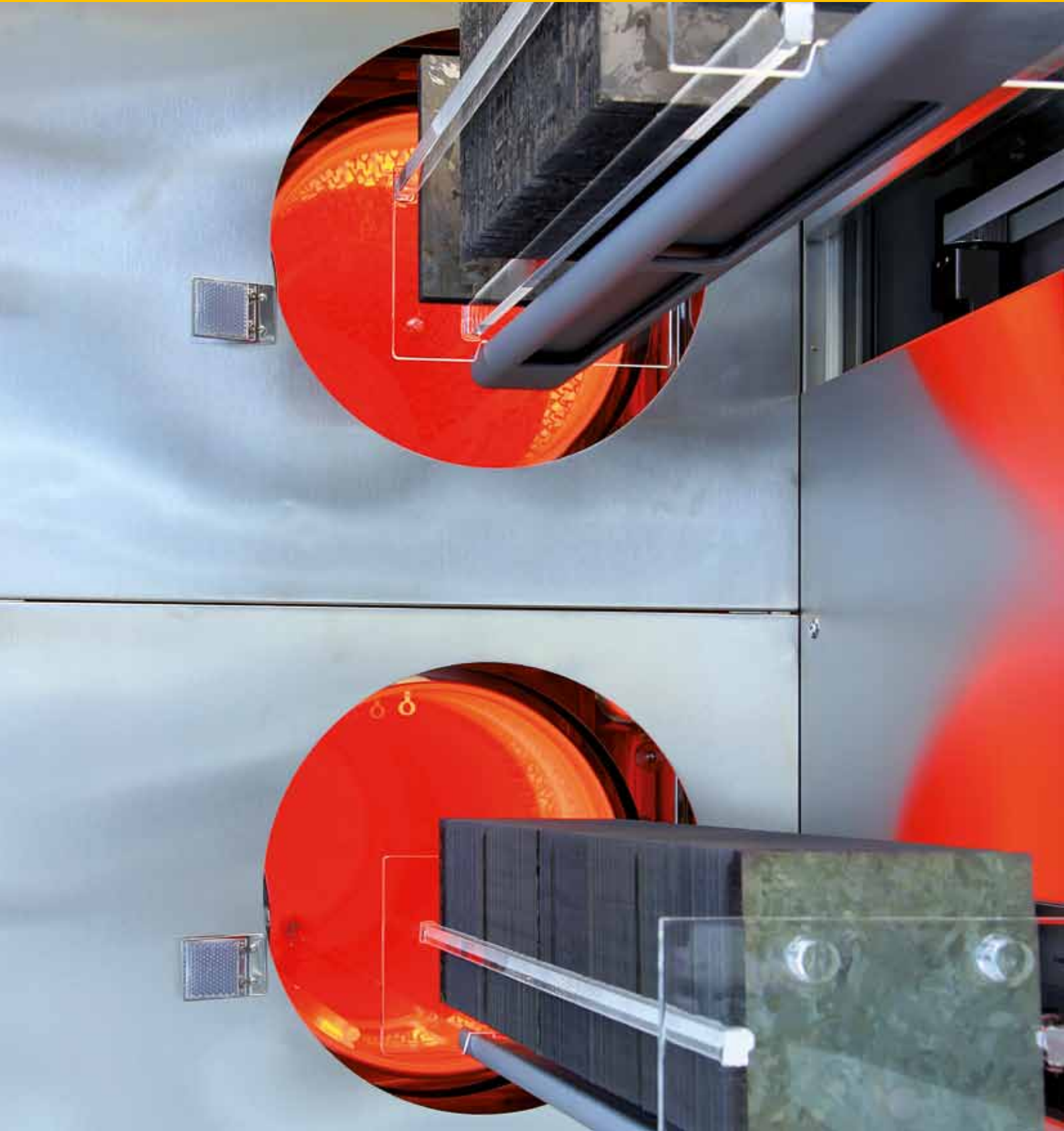
1 Reflektoren und Flachkollektoren bilden auf einem Flachdach aufgeständert lange Reihen; die Unterkonstruktion der Reflektoren stützt jeweils die davor liegende Kollektorreihe. Durch eine zweite Abdeckung und Reflektoren konnten die thermischen Verluste erheblich reduziert werden. Der IAM für Direktstrahlung erreicht Werte bis zu 1,5.

2 Vermessung der Wirkungsgradkennlinie der in Abb. 1 dargestellten Variante am Fraunhofer ISE. Mit Hilfe unseres Prozesswärme-Kollektorteststands konnten wir die Wirkungsgradkennlinie bis zu Betriebstemperaturen oberhalb 180 °C vermessen. Die Messwerte zur Bestimmung des IAM haben wir jeweils so korrigiert, dass wir diesen für reine Direktstrahlung ermitteln konnten.

Beim Kollektordesign ist auch eine Anpassung der maximalen Kollektorleistung an saisonale Lastprofile möglich. Der Kollektor-Bruttoertrag der in Abb. 1 dargestellten Variante liegt für den Standort Würzburg verglichen mit dem doppelt abgedeckten Flachkollektor ohne Reflektor bei einer konstanten Eintrittstemperatur von 80 °C um 50,7 %, bei 120 °C sogar um 130 % höher. Mit der in Simulationen standardmäßig verwendeten isotropen Verteilung der Diffusstrahlung über die Hemisphäre würde der Ertrag bei 120 °C um ca. 20 % unterschätzt.

Die Arbeiten werden im Rahmen des Programms »Solarthermie 2000plus« vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) gefördert.

STROM AUS SONNENLICHT



SILICIUM-PHOTOVOLTAIK

Die Photovoltaik erlebt seit mehreren Jahren einen Boom, gefördert durch gezielte Markteinführungsprogramme in Deutschland, Spanien und anderen europäischen Ländern. Die weltweit installierte Spitzenleistung ist bereits auf über 15 GW angewachsen.

Weit über 80 Prozent der hergestellten nominalen Solarzellenleistung basiert auf kristallinem Silicium. Wirkungsgrad, Preis-/Leistungsverhältnis, Langzeitstabilität und belastbare Kostenreduktionspotenziale sprechen dafür, dass dieser Leistungsträger der terrestrischen Photovoltaik auch künftig marktbeherrschend sein wird. Unsere FuE-Angebote zielen darauf ab, die Kostendegression weiter voranzutreiben.

Mit unserem FuE-Angebot bilden wir die gesamte Wertschöpfungskette der kristallinen Silicium-Photovoltaik ab:

Im Silicium Material Technologie- und Evaluationscenter SIMTEC beschäftigen wir uns mit der Epitaxie von Siliciumschichten, der Analyse verschiedenartiger, teils neuer Silicium-Feedstock-Materialien sowie mit Material- und Prozessfragen der dafür eingesetzten Technologien. Wir verfügen über eine Kristallisationsanlage, die es uns erlaubt, von 15 kg bis zu 250 kg schwere multikristalline Blöcke herzustellen. Auch die Säge- und Schleiftechnologie ist vorhanden, so dass wir aus den kristallisierten Blöcken Säulen und Wafer anfertigen können. Der wissenschaftliche Schwerpunkt unserer Arbeiten liegt in der Anpassung der Kristallisationsprozesse an das jeweils spezifische Solarsilicium, u. a. forschen wir intensiv an gereinigtem metallurgischem Silicium (»Upgraded Metallurgical Grade Silicon/UMG«).

In unserem Reinraumlabor treiben wir maßgeblich die Entwicklung von hocheffizienten Solarzellenkonzepten und -prozessen voran, um so auf dünneren Wafern höhere Wirkungsgrade zu erzielen und damit die Voraussetzung für eine substanzielle Kostensenkung in der Silicium-Photovoltaik zu erreichen. Bei den Solarzellenkonzepten liegt unser Fokus

dabei auf rückseitig kontaktierten Zellen und Strukturen für n-Typ Silicium. Neben der ausgezeichneten Prozessinfrastruktur im 500 m² großen Reinraumlabor, die es uns erlaubte, mehrere internationale Rekordwirkungsgrade zu erreichen, bilden effektive Oberflächenpassivierungsmethoden, neuartige Metallisierungs- und Dotierverfahren und innovative Nanostrukturierungstechnologien die Schwerpunkte bei der Prozesstechnologie.

Für alle genannten Technologieschwerpunkte bildet unser exzellenter Charakterisierungs- und Simulationspool die Grundlage für effektive und wissenschaftlich fundierte Entwicklungen. Wir sind dabei maßgeblich an der Entwicklung neuer Charakterisierungsverfahren wie zum Beispiel der bildgebenden Photolumineszenzmethode zur Analyse von Siliciummaterial und Zellen beteiligt.

Bei der kristallinen Silicium-Dünnschicht-Solarzelle forschen wir am Konzept des Waferäquivalents. Dabei wird aus siliciumhaltigem Gas eine hochwertige Dünnschicht auf kostengünstigen Substraten abgeschieden. Das Resultat sieht aus wie ein Wafer und lässt sich sehr ähnlich einer konventionellen Wafer-Solarzelle verarbeiten. Durch den geringen Einsatz an hochreinem Silicium kann sich das Waferäquivalent-Konzept von der Versorgungslage für Solarsilicium abkoppeln und erlaubt daher ein sehr dynamisches Marktwachstum.

In unserem Photovoltaik Technologie Evaluationscenter PV-TEC können wir nach einer Erweiterung auf über 1200 m² Technologiefläche im Pilotmaßstab, d. h. mit einem Durchsatz von mehr als 100 Wafern pro Stunde, sowohl Solarzellen mit den industriell üblichen siebgedruckten Kontakten als auch mit hochwertiger Oberflächenpassivierung und neuartiger Verschaltungsarchitektur herstellen. Für die verschiedenen Technologiebereiche stehen uns sowohl flexible halbautomatische als auch hochproduktive vollautomatische Anlagen für die Prozessentwicklung zur Verfügung. Ergänzt wird dieser Technologiepark durch Inline- und Offlinemesstechnik.



Alle Material- und Prozessdaten werden in einem zentralen Datenbanksystem erfasst und sichern so unsere hohen Qualitätsanforderungen ab, die sich auch insbesondere zur Analyse neuer Materialien eignen. Unsere Leistungen reichen von der Entwicklung neuer Konzepte auf Pilotniveau über die Bewertung neuer Technologien bis zum Transfer in die Produktionslinien unserer Kooperationspartner.

Das Photovoltaik Modul-Technologiecenter MTC am Fraunhofer ISE ermöglicht schließlich die Verarbeitung neuer Zellen und Materialien in aussagekräftigen Stückzahlen und Formaten. Prozessschritte und Anlagentechnik für die Modulproduktion werden bis zur Vorstufe einer Serienfertigung entwickelt. Kernstücke des Technikums sind ein flexibel einsetzbarer Tabber-Stringer und ein Laminator, ergänzt durch eine Reihe von Mess- und Prüfsystemen.

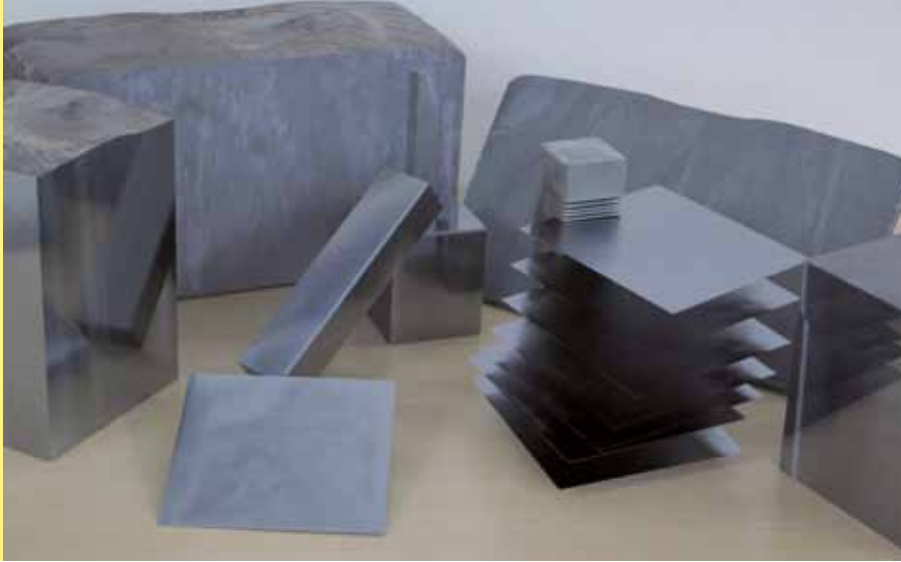
Solarzellen müssen zum Schutz vor Umwelteinflüssen langzeitstabil gekapselt werden, ein Bereich, in dem deutliche Qualitätserhöhungs- und Kostensenkungspotenziale vorhanden sind. Wir arbeiten an neuen Modulkonzepten und Materialkombinationen, auch für dünnere, größere sowie nur rückseitig kontaktierte Solarzellen. Schlüsselrollen in unserem Beitrag zur Qualitätserhöhung nehmen das vertiefte Verständnis von Alterungsmechanismen und die Verfahren zu deren Nachweis ein.

Unsere Aktivitäten im Bereich Siliciumsolarzellen am Standort Freiburg werden ergänzt durch das Labor- und Servicecenter LSC Gelsenkirchen (s. Beitrag S. 67), das gemeinsam mit dem Fraunhofer IISB betriebene Technologiezentrum Halbleitermaterialien THM in Freiberg, Sachsen, sowie das Fraunhofer-Center für Silizium-Photovoltaik CSP in Halle, das gemeinsam mit dem Fraunhofer IWM betrieben wird.

Beladevorgang an dem mit hocheffizienter Inline-Messtechnik ausgestatteten Diffusionsrohröfen des Photovoltaik Technologie Evaluationscenter PV-TEC am Fraunhofer ISE. Bis zu 200 Siliciumscheiben werden hier bei Temperaturen von 800–1000 °C gezielt dotiert oder oxidiert. Seit 2006 beschleunigt das PV-TEC den Technologietransfer aus dem Labor in die Industrie. Im PV-TEC am Fraunhofer ISE können Solarzellen-, Wafer- und Modulhersteller sowie auch Anlagenbauer Prozesse, Materialien und Anlagen analysieren und weiterentwickeln, ohne den Betrieb ihrer heimischen Produktionslinie unterbrechen zu müssen. Die flexible Anordnung der Technik im PV-TEC erlaubt für jeden Prozessschritt Alternativen.

ANSPRECHPARTNER

Feedstock, Kristallisation und Wafering	Dr. Stephan Riepe	Telefon +49 761 4588-5636 stephan.riepe@ise.fraunhofer.de
Kristalline Silicium-Dünnschichtsolarzellen	Dr. Stefan Reber	Telefon +49 761 4588-5248 stefan.reber@ise.fraunhofer.de
Industrielle und neuartige Solarzellenstrukturen	Dr. Stefan Glunz Dr. Ralf Preu	Telefon +49 761 4588-5191 stefan.glunz@ise.fraunhofer.de Telefon +49 761 4588-5260 ralf.preu@ise.fraunhofer.de
Produktionsanlagen und Prozessentwicklung	Dr. Ralf Preu Dr. Stefan Glunz	Telefon +49 761 4588-5260 ralf.preu@ise.fraunhofer.de Telefon +49 761 4588-5191 stefan.glunz@ise.fraunhofer.de
Charakterisierung, Qualitätssicherung und Messtechnikentwicklung: Material, Zellen und Module	Dr. Wilhelm Warta	Telefon +49 761 4588-5192 wilhelm.warta@ise.fraunhofer.de
Modultechnologie und -analyse	Dr. Harry Wirth	Telefon +49 761 4588-5193 harry.wirth@ise.fraunhofer.de



KRISTALLISATION UND ANALYSE NEUER FEEDSTOCK-MATERIALIEN

Am Silicium Material Technologie und Evaluationscenter SIMTEC haben wir für die Forschung an neuen Feedstock-Materialien angepasste Kristallisationsprozesse entwickelt. Verschiedene Tiegelgrößen und eigene Tiegelbeschichtungen kennzeichnen unsere Kristallisation. Zusammen mit einer vollständigen Blockbearbeitungs- und Sägestrecke inklusive Reinigung können wir flexibel neue Materialien untersuchen und deren Verhalten im Solarzellenprozess sowie ihre Auswirkungen auf die Zelleigenschaften quantifizieren.

Fridolin Haas, Philipp Häuber, Philip Mück, Teresa Orellana, **Stephan Riepe**, Claudia Schmid, Mark Schumann, Matthias Singh, Yaniss Wencel, Andreas Bett

Mit der Fertigstellung des Kristallisations- und Sägebereichs im SIMTEC am Fraunhofer ISE haben wir die Forschungsmöglichkeiten im Front-End-Bereich der Wertschöpfungskette von kristallinen Siliciumsolarzellen stark erweitert. Eine industriennahe Vertical Gradient Freeze (VGF)-Anlage für die Erstarrung multikristalliner Siliciumblöcke steht im Fokus der Arbeiten im Kristallisationsbereich. Wir forschen an neuen Feedstock-Materialien und Tiegelsystemen und untersuchen grundsätzliche Probleme sowohl in kleinem wie auch industriellem Maßstab. Dazu haben wir zusätzlich zur Kristallisation von 80 kg Silicium bei mittlerer und 250 kg bei großer Blockgröße einen Prozess zur Herstellung von kleinen Forschungsblöcken mit Gewichten von 10 bis zu 20 kg Silicium etabliert. Damit können wir neue Feedstock-Materialien auch in kleinen Mengen kristallisieren und anschließend im Fraunhofer ISE auf ihre Effizienz in der fertigen Solarzelle hin untersuchen. Wir verwenden neben industriellen Quarztiegeln und Tiegelbeschichtungen auch eigene Beschichtungen, um z. B. deren Wechselwirkung mit nur wenig aufgereinigtem metallurgischem Silicium zu

1 Die Bearbeitung der Siliciumblöcke zu Wafern und anderen Probengeometrien erfolgt flexibel je nach Anforderung. Die Abb. zeigt eine Auswahl, der im Sägebereich hergestellten multikristallinen Säulen in unterschiedlichen Größen, Wafer verschiedener Dicke sowie spezielle, angepasste Probenstücke.

optimieren. Für die Weiterbearbeitung der Blöcke ist vor Ort eine vollständige Sägestrecke inklusive Reinigungsbank in Betrieb, mit der – für unsere Forschungsprojekte und externe Kunden – Säulen, Wafer und spezielle Probengeometrien flexibel hergestellt werden.

Ein weiterer Schwerpunkt der Forschungsarbeiten am Siliciumwafer stellen Untersuchungen zu chemischen und mechanischen Eigenschaften, insbesondere von Wafern aus kostengünstigem Silicium, dar. Zur Verwendung der Wafer als Substrate für epitaktisch aufgewachsene Solarzellen ist eine hohe Bruchfestigkeit unter thermischer Belastung notwendig. Erste Untersuchungen weisen auf starke Unterschiede im Verhalten verschiedener Ausgangsmaterialien hin und geben damit wichtige Hinweise für die notwendigen Prozessbedingungen in der weiteren Bearbeitung.

Die Arbeiten wurden im Rahmen des Fraunhofer-Eigenforschungsprojekts »Silicon Beacon« gefördert.

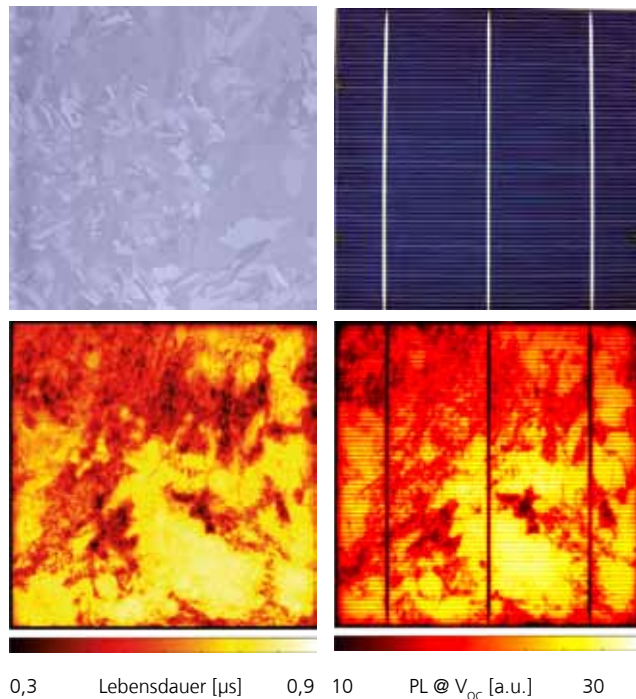
LUMINESZENZBASIERTE QUALITÄTSKONTROLLE VON WAFERN

Die Qualitätskontrolle der Siliciumwafer vor der Prozessierung stellt eine große Herausforderung für die PV-Industrie dar. Mit herkömmlichen Methoden ist es nur unzureichend möglich, anhand der elektrischen Parameter des Ausgangsmaterials die Leistungsdaten der Solarzellen vorherzusagen. Basierend auf Photolumineszenzmessungen haben wir ein Verfahren entwickelt, mit dem wir zuverlässig Materialdefekte detektieren und auf die zu erwartenden Wirkungsgradverluste schließen können.

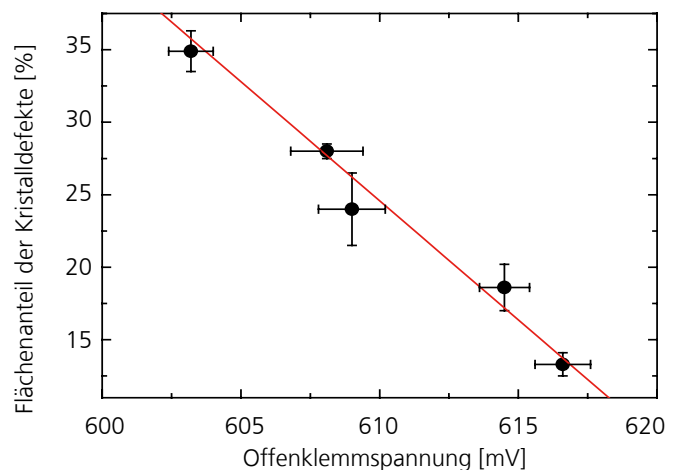
Matthias Demant, Gernot Emanuel, Markus Glatthaar, Jonas Haunschild, Wolfram Kwapil, **Stefan Rein**, Meinrad Spitz, Ralf Preu

Die kamerabasierte Photolumineszenz (PL)-Messtechnik ist eine vielversprechende, neue Messmethode für die Qualitätssicherung in der PV, da sie elektrisch relevante Defekte mit einer hohen Ortsauflösung in Messzeiten < 1 Sekunde sichtbar macht und in nahezu beliebigen Prozessstadien eingesetzt werden kann – vom unbehandelten Ausgangswafer (as-cut) bis zur fertigen Solarzelle. Wir haben die PL-Methode insbesondere im Hinblick auf ihre Inline-Anwendbarkeit weiterentwickelt und erste Verfahren der Qualitätskontrolle in unserer Forschungslinie PV-TEC getestet.

Einer der wichtigsten elektrischen Parameter eines Wafers ist die Ladungsträgerlebensdauer. Leider verändert sich dieser Parameter stark im Verlauf des Solarzellenprozesses, so dass die am unbehandelten Ausgangswafer messbare Lebensdauer nur eine sehr grobe Materialklassifikation zulässt. Mit der PL ist es uns nun gelungen, über die Bewertung und Interpretation der messbaren Bildkontraste eine Korrelation zwischen dem unbehandelten Ausgangswafer und der fertigen Solarzelle herzustellen. Abb. 1 zeigt das PL-Bild eines as-cut Wafers und der fertig prozessierten Solarzelle desselben Wafers. Deutlich zu erkennen ist, dass die Strukturen im Helligkeitskontrast erhalten bleiben. Diese rekombinationsaktiven Strukturen sind auf Wachstumsfehler während der Kristallisation zurückzuführen. Durch geeignete Bildverarbeitungsalgorithmen können wir den Flächenanteil der Kristalldefekte bestimmen. Wie in Abb. 2 dargestellt, korreliert diese am unbehandelten Ausgangswafer bestimmte Größe ausgezeichnet mit der Spannung der fertigen Solarzelle. Somit stellt der Flächenanteil der Kristalldefekte ein geeignetes Maß für die Bewertung der elektrischen Qualität des unbehandelten Wafers dar, anhand dessen wir die Spannung der fertigen Solarzelle im Rahmen der Wafereingangskontrolle vorhersagen können.



1 Fotos (oben) und PL-Aufnahmen (unten) eines Wafers in zwei Prozessstadien: sägerauer Ausgangszustand (links) und nach dem vollständigen Solarzellenprozess (rechts). Beide PL-Aufnahmen weisen im Helligkeitskontrast identische Strukturen auf, die die elektrische Qualität des Materials widerspiegeln.



2 Bildverarbeitungsalgorithmus zur Bestimmung des Flächenanteils der Kristallbaufehler im as-cut Wafer (Abb. 1 links). Die Korrelation mit der Spannung der fertigen Solarzellen (Abb. 1 rechts) zeigt, dass wir über diesen Parameter eine Detailbewertung des Rohmaterials vornehmen können.

Diese Arbeit wurde von der Fraunhofer-Gesellschaft und im Rahmen des Projekts »QUASSIM« vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) gefördert.

VERTEILUNG METALLISCHER VERUNREINIGUNGEN IN SILICIUM: ORTSAUFGELÖSTE DETEKTION UND SIMULATION

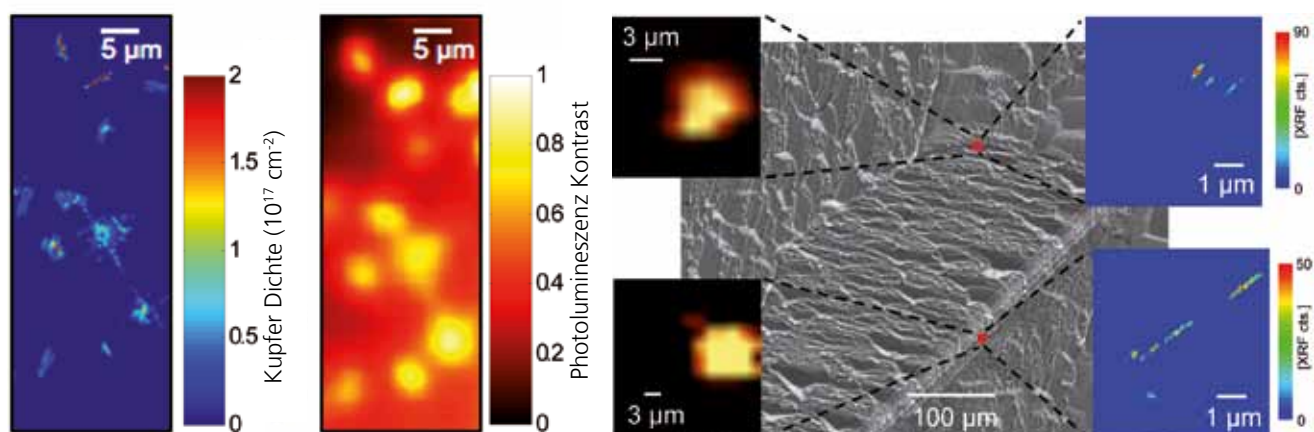
Neben der Konzentration ist insbesondere die örtliche Verteilung von metallischen Verunreinigungen entscheidend für die Leistungsfähigkeit von multikristallinen Solarzellen. Wir untersuchen Metallpräzipitate mit Synchrotronmessungen hoher Empfindlichkeit. Parallel können gelöste Eisenverunreinigungen mit Hilfe von Lebensdauermessungen quantitativ bestimmt werden. Mehrdimensionale numerische Simulationen stärken das Grundlagenverständnis des Präzipitationsverhaltens.

Paul Gundel, Holger Habenicht, Wolfram Kwapil, Jonas Schön, **Martin Schubert**, Wilhelm Warta, Stefan Glunz

Im Vergleich zu hochreinem, einkristallinem Silicium limitiert preisgünstigeres, multikristallines Silicium die Leistungsfähigkeit von Solarzellen durch eine reduzierte Ladungsträgerlebensdauer. Insbesondere metallische Verunreinigungen erzeugen wirkungsgradlimitierende, rekombinationsaktive Punktdefekte und Präzipitate. Neben der Gesamtverunreinigungskonzentration spielt die räumliche Verteilung der Metallatome die entscheidende Rolle für den erreichbaren Solarzellenwirkungsgrad.

Um Solarzellenprozesse optimal auf das multikristalline Ausgangsmaterial anzupassen, ist die Messung der Metallverteilung wesentlich. Die Umlagerung von Metallen in Hochtemperaturschritten und die Reinigung durch Getterschritte können mit Hilfe dieser Informationen verstanden und optimiert werden.

Metallpräzipitate sind über Röntgenfluoreszenzmessungen an Synchrotronquellen zugänglich. Neben der hochaufgelösten örtlichen Verteilung lässt sich die chemische Zusammensetzung über das Fluoreszenzspektrum bestimmen. Im Fall von Eisen als wichtigste Verunreinigung kann parallel die Konzentrationsverteilung der gelösten Verunreinigung quantitativ und mit hoher Ortsauflösung bestimmt werden. Hierfür wird eine besondere Eigenschaft von interstitiellen Eisenatomen ausgenutzt: Ohne Beleuchtung binden sie sich an Bor-Atome, die auf Grund der p-Dotierung in hoher Konzentration vorhanden sind. Bei Beleuchtung spalten sich die Paare wieder. Da sich die beiden Konfigurationen hinsichtlich ihrer Rekombinationsparameter unterscheiden, ändert sich die Rekombinationslebensdauer unter Beleuchtung.



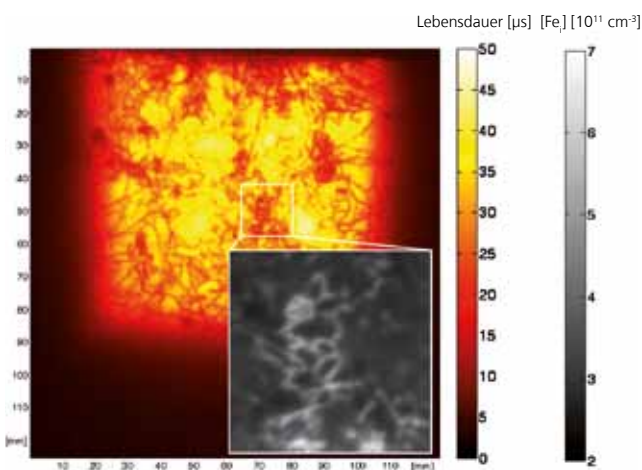
1 Detektion der Rekombinationsaktivität mit Photolumineszenzspektroskopie und Vergleich mit Röntgenfluoreszenzspektroskopie zur Detektion von Kupferpräzipitaten am ESRF-Synchrotron. Die Präzipitate wurden mithilfe eines flächigen Versetzungssystems aus einer kovalenten Bindung zweier monokristalliner Siliciumwafer und absichtlicher Kupferverunreinigung präpariert. Der Vergleich zwischen Rekombination und Kupferverteilung erlaubt die quantitative mikroskopische Zuordnung.

2 REM-Aufnahme eines Gebiets mit zwei elektrischen Durchbruchstellen einer multikristallinen Solarzelle. Die Detailmessungen links zeigen das Elektrolumineszenzsignal zur Lokalisierung der Durchbrüche. An diesen Stellen konnten Eisenpräzipitate mithilfe von Synchrotron-Röntgenfluoreszenzmessungen identifiziert werden (Detailaufnahmen rechts).

Mithilfe von hochaufgelösten Lebensdauermessungen wird so die Konzentration von Eisenpunktdefekten quantitativ bestimmt.

Zur Untersuchung der Kupferpräzipitation an Kristallfehlern zeigt Abb. 1 einen Vergleich der Rekombinationsaktivität und Kupferpräzipitatverteilung an einem Modellversetzungssystem. Mit hoher Auflösung lässt sich mit Photolumineszenzspektroskopie die Rekombinationsaktivität der Kupferpräzipitate nachweisen. Metallische Präzipitate können nicht nur die Rekombinationslebensdauer beeinflussen, sondern auch für Rückwärtsdurchbrüche, wie sie in teilverschatteten Modulen auftreten, verantwortlich sein. Wir konnten an Stellen mit sogenanntem »weichem« Diodendurchbruch Kolonien von Eisenpräzipitaten nachweisen (Abb. 2).

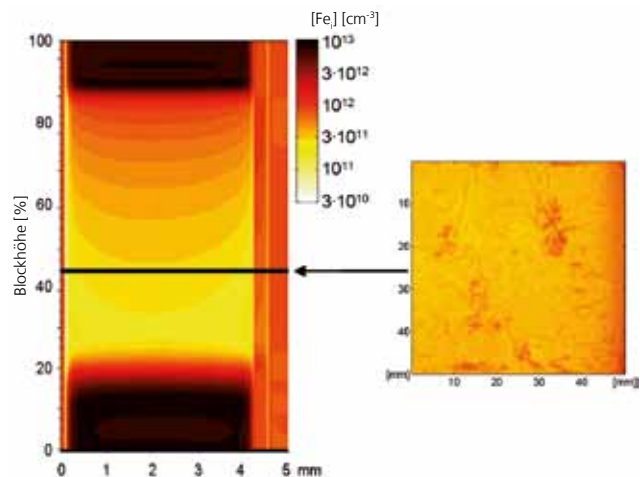
Abb. 3 zeigt eine Lebensdauerermessung an einem multikristallinen Siliciumwafer aus einem kleinen Block mit Rändern reduzierter Materialqualität. Das Detailbild stellt die quantitative absolute Konzentration interstitiellen Eisens dar. Wir begleiten unsere experimentellen Ergebnisse mit aufwändigen mehrdimensionalen Simulationen (Sentaurus Process), um die



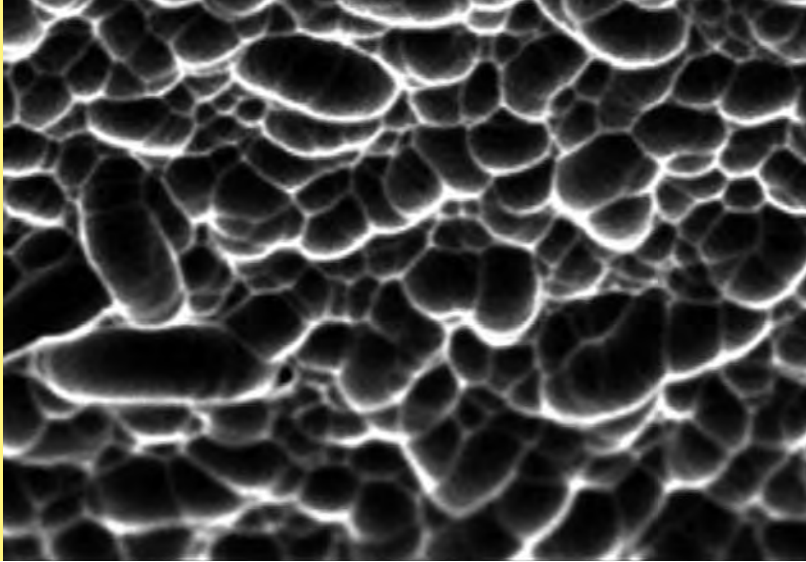
3 Messung der ortsaufgelösten Ladungsträgerlebensdauer mit »Photoluminescence Imaging« und Bestimmung der quantitativen Konzentrationsverteilung von Eisenpunktdefekten (Detailaufnahme).

Experimente zu bewerten und Parameter für die Defektbildung zu bestimmen. Abb. 4 veranschaulicht eine Simulation zur interstitiellen Eisenverteilung nach der Blockerstarrung in Abhängigkeit der Blockhöhe und der Versetzungsdichte, die gut mit unseren experimentellen Daten übereinstimmt.

Diese Arbeiten wurden im Rahmen der Projekte »SolarFocus« vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) und des Fraunhofer-Eigenforschungsprojekts »Silicon Beacon« gefördert. Die Modellversetzungen aus Abb. 1 wurden am Max-Planck-Institut für Mikrostrukturphysik Halle präpariert.



4 Zweidimensionale numerische Simulation der Eisenpunktdefektverteilung nach der Blockkristallisation in Abhängigkeit der Blockhöhe (links). Die simulierte 2D-Struktur bildet ein typisches Korn mit angrenzenden versetzungsreichen Gebieten (orangefarbene vertikale Streifen) nach. Die experimentell bestimmte Verteilung bestätigt eine erhöhte Eisenpunktdefektkonzentration in versetzungsreichen Gebieten und Korngrenzen.



1

ENTWICKLUNG UND ANALYTIK NASSCHEMISCHER PROZESSE

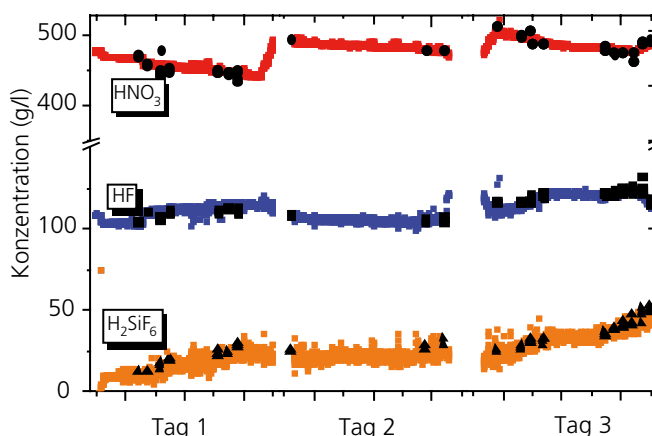
Nasschemische Prozesse für die Herstellung von Solarzellen bedürfen einer genauen Kontrolle, um kontinuierlich optimale Ergebnisse zu garantieren und den Chemikalienverbrauch zu minimieren. Hierfür haben wir verschiedene volumetrische, chromatographische und spektroskopische Verfahren zur automatisierten Konzentrationsbestimmung in chemischen Prozessbädern entwickelt. Die erhaltenen Informationen werden für die Weiterentwicklung der Prozesse verwendet.

Katrin Birmann, **Jochen Rentsch**, Martin Zimmer, Ralf Preu

1 *Sauer texturierte Oberfläche eines multikristallinen Siliciumwafers unter dem Rasterelektronenmikroskop. Die erkennbare Struktur erhöht den Lichteinfang der fertigen Solarzelle und verbessert damit die elektrischen Eigenschaften.*

Bei der Herstellung von Siliciumsolarzellen werden üblicherweise mehrere nasschemische Prozesse verwendet. Zunächst wird der Wafer vom Sägeschaden befreit und für einen besseren Lichteinfang strukturiert. Multikristallines Silicium wird mit einer Mischung aus Fluss-, Salpetersäure und Wasser behandelt, während monokristallines Material einer wässrigen Lösung aus Kaliumhydroxid und Isopropanol ausgesetzt wird.

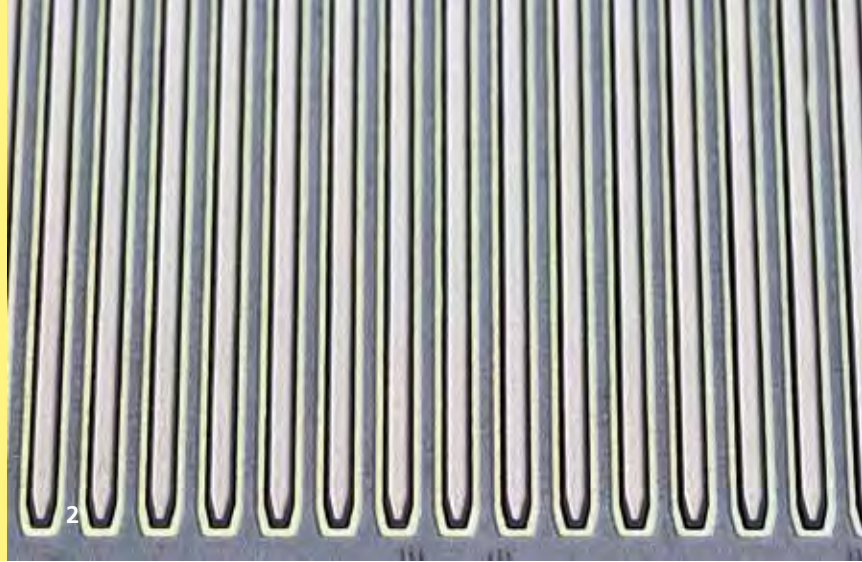
Das Ergebnis ist von den Konzentrationen der eingesetzten Chemikalien abhängig. Diese werden während des Prozesses aber kontinuierlich verbraucht, während sich Reaktionsprodukte in der Prozesslösung anreichern. Eine optimale Prozessführung erfordert daher eine genaue Kenntnis der vorliegenden Konzentrationen. Bei der Auswahl geeigneter analytischer Verfahren sind neben einer hinreichenden Präzision auch Automatisierbarkeit, Investition und laufende Kosten zu berücksichtigen.



2 *Konzentrationsverlauf eines sauren Texturbads, aufgenommen mithilfe der NIR-Spektroskopie über einen Zeitraum von drei Tagen. Die Fluss- und Salpetersäurekonzentrationen werden konstant gehalten, während die Konzentration des gelösten Siliciums ansteigt.*

In unserem Photovoltaik Technologie Evaluationscenter PV-TEC werden verschiedene Verfahren hinsichtlich ihrer Tauglichkeit für die Prozesskontrolle unter industriellen Bedingungen getestet. Titration und Ionenchromatographie werden für die automatisierte Bestimmung der Badkomponenten in sauren Texturbädern eingesetzt. Die Analyse der alkalischen Texturbäder wird mithilfe einer Säure-Base-Titration in Kombination mit der Messung der Grenzflächenspannung realisiert. Ein besonderes Augenmerk wird auf die Verwendung der Nah-Infrarot (NIR)-Spektroskopie gelegt. Durch Entwicklung einer angepassten Kalibriermethode konnten wir eine hohe Zuverlässigkeit und Genauigkeit der Konzentrationsbestimmung für dieses sehr schnelle und kostengünstige Messverfahren nachweisen.

Die Arbeiten werden durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) und die Fraunhofer-Gesellschaft unterstützt.



SIEBDGEDRUCKTE EWT-SOLARZELLEN

Die Drucktechnologie und dabei verwendete Pasten erleben auch aufgrund der wachsenden Konkurrenz durch neuartige Verfahren und Materialien eine starke Entwicklung. Unser Beitrag demonstriert, dass dieses Verfahren enormes Verbesserungspotenzial bietet, gleichzeitig aber bereits die Reife einer vollentwickelten industriell bewährten Technologie aufweist. Wir haben erstmals mit Siebdrucktechnologie EWT-Solarzellen mit bis zu 18,8 % Wirkungsgrad hergestellt.

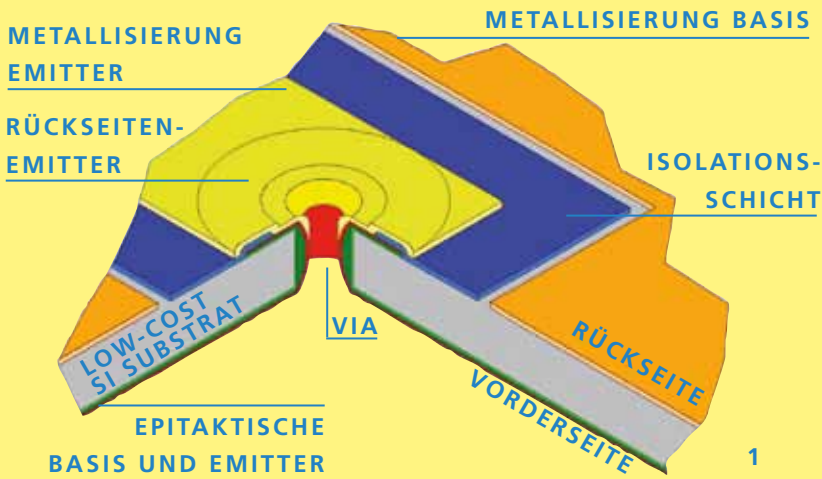
Daniel Biro, Denis Erath, Arne Fallisch, Anne Götz, Roman Keding, Nicola Mingirulli, Marc Retzlaff, Jan Specht, David Stüwe, Sabrina Werner, Ralf Preu

1 Die lichtzugewandte Seite der EWT-Solarzelle (Ausschnitt) kann vollständig für die Konvertierung der einfallenden Strahlung genutzt werden. Der Anteil der Fläche, die für die Lochdurchführungen verwendet wird, ist dabei äußerst gering. Hierdurch können Kurzschlussstromdichten von über 40 mA/cm^2 erreicht werden (Waferformat $5 \times 5 \text{ cm}^2$).

2 Die Rückseite der EWT-Solarzelle weist ineinandergreifende Kontaktstrukturen auf. Da keine Abschattung stattfindet, kann die Dimensionierung der Kontakte so erfolgen, dass die Serienwiderstandsverluste minimal sind. Die Finger der jeweils gleichen Polarität haben einen Abstand von ca. 1,5–2 mm zueinander.

Die EWT (Emitter-Wrap-Through)-Solarzelle gehört zu der Familie der rückseitenkontaktierten Solarzellen. Beide Polaritäten sind auf der Rückseite der Solarzelle in ineinandergreifenden Kontaktstrukturen angeordnet. Dadurch erfolgt auf der dem Licht zugewandten Seite der Solarzelle keine Verschattung und die gesamte Fläche der Solarzelle kann die einfallende Strahlungsenergie konvertieren. Hinzu kommt, dass die Serienschaltung solcher Solarzellen ebenfalls vollständig auf der Rückseite der Solarzelle erfolgt, so dass mittelfristig auch hier kosteneffektive »Pick and Place«-Verfahren zum Einsatz kommen können.

Die Anordnung der Kontakte auf der Rückseite der Solarzelle birgt allerdings auch Herausforderungen: Zum einen muss auf der Rückseite ein komplexes System von wechselnden Polaritäten geschaffen werden, um den flächig generierten Strom effizient zu sammeln und abzuführen. Zum anderen hat die Lage der Kontakte auf der Rückseite der Solarzelle zur Folge, dass lange Wege der Ladungsträger innerhalb des Bauelements entstehen können. In der EWT-Solarzelle ist diese Fragestellung entschärft, da die EWT-Solarzelle auch auf der Vorderseite einen ladungsträgersammelnden Emitter aufweist, welcher über eine Vielzahl von lasergebohrten Löchern direkt mit der Rückseite elektrisch verbunden ist. Erstmals ist es gelungen, EWT-Solarzellen mit Wirkungsgraden von bis zu 18,8 % auf einer Fläche von $16,7 \text{ cm}^2$ (ohne Busbars) zu erstellen, wobei zur Bildung der Kontakte die robuste Siebdrucktechnologie eingesetzt wurde. Dies wurde ermöglicht durch eine spezielle Wahl der Siebdruckpasten sowie die Anpassung der rückseitigen Passivierung an das Kontaktfeuern, welches bei der Verwendung von Dickschichtpasten zum Einsatz kommt. Die mittlerweile verfügbaren hochpräzisen Siebdruckanlagen erlauben eine ausreichende Präzision, um die erforderlichen Strukturen auszubilden.



EPITAXY-WRAP-THROUGH: UNSER KONZEPT FÜR RÜCKSEITENKONTAKT- WAFERÄQUIVALENT-SOLARZELLEN

Waferäquivalente erreichen mit vergleichsweise unreinem Silicium gute Solarzellenwirkungsgrade. Ein Schritt in Richtung weiterer Kostensenkung ist das »Epitaxy-Wrap-Through« (EpiWT)-Konzept, das wir entwickeln. Dieses vereint die Idee der Waferäquivalente mit den Rückseitenkontakt-Solarzellen, einer Technologie, die aufgrund besserer Solarzellenleistung sehr gute Chancen auf einen zukünftigen Standard hat.

Nils Brinkmann, Elke Gust, Miroslawa Kwiatkowska, Harald Lautenschlager, Emily Mitchell, David Pocza, **Stefan Reber**, Andreas Bett

Herkömmliche Solarzellen, auch Waferäquivalent-Solarzellen, haben auf Vorder- und Rückseite Metallkontakte. Der Kontakt auf der Vorderseite reflektiert das einfallende Licht und vermindert dadurch den Wirkungsgrad der Solarzelle. Durch die Rückseitenkontakt-Technologie, insbesondere das »Emitter-Wrap-Through« (EWT)-Konzept, wird dieser Effekt

komplett vermieden. Beide Kontakte sind auf einer Seite angeordnet, die dem Licht zugewandte Vorderseite ist frei von abschattenden Elementen und die Solarzelle kann fast 10 % mehr Leistung bringen. Zudem lässt sich eine EWT-Solarzelle einfacher und kostengünstiger zu einem Modul verschalten. Diese Vorteile wollten wir auch für unsere Epitaktische Waferäquivalent-Technologie nutzen, und haben dafür das EpiWT-Konzept erfunden und patentiert.

Wie bei Standard-EWT-Solarzellen wird der vorderseitige Emitter der EpiWT-Solarzelle durch vertikale Löcher in der Solarzelle auf die Rückseite geführt. Das Besondere ist, dass nicht nur die Emitterschicht, sondern auch alle anderen dünnen Schichten der Waferäquivalent-Solarzelle durch die Löcher nach hinten geführt werden, wie Abb. 1 verdeutlicht. Dies bietet mehrere Vorteile: Man kann z. B. die gesamte Halbleiterstruktur der EpiWT-Solarzelle in-situ bei der Silicium-Epitaxie fertig stellen und vermeidet zuverlässig Kurzschlüsse zwischen Emitter und Substrat. Um das Konzept in die Realität umzusetzen, entwickelten wir einige neue Prozesse. Weltweit einmalig ist dabei die Siliciumabscheidung durch die Löcher, also die Beschichtung einer dreidimensionalen Struktur statt wie bisher einer zweidimensionalen. Im Ergebnis konnten wir in den Löchern zuverlässig Strukturen herstellen, die den Leistungsgewinn gegenüber Standard-EWT-Solarzellen sogar noch steigern. Erste mit kostengünstigen Drucktechnologien metallisierte EpiWT-Solarzellen erreichen Wirkungsgrade über 10 %, eine sehr gute Basis für weitere Steigerungen.

Das Projekt wurde im Rahmen des Fraunhofer-Eigenforschungsprojekts »Silicon Beacon« gefördert.

- 1 Struktur der Epitaxy-Wrap-Through-Solarzelle, von der Rückseite aus betrachtet. Die Rückseitenkontaktierung wird durch sogenannte Via-Löcher im kostengünstigen Substrat erreicht, durch die sowohl Basis als auch Emitter in-situ mit hoher Qualität gewachsen werden.
- 2 Rückseite einer fertigen EpiWT-Solarzelle. Sehr schön erkennt man die ineinandergreifenden Leiterbahnen für die Kontaktierung der Basis- und der Emitterbereiche.



METAL WRAP THROUGH-SOLARZELLEN FÜR NIEDERKONZENTRIERENDE SYSTEME

MWT-Solarzellen erlauben aufgrund ihres industrienahehen Herstellungsprozesses eine kostengünstige Verwirklichung von hocheffizienten rückseitenkontaktierten Solarzellen und sind somit für die Integration in niederkonzentrierende Systeme geeignet. Am Fraunhofer ISE werden bei normaler Einstrahlung bereits Bestwirkungsgrade von bis zu 18,6 % auf monokristallinem Silicium erreicht. Unter 6facher Konzentration werden mithilfe eines angepassten Zell- designs Wirkungsgrade von bis zu 19,5 % gemessen.

Daniel Biro, **Florian Clement**, Denis Erath, Tobias Fellmeth, Susanne Fritz, Markus Glatthaar, René Hönig, Michael Menkö, Nicola Mingirulli, Gerald Siefer, Benjamin Thaidigsmann, Ralf Preu

Die Entwicklung rückseitenkontaktierter MWT-Solarzellen wurde bislang bewusst an den gegenwärtigen Standardherstellungsprozess in der Solarzellenproduktion angelehnt, um die Markteinführung zu erleichtern. Der Fokus bisheriger Arbeiten liegt dabei auf der Entwicklung von MWT-Solarzellen für Solarmodule mit konventionellem Aufbau. Der am Fraunhofer ISE erfolgreich entwickelte industrienahe Herstellungsprozess ermöglicht Wirkungsgrade von über 17 % auf multikristallinem Material.

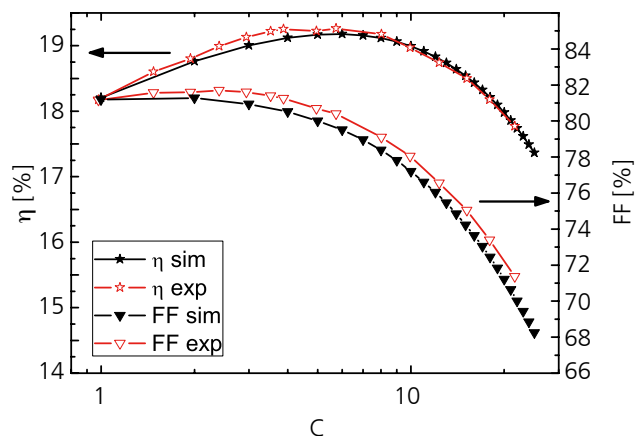
Zur Effizienzsteigerung im Hinblick auf die Verwendung von MWT-Solarzellen in niederkonzentrierenden Systemen wurden diverse Prozessoptimierungen durchgeführt. Einerseits konnte erfolgreich ein Siebdruckprozess zur Erzeugung sehr feiner Vorderseitenkontakte (Breite: $\sim 70 \mu\text{m}$) mit hohem Aspektverhältnis ($> 0,2$) entwickelt werden. Dies ermöglicht die Abschattung des Vorderseitenkontakts merklich zu reduzieren und gleichzeitig den Serienwiderstand nur gering zu erhöhen. Andererseits wurde für die rückseitige Kontaktisolation ein industrienahe Prozess, basierend auf einer strukturierten

1 Vorderseite einer monokristallinen MWT-Solarzelle für niederkonzentrierende Systeme.

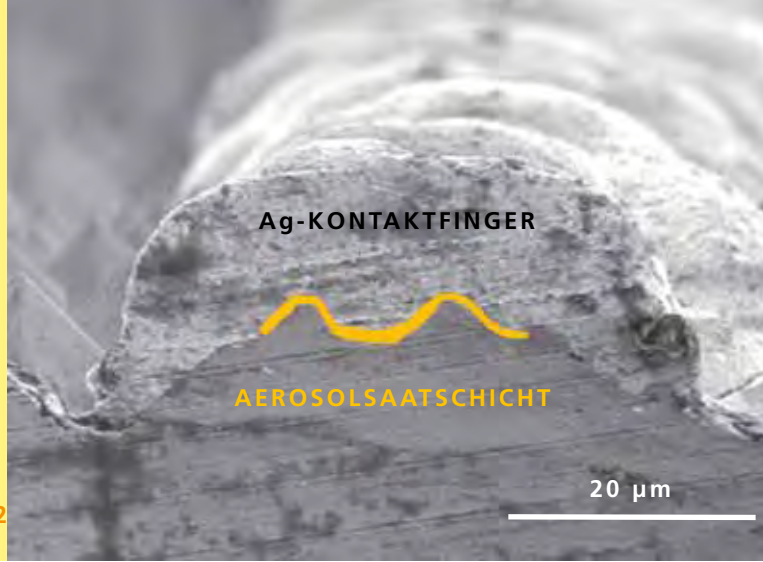
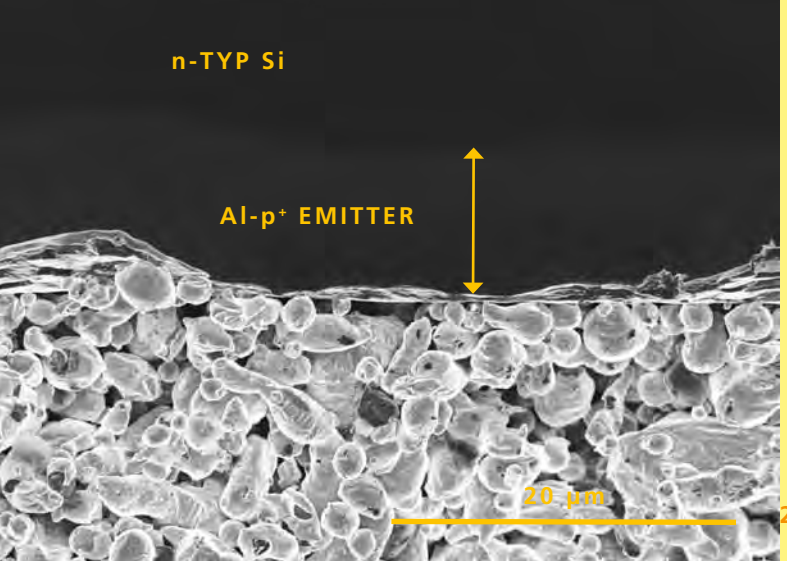
Diffusionsbarriere aus Siliciumoxid, eingesetzt und erfolgreich in den Herstellungsprozess überführt. Mithilfe dieser Prozessoptimierungen ist es uns im PV-TEC gelungen, Wirkungsgrade von bis zu 18,6 % auf monokristallinem Material bei normaler Einstrahlung zu erreichen.

Durch die Anpassung des Zelldesigns, insbesondere des vorderseitigen Kontaktlayouts, wurden MWT-Solarzellen für niederkonzentrierende Systeme entwickelt. Wirkungsgrade von über 18 % bei bis zu 20facher Konzentration verdeutlichen die Anwendungsmöglichkeiten in konzentrierenden Systemen. Bei 6facher Einstrahlung werden sogar Bestwirkungsgrade von bis zu 19,5 % gemessen.

Die Basisentwicklung der MWT-Solarzelle im PV-TEC wurde vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) gefördert.



2 Exemplarischer Verlauf des Wirkungsgrads η und des Füllfaktors FF einer MWT-Solarzelle bei unterschiedlichen Konzentrationen C des einfallenden Lichts. Es sind sowohl experimentell (exp) erzielte als auch analytisch simulierte (sim) Kurvenverläufe dargestellt.

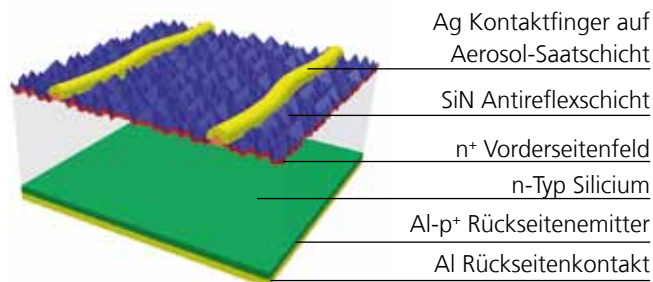


INDUSTRIENAHE N-TYP SILICIUM-SOLARZELLEN MIT ALUMINIUM-EMITTER

Um die hervorragenden elektrischen Eigenschaften von n-Typ Siliciummaterial für industriell herstellbare hoch-effiziente Solarzellen zu nutzen, haben wir eine spezielle Zellstruktur entwickelt. Diese kombiniert einen siebgedruckten Aluminium-Emitter auf der Rückseite und ein aerosolgedrucktes und mit Silber verdicktes Kontaktgitter auf der Vorderseite miteinander. Für diese beidseitig gedruckten, rückseitig sammelnden n-Typ Solarzellen konnten wir bereits Wirkungsgrade über 18 % erzielen.

Nicole Bayer, Ines Druschke, Denis Erath, Aleksander Filipovic, Martin Hermle, Matthias Hörteis, Norbert Kohn, Nicolas König, Antonio Leimenstoll, Michael Rauer, Marc Retzlaff, Elisabeth Schäffer, Felix Schätzle, Daniel Schmidt, **Christian Schmiga**, Sonja Seitz, Karin Zimmermann, Stefan Glunz

Mehr als 90 % der industriell hergestellten Siliciumsolarzellen bestehen heutzutage aus kristallinem p-Typ Silicium. Dies liegt hauptsächlich darin begründet, dass der Herstellungsprozess, insbesondere die Phosphor-Diffusion für die Bildung des Emitters, seit vielen Jahren in Produktionslinien etabliert ist. Nichtsdestotrotz besitzt n-Typ Silicium hervorragende elektrische Eigenschaften und ist durch diese Überlegenheit



1 Schema unserer n-Typ Si-Solarzelle mit einem siebgedruckten Aluminium-Emitter auf der Rückseite und einem aerosolgedruckten und mit Silber verdickten Kontaktgitter auf der Vorderseite.

2 Rasterelektronenmikroskopaufnahmen des Querschnitts durch den Aluminium-Emitter (links) und durch einen Kontaktfinger (rechts). Die Dicke des Al-p⁺-Emitters beträgt etwa 10 µm, das Höhen-zu-Breitenverhältnis der Finger etwa 0,4.

gegenüber p-Typ Material in den letzten Jahren verstärkt ins Interesse der Solarzellentwicklung gerückt. Als Alternative zu einem bordotierten p⁺ Emitter, der in einem Hochtemperaturschritt diffundiert wird, haben wir einen aluminiumdotierten Emitter entwickelt, der durch einfaches Siebdrucken einer aluminiumhaltigen Paste auf die Rückseite der Zelle und einem nachfolgenden kurzen Einlegierungsschritt ausgebildet wird. Ein großer Vorteil dieses Verfahrens und der damit herstellbaren rückseitig sammelnden n⁺np⁺ Zellstruktur liegt darin, dass der Prozessschritt für das Emitterlegieren bereits in Produktionslinien konventioneller p-Typ Zellen für das Al-Rückseitenfeld (BSF) eingesetzt wird.

Da bei rückseitig sammelnden Zellen eine effektive Passivierung der Vorderseite eine wichtige Voraussetzung für hohe Effizienzen ist, verwenden wir hier ein Zwei-Lagen-Metallisierungskonzept zur Erzeugung des Kontaktgitters aus Fingern und Busbars, das auch die Kontaktierung schwach dotierter Oberflächen erlaubt. Nach Aerosol-Druck der Saatschicht mit einer am Fraunhofer ISE entwickelten Metalltinte erfolgt das Verdicken der Kontakte in lichtinduzierter Silber-Galvanik. Für diese n-Typ Solarzellen mit beidseitig gedruckten Kontakten haben wir auf großen Flächen bereits den weltweit besten Wirkungsgrad von 18,2 % erreicht (150 cm², V_{oc} = 632 mV, J_{sc} = 36,0 mA/cm²). Darüber hinaus konnten wir für kleine Zellen (4 cm²) mit einem photolithographisch definierten Kontaktgitter und einer zusätzlichen Passivierungsschicht auf der Emitteroberfläche einen Wirkungsgrad über 20 % erzielen und so das große Potenzial dieser Al-p⁺ Emitter demonstrieren.

Die Arbeiten wurden durch Bosch Solar Energy AG unterstützt.

INDUSTRIELLE SOLARZELLEN MIT PASSIVIERTER UND LOKAL KONTAKTIERTER RÜCKSEITE

Solarzellen mit dielektrisch passivierter Rückseite und lokalen laserlegierten Kontakten ermöglichen höhere Effizienzen als herkömmliche rückseitig vollflächig metallisierte Solarzellen. Das hier entwickelte Verfahren erlaubt die industrielle Herstellung passivierter Solarzellen mit Wirkungsgraden über 18 % unter Verwendung der am Fraunhofer ISE entwickelten Laser-Fired-Contact (LFC)-Technologie.

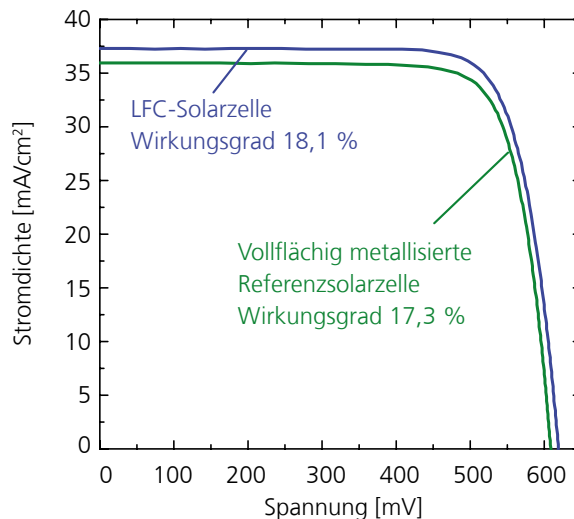
Daniel Biro, Andreas Grohe, Marc Hofmann, Anke Lemke, Sebastian Mack, Jan Nekarda, Jochen Rentsch, **Andreas Wolf**, Edgar Allan Wotke, Ralf Preu

Unser Laser-Fired-Contact Cluster (LFCC)-Projekt hat zum Ziel, die am Fraunhofer ISE entwickelte Technologie zur lokalen Kontaktierung mittels Laserstrahlung auf industrielle Siebdrucksolarzellen zu übertragen. Solarzellen mit dielektrisch passivierter Rückseite und LFC-Kontakten erlauben verringerte Rekombinationsverluste und erhöhten Lichteinfall. Mit LFC-Solarzellen können daher im Vergleich zu derzeit in der Massenfertigung produzierten rückseitig vollflächig mit Aluminium metallisierten Zellen höhere Wirkungsgrade erzielt werden. Im Rahmen des LFCC-Projekts wurde eine Prozessfolge zur Herstellung von LFC-Solarzellen entwickelt, bei der der konventionelle Herstellungsprozess zu einem Großteil übernommen werden kann.

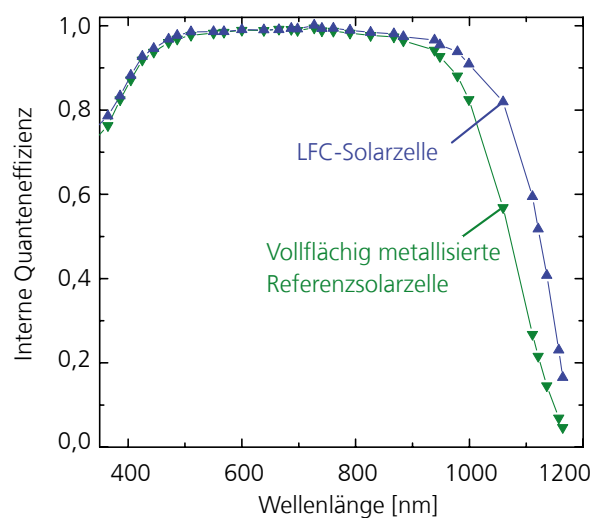
Als dielektrische Passivierung der LFC-Solarzelle dient eine wenige Nanometer dünne, thermisch gewachsene SiO_2 -Schicht, die mit einer Deckschicht aus plasmaunterstützter Gasphasenabscheidung verstärkt wird. Das vorderseitige Kontaktgitter wird, wie bei konventionellen Zellen, mittels Siebdruckverfahren aufgebracht und eingesintert. Als Rückkontakt wird eine aufgedampfte Aluminiumschicht verwendet, die mit dem LFC-Verfahren lokal durch die dielektrische Schicht einlegiert wird.

Mit diesem Zellkonzept konnten in unserem Photovoltaik Technologie Evaluationscenter (PV-TEC) im Demonstrationsmaßstab Wirkungsgrade über 18 % erreicht werden.

Das LFCC-Projekt wurde durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) sowie die Partnerunternehmen Bosch Solar, Q-Cells, Schott Solar, Solar World und Sunways gefördert.



1 Strom-Spannungskennlinie einer industriell hergestellten LFC-Solarzelle und einer vollflächig metallisierten Referenzsolarzelle gemessen unter Standard-Test-Bedingungen. Die dielektrisch passivierte Rückseite der LFC-Solarzelle ergibt deutlich höhere Kurzschlussstromdichten und offene Klemmspannungen. Die Zellen (Zellfläche 136 cm^2) wurden aus konventionellem bordotiertem Czochralski-Silizium gefertigt und vor der Messung durch 35 Stunden Beleuchtung stabilisiert. Beide Zelltypen sind mit rückseitigen Lötkontaktfeldern für die Verschaltung im Modul versehen.



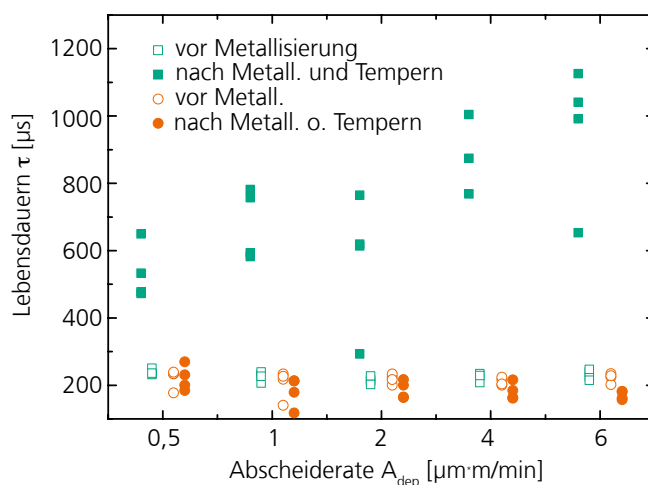
2 Interne Quanteneffizienz einer industriell hergestellten LFC-Solarzelle und einer vollflächig metallisierten Referenzsolarzelle. Die Überlegenheit der passivierten LFC-Solarzelle zeigt sich insbesondere in der besseren Ausnutzung des langwelligeren Spektralbereichs.



RÜCKSEITENMETALLISIERUNG MIT DIELEKTRISCHER PASSIVIERUNG

Für Solarzellen mit passivierter Rückseite führt eine Metallisierung mittels physikalischer Gasphasenabscheidung im Vergleich zur konventionellen Siebdrucktechnik zu niedrigerer thermischer und mechanischer Belastung. Mit unserem Partner Applied Materials haben wir eine Anlage für die industrielle Hochratenabscheidung von Aluminium konzipiert. Auf der Pilotanlage am Fraunhofer ISE konnten ausgezeichnete Schichteigenschaften und der erfolgreiche Einsatz für Hocheffizienz-solarzellen demonstriert werden.

Andreas Grohe, Philip Hartmann, Jan Nekarda,
Dirk Reinwand, Ralf Preu



2 Ergebnisse der quasistatischen Ladungsträgerlebensdauer-messung vor und nach der Abscheidung von $2\ \mu\text{m}$ Aluminium mit unterschiedlichen Abscheideraten mit und ohne anschließendem Temperingschritt bei $425\ \text{°C}$ für 25 Minuten. Dazu wurden symmetrisch hergestellte, mittels $100\ \text{nm}\ \text{SiO}_2$ passivierte FZ-Proben (Float Zone Silicium) mit einem Basiswiderstand von $\rho = 1\ \Omega\cdot\text{cm}$ verwendet. Bei den aluminiumbeschichteten Proben wurde die Metallschicht vor der Messung abgeätzt.

1 Inline-Pilotanlage zum Hochratenaufdampfen von Aluminium-schichten zur rückseitigen Metallisierung von kristallinen Silicium-solarzellen mit dielektrischer Passivierung. Für eine Schichtdicke von $2\ \mu\text{m}$ können bis zu 540 Wafer pro Stunde beschichtet werden.

Zur weiteren Wirkungsgradsteigerung von Solarzellen gewinnen dielektrisch passivierte Rückseiten auch in der industriellen Fertigung an Bedeutung. Da die rückseitige Metallschicht in diesem Fall keine passivierenden Eigenschaften ausbilden muss, können bei ihrer Herstellung neue Wege gegangen werden. Unter Verwendung dünner, aufgedampfter Aluminiumschichten, die bereits seit längerem im Labor-Maßstab hergestellt werden können, wurden in der Vergangenheit zahlreiche Wirkungsgradrekorde erzielt. Gemeinsam mit Applied Materials haben wir eine Abscheideanlage konzipiert, die es erlaubt, solche Schichten im Durchlaufverfahren mit sehr hohen Abscheideraten herzustellen.

Für die Prozessentwicklung haben wir am Fraunhofer ISE eine Pilotanlage aufgebaut, mit der wir sehr hohe dynamische Abscheideraten von bis $6\ \mu\text{m}\cdot\text{m}/\text{min}$ in Verbindung mit einer ausgezeichneten Schichthomogenität erreicht haben. Die mittlere Abweichung der Schichtdicke über 576 Messpunkte eines Durchlaufs liegt bei weniger als 1,5 % – mehr als ausreichend für alle bisher identifizierten Anwendungen. Die Eignung für die Oberflächenpassivierung konnte durch die Herstellung und Messung symmetrisch passivierter und metallisierter Siliciumproben mit Lebensdauern $> 600\ \mu\text{s}$ demonstriert werden. Die ersten mit dieser Anlage prozessierten Hocheffizienz-solarzellen erreichten mit Wirkungsgraden von bis zu 21,0 % auf Anhieb das Potenzial des bisher verwendeten Referenzprozesses.

Das Projekt wird durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) gefördert.

ATOMIC LAYER DEPOSITION (ALD): PASSIVIERUNG P-TYP DOTIERTER OBERFLÄCHEN

Eine effektive Oberflächenpassivierung ist eine der wichtigsten Voraussetzungen für das Erreichen hoher Solarzellenwirkungsgrade. Die Passivierung p-Typ dotierter Oberflächen, insbesondere von Oberflächen mit hoher Dotierkonzentration, wie sie im Solarzellenemitter auftreten, war bislang nicht zufriedenstellend gelöst. Durch die Verwendung von per Atomic Layer Deposition (ALD) abgeschiedenem Al_2O_3 konnte dieses Problem nun gelöst und eine hervorragende Passivierung auf stark p-Typ dotierten Oberflächen erreicht werden.

Jan Benick, Martin Hermle, Armin Richter,
Karin Zimmermann, Stefan Glunz

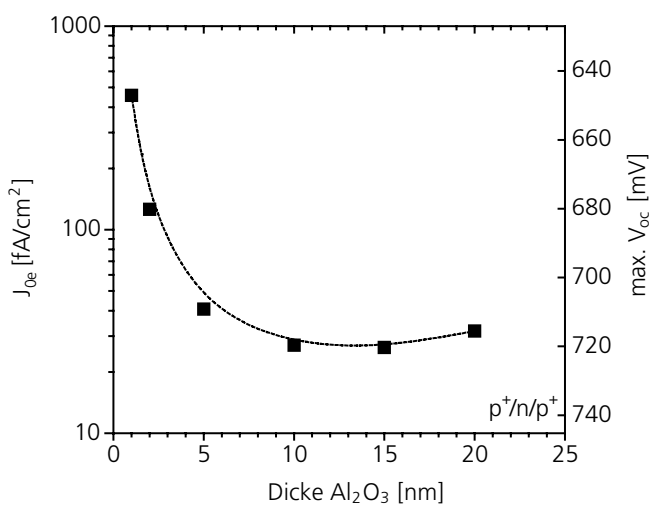
Die Oberflächenpassivierung von Solarzellen wird in der Regel mittels dielektrischer Schichten realisiert. Auf der Solarzellenvorderseite muss diese dielektrische Schicht neben der Passivierung der Oberfläche zusätzlich auch die Reflexion minimieren. Al_2O_3 stellt dank einer hohen Dichte an negativen Grenzflächenladungen (bis ca. 10^{13} cm^{-2}) eine effektive Passivierung p-Typ dotierter Oberflächen dar. Aufgrund des relativ niedrigen Brechungsindex von Al_2O_3 ($\sim 1,65$) ist die Antireflexwirkung dieser Schicht jedoch nicht optimal. Um dennoch eine minimale Oberflächenreflexion zu erhalten,

kann die Al_2O_3 -Schicht zusätzlich mit einer weiteren dielektrischen Schicht, die einen höheren Brechungsindex aufweist, beschichtet werden (z. B. SiN_x). Hierzu sollte die passivierende Al_2O_3 -Schicht jedoch möglichst dünn sein.

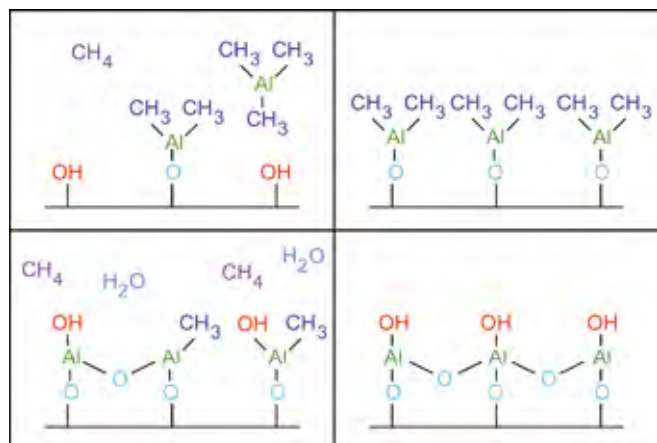
Mittels ALD lassen sich qualitativ sehr hochwertige ultradünne Schichten mit einer perfekten Kontrolle des Schichtwachstums abscheiden. Die Besonderheit des ALD-Prozesses ist hierbei die Tatsache, dass die Abscheidung auf zwei sich selbst beendenden Halbreaktionen beruht, durch die in einem zyklischen Prozess die Schicht aus der Gasphase abgeschieden wird. Die kontrollierte Abscheidung von Schichten mit einer Dicke $< 1 \text{ nm}$ ist mittels ALD problemlos möglich.

Die effektive Passivierung des Bor-Vorderseitenemitters durch Al_2O_3 ermöglicht ein maximales $V_{oc} > 700 \text{ mV}$, selbst für Al_2O_3 -Schichten mit einer Dicke von nur 5 nm. Auf hocheffizienten n-Typ Solarzellen, bei denen der vorderseitige Bor-Emitter mit dem dielektrischen Schichtstapel 30 nm Al_2O_3 /40 nm SiN_x passiviert wurde, war es uns möglich, einen Wirkungsgrad von 23,4 % ($V_{oc} = 703 \text{ mV}$) zu erzielen.

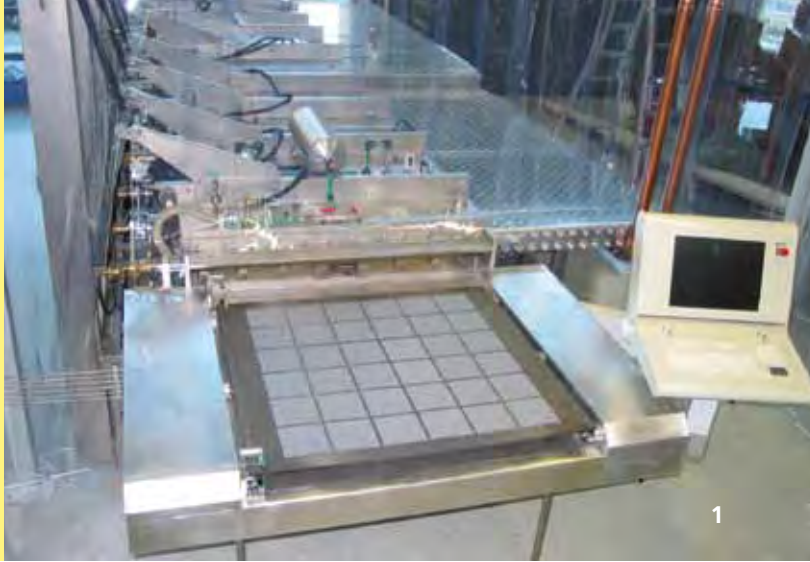
Die Arbeiten wurden durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) gefördert.



1 Emittersättigungsstromdichte und maximale Spannung, gemessen an symmetrischen Testwafern, bei denen der Bor-Emitter mittels ALD Al_2O_3 unterschiedlicher Dicke passiviert wurde. Selbst für ultradünne Schichten im Bereich 5 nm wird noch eine hervorragende Passivierung der Oberfläche erreicht.



2 Die Schichtabscheidung mittels ALD basiert auf der fortlaufenden Wiederholung sich selbst beendender Gasphasenreaktionen. Die einzelnen Phasen eines ALD-Zyklus sind (von links nach rechts): selbstendende Reaktion von Reaktand 1, Spülschritt zur Entfernung von Reaktand 1, selbstendende Reaktion zur Oxidation (H_2O oder O_2 Plasma), Spülschritt zur Entfernung der oxidierenden Spezies.

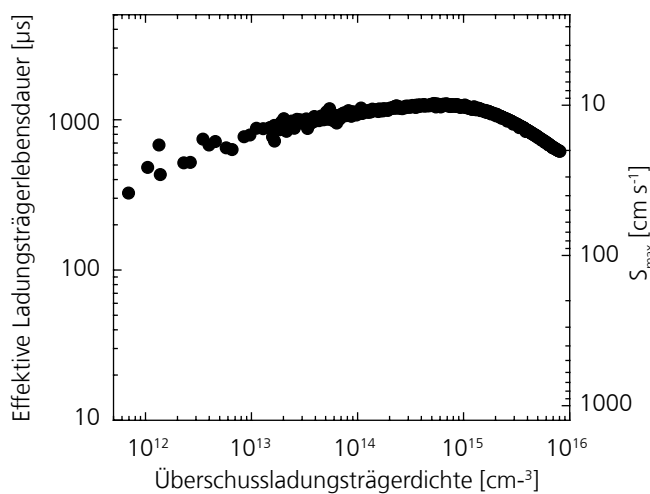


HOCHPASSIVIERENDES PECVD-ALUMINIUMOXID

Oberflächenpassivierung ist eine Schlüsselkomponente bei der Entwicklung hocheffizienter kristalliner Silicium-solarzellen. Der am Fraunhofer ISE entwickelte plasma-basierte Abscheidungsprozess für Aluminiumoxid (AlO_x) erlaubt die industrielle Hochraten-Aufbringung von dielektrischen Schichten mit ausgezeichneten Passivierungseigenschaften.

Marc Hofmann, Daniel Kania, Jochen Rentsch,
Pierre Saint-Cast, Dirk Wagenmann, Ralf Preu

Die Abscheidung von Aluminiumoxid (AlO_x) auf kristalline Siliciumscheiben ermöglicht eine sehr effiziente Oberflächenpassivierung. Bisher wurde hierfür bevorzugt die ALD-Methode (Atomic Layer Deposition) angewandt, die eine kontrollierte Abscheidung mit ausgezeichneten Schichteigenschaften



2 *Ergebnis einer transienten Ladungsträgerlebensdauer-messung an einem Siliciumwafer (bordotiert, spezifischer Basiswiderstand $1 \Omega\text{cm}$, glanzgeätzte Oberflächen, Dicke $250 \mu\text{m}$), der beidseitig mit PECVD- AlO_x (50 nm) beschichtet ist.*

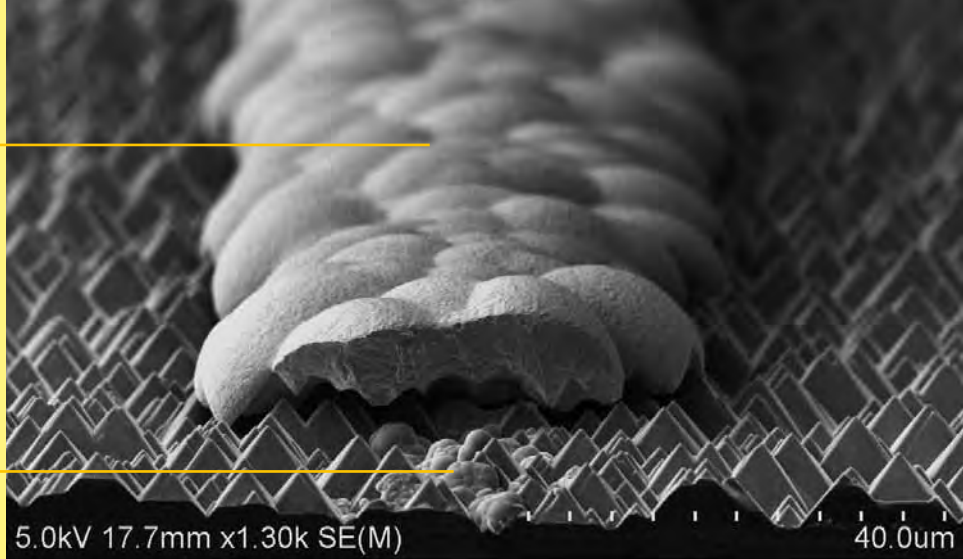
1 *Prototyp einer PECVD-Anlage der Firma Roth&Rau, der für die Hochraten-Abscheidung von Aluminiumoxidschichten zur Oberflächenpassivierung kristalliner Silicium-solarzellen eingesetzt wird (6×6 Wafer mit einer Kantenlänge von 125 mm).*

erlaubt. Die Abscheiderate für diese Methode ist allerdings eingeschränkt, da die Abscheidung in einzelnen Monolagen der Aluminium- und Sauerstoffatome erfolgt. Deshalb ist die industrielle Abscheidung nach jetzigem Stand auf sehr dünne Schichten begrenzt, und Prozessanlagen mit hohem Scheibendurchsatz müssen erst noch entwickelt werden.

Der von uns präsentierte PECVD-Prozess (Plasma-Enhanced Chemical Vapor Deposition) ermöglichte eine sehr hohe Aluminiumoxid-Abscheiderate von ca. 80 nm/min (vgl. ALD: ca. 1 nm/min). Unsere Prozessentwicklung erfolgte auf einem Anlagentyp, der zur industriellen Abscheidung amorpher Siliciumnitridschichten für die Anti-Reflexbeschichtung von Solarzellen eingesetzt wird. Die Basis-Prozessentwicklung wurde auf hochreinen Siliciumproben mit industrieüblicher Dotierung durchgeführt. Auf diesen Proben haben wir bereits hervorragende effektive Oberflächenrekombinationsgeschwindigkeiten von unter $S_{\text{eff}} = 10 \text{ cm/s}$ auf Silicium-Substraten erreicht. Wir konnten weiterhin zeigen, dass die Passivierungswirkung überwiegend auf der hohen Dichte an ortsfesten negativen Ladungen in der Schicht ($\sim 2 \cdot 10^{12} \text{ cm}^{-2}$) beruht, die zu einer vorteilhaften Bandverbiegung im Silicium führt.

Die hervorragenden Schichteigenschaften in Verbindung mit der Hochraten-Abscheidung bilden einen wichtigen Meilenstein auf dem Weg zu industriell hergestellten hocheffizienten kristallinen Silicium-solarzellen einfacher Bauart.

Diese Arbeit wurde durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) unterstützt.



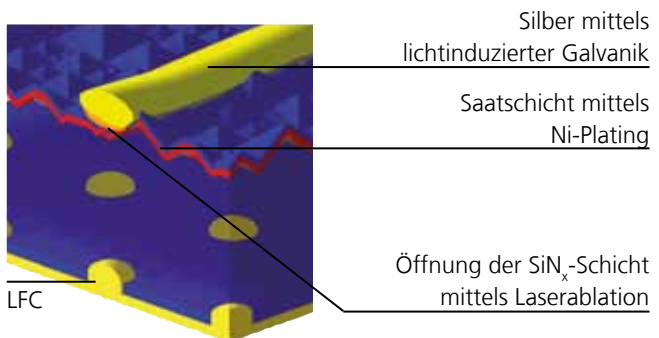
HÖCHSTEFFIZIENTE SILICIUMSOLARZELLEN MIT NICKELPLATIERTEN KONTAKTEN

Der effizienteste Weg, die Kosten der photovoltaischen Stromerzeugung zu reduzieren, ist die Erhöhung des Wirkungsgrads. Bei Siliciumsolarzellen spielt hier die Optimierung der Vorderseitenkontakte eine zentrale Rolle. Mit einer Prozessesequenz aus Laserablation, Nickel- und lichtinduzierter Silbergalvanik ist es gelungen, sehr feine, gut leitende Kontakte zu erzeugen und so den Solarzellenwirkungsgrad auf Werte > 20 % zu erhöhen.

Monica Alemán, Jonas Bartsch, Norbert Bay, Sebastian Binder, Andreas Grohe, Annerose Knorz, Ralf Preu, Elisabeth Schäffer, Christian Schetter, Daniel Schmidt, **Stefan Glunz**

Zwei Hauptverlustfaktoren industrieller Siliciumsolarzellen sind Abschattungs- und Widerstandsverluste. Diese werden durch das Vorderseitenkontaktgitter verursacht. Wir arbeiten daher intensiv an einer industriell verwertbaren Technologie zur Herstellung neuartiger optimierter Kontakte. In vielen Fällen basieren solche Kontaktsysteme auf einem zweistufigen Prozess, d. h. der Aufbringung einer Saatschicht, die den elektrischen Kontakt zur Zelle herstellt, und einer nachfolgenden galvanischen Verstärkung mit Silber oder Kupfer, um eine ausreichende Querleitfähigkeit zu erreichen. Diese Saatschicht kann mittels Feinliniendruck gedruckt und gefeuert oder chemisch aufgalvanisiert werden. Im letzt genannten Fall muss allerdings zunächst die Antireflexschicht aus Siliciumnitrid (SiN_x) geöffnet werden. Eine interessante Technologie ist die Ablation der SiN_x-Schicht mittels eines Laserstrahls. Auch wenn diese Methode sehr elegant und berührungsfrei abläuft, darf auf keinen Fall der sehr dünne Phosphoremitter (ca. 0,2-0,3 µm) direkt unter der Zelloberfläche geschädigt werden. Der von uns entwickelte Prozess erfüllt dieses Kriterium auch bei texturierten Oberflächen hervorragend.

1 REM-Aufnahme eines Kontakts, der mittels Laserablation der SiN_x-Schicht, Ni-Galvanik und lichtinduzierter Silbergalvanik hergestellt wurde.



2 Struktur einer Solarzelle mit Ni-platierten Kontakten.

Im folgenden Schritt wird in den geöffneten Bereichen in einem galvanischen Bad Nickel als Kontaktmetall aufgebracht. Auch diesen Prozessschritt mussten wir sehr intensiv untersuchen und optimieren, da Nickel leicht in die Zelle eindringen und den Emitter und damit die gesamte Zelle schädigen könnte. Nach dem abschließenden Aufgalvanisieren dieser Nickelsaatschicht mit Silber ergibt sich der in Abb. 1 gezeigte Aufbau. Die mit unserer Prozessesequenz hergestellten Kontakte sind sehr schmal und haben ein ausgezeichnetes Aspektverhältnis. Verwendet man diese Kontakte auf hocheffizienten Zellstrukturen (Abb. 2), können sehr gute Wirkungsgrade von bis zu 20,7 % erreicht werden ($V_{oc} = 651$ mV, $J_{sc} = 39,4$ mA/cm², FF = 80,7 %). Solche Werte werden sonst nur mit Labortechnologien erzielt. Insbesondere in der Kombination mit Kupfer-Galvanik, die wir momentan intensiv bearbeiten, ist dieser Kontaktaufbau hinsichtlich Kosten und Wirkungsgradpotenzial sehr attraktiv.

LASER CHEMICAL PROCESSING (LCP): SELEKTIVE EMITTERSTRUKTUREN FÜR SOLARZELLEN

Reduziert man die Dotierkonzentration des Emitters einer Solarzelle, so kann der Wirkungsgrad signifikant gesteigert werden. Gleichzeitig wird jedoch die Kontaktierung eines solchen Emitters mit industriellen Metallisierungsverfahren schwierig. Der Kontaktwiderstand zwischen Metallfinger und Emmitter kann durch selektiv hochdotierte Bereiche reduziert werden. Mit LCP können lokal hochdotierte Bereiche ohne zusätzliche Hochtemperatur- oder Maskierungsschritte erzeugt werden.

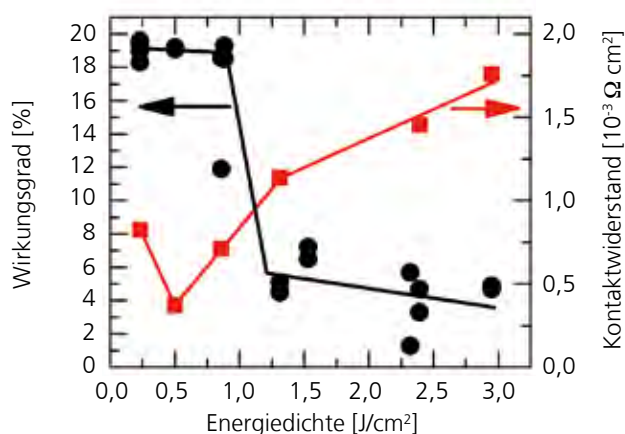
Kristine Drew, Andreas Fell, Christoph Fleischmann, **Filip Granek, Sybille Hopman**, Kuno Mayer, Matthias Mesec, Andreas Rodofili, Stefan Glunz

Das Laser Chemical Processing (LCP) wird durch zahlreiche Laser- und Flüssigkeitsparameter beeinflusst. Beispiele für das eingesetzte Lasersystem sind Pulsenergie, Pulsabstand sowie Wellenlänge und Dotierstoffkonzentration sowie Fließgeschwindigkeit. Umso wichtiger ist es einen optimalen Parameterbereich zu bestimmen. Um den optimalen Pulsenergiebereich zu ermitteln, wurden Experimente mithilfe einer hocheffizienten Solarzellenstruktur mit aufgedampften Metallkontakten durchgeführt. So ist es möglich, schon eine geringe Störung der Raumladungszone durch laserinduzierte

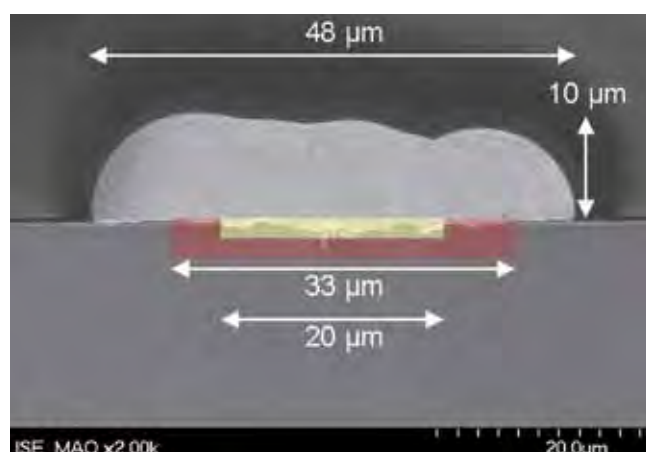
Schädigung zu erkennen. Abb. 1 zeigt die Effizienz der prozessierten Solarzellen in Abhängigkeit der Energiedichte. Auffallend ist der abrupte Abfall der Effizienz im Bereich von etwa 1 J/cm^2 . Durch Transmissionen-Elektronen-Mikroskopie (TEM) konnte eine erhöhte Versetzungsdichte in den hohen Energiedichtebereichen nachgewiesen werden, welche durch den Laserprozess entstanden sind und so den pn-Übergang stören. In der gleichen Abbildung ist der Kontaktwiderstand in Abhängigkeit der Energiedichte aufgetragen. Hier ist ein Optimum des Kontaktwiderstands ebenfalls bei niedrigen Pulsenergien zu finden, was im Hinblick auf eine industrielle Anwendung des Prozesses sehr vorteilhaft ist. Somit könnte ein einziger Laser mehrere Düsenköpfe gleichzeitig mit Laserlicht versorgen.

Abb. 2 zeigt einen Metallkontakt, der nach der selektiven Hochdotierung mittels LCP durch galvanische Verdickung einer Aerosol-Saatschicht entstanden ist. Dabei wurden Kontaktwiderstände $< 10^{-3} \Omega \text{ cm}^2$ erzielt. Eine weitere attraktive Variante ist die Verbindung des LCP-Prozesses mit der galvanischen Nickelabscheidung auf die direkt geöffneten Bereiche.

Die Arbeiten wurden durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) gefördert.



1 Die schwarzen Kreise stellen die Solarzelleneffizienz in Abhängigkeit der Laserenergiedichte dar. Die roten Quadrate zeigen den Kontaktwiderstand der aufgedampften Metallkontakte in Abhängigkeit der Energiedichte. Die besten Kontaktwiderstände werden im Bereich bester Effizienzen erzielt.



2 REM-Bild einer galvanisch verdickten Aerosol-Saatschicht ($20 \mu\text{m}$). Die Längenabmessungen zeigen die Breite ($48 \mu\text{m}$) und Höhe ($10 \mu\text{m}$) des Kontakts sowie die Breite des LCP-dotierten Bereichs ($33 \mu\text{m}$). Mittels dieser Vorderseitenstruktur wurden Kontaktwiderstände $< 10^{-3} \Omega \text{ cm}^2$ erzielt.

SILICIUM-HETEROSOLARZELLEN FÜR DIE INDUSTRIELLE PRODUKTION

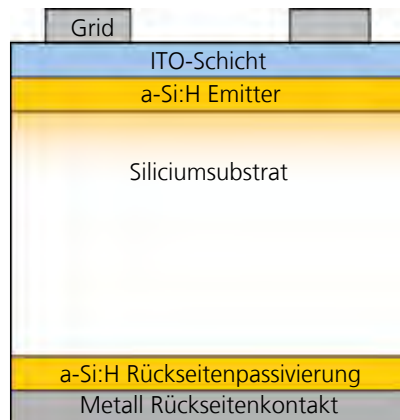
Silicium-Heterosolarzellen sind eine kostengünstige Alternative, um hohe Zellwirkungsgrade zu erreichen. Ziel unserer Arbeiten am Labor- und Servicecenter Gelsenkirchen LSC ist es, für diesen Solarzellentyp einen industriellen Herstellungsprozess zu entwickeln. Dabei erzielten wir einen Wirkungsgrad von 15,3 % auf einer Fläche von 100 cm² für p-Typ Material und 16,1 % auf einer Fläche von 25 cm² für n-Typ Basismaterial.

Dietmar Borchert, Sinje Keipert, Stefan Müller, Markus Rinio, Petra Schäfer, Leilei Xia, Raif Zejnelovic, Johannes Ziegler, Ralf Preu

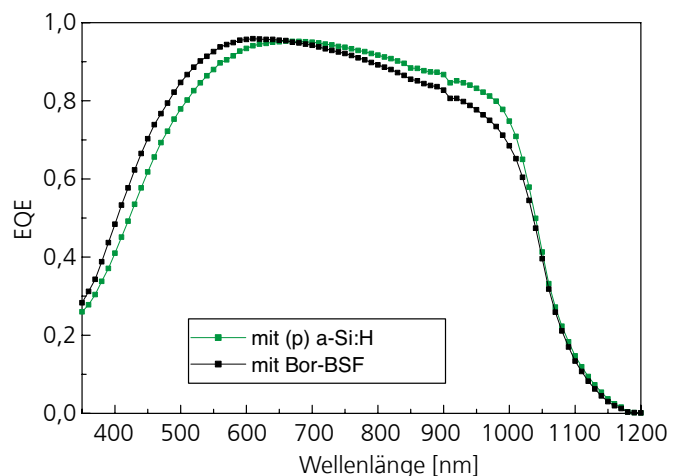
a-Si/c-Si Silicium-Heterosolarzellen bestehen aus monokristallinem Basismaterial, auf dessen Vorder- und Rückseite dünne Schichten aus amorphem Silicium oder verwandten Schichten abgeschieden werden. Abb. 1 zeigt den schematischen Aufbau einer solchen Zelle. Während des gesamten Herstellungsprozesses wird eine Prozesstemperatur von 250 °C nicht überschritten. Die amorphen Schichten sorgen auf der Vorder- und Rückseite für eine sehr gute Oberflächenpassivierung, wodurch sehr hohe Wirkungsgrade möglich werden.

Ziel unserer Arbeiten ist es, für diesen Solarzellentyp einen industriellen Herstellungsprozess zu entwickeln. Dazu haben wir unsere Technologie in den letzten Jahren konsequent erweitert, so dass wir alle notwendigen Prozessschritte auf Flächen von 125 mm x 125 mm durchführen können. Auf einer Fläche von 100 cm² erreichten wir auf p-Typ Cz-Silicium einen Wirkungsgrad von 15,3 %. Bei dieser Zelle wurde ein konventionelles Bor-BSF auf der Rückseite zur Oberflächenpassivierung eingesetzt. Diese Passivierung konnten wir in einem nächsten Schritt durch eine Passivierungsschicht aus p-dotiertem amorphem Silicium ersetzen. Abb. 2 zeigt den Vergleich der EQE-Kurven für diese beiden Fälle. Das amorphe Silicium passiviert die Oberfläche so gut wie das konventionelle Bor-BSF. Dies zeigten auch die Leerlaufspannungen. Wir erreichten für beide Zellen 630 mV.

Zusammen mit unserem Kooperationspartner, dem Lehrgebiet Bauelement der Elektrotechnik der FernUniversität Hagen, haben wir Heterosolarzellen auf untexturierten n-Typ FZ-Siliciumscheiben (Float Zone Silicium) mit einer Fläche von 25 cm² gefertigt. Wir erreichten eine Leerlaufspannung von 697 mV und einen Zellwirkungsgrad von 16,1 %.



1 Struktur einer a-Si/c-Si Heterosolarzelle. Auf ein monokristallines Silicium-Substrat werden nacheinander die dünne Emitter- und die Rückseitenpassivierungsschicht aus amorphem Silicium aufgebracht. Eine zusätzliche Indium-Zinnoxid (ITO)-Schicht sorgt für eine gute Querleitfähigkeit auf der Vorderseite zwischen den Gridfingern. Die Metallisierung auf der Rückseite besteht in der Regel aus Aluminium.



2 Vergleich der gemessenen Externen Quanteneffizienz (EQE) für eine Heterosolarzelle mit einem konventionellen Bor-BSF (schwarze Kurve) und einer Passivierung durch eine p-leitende amorphe Siliciumschicht (grüne Kurve) auf der Rückseite. Der übereinstimmende Verlauf der Kurven bei großen Wellenlängen zeigt die identische Wirkung der beiden Passivierungstechniken.



AUFBAU DES PHOTOVOLTAIK MODUL-TECHNOLOGIECENTERS

Mit Unterstützung des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) hat das Fraunhofer ISE in Freiburg ein Technologiecenter für Photovoltaische Module aufgebaut (Abb. 1). Die neue Plattform bietet eine einzigartige Palette an experimentellen und analytischen Methoden. Das Photovoltaik Modul-Technologiecenter (MTC) schließt die Lücke zwischen Laborentwicklung und industrieller Produktionstechnologie.

Marco Tranitz, Harry Wirth, Werner Platzer

1 Innenaufnahme des MTC mit Röntgen-Anlage und Tabber-Stringer für die voll-automatische Zellverbindung.

Experimentelle Plattformen

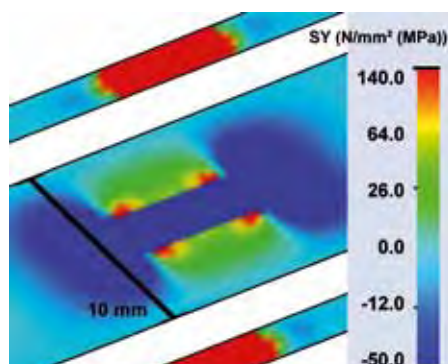
Die elektrische Verbindung der Solarzellen hat einen kritischen Einfluss auf die Leistung und Beständigkeit von Modulen. Besondere Aufmerksamkeit erfordern die Ausbildung der intermetallischen Phasen sowie die Reduktion der Materialspannungen beim Abkühlen. Für die Untersuchung und Optimierung von Lötprozessen sowie deren Abstimmung auf neue Materialien nutzen wir experimentelle Lötplattformen auf der Basis von Laser, Induktion, Ultraschall und Kontaktlöten. Für die Fertigung von Modulen stehen Laminatoren mit Nutzflächen bis 1700 mm x 1000 mm zur Verfügung.

Charakterisierung

Umfassende Charakterisierungen in allen Fertigungsstufen ermöglichen eine zielgenaue Prozessoptimierung. Über stufenweise Leistungsmessung und Elektrolumineszenz-Abbildung lassen sich Leistung und Integrität der Zelle vom Lieferzustand über die Stringherstellung und Einkapselung bis zum beschleunigt gealterten Modul verfolgen.

Modellierung

Finite-Elemente-Modelle (FEM) setzen wir ein, um die thermomechanischen Spannungen in den Komponenten zu berechnen. Bei der Modulproduktion ist vor allem das Abkühlen der verbundenen Werkstoffe kritisch (Abb. 2). Im Gebrauch des Moduls treten zusätzliche thermische und mechanische Lasten auf. Elektrische Serienwiderstandsverluste für komplexe Bauteile können durch Netzwerke abgebildet werden. Neben der elektrischen Effizienz der Zellverbindung wird die optische Effizienz des gesamten Systems modelliert, um schließlich den Modulwirkungsgrad zu optimieren.



2 Berechnete Spannungsverteilung in Zellverbinder (oben und unten) und Zelle (Mitte) im Bereich einer Lötstelle nach dem Abkühlen auf Raumtemperatur. Besonders kritisch sind die Zugspannungen in der Zelle (rot).



ENTWICKLUNG EINER MODULTECHNOLOGIE FÜR RÜCKKONTAKT-ZELLEN

Zusammen mit den Partnern Schmid Technology Systems, aleo solar, Somont und Swiss Solar Systems haben wir eine Modultechnologie für Rückkontakt-Zellen entwickelt und in Modulformaten von 16 bis 24 Zellen demonstriert. Die Serienwiderstandsverluste der Zellverbindung können damit, bei moderat erhöhten Materialkosten, von 3 % im konventionellen Modulaufbau auf 1 % gesenkt werden.

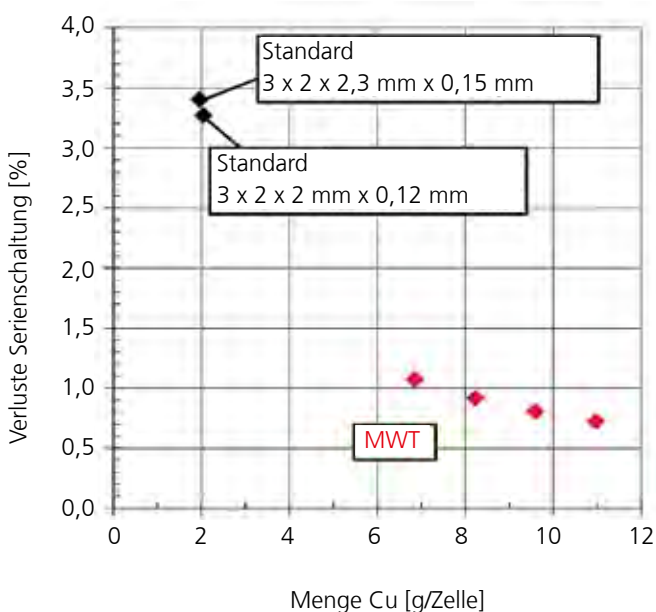
Carsten Malchow, Marco Tranitz, **Harry Wirth**, Werner Platzer

Zahlreiche Entwicklungen im Zellbereich beschäftigen sich mit der Verlagerung aller elektrischen Kontaktpunkte auf die Rückseite der Zelle. Rückkontakt-Zellen weisen keine oder deutlich verringerte Abschattungsverluste auf, auch können Serienwiderstandsverluste in Zelle und Zellverbinder reduziert werden. Schließlich ermöglichen diese Zellen eine schnelle, sichere Modulproduktion auch bei sehr dünnen Zellen. Unser Projekt zielte auf die Entwicklung von Verbindungsmaterialien und -prozessen ab, die diese Vorteile zur Geltung bringen.

Speziell im Fall der MWT-Zelltechnologie (Metal Wrap Through) lassen sich die durch Serienschaltung der Zellen bedingten ohmschen Verluste über höhere Leiterquerschnitte deutlich verringern (Abb. 2). Der so erzeugte Mehrertrag liegt deutlich über den Mehrkosten für Kupfer. Die Anordnung der Zellverbinder wurde so definiert, dass bei konstanten Stromdichten eine optimale Nutzung des Leiterquerschnitts erfolgt. Weiterhin konnte gezeigt werden, dass durch geeignete Strukturierung und Anordnung der Zellverbindungselemente die thermomechanische Belastung der Zellen um mehr als 90 % verringert wird.

Für das Auflegen der Zellen wurde ein flächiger Zellverbinder entwickelt, der eine Verteilung des Einkapselungsmaterials im Laminierprozess ermöglicht. Zum Einsatz kamen überwiegend

1 Modul mit 16 Rückkontakt-Zellen der MWT-Technologie. Die Zellen wurden von Bosch Solar und Fraunhofer ISE gefertigt.



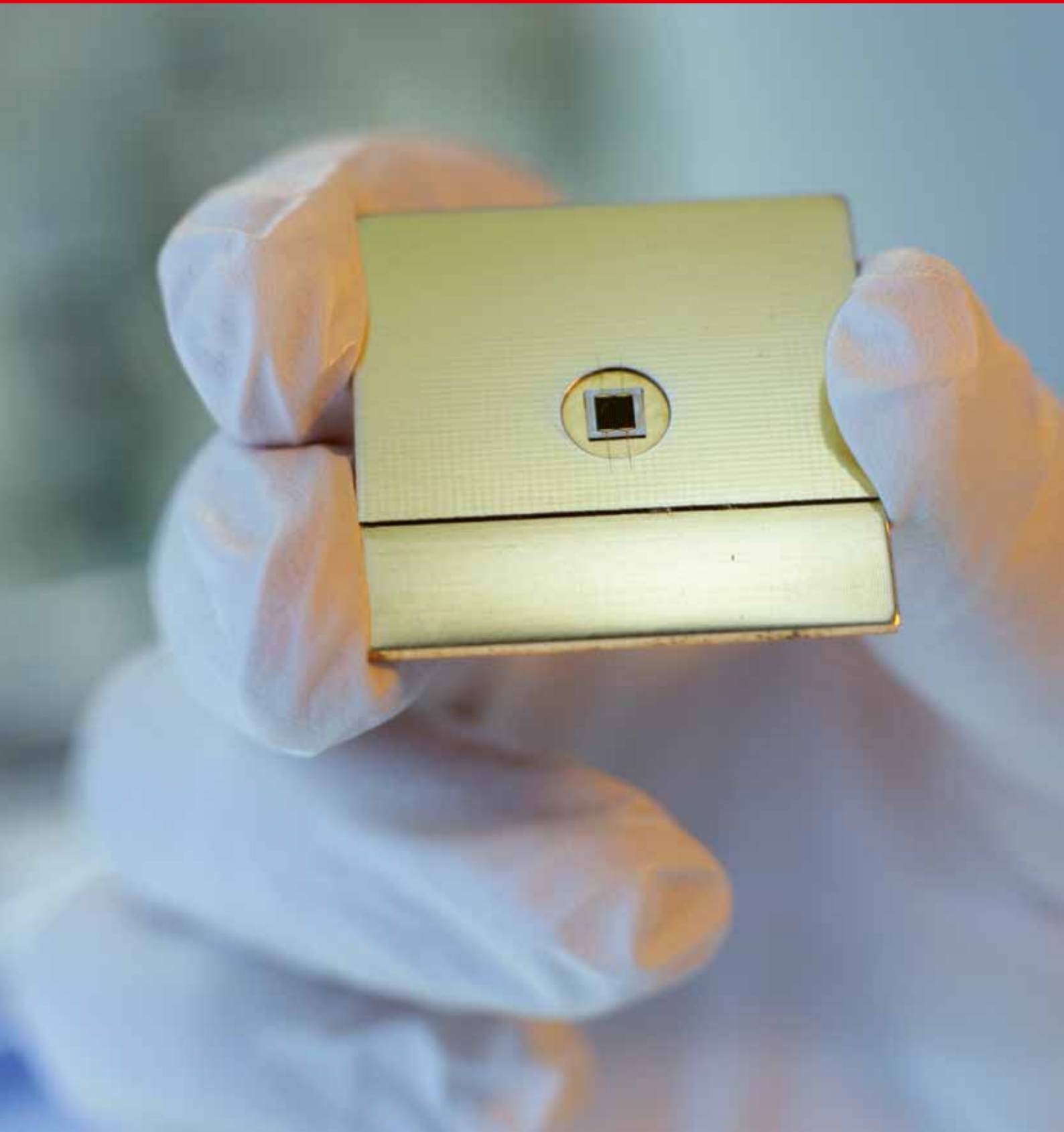
2 Berechnete Serienwiderstandsverluste bei Standard- und MWT-Zellstrings, abhängig von der eingesetzten Kupfermenge. Auf Standardzellen befinden sich 2–3 Flachdraht-Zellverbinder je Seite mit dem angegebenen Querschnitt.

Materialien, die sich im Modulbau bewährt haben. Ein wichtiges Ziel war die Verwendung bleifreier Lote.

Die Modulmuster haben beschleunigte Alterungsprüfungen bestanden, insbesondere Temperaturwechsel und Feuchte-Wärme-Belastung in Anlehnung an EN 61215.

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) gefördert.

STROM AUS SONNENLICHT



ALTERNATIVE PHOTOVOLTAIK-TECHNOLOGIEN

In Ergänzung zur Silicium-Photovoltaik (s. Beitrag S. 49) erstreckt sich unsere Solarzellenforschung und -entwicklung auf weitere Photovoltaik-Technologien: III-V-basierende Halbleiter, Farbstoffsolarzellen und organische Solarzellen.

III-V-basierende Halbleiter und ihre Anwendungsfelder

Mehrfachsolarzellen auf Basis von III-V-Halbleitern wie Galliumindiumphosphid, Aluminiumgalliumarsenid oder Galliumarsenid erzielen heute die höchsten Wirkungsgrade für jede Art von Solarzellen. Der an unserem Institut erzielte Weltrekordwirkungsgrad beträgt 41,1% bei 454facher Sonnenkonzentration. Dreifachsolarzellen aus GaInP/GaInAs/Ge werden bereits seit Jahren erfolgreich im Weltraum eingesetzt. Im Zusammenspiel mit der optischen Konzentration des Sonnenlichts haben wir daran mitgewirkt, dass sie nun auch erfolgreich terrestrisch in den Markt eingeführt werden konnten. Neben den beiden genannten Märkten bedienen wir mit den III-V-Solarzellen noch Spezialmärkte wie die Laser-Leistungsübertragung, die Thermophotovoltaik und weitere Sonderanwendungen.

Für die extraterrestrische Anwendung arbeiten wir derzeit schwerpunktmäßig an strahlungsresistenten Tripel- bis Sextupel-Zellen und deren Spezialanwendungen auf extraterrestrischen Planeten. Für die Weltraumanwendung wichtig sind Zellen mit geringem Gewicht. Wir arbeiten daher an der Entwicklung von sehr dünnen Zellen mit nur einigen Mikrometer Dicke. Dazu entwickeln wir Techniken, die Solarzellenstrukturen vom Substrat trennen und auf andere Träger übertragen. Weiterhin arbeiten wir daran, III-V-Halbleiterstrukturen auf ein Silicium-Substrat zu epitaxieren. Dabei erforschen wir zentrale Fragen im Materialbereich, wie Techniken zur Überwindung von Gitterfehlpassung und Spannungskompensation. Für den terrestrischen Einsatz entwickeln wir Konzentratorsolarzellen für höchste optische Konzentrationsfaktoren bis 2000 und Wirkungsgrade im Bereich von 40 Prozent. Wir

konzipieren z. B. auch monolithisch integrierte Module (MIM), bei denen auf Wafer Ebene mehrere kleine Zelleinheiten in Serie verschaltet werden. Derartige Zellen finden Anwendung in Konzentrator-Parabolspiegel-Systemen und in Solartürmen. Neben der Zellprozessentwicklung für die Industrie passen wir Konzentratorsolarzellen auf die spezifischen Bedürfnisse unserer Kunden an.

Ein weiterer Arbeitsschwerpunkt im Bereich der Konzentratorsolarzellen ist die Entwicklung angepasster Charakterisierungstechniken und -geräte für den Einsatz in einer industriellen Fertigung. Als Beispiel sei hier ein neu entwickelter Messplatz genannt, der erstmalig das Vermessen von Konzentratormodulen im Labor erlaubt. In Zusammenarbeit mit unserem Kalibrierlabor (Callab PV Cells) bieten wir zudem kalibrierte Messungen an Mehrfachsolarzellen an. Darüber hinaus entwickeln wir komplette Konzentratormodul- und -systemlösungen. Ein Beispiel ist die am Fraunhofer ISE entwickelte FLATCON®-Technologie, die von unserem Spin-off Concentrix Solar GmbH erfolgreich produziert wird. Im Concentrator Technology and Evaluation Center ConTec entwickeln wir angepasste Fertigungsprozessestechnologie für unsere Industriekunden.

Farbstoffsolarzellen

Die Technologie der Farbstoffsolarzellen hat sich in den letzten Jahren deutlich über den Labormaßstab hinaus entwickelt. Wir konnten zeigen, dass mit Siebdruck- und neuen Versiegelungstechniken Farbstoffsolarzellenmodule in industrienahen Techniken gefertigt werden können. Die Möglichkeit, gestalterische Aspekte umzusetzen, wurde in Prototypen gezeigt. Die Beständigkeit der Module wird im Labor und unter Außenbewitterung getestet. Neben der Entwicklung von Zell- und Herstellungskonzepten stehen Arbeiten zur Aufskalierung von Farbstoffsolarmodulen für die Anwendung im Architekturbereich im Vordergrund.



Organische Solarzellen

Organische Solarzellen sind insbesondere aufgrund der erwarteten niedrigen Herstellungskosten attraktiv. Die hohe mechanische Flexibilität erweitert die zukünftigen Einsatzgebiete für Photovoltaik. Wir entwickeln neue Zellarchitekturen, die basierend auf kostengünstigen Materialien mit effizienten Verfahren hergestellt werden können. Ziel dieser Entwicklungen ist die Produktion im Rolle-zu-Rolle-Verfahren. So konnten wir erste Solarzellenmodule mit Technologien herstellen, die in eine kontinuierliche Produktion überführt werden können. Auf dem Weg zu höheren Effizienzen und Lebensdauern untersuchen wir neue organische Halbleiter und Elektroden sowie in beschleunigten Alterungstests die Eignung von Verkapselungsmaterialien. Inzwischen konnten wir Zellwirkungsgrade von 5,4 % erreichen. Lebensdauern von einigen Jahren sind inzwischen realistisch.

Forscher am Fraunhofer ISE haben für die Umwandlung von Sonnenlicht in elektrischen Strom 2009 erstmals einen Wirkungsgrad von 41,1 Prozent erzielt und damit einen neuen Weltrekord aufgestellt. Hierzu wurde das Sonnenlicht 454fach auf eine 5 mm² kleine, sogenannte Mehrfachsolarelle aus III-V-Halbleitern konzentriert. Dabei werden Teilzellen aus den Materialien GaInP, GaInAs und Ge eingesetzt. Diese am Fraunhofer ISE entwickelten III-V-Mehrfachsolarellen bestehen aus bis zu 40 verschiedenen Schichten, die mittels metallorganischer Gasphasenepitaxie übereinander gewachsen werden. Die hocheffizienten Mehrfachsolarellen finden ihren Einsatz in photovoltaischen Konzentratorsystemen für Solarkraftwerke in Ländern mit viel direktem Sonnenlicht. Derzeit verfolgen wir am Fraunhofer ISE verschiedene Forschungskonzepte, um den Wirkungsgrad von Mehrfachsolarellen aus III-V-Halbleitern weiter zu verbessern (s. Beitrag S. 76 f.)

ANSPRECHPARTNER

III-V Epitaxie, Solarzellen und Bauelemente	Dr. Frank Dimroth	Telefon +49 761 4588-5258 frank.dimroth@ise.fraunhofer.de
Konzentratorsysteme	Dr. Andreas Bett	Telefon +49 761 4588-5257 andreas.bett@ise.fraunhofer.de
Farbstoff- und organische Solarzellen	Dr. Uli Würfel	Telefon +49 761 203-4796 uli.wuerfel@ise.fraunhofer.de
Neuartige Konzepte	Dr. Andreas Bett	Telefon +49 761 4588-5257 andreas.bett@ise.fraunhofer.de
	Dr. Stefan Glunz	Telefon +49 761 4588-5191 stefan.glunz@ise.fraunhofer.de



1

EFFIZIENZSTEIGERUNG UND AUFSKALIERUNG ORGANISCHER SOLARZELLEN

Auf dem Weg zur Marktreife organischer Solarzellen sind die Steigerung der Zelleffizienz und die Entwicklung kostengünstiger Herstellungsverfahren zwei wesentliche Arbeitsschwerpunkte am Fraunhofer ISE. Zur Steigerung der Effizienz werden laufend neue organische Halbleiter untersucht. Um organische Solarzellen kostengünstig herzustellen, werden neue Zell- und Modulkonzepte entwickelt, die eine Minimierung der Material- und Prozesskosten erlauben, ohne größere Einbußen im Wirkungsgrad hinnehmen zu müssen.

Sebastian Mühlbach, Hans-Frieder Schleiermacher, Matthias Schubert, Clemens Veit, **Uli Würfel**, **Birger Zimmermann**, Werner Platzer

Im Gegensatz zu herkömmlichen Solarzellen aus anorganischen Halbleitern führt die Lichtabsorption in organischen Solarzellen nicht zu freien Elektron-Lochpaaren, sondern zu relativ stark gebundenen Exzitonen. Zur Trennung der Ladungen bedarf es der Beimischung eines zweiten Materials, des sogenannten Akzeptors, auf das einer der Ladungsträger übertragen werden kann. Bei diesem Ladungstransfer geht ein Teil der Energie und damit Spannung in der Solarzelle verloren. In den letzten Jahren konnte durch Anpassung der Materialien die Effizienz organischer Solarzellen von den Unternehmen Konarka und Solarmer aus den USA auf über 6 % gesteigert werden. Das zur Zeit meistverwendete Donor/Akzeptor System P3HT:PCBM erlaubt eine Zellspannung von ca. 0,6 V. Im Rahmen des Projekts »Morphosol« haben wir in Kooperation mit den Universitäten in Linköping und Peking mit einem neuen Polymer einen Wirkungsgrad von 5,4 % erreicht, da wir durch verbesserte Bandanpassung bei der Kombination HXS-1:PCBM eine Klemmspannung von etwa 0,8 V erhalten, ohne den Kurzschlussstrom zu reduzieren.

1 *Flexibles, Indium-Zinnoxid (ITO)-freies organisches Solarzellenmodul mit invertierter Schichtfolge. Damit auch bei wenig Licht eine ausreichend hohe Spannung erreicht wird, haben wir elf Zellen seriell verschaltet. Mit P3HT:PCBM erreichen wir so unter voller Sonne eine Spannung von 6,5 V.*

Im Bereich der Aufskalierung ist es uns gelungen, invertierte organische Solarzellenmodule mit vielversprechender Effizienz auf der aktiven Zellfläche herzustellen. Insbesondere konnten wir mit 64 % den für flexible organische Solarzellen weltweit höchsten Füllfaktor realisieren. Die Module dienen im Projekt »Flexensys« der Versorgung eines energieautarken Sensorsystems, das in eine Jacke integriert werden soll. Als entscheidender Vorteil wird in unserem invertierten Zellaufbau auf die üblicherweise verwendete und sehr teure Indium-Zinnoxid (ITO)-Elektrode verzichtet.

Beide Projekte werden vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) unterstützt.

MODULE UND FERTIGUNGSTECHNOLOGIEN FÜR DIE KONZENTRIERENDE PHOTOVOLTAIK

Konzentratormodule mit III-V-Mehrfachsolarzellen erreichen heute die höchsten Modulwirkungsgrade aller PV-Technologien. Jüngstes Beispiel ist unser diesjähriger Rekordwert von 29,6 %. Die Konzentratortechnologie erlaubt eine Vielzahl von unterschiedlichen Konzepten, erfordert andererseits aber angepasste Fertigungstechnologien. An dieser Herausforderung arbeiten wir im Concentrator Technology and Evaluation Center ConTEC des Fraunhofer ISE.

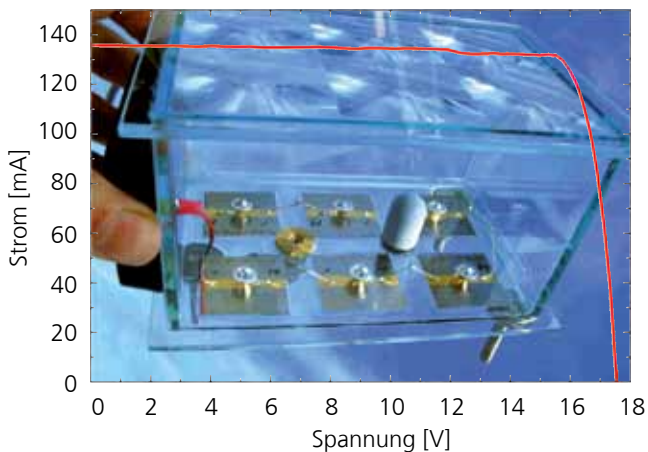
Armin Bösch, Alexander Dilger, Frank Dimroth, Fabian Eltermann, Juan Pablo Ferrer Rodríguez, Henning Helmers, Joachim Jaus, Michael Passig, Gerhard Peharz, Gerald Siefer, Stefan Thaller, Patrick Uhlig, Maike Wiesenfarth, Oliver Wolf, Christopher Zuckschwerdt, **Andreas Bett**

Im ConTEC entwickeln wir Fertigungsprozesse zur Herstellung von Konzentratormodulen. Schwerpunkt in 2009 war die Entwicklung eines Fertigungsprozesses zur Integration einer zweiten optischen Stufe in unseren FLATCON®-Modulen. Die zweite optische Stufe besteht aus einer reflektiven Trichterform. Mit dieser Erweiterung gelingt es, den Akzeptanzwinkel des Moduls zu erhöhen und mehr Strahlung auf der Zelle zu bündeln. Auf diese Art und Weise wird der Wirkungsgrad

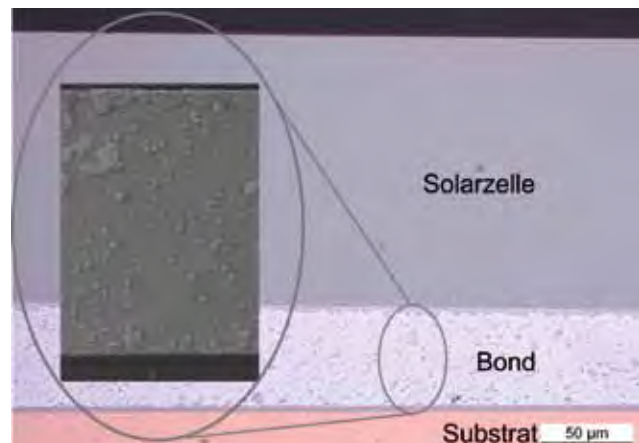
der Konzentratormodule erhöht. Abb. 1 zeigt ein Modul mit Sekundäroptik und die gemessene Strom-Spannungskennlinie. Im realen Betrieb wurden Modulwirkungsgrade bis 29,6 % erzielt – ein neuer Rekordwert. Dabei haben wir Dreifachsolarzellen eingesetzt, die am Fraunhofer ISE gefertigt wurden.

Ein weiterer Arbeitsschwerpunkt des ConTEC ist die Entwicklung der Verbindungstechnologie. Ihr kommt bei Konzentratormodulen eine besondere Bedeutung zu, da die Ankopplung der Konzentratorsolarzelle an das Substrat das thermische Verhalten des Moduls wesentlich beeinflusst. Dieses thermische Verhalten bestimmen wir einerseits durch Messungen, andererseits erlauben unsere Simulationsmodelle Vorhersagen zu treffen. Abb. 2 zeigt den typischen Aufbau. Eine Solarzelle wird über eine Verbindungsschicht auf ein Trägersubstrat aufgebracht. Wir untersuchen unterschiedliche Klebe- und Lotverbindungen und optimieren den Prozessablauf, damit dauerhafte und stabile Verbindungen entstehen. Um diese zu testen, entwickelt das ConTEC auch beschleunigte Alterungsexperimente.

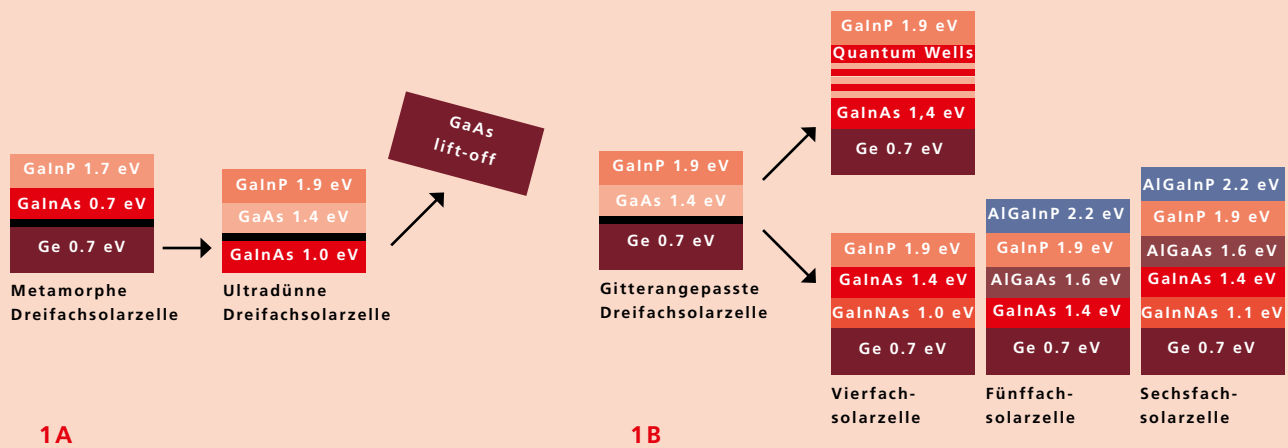
Unsere Arbeiten wurden durch die EU, das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), die Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU) sowie Industriepartner gefördert.



1 FLATCON®-Testmodul mit Sekundäroptik und die am 16.6.2009 gemessene Strom-Spannungskennlinie. Bei einer Einstrahlung von $DNI = 718 \text{ W/m}^2$, einer Umgebungstemperatur von $T = 20,5 \text{ }^\circ\text{C}$ und einer Windgeschwindigkeit von 0 m/s wurde ein Wirkungsgrad von 29,6 % gemessen. Die Kennlinienparameter waren: $I_{sc} = 136 \text{ mA}$; $V_{oc} = 17,5 \text{ V}$; $FF = 85,5 \text{ \%}$.



2 Aufbau im Querschnitt: Solarzelle – Verbindungsschicht – Trägersubstrat im Lichtmikroskop. Die Verbindungsschicht wurde im Rasterelektronenmikroskop (s. Ausschnitt) mit höherer Auflösung untersucht. Eine gute und langzeitstabile Verbindungstechnologie ist für Konzentratorsolarzellen essenziell, da über diese Verbindung auch die Wärmeableitung erfolgen muss.



HOCHEFFIZIENTE MEHRFACH-SOLARZELLEN AUS III-V-HALBLEITERN

Das Fraunhofer ISE arbeitet an der Weiterentwicklung epitaktischer Schichtsysteme auf der Basis von III-V-Halbleitermaterialien. Derzeit beschäftigen wir uns intensiv mit verschiedenen Forschungskonzepten, um den Wirkungsgrad von III-V-Mehrfachsolarzellen weiter zu erhöhen. Neben hocheffizienten Dreifachsolarzellen werden weiterführende Konzepte wie Quantum-Well-Solarzellen, ultradünne, invertierte Strukturen sowie Vier-, Fünf- und Sechsfachsolarzellen untersucht und entwickelt.

Armin Bösch, **Frank Dimroth**, Elvira Fehrenbacher, Jara Fernandez, Tobias Gandy, Wolfgang Guter, Harald Herrmann, Raymond Hoheisel, Peter Kailuweit, René Kellenbenz, Vera Klinger, Ranka Koch, Raymond Hoheisel, Eduard Oliva, Simon Philipps, Sebastian Rönsch, Michael Schachtner, Manuela Scheer, Gerald Siefer, Marc Steiner, Alexander Wekkeli, Elke Welser, Andreas Bett

Die höchsten Wirkungsgrade für die Umwandlung von Sonnenlicht in elektrischen Strom erreichen wir mit bis zu 41,1 % für Dreifachsolarzellen aus III-V-Halbleitern. Dabei werden Teilzellen aus den Materialien GaInP, GaInAs und Ge eingesetzt. Diese am Fraunhofer ISE entwickelten III-V-Mehrfachsolarzellen bestehen aus bis zu 40 verschiedenen Schichten, die mittels metallorganischer Gasphasenepitaxie übereinander gewachsen werden. Derzeit verfolgen wir verschiedene Forschungskonzepte, um den Wirkungsgrad von Mehrfachsolarzellen aus III-V-Halbleitern weiter zu verbessern (Abb. 1). Die Bandlückenkombination von gitterangepassten Dreifachsolarzellen aus $\text{Ga}_{0,50}\text{In}_{0,50}\text{P}/\text{Ga}_{0,99}\text{In}_{0,01}\text{As}/\text{Ge}$ ist nicht optimal an das Sonnenspektrum angepasst. Je nach Spektrum wird die Solarzelle verschieden stark durch die GaInAs Mittelzelle limitiert. Das Einfügen von Quantum Wells (Quantentöpfe) in die Raumladungszone der Mittelzelle erlaubt es, Stromgeneration von der Ge-Teilzelle in die GaInAs-Mittelzelle zu verlagern. Dadurch steigt die Effizienz der gesamten Dreifachsolarzelle deutlich an. Die erstmals am Fraunhofer ISE entwickelten Dreifachsolarzellen mit Quantum Wells (Abb. 3) weisen bereits jetzt Effizienzen von 27,1 % unter AM0-Einstrahlung auf. Durchgeführte Simulationen deuten auf ein erhebliches Entwicklungspotenzial für diesen Solarzellentyp hin. Eine mögliche Alternative zur konventionellen Dreifachsolarzelle auf Ge sind ultradünne, invertierte Strukturen auf GaAs-Substrat. Hierbei werden beispielsweise zwei invertierte Teilzellen aus GaInP und GaAs gitterangepasst und somit defektarm auf GaAs gewachsen und dann die Gitterkonstante zur dritten Teilzelle aus $\text{Ga}_{0,71}\text{In}_{0,29}\text{As}$ vergrößert. Hierfür entwickeln wir einen transparenten Puffer aus GaInP und transferieren diese »umgedrehte« Solarzellenstruktur auf ein Deckglas. Zu diesem Zweck haben wir am Fraunhofer ISE eine neuartige Prozessierung konzipiert und getestet.

1 A / B Schematische Darstellung der aktuellen III-V-Forschungsprojekte am Fraunhofer ISE. Neben hocheffizienten Dreifachsolarzellen (A) werden auch weiterführende Konzepte wie Quantum-Well-Solarzellen, ultradünne, invertierte Solarzellen sowie Vier-, Fünf- und Sechsfachsolarzellen (B) untersucht und weiterentwickelt.

2

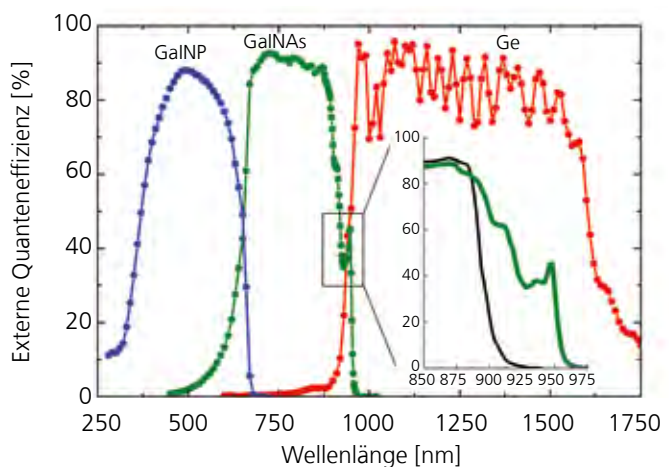


Erste nur 6 μm dünne Solarzellen wurden bereits realisiert (Abb. 2). Aufgrund des geringen Gewichts ist diese Technologie besonders für den Einsatz im Weltraum interessant.

Ein noch höheres theoretisches Potenzial besitzen Solarzellen mit mehr als drei pn-Übergängen. Vier-, Fünf- und Sechsfachsolarezellen werden aktuell am Fraunhofer ISE erforscht. Für diese Konzepte sind weitere III-V-Verbindungshalbleiter wie z. B. AlGaInAs, AlGaInP und GaInNAs nötig. Diese bieten Wirkungsgrade von bis zu 57 % im Weltraum (AM0) oder 69 % in Konzentratorsystemen mit einer Sonnenkonzentration von 500 (AM1.5d). Am Fraunhofer ISE erreichen wir bisher Wirkungsgrade von 22 % (AM0) und realisieren Leerlaufspannungen von 5,4 V. Da die beschriebenen Strukturen sehr kompliziert sind, sind in-situ Messtechniken während der Epitaxie unabdingbar. Im Rahmen eines Industrieprojekts haben wir dieses Jahr einen in-situ Sensor so weiterentwickelt, dass die Krümmung des Substrats in zwei unabhängigen Richtungen gemessen werden kann. So detektiert man selbst kleinste Verspannungen während des Wachstums. Um die komplexen Mehrfachsolarezellen richtig vermessen zu können, haben wir einen neuen Messplatz aufgebaut. Dieser bietet mit sechs unabhängig einstellbaren Lichtquellen weltweit die einzige Möglichkeit, Mehrfachsolarezellen mit bis zu sechs Teilzellen kalibriert zu vermessen.

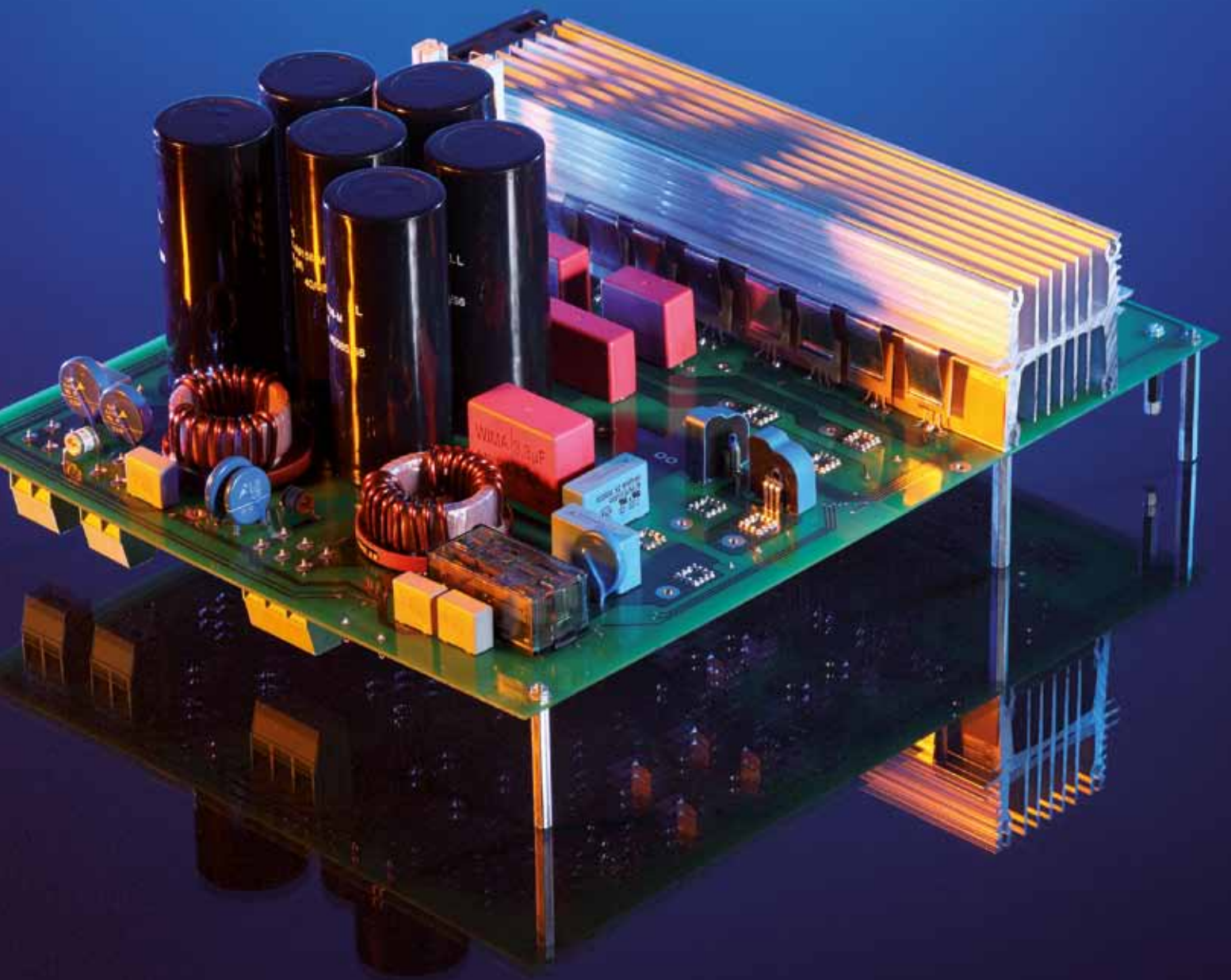
Unsere Arbeit wurde durch die EU, das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF), die Europäische Weltraumbehörde (ESA), das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), die Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU), die Reiner Lemoine Stiftung (RLS) sowie die Firma AZUR SPACE gefördert.

2 *Ultradünne Zelle mit Deckglas und Zellverbinder. Die Zelle wiegt weniger als 40 mg/cm^2 und ist nur $6 \mu\text{m}$ dünn.*



3 *Externe Quanteneffizienz einer Dreifachsolare zelle mit Quantentöpfen in der GaInAs-Mittelzelle. In der Ausschnittsvergrößerung ist die Ausdehnung der Absorption der GaInAs-Mittelzelle deutlich erkennbar. Zum Vergleich haben wir die Quanteneffizienz einer Standard-GaInAs-Mittelzelle (in schwarz) eingefügt.*

STROMVERSORGUNG EFFIZIENT



REGENERATIVE STROMVERSORGUNG

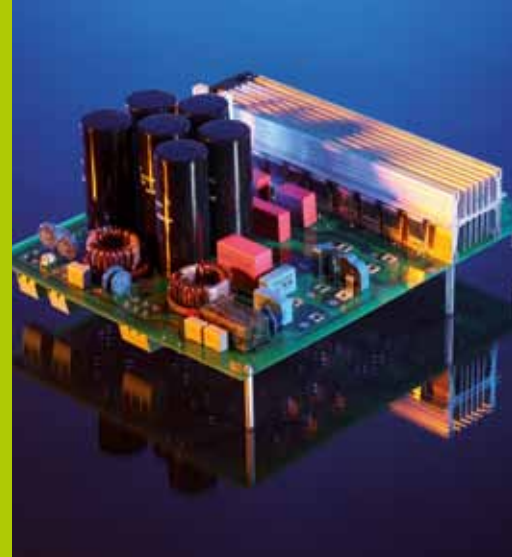
Rund zwei Milliarden Menschen in ländlichen Regionen, unzählige technische Anlagen in der Telekommunikation, Umweltmesstechnik sowie vier Milliarden tragbare Elektronikgeräte haben eines gemeinsam: Sie alle brauchen eine netzunabhängige Stromversorgung. Hierfür werden zunehmend regenerative Energien bzw. innovative Energiewandler eingesetzt. Gut zehn Prozent der weltweit verkauften Photovoltaikmodule gehen in diese Märkte, die sich zum Teil bereits ohne Fördermittel ökonomisch selbst tragen. Zudem gibt es einen riesigen Markt für Technologien zur dezentralen Wasserentsalzung und -entkeimung auf der Basis von erneuerbaren Energien. Für dieses breite Anwendungsspektrum entwickeln wir Konzepte, Komponenten und Systeme zur autonomen Stromversorgung auf der Basis von Photovoltaik, Brennstoffzellen, Wind- und Wasserkraft. Besondere Bedeutung kommt dabei elektrischen Speichern wie Batterien zu, die in fast allen Anwendungen enthalten sind. Wir arbeiten deshalb intensiv an der Optimierung von Betriebsführungsstrategien und Managementsystemen für alle gängigen Technologien, um die Batteriealterung und die Betriebskosten zu reduzieren.

Der Bau netzgekoppelter Anlagen ist heute der weltweit größte Markt der Photovoltaikbranche. Um das dank Markteinführungsprogrammen derzeit starke Wachstum weiter aufrecht zu erhalten, müssen bei sinkender Förderrate auch die Kosten für die Systemtechnik kontinuierlich gesenkt werden. Wechselrichter zur Netzeinspeisung erreichen heute bereits eine hohe Qualität. Neue Schaltungskonzepte, digitale Regelungstechnik, Fortschritte bei Leistungshalbleitern sowie bei passiven Bauelementen bieten aber noch erhebliches Potenzial zur Effizienzsteigerung und Kostensenkung. Hierfür bieten wir für das gesamte Leistungsspektrum bis in den Megawatt-Bereich spezifisches Know-how an, insbesondere in den Bereichen Schaltungsdesign sowie Dimensionierung und Implementierung von analogen und digitalen Reglern.

Zur Qualitätssicherung und Betriebsüberwachung von Photovoltaikanlagen und zur Charakterisierung von Photovoltaikmodulen bieten wir ein breites Dienstleistungsspektrum, das sowohl Ertragsgutachten, Anlagenabnahmen und Monitoringkonzepte für große Anlagen als auch Präzisionsmessungen von Modulen umfasst. Unsere Photovoltaik-Kalibrierlabore (Callab PV Cells und Callab PV Modules) zählen zu den führenden Labors weltweit.

Ob Photovoltaik, Wind- und Wasserkraft oder Blockheizkraftwerke: Alleine in Deutschland speisen bereits heute zehntausende dezentrale Erzeugungsanlagen ihren Strom in die Verteilnetze ein. Um den zukünftig zu erwartenden enormen Steigerungen und den damit verbundenen technischen, ökologischen und ökonomischen Anforderungen gerecht zu werden, entwickeln wir neue Konzepte und Komponenten für das Energiemanagement von dezentralen Erzeugern und Verbrauchern im Verteilnetz auf Basis modernster Kommunikationstechnologie. Der Einbezug der Stromkunden über Nutzungsverhalten, Verbrauchsvisualisierung und effiziente Abrechnungsmethoden (Smart Metering) spielt dabei eine zunehmend wichtigere Rolle.

Bundesregierung, Industrie und Wissenschaft messen der Elektromobilität basierend auf Fahrzeugen, die teil- bzw. vollelektrische Antriebe besitzen und ihre Energie aus dem Stromnetz beziehen (Elektro- und Plug-In-Fahrzeuge), eine besondere Bedeutung zur Erreichung der gesteckten Umweltziele bei. Das Fraunhofer ISE arbeitet an der Schnittstelle zwischen Fahrzeug und Stromnetz an Konzepten für eine umweltverträgliche Energieversorgung, einer optimalen Einbindung der Fahrzeuge in das Stromnetz und entwickelt zusammen mit Partnern aus der Automobil- und Versorgungsindustrie Komponenten für das Energiemanagement und für die bidirektionale Energieübertragung zwischen Fahrzeug und Netz sowie universelle Metering- und Abrechnungssysteme.



Für die solare Stromerzeugung im größeren Maßstab und vorzugsweise für den Einsatz in südlichen Ländern arbeitet das Fraunhofer ISE an Technologien für solarthermische Kraftwerke.

Unsere Laborausstattung für das Geschäftsfeld »Regenerative Stromversorgung« im Überblick:

- Leistungselektroniklabor mit modernster Geräte- und Softwareausstattung für Leistungen bis über 800 kW
- Labor zur Zertifizierung von Wechselrichtern (Fault-Ride-Through, Wirkungsgradmessung, Power Quality etc.)
- Entwicklungsumgebungen für Mikrocontroller, digitale Signalprozessoren (DSP) und Embedded Systems
- Messlabor für elektromagnetische Verträglichkeit (EMV)
- Labor für IuK-Technologien
- Smart Metering-Labor
- Mess- und Kalibrierlabor für Solarmodule
- Freiland-Testfeld zur Erprobung von Solarkomponenten
- Batterielabor für Entwicklung und Tests vom Kleinleistungs- bis zum Automotive-Bereich
- Lichtmesslabor
- Teststände für Brennstoffzellen im Betrieb mit Wasserstoff und Methanol
- ortsaufgelöste Charakterisierung von Brennstoffzellen
- Test- und Entwicklungslabor für Trinkwasseraufbereitungssysteme

Das Fraunhofer ISE hat 2009 mit 99,03 Prozent seinen bestehenden Weltrekord für den Wirkungsgrad von Photovoltaik-Wechselrichtern übertroffen. Mit neuen Bauelementen und Verbesserungen in der Schaltungstechnik haben die Forscher damit die Verluste gegenüber ihrer eigenen Bestleistung um ein weiteres Drittel reduziert. Verwendet werden jetzt Sperrschicht-Transistoren (JFETs) aus Siliciumcarbid (SiC) der Firma SemiSouth. Außerdem wurden die Ansteuerung der Transistoren und viele andere Schaltungsdetails optimiert. Der Weltrekord wurde an einem kompletten PV-Wechselrichter gemessen, inklusive des Netzteils zur Eigenversorgung, einem digitalen Signalprozessor (DSP) zur Regelung, einem LCL Netzfilter und einem Relais zur Netzkopplung.

ANSPRECHPARTNER

Autarke Stromversorgungen und Inselnetze	Dr. Matthias Vetter	Telefon +49 761 4588-5600 matthias.vetter@ise.fraunhofer.de
Dezentrale, netzgekoppelte Energiesysteme (Smart Grids)	Dr. Christof Wittwer	Telefon +49 761 4588-5115 christof.wittwer@ise.fraunhofer.de
	Dr. Thomas Erge	Telefon +49 761 4588-5337 thomas.erge@ise.fraunhofer.de
Qualitätssicherung von PV-Modulen und -Systemen	Dipl.-Ing. Klaus Kiefer	Telefon +49 761 4588-5218 klaus.kiefer@ise.fraunhofer.de
Leistungselektronik und Regelungstechnik	Prof. Dr. Bruno Burger	Telefon +49 761 4588-5237 bruno.burger@ise.fraunhofer.de
Elektrische Speichersysteme	Dr. Matthias Vetter	Telefon +49 761 4588-5600 matthias.vetter@ise.fraunhofer.de
Elektromobilität	Dr. Günther Ebert	Telefon +49 761 4588-5229 guenther.ebert@ise.fraunhofer.de
Solare Kraftwerke	Dr. Werner Platzer	Telefon +49 761 4588-5983 werner.platzer@ise.fraunhofer.de
Dezentrale Wasseraufbereitung	Dipl.-Ing. Joachim Koschikowski	Telefon +49 761 4588-5294 joachim.koschikowski@ise.fraunhofer.de
	Dipl.-Ing. Joachim Went	Telefon +49 761 4588-5240 joachim.went@ise.fraunhofer.de



1



2

INTEGRATION VON ELEKTROFAHRZEUGEN IN DIE STROMNETZE DER ZUKUNFT

Die Bundesregierung unterstützt mit einem nationalen Entwicklungsplan die Einführung der Elektromobilität in Deutschland. Hierfür wird eine umfangreiche Ladeinfrastruktur benötigt, die das Laden der E-Fahrzeuge und die Abrechnung der genutzten Energiemengen ermöglicht. Gleichzeitig muss der Energiebezug für die Fahrzeugladung an die fluktuierende Erzeugung regenerativer Energiequellen angepasst werden. Daher entwickeln wir kommunikationsfähige Ladegeräte, Smart Meter und Batteriesysteme für E-Fahrzeuge.

Rainer Becker, Bruno Burger, Timo Döscher, Frauke Heider, Daniel Herrman, **Robert Kohrs**, Jochen Link, Michael Mierau, **Dominik Noeren**, Norbert Pfanner, **Stefan Reichert**, Simon Schwunk, **Matthias Vetter**, Caspar Wiik, Christof Wittwer, Günther Ebert

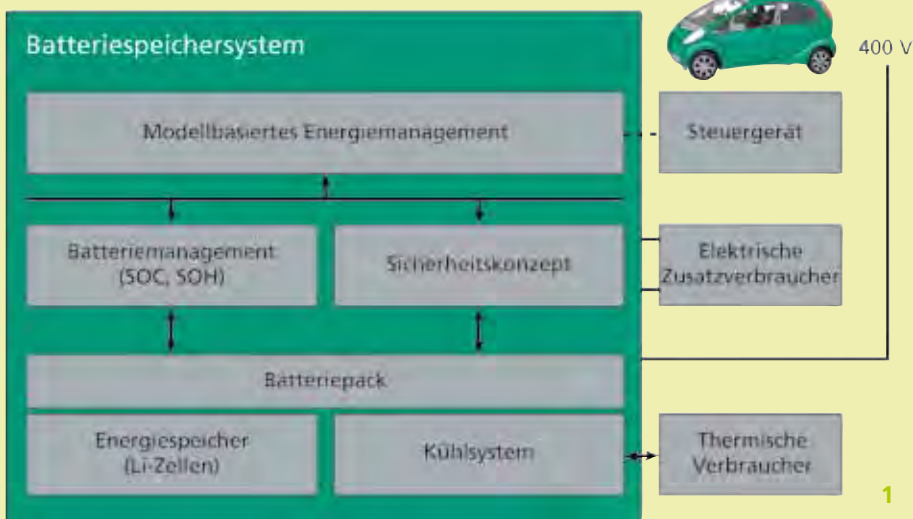
Der nationale Entwicklungsplan Elektromobilität der Bundesregierung sieht für das Jahr 2020 eine Million Elektrofahrzeuge auf Deutschlands Straßen vor. Nur mit regenerativen Energien lassen sich die Fahrzeuge weitgehend emissionsfrei betreiben. Da die Verfügbarkeit regenerativer Energien zeitlich stark schwanken kann und durch die gleichzeitige Beladung vieler Elektrofahrzeuge erhebliche Lastspitzen in den elektrischen Netzen entstehen könnten, müssen Verbrauch und Erzeugung aneinander angepasst werden. Durch eine indirekte Steuerung der Fahrzeugbeladung mithilfe von verschiedenen Strompreisen zu verschiedenen Tageszeiten können Lastspitzen vermieden und der Energiebezug für Elektrofahrzeuge auf Zeiten mit hoher Verfügbarkeit regenerativer Energien verschoben werden. Darüber hinaus können die Batterien der Elektrofahrzeuge bei Engpässen das elektrische Netz durch Rückspeisen stützen. Neben der Steuerung der Ladeabläufe ist die Erfassung der von den Elektrofahrzeugen benötigten Energiemengen notwendig. Um den Fahrzeugen spezielle

1 *mobiler Smart Meter, der für die Umsetzung von Kommunikations-, Mess- und Abrechnungskonzepten entwickelt wurde.*

2 *Am Fraunhofer ISE entwickelte Ladestation für Elektrofahrzeuge, die z. B. Informationen über den Ladezustand liefert und die Ladezeit nach ökologischen und ökonomischen Aspekten optimiert.*

Elektromobilitätsstarife anbieten zu können, müssen die Energiebeträge für Haushalte und Elektrofahrzeuge getrennt voneinander erfasst werden. Hierzu bietet sich eine Infrastruktur mit einem Smart Meter für den Haushalt und einem mobilen Smart Meter für den Einsatz im Fahrzeug an. Die beiden Smart Meter können untereinander kommunizieren und Tarifdaten, Anmeldedaten und Energiemengen austauschen.

Die Ergebnisse dieser Arbeiten fließen auch in das vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderte Projekt »Fraunhofer Systemforschung Elektromobilität« ein, in dem über 30 Fraunhofer-Institute an allen relevanten Fragestellungen, die mit der Entwicklung und Einführung von Elektrofahrzeugen verbunden sind, forschen. Hierzu gehören Fahrzeugleichtbau und -antriebe ebenso wie die Ladeinfrastruktur und die Netzintegration von Elektrofahrzeugen. Das Fraunhofer ISE leitet die Teilprojekte zur Entwicklung der Batteriesysteme und zur Netzintegration.



INNOVATIVE BATTERIESPEICHERSYSTEME FÜR DIE ELEKTROMOBILITÄT

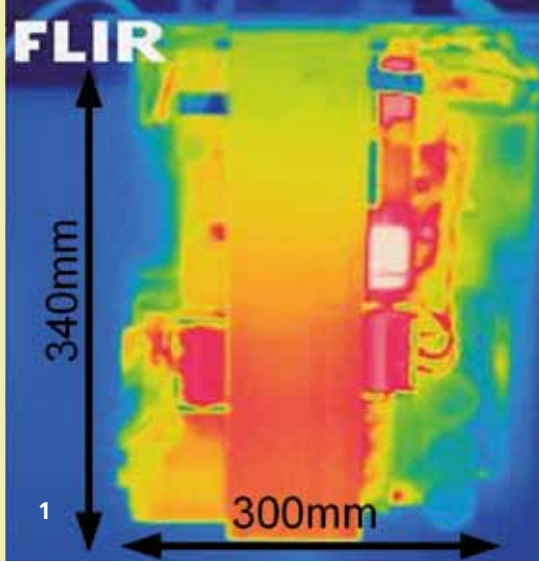
Im Rahmen der »Fraunhofer Systemforschung Elektromobilität« entwickeln wir mit zehn weiteren Fraunhofer-Instituten innovative Batteriesysteme für den Einsatz in reinen Elektroautos und hybriden Nahverkehrsfahrzeugen. Neben der Projektleitung liegen unsere Schwerpunkte auf der Entwicklung von Batterie- und Energiemanagementsystemen, der Entwicklung von Kühlkonzepten und der Integration einzelner Module und Komponenten in ein funktionstüchtiges und einsatzfähiges Batteriesystem.

Stefan Gschwander, Max Jung, Stephan Lux, Simon Schwunk, **Matthias Vetter**, Günther Ebert

Voraussetzung für die Zukunftsvision einer nachhaltigen Mobilität auf Basis von Elektroantrieben ist ein zuverlässiges, effizientes und langlebiges Speichersystem. Lithiumbatterien mit ihren spezifischen Eigenschaften, vor allem hohe Energie- und Leistungsdichten sowie hohe erreichbare Lebensdauern, stellen eine aussichtsreiche Grundlage hierfür dar. Wir entwickeln daher gemeinsam mit zehn weiteren Fraunhofer-Instituten Batteriesysteme auf Basis von Lithiumbatterien, die als Energiespeicher in reinen Elektroautos und in hybriden Nahverkehrsfahrzeugen eingesetzt werden können. Unsere Arbeiten umfassen die Auswahl von geeigneten Zellen, die Durchführung von Tests zur Zellcharakterisierung, die Konzeption des Batteriesystems, die Entwicklung innovativer Kühlkonzepte unter Verwendung von Phasenwechselmaterialien, die Entwicklung von Batterie- und Energiemanagementsystemen zur optimierten Einbindung in das Fahrzeug sowie die Integration der einzelnen Batteriemodule und Komponenten zu einem funktionstüchtigen und einsatzbereiten Batteriesystem.

Das Batteriesystem für die Anwendung in einem reinen Elektrofahrzeug besitzt einen Energieinhalt von 30 kWh und ist in der Lage, zwei Radnabenmotoren mit einer Gesamtleistung von 60 kW Dauer und 120 kW Spitze anzutreiben. Das Speichersystem für ein hybrides Nahverkehrsfahrzeug, eine vom Fraunhofer IVI entwickelte AutoTram®, besteht aus Lithiumbatterien mit einer Speichergröße von 40 kWh als Energiespeicher und Doppelschichtkondensatoren als Leistungsspeicher. Der Aufbau der Batteriesysteme besteht aus einzelnen Modulen, die wiederum aus in Reihe verschalteten Zellen zusammengesetzt sind. Jedes Modul besitzt ein eigenes Batteriemanagement, das in der Lage ist, die Batteriediagnostik auf Zellebene durchzuführen und über einen CAN Bus (Controller Area Network) mit dem übergeordneten Energiemanagement zu kommunizieren. Mit diesem Ansatz können frühzeitig Probleme auf Zellebene identifiziert und rechtzeitig Gegenmaßnahmen ergriffen werden, wodurch Zuverlässigkeit und Lebensdauer des Batteriesystems erhöht werden.

- 1 Aufbau des Batteriespeichersystems.
- 2 Das Energiemanagementsystem bestimmt die Reichweite und den Alterungszustand des Batteriesystems, regelt das thermische Kühlsystem, diagnostiziert Fehlerzustände und steuert das angeschlossene Ladegerät.



BIDIREKTIONALE LADEGERÄTE FÜR ELEKTROFAHRZEUGE

Wir entwickeln bidirektionale Ladegeräte, die in der Lage sind Batterien zu laden und bei Bedarf Energie ins Netz zurückzuspeisen. Hintergrund ist die zunehmende Stromerzeugung aus regenerativen Energiequellen, bei der einer fluktuierenden Erzeugung eine ebenso fluktuierende Last gegenüber steht. Da sich das zukünftige Stromnetz ohne die Integration weiterer Speicherkapazitäten nicht regeln lassen wird, können Elektrofahrzeuge mit ihren Batteriespeichern einen entscheidenden Beitrag für die Netzstabilisierung leisten.

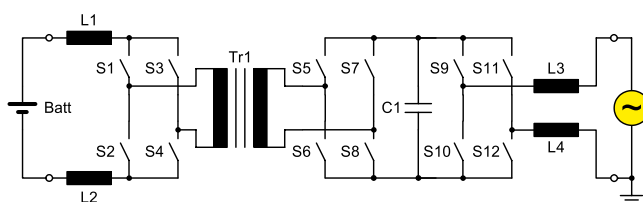
1 Thermographie-Aufnahme des bidirektionalen Ladegeräts (ohne Gehäuse, in der Mitte der Kühlkörper). Sämtliche induktive Bauelemente wie AC-, DC-Drosseln, der HF-Transformator und EMV-Filter sind wie die insgesamt zwölf verwendeten Leistungshalbleiter am Kühlkörper angebracht.

Bruno Burger, Benriah Goeldi, **Stefan Reichert**, Günther Ebert

In Zusammenarbeit mit Industriepartnern werden am Fraunhofer ISE bidirektionale Ladegeräte entwickelt. Bisherige Ladegeräte wurden für einen unidirektionalen Energiefluss konzipiert. Somit ist lediglich ein Lastmanagement, also eine zeitliche Verschiebung der Verbraucherleistung, möglich. Sollen die Ladegeräte jedoch aktiv das Netz stützen, also Energie zwischenspeichern oder Netzdienstleistungen erbringen, wie z. B. die Bereitstellung von Blindleistung, ist es notwendig, dass die Ladegeräte einen bidirektionalen Energiefluss aufweisen. Im Rahmen eines Flottenversuchs für Elektrofahrzeuge haben wir ein bidirektionales, einphasiges Ladegerät mit 3,3 kW Leistung entwickelt.

Von Seiten der Fahrzeughersteller wird eine galvanische Trennung zwischen Netz und Batterie gefordert. Diese erfolgt im Ladegerät durch einen Hochfrequenz (HF)-Transformator. Die Verwendung hoher Schaltfrequenzen ermöglicht einen kompakten Aufbau des gesamten Geräts. Trotz der dreistufigen Schaltungstopologie und der Verwendung eines Transformators, welche die Verluste der Schaltung erhöhen, konnte ein maximaler Wirkungsgrad > 93 % erreicht werden.

Ziel künftiger Arbeiten wird die Erhöhung der Leistungsdichte bei gleichzeitiger Erhöhung des Wirkungsgrads sein. Um die Batterien in Zukunft schneller zu laden und somit das Elektroauto für den Nutzer attraktiver zu gestalten, ist ein Trend hin zu größeren Ladeleistungen abzusehen. Hierfür entwickeln wir dreiphasige Stromrichterkonzepte. Erfahrungen aus der Leistungselektronik im Photovoltaikbereich können am Fraunhofer ISE auf das Gebiet der Elektromobilität übertragen werden und entscheidende Vorteile bei Fragen nach Wirkungsgrad und Netzintegration erzielen.



2 Schaltungstopologie des einphasigen, bidirektionalen Onboard-Ladegeräts. Der Batteriespannungsbereich liegt zwischen 200 V und 380 V.



ENTWICKLUNG EINER LADEINFRASTRUKTUR FÜR ELEKTROFAHRZEUGE

Das Fraunhofer ISE ist maßgeblich an zwei aktuellen Flottenversuchen mit Elektrofahrzeugen beteiligt, in denen die Alltagstauglichkeit der Fahrzeuge und der entwickelten Systemlösungen untersucht werden. Im »Flottenversuch Elektromobilität« und im Projekt »Effiziente Mobilität« richten wir unseren Fokus auf die Entwicklung und Umsetzung der gesamten Ladeinfrastruktur mit dem Ziel, Elektrofahrzeuge ausschließlich auf Basis regenerativer Energien zu nutzen.

Rainer Becker, Bruno Burger, Jochen Link, **Dominik Noeren**, **Norbert Pfanner**, **Stefan Reichert**, Thies Stillahn, Matthias Vetter, Christof Wittwer, Günther Ebert

Mit dem »Entwicklungsplan Elektromobilität« unterstützt die Bundesregierung die Entwicklung und Einführung batteriegestützter Elektro- und Plug-In-Hybridfahrzeuge. Ziel ist es, Treibhausgasemissionen und den Verbrauch fossiler Ressourcen zu reduzieren und Deutschland in den nächsten zehn Jahren als Leitmarkt für Elektromobilität zu etablieren. Das Fraunhofer ISE beteiligt sich in zwei Flottenversuchen an der Realisierung dieses Vorhabens.

Im »Flottenversuch Elektromobilität« entwickeln wir als Unterauftragnehmer der E.ON Energie AG und in Zusammenarbeit mit der Volkswagen AG eine Lade- und Kommunikationsinfrastruktur für Plug-In-Hybridfahrzeuge, die für den Betrieb mit regenerativen Energien ausgelegt wird. Die Arbeiten umfassen neben der Entwicklung eines mobilen intelligenten Zählers im Fahrzeug eine intelligente Steckdose, eine Schnellladestation, die komplette Kommunikationslösung zwischen Fahrzeug, Ladestationen und zentralen Servern sowie die Entwicklung eines bidirektionalen On-board-Ladegeräts. Der Flottenversuch umfasst 20 Fahrzeuge und findet in Berlin und Wolfsburg statt.

1 Anlässlich der gemeinsamen Präsentation des Projekts »Effiziente Mobilität« mit badenova wurde ein Demonstrator der von uns entwickelten Ladestation für Elektrofahrzeuge gezeigt: Diese liefert z. B. Informationen über den Ladezustand und optimiert die Ladezeit nach ökologischen und ökonomischen Aspekten. Das Konzept sieht in Zukunft sowohl die private als auch die gewerbliche Nutzung vor.

2 Die elektrische Mobilität der Zukunft soll auf Basis modernster Antriebskonzepte effizient mit erneuerbaren Energien realisiert werden. Der Nutzer soll Alltagsstrecken mit Strom aus Sonne, Wind und Wasser zurücklegen – ohne Einschränkungen gegenüber Fahrten mit konventionellen Fahrzeugen. Hierfür steht der vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) geförderte »Flottenversuch Elektromobilität« der Volkswagen AG und E.ON Energie AG, in dem wir als Unterauftragnehmer die gesamte Ladeinfrastruktur entwickeln.

Im Projekt »Effiziente Mobilität«, das vom Innovationsfonds der badenova AG & Co. KG. gefördert wird, arbeiten wir zusammen mit dem regionalen Energiedienstleister badenova an der ökonomischen und ökologischen Analyse der 600 Fahrzeuge umfassenden Flotte. Neben der Auslastung werden primärenergetische Aspekte untersucht, um das Potenzial der Integration von Elektrofahrzeugen mit regenerativen Energien zu ermitteln. Ein weiteres Forschungsfeld stellt die Belastung des lokalen Stromnetzes bei einer hohen Durchdringung mit Elektrofahrzeugen in Freiburg dar. Ein intelligentes, tarifgesteuertes Lademanagement soll Netzüberlastungen ausschließen und eine individuelle Kostenauslastung mit CO₂-neutraler Beladung durch regionale regenerative Energien ermöglichen. Die Alltagstauglichkeit der Systeme soll in einem sechsmonatigen Feldtest nachgewiesen werden.



LÄNDLICHE ELEKTRIFIZIERUNG: NACHHALTIGE PROGRAMME IN SÜDOSTASIEN

Die Erschließung neuer Märkte für regenerative Energietechnologien in Südostasien ist das Ziel des von der EU co-finanzierten Projekts »RESIREA«. Mit unseren Projektpartnern entwickeln wir auf Basis geographischer Informationssysteme (GIS) Methoden zur Identifikation netzferner »elektrifizierbarer« Gebiete sowie lokaler Ressourcen. Neben der Durchführung betriebswirtschaftlicher und technischer Programme in der ländlichen Elektrifizierung nutzen wir unsere Methoden und Ergebnisse, um lokale Unternehmer vor Ort zu schulen.

1 *PV-Hybrid-Inselnetz in Lao PDR.*

2 *Holzsammler in Kambodscha.*

Brisa Ortiz, Matthias Vetter, Günter Ebert

Für die ländliche Elektrifizierung mit erneuerbaren Energien werden in Laos und Kambodscha Biomasse-Vergasungsanlagen, Stand-Along-PV-Systeme und PV-Hybrid-Systeme zur Versorgung von Inselnetzen eingesetzt. Verwendung finden die Systeme in Dörfern, die mit einem geographischen Informationssystem GIS ermittelt wurden. Ausgewählt wurden diese Dörfer auf Basis spezifischer sozialer und ökonomischer Indikatoren, die z. B. eine Spanne von 123 bis 2000 Endverbraucher pro Dorf ergaben. Zudem unterscheiden sich die lokalen Bedingungen der Dörfer mit der Folge, dass sowohl die Verfügbarkeit erneuerbarer Energieressourcen als auch die Energienachfrage und die allgemeinen wirtschaftlichen Aktivitäten schwanken. In diesem Zusammenhang hielten 23 Dörfer in Lao PDR und 27 Dörfer in Kambodscha die Nutzung netzunabhängiger Energieversorgung für äußerst sinnvoll. Um eine kostendeckende technologische Lösung zu identifizieren, wurde eine sowohl ökonomische als auch

technische Machbarkeitsstudie durchgeführt. Die vorläufigen Ergebnisse zeigten z. B., dass sechs von neun in Kambodscha für die Implementierung der entsprechenden Technologien geeignete und ausgewählte Dörfer die Voraussetzungen zur Installation einer Vergasungsanlage erfüllten. Die anderen drei Dörfer boten hingegen geeignete Rahmenbedingungen für den Einsatz von PV-Hybrid-Inselnetzen. Für diese Siedlungen eine individuelle und »optimale Systemkonfiguration« zur Stromversorgung basierend auf PV-Systemen zu entwickeln, steht im Mittelpunkt unserer Aufgaben.

Das Fraunhofer ISE arbeitet eng mit europäischen Partnern zusammen, um die Ausarbeitung und Umsetzung nationaler ländlicher Stromversorgungsprogramme voranzutreiben. Es ist das Ziel unserer Aktivitäten, insbesondere die wirtschaftliche Entwicklung und den lokalen Markt für Erneuerbare Energietechnologien zu stimulieren.



LÄNDLICHE ELEKTRIFIZIERUNG: MITARBEITERTRAININGS

Wir führen für Firmen, Regierungs- und Forschungseinrichtungen und für Prüflabors in Entwicklungs- und Schwellenländern Mitarbeitertrainings durch. Die Themen umfassen das gesamte Spektrum von der Finanzierung und der Einführung der ländlichen Elektrifizierung über die Technik und Prüfung von Systemkomponenten bis hin zur Abnahme, dem Betrieb und der Wartung der Anlage.

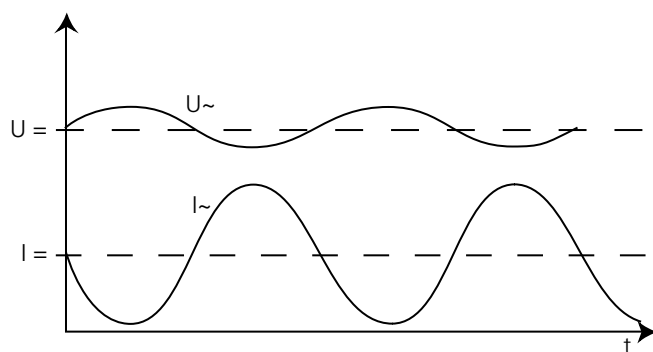
Georg Bopp, Norbert Pfanner, Brisa Ortiz, Günther Ebert

Am Fraunhofer ISE wurde in den letzten 20 Jahren ein vielfältiges Know-how im Bereich der ländlichen Elektrifizierung erarbeitet. In Projekten und speziellen Fortbildungsveranstaltungen transferieren wir dieses Know-how an Mitarbeiter von Firmen, Regierungs- und Forschungseinrichtungen sowie Prüflabors in den Zielländern – darunter Algerien, Äthiopien, Ecuador, Kambodscha, Laos, Libanon, Marokko, Pakistan, Peru, Senegal und Thailand. Die Themen reichen von der Finanzierung, Einführung, Technik und Prüfung der Systemkomponenten bis hin zur Abnahme, dem Monitoring und Betrieb sowie der Wartung von PV-Leuchten, Solar Home Systemen und zentralen Dorfstromversorgungsanlagen. Im Bereich der Prüfung von Systemkomponenten beraten wir bei der Laborausstattung und führen das Mitarbeitertraining in Labors am Fraunhofer ISE oder vor Ort durch.

Ein Schwerpunkt liegt in der Verwendung von preisgünstigem und oft einfacherem Testequipment, im Vergleich zu Hightech- und oft teurerem Equipment in unseren Prüflabors. So wird z. B. bei der Vermessung des Wirkungsgrads von Wechselrichtern in unseren Labors sowohl auf der Eingangs- wie auf der Ausgangsseite ein hochpräzises und teures Leistungsmessgerät eingesetzt. Auf der Gleichspannungseingangsseite kann stattdessen je ein Multimeter für die Spannung und den Strom verwendet werden. Da der Eingangsstrom bedingt durch den

1 *Training eines Mitarbeiters von einem senegalesischen Prüflabor. Vor zehn Jahren richtete das Fraunhofer ISE dieses Prüflabor ein und führte ein umfangreiches Mitarbeitertraining für die Prüfung von Systemkomponenten wie Laderegler, Batterien und Kompaktleuchtstofflampen durch. Dieses Jahr fand eine Auffrischung und Erweiterung der Prüffähigkeiten für PV-Module, LED-Leuchten und Wechselrichter statt.*

Wechselausgangsstrom mit einem sehr hohen Wechselanteil überlagert ist, entsteht bei der Multiplikation der beiden Gleichstromwerte zur Leistung ein Messfehler zwischen 0,5 und 5 %. Dies ist vielen Prüftechnikern nicht bewusst, da üblicherweise von reinen Gleichsignalen ausgegangen wird. Der Fehler lässt sich durch Messung des überlagerten Wechselanteils einfach korrigieren. Die Trainings wurden von der Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ), der EU, der Stiftung Solarenergie und teilweise von den Zielländern finanziert.

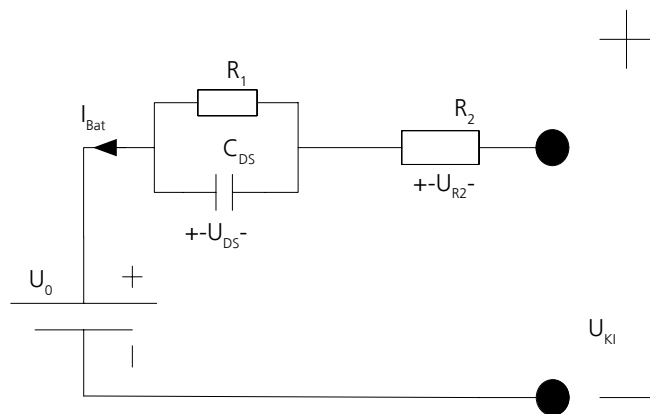


2 *Strom und Spannung eines Wechselrichters auf der Gleichstromseite. Der überlagerte Wechselanteil führt bei reiner Multiplikation der DC-Messgrößen (arithmetischer Mittelwert) zu einem Messfehler zwischen 0,5–5 % in der Eingangsleistung. Durch messtechnische Ermittlung der Phasenverschiebung zwischen Strom und Spannung und des jeweiligen Wechselanteils lässt sich dieser Fehler rechnerisch korrigieren. Unter den meisten Messbedingungen ist die Korrektur mit einer einfachen Näherungsformel zulässig.*

ZUSTANDSBESTIMMUNG BEI LITHIUM-IONEN-BATTERIEN

Für Betriebssicherheit und lange Lebensdauern in großen stationären und automobilen Anwendungen ist es wichtig, den genauen Zustand von Lithium-Ionen-Batterien bestimmen zu können. Wir entwickeln auf der Basis modellbasierter stochastischer Verfahren präzise und robuste Methoden zur Online-Bestimmung des Lade- und Alterungszustands unterschiedlicher Arten von Lithium-Ionen-Batterien.

Nils Armbruster, Benjamin Knödler, **Simon Schwunk**, Matthias Vetter, Günther Ebert

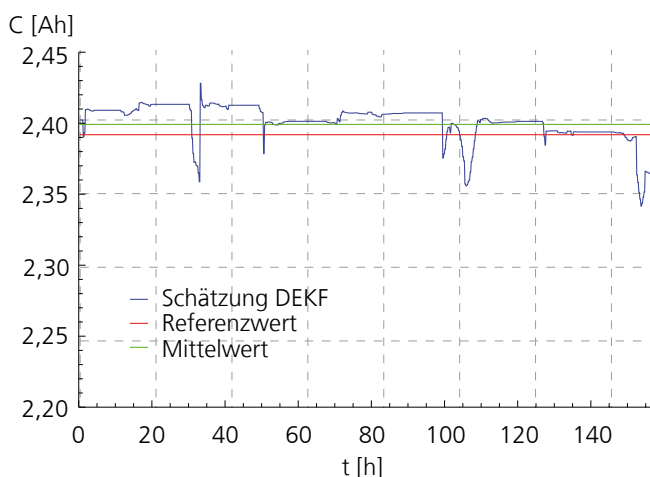


1 Lithiumbatteriemodell zur Ladezustandsbestimmung. Die Leerlaufspannung wird durch eine Funktion U_0 abhängig vom Ladezustand abgebildet, die durch Stromfluss entstehenden Überspannungen durch ein RC-Netzwerk.

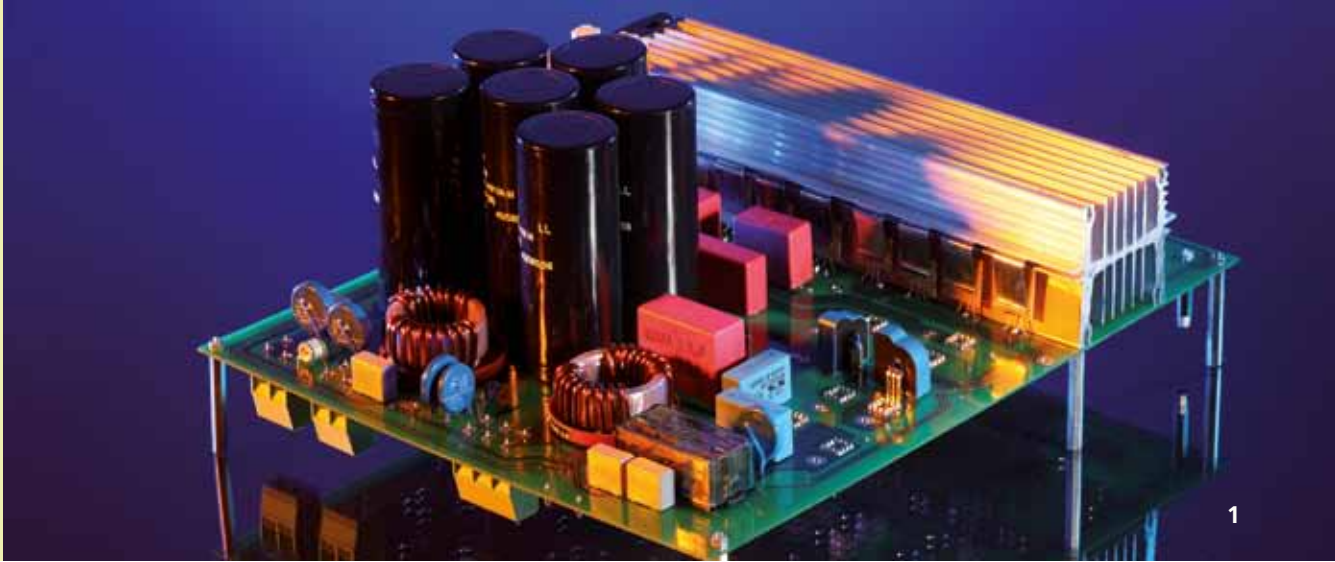
Bei der Entwicklung von Algorithmen zur Zustandsbestimmung mit modellbasierten stochastischen Verfahren treffen verschiedene Disziplinen aufeinander: Neben der stochastischen Methodik und der Informatik bei der Implementierung des Algorithmus spielt ein tieferes Verständnis der Batterie bei der Entwicklung des Modellansatzes eine entscheidende Rolle. Wir setzen für unsere Zustandsbestimmungen Kalmanfilter ein, die die Ergebnisse zweier fehlerbehafteter Modelle bei bekanntem Fehler optimal verrechnen. Hierdurch ist auch bei verrauschten Prozessen eine optimale und vor allem robuste Schätzung möglich.

Abb. 1 zeigt eines der verwendeten Modelle. Die Dynamik der Batterie wird über ein RC-Glied abgebildet, welches vor allem langsame diffusive Effekte in der Batterie abbildet. Dies ermöglicht auch bei Stromfluss auf die Leerlaufspannung zu schließen, die bei vielen Typen von Lithium-Ionen-Batterien eindeutig mit dem Ladezustand korreliert. Das ist vor allem bei Kathodenmaterialien der Fall, die auf Mangan, Kobalt und Nickel basieren. Kombiniert wird dieses Modell mit einer Integration des Stroms, über die ebenfalls ein Ladezustand bestimmt wird. Je nach Batterietyp und -zustand werden die Fehler der Modelle so adaptiert, dass eine optimale Schätzung des Ladezustands erfolgt.

Den Alterungszustand einer Lithium-Ionen-Batterie bestimmen wir, indem wir den Kalmanfilter zur Ladezustandsbestimmung mit einem zweiten Kalmanfilter zur Alterungsbestimmung kombinieren. Die Bestimmung der Alterung beruht auf der Annahme, dass der Zusammenhang zwischen Leerlaufspannungskennlinie und Ladezustand annähernd konstant bleibt. Das Ergebnis ist in Abb. 2 zu sehen. Der vom Algorithmus bestimmte Alterungszustand schwankt in einem engen Band um den wahren Wert; der Mittelwert liegt sehr nah am wahren Wert. Insgesamt werden in vielen Anwendungen Genauigkeiten < 1 Prozent erreicht.



2 Alterungsbestimmung bei einer Lithiumbatterie. Die vom Kalmanfilter bestimmte verbleibende Kapazität der Batterie schwankt in einem engen Band um die zuvor im Labor ermittelte Kapazität; der Mittelwert trifft den wahren Wert nahezu exakt.



1

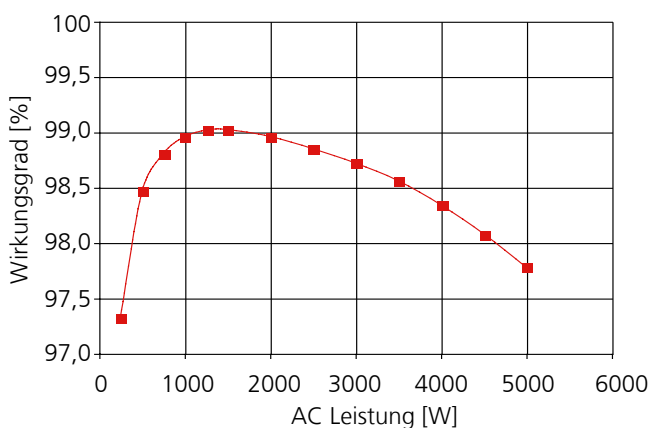
HÖCHSTE WIRKUNGSGRAD BEI PV-WECHSELRICHTERN MIT SiC-TRANSISTOREN

Im Rahmen unserer Forschungsarbeit mit Siliciumkarbid (SiC)-Transistoren in Wechselrichtern haben wir nicht nur beim Wirkungsgrad einen großen Sprung nach vorn gemacht, sondern auch neue Maßstäbe für zukünftige Entwicklungen gesetzt. Durch den Einsatz von SiC-Transistoren bieten sich eine Vielzahl neuer Möglichkeiten, um für unsere Kunden auch zukünftig PV-Wechselrichter auf höchstem technischem Niveau zu entwickeln.

Bruno Burger, Alexander Kaluza, Dirk Kranzer, Florian Reiners, Christian Wilhelm, Günther Ebert

Der Wechselrichter ist ein zentrales Element in einer PV-Anlage. Wirkungsgrad und Zuverlässigkeit des Wechselrichters haben starken Einfluss auf die Rendite des Systems. Am Fraunhofer ISE entwickelte Wechselrichter zeichnen sich durch ihren hohen Wirkungsgrad und ihre technische Reife aus. Daher ist es selbstverständlich, dass wir durch neueste Technik – in diesem Fall durch den Einsatz von SiC-Transistoren – die Entwicklung der Wechselrichtertechnologie weiter vorantreiben. Transistoren aus SiC sind insbesondere bei höheren Spannungen den heute üblichen IGBTs aus Silicium (Si) deutlich überlegen. Bedingt durch das Material und die Prozesstechnik sind Transistoren aus Siliciumkarbid teurer als entsprechende Transistoren aus Silicium, wie sie heute in PV-Wechselrichtern eingesetzt werden. Doch es wäre kurzsichtig, wenn man allein die Einzelkosten betrachten würde. Vielmehr müssen die Kostenvorteile des Gesamtsystems berücksichtigt werden. Durch den Einsatz von SiC-Transistoren besteht zum einen die Möglichkeit, durch einen höheren Wirkungsgrad die Energieerträge langfristig zu steigern und somit durch die Einspeisevergütung höhere Einnahmen zu erzielen. Zum anderen können die Produktionskosten der Wechselrichter gesenkt werden, indem die Leistungsdichte gesteigert wird. Die induktiven Bauelemente können z. B. durch höhere Taktfrequenzen verkleinert werden. Somit können durch reduziertes Bauvolumen und geringeres

1 Einphasiger Wechselrichter in HERIC®-Topologie mit selbstsperrenden SiC-JFETs. Die Schaltfrequenz beträgt 16 kHz. Durch unsere sehr guten Kontakte zu den führenden Herstellern von SiC-Transistoren verfügen wir über alle zukünftig auf dem Markt erhältlichen Transistortypen und können zu jedem Transistor mindestens eine zweite Bezugsquelle nennen.



2 Wirkungsgradverlauf des einphasigen Wechselrichters in HERIC®-Topologie bei einer DC-Spannung von 350 V. Der maximale Wirkungsgrad liegt heute über 99 % für den kompletten Wechselrichter inklusive des Eigenverbrauchs.

Gewicht auch die Kosten für Lagerhaltung, Transport und Installation reduziert werden. Abb. 1 zeigt einen einphasigen PV-Wechselrichter in HERIC®-Topologie, der für den Einsatz von SiC-Transistoren entwickelt wurde und Abb. 2 den zugehörigen Wirkungsgradverlauf. Dabei wurde das Komplettgerät vermessen und der Eigenverbrauch des Wechselrichters berücksichtigt. Es wurde hier ein Wirkungsgrad von über 99 % und somit ein neuer Weltrekord erzielt.

Die Arbeiten wurden durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) gefördert.

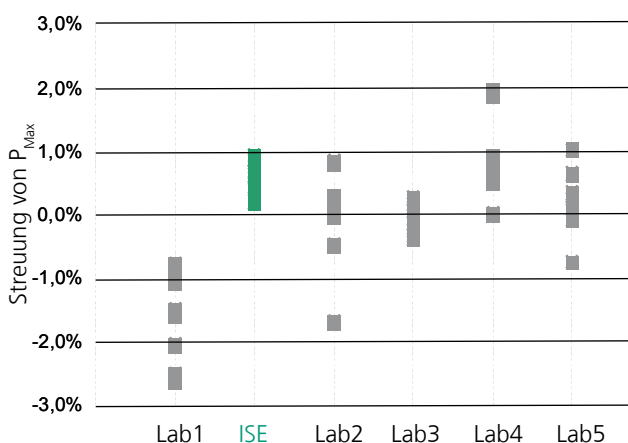
CALLAB PV MODULES BELEGT SPITZENPLATZ IM RUNDVERGLEICH

Die Überarbeitung, Erweiterung und Normung von Verfahren zur Charakterisierung von Photovoltaikzellen, -modulen und -systemen ist Gegenstand des umfangreichen Projekts »Performance«. Ein wichtiger Baustein der Arbeiten ist die Bestimmung der Genauigkeit und die Verbesserung der Modulmesstechnik. Dabei umfasst unser Arbeitsprogramm sowohl kristalline Silicium (a-Si)- als auch unterschiedliche Typen von Dünnschichtsolarmodulen.

Daniela Dirnberger, Boris Farnung, **Klaus Kiefer**, Frank Neuberger, Christian Reise, Günther Ebert

Die verschiedenen europäischen Messlabors setzen unterschiedliche Messtechnik zur präzisen Leistungsbestimmung von PV-Modulen ein. Ziel eines Teilprojekts von »Performance« ist es, die labor- bzw. messtechnikspezifischen Unterschiede in den Messergebnissen zu quantifizieren und zu minimieren. Sieben wichtige Messlabors haben dazu eine Reihe von Arbeitsschritten durchgeführt:

- Erhebung zu den verwendeten Geräten und Messvorschriften
- erster Rundvergleich mit zehn c-Si-Modulen sowie zehn Dünnschichtmodulen



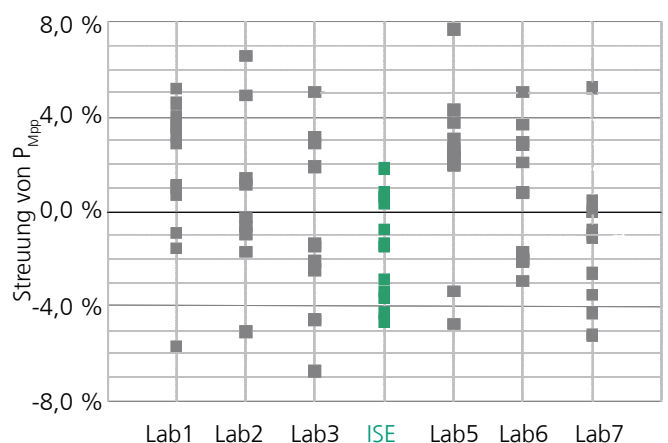
1 Ergebnisse der Leistungsmessung an insgesamt acht kristallinen Si-Modulen von vier verschiedenen Herstellern im zweiten Rundvergleich von sechs europäischen Messlabors.

- Erfassung des laborspezifischen Verbesserungspotenzials
- Implementierung verschiedener Verbesserungsmaßnahmen
- zweiter Rundvergleich mit acht c-Si-Modulen sowie zehn Dünnschichtmodulen

Schon beim ersten Rundvergleich zeigte sich die überdurchschnittliche Qualität der Messungen am Fraunhofer ISE. Die Genauigkeit haben wir in der Folge durch angepasste Referenzzellen, eine bessere Annäherung des Blitzlichtsimulators an das Normspektrum sowie durch den Einsatz unserer professionellen Laborausstattung für die Messungen der Einstrahlungs- und Temperaturabhängigkeit weiter gesteigert.

Das Fraunhofer ISE konnte damit die Messgenauigkeit gegenüber dem ersten Rundvergleich weiter erhöhen und nimmt damit nach wie vor einen Spitzenplatz ein. Die verbesserte und europaweit abgestimmte Genauigkeit steht nun allen Modulherstellern oder Anlagenerrichtern zur Verfügung.

Das von der Europäischen Union geförderte Projekt »Performance« hat eine Laufzeit von vier Jahren und wird in enger Kooperation mit der European Photovoltaic Industry Association (EPIA) sowie zahlreichen Einzelfirmen durchgeführt.



2 Ergebnisse der Leistungsmessung an zehn Dünnschichtmodulen von fünf verschiedenen Herstellern im ersten Rundvergleich von sieben europäischen Messlabors. Der zweite Rundvergleich ist zum Redaktionsschluss dieses Berichts noch nicht abgeschlossen, Verbesserungen in der Genauigkeit sind auch hier zu erwarten.

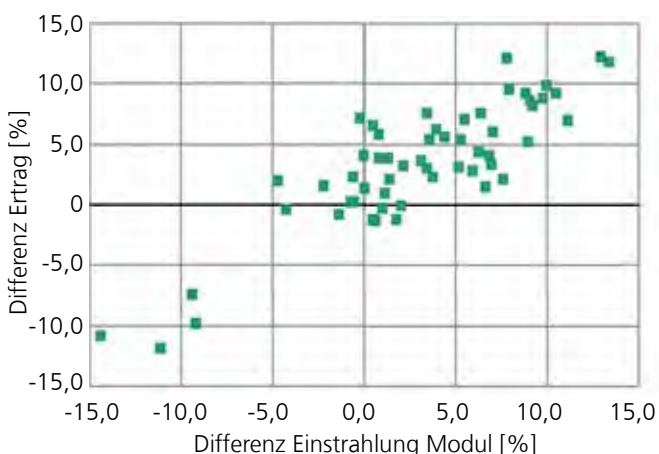
MONITORING VON PV-ANLAGEN: WIE GUT SIND UNSERE ERTRAGSGUTACHTEN?

Ertragsgutachten sind ein unerlässliches Werkzeug für die Erstellung von Finanzierungskonzepten größerer Photovoltaikanlagen. Wissenschaftliche Gutachten können innerhalb der angegebenen Genauigkeiten verlässliche Informationen zum langfristigen Mittel des Anlagenertrags liefern. Zur Sicherstellung der Qualität unserer Gutachten vergleichen wir regelmäßig unsere Prognosen mit den Messergebnissen aus unserem Qualitätsmonitoring.

Wolfgang Heydenreich, Klaus Kiefer, **Björn Müller**,
Christian Reise, Günther Ebert

Die Hauptaussage einer Ertragsprognose ist der zu erwartende jährliche Energieertrag als absoluter Wert in kWh oder bezogen auf die Anlagengröße in kWh pro kWp. Zur Berechnung dieses Prognosewerts kommen Simulationsmodelle zum Einsatz, die das Verhalten der Anlagenkomponenten möglichst exakt nachbilden müssen. Die Unsicherheiten dieser Modelle gehen – ebenso wie die Unsicherheit der verwendeten Wetterdaten – in die Gesamt-Unsicherheiten der Prognose ein.

Für eine Reihe von kommerziellen PV-Anlagen wurden wir sowohl für die Ertragsprognose als auch für das Monitoring

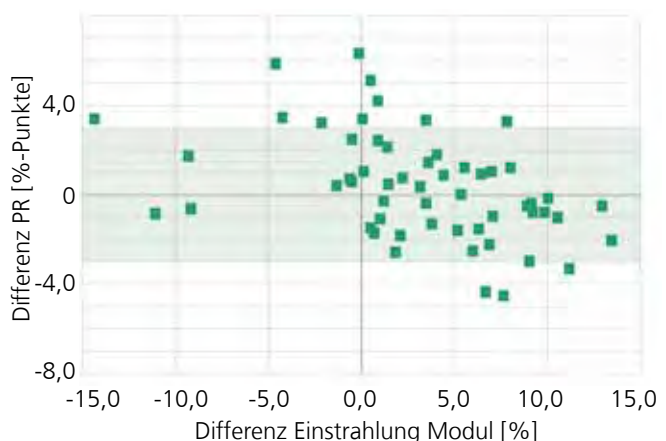


1 Abweichung der gemessenen von den prognostizierten Erträgen, dargestellt über der Abweichung der gemessenen von den prognostizierten Einstrahlungs-Jahressummen. Jeder Punkt steht für eines von 56 Anlagenbetriebsjahren.

beauftragt. Dies ermöglicht uns die Überprüfung der Prognosewerte anhand der Messwerte aus dem echten Anlagenbetrieb. Abb. 1 zeigt diesen Vergleich für 33 PV-Kraftwerke mit 25 MWp Gesamtleistung über jeweils ein bis vier Betriebsjahre.

Die Abweichungen im Jahresertrag folgen in erster Linie den Abweichungen der Jahressumme der Einstrahlung von den Prognosewerten. Die Abweichungen im Gesamtwirkungsgrad (Performance Ratio), im Wesentlichen also die Unsicherheiten unserer Modelle, sind weitestgehend unabhängig von der Einstrahlungsabweichung. Sie liegen im Mittel bei +0,7 %-Punkten (Abb. 2). Abweichungen von über 3 % treten in 13 von 56 Anlagenbetriebsjahren auf, damit erfüllen wir unsere Angaben zur einfachen Standardabweichung sicher.

Für alle Fälle größerer Abweichung haben wir die Gutachtenannahmen im Detail mit den Messwerten verglichen. Der größere Teil der (positiven) Abweichungen lässt sich mit einer nicht korrekt modellierten Modulleistung erklären. Unsere Abnahmemessungen und Messungen im Modul-Kalibrierlabor deuten darauf hin, dass hier die gelieferten Modulleistungen tatsächlich den Datenblattangaben entsprechen oder diese zum Teil sogar übertreffen.



2 Abweichung der beobachteten von den prognostizierten Performance Ratio (PR)-Werten. Eine Abhängigkeit der Abweichungen von der Differenz in der Einstrahlungs-Jahressumme ist nicht mehr zu erkennen. Für einzelne Anlagen werden hohe positive Abweichungen ermittelt, die sich zum Teil auf überdurchschnittlich hohe tatsächliche Modulleistungen zurückführen lassen.



BETRIEBSFÜHRUNG VON KWK-ANLAGEN IN DER E-ENERGY-MODELLREGION CUXHAVEN

Ein Schwerpunkt des E-Energy Leitprojekts »eTelligence« ist der Zugang von Kraft-Wärme-Kopplungseinheiten (KWK) zum Stromhandel an der regionalen Marktplattform Cuxhaven. Intelligente elektrisch-thermische Betriebsführung unter Berücksichtigung des thermischen Bedarfs, lokaler Speicher sowie beeinflussbarer Lasten erlaubt uns, Stromprodukte für den Handel am Marktplatz bereitzustellen. Dabei implementieren wir eine standardisierte Kommunikationslösung zur Verknüpfung aller Komponenten.

Thomas Erge, Stefan Feuerhahn, Hermann Laukamp, Christof Wittwer, Michael Zillgith, Günther Ebert

1 *Der eTelligence-Marktplatz in Cuxhaven verbindet Erzeuger und Verbraucher unterschiedlichsten Typs, wie Haushaltskunden, Gewerbebetriebe, öffentliche Einrichtungen, KWK-Betreiber. Selbst ein virtuelles Kraftwerk sowie der regionale Netzbetreiber EWE NETZ werden an der Marktplattform handeln.*

Unser Fokus im Rahmen des Projekts »eTelligence« sind dezentrale KWK-Anlagen kleinerer und mittlerer Leistung, die im Industrie- und Gebäudebereich zunehmend in die elektrischen Verteilnetze einspeisen und gleichzeitig Heiz- und Prozesswärme liefern. Wir entwickeln Lösungen für ein intelligentes Energiemanagement. Dieses erlaubt auf Basis elektrischer und thermischer Last- und Erzeugungsprognosen eine Modifikation des Betriebs der KWK-Anlagen, so dass neben der Sicherung der thermischen Versorgungsaufgaben auch Strommarktprodukte und Dienstleistungen an der eTelligence-Marktplattform angeboten werden können. Solche Produkte sind z. B. Wirkleistung, Blindleistung, Erzeugungsfahrpläne oder auch Maßnahmen zur Verbesserung der Stromqualität. Herzstück unserer Lösung ist ein eTelligence-Gateway, in diesem Fall ein dezentraler Embedded-PC, der als Koppelglied zwischen lokaler Anlagenbetriebsführung und Anbindung an die Marktplattform dient. Durch den Einsatz standardisierter Kommunikationsschnittstellen und Protokolle wie der IEC 61850 oder dem Common Information Modell (CIM) gewährleisten wir die Interoperabilität mit den anderen Teilnehmern des eTelligence-Marktplatzes sowie die Übertragbarkeit der Lösungen für einen späteren Roll-out des eTelligence-Konzepts. Erste Anwendungen demonstrieren die Stärke des Konzepts. So beteiligt sich das Erlebnisbad »ahoi!« in Cuxhaven mit seinen zwei BHKW-Systemen an der Marktplattform. Hierfür modellieren wir die thermischen Bedarfsprofile des Schwimmbadbetriebs und passen die lokalen SPS-Steuersysteme an die Anforderungen der eTelligence-Marktplattform an.

Das Projekt wird durch ein Konsortium der sechs Partner EWE AG, BTC AG, energy & meteo systems, Fraunhofer-Allianz Energie, OFFIS und Öko-Institut ausgeführt und mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMWi) gefördert.



DEZENTRALES ENERGIE-/NETZMANAGEMENT MIT FLEXIBLEN STROMTARIFEN

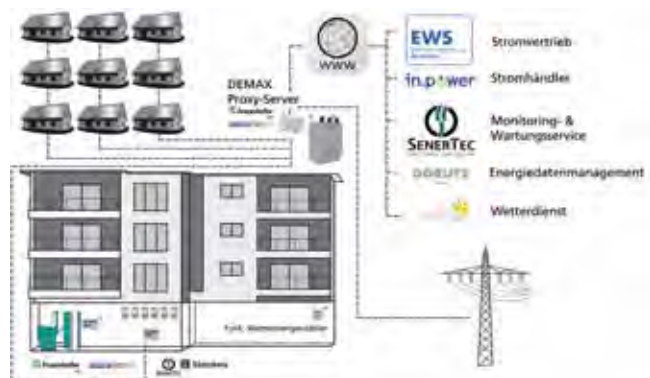
Die intelligente Vernetzung dezentraler Erzeuger und Lasten birgt hohe Potenziale für den Ausbau regenerativer Energien. Neben der Chance, aktiv am Energiemarkt teilzunehmen und die Stromkosten zu senken wird eine Senkung der Spitzenlasten möglich. Gleichzeitig sind die Anforderungen an ein Netzmanagement und die erforderliche Kommunikationstechnologie hoch. Erstmals werden unter Koordination des Fraunhofer ISE mithilfe eines integralen Smart Metering-Konzepts alle Smart Grid-Funktionalitäten realisiert.

Rainer Becker, Stefan Feuerhahn, Robert Kohrs,
Christian Sauer, Bernhard Wille-Haussmann,
 Christof Wittwer, Michael Zillgith, Günther Ebert

Im Rahmen des InnoNet-Verbundprojekts »DEMAX« wurde ein innovatives Energiemanagement- und Kommunikationssystem entwickelt, mit dem dezentrale Erzeuger und Lasten aus dem gewerblichen und privaten Bereich am Energiemarkt teilnehmen können. Zentrale Komponente ist ein internetfähiges »Embedded System« der neuesten Generation, das eine netzwerkbasierete Kommunikation über flexible Medien ermöglicht.

Das Konzept: Für verteilte vernetzte Energiesysteme im Smart Grid werden zahlreiche Netzwerkverbindungen für Abruf und Rückmeldung der Systeme benötigt. Über einen gewöhnlichen Internetzugang wird die gesamte Kommunikation für Abrechnung, Fernwartung, Prozessvisualisierung usw. abgewickelt, ohne nennenswerte Kosten bei der Datenübertragung zu verursachen. Für die Anbindung der Smart Meters und der Anlagenkomponenten haben wir das standardisierte DEMAX-Gateway entwickelt. Die Gateways werden im lokalen Netzwerk mit gesicherten Verbindungen über einen zentralen Proxyserver zu den Servicedienstleistern vermittelt.

1 MUC-Gateway, das Experten des Fraunhofer ISE im Bad Bellingner DEMAX-Demonstrator installiert haben.



2 Schematische Darstellung der Energiemanagement- und Kommunikationsstruktur, mit Smart Meters für Strom, Gas und Wärme, DEMAX-Gateways, zentralem Proxy-Server und Vernetzung der beteiligten Dienstleister.

So können alle beteiligten Anbieter wie Messdienstleister, Stromhändler und Netzbetreiber über redundante Internetverbindungen vernetzt werden. In der Praxis kann also ein übergeordneter virtueller Kraftwerksbetreiber die Steuerung der Erzeuger und Lasten übernehmen. Alternativ erfolgt eine indirekte Anforderung durch variable Tarife.

Projektpartner sind das Steinbeis-Innovationszentrum »Embedded Design und Networking«, die Elektrizitätswerke EWS aus Schönau, der Embedded Hardware-Hersteller SSV Embedded Systems, der BHKW-Hersteller Senertec, der Strom- und Börsenhändler in.power und der Spezialist für Energiedatenerfassung GÖRLITZ.

Das Projekt wurde vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) gefördert.

STROM AUS WASSERSTOFF



WASSERSTOFFTECHNOLOGIE

Wasserstoff setzt bei der Reaktion mit Sauerstoff in einer Brennstoffzelle nutzbare Energie in Form von Strom und Wärme frei. Da Wasserstoff in der Natur jedoch nicht in Reinform vorliegt, muss er aus seinen vielfältigen chemischen Verbindungen gewonnen werden. Dies geschieht unter Einsatz von Energie. Im Idealfall wird erneuerbare Energie in Form von regenerativ erzeugtem Strom für Elektrolyseverfahren verwendet. Ein weiterer Weg ist die Reformierung von gasförmigen bzw. flüssigen Brennstoffen, sogenannten Kohlenwasserstoffen oder Alkoholen.

Wasserstoff ist zwar keine Energiequelle, als universeller Energieträger wird er aber ein wichtiger Baustein einer künftigen nachhaltigen Energiewirtschaft sein. Langfristig kann Wasserstoff beispielsweise zeitlich fluktuierende erneuerbare Energie so zwischenspeichern, dass alle gewünschten Energiedienstleistungen mit der gewohnten Zuverlässigkeit bereitgestellt werden. Das Anwendungspotenzial von Wasserstoff ist sehr groß: In der dezentralen Energieversorgung können Brennstoffzellen Wärme und Strom aus Erdgas mit bis zu 80 Prozent Gesamtwirkungsgrad erzeugen. Brennstoffzellen dienen in mobilen Anwendungen zusammen mit Elektromotoren als schadstofffreie Antriebsaggregate für Automobile, LKWs und Busse. Außerdem können Brennstoffzellen in Auxiliary Power Units (APU) für die Bordnetzstromversorgung sorgen. Schließlich eignen sich Mikrobrennstoffzellensysteme wegen der hohen Energiedichte von Wasserstoff oder Alkohol hervorragend als Ergänzung oder Alternative zu wiederaufladbaren Batterien in der netzfernen Stromversorgung oder in portablen Elektrogeräten. Auch wenn diese Anwendungen im Kontext unserer Gesamtenergieversorgung wenig unmittelbares Gewicht haben, so sind sie doch für die Einführung von Wasserstoffsystemen wegweisend.

Im Geschäftsfeld »Wasserstofftechnologie« erforschen wir innovative Technologien zur Gewinnung und hocheffizienten Umwandlung von Wasserstoff in Strom und Wärme. Zusammen mit unseren Partnern aus Industrie und Wissenschaft entwickeln wir Komponenten bis hin zu kompletten Brennstoffzellensystemen, überwiegend für netzferne, portable und mobile Anwendungen.

Wir entwickeln Reformersysteme zur Umwandlung flüssiger Kohlenwasserstoffe oder Alkohole. Die Anlagen umfassen den eigentlichen Reformierreaktor und, abhängig vom Typ der nachgeschalteten Brennstoffzelle, auch die Gasaufbereitung zur Erhöhung des Wasserstoffanteils und Reduzierung des Anteils an katalysatorschädigendem Kohlenmonoxid im Reformatgas. Die Einsatzgebiete dieser Systeme reichen von der stationären Kraft-Wärme-Kopplung über die Bordstromversorgung (Auxiliary Power Units) bis hin zur netzunabhängigen Stromversorgung.

Um unseren Beitrag zu einer nachhaltigen Energieversorgung zu leisten, erweitern wir unser Portfolio mit Blick auf die Umwandlung und Nutzung von Biomasse. So entwickeln wir eine Technikumsanlage zur Holzvergasung, mit der wir die Tauglichkeit eines neuen, am Fraunhofer ISE mitentwickelten Verfahrens demonstrieren wollen. Außerdem forschen wir an einer Reaktorentwicklung zur Biomasseproduktion durch Grünalgen.

Für die Wasserstoffgewinnung aus Wasser realisieren wir geregelte Membran-Elektrolyse-Systeme mit Leistungen von wenigen Watt bis mehreren kW elektrischer Leistung, die einer Produktion von mehreren hundert Litern Wasserstoff pro Stunde entsprechen. Zum vertieften Verständnis der



Vorgänge an den Elektroden setzen wir eine Reihe verschiedener Charakterisierungsmethoden wie Rasterelektronenmikroskopie oder Zyklovoltammetrie ein.

Als effiziente, umweltfreundliche, geräusch- und wartungsarme Energiewandler im Leistungsbereich von mW bis mehreren hundert Watt setzen wir auf Membranbrennstoffzellen inklusive deren Versorgung mit Wasserstoff oder Methanol. Neben der bekannten Systemarchitektur basierend auf Brennstoffzellenstapeln setzen wir einen weiteren Schwerpunkt auf planare, serienverschaltete Brennstoffzellen in einer Ebene. Dieses Design eignet sich in hervorragender Weise zur flächigen Gehäuseintegration sowie als Teil eines Hybridsystems in Kombination mit der Batterie.

Neben der Komponenten- und Anlagenentwicklung arbeiten wir an der Integration von Brennstoffzellensystemen in übergeordnete Systeme. Wir konzipieren und realisieren die elektrische Systemauslegung inklusive Spannungsaufbereitung und Sicherheitstechnik. Damit schaffen wir die Grundlagen für marktfähige Brennstoffzellensysteme. Unser Angebot umfasst insbesondere Brennstoffzellensysteme zur Bordnetzversorgung in Automobilen, Lastkraftwagen, auf Schiffen oder in Flugzeugen sowie autonome Stromversorgungen für netzferne Anwendungen und für portable elektronische Kleinsysteme.

Federkontaktstifte zur Stromableitung an einer segmentierten Brennstoffzelle. Mit dieser speziell entwickelten Zelle in Kombination mit einem Mehrkanal-Impedanzspektroskop lassen sich lokale Verluste verursacht durch inhomogene Gasverteilung, Kinetik und Feuchte analysieren. Durch abgeleitete konstruktive Maßnahmen sowie durch eine optimierte Betriebsführung kann so gezielt die Zelleistung verbessert und die Lebensdauer erhöht werden.

ANSPRECHPARTNER

Brennstoffzellensysteme

Dipl.-Ing. Ulf Groos

Telefon +49 761 4588-5202

ulf.groos@ise.fraunhofer.de

Mikroenergietechnik

Dr. Christopher Hebling

Telefon +49 761 4588-5195

christopher.hebling@ise.fraunhofer.de

Wasserstoffherzeugung und -speicherung

Dr. Thomas Aicher

Telefon +49 761 4588-5194

thomas.aicher@ise.fraunhofer.de

Dr. Tom Smolinka

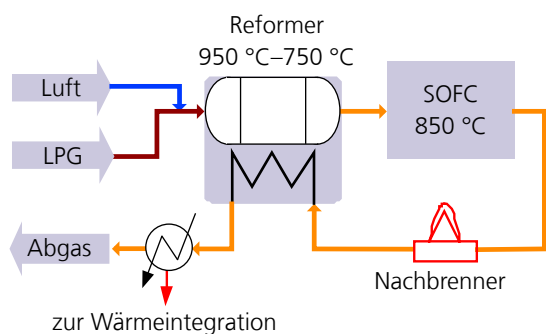
Telefon +49 761 4588-5212

tom.smolinka@ise.fraunhofer.de

MINI-LPG-REFORMER FÜR EIN 100 W_{EL}-SOFC-SYSTEM ZUR MOBILEN ENERGIEVERSORGUNG

Für den Camping- und Freizeitbereich entwickeln wir einen kleinen LPG-Reformer als Brenngasversorgung für ein portables 100 W_{el}-SOFC-System. Als Energieträger setzen wir Flüssiggas ein, da es sich durch eine hohe Energiedichte auszeichnet und aufgrund einer sehr gut ausgebauten Vertriebsinfrastruktur weltweit verfügbar ist. Die Erzeugung des wasserstoffreichen Synthesegases erfolgt mittels katalytischer partieller Oxidation (CPOX), einem Reformierverfahren, das ohne Wasser auskommt.

Thomas Aicher, Gerard Kraaij, **Christoph Weuffen**, Christopher Hebling

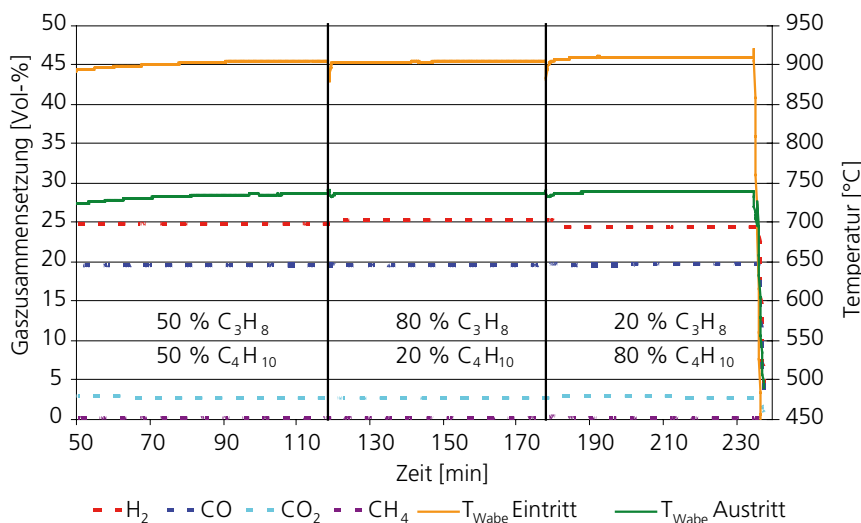


1 Vereinfachtes Fließbild des Reformer-SOFC-Systems. Zur Verringerung der Wärmeverluste wird das Nachbrennerabgas am Reformer thermisch eingekoppelt. Dadurch kann die Luftmenge zum Reformer reduziert werden, wodurch der Wasserstoff- und Kohlenmonoxidertag steigt.

Die Wasserstoffherzeugung nur aus Brennstoff und Luft, die sogenannte Katalytische Partielle Oxidation (CPOX), ist in Kombination mit einer Hochtemperaturbrennstoffzelle sehr attraktiv, weil solch ein System ohne weitere Gasaufbereitung auskommt. Für kleinere Leistungen lässt sich damit ein einfaches, kompaktes und portables Energieversorgungssystem aufbauen. In einem dreijährigen Fraunhofer-internen Projekt entwickeln wir für ein solches System einen Reformer. Dabei stehen die Optimierung der Betriebsparameter und die thermische Integration im Mittelpunkt der Arbeiten.

Das Ziel eines rußfreien und stabilen Reformerbetriebs über einen weiten Leistungsbereich von 25–100 % der Nennleistung haben wir bereits erreicht. Zudem liegen wir, unter Einhaltung der thermischen Grenzen des Katalysators, bei Gastemperaturen von über 750 °C am Reaktoraustritt. Für eine gute Durchmischung der Edukte, einem wichtigen Kriterium zur Verhinderung von Hot Spots und Rußbildung, sind Ergebnisse aufwändiger CFD-Simulationen in die Konstruktion eingeflossen. Zudem konnte in mehreren Versionen von Prototypen der Druckverlust verringert und das Reaktorvolumen verkleinert werden.

Im letzten Jahr des Projekts sind Untersuchungen zur Langzeitstabilität sowie die Optimierung von An- und Abfahrvorgängen vorgesehen. Die Arbeiten werden im Rahmen eines Fraunhofer-Stiftungsprojekts gefördert und erfolgen in Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer IKTS.



2 Typische Produktgaszusammensetzung bei einer Luftzahl von $\lambda = 0,38$. Der Wasserstoff- und Kohlenmonoxid-Anteil (gestrichelte rote und blaue Linie) ändert sich trotz der unterschiedlichen Propan-Butan-Mischungsverhältnisse kaum.

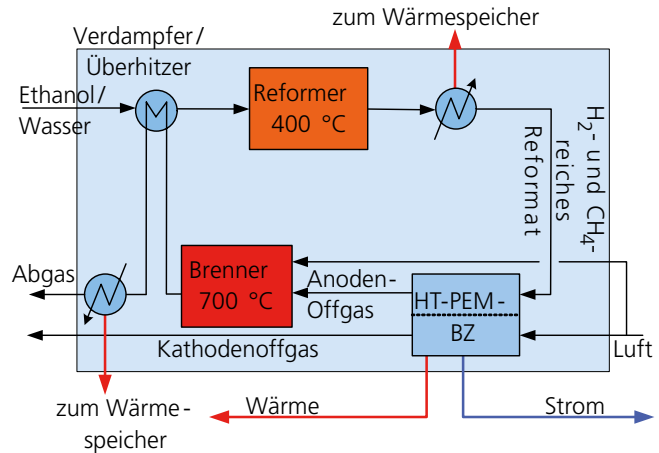
BIOETHANOL-REFORMER MIT HOCHTEMPERATUR-POLYMER-ELEKTROLYT-MEMBRAN-BRENNSTOFFZELLE

In der Abteilung Energietechnik haben wir in zwei Testständen ein mit Bioethanol betriebenes Reformers-Brennstoffzellen-Blockheizkraftwerk mit einer Leistung von 6 kW_{th} aufgebaut. Diese Leistung ist ausreichend für die Warmwasserbereitstellung inklusive Beheizung eines Hauses mit einem Wärmebedarf von $60 \text{ kWh/m}^2\text{a}$. Der produzierte Strom kann entweder direkt vor Ort genutzt oder über das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) ins Netz eingespeist werden.

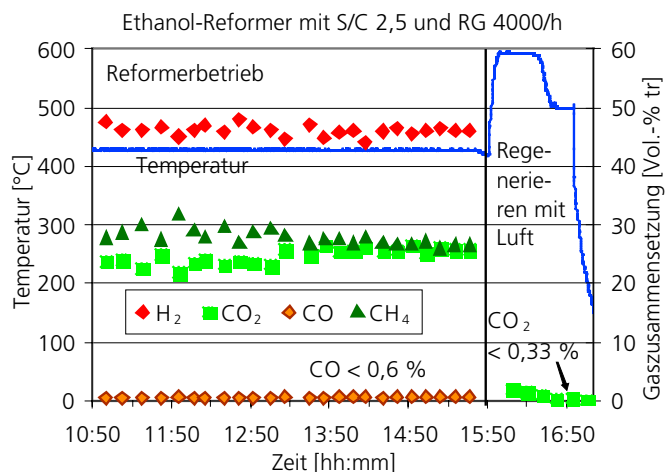
Thomas Aicher, Wolfgang Koch, Timo Kurz,
Lisbeth Rochlitz, Malte Schlüter, Christopher Hebling

Unser innovatives Reformers-Brennstoffzellen-System kombiniert die Vorteile der Brennstoffzelle, wie hohe Wirkungsgrade und geringe Abgas- und Geräuschemissionen, mit denen des Bioethanols. Der Brennstoff ist ungiftig, regenerativ und weltweit kommerziell verfügbar. Die Technologie leistet einen wichtigen Beitrag zur CO_2 -neutralen energetischen Dezentralisierung. Das Reformersystem ist für die Hausenergieversorgung mit einer thermischen Leistung von 6 kW_{th} ausgelegt. Im Teststand spalten wir Bioethanol mithilfe eines Katalysators der BASF SE bei ca. $400 \text{ }^\circ\text{C}$ in ein wasserstoffreiches Reformatgas. Dieses Reformat kann wegen seines geringen CO -Gehalts von < 1 Volumen-% direkt in eine Hochtemperatur-PEM-Brennstoffzelle geleitet werden, die bei $160 \text{ }^\circ\text{C}$ Wärme und Strom produziert.

Im Gegensatz zu konventionellen Reformern kann das System ohne Gasreinigung betrieben werden. Dadurch wird es deutlich vereinfacht und günstiger. Zudem benötigen wir deutlich geringere Reformierungstemperaturen, was bei der Eduktvorwärmung Energie einspart. Der Brennstoffzellenstapel wird in unserem HT-PEM-Brennstoffzellen-Teststand einerseits mit reinem Wasserstoff betrieben, um ausführlich verschiedene Betriebsbedingungen untersuchen zu können, andererseits ist der Teststand so ausgelegt, dass er direkt das vom Reformersystem produzierte Reformatgas verwenden kann. Das Anoden-Offgas der PEM wird dann zurück in den Brenner des Reformersystems geleitet. Der Brenner wird in Zusammenarbeit mit der Promeos GmbH von der TU Bergakademie Freiberg entwickelt und verbrennt sowohl Ethanol als auch Anoden-Offgas. Über ein hochintegriertes Wärmetauscher-Design wird die erzeugte Wärme in den Schichtenspeicher des Solarheizsystems SolvisMax® der Solvis GmbH & Co. KG integriert, um auf diese Weise die Wärmeverluste zu minimieren.

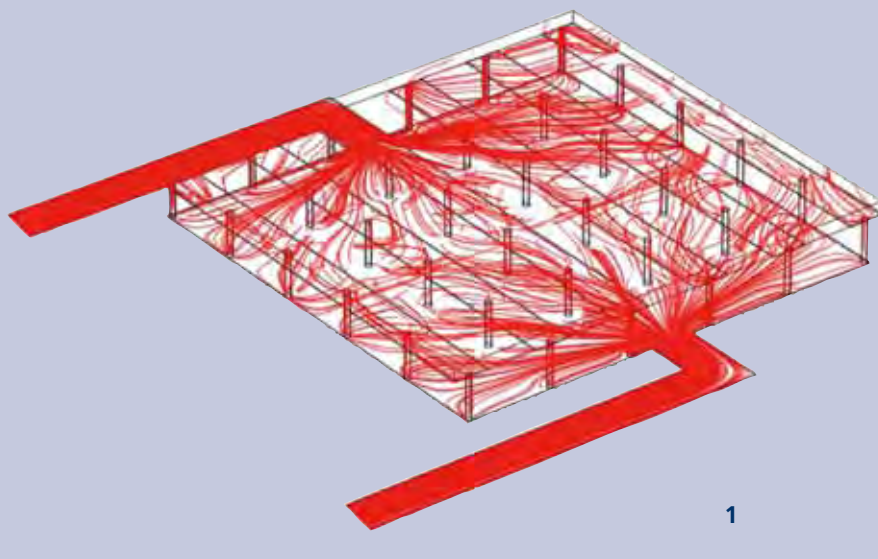


1 Vereinfachtes Fließbild des Bioethanol-Reformers-Brennstoffzellen-Systems für die Hausenergieversorgung. Der Brenner stellt die Verdampfungswärme für Ethanol und Wasser bereit. Die Wärme des Abgases, Reformatgases und der Brennstoffzelle werden zum Beheizen des Warmwasserspeichers verwendet. Der berechnete Gesamtwirkungsgrad beträgt 97,6 Prozent.

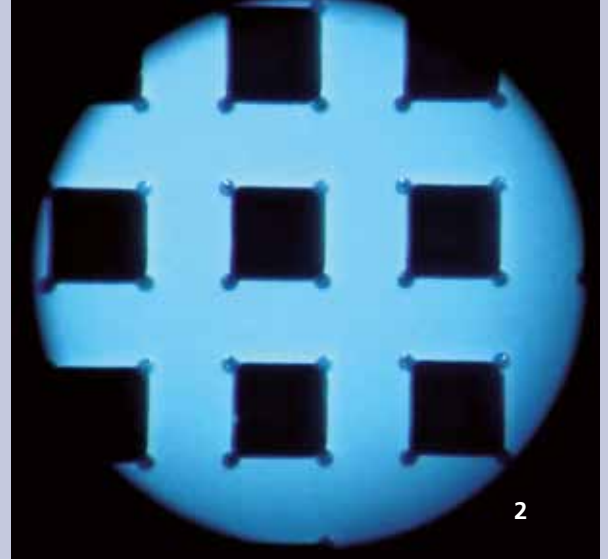


2 Messergebnisse des Reformersystems: Wir produzieren aus Bioethanol und Wasser ein Gas mit 50 Volumen-% $\text{H}_{2,\text{trocken}}$, je ca. 25 % CH_4 und CO_2 und weniger als 1 % CO . Nach einigen Stunden regenerieren wir hier den Katalysator mit Luft, wobei alle Rußablagerungen, die während der Reformierung entstehen, abgebrannt werden. Dies kann auch später im Haushalt ein oder zweimal täglich problemlos durchgeführt werden.

Die Arbeiten werden innerhalb des Projekts »Regenerative Heizzentrale« vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) gefördert.



1



2

INNOVATIVE LÖSUNGSANSÄTZE MIT MONOELEKTROLYT-BRENNSTOFFZELLEN

In der neuesten Generation unserer Brennstoffzellen haben wir ein innovatives Konstruktionskonzept in Multilayer-Keramik umgesetzt. Bei der Zellanordnung sind wir nun wesentlich flexibler als in herkömmlichen Brennstoffzellen-Stacks. Die Multilayer-Keramik-Technologie bietet uns ein sehr hohes Maß an Funktionsintegration: Passives Wassermanagement, Stromableitung und elektrische Zellverschaltung realisieren wir auf kleinstem Bauraum.

Ulf Groos, Gerard Kraaij, **Mario Zedda**, Christopher Hebling

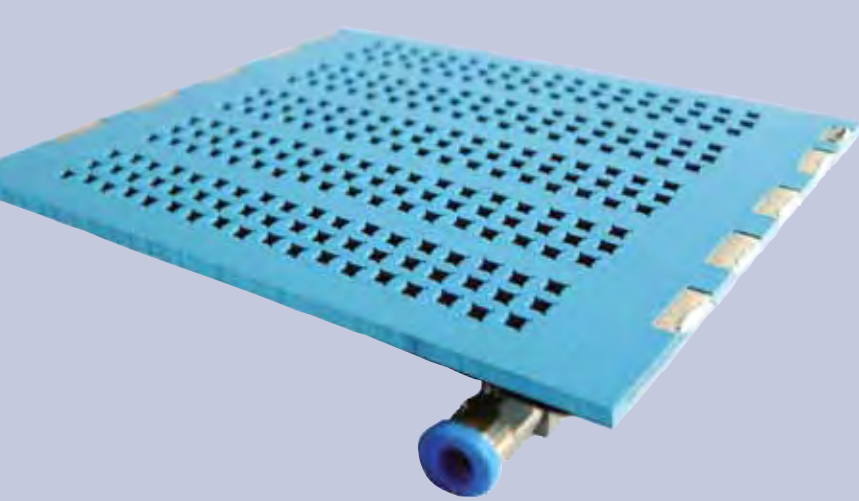
Multilayer-Keramik-Technologie

Wir haben ein Konstruktionskonzept für unsere Brennstoffzellen entwickelt, das eine enorme geometrische Anpassungsfähigkeit an die jeweilige Anwendung bietet. Hierbei weichen wir von der herkömmlichen Stapelbauweise ab, indem wir mehrere Zellen in einer Ebene anordnen und elektrisch verschalten. Je nach Bedarf lassen sich die Zellebenen wiederum stapeln. Auf diese Weise ist es uns möglich, die Brennstoffzellen dreidimensional in einem vorgegebenen Volumen zu positionieren.

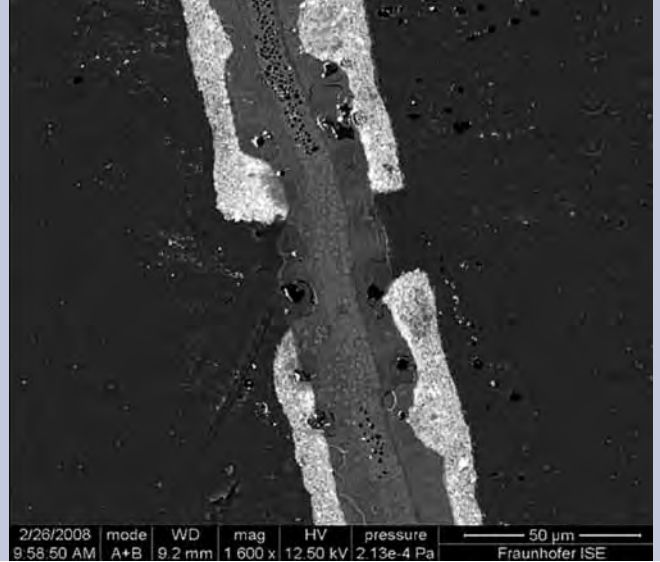
Gemeinsam mit unserem Projektpartner Fraunhofer IKTS fertigen wir die Gasverteilerplatten in Multilayer-Keramik. Die geometrische Formgebung geschieht über Mikrostanzen und Laserschneiden. Der hohe E-Modul der Multilayer-Keramik garantiert uns eine exzellente mechanische Festigkeit in der Zellebene und somit den nötigen Anpressdruck.

1 Simulation der Stromableitung in einer einzelnen Brennstoffzelle: Ist der Spannungsabfall über die stromführende Schicht zu groß, bietet die Multilayer-Keramik-Technologie eine raffinierte Lösung. Jeder der hauchdünnen Keramiklayer kann mit stromableitenden Schichten bedruckt werden. Die Schichten werden über Vias (senkrecht verlaufende Durchkontaktierungen mit nur 0,2 mm Durchmesser) parallel verschaltet.

2 Passives Wassermanagement von Brennstoffzellen: Quadratische Kathodenöffnungen mit einer Kantenlänge von 0,5 mm sowie Kapillaren mit 0,1 mm Durchmesser in den Ecken der Quadrate. Das Produktwasser der Brennstoffzelle steigt in den Kapillaren auf, während die Reaktionsluft ungestört an die Kathode gelangen kann.



3



4

2/26/2008	mode	WD	mag	HV	pressure	50 µm
9:58:50 AM	A+B	9.2 mm	1.600 x	12.50 kV	2.13e-4 Pa	Fraunhofer ISE

Monoelektrolytische Bauweise

Die Montage einer Zellebene ist aufgrund unseres »Monoelektrolytischen Zellkonzepts« nicht aufwändiger als die einer Einzelzelle in einem herkömmlichen Brennstoffzellenstapel. Die Zellen einer Ebene »teilen« sich eine gemeinsame Membran-Elektroden-Einheit. Per Laserstrahl isolieren wir die elektrisch leitfähigen Elektroden der Einzelzellen voneinander, um unerwünschte Verlustströme zu vermeiden. Auch die für die Gasversorgung verantwortlichen Gasverteilerplatten entsprechen denen eines herkömmlichen Brennstoffzellenstapels. Alle Zellen einer Ebene nutzen das gleiche Flowfield, was wiederum den Vorteil mit sich bringt, dass diese nicht einzeln gedichtet werden müssen.

Stromableitung und Zellverschaltung

Multilayer-Keramik ist ein elektrisch isolierendes Material. Die Stromableiter unserer Brennstoffzellen werden in 10 µm dünnen Schichten per Siebdruck auf die Keramik aufgebracht. Da eine einzelne Schicht nicht den nötigen Querschnitt für eine verlustarme Stromableitung bietet, verschalten wir mehrere Schichten parallel miteinander. Dabei leiten elektrische »Vias« mit 0,2 mm Durchmesser den Strom durch die nur 0,1 mm dünnen keramischen Layer hindurch. Auf die gleiche Art und Weise werden die Einzelzellen miteinander verschaltet.

Passive Luftversorgung

Kleine elektrische Leistungen für portable Verbraucher können wir in einer einzigen Zellebene realisieren. Die Kathodenseite der Einzelzellen öffnen wir dann zur Außenluft hin und ermöglichen somit eine rein passive Belüftung ohne jegliche Unterstützung durch Lüfter bzw. Gebläse. Kleinen Brennstoffzellensystemen kommt dies in Form einer Verbesserung des

3 *Brennstoffzellenmodul in Multilayer-Keramik-Technologie: Fünf Zellen mit je 8 cm² aktiver Fläche sind planar in einer Ebene angeordnet und seriell verschaltet. Durch die Öffnungen im Gehäuse versorgt sich das Modul rein passiv mit Sauerstoff aus der Umgebungsluft. Zur Realisierung großer Ausgangsleistungen werden die Zellebenen gestapelt und per Gebläse mit Luft versorgt.*

4 *Querschnittsaufnahme einer mittels Laser segmentierten Membran-Elektroden-Einheit: Die hellen Schichten sind die per Laserstrahl voneinander getrennten Elektroden. Auf diesem Weg werden bei monoelektrolytischer Bauweise unerwünschte Querströme zwischen den Zellen verhindert. Die Membran ist optisch transparent für das Laserlicht. Deshalb können beide Elektroden in einem Arbeitsgang segmentiert werden.*

Systemwirkungsgrads zu Gute. In Messreihen und Simulationen haben wir diese passiven Flowfields optimiert. Luftzufuhr, Wasseraustrag, Stromableitung und mechanische Festigkeit sind hier voneinander abhängig und müssen aufeinander abgestimmt werden.

Passives Wassermanagement

Unter Ausnutzung von Kapillareffekten realisieren wir einen weitgehend passiven Wassertransport. Entsprechende Mikrokanäle und -strukturen werden per Mikrostanze und Laser in Multilayer-Keramik gefertigt. Das Produktwasser der Brennstoffzelle wird durch Mikrokanäle aus dem Flowfield heraustransportiert. Flutung wird somit verhindert und die Reaktanden können ungehindert an die Elektroden gelangen.

Das Projekt wurde von der Fraunhofer-Gesellschaft unterstützt.

EINE ELEKTRONIK FÜR VIELE BRENNSTOFFZELLEN

Am Fraunhofer ISE entwickeln wir Regelungselektronik für Brennstoffzellensysteme unterschiedlicher Systemarchitektur, je nach Leistungsbereich, Brennstoff oder Umgebungskonditionen. Neben der Schaltungsentwicklung realisieren wir ein flexibles Softwarekonzept, das sich auf die unterschiedlichen Brennstoffzellensysteme adaptieren lässt. Auch die Kombination einer Brennstoffzelle mit einem Akkumulator ist in die Softwarearchitektur integriert, womit sich sehr viele Anwendungsfälle präzise auslegen lassen.

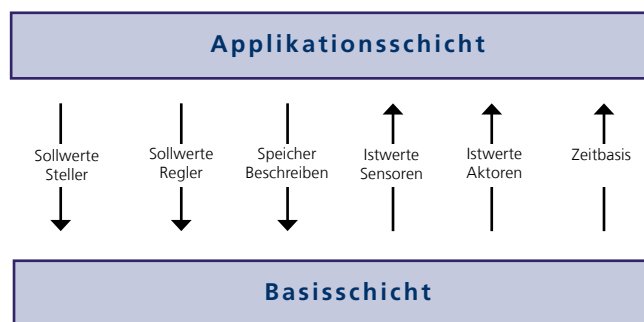
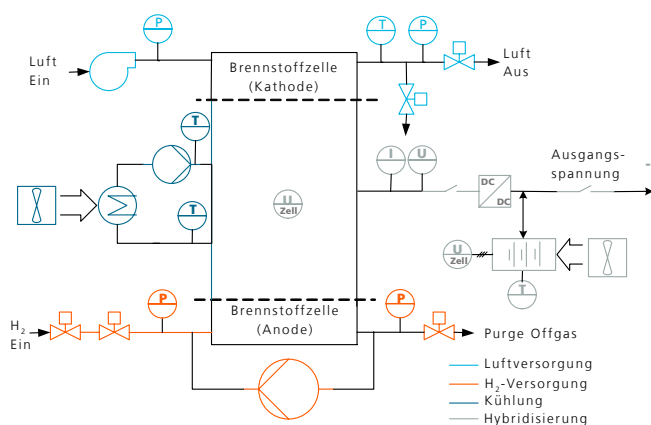
Ulf Groos, **Stefan Keller**, Christopher Hebling

Um eine universell einsetzbare Regelungselektronik für Brennstoffzellensysteme zu entwickeln, analysierten wir zunächst Konstellationen von Systemen im Leistungsbereich von 20-2000 W_{el}.

So war es möglich, Anzahl und Beschaffenheit der notwendigen Ansteuerungen aktorischer Elemente wie Pumpen, Ventile, Lüfter etc. ebenso wie sensorischer Elemente abzuschätzen. Im nächsten Schritt wurden hierzu geeignete kommerziell erhältliche Elektronikbausteine recherchiert sowie deren Be-

schaltung entwickelt. Dies erfolgte in enger Zusammenarbeit mit unserem Projektpartner MAGNUM Automatisierungstechnik GmbH. Hauptkriterien waren minimaler Stromverbrauch, geringer Platzbedarf und niedrige Kosten bei gleichzeitig größtmöglicher Flexibilität. So kann die Elektronik beliebige Sensorspannungen verarbeiten und ist für die Temperaturerfassung mittels kostengünstiger Thermistoren ausgelegt. Die Ausgangsstufen für die Aktoren sind skalierbar und stellen ein pulsweitenmoduliertes oder analoges Steuersignal sowie die Modulation der Versorgungsspannung der Aktoren zur Verfügung. Dies ermöglicht die schnelle Integration verschiedener Komponenten zur Realisierung eines Brennstoffzellensystems.

Das Zentrum der Elektronik ist ein digitaler Microcontroller. Er ist mit der Hardware über standardisierte digitale Schnittstellen verbunden, so dass er je nach Systemanforderung rechenstark oder stromsparend ausgelegt werden kann. Weiterhin entwickeln wir ein Softwarekonzept, welches einfach auf die unterschiedlichen Brennstoffzellensysteme adaptiert werden kann. Neben der Bedienung von Sensorik und Aktorik enthält die Software eine grundlegende Betriebsführung des Brennstoffzellensystems und sieht die Integration eines Pufferakkus vor.



1 Schematische Darstellung eines wassergekühlten Brennstoffzellensystems: Unsere Elektronik steuert sämtliche Aktoren des Systems und liest alle Sensoren aus. Darüber hinaus kann sie mit Subsystemen wie Smart Batteries, Laderegler oder Gleichspannungswandlern interagieren. Weiterhin stehen Datenloggerfunktionen sowie die Datenübertragung zu einem PC zur Verfügung.

2 Implementierungsebenen innerhalb der Elektroniksoftware: Die Applikationsschicht enthält die Betriebsführung und andere zeitkritische Funktionen. Davon abgekapselt sind in der Basisschicht alle hardwarenahen Funktionen implementiert. So erreichen wir eine hohe Betriebszuverlässigkeit. Gleichzeitig ergibt sich die Möglichkeit, systemfremde Applikationssoftware zu integrieren.

BIOMASSE-VERGASUNG ZUR ERZEUGUNG EINES TEERFREIEN SYNTHESYGASES

In der Abteilung Energietechnik haben wir einen Biomassevergaser im Technikumsmaßstab für 50 kW Brennstoffwärmeleistung aufgebaut. Darin untersuchen wir zunächst Holzpellets, danach andere Biomasse wie z. B. Grünschnitt. Wir wollen demonstrieren, dass die technische Umsetzung der im Patent DE 10 2004 024 672 B4 vom Fraunhofer ISE geschützten Innovationen auch außerhalb des Labormaßstabs zu einem teerfreien Synthesegas führt. Eine Gaswäsche nach dem Vergaser benötigen wir daher nicht.

Thomas Aicher, Luisa Burhenne, Christian Lintner, Lisbeth Rochlitz, Malte Schlüter, Christopher Hebling

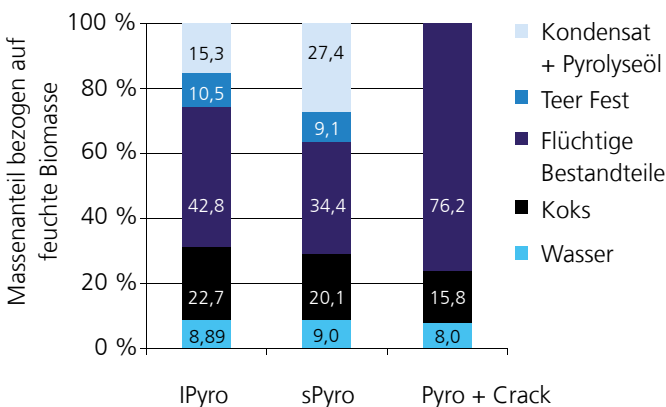
Dezentrale Anlagen zur Vergasung von Biomasse im Leistungsbereich unter 1 MW sind gut geeignet für eine unabhängige Strom- und Wärmeversorgung, auch als Ergänzung zu witterungsabhängigen erneuerbaren Energien wie Sonne und Wind.

Wir haben in Laborversuchen in zwei hintereinandergeschalteten Reaktorstufen die Reaktionsschritte der Pyrolyse und Vergasung (Crackstufe) von Biomasse untersucht. Holzhackschnitzel wurden mit N_2 bei bis zu 600 °C pyrolysiert und anschließend in einem zweiten Reaktor vergast. Zusätzlich haben wir simuliertes Synthesegas beigemischt. Wir konnten

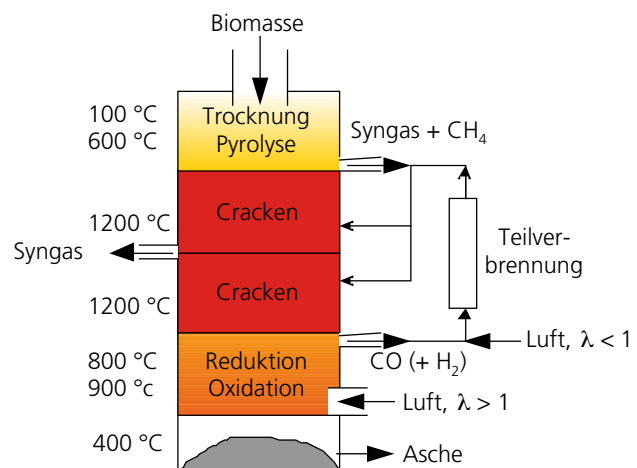
im Labor das thermische und autokatalytische Cracken der bei der Pyrolyse entstandenen Teere nachweisen. Teere sind unerwünschte Nebenprodukte der Vergasung, die die Funktionstüchtigkeit von nachgeschalteten Bauteilen, insbesondere Motoren, beeinträchtigen. Die Versuche belegten die technische Machbarkeit unseres innovativen Verfahrens (s. Abb. 1).

Unser Verfahren erzeugt ohne Einsatz einer Gaswäsche ein Produktgas mit Teergehalt $< 50 \text{ mg/m}^3$, wobei der Glühverlust in der Asche $< 5 \%$ ist. Dies erreichen wir durch eine regelbare externe Teilverbrennung von Gasen aus der Pyrolyse- und der Redox-Zone (s. Abb. 2). Die heißen Produktgase schaffen in der Crackzone deutlich höhere Temperaturen als andere Festbettvergaser, was positiv für die Teerumsetzung ist. Durch den Einsatz von robuster, erprobter Technik soll für den Vergaser eine hohe Verfügbarkeit und Wirtschaftlichkeit erzielt werden. Mit dem erzeugten Gas gewinnen wir in einem Gasmotor-Blockheizkraftwerk Strom und Wärme. Insgesamt wird ein Wirkungsgrad von $> 95 \%$ angestrebt (erzeugter Strom und erzeugte Wärme im Verhältnis zur eingesetzten Brennstoffwärmeleistung). Dies ist eine deutliche Steigerung gegenüber bestehenden Anlagen.

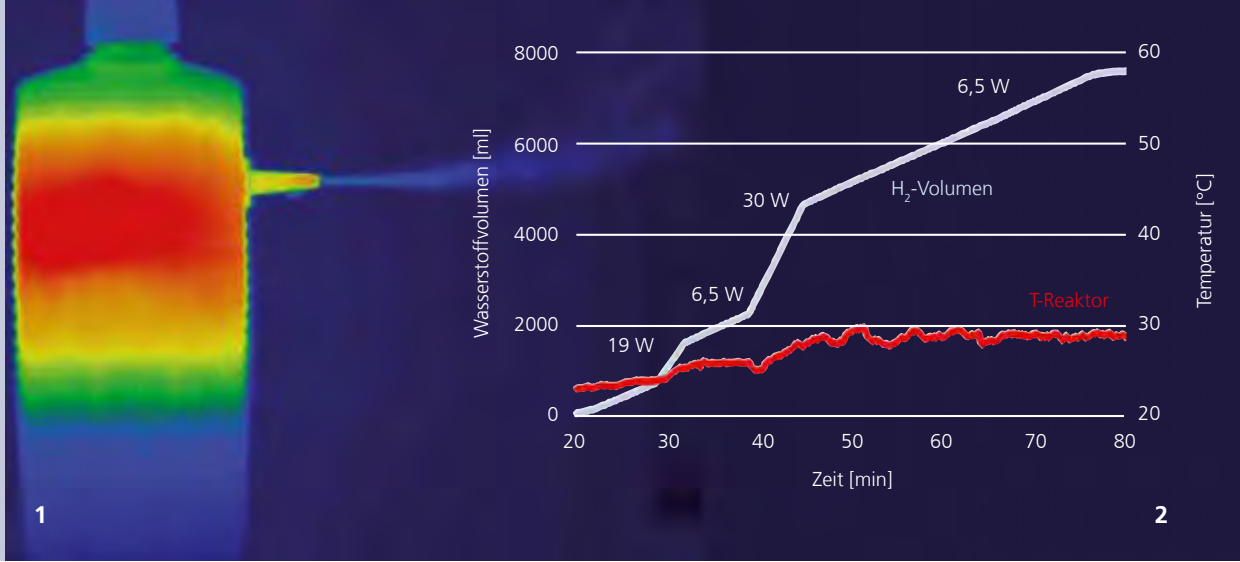
Das Vorhaben wird im Rahmen der Klimaschutzinitiative vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) gefördert.



1 Produktzusammensetzungen aus Laborversuchen im Vergleich. Links: langsame Pyrolyse (Aufheizrate ca. 5 K/min), Mitte: schnelle Pyrolyse (ca. 60 K/min), rechts: Pyrolyse mit anschließendem thermischen und autokatalytischen Cracken von Teeren und Pyrolyseölen bei 900 °C, ohne Vergasungsmittelzugabe. Das Produkt enthält keine kondensierbaren Teere mehr.



2 Biomassevergaser mit innovativer Gasführung und externer Teilverbrennung zur geregelten Temperaturerhöhung in der Crackstufe. Durch die Gasstromteilung nach der Teilverbrennung wird der Druckverlust in der Crackstufe minimiert, bei gleichzeitiger Erhöhung der Verweilzeit der Produktgase. Dadurch können Teere effizient gecrackt werden. Die Redox-Zone gewährleistet einen vollständigen Ausbrand der Biomasse und somit einen hohen Vergasungswirkungsgrad.



ALTERNATIVE WASSERSTOFFQUELLE FÜR PORTABLE BRENNSTOFFZELLENSYSTEME

Wir entwickeln derzeit einen Wasserstoffgenerator auf Basis niedermolekularer, wasserstoffreicher chemischer Verbindungen. Durch eine gezielte Auswahl der im Speichersystem eingesetzten Materialien sind wir in der Lage, drucklose und dennoch hochdichte Wasserstoffspeicher zur Verfügung zu stellen. Beliebige Laufzeiten des Generators werden durch den einfachen Austausch einer Speicherkartusche ermöglicht. Durch angepasste Systemkonzepte zielen wir auf die Versorgung von PEM-Brennstoffzellen mit hochreinem Wasserstoff.

Parag Deshpande, Wolfgang Koch, **Johannes Kostka**,
Tom Smolinka, Christopher Hebling

Brennstoffzellensysteme entwickeln ihre Stärken besonders mit Brennstoffen hoher Energiedichte, die zudem leicht gespeichert, gelagert und transportiert werden können. Ein Schwerpunkt unserer Forschung ist daher die Bereitstellung einer Wasserstoffversorgung basierend auf chemischen Hydriden für PEM-Brennstoffzellen mit diesen Anforderungen.

Zusammen mit unseren Partnern entwickeln wir derzeit ein autarkes Mikroenergiesystem für Anwendungen in einem Leistungsbereich von bis zu 100 W_{el}. Die Wasserstoffgeneratoreinheit des Systems nutzt hierzu ein innovatives Verfahren zur Wasserstofferzeugung und -speicherung mittels chemischer Hydride.

Mit Unterstützung der TU-Freiberg und der Chemetall GmbH entwickelten wir eine spezielle Speicherlösung, die sich durch Flamm- und Hitzeresistenz, sowie extrem niedrige Einsatztemperaturen von bis zu -40 °C auszeichnet. Mithilfe des ebenfalls neu entwickelten Generatorsystems ist es möglich, etwa 5 Gew.-% hochreinen Wasserstoffs aus der Speicherlösung freizusetzen.

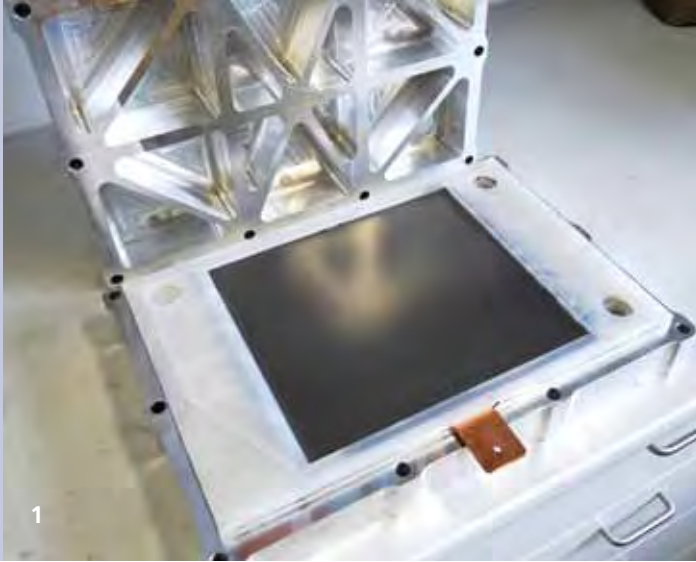
1 Die Infrarotaufnahme eines Wasserstoffreaktors zeigt die Temperaturverteilung während des Betriebs. Die tiefroten Bereiche entsprechen Temperaturen von etwa 80 °C. Der erzeugte Wasserstoffstrom zur Zeit der Aufnahme reicht aus, um ein 70 W_{el} BZ-System zu betreiben.

2 Durch präzise Förderung der Speicherlösung im Reaktor ist es möglich, den Bedarf an hochreinem Wasserstoff für ein BZ-System schnell und präzise einzuregeln. Die Abbildung zeigt die Wasserstofffreisetzungskarakteristik aus einer unserer Generatorentwicklungen für BZ-Systeme mit bis zu 30 W_{el} Ausgangsleistung.

Um eine möglichst hohe Energiedichte für das Gesamtsystem zu erreichen, verfolgen wir einen minimalistischen Systemansatz: Die Kontrolle über die komplexen Reaktionen zur Wasserstofffreisetzung erreichen wir durch angepasste Reaktorgeometrien und Distributionssysteme, die wir derzeit in Zusammenarbeit mit unseren Partnern von der DMT GmbH entwickeln. Ein weiteres Augenmerk gilt dem Einsatz leichter und preisgünstiger Kunststoffmaterialien.

Mithilfe unserer langjährigen Erfahrungen auf dem Gebiet der Wasserstofferzeugung sind wir in der Lage kostengünstige Systeme zu konzipieren, die zukünftig einen Beitrag zur Deckung der hohen Energieanforderungen netzferner und portabler Anwendungen leisten können.

Die Arbeiten werden vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert.



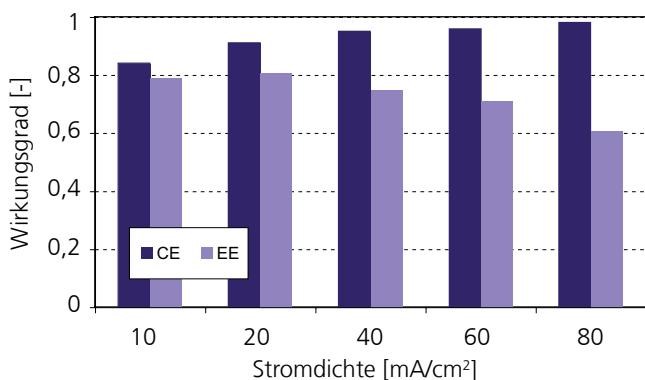
VANADIUM-REDOXFLOW-BATTERIEN FÜR DEZENTRALE ANWENDUNGEN

Durch den hohen Anteil der Energieerzeugung aus regenerativen – und damit stark fluktuierenden – Quellen spielen Energiespeicher eine tragende Rolle zur Entkopplung von Angebot und Nachfrage. Redoxflow-Batterien weisen entscheidene Vorteile insbesondere in dezentralen Anwendungen wie Inselnetzen und Mini-Grids auf. Aus diesem Grund beschäftigen wir uns am Fraunhofer ISE intensiv mit der Stack- und Systementwicklung sowie mit dem Batteriemangement für diese elektrochemischen Energiespeicher.

Martin Dennenmoser, Daniel Frick, Peter Gesikiewicz, Beatrice Hacker, **Tom Smolinka**, Matthias Vetter, Felix Waldkirch, Christopher Hebling

Redoxflow-Batterien speichern Elektrizität chemisch gebunden in Aktivmassen flüssiger Elektrolyte, die für die positive und negative Seite in Tanks gelagert werden. Zur Energieumwandlung werden die Elektrolyte durch die elektrochemische Zelle gepumpt, so dass die aktiven Ionen der Elektrolyte geladen bzw. entladen werden können. Zentrale Komponente einer Redoxflow-Batterie ist daher der Zellstapel als elektrochemische Wandlereinheit. Im Rahmen des Fraunhofer internen Forschungsprojekts »Advanced Energy Storage« entwickeln wir am Institut optimierte Zellstapel für die Anwendung in kleinen Inseln (Einzelhäuser, autonome Inselnetze) oder auch netzgekoppelten Speichersystemen in Verbindung mit Stromerzeugern aus erneuerbaren Energien. Die Aufgaben umfassen Zelldesign, Strömungsführung, Dichtungskonzepte und Elektrolytzuführung. Das Zellstapeldesign muss ferner zur Herstellung in großen Stückzahlen geeignet sein. Durch Materialscreening für Elektroden, Membranen und Bipolarplatten optimieren wir das elektrische Betriebsverhalten der Wandlereinheit. Abb. 1 zeigt einen Zellstapel mit einer aktiven

1 Aufbau eines 700 cm²-Zellstapels bestehend aus 18 Zellen mit einer nominellen Leistung von 1 kW.



2 Coulombscher und energetischer Wirkungsgrad (CE und EE) eines 250 cm²-Mehrzellers (fünf Zellen) in Abhängigkeit von der Stromdichte. Die Wirkungsgrade sind für Lade-Entladezyklen (IU-Ladung und I-Entladung) zwischen 2 % und 98 % SOC ermittelt.

Oberfläche von 700 cm², der mit 18 Zellen eine Leistung von ca. 1 kW aufweist. Abb. 2 zeigt die gemessenen coulombischen und energetischen Wirkungsgrade eines Mehrzellers in Abhängigkeit von der Stromdichte. Auf Zellebene können Zyklen-Wirkungsgrade von 70 bis 80 % erreicht werden.

Ausgehend von diesen Messungen entwickeln wir parallel modellbasierte Regelungsstrategien, die einen energetisch optimierten Betrieb des Redoxflow-Batteriesystems erlauben. Dazu wird ein Komponenten- und Systemmodell einer Redoxflow-Batterie in der Simulationsumgebung Dymola aufgesetzt, mit dessen Hilfe wir Regelungsentwürfe und -algorithmen untersuchen.

QUALITÄT SETZT SICH DURCH



SERVICEBEREICHE

In der boomenden Solarindustrie nehmen Materialprüfung, Zertifizierung und Qualitätssicherung von Komponenten und kompletten Anlagen einen immer wichtigeren Stellenwert ein. In Ergänzung zu unserer Forschung und Entwicklung bieten wir Kunden entsprechende Prüf- und Zertifizierungsverfahren an. Derzeit verfügt das Fraunhofer ISE über vier akkreditierte Testeinrichtungen: TestLab Solar Thermal Systems, TestLab Solar Façades, TestLab PV Modules und das Kalibrierlabor mit dem CalLab PV Cells und CalLab PV Modules. Zu unseren weiteren Servicebereichen zählen eine Testeinrichtung für Lüftungskompaktgeräte, ein Labor für die Qualifizierung von Phasenwechselmaterialien (PCM), ein Teststand für thermisch angetriebene Wärmepumpen sowie ein Batterie-Prüflabor.

Über ihr Dienstleistungsangebot hinaus haben diese Einrichtungen für uns auch eine Forschungsfunktion. Die bei Charakterisierung, Prüfung oder Test gewonnenen Erkenntnisse können eingebettet werden in neue Forschungsthemen – sei es in der Produktentwicklung oder -verbesserung, bei der Weiterentwicklung von Testmethoden und Standards oder bei der Theorieentwicklung, z. B. im Bereich der modellbasierten Alterungsprognose.

Das TestLab Solar Thermal Systems ist seit Mai 2005 durch das Deutsche Akkreditierungssystem Prüfwesen (DAP) akkreditiert. Die Testeinrichtungen sind:

- Solarluftkollektorteststand
- Hagelschlagteststand
- System- und Speicherteststand
- Außenteststand mit Tracker
- Innenteststand mit Solarsimulator (max. Aperturfläche 3 x 3,5 m²)
- Kollektorteststand bis 200 °C

Am TestLab Solar Thermal Systems werden in erster Linie Industrieaufträge zur Prüfung von Kollektoren nach europäischen und internationalen Kollektornormen oder Qualitätslabeln, wie zum Beispiel den »Solar Keymark Scheme

Rules« des CEN durchgeführt. Einzigartig ist die Möglichkeit der Kollektorprüfung bei Temperaturen bis 200 °C. Dies ermöglicht die prüftechnische Erschließung neuer Anwendungen wie Prozesswärme sowie Tests zur Stagnation. Das TestLab Solar Thermal Systems konnte auch 2009 deutlich ausgebaut werden und bietet nun ein noch weiteres Feld an Kooperationsmöglichkeiten (s. Beitrag S. 118 f.).

Das TestLab Solar Façades erhielt die Akkreditierung nach DIN EN ISO/IEC 17025 im Jahr 2006. Es bietet Entwicklern, Herstellern und Planern von Fassaden(-komponenten) und Fenstern, einschließlich Sonnenschutz, ein umfassendes Dienstleistungsangebot zur Charakterisierung von innovativen Bauteilen oder Materialien. Das Leistungsspektrum umfasst insbesondere die Charakterisierung von Komponenten, die auch zur aktiven Solarenergienutzung dienen (z. B. transparente Fassadenkollektoren und BIPV). Neben den akkreditierten Prüfungen werden umfangreiche Dienstleistungen zum Thema Blendschutz und Tageslichtversorgung angeboten (s. Beitrag S. 112 f.).

Geprüft werden im Rahmen der Akkreditierung:

- g-Wert (auch kalorimetrisch)
- Transmissionsgrad: spektral und integral
- Reflexionsgrad: spektral und integral
- U-Wert

Ebenfalls 2006 wurde das TestLab PV Modules für die Bauartzulassung für PV-Module gemäß IEC 61215 und IEC 61646 akkreditiert. Die Kapazitäten und Räumlichkeiten wurden und werden kontinuierlich ausgebaut. Das Ziel der Einrichtung ist die zunehmend bedeutendere Sicherung der Qualität und Zuverlässigkeit von PV-Modulen. Im Rahmen der Kooperation mit dem VDE-Institut übernimmt das Fraunhofer ISE die relevanten Performance-Prüfungen, das VDE-Institut zeichnet für die Sicherheitsprüfung und Zertifizierung nach den gängigen Normen verantwortlich. Neben den Prüfungen für die Bauartzertifizierung werden entwicklungsbegleitende Prüfungen



für Module und -komponenten nach Anforderungen der Hersteller durchgeführt. Das TestLab PV Modules ist eng vernetzt mit dem Kalibrierlabor am Fraunhofer ISE – CallLab PV Cells und CallLab PV Modules. Ebenso kooperiert das TestLab PV Modules mit Modulproduzenten (s. Beitrag S. 110).

Das vierte Labor, mit Akkreditierung seit November 2006, ist unser Kalibrierlabor mit dem CallLab PV Cells und CallLab PV Modules, das zu den weltweit führenden seiner Art zählt. Das Kalibrieren von Solarzellen und Modulen spielt eine wichtige Rolle bei Produktvergleichen und bei der Qualitätssicherung von PV-Anlagen. Die Zellkalibrierung im CallLab PV Cells, das seit Ende 2008 als Kalibrierlabor beim Deutschen Kalibrierdienst (DKD) akkreditiert ist, dient als Referenz für Industrie und Forschung. Die Modulkalibrierung im CallLab PV Modules ist einerseits Bestandteil der Modul-Zertifizierung und dient andererseits der Qualitätssicherung von Anlagen sowie der Unterstützung bei der Entwicklung (s. Beitrag S. 114f.).

Das Batterielabor des Fraunhofer ISE testet und prüft für Hersteller, Systemintegratoren und Anwender Batterien und Batteriesysteme aller gängigen Technologien und Ausführungen. Hierzu stehen frei programmierbare Batterietestgeräte bis 250 kW Leistung zur Verfügung, mit denen frei programmierbare Lade- und Lastgänge gefahren werden können. Das Spektrum reicht von Kleinzellen für den Consumer-Bereich über Batterien für PV-Systeme bis zum Test von großen Batteriepacks für den automobilen Einsatz. Wir führen elektrische und thermische Charakterisierung sowie Alterungsuntersuchungen durch.

Seit 2002 betreibt das Fraunhofer ISE einen Innen-Teststand mit Solarsimulator. Dank der herausragenden Wiederholgenauigkeit können wir gezielte Entwicklungsarbeiten von Kollektorkonstruktionen sehr effizient durchführen. Das TestLab Solar Thermal Systems ist vollständig zur Durchführung von Messungen nach DIN EN 12975-1,2:2006 akkreditiert.

ANSPRECHPARTNER

Qualitätssicherung von PV-Anlagen Dipl.-Ing. Klaus Kiefer Telefon +49 761 4588-5218
klaus.kiefer@ise.fraunhofer.de

Dipl.-Wirt.Ing. Nicole Römer Telefon +49 761 4588-5575
Ertragsgutachten nicole.roemer@ise.fraunhofer.de

Dipl.-Ing. Andreas Steinhüser Telefon + 49 761 4588-5225
Anlagenprüfung andreas.steinhueser@ise.fraunhofer.de

Dipl.-Ing. Anselm Kröger-Vodde Telefon +49 761 4588-5671
Monitoring anselm.kroeger-vodde@ise.fraunhofer.de

CallLab PV Cells Dr. Wilhelm Warta Telefon +49 761 4588-5192
wilhelm.warta@ise.fraunhofer.de

Jutta Zielonka Telefon +49 761 4588-5146
cells@callab.de

Dr. Gerald Siefer Telefon +49 761 4588-5433
Mehrfach- und Konzentratorzellen gerald.siefer@ise.fraunhofer.de

CallLab PV Modules Dipl.-Ing. Frank Neuberger Telefon +49 761 4588-5280
frank.neuberger@ise.fraunhofer.de

Dr. Gerald Siefer Telefon +49 761 4588-5433
Konzentratormodule gerald.siefer@ise.fraunhofer.de

TestLab PV Modules Dipl.-Phys. Dipl.-Ing. (Arch.) Telefon +49 761 4588-5650
Claudio Ferrara claudio.ferrara@ise.fraunhofer.de

TestLab Solar Thermal Systems Dipl.-Ing. (FH) Korbinian Kramer Telefon +49 761 4588-5354
Dipl.-Ing. (FH) Stefan Mehnert testlab-sts@ise.fraunhofer.de

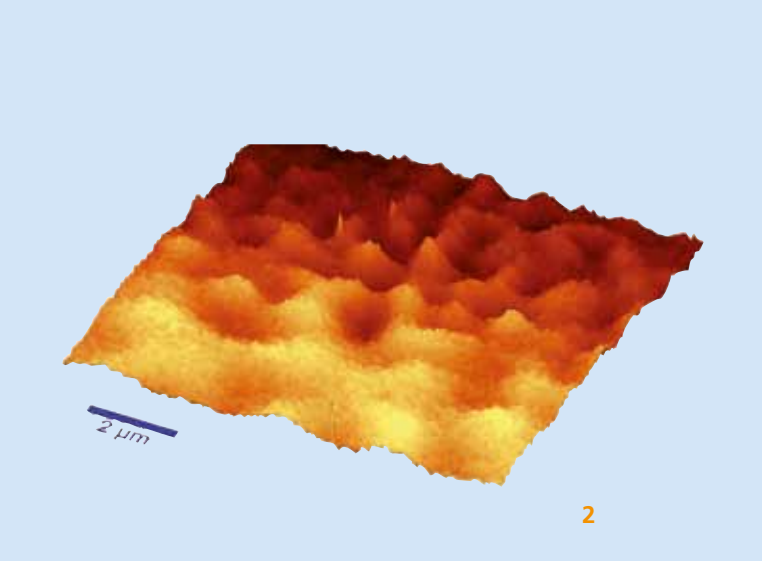
Vermessung von Fassaden und transparenten Bauteilen Dipl.-Phys. Tilmann Kuhn Telefon +49 761 4588-5297
TestLab Solar Façades tilmann.kuhn@ise.fraunhofer.de

Dipl.-Ing. Jan Wienold Telefon +49 761 4588-5133
Tageslichtmessräume jan.wienold@ise.fraunhofer.de

Lüftungsgeräte und Wärmepumpen Thore Oltersdorf Telefon +49 761 4588-5239
Prüfstand thore.oltersdorf@ise.fraunhofer.de

Photovoltaik-Systemkomponenten Dr. Bruno Burger Telefon +49 761 4588-5237
Charakterisierung von Wechselrichtern bruno.burger@ise.fraunhofer.de

Qualifizieren und Optimieren von PV-Systemen Dipl.-Ing. Stephan Lux Telefon +49 761 4588-5419
Batterie-Prüflabor stephan.lux@ise.fraunhofer.de



KAPAZITÄTEN FÜR TESTS VON PV-MODULEN AUSGEBAUT

Nach der Einweihung der neuen Räumlichkeiten des TestLab PV Modules im September 2008 wurden die Kapazitäten 2009 personell und maschinell weiter ausgebaut. Für die Prüfung von PV-Modulen gemäß IEC 61215 und 61646 stehen nun neueste Prüfeinrichtungen zur Verfügung. Dadurch konnten die Prüfzeiten deutlich verkürzt werden.

Holger Ambrosi, Stefan Brachmann, Ilie Cretu, Jürgen Disch, **Claudio Ferrara**, Jakob Grimm, Markus Heck, Michael Köhl, Kerstin Körner-Ruf, Marcus Larisch, Georg Mühlhöfer, Daniel Philip

1 *In der kombinierten UV- und Feuchte-Wärme-Klimakammer können PV-Module einer maximalen UV-Dosis von 250 W/m^2 bei einer maximalen Feuchte von 60 % r. F. und einer maximalen Temperatur von $90 \text{ }^\circ\text{C}$ gealtert und geprüft werden.*

2 *Ramanmikroskopische Falschfarben-Aufnahmen eines PV-Moduls mit Ethylvinylacetat (EVA) als Einkapselungsmaterial. Intensitätsprofil der EVA-CH-Valenzschwingungen über eine Fläche von $10 \mu\text{m} \times 10 \mu\text{m}$.*

Neue und am Fraunhofer ISE neu entwickelte Prüfeinrichtungen ermöglichen schnellere IEC-basierte Prüfungen und Prüfungen nach Kundenvorgaben.

Neben der Vergrößerung der Prüf- und Testkapazitäten und den damit verbundenen kürzeren Prüfzeiten wurden auch neue und verbesserte Prüfeinrichtungen entwickelt. Diese dienen der Untersuchung von kombinierten Effekten, die eine weitere Reduktion des Zeitaufwands und genauere Aussagen über das Langzeitverhalten von PV-Modulen ermöglichen. Eine dieser neu entwickelten Prüfeinrichtungen ist eine UV-Bestrahlungseinheit, die für den kombinierten Betrieb in einer Feuchte-Wärme-Klimakammer entwickelt wurde (Abb. 1).

Die Lichtstabilisierung für Dünnschichtmodule wird in einer Klimakammer mit Dauerlichtsolarsimulator (Klasse BBB) mit kontrollierter, konstanter Modultemperatur durchgeführt. Für neue Dünnschichttechnologien können hier verschiedenste Parameterstudien durchgeführt werden. Alternativ erfolgt diese Lichtstabilisierung auf unseren erweiterten Freibewitterungstestständen. Bei beiden Prüfungen werden mehrmals pro Stunde die Kennlinien und kontinuierlich die Leistung, die Einstrahlung und die Modultemperatur gemessen.

Zur Untersuchung von Modulschädigungen stehen uns zerstörungsfreie Verfahren wie Elektrolumineszenz (an ganzen Modulen) zur Detektion von Zell- oder Zellverbinderschäden, optische Spektroskopie und Ramanspektroskopie (Abb. 2) für die Einkapselungsmaterialien zur Verfügung.



© Pohlen-Solar GmbH

QUALITÄTSSICHERUNG VON PV-KRAFTWERKEN

Um den vorausgesagten Ertrag eines Photovoltaik-Kraftwerks über die gesamte Lebensdauer zu garantieren, ist eine umfassende Qualitätssicherung erforderlich. Das Fraunhofer ISE bietet ein breites Maßnahmenpektrum, um die bestmögliche Qualität über die gesamte Laufzeit der Anlage sicherzustellen.

Klaus Kiefer, Anselm Kröger-Vodde, Frank Neuberger, Nicole Römer, Andreas Steinhüser

Ertragsgutachten

Eine zuverlässige Ertragsprognose kann nur unter Einbeziehung des Standorts und dessen Rahmenbedingungen erzielt werden. Nach Ermittlung aller Daten führen wir eine wissenschaftliche Ertragsanalyse durch. Weiterhin geben wir Hinweise zur:

- Fehleranalyse – Wie genau sind die Ergebnisse?
- Risikoanalyse – Was kann den Ertrag mindern?
- Performance Ratio – Wie gut ist der Systemnutzungsgrad der geplanten Anlage?
- Bewertung der Anlagentechnik – Wie gut sind die Komponenten und deren Dimensionierung?
- Sicherheitshinweise – Wie können Eingangskontrolle, Abnahmemessungen und Monitoring den vorhergesagten Ertrag zusätzlich sichern?

Aktuelle Vergleiche unserer durchgeführten Prognosen mit den Ergebnissen aus dem Monitoring zeigen eine sehr gute Übereinstimmung, die im Rahmen der angegebenen Unsicherheiten liegt.

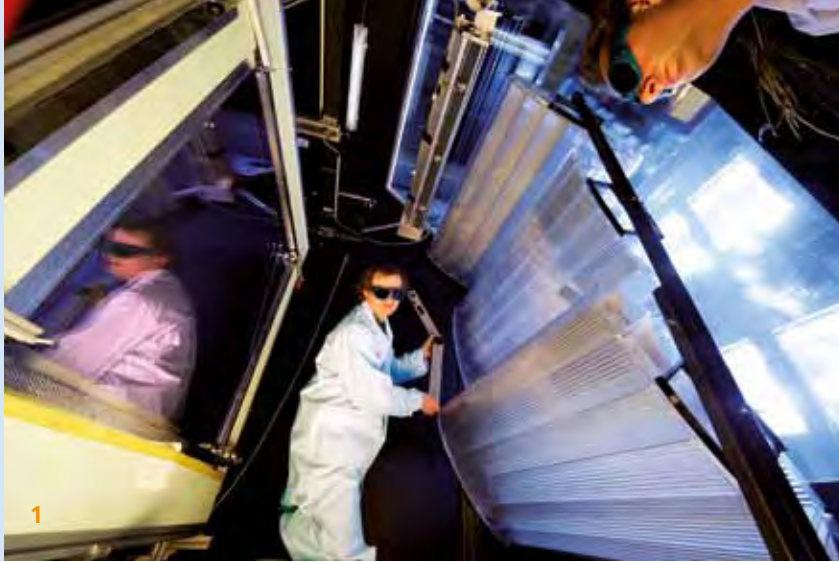
Anlagenprüfung

Messung der Anlagenleistung, Prüfung der Anlagenfunktion, Ermittlung von möglichen Schwachstellen, Prüfung der Einhaltung von technischen Standards sind die Hauptpunkte einer umfangreichen Vorortprozedur. Fehlerhafte Module und Fehler in der Verschaltung des Generators können mittels unserer mobilen Messausrüstung identifiziert werden. Die Ergebnisse werden in einem Prüfbericht dokumentiert. So können rechtzeitig entsprechende Gegenmaßnahmen getroffen und mögliche Ansprüche gegen Systemlieferanten bzw. Hersteller gefordert werden.

Qualitätsmonitoring

Mit unserem weltweiten Monitoring messen wir die wichtigen Parameter der Anlage sowie der Einzelkomponenten und ermitteln das Optimierungspotenzial. Wir vergleichen die Messdaten mit den Prognosedaten und stellen somit mögliche Abweichungen vom optimalen Betrieb der Anlage fest. Durch den Einsatz sehr präziser Messtechnik und die Verwendung von nach internationalen Standards kalibrierten Strahlungssensoren können wir auch kleine Abweichungen sofort erkennen. Die Messtechnik ist unabhängig von der Betriebsüberwachung der jeweiligen Wechselrichterhersteller. Die Kunden erhalten eine übergreifende neutrale Bewertung ihrer Anlage und haben somit eine unabhängige Einschätzung zum Stand der Technik.

1 PV-Anlage (1553 kWp) auf dem Dach des ALDI-Zentral-lagers in Adelsdorf.



VERMESSUNG VON FASSADEN UND TRANSPARENTEN BAUTEILEN

Entwicklern, Herstellern und Planern von Fassaden, Fassadenkomponenten und solaren Komponenten bieten wir im TestLab Solar Façades ein umfassendes Dienstleistungsangebot zur Charakterisierung von innovativen Bauteilen oder Materialien an. Für transparente Bauteile und Sonnenschutzsysteme stehen Speziallabors zur Bestimmung der optischen und thermischen Eigenschaften zur Verfügung. Außerdem verfügen wir über einen Tageslicht-Container und einen Außenprüfstand.

Ulrich Amann, Johannes Hanek, Angelika Helde,
Tilmann Kuhn, Werner Platzer, Jan Wienold,
Helen Rose Wilson

1 Solarkalorimeter am Fraunhofer ISE zur Bestimmung des Gesamtenergiedurchlassgrads (g-Wert).

TestLab Solar Façades

Die Eigenschaften von Verglasungen und Fassadenaufbauten mit komplexer Funktionalität können mit bestehenden Messverfahren wie DIN EN 410 oder DIN EN 13363 nicht ausreichend zuverlässig bestimmt werden. Deshalb haben wir Prüf- und Bewertungsmethoden entwickelt, mit denen wir energetische und lichttechnische Effekte exakt charakterisieren können.

Unsere Apparaturen ermöglichen Messungen an Elementen bis über 1 m² mit folgenden Eigenschaften:

- Lichtstreuung und Lichtumlenkung
- makroskopische Strukturierung und Muster
- winkelselektive Eigenschaften
- zeitveränderliche Eigenschaften wie schaltbare Transparenz (photochrom, thermotrop, elektrochrom)
- Luftführung in der Fassade
- integrierte Photovoltaik

In die Bewertung können auch unterschiedliche Nutzerprofile einbezogen werden. Standardprüfverfahren ergänzen unser Leistungsangebot. Spektrale Eigenschaften von Gläsern, Folien und Oberflächen bestimmen wir für unsere Kunden mit UV-VIS-NIR-Spektrometern.



Beispiele der Apparaturen

- Solarkalorimeter zur Bestimmung des Gesamtenergiedurchlassgrads von transparenten Bauteilen und Sonnenschutz
- Wärmewiderstandsmessungen an Verglasungen nach DIN EN 674
- winkelabhängige Transmissions- und Reflexionsmessungen mit großen Ulbrichtkugeln
- Messung der Winkelverteilung des transmittierten und reflektierten Lichts mit Photogoniometer

Das Labor ist seit 2006 nach DIN EN ISO/IEC 17025 akkreditiert. Dabei handelt es sich um eine flexible Akkreditierung, die auch am Fraunhofer ISE entwickelte und über den Stand der Technik hinausgehende Verfahren für g-Wert, Transmission, Reflexion und U-Wert umfasst. Das Prüflabor darf baurechtlich bei der Bestimmung des bauphysikalischen Kennwerts g (Gesamtenergiedurchlassgrad) einbezogen werden. Die Entwicklung der Prüfverfahren wurde teilweise öffentlich gefördert.

Tageslichtmessräume

Die Tageslichtmessräume bestehen aus zwei identischen Büroräumen. Sie sind drehbar und ermöglichen beliebige Fassadenorientierungen.

- Blendschutzprüfungen
- Nutzerakzeptanzuntersuchungen
- Vergleich der Beleuchtungssituation hinter zwei Fassadensystemen

Fassadenprüfstand

Zusätzlich zu Labormessungen bieten wir die Vermessung von kompletten Fassaden unter realen Klimabedingungen an. Langzeituntersuchungen ermöglichen Aussagen über Stabilität, Schaltverhalten und Belastungen der Fassade. Die Optimierung von Reglern kann experimentell validiert werden.

2 Innenansicht des drehbaren Tageslichtmessraums am Fraunhofer ISE.



1



2

KALIBRIERUNG VON PV- UND KONZENTRATORMODULEN

Die präzise Bestimmung der Leistungsdaten von Modulen spielt sowohl in Forschung und Entwicklung als auch bei der Produktion eine bedeutende Rolle. Sie ist unverzichtbar für Produktionsvergleiche sowie bei der Qualitätssicherung von Photovoltaikanlagen. Modulhersteller lassen ihre Referenzmodule für die Produktion nach internationalen Standards bei uns kalibrieren.

Boris Farnung, Tobias Gandy, Martin Jantsch, Jürgen Ketterer, Klaus Kiefer, Uli Kräling, **Frank Neuberger**, Gerhard Peharz, Peter Raimann, Michael Schachtner, **Gerald Siefer**

1 *Flasher-Labor zur Leistungsmessung von PV-Modulen am Fraunhofer ISE.*

2 *FLATCON® Konzentratormodule montiert auf der Nachführeinheit zur Vermessung der Strom-Spannungskennlinie unter Freilandbedingungen.*

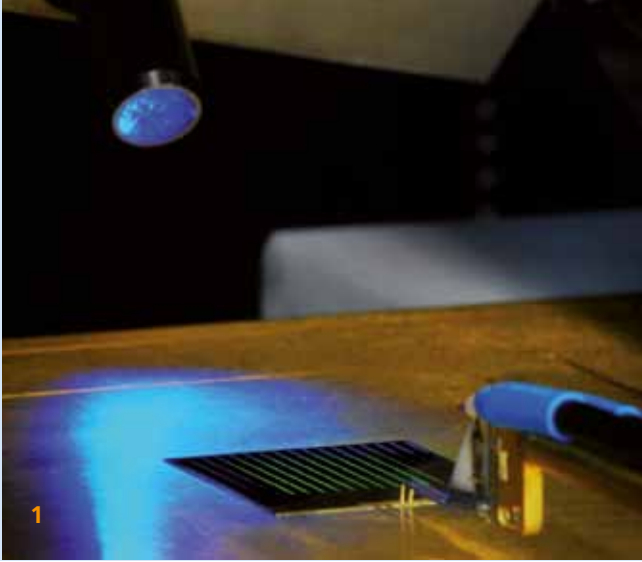
Das Callab PV Modules (www.callab.de) am Fraunhofer ISE zählt zu den weltweit führenden Photovoltaik-Kalibrierlabors. Die Messungen werden mit Sonnensimulatoren der Klasse A gemäß IEC 60904-9 durchgeführt. Über primär kalibrierte Normale wie von der Physikalisch Technischen Bundesanstalt (PTB) kalibrierte Referenzzellen und Normallampen realisieren wir die Rückführbarkeit auf internationale Bezugsskalen. Alle Messmittel und -prozeduren unterliegen einem Qualitätsmanagementsystem. Wir garantieren die Zuverlässigkeit der Ergebnisse durch regelmäßige Messvergleiche mit anderen international anerkannten Laboren. Das gesamte Callab PV Modules ist gemäß ISO/IEC 17025 akkreditiert.

Das Leistungsangebot

- Messung der spektralen Empfindlichkeit an Einzelzellen der Module oder an Referenzmodulen
- Messung der Strom-Spannungskennlinie bei STC (1000 W/m², AM 1,5 und 25 °C)
- Messung der Temperatur- und Einstrahlungsabhängigkeit der Modulparameter
- Ermittlung von Leerlaufspannung, Kurzschlussstrom, Füllfaktor, Nennleistung, -strom und -spannung, sowie Nennwirkungsgrad der Module

Vermessen von Konzentratormodulen

Konzentratormodule werden standardmäßig unter Freilandbedingungen vermessen. Hierzu betreiben wir eine Nachführeinheit mit Messdatenerfassung, sodass neben den Strom-Spannungskennlinien der zu vermessenden Konzentratormodule alle relevanten Einstrahlungs- und Wetterdaten mit aufgenommen werden. Zusätzlich haben wir 2008 einen Labormessplatz zur Vermessung von Konzentratormodulen in Betrieb genommen. Dieser basiert auf der Erzeugung von parallelem Licht mithilfe eines Parabolspiegels mit 2 m Durchmesser.



KALIBRIEREN VON SOLARZELLEN NACH INTERNATIONALEN STANDARDS

Das CallLab PV Cells am Fraunhofer ISE bietet die Vermessung/Kalibrierung von Solarzellen verschiedenster PV-Technologien an und arbeitet national und international mit Firmen und Instituten an der Entwicklung präziser Messungen für neue Technologien. Das CallLab PV Cells (www.callab.de) zählt zu den weltweit führenden Photovoltaik-Kalibrierlabors. Das Kalibrierlabor ist Referenz für Forschung und Industrie, Solarzellenhersteller lassen ihre Referenzsolarzellen für die Produktion nach internationalen Standards bei uns kalibrieren.

Tobias Gandy, Luca Greco, Jochen Hohl-Ebinger, Thomas Hultzsch, Katinka Kordelos, Astrid Ohm, Michael Schachtner, Holger Seifert, **Gerald Siefer**, **Wilhelm Warta**, Jutta Zielonka

Das CallLab PV Cells ist gemäß ISO/IEC 17025 als Kalibrierlabor für die Solarzellenkalibrierung beim Deutschen Kalibrierdienst DKD akkreditiert. In Kooperation mit PV-Herstellern und mit Unterstützung des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMWi) sowie der EU arbeiten wir an der kontinuierlichen Verbesserung der Messunsicherheiten und der Entwicklung neuer Messverfahren.

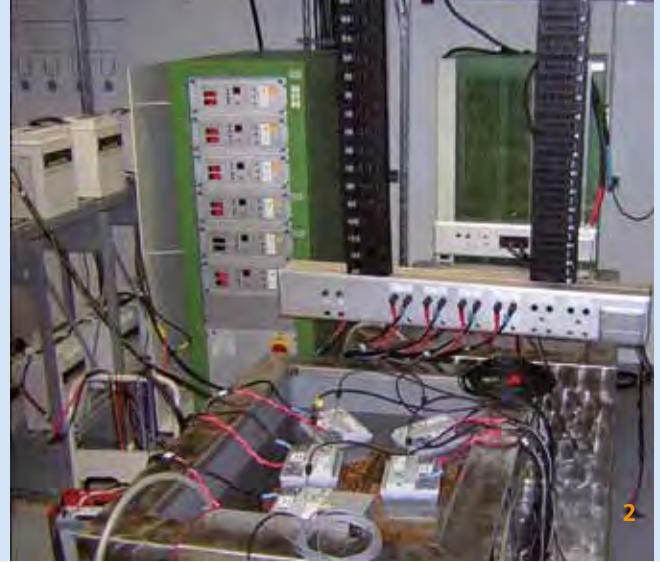
Um die Vergleichbarkeit von verschiedenen Solarzellentechnologien zu gewährleisten wird nun verstärkt an der Entwicklung von Messverfahren für neuartige Solarzellen gearbeitet. Dabei stehen Dünnschicht- und organische Solarzellentechnologien im Vordergrund. Eine besondere Herausforderung stellen Mehrfach-Zellstrukturen dar. Hier können wir vorteilhaft unsere Erfahrungen mit der Kalibrierung von Mehrfachsolarzellen für Weltraum- und terrestrische Konzentratoranwendungen einbringen.

1 Spektrale Empfindlichkeitsmessung einer Mehrfachsolarzelle am Gittermonochromatormessplatz. Zusätzlich zum grünen Testlicht ist blaues Biaslicht zu sehen, mit dem die zu messende Teilzelle in Strombegrenzung gebracht wird.

2 Weltraumsolarzelle bei der Messung der kalibrierten Strom-Spannungskennlinie am Mehrlichtquellensimulator.

Kalibrierung von Mehrfachsolarzellen

- Die spektrale Empfindlichkeit bzw. externe Quanteneffizienz von Mehrfachsolarzellen wird an unserem Gittermonochromatormessplatz durchgeführt, der speziell für die Vermessung von Mehrfachsolarzellen erweitert wurde.
- Die Strom-Spannungskennlinie messen wir mit unserem Mehrlichtquellensimulator unter nahezu beliebigen Normbedingungen, wie z. B. AM0 (ISO 15387) für Weltraum- und AM1.5d (ASTM G173-03) für Konzentratoranwendungen.
- Konzentratorzellen können mit unserem Blitzlichtsimulator bei bis zu 5000facher Konzentration vermessen werden.
- Zusätzlich arbeiten wir an einem Sonnensimulator mit sechs unabhängigen Lichtquellen zur kalibrierten Vermessung von Solarzellen mit bis zu sechs pn-Übergängen.



CHARAKTERISIERUNG UND TESTS VON BATTERIEN UND BATTERIESYSTEMEN

Wir testen und prüfen für Hersteller, Systemintegratoren und Anwender Batterien und Batteriesysteme aller gängigen Technologien und Ausführungen. Hierzu stehen frei programmierbare Batterietestgeräte zur Verfügung, mit denen frei wählbare Lade- und Lastgänge gefahren werden können. Unser Spektrum reicht von Kleinzellen für den Consumer-Bereich bis zum Test von Batteriesystemen für den automobilen Einsatz. Wir führen elektrische und thermische Charakterisierung durch.

Georg Bopp, **Stephan Lux**, Stefan Rinne,
Simon Schwunk, Matthias Vetter

Batterietechnologien

Für solare Systeme und für Starterbatterien in Kraftfahrzeugen werden überwiegend spezialisierte Bleibatterien genutzt. Für tragbare und mobile Anwendungen finden NiCd-, NiMH- und Li-Ionen-Zellen Verwendung. In Hybrid- und Elektrofahrzeugen kommen zumeist Batteriesysteme auf Basis von Lithium-Ionen-Zellen oder NiMH-Zellen mit komplexer Steuerelektronik zum Einsatz. Für alle diese Technologien sind in unserem Batterielabor Testeinrichtungen vorhanden, in denen nach Vorschriften einschlägiger Institutionen (DIN, IEC, PVGAP u. a.) oder nach kundenspezifisch angepassten Algorithmen Tests durchgeführt werden.

Testbedingungen

Wir testen Batterien im Wasserbad oder in der Klimakammer. Für den Test von Lithium-Ionen-Zellen und Batteriesystemen stehen aus Sicherheitsgründen Klimakammern mit inerter Testumgebung zur Verfügung.

1 *In der Klimakammer können Wirkungsgrad und Kapazität sowie das Alterungs- und Ladeverhalten der Batteriespeicher unter variablen Bedingungen getestet werden.*

2 *Bleibatterien für den solaren und den Automobilbereich werden zur Temperierung im Wasserbad vermessen.*

Langzeittests

Für Lebensdauerests von Batterien und -systemen bieten wir auch mehrmonatige Langzeittests an, in denen frei wählbare Lastgänge und Temperaturprofile gefahren werden können.

Automotive-Bereich

Im automobilen Bereich wird aktuell die Elektrifizierung des Antriebsstrangs vorangetrieben. Wichtiger Teil sind hierbei Batteriesysteme, die aus NiMH- bzw. Lithium-Ionen-Zellen samt Steuerelektronik, Kühlung und Schutzgehäuse bestehen. Unser Prüflabor ist in der Lage, Systeme bis zu einer Leistung von 250 kW bei Strömen bis zu 600 A und Spannungen bis zu 1000 V zu vermessen. Dabei können die Prüflinge über einen CAN-Bus angesteuert und mit standardisierten oder frei vorgegebenen Fahrzyklen beaufschlagt werden. Das Batteriesystem ist während dieser Prüfung aus Sicherheitsgründen in einer mit Inertgas versehenen Klimakammer mit zusätzlichem Löschesystem untergebracht.



ERWEITERUNG DER TESTKAPAZITÄTEN FÜR WÄRMEPUMPEN

Unsere langjährige Erfahrung bei der Entwicklung von Wärmepumpen kleiner Leistung haben wir zur Erweiterung unserer Teststandkapazitäten für Wärmepumpen genutzt. Wir können Industriekunden nun die normgerechte Gerätevermessung für unterschiedliche Wärmequellen und -senken kleiner Leistung anbieten und Geräteentwicklungen experimentell sowie durch Systemstudien umfassend begleiten. Unser Fokus ist die systemoptimierte Einbindung von Wärmequellen und die Auslegung von Verdampfern.

Nicolas Jaoutzis, Lukasz Kaczmarek, Hongwei Li, Duc Mac, **Marek Miara, Thore Oltersdorf, Jeannette Wapler**

Seit den 90er Jahren arbeiten wir an der Verbesserung von Wärmeversorgungsanlagen für Nullenergie-, Passivhäuser und ähnliche energieeffiziente Gebäudeklassen.

Ein Schwerpunkt ist die Weiterentwicklung von Kleinstwärmepumpen, zumeist mit Abluft als Wärmequelle. In groß angelegten Monitoring-Projekten für Wärmepumpenanlagen kleiner Leistung – bisher Lüftungs-Kompaktgeräte mit Abluftwärmepumpen, aktuell Wärmepumpenanlagen im Neu- und Altbau – konnten/können wir unsere Kompetenzen bei der Systembeurteilung vorhandener Geräte erheblich ausbauen. Wir haben einen Teststand aufgebaut, mit dem Wärmepumpen im Heizbetrieb und zur Warmwassererzeugung vermessen werden können. Die Messungen erfolgen gemäß DIN EN 14511 und DIN EN 255-3.

Auf unserem Teststand lassen sich die Arbeitsmedien Luft, Sole und Wasser für die Simulation von Wärmequellen und -senken kombinieren. Die Heizleistung zu vermessender

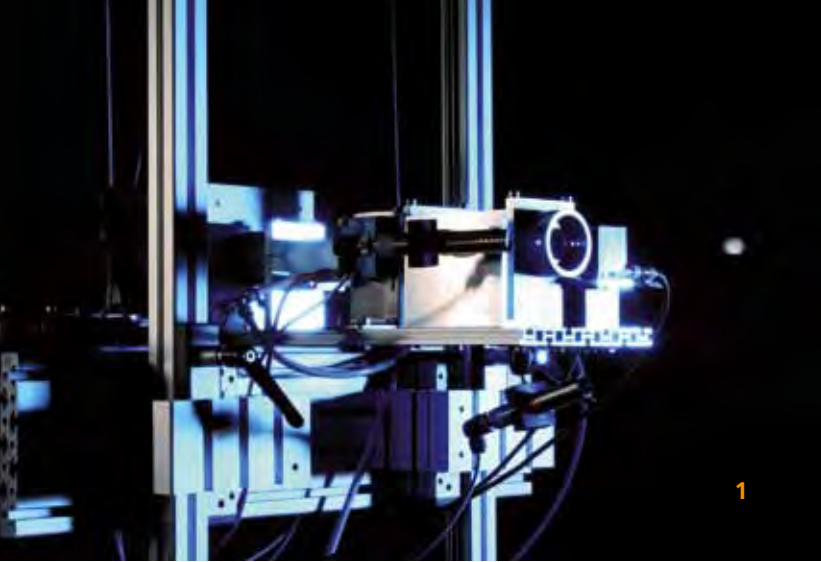
1 Seitenansicht auf Teilkreise zur Konditionierung der hydraulischen Wärmesenken oder Wärmequellen an unserem Teststand. Die Konditionierung erfolgt weitestgehend thermohydraulisch, so dass sogar ein energieeffizienter Teststandbetrieb möglich ist.

2 Frontansicht auf den Verdichtersatz des Verdampfer-Teststands mit dessen Hilfe die am Fraunhofer ISE entwickelten Konzepte für luftbeaufschlagte Verdampfer experimentell untersucht werden.

Wärmepumpen kann dabei bis zu 4 kW bei Luft-Wasser- und bis zu 12 kW bei Sole-Wasser- oder Wasser-Wasser-Anlagen reichen. Geplant ist eine Erweiterung der Kapazitäten für Luft-Wasser-Anlagen ebenfalls bis zu 12 kW Heizleistung.

Zusätzlich zur Beurteilung des Status Quo von Wärmepumpen im Monitoring und auf dem Teststand bieten wir die Begleitung von Geräteentwicklungen an. Unser Fokus liegt dabei im Bereich der Verdampfer für die Kombination verschiedener Wärmequellen sowie die Weiterentwicklung gelöteter Verdampfer, die am Fraunhofer ISE konzipiert wurden und von uns kundenspezifisch ausgelegt und vermessen werden. Die Berücksichtigung der Kombination mit Solarthermieanlagen spielt dabei eine wachsende Rolle.

Unsere umfangreichen Monitoring-Projekte liefern Ergebnisse, deren Qualität der Vermessung auf dem Teststand sehr nahe kommt. So können Potenziale für verbesserte Regelungsstrategien praxisnah erschlossen und umgesetzt werden.



PRÜFEN VON SONNENKOLLEKTOREN UND KOMPLETTSYSTEMEN

Das TestLab Solar Thermal Systems ist eine durch DIN CERTCO, CERTIF und SRCC anerkannte Prüfstelle und durch das Deutsche Akkreditierungsrat Prüfwesen (DAP) voll akkreditiert. Wir prüfen Sonnenkollektoren sowie Komplettsysteme und unterstützen damit unsere Kunden weltweit bei der Entwicklung von solarthermischen Anlagenkomponenten.

Sven Fahr, Andreas Jung, **Korbinian Kramer**, **Stefan Mehnert**, **Rahel Ott**, Jens Richter, Arim Schäfer, Wolfgang Striewe, Gerhard Stryi-Hipp, Christoph Thoma

1 Inhouse konstruierte und gefertigte Hagelschlaganlage.

2 Neuer zweiachsiger Präzisionstracker zur Vermessung von innovativen Kollektortechnologien.

Wir begleiten unsere Kunden bei der Produktzertifizierung, z. B. für das europäische Qualitätslabel Solar Keymark oder das amerikanische Qualitätslabel der Solar Rating and Certification Corporation SRCC. Bei Aufträgen zur Vorbereitung einer solchen Zertifizierung bieten wir auch Produktionsinspektionen vor Ort an.

2009 konnten im TestLab Solar Thermal Systems neue Testmöglichkeiten und eine deutliche Erweiterung der Einrichtung verwirklicht werden.

Durch die Neuinstallation eines weiteren Trackers stehen am Fraunhofer ISE nun zwei zusätzliche Messplätze für die Leistungscharakterisierung nach der stationären Methode zur Verfügung. Außerdem bietet der Tracker deutlich erhöhte Freiheitsgrade und setzt noch präzisere Steuerungs- und Messtechnik ein. Darüber hinaus wurde unser Testangebot um zwei Messplätze nach der quasi-dynamischen Charakterisierungsmethode erweitert. Damit stehen alle derzeit üblichen Messmethoden zur Verfügung. Um dem gesteigerten Interesse an kurzen Testzeiten nachzukommen, aber auch um Testzeiten im Früh- und Spätjahr zu erschließen, wurden außerdem zwei Expositionstracker in Betrieb genommen.



Hagelschlagteststand

Eine weitere Neuerung konnten wir 2009 durch die zweite Generation der inhouse konstruierten Hagelschlaganlage in Betrieb nehmen: Präzisierung der Schussparameter, automatische Anvisierung des Ziels sowie sicherheitstechnische Überarbeitungen wurden damit umgesetzt.

System- und Speicherteststand

Systemuntersuchungen nach DIN EN 12976-1,2:2006 können an bis zu vier vollständig aufgebauten Warmwasseranlagen parallel durchgeführt werden. Das Labor bietet zusätzlich die Möglichkeiten, eine Speichervermessung nach DIN EN 12977-3:2008 durchzuführen.

Innen-Teststand mit Solarsimulator

Seit 2002 betreiben wir im TestLab Solar Thermal Systems einen Solarsimulator. Dank der herausragenden Wiederholgenauigkeit können wir gezielte Entwicklungsarbeiten von Kollektorkonstruktionen sehr effizient durchführen. Auch dieses Labor ist vollständig zur Durchführung von Messungen nach DIN EN 12975-1,2:2006 akkreditiert.

Mitteltemperatur-Teststand bis 200 °C

Seit 2006 nutzen wir unseren Mitteltemperatur-Teststand, mit dem wir Wirkungsgradkennlinien mit Arbeitspunkten bis zu 200 °C bestimmen können. Dadurch sind im TestLab Solar Thermal Systems experimentelle Entwicklungsarbeiten zu Prozesswärmekollektoren möglich.

Solarluftkollektor-Teststand

Wir betreiben auch einen Teststand für Solarluftkollektoren, der sowohl bei Outdoor-Messungen als auch in Kombination mit unserem Solarsimulator eingesetzt wird. Die Solarluftkollektoren werden gemäß DIN EN 12975-1,2:2006 oder ASHRAE 93 geprüft.

3 *Erweiterung der Testfläche mit zwei neuen Expositionstrackern und zwei Messplätzen für die dynamische Messmethode.*

4 *Testeinrichtung zur Vermessung von Speichern nach EN 12977-3.*

GASTWISSENSCHAFTLER

Prof. Viacheslav Andreev (Humboldt-Preisträger)

Ioffe-Institute

St. Petersburg, Russland

23.7.2009–30.9.2009

Arbeitsgebiet: Konzentrator PV

Matteo Balestrieri

University of Bologna

Bologna, Italien

16.10.2009–30.8.2010

Arbeitsgebiet: Analyse von Silicium-Oberflächen mit SPV

BSc.-Eng. Shelley Bambrook

University of New South Wales

Sydney, Australien

1.3.2008–31.1.2009

Arbeitsgebiet: Gebäudetechnik

Priscilla Braun

Universidade Federal de Santa Catarina UFSC

Florianópolis-SC, Brasilien

1.4.2008–31.5.2009

Arbeitsgebiet: Integration von PV-Systemen und Netzurückwirkung

MSc.-ME Anthony R. Florita

University of Nebraska-Lincoln

Omaha, Nebraska, USA

1.6.2008–31.7.2009

Arbeitsgebiet: Gebäudetechnik

Dr. Hao Jin

The Australian National University

Canberra, Australien

7.–11.9.2009

Arbeitsgebiet: Silicium-Solarzellen

MSc.-Ing. Michele Liziero

Politecnico di Milano

Mailand, Italien

16.8.2008–15.3.2009

Arbeitsgebiet: Gebäudetechnik

MSc.-Ing. Graziano Salvalai

Politecnico di Milano

Mailand, Italien

16.7.2008–15.7.2009

Arbeitsgebiet: Gebäudetechnik

Dr. Hele Irene Savin

University of Technology

Espoo, Finnland

16.8.2009–28.2.2010

Arbeitsgebiet: Lichtinduzierte Cu-Defekte in Silicium-Solarzellen

MSc.-Ing. Marta M. Sesana

Politecnico di Milano

Mailand, Italien

1.11.2008–30.4.2009

Arbeitsgebiet: Gebäudetechnik

Dr. Jean St. Pierre

University of South Carolina

Columbia, South Carolina, USA

13.4.–31.7.2009

Arbeitsgebiet: Wassermanagement von Brennstoffzellen

MSc. (Tech.) Heli Talvitie

Helsinki University of Technology

Helsinki, Finnland

1.12.2008–30.11.2009

Arbeitsgebiet: Defektumlagerungen bei Temperaturbehandlungen von Silicium

Dr. Klaus Weber

The Australian National University

Canberra, Australien

3.–10.6.2009

Arbeitsgebiet: Silicium-Solarzellen

MSc. (Sci) Jiang Zhu

Loughborough University

Centre for Renewable Energy System Technologies

Loughborough, Leicestershire, UK

1.–30.11.2009

Arbeitsgebiet: Modellierung von PV-Modulen

MITARBEIT IN GREMIEN

Alliance for Rural Electrification, Mitglied

Bavaria California Technology Center (BaCaTec), Kuratorium

*Brennstoffzellen-Allianz Baden-Württemberg (BzA-BW),
Mitglied und Vorstand*

Bundesverband Kraft-Wärme-Kopplung (B.KWK), Mitglied

*Bundesverband Solarwirtschaft (BSW), Arbeitskreis Ländliche
Elektrifizierung, Mitglied*

CAN in Automation (CiA), Mitglied

*Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik
Informationstechnik in DIN und VDE (DKE)*

- *Komitee 373: »Photovoltaische Solarenergiesysteme«*
- *Komitee 384: »Brennstoffzellen«*
- *Arbeitsgruppe »Portable Fuel Cell Systems«*
- *Ad-hoc-Arbeitskreis »Blitz- und Überspannungsschutz für
Photovoltaik-Anlagen«*

Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen e. V. (DGNB), Mitglied

Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie e. V. (DGS), Mitglied

Deutsche Meerwasserentsalzung e. V. (DME), Mitglied

Deutscher Wasserstoff- und Brennstoffzellen-Verband e. V., Mitglied

Deutsches Institut für Normung e. V. (DIN)

- *Fachnormenausschuss Heiz- und Raumlufttechnik (NHRS AA1.56)
»Solaranlagen«, Mitglied*
- *Fachnormenausschuss Lichttechnik (FNL 6)
»Innenraumbelichtung mit Tageslicht«, Mitglied*
- *Fachnormenausschuss Lichttechnik (FNL 21)
»Spiegelmaterial für die Lichttechnik«, Mitglied*
- *Normenausschuss Bau NABau 00.82.00
»Energetische Bewertung von Gebäuden«, Mitglied*
- *Gemeinschaftsausschuss NABauNHRS
»Energetische Bewertung von Gebäuden«, Mitglied*

EU PV Technology Platform

- *Steering Committee, Stellvertretender Vorsitzender*
- *Working Group »Developing Countries (WG4)«, Mitglied*
- *Working Group »Science, Technology & Applications (WG3)«,
Mitglied*

Europäisches Komitee für Normung

- *CEN TC33/WG3/TG5, Mitglied*
- *CEN TC312/WG1 und WG3, Mitglied*

*European Academy, Institute for Renewable Energy (Bolzano/Italy),
Mitglied des Scientific Board*

European Center for Power Electronics e. V. (ECPE), Mitglied

European H2/FC Technology Platform, Mitglied

*European Photovoltaic Industry Association (EPIA),
Assoziiertes Mitglied*

European Power Electronics and Drivers Association (EPE), Mitglied

*European Renewable Energy Research Centres Agency (EUREC),
Mitglied*

European Solar Thermal Industry Federation (ESTIF), Mitglied

Evergreen Solar, Marlboro, USA, Wissenschaftlicher Beirat

*Expertenkommission der Bundesregierung
»Forschung und Innovation«, Mitglied*

*Fachausschuss Tageslicht der Lichttechnischen Gesellschaft (LitG),
Mitglied*

*Fachinstitut Gebäude-Klima (FGK),
Arbeitskreis »Expertenkreis Klimaschutz«, Mitglied*

Fachverband Transparente Wärmedämmung e. V., Mitglied

FIT Mikroenergie-technik, Mitglied und Leitung

MITARBEIT IN GREMIEN

*FitLicht – Fördergemeinschaft innovative Tageslichtnutzung,
Mitglied*

*Fördergesellschaft Windenergie und andere Erneuerbare Energien
(FGW e. V.), Arbeitskreis Photovoltaik, Mitarbeit*

*ForschungsVerbund Erneuerbare Energien (FVEE),
Mitglied und Sprecher*

Fraunhofer-Allianz Bau, Mitglied

Fraunhofer-Allianz Energie, Geschäftsführung und Sprecher

Fraunhofer-Allianz Nanotechnologie, Mitglied

Fraunhofer-Allianz Optic Surfaces, Mitglied

Fraunhofer-Allianz SysWasser, Mitglied

Fraunhofer-Netzwerk Batterien, Mitglied

Fraunhofer-Netzwerk Intelligente Energienetze, Koordination

Fraunhofer-Netzwerk Windenergie, Mitglied

Fraunhofer Systemforschung Elektromobilität, Mitglied

*Fraunhofer-Themenverbund Oberflächentechnik und Photonik,
Gastmitglied*

Fraunhofer-Themenverbund Werkstoffe und Bauteile, Mitglied

*Freiburger Verein für Arbeits- und Organisationspsychologie,
Vorstand*

Fuel Cell Europe, Mitglied

German Scholars Organization (GSO), Präsident

Global Village Energy Partnership (GVEP), Mitglied

International Advisory Committee of EUPVSEC, Mitglied

International Advisory Committee of SIMC, Mitglied

*International Electrotechnical Commission IEC/TC82/WG7,
Concentrator Modules, Mitglied*

*International Energy Agency IEA, Mitglied:
Solar Heating & Cooling Programme SHCP*

- Task 43 »Solar Rating and Certification Procedure – Advanced
Solar Thermal Testing and Characterization for Certification of
Collectors and Systems«

- Task 33/4 »Solar Heat for Industrial Processes«

- Task 37 »Advanced Housing Renovation«

- Task 38 »Solar Air-Conditioning and Refrigeration«

- Task 39 »Polymeric Materials for Solar Thermal Applications«

*Energy Conservation in Buildings and Community Systems
Programme ECBCS*

- Annex 47 »Cost Effective Commissioning«

Energy Conservation through Energy Storage Programme ECES

- Annex 18 »Transportation of Energy Utilizing Thermal Energy
Storage Technology«

Heat Pump Programme HPP

- Annex 32 »Economical Heating and Cooling Systems for Low
Energy Houses«

- Annex 34 »Thermally Driven Heat Pumps«

*International Organization for Standardization ISO/TC180/SC4,
Mitglied*

International Program Committee of GADEST, Mitglied

*International Science Panel on Renewable Energies (ISPRE),
Vorsitzender*

Intersolar North America, Program Committee, Vorsitz

Kompetenzfeld Photovoltaik NRW, Mitglied

Kompetenznetzwerk Brennstoffzelle NRW, Mitglied

Lichttechnische Gesellschaft, Mitglied

*M&EED Monitoring and Evaluation Working Group by Global
Village Energy Partnership (GVEP) and European Union Energy
Initiative (EUEI), Mitglied*

Mikrosystemtechnik Baden-Württemberg (MST-BW), Beirat

MESSEN

*Scientific Commission to the ENI Science and Technology Award,
Mitglied*

SEMI International, Board of Directors, Mitglied

*SEMI® Standards – Photovoltaic Equipment Interface Specification
Task Force (PV-EIS), (Task Force), Mitglied*

Stiftung Solarenergie, Beirat

Symposium Photovoltaische Solarenergie, Wissenschaftlicher Beirat

VDI-Gesellschaft Technische Gebäudeausrüstung

- *Richtlinienausschuss 6018*
- *Richtlinienausschuss 4650, Blatt 1 und Blatt 2*

VDMA – The German Engineering Federation

- *Productronics Association, Mitglied*
- *Deutsches Flachdisplay-Forum (DFF), Mitglied*
- *Organic Electronics Association (OE-A), Mitglied*

VDMA Brennstoffzellen

Arbeitskreis Industrienetze, Mitglied

Verband zu Energieeffizienz in Gebäuden, Gründungsmitglied

Verein Deutscher Ingenieure (VDI)

VDI-Gesellschaft Energietechnik

- *Fachausschuss »Regenerative Energien« (VDI-FA-RE)*

VMPA – Verband der Materialprüfämter e. V.

- *Sektorgruppe »Türen, Fenster und Glasprodukte«*

Weiterbildungszentrum WBZU »Brennstoffzelle«,

Mitglied im Aufsichtsrat

Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung ZSW,

Kuratorium

*24. Symposium Photovoltaische Solarenergie
Kloster Banz, Bad Staffelstein, 4.–6.3.2009*

Hannover Messe Industrie

Hannover, 20.–24.4.2009

Intersolar

Internationale Fachmesse und

Kongress für Solartechnik

München, 27.–29.5.2009

Hydrogen & Fuel Cells 2009

Conference and Trade Show

Vancouver, 31.5.–3.6.2009

Intersolar North America

San Francisco, USA, 14.–16.7.2009

Clean-Tech Award 2009

Berlin, 10.9.2009

24th European Photovoltaic Solar Energy

Conference and Exhibition

Hamburg, 21.–25.9.2009

f-cell

Stuttgart, 28./29.9.2009

KONGRESSE, TAGUNGEN UND SEMINARE

*Die folgenden Kongresse, Tagungen und Seminare hat
das Fraunhofer ISE 2009 (mit-)organisiert:*

*14. Symposium Licht + Architektur (OTTI)
Kloster Banz, Bad Staffelstein, 12.–13.2.2009
(Tagungsbeirat)*

*6. Workshop SiliconFOREST
Fortschritte in der Entwicklung von Solarzellen-Strukturen und
Technologien
Falkau, 1.–4.3.2009*

*24. Symposium Photovoltaische Solarenergie (OTTI)
Kloster Banz, Bad Staffelstein, 4.–6.3.2009*

*2. Anwenderforum Energetische Sanierung von Gebäuden (OTTI)
Kloster Banz, Bad Staffelstein, 26./27.3.2009
(Tagungsbeirat)*

*19. Symposium Thermische Solarenergie (OTTI)
Kloster Banz, Bad Staffelstein, 6.–8.5.2009
(Tagungsbeirat)*

*Power Electronics for Photovoltaics (OTTI)
München-Dornach, 25./26.5.2009*

*5th PV Industry Forum, Intersolar
München, 25./26.5.2009
(Advisory Board)*

*Small PV Applications (OTTI)
Ulm, 25./26.5.2009
(Tagungsbeirat)*

*34th IEEE Photovoltaic Specialists Conference (PVSC),
Philadelphia, PA, USA, 7.–12.6.2009*

*24th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition
Hamburg, 21.–25.9.2009*

*3rd Conference Solar Air-Conditioning (OTTI)
Palermo, 30.9.–2.10.2009
(Member of the Scientific Committee)*

*International BuildingEQ Symposium
Linking EPBD and Commissioning
Berlin, 30.9.–1.10.2009*

*Fachforum Netzferne Stromversorgung mit Photovoltaik (OTTI)
Freiburg, 6.–8.10.2009*

*Solar Summits Freiburg
International Conference on Renewable and Efficient Energy Use
Solar Buildings
Freiburg, 12.–16.10.2009*

*Workshop MWT Solar Cells and Modules
Freiburg, 14./15.10.2009*

*FVEE-Jahrestagung
Forschen für globale Märkte erneuerbarer Energien
Berlin, 24./25.11.2009*

*4. Internationale Konferenz zur Speicherung Erneuerbarer
Energien IRES
Berlin, 24./25.11.2009
(Tagungsbeirat)*

*Power MEMS
The 9th International Workshop on Micro and Nanotechnology for
Power Generation and Energy Conversion Applications
Washington D.C., USA, 1.–4.12.2009*

PROMOTIONEN

Rainer Becker: »Entwurf und Betrieb von Regelungs- und Monitoringsystemen für dezentrale Energiesysteme auf der Basis von verteilten Embedded Systems«, Universität Kassel, Kassel, 2009

Florian Clement: »Die Metal Wrap Through Solarzelle«, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Freiburg, 2009

Stephan Diez: »Lebensdauerspektroskopie metallischer Defekte in Silicium und Analyse monokristalliner Materialalternativen«, Universität Konstanz, Konstanz, 2009

Francesco Frontini: »Daylight and Solar Control in Buildings General Evaluation and Optimization of a New Angle Selective Glazing Façade«, Politecnico di Milano, Milano, 2009

Dietmar Gerteisen: »Untersuchung des Massentransports in der Brennstoffzelle auf unterschiedlichen Skalenebenen mit Hilfe mathematischer Modellierung«, Universität Konstanz, Konstanz, 2009

Jan Christoph Goldschmidt: »Novel Solar Cell Concepts«, Universität Konstanz, Konstanz, 2009

Filip Granek: »High-Efficiency Back-Contact Back-Junction Silicon Solar Cells«, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Freiburg, 2009

Christina Hildebrandt: »Hochtemperaturstabile Absorberschichten für linear konzentrierende solarthermische Kraftwerke«, Universität Stuttgart, Stuttgart, 2009

Matthias Hörteis: »Fine Line Printed Contacts on Crystalline Silicon Solar Cells«, Universität Konstanz, Konstanz, 2009

Doreen Kalz: »Heating and Cooling Concepts Employing Environmental Energy and Thermo-Active Building Systems for Low-Energy Buildings: System Analysis and Optimization«, Universität Karlsruhe, Karlsruhe, 2009

Stefan Kontermann: »Characterization and Modelling of Contacting Crystalline Silicon Solar Cells«, Universität Konstanz, Konstanz, 2009

Kuno Mayer: »Chemische Ansätze zur Neuordnung des Solarzellenprozesses ausgehend vom Wafering bis hin zur Emitterdiffusion«, Johann Wolfgang Goethe-Universität Frankfurt am Main, Frankfurt, 2009

Nicola Mingirulli: »Fabrication and Characterization of Emitter Wrap Through Solar Cells«, Universität Konstanz, Konstanz, 2009

Marius Peters: »Photonic Concepts for Solar Cells«, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Freiburg, 2009

Lena Schnabel: »Experimentelle und numerische Untersuchung der Adsorptionskinetik von Wasser an Adsorbens-Metallverbundstrukturen«, Technische Universität Berlin, Berlin, 2009

Jan Schöne: »Kontrolle von Spannungsrelaxation und Defektbildung in metamorphen III-V-Halbleiterheterostrukturen für hocheffiziente Solarzellen«, Christian-Albrechts-Universität Kiel, Kiel, 2009

Olivier Stalter: »Inverter-Integrated, Sensorless and Power-Optimized Position Control of a Concentrating Photovoltaic Dual-Axis Tracker«, Grenoble Electrical Engineering G2ELab (INPG), Grenoble, 2009

Catherine Voyer: »Innovative Technologien zur Emittererzeugung für kristalline Silizium-Solarzellen mittels Durchlaufdiffusion«, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Freiburg, 2009

Jan Wienold: »Daylight Glare in Offices«, Universität Karlsruhe, Karlsruhe, 2009

VORLESUNGEN UND SEMINARE

Dr. Thomas Aicher, Dr. Tom Smolinka

»Energieverfahrenstechnik«

Vorlesungen WS 08/09 und WS 09/10

Hochschule Offenburg

Studiengang Elektrotechnik/Informationstechnik^{Plus}

Dr. Stefan Henninger, Dr. Peter Schossig

Module »Research Skills« WS 09/10

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg

Zentrum für Erneuerbare Energien (ZEE)

Studiengang Renewable Energy Management (REM)

Dr. Dietmar Borchert

»Photovoltaik«

Vorlesung SS 09

TFH Georg Agricola zu Bochum

Fachbereich Maschinentechnik

Dipl.-Ing. Sebastian Herkel

»Solare Energiesysteme«

Vorlesung WS 08/09

Staatliche Akademie der Bildenden Künste, Stuttgart

Studiengang Architektur

Prof. Bruno Burger

»Solar-Technologien«

Vorlesung SS 09

Berufsakademie Ravensburg

Studiengang Elektrotechnik-Automatisierungstechnik

Dipl.-Ing. Florian Kagerer

»Solare Energiesysteme«

Vorlesung WS 09/10

Staatliche Akademie der Bildenden Künste, Stuttgart

Studiengang Architektur

Prof. Bruno Burger

»Leistungselektronische Systeme für regenerative Energiequellen«

Vorlesung WS 09/10

Universität Karlsruhe

Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik

Dipl.-Ing. Doreen Kalz

»Klimagerechtes Bauen und Einsatz von Phasenwechselmaterialien«

Vorlesung SS 09

Hochschule Offenburg

Studiengang Versorgungstechnik

Dr. Stefan Glunz

»Photovoltaische Energiekonversion«

Vorlesung SS 09

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg

Technische Fakultät

Dipl.-Ing. Anton Neuhäuser

»Concentrating Solar Power«

Vorlesung WS 09/10

Technische Universität Berlin

Studiengang Global Production Engineering

Dr. Stefan Glunz, Dr. Ralf Preu

»Elective 1 – Photovoltaics Part 1: Theory«

Vorlesung SS 09

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg

Zentrum für Erneuerbare Energien (ZEE)

Studiengang Renewable Energy Management (REM)

Dr. Jens Pfafferoth

»Solares Bauen«

Präsenzveranstaltung SS 09 und WS 09/10

Universität Koblenz-Landau

Fernstudiengang Energiemanagement

Dr. Stefan Glunz, Dr. Werner Platzer, Dr. Ralf Preu,

Dr. Christof Wittwer

»Technology I«

Vorlesung WS 09/10

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg

Zentrum für Erneuerbare Energien (ZEE)

Studiengang Renewable Energy Management (REM)

Dipl.-Ing. Norbert Pfanner

»Solartechnologie«

Vorlesung SS 09

Hochschule Offenburg

Studiengang Elektrotechnik/Informationstechnik^{Plus}

Dr. Werner Platzer

»Elective I – Solar Radiation and Solar Systems«

Vorlesungsmodul SS 09

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg

Zentrum für Erneuerbare Energien (ZEE)

Studiengang Renewable Energy Management (REM)

Dr. Werner Platzer

»Thermische Solarenergie«

Präsenzveranstaltung WS 09/10

Universität Koblenz-Landau

Fernstudiengang Energiemanagement

Dr. Ralf Preu

»Elective 1 – Photovoltaics Part 2: Production Technology«

Vorlesung SS 09

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg

Zentrum für Erneuerbare Energien (ZEE)

Studiengang Renewable Energy Management (REM)

Dr. Ralf Preu, Dr. Christof Wittwer, Dr. Werner Platzer

»Technology I«

Vorlesung WS 08/09

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg

Zentrum für Erneuerbare Energien (ZEE)

Studiengang Renewable Energy Management (REM)

Prof. Dr. Roland Schindler

»Photovoltaik I«

Vorlesung WS 08/09

»Photovoltaik II«

Vorlesung SS 09

Fernuniversität Hagen

Fakultät für Mathematik und Informatik

Fachrichtung Elektrotechnik und Informationstechnik

Dr. Heribert Schmidt

»Photovoltaische Systemtechnik«

Vorlesung SS 09

Universität Karlsruhe

Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik

Prof. Dr. Eicke R. Weber

»Neue Konzepte in der Photovoltaik«

Oberseminar SS 09

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg

Fakultät für Physik und Mathematik

Prof. Dr. Eicke R. Weber, Dr. Uli Würfel

»Photovoltaische Energiekonversion«

Vorlesung SS 09

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg

Fakultät für Physik und Mathematik

Prof. Dr. Eicke R. Weber

»Photovoltaik«

Oberseminar WS 09/10

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg

Fakultät für Physik und Mathematik

Prof. Dr. Eicke R. Weber, Dr. Werner Platzer

»Solarthermie«

Vorlesung WS 09/10

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg

Fakultät für Physik und Mathematik

Prof. Dr. Gerhard Willeke, Priv. Doz. Dr. Giso Hahn

»Halbleitertechnologie und Physik der Solarzelle«

Vorlesung WS 08/09

Universität Konstanz

Fachbereich Physik

PATENTE

ERTEILTE PATENTE

Andreas Schmitz, Christopher Hebling, Bruno Burger, Robert Hahn¹
»Brennstoffzellen-System in Leiterplattenbauweise«
(¹: Fraunhofer-Institut für Zuverlässigkeit und Mikrointegration IZM, Berlin)

Heribert Schmidt, Christoph Siedle, Jürgen Ketterer
»Wechselrichter zum Umwandeln einer elektrischen Gleichspannung in einen Wechselstrom oder eine Wechselspannung«

Andreas Hinsch, Udo Belledin, Ronald Sastrawan, Andreas Georg
»Photoelektrochemisches Solarzellenmodul«

Kuno Mayer, Daniel Kray, Sybille Hopman, Bernd Kolbesen¹
»Verfahren zur Mikrostrukturierung von Festkörperoberflächen«
(¹: Johann Wolfgang Goethe-Universität, Frankfurt am Main)

Stefan Reber, Albert Hurrle, Norbert Schillinger
»Vorrichtung und Verfahren zur kontinuierlichen Gasphasenabscheidung unter Atmosphärendruck und deren Verwendung«

Philipp Ettle, Markus Bergmann, Daniel Kray, Fridolin Haas
»Drahtsäge mit kontrollierbarem Drahtfeld«

Andreas Bett, Joachim Jaus
»Photovoltaisches Modul und dessen Verwendung«

Jan Christoph Goldschmidt, Philipp Löper, Marius Peters
»Solarelement mit gesteigerter Effizienz und Verfahren zur Effizienzsteigerung«

Heribert Schmidt, Bruno Burger
»Wechselrichter«

Michael Oszcipok
»Passive Verdünnungseinheit zur Verdünnung von Brennstoffen«

Bruno Burger, Heribert Schmidt
»Steuerbare Umschaltvorrichtung für ein Solarmodul«

EINGEREICHTE PATENTE

Oliver Schultz-Wittmann, Filip Granek, Martin Hermle, Jan Benick
»Übereinanderliegende Dotierungen zur Optimierung von einseitig kontaktierten Solarzellen«

Florian Clement, Daniel Biro, Michael Menkö, Tim Kubera
»Über den Randbereich verbindbare Solarzelle sowie Verfahren zu deren Herstellung«

Bruno Burger, Heribert Schmidt
»Trennschaltung für Wechselrichter«

Adolf Goetzberger, Michael Procida
»Neues Trägersystem zum Aufbau von Photovoltaik-Freilandanlagen sowie dessen Verwendung (SEIL-System)«

Robert Szolak, Alexander Susdorf, Thomas Aicher
»Vorrichtung und Verdampfung von flüssigen Kraftstoffen und brennbaren Flüssigkeiten«

Ralf Preu, Andreas Grohe, Daniel Biro, Jochen Rentsch, Marc Hofmann, Andreas Wolf, Jan Nekarda
»Struktur und Verfahren zur lokalen Hochdotierung und Strukturierung einer Solarzelle«

Birger Zimmermann, Michael Niggemann, Hans-Frieder Schleiermacher
»Verfahren zur strukturierten Beschichtung von Substraten«

Michael Niggemann, Birger Zimmermann
»Stapelsolarzelle mit reflektierender Zwischenschicht, sowie Anordnung dieser Solarzellen«

Harry Wirth
»Photovoltaisches Modul und Verfahren zu dessen Herstellung«

Markus Büttner
»Verfahren zur Aufschlüsselung des elektrischen Verbrauchs einer Mehrzahl von elektrischen Verbrauchsgeräten und Vorrichtung hierzu«

Kuno Mayer, Daniel Kray
»Verfahren und Vorrichtung zur simultanen Mikrostrukturierung und Passivierung«

Kolja Bromberger, Christian König, Volker Ackermann

»Niedertemperatur-Brennstoffzelle mit integriertem Wassermanagementsystem für den passiven Austrag von Produktwasser«

Matthias Hörteis, Aleksander Filipovic, Christian Seitz

»Aerosol-Drucker, dessen Verwendung und Verfahren zur Herstellung von Linienunterbrechungen bei kontinuierlichen Aerosol-Druckverfahren«

Jan Christoph Goldschmidt, Marius Peters, Martin Hermle, Philipp Löper, Benedikt Bläsi

»Lumineszenzkollektor mit mindestens einer photonischen Struktur mit mindestens einem lumineszenten Material sowie diesen enthaltendes Solarzellenmodul«

Filip Granek, Daniel Kray, Kuno Mayer, Monica Alemán, Sybille Hopman

»Solarzellen mit Rückseitenkontaktierung sowie Verfahren zu deren Herstellung«

Filip Granek, Daniel Kray, Kuno Mayer, Monica Alemán, Sybille Hopman

»Beidseitig kontaktierte Solarzellen sowie Verfahren zu deren Herstellung«

Karl-Heinz Priewasser¹, Daniel Kray, Marius Peters

»Düseninheit, Verfahren zur Herstellung der Düseninheit sowie eine Vorrichtung mit einer Düseninheit«
(¹: DISCO-HI-TEC EUROPE GmbH)

Hans-Martin Henning, Constanze Bongs, Michael Hermann

»Apparat zur Verteilung von Fluiden und zu deren Wärme- und/oder Stoffaustausch«

Gerhard Peharz, Peter Nitz, Thomas Schmidt, Armin Bösch, Joachim Jaus, Andreas Bett

»Solarzellenbaugruppe sowie Solarzellenanordnung«

Kuno Mayer, Ingo Krossing¹, Carsten Knapp¹, Filip Granek, Matthias Meseč, Andreas Rodolfi

»Vorrichtung und Verfahren zur simultanen Mikrostrukturierung und Dotierung von Halbleitersubstraten«
(¹: Albert-Ludwigs-Universität, Freiburg)

Joachim Went

»Druckaustauscher mit Linearantrieb«

Wolfram Kwapil, Markus Glatthaar, Stefan Rein, Daniel Biro

»Verhinderung von Hot Spot-Entwicklung einer Solarzelle im Modul durch Verhinderung von lokalen Feldspitzen«

Wolfgang Guter, Frank Dimroth, Jan Schöne

»Tunneldioden aus spannungskompensierten Verbindungshalbleiterschichten«

Harry Wirth, Hans-Ulrich Wagner¹, Jens Kalmbach², Bernd Hirzler³

»Photovoltaisches Modul mit flächigem Zellverbinder«
(¹: aleo solar AG), (²: Schmidt Technology Systems GmbH), (³: Somont GmbH)

Hans-Martin Henning, Andreas Holm¹

»Verfahren zur selbstständigen Reinigung der Oberfläche von Anlagen zur Solarenergienutzung (Photovoltaik-Modulen, Solarthermieanlagen)«
(¹: Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP, Stuttgart)

Marius Peters, Benedikt Bläsi, Jan Christoph Goldschmidt

»Photovoltaikkonzentratorsystem, Solarzelle und Konzentratorsystem mit einem winkelselektiven Filter als Sekundärkonzentrator«

Marius Peters, Gerhard Peharz, Jan Christoph Goldschmidt, Philipp Löper

»Verfahren zur Realisierung von Up- und Down-Conversion für photovoltaische Konzentratoranwendungen«

Benedikt Bläsi, Marius Peters, Jan Christoph Goldschmidt, Martin Hermle, Hubert Hauser, Pauline Voisin

»Strukturierungskonzept für ein effizientes Light Trapping in Siliciumsolarzellen«

Martin Hermle, Hubert Hauser, Pauline Voisin, Benedikt Bläsi, Marius Peters, Jan Christoph Goldschmidt

»Siliciumsolarzelle mit nanostrukturierter a-Si-Rückseite«

Isolde Reis

»Verfahren zur Qualitätsverbesserung von Wafern sowie Verwendung des Verfahrens«

Harry Wirth

»Vorrichtung zur Konzentrierung und Umwandlung von Solarenergie«

Heribert Schmidt, Werner Roth

»Bypass- und Schutz-Schaltung für Solarmodule«

Evelyn Schmich, Matthias Hörteis, Stefan Glunz

»Herstellung einer defektreichen Kontaktierungsschicht«

Thore Oltersdorf, Nils Paust

»Fluidverteilungselement mit ein- oder mehrphasigen Stoffströmen unter Anwendung von Zentrifugalkräften«

REVIEWED JOURNALS

Aicher, T.; Full, J.; Schaadt, A.

»A Portable Fuel Processor for Hydrogen Production from Ethanol in a 250 W_{el} Fuel Cell System«, in: *Journal of Power Sources*, Vol. 34, No. 19, pp. 8006–8015

Bartsch, J.; Radtke, V.; Schetter, C.; Glunz, S. W.

»Electrochemical Methods to Analyse the Light-Induced Plating Process«, in: *Journal of Applied Electrochemistry*, published online

Benick, J.; Richter, A.; Hermle, M.; Glunz, S. W.

»Thermal Stability of the Al₂O₃ Passivation on p-Type Silicon Surfaces for Solar Cell Applications«, in: *physica status solidi – Rapid Research Letters*, Vol. 7–8, pp. 233–235

Bergmann, A.; Gerteisen, D.; Kurz, T.

»Modelling of CO Poisoning and its Dynamics in HTPEM Fuel Cells«, in: *Fuel Cells – From Fundamentals to Systems*, online available: DOI:10.1002/fuce.200900128

Braun, A.¹; Hirsch, B.¹; Katz, E. A.¹; Gordon, J. M.¹; Guter, W.; Bett, A. W.

»Localized Irradiation Effects on Tunnel Diode Transitions in Multi-Junction Concentrator Solar Cells«, in: *Solar Energy Materials & Solar Cells*, Vol. 93, pp. 1692–1695
(¹: Ben-Gurion University of the Negev, Israel)

Burger, B.; Kranzer, D.; Stalter, O.

»Efficiency Improvement of PV-Inverters with SiC-DMOSFETs«, in: *Materials Science Forum*, Vol. 600-603, pp. 1231-1234

Clement, F.; Menkö, M.; Kubera, T.; Harmel, C.; Hoenig, R.; Wolke, W.; Wirth, H.; Biro, D.; Preu, R.

»Industrially Feasible Multi-Crystalline Metal Wrap Through (MWT) Silicon Solar Cells Exceeding 16 % Efficiency«, in: *Solar Energy Materials & Solar Cells*, Vol. 93, pp. 1051–1055

Clement, F.; Menkö, M.; Kubera, T.; Erath, D.; Hönig, R.; Kwapil, W.; Wolke, W.; Biro, D.; Preu, R.

»High Throughput Via-Metallization Technique for Multi-Crystalline Metal Wrap Through (MWT) Silicon Solar Cells Exceeding 16 % Efficiency«, in: *Solar Energy Materials & Solar Cells*, Vol. 94, No. 1, pp. 51–56

Croze, V.¹; Ettingshausen, F.¹; Melke, J.; Soehn, M.²; Stuermer, D.¹; Roth, C.¹

»The Use of In-Situ X-Ray Absorption Spectroscopy in Applied Fuel Cell Research«, in: *Journal of Applied Electrochemistry*, online available: DOI:10.1007/s10800-009-9919-x

(¹: Institute for Materials Science, TU Darmstadt, Germany)

(²: Institute for Electrical Power Systems, TU Darmstadt, Germany)

Fell, A.; Mayer, K.; Hopman, S.; Kray, D.

»Potential and Limits of Chemical Enhanced Deep Cutting of Silicon with a Coupled Laser-Liquid Jet«, in: *Journal of Laser Applications*, Vol. 21, No. 1, pp. 27–31

Georg, Anneke; Georg, Andreas

»Electrochromic Device with a Redox Electrolyte«, in: *Solar Energy Materials and Solar Cells*, Vol. 93, No. 8, pp. 1329–1337

Gerteisen, D.; Heilmann, T.; Ziegler, C.

»Modeling the Phenomena of Dehydration and Flooding of a PEM Fuel Cell«, in: *Journal of Power Sources*, Vol. 187, Issue 1, pp. 165–181

Giesecke, J. A.; Kasemann, M.; Warta, W.

»Determination of Local Minority Carrier Diffusion Lengths in Crystalline Silicon from Luminescence Images«, in: *Journal of Applied Physics*, Vol. 106, Issue 1, p. 014907

Giesecke, J. A.; Kasemann, M.; Schubert, M. C.; Würfel, P.; Warta, W.

»Separation of Local Bulk and Surface Recombination in Crystalline Silicon from Luminescence Reabsorption«, in: *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, Vol. 18, Issue 1, pp. 10–19

Glatthaar, M.; Giesecke, J.; Kasemann, M.; Haunschild, J.; The, M.; Warta, W.; Rein, S.

»Spatially Resolved Determination of the Dark Saturation Current of Silicon Solar Cells from Electroluminescence Images«, in: *Journal of Applied Physics*, Vol. 105, No. 11, Article ID 113110

Glatthaar, M.; Haunschild, J.; Kasemann, M.; Giesecke, J.; Warta, W.; Rein, S.

»Spatially Resolved Determination of Dark Saturation Current and Series Resistance of Silicon Solar Cells«, in: *physica status solidi – Rapid Research Letters*, Vol. 4, No. 1, pp. 13–15

Goldschmidt, J. C.; Peters, M.; Hermle, M.; Glunz, S. W.

»Characterizing the Light Guiding of Fluorescent Concentrators«, in: *Journal of Applied Physics*, Vol. 105, No. 11, Article ID 114911

Goldschmidt, J. C.; Peters, M.; Bösch, A.; Helmers H.; Dimroth, F.; Glunz, S. W.; Willeke, G.

»Increasing the Efficiency of Fluorescent Concentrators«, in: *Solar Energy Materials & Solar Cells*, Vol. 93, pp. 176–182

González-Díaz, B.¹; Guerrero-Lemus, R.^{1,2}; Díaz-Herrera, B.¹; Marrero, N.¹; Méndez-Ramos, J.^{3,4}; Borchert, D.⁴

»Optimization of Roughness, Reflectance and Photoluminescence for Acid Textured mc-Si Solar Cells Etched at Different HF/HNO₃ Concentrations«, in: *Material Science and Engineering B*, Vol. 159–160, pp. 295–298

(¹: Universidad de La Laguna, Departamento de Física Básica, La Laguna, SIC de Tenerife, Spain)

(²: Fundación de Estudios de Economía Aplicada, Madrid, Spain)

(³: Universidad de La Laguna, Departamento de Física Fundamental, Experimental Electrónica y Sistemas, SIC de Tenerife, Spain)

(⁴: Labor und Servicecenter LSC, Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE, Gelsenkirchen, Germany)

Gundel, P.; Martínez-Criado, G.; Schubert, M.C.; Sans, J.A.; Kwapil, W.; Warta, W.; Weber, E. R.

»X-Ray Excited Optical Luminescence from Crystalline Silicon«, in: *physica status solidi – Rapid Research Letters*, Vol. 3, No. 9, pp. 275–277

Gundel, P.; Schubert, M. C.; Warta, W.

»Simultaneous Stress and Defect Luminescence Study on Silicon«, in: *physica status solidi – Rapid Research Letters*, Vol. 1–6

Gundel, P.; Schubert, M. C.; Kwapil, W.; Schön, J.¹; Reiche, M.²; Savin, H.³; Yil-Koski, M.³; Sans Tresserras, J. A.⁴; Martínez-Criado, G.⁴; Seifert, W.⁵; Warta, W.

»Micro-Photoluminescence Spectroscopy on Single Metal Precipitates in Silicon«, in: *physica status solidi – Rapid Research Letters*, Vol. 3, No. 7–8, pp. 230–232

(¹: Freiburg Materials Research Center, University of Freiburg, Freiburg, Germany)

(²: Max Planck Institute for Microstructure Physics, Halle, Germany)

(³: Helsinki University of Technology, TKK, Finland)

(⁴: ESRF, Grenoble Cedex, France)

(⁵: IHP/IBTU Joint Lab, BTU Cottbus, Cottbus, Germany)

Guter, W.; Schöne, J.; Philipps, P.; Steiner, M.; Siefer, G.; Wekkeli, A.; Welsler, E.; Oliva, E.; Bett, A. W.; Dimroth, F.

»Current-Matched Triple-Junction Solar Cell Reaching 41.1 % Conversion Efficiency Under Concentrated Sunlight«, in: *Applied Physics, Letter* 94, Article ID 223504

Haunschild, J.; Glatthaar, M.; Kasemann, M.; Rein, S.; Weber, E. R.

»Fast Series Resistance Imaging for Silicon Solar Cells Using Electroluminescence«, in: *physica status solidi – Rapid Research Letters*, Vol. 3, No. 7–8, pp. 227–229

Henninger, S. K.; Habib, H.¹; Janiak, C.¹

»MOFs as Novel Adsorbents for Low Temperature Heating and Cooling Applications«, in: *Journal of the American Chemical Society*, Vol. 131, No. 8, pp. 2776–2777

(¹: University of Freiburg, Freiburg, Germany)

Hinsch, A.; Brandt, H.; Veurman, W.; Hemming, S.; Nittel, M.; Würfel, U.; Putyra, P.¹; Lang-Koetz, C.²; Stabe, M.²; Beucker, S.³; Fichter, K.³

»Dye Solar Modules for Facade Applications: Recent Results from Project ColorSol«, in: *Solar Energy Materials & Solar Cells*, Vol. 93, 2009, pp. 820–824

(¹: Freiburg Materials Research Center, University of Freiburg, Germany)

(²: Fraunhofer Institute for Industrial Engineering IAO, Stuttgart, Germany)

(³: Borderstep Institute for Innovation and Sustainability, Berlin, Germany)

Hofmann, M.; Janz, S.; Schmidt, C.; Kambor, S.; Suwito, D.; Kohn, N.; Rentsch, J.; Preu, R.; Glunz, S. W.

»Recent Developments in Rear-Surface Passivation at Fraunhofer ISE«, in: *Solar Energy Materials and Solar Cells*, Vol. 93, No. 6–7, pp. 1074–1078

Hohl-Ebinger, J.; Warta, W.

»Uncertainty of the Spectral Mismatch Correction Factor in STC Measurements on Photovoltaic Devices«, in: *Progress in Photovoltaics*

REVIEWED JOURNALS

- Hopman, S.; Fell, A.; Mayer, K.; Mesec, M.; Rodofili, A.; Kray, D.
»Comparison of Laser Chemical Processing and LaserMicroJet for Structuring and Cutting Silicon Substrates«, in: *Applied Physics A: Materials Science & Processing*, Vol. 95, No. 3, pp. 857–866
- Hörteis, M.; Gutberlet, T.^{1,2}; Reller, A.¹; Glunz, S. W.
»High Temperature Contact Formation on n-Type Silicon Basic Reactions and Contact Model for Seed Layer Contacts«, in: *Advanced Functional Materials*, in print, online available
(¹: Universität Augsburg, Lehrstuhl für Festkörperchemie, Augsburg, Germany)
(²: now with: Centre for Building Materials at TU Munich AG4 Chemie, Munich, Germany)
- Hülsmann, P.; Philipp, D.; Köhl, M.
»Measuring Temperature-Dependent Water Vapour and Gas Permeation Through High Barrier Films«, in: *Review of Scientific Instruments*, Vol. 80, Article ID 113901
- Jandieri, K.¹; Baranovskii, S. D.; Stolz, W.; Gebhard, F.; Guter, W.; Hermle, M.; Bett, A. W.
»Fluctuations of the Peak Current of Tunnel Diodes in Multi-Junction Solar Cells«, in: *Journal of Physics D: Applied Physics*, Vol. 42, pp. 155101–155109
(¹: Department of Physics and Material Sciences Center, Philipps University Marburg, Germany)
- Kalz, D.; Pfafferoth, J.; Herkel, S.
»Building Signatures: A Holistic Approach to the Evaluation of Heating and Cooling Concepts«, in: *Building & Environment*, Vol. 45, No. 3, pp. 632–646
- Kalz, D.; Herkel, S.; Wagner, A.¹
»The Impact of Auxiliary Energy on the Efficiency of the Heating and Cooling System: Monitoring of Low-Energy Buildings«, in: *Energy and Buildings*, Vol. 41, No. 10, pp. 1019–1030
(¹: University of Karlsruhe, Department of Architecture, Karlsruhe, Germany)
- Kalz, D.; Pfafferoth, J.; Herkel, S.; Wagner, A.¹
»Building Signatures Correlating Thermal Comfort and Low-Energy Cooling: In-Use Performance«, in: *Building Research & Information*, Vol. 37, No. 4, pp. 413–432
(¹: University of Karlsruhe, Department of Architecture, Karlsruhe, Germany)
- Kalz, D. E.; Wienold, J.; Fischer, M.; Cali, D.
»Novel Heating and Cooling Concept Employing Rainwater Cisterns and Thermo-Active Building Systems for a Residential Building«, in: *Applied Energy*, Vol. 87, No. 2, pp. 650–660
- Kasemann, M.; Walter, B.; Warta, W.
»Reliable Hot-Spot Classification in 10 Milliseconds Using Ultra-Fast Lock-In Thermography«, in: *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, Vol. 17, pp. 441–450
- Knorz, A.; Peters, M.; Grohe, A.; Harmel, C.; Preu, R.
»Selective Laser Ablation of SiN_x Layers on Textured Surfaces for Low Temperature Front Side Metallizations«, in: *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, Vol. 17, pp. 127–136
- Kontermann, S.; Hörteis, M.; Kasemann, M.; Grohe, A.; Preu, R.; Trupke, T.
»Physical Understanding of the Behaviour of Silver Thick-Film Contacts on N-Type Silicon Under Annealing Conditions«, in: *Solar Energy Materials & Solar Cells*, Vol. 93, pp. 1630–1635
- Kontermann, S.; Hörteis, M.; Ruf, A.; Feo, S.; Preu, R.
»Spatially Resolved Contact-Resistance Measurements on Crystalline Silicon Solar Cells«, in: *physica status solidi – Rapid Research Letters*, No. 1–6, pp. 2866–2871
- Koschikowski, J.; Wieghaus, M.; Rommel, M.; Ortin, V. S.¹; Suarez, B. P.¹; Betancort Rodriguez, J. R.¹
»Experimental Investigations on Solar Driven Stand-Alone Membrane Distillation Systems for Remote Areas«, in: *Desalination*, Vol. 248, No. 1–3, pp. 125–131
(¹: Instituto Tecnológico de Canarias, Santa Lucia, Las Palmas, Spain)
- Kranzer, D.; Burger, B.; Navarro, N.; Stalter, O.
»Applications of SiC-Transistors in Photovoltaic Inverters«, in: *Materials Science Forum*, Vol. 615–617, pp. 895–898

Kray, D.; McIntosh, K. R.

»Analysis of Ultrathin High-Efficiency Silicon Solar Cells«, in: *physica status solidi – Rapid Research Letters*, 206, No. 7, pp. 1647–1654

Kray, D.; McIntosh, K. R.

»Analysis of Selective Phosphorous Laser Doping in High-Efficiency Solar Cells«, in: *IEEE Transactions on Electron Devices*, Vol. 56, No. 8, pp. 1645–1650

Künle, M.; Hartel, A.; Janz, S.; Ebil, O.¹; Nickel, K.-G.²

»Si-Rich SiC Thin Films: Structural and Optical Transformations During Thermal Annealing«, in: *Thin Solid Films*
(¹: Eberhard-Karls-Universität, Institute for Applied Physics, Tübingen, Germany)

(²: Eberhard-Karls-Universität, Institute of Geoscience, Applied Mineralogy, Tübingen, Germany)

Kwapil, W.; Gundel, P.; Schubert, M. C.; Heinz, F. D.; Warta, W.; Weber, E. R.; Goetzberger, A.; Martinez-Criado, G.¹

»Observation of Metal Precipitates at Pre-Breakdown Sites in Multicrystalline Silicon Solar Cells«, in: *Applied Physics Letters*, Vol. 95, Article ID 232113
(¹: ESRF, Grenoble Cedex, France)

Kwapil, W.; Kasemann, M.; Gundel, P.; Schubert, M. C.; Warta, W.; Bronsveld, P.¹; Coletti, G.¹

»Diode Breakdown Related to Recombination Active Defects in Block-Cast Multicrystalline Silicon Solar Cells«, in: *Journal of Applied Physics*, Vol. 106, Article ID 063530
(¹: Energy Research Centre of the Netherlands (ECN), Petten, The Netherlands)

Melke, J.; Schoekel, A.¹; Dixon, D.¹; Cremers, C.²; Ramaker, D. E.³; Roth, C.¹

»Ethanol Oxidation on Carbon-Supported Pt, PtRu and PtSn Catalysts Studied by Operando X-Ray Absorption Spectroscopy«, in: *Journal of Physical Chemistry C*
(¹: Technische Universität Darmstadt, Institute for Materials Science, Darmstadt, Germany)

(²: Fraunhofer Institute for Chemical Technology ICT, Pfinztal, Germany)

(³: The George Washington University, Department of Chemistry, Washington, D.C., USA)

Peharz, G.; Siefert, G.; Bett, A. W.

»A Simple Method for Quantifying Spectral Impacts on Multi-Junction Solar Cells«, in: *Solar Energy*, 83, pp. 1588–1598

Peters, M.; Goldschmidt, J. C.; Löper, P.; Bläsi, B.; Gombert, A.

»The Effect of Photonic Structures on the Light Guiding Efficiency of Fluorescent Concentrators«, in: *Journal of Applied Physics*, Vol. 105, p. 014909, 13.1.2009

Peters, M.; Goldschmidt, C.; Kirchartz, T.; Bläsi, B.

»The Photonic Light Trap – Improved Lighttrapping in Solar Cells by Angularly Selective Filters«, in: *Solar Energy Materials and Solar Cells*, Vol. 93, No. 10, pp. 1721–1727

Pysch, D.; Ziegler, J.; Becker, J.-P.; Suwito, D.; Janz, S.; Glunz, S. W.; Hermle, M.

»Stretched-Exponential Increase in the Open-Circuit Voltage Induced by Thermal Annealing of Amorphous Silicon-Carbide Heterojunction Solar Cells«, in: *Applied Physics Letters*, Vol. 94, p. 093510

Rauer, M.; Schmiga, C.; Hermle, M.; Glunz, S. W.

»Effectively Surface-Passivated Aluminum-Doped p⁺ Emitters for n-type Silicon Solar Cells«, in: *physica status solidi – Rapid Research Letters*, online available: DOI:10.1002/pssa.200925507

Richter, T.^{1,2,3}; Stelzl, F.; Schulz-Gericke, J.; Kerscher, B.³; Würfel, U.; Niggemann, M.; Ludwigs, S.^{1,2,3}

»Room Temperature Vacuum-Induced Ligand Removal and Patterning of ZnO Nanoparticles: from Semiconducting Films Towards Printed Electronics«, in: *Journal of Materials Chemistry*, online available: DOI:10.1039/b916778c

(¹: Freiburger Materialforschungszentrum (FMF), Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Freiburg, Germany)

(²: Freiburg Institute for Advanced Studies, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Freiburg, Germany)

(³: Institut für Makromolekulare Chemie, Freiburg, Germany)

Rosenits, P.; Roth, T.; Warta, W.; Reber, S.; Glunz, S. W.

»Determining the Excess Carrier Lifetime in Crystalline Silicon Thin-Films by Photoluminescence Measurements«, in: *Journal of Applied Physics*, Vol. 105, p. 053714

REVIEWED JOURNALS

Rosenits, P.; Roth, T.; Warta, W.; Glunz, S. W.

»Influence of Different Excitation Spectra on the Measured Carrier Lifetimes in Quasi-Steady-State Photoconductance Measurements«, in: *Solar Energy Materials and Solar Cells*

Saint-Cast, P.; Kania, D.; Hofmann, M.; Benick, J.; Rentsch, J.; Preu, R.

»Very Low Surface Recombination Velocity by High Rate Plasma-Enhanced Chemical Vapor Deposited Aluminium Oxide«, in: *Applied Physics Letters*, Vol. 95, pp. 151502-1-3

Schick Tanz, M.; Nuñez, T.

»Modelling of an Adsorption Chiller for Dynamic System Simulation«, in: *International Journal of Refrigeration*, Vol. 32, pp. 588–595

Schubert, J.; Oliva, E.; Dimroth, F.; Guter, W.; Loeckenhoff, R.; Bett, A. W.

»High-Voltage GaAs Photovoltaic Laser Power Converters«, in: *IEEE Transactions on Electron Devices*, Vol. 56, No. 2, pp. 170–175

Schubert, M. C.; Kerler, M. J.; Warta, W.

»Influence of Heterogeneous Profiles in Carrier Density Measurements with Respect to Iron Concentration Measurements in Silicon«, in: *Journal of Applied Physics*, Vol. 105, p. 114903

Shimpalee, S.¹; Ohasi, M.¹; Van Zee, J. W.¹; Ziegler, C.²;

Stoekmann, C.; Sadeler, C.; Hebling, C.

»Experimental and Numerical Studies of Portable PEMFC Stack«, in: *Electrochimica Acta*, Vol. 54, pp. 2899–2911

(¹: University of South Carolina, Columbia, USA)

(²: Universität Freiburg, Institut für Mikrosystemtechnik Freiburg (IMTEK), Freiburg, Germany)

Voyer, C.¹; Buettner, T.; Bock, R.²; Biro, D.; Preu, R.

»Microscopic Homogeneity of Emitters Formed on Textured Silicon Using In-Line Diffusion and Phosphoric Acid as the Dopant Source«, in: *Solar Energy Materials & Solar Cells*, Vol. 93, pp. 932–935

(¹: Centrotherm Photovoltaics Technology GmbH, Konstanz, Germany)

(²: Institute for Solar Energy Research in Hameln/Emmerthal (ISFH), Germany)

Wille-Hausmann, B.; Erge, T.; Wittwer, C.

»Decentralised Optimisation of Cogeneration in Virtual Power Plants«, in: *Solar Energy CISBAT 2007 Special Issue*, pp. 1–8, online available: DOI:10.1016/j.solener.2009.10.009

Ziegler, C.¹; Gerteisen, D.

»Validity of Two-Phase PEM Fuel Cell Models with Respect to the GDL«, in: *Journal of Power Sources*, Vol. 188, pp. 184–191
(¹: Department of Microsystems Engineering, University of Freiburg, Freiburg, Germany)

Zimmermann, B.; Würfel, U.; Niggemann, M.

»Longterm Stability of Efficient Inverted P3HT:PCBM Solar Cells«, in: *Solar Energy Materials and Solar Cells*, Vol. 93, No. 4, pp. 491–496

BÜCHER UND BEITRÄGE ZU BÜCHERN

Alink, R.; Oszcipok, M.¹

»Fuel Cells – Proton-Exchange Membrane Fuel Cells – Freeze Operational Conditions«, in: *Encyclopedia of Electrochemical Power Sources*, pp. 931–940, ISBN-13: 978-0-444-52093-7
IISBN-10: 0-444-52093-7

(¹: Nucellsys GmbH, Germany)

Bett, A.

»Konzentrator-Photovoltaik mit hocheffizienten III-V-Solarzellen«, Chapter 4, in: *Erneuerbare Energien – Jobmotor für Erfolg und Karriere*, Hrsg. Wolf D. Franke, Frankfurter Allgemeine Buch, pp. 172–176, ISBN 978-3-89981-215-2

Biro, D.

»PV-TEC – Eine Forschungsplattform für Industriesolarzellen«, Chapter 4, in: *Erneuerbare Energien – Jobmotor für Erfolg und Karriere*, Hrsg. Wolf D. Franke, Frankfurter Allgemeine Buch, pp. 162–166, ISBN 978-3-89981-215-2

Ebert, G.

»Die Zukunft der Mobilität ist elektrisch«, Chapter 5, in: *Erneuerbare Energien – Jobmotor für Erfolg und Karriere*, Hrsg. Wolf D. Franke, Frankfurter Allgemeine Buch, pp. 250–256, ISBN 978-3-89981-215-2

Glunz, S.

»Hocheffiziente Siliciumsolarzellen – Vom Labor in die Fertigung«, Chapter 4, in: *Erneuerbare Energien – Jobmotor für Erfolg und Karriere*, Hrsg. Wolf D. Franke, Frankfurter Allgemeine Buch, pp. 167–171, ISBN 978-3-89981-215-2

Gombert, A.¹; Bläsi, B.

»The Moth-Eye Effect: From Fundamentals to Commercial Exploitation«, in: *Functional Properties of Bio-Inspired Surfaces*, Ed. Favret, E. A.; Fuentes, N. O., World Scientific Publishing, 2009, pp. 79–102, ISBN 978-981-283-701-1

(¹: Concentrix Solar GmbH, Freiburg, Germany)

Groos, U.; Smolinka, T.

»Potentiale einer auf Wasserstoff und Brennstoffzellen basierenden Energiewirtschaft«, Chapter 3, in: *Erneuerbare Energien – Jobmotor für Erfolg und Karriere*, Hrsg. Wolf D. Franke, Frankfurter Allgemeine Buch, pp. 127–134, ISBN 978-3-89981-215-2

Henning, H.-M.; Urbaneck, T.

»Kühlen und Klimatisieren mit Wärme«, *Solarpraxis*, 1. Auflage 2009, ISBN 978-3-934595-81-1

Henning, H.-M.; Wittwer, V.; Stryi-Hipp, G.

»Thermische Nutzung der Solarenergie – Übersicht«, Chapter 3, in: *Erneuerbare Energien – Jobmotor für Erfolg und Karriere*, Hrsg. Wolf D. Franke, Frankfurter Allgemeine Buch, pp. 113–119, ISBN 978-3-89981-215-2

Henning, H.-M.; Wittwer, V.; Stryi-Hipp, G.

»Solarenergienutzung in Gebäuden«, Chapter 5, in: *Erneuerbare Energien – Jobmotor für Erfolg und Karriere*, Hrsg. Wolf D. Franke, Frankfurter Allgemeine Buch, pp. 224–237, ISBN 978-3-89981-215-2

Hörteis, M.

»Fine-Line Printed Contacts on Crystalline Silicon Solar Cells«, Verlag Dr. Hut, München, ISBN 978-3-86853-312-5

Kiefer, K.

»So schafft Ihre Photovoltaik-Anlage hohe Erträge«, Chapter 4, in: *Erneuerbare Energien – Jobmotor für Erfolg und Karriere*, Hrsg. Wolf D. Franke, Frankfurter Allgemeine Buch, pp. 201–206, ISBN 978-3-89981-215-2

Köhl, M.; Angeles, O.¹; Philipp, D.; Weiß, K.-A.

»Polymer Films in Photovoltaic Modules: Analysis and Modeling of Permeation Processes«, in: *Service Life Prediction of Polymeric Materials*, Ed. Martin, J. W.; Ryntz, R. A.; Chin, J.; Dickie, R., Springer-Verlag, Germany, 1. Aufl. 23.12.2008, pp. 361–371, ISBN 978-0-387-84875-4

(¹: SGL Group, Germany)

Koschikowski, J.

»Desalination Powered by Solar Energy«, in: *Energy from the Dessert*, Ed. Komoto, K.; Ito, M.; van der Vleuten, P.; Faiman, D.; Kurokawa, K., Earthscan, London, UK, pp. 34–42, ISBN 1844077942

Koschikowski, J.; Wieghaus, M.¹; Rommel, M.

»Membrane Distillation for Solar Desalination«, in: *Seawater Desalination*, Chapter 7, Ed. Micale, G.; Rizzuti, L.; Cipollina, A., Springer, Berlin, Germany, pp. 165–188, ISBN 3642011497

(¹: PSE AG, Freiburg, Germany)

BÜCHER UND BEITRÄGE ZU BÜCHERN

Platzer, W.

»Solare Kraftwerke«, Chapter 3, in: *Erneuerbare Energien – Jobmotor für Erfolg und Karriere*, Hrsg. Wolf D. Franke, *Frankfurter Allgemeine Buch*, pp. 120–126, ISBN 978-3-89981-215-2

Platzer, W.

»Solare Prozesswärme und Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung«, Chapter 5, in: *Erneuerbare Energien – Jobmotor für Erfolg und Karriere*, Hrsg. Wolf D. Franke, *Frankfurter Allgemeine Buch*, pp. 214–219, ISBN 978-3-89981-215-2

Reber, S.

»Silicium-Photovoltaik aus gereinigtem metallurgischen (umg)-Silicium«, Chapter 4, in: *Erneuerbare Energien – Jobmotor für Erfolg und Karriere*, Hrsg. Wolf D. Franke, *Frankfurter Allgemeine Buch*, pp. 155–161, ISBN 978-3-89981-215-2

Rochlitz, L.; Schaadt, A.

»Bioenergie«, Chapter 3, in: *Erneuerbare Energien – Jobmotor für Erfolg und Karriere*, Hrsg. Wolf D. Franke, *Frankfurter Allgemeine Buch*, pp. 96–102, ISBN 978-3-89981-215-2

Roth, W.; Kranzer, D.

»Ultra kompakter PV-Wechselrichter mit Siliciumcarbid-Halbleitern und hohem Wirkungsgrad«, in: *BMU Forschungsjahresbericht 2008*

Smolinka T.

»Water Electrolysis«, in: *Encyclopedia of Electrochemical Power Sources*, Ed.: Garcke J., Vol. 3, Amsterdam: Elsevier, pp. 394–413, ISBN-13: 978-0-444-52093-7

Weber, E. R.; Stryi-Hipp, G.

»Flexible Energiepolitik und Energieforschung sichern die regenerative Energieversorgung der Zukunft«, in: *Energiegeladen – Koordinaten einer zukunftsfähigen Klima- und Energiepolitik*, Hrsg. Katherina Reiche, CH. Goetz Verlag, pp.138–145, ISBN 978-3-9809349-4-7

Willeke, G.

»Photovoltaik – Eine Einführung«, Chapter 3, in: *Erneuerbare Energien – Jobmotor für Erfolg und Karriere*, Hrsg. Wolf D. Franke, *Frankfurter Allgemeine Buch*, pp. 106–112, ISBN 978-3-89981-215-2

Wittwer, C.; Stillahn, T.

»Netzintegration von Erneuerbaren Energien«, Chapter 3, in: *Erneuerbare Energien – Jobmotor für Erfolg und Karriere*, Hrsg. Wolf D. Franke, *Frankfurter Allgemeine Buch*, pp. 135–141, ISBN 978-3-89981-215-2

VORTRÄGE

Aicher, T.

»Reformierung flüssiger Kraftstoffe«, Fach-Seminar: Brennstoffzellen mit verfügbaren Kraftstoffen anwenden – durch Reformer-technologie, 12./13.2.2009, Ulm, Germany

Aicher, T.; Full, J.

»250 W(el) Reformer Fuel Cell System for Bio-Ethanol«, Fuel Cell Seminar, 16.–19.11.2009, Palm Springs, CA, USA

Aicher, T.; Full, J.; Schaadt, A.

»Ethanol-Mikroreformer zur Wasserstoffproduktion für ein portables 250 W Brennstoffzellen-System«, f-cell, 28./29.9.2009, Stuttgart, Germany

Aicher, T.; Szolak, R.; Griesser, L.

»Versatile Fuel Processor for Oxidative Steam Reforming and Catalytic Partial Oxidation of Various Liquid Fuels«, Fuel Cell Seminar, 16.–19.11.2009, Palm Springs, CA, USA

Alink, R.

»Lifetime Prediction of Fuel Cells in Real Applications«, Fuel Cell Durability and Performance, Alexandria, VA, USA, 8./9.12.2009

Alink, R.; Gerteisen, D.; Sadeler, C.; Hebling, C.

»Investigation of Liquid Water Transport in Untreated and Perforated Gas Diffusion Layers for PEMFC«, HyFC Academy School on Fuel Cells and Hydrogen, Vancouver, Canada, 26.–29.5.2009

Alink, R.; Gerteisen, D.; Sadeler, C.; Hebling, C.

»Investigation of Liquid Water Transport in Untreated and Perforated Gas Diffusion Layers for PEMFC«, EMRS Spring Meeting, Strasbourg, France, 8.–12.6.2009

Alink, R.; Gerteisen, D.; Sadeler, C.; Hebling, C.

»Dynamic Water Management Studies by Means of Perforated GDLs and In-Situ ESEM Observations«, Diagnostic Tools for Fuel Cell Technologies, Trondheim, Norway, 23./24.6.2009

Bergmann, A.; Gerteisen, D.; Kurz, T.

»Modeling of CO Poisoning and its Dynamics in PBI-Based HTPEM Fuel Cells«, E-MRS 2009 Spring Meeting, 8.–12.6.2009, Strasbourg, France

Bett, A. W.

»Fraunhofer ISE and Concentrix Solar: An Overview«, International Renewable Energy Conference & Exhibition, Eliat, Israel, 17.–19.2.2009

Bett, A. W.

»Photovoltaics – The Next Generation«, International Renewable Energy Conference & Exhibition, Eliat, Israel, 17.–19.2.2009

Bett, A. W.

»Development of III-V-Based Concentrator Solar Cells and their Applications«, 1st International Symposium on Innovative Solar Cells, Tokyo, Japan, 2./3.3.2009

Bett, A. W.

»Current Status of Research on III-V Solar Cells at Fraunhofer ISE«, Nagoyaa, Japan, 9.12.2009

Bett, A. W.; Burger, B.; Jaus, J.; Fellmeth, T.; Stalter, O.; Vetter, M.; Mohring, H.¹; Gombert, A.²; Lerchenmüller, H.²

»Konzentrierende Photovoltaik (CPV) für Länder mit hoher direkter Einstrahlung«, FVEE-Jahrestagung 2009, Berlin, Germany, 24./25.11.2009

(¹: Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung ZSW, Stuttgart, Germany)

(²: Concentrix Solar GmbH, Freiburg, Germany)

Bett, A. W.; Dimroth, F.; Guter, W.; Oliva, E.; Philipps, S. P.; Siefer, G.; Wekkeli, A.; Welser, E.

»Findings Obtained During the Development of High-Efficiency Multi-Junction Solar Cells«, 2nd International Symposium on Innovative Solar Cells, Tsukuba, Japan, 7./8.12.2009

Birmann, K. Zimmer, M.; Rentsch, J.

»Alkaline Etching of Silicon Wafers«, Freiburger Siliziumtage, Freiberg, Germany, 17.–19.6.2009

Biro, D.

»Printing in Silicon Solar Cell Production«, TU Darmstadt, Darmstadt, Germany, 1.7.2009

VORTRÄGE

Bopp, G.

»Determination of Requirements«, Cresmed Project International Workshop on Multiuser Solar Hybrid Grids Organised by the Lebanese Solar Energy Society, 3./4.2.2009, Beirut, Libanon

Bopp, G.

»Lithium Batterien in PV Anlagen«, WBZU Praxisseminar Lithium-ionen Batterien, Ulm, Germany, 16.7. und 12.11.2009

Bopp, G.

»Batterien in netzfernen Stromversorgungsanlagen«, OTTI-Fachforum Netzferne Stromversorgung mit Photovoltaik, Freiburg, Germany, 7./8.10.2009

Bopp, G.

»Solar Home Systeme und Einzelhausversorgung«, OTTI-Fachforum Netzferne Stromversorgung mit Photovoltaik, Freiburg, Germany, 7./8.10.2009

Bopp, G.

»Elektrische Sicherheit, Errichtungsbestimmungen«, OTTI-Fachforum Netzferne Stromversorgung mit Photovoltaik, Freiburg, Germany, 7./8.10.2009

Bopp, G.; Ortiz, B.; Schwunk, S.; Vetter, M.

»Bedeutung und Auslegung von Energiespeichern für autonome Netzkonzepte«, OTTI-Fachforum Energiespeicher in elektrischen Netzen, Regensburg, Germany, 13./14.5.2009

Bopp, G.; Sauer, D.¹

»Pb-Akkumulatoren in photovoltaischen Solaranlagen«, OTTI-Fachforum Wiederaufladbare Batteriesysteme, Ulm, Germany, 6./7.5.2009

(¹: RWTH Aachen, Aachen, Germany)

Bopp, G.; Sauer, D.¹; Schossig, P.; Vetter, M.

»Energiespeicher für Verteilungsnetze«, OTTI-Fachforum Energiespeicher in elektrischen Netzen, Regensburg, Germany, 13./14.5.2009

(¹: RWTH Aachen, Aachen, Germany)

Burger, B.

»Power Electronics for Photovoltaics – Review«, Seminar Power Electronics for Renewable Energies, OTTI e. V., Munich, Germany, 25./26.5.2009

Burger, B.

»Power Electronics for Off Grid Photovoltaics«, Seminar Power Electronics for Renewable Energies, OTTI e. V., Munich, Germany, 25./26.5.2009

Burger, B.

»Photovoltaic Inverters for Grid Connection«, Seminar Power Electronics for Renewable Energies, OTTI e. V., Munich, Germany, 25./26.5.2009

Burger, B.

»Wechselrichter für Inselssysteme«, Seminar Dezentrale Stromversorgung mit Photovoltaik OTTI e. V., Freiburg, Germany, 7.10.2009

Burger, B.

»PV Market and Trends in PV Cells and Inverters«, Aalborg University, Denmark, 25.10.2009

Burger, B.

»PV Inverters – Technological Advancements«, Inter Solar India 2009, Hyderabad, India, 9.–11.11.2009

Burger, B.; Kranzer, D.

»Extreme High Efficiency PV-Power Converters«, 13th European Conference on Power Electronics and Applications – EPE 2009, Barcelona, Spain, 8.–10.9.2009

Burger, B.; Schmidt, H.

»Interactions Between Modules and Inverters«, Seminar Power Electronics for Renewable Energies, OTTI e. V., Munich, Germany, 25./26.5.2009

Burger, B.; Schmidt, H.; Bletterie, B.¹; Bruendlinger, R.¹; Häberlin, H.²; Baumgartner, F.³; Klein, G.⁴

»Der Europäische Jahreswirkungsgrad und seine Fehler«, 24. Symposium – Photovoltaische Solarenergie, OTTI e. V., Bad Staffelstein, Germany, 4.–6.3.2009

(¹: arsenal research, Wien, Österreich)

(²: Berner Fachhochschule Technik und Informatik, Burgdorf, Schweiz)

(³: Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften, Winterthur, Schweiz)

(⁴: Fraunhofer IWES, Kassel, Germany)

Burhenne, S.

»Bewertung von unsicheren Parametern in der thermischen Gebäudesimulation«, Stipendientag der Reiner Lemoine Stiftung, Berlin, Germany, 12.9.2009

Ebert, G.

»Energieerzeugung: Erneuerbare Energie als Zukunftsvision«, Berufsschule Nördlingen, Nördlingen, Germany, 7.3.2009

Ebert, G.

»Sauberer Strom für saubere Straßen«, eCarTec 2009, Internationale Messe für Elektromobilität, München, Germany, 13.10.2009

Ebert, G.

»Retten uns Elektrofahrzeuge vor dem Umweltkollaps«, Vortragsreihe Arbeitskreis VDI-Energietechnik, München, Germany, 26.10.2009

Ebert, G.; Tillmetz, W.; Specht, M.; Sterner, M, Krautkremer, B.; Pregar, T.; Kuckshinrich, W.

»Künftige Mobilität auf Basis Erneuerbarer Energien«, FVEE-Jahrestagung 2009, Berlin, Germany, 25.11.2009

Elies, S.; Hermle, M.; Burger, B.

»Neue Mathematische Modelle für Solarzellenkennlinien«, 24. Symposium Photovoltaische Solarenergie, Bad Staffelstein, Germany, 4.–6.3.2009

Erge, T.; Link, J.; Sauer, C.; Wittwer, C.

»Vision zur Integration fluktuierender dezentraler Erzeuger in das Gesamtsystem der Energieversorgung«, ETG-Kongress »Intelligente Netze«, Düsseldorf, Germany, 27.10.2009

Erge, T.; Feuerhahn, S.; Wittwer, C.

»Fahrplanbasierte Anlagen- und Gebäudebetriebsführung im E-Energy Leitprojekt »eTelligence««, ETG-Kongress »Intelligente Netze«, Düsseldorf, Germany, 27./28.10.2009

Feuerhahn, S.; Zillgith, M.; Becker, R.; Wittwer, C.

»Implementierung einer offenen Smart Metering Referenzplattform – OpenMUC«, Internationaler ETG Kongress »Intelligente Netze«, Düsseldorf, Germany, 27./28.10.2009

Freude, W.¹; Röger, M.¹; Hiba, B.¹; Hoh, M.¹; Dreschmann, M.²; Hehmann, J.³; Pfeiffer, T.³; Huebner, M.²; Bett, A. W.; Becker, J.²; Leuthold, J.

»Optically Powered Fibre Networks«, 13th Biannual International Microwave and Optoelectronics Conference, Belém, Pará, Brazil, 3.–6.11.2009

(¹: Institute of Photonics and Quantum Electronics (IPQ), Karlsruhe Institute of Technology, Karlsruhe, Germany)

(²: Institute of Information Processing Technology, Karlsruhe Institute of Technology, Karlsruhe, Germany)

(³: Alcatel Lucent, Bell Labs, Stuttgart, Germany)

Földner, G.; Schnabel, L.

»Water Adsorption in Compact Adsorbent Layers – Kinetic Measurement and Numerical Layer Optimization«, Heat Powered Cycles 2009, TU Berlin, Berlin, Germany, 7.–9.9.2009

Gautero, L.

»Thin LFC-PERC Cell Production Using Industrial Equipment«, 6. Silicon FOREST 2009, Falkau, Germany, 1.–4.3.2009

Georg, A.; Jungmann, T.; Tian, X.; Alink, R.; Meier, S.; Dyck, A.

»Impurities Originating from Fuel Cell and System Components«, International Workshop on the Effects of Fuel & Air Quality, Berlin, Germany, 9.–11.9.2009

Gerteisen, D.; Alink, R.; Hebling, C.

»Investigation of Multi-Phase Flow in PEMFC by Experimental and Modeling Work«, HyFC Academy School on Fuel Cells and Hydrogen, Vancouver, Canada, 26.–29.5.2009

Glatthaar, M.; Giesecke, J.; Kasemann, M.; Haunschild, J.; The, M.; Warta, W.; Rein, S.

»Spatially Resolved Determination of the Dark Saturation Current by Electroluminescence Imaging«, 18th International Photovoltaic Science and Engineering Conference and Exhibition, Kolkata, India, 19.–23.1.2009

Glatthaar, M.; Haunschild, J.; Giesecke, J.; Kasemann, M.; Warta, W.; Rein, S.

»Evaluation of Voltage Calibrated Electro- and Photoluminescence Images of Silicon Solar Cells«, 19th International PVSEC, Jeju, Korea, 9.–13.11.2009

VORTRÄGE

Glunz, S. W.

»High-Efficiency Solar Cells – Research Activities at Fraunhofer ISE«, PV-Seminar, Universidad Politécnica de Madrid, Spain, 18.3.2009

Glunz, S. W.

»Silicon Solar Cells – State of the Art and New Concepts«, Energy Think – Conferenza Internazionale sull' Energia Solare, Turin, Italy, 2.4.2009

Glunz, S. W.

»High-Efficiency Solar Cells – Concepts for n-Type Silicon«, 19th International PVSEC, Jeju, Korea, 9.–13.11.2009

Glunz, S. W.

»Hocheffiziente Solarzellen – Konzepte für n-Typ Silicium«, ipe-Kolloquium, Stuttgart, Germany, 7.12.2009

Gölz, S.

»Was will eigentlich der Kunde? Akzeptanz, Grund- und Zusatznutzen von elektronischen Zählern für den Endverbraucher«, Smart Metering kommt! Flächendeckender Roll-Out bis 2014 – Illusion oder Realität?, Wien, Österreich, 11.12.2009

Gölz, S.

»Projektvorstellung Intelliekon – Nachhaltiger Energiekonsum von Haushalten durch intelligente Zähler-, Kommunikations- und Tarifsysteme«, Bundesnetzagentur, Bonn, Germany, 16.10.2009

Gölz, S.; Götz, K.

»Smart Metering – a Means to Increase Sustainable Energy Consumption«, 5th Conference on Energy Efficiency in Domestic Appliances and Lighting, dena, Berlin, Germany, 16.–18.6.2009

Gölz, S.; Götz, K.; Deffner, J.; Birzle-Harder, B.

»Verbraucher: hoch motiviert – skeptisch – ablehnend. Erfahrungen aus dem Projekt Intelliekon«, Workshop der Verbraucherzentrale NRW: Smart Metering: Chancen und Risiken digitaler Zähler für private Haushalte. Strom sparen auf die intelligente Art?, Düsseldorf, Germany, 24.9.2009

Granek, F.

»Fraunhofer ISE – Short Presentation of the Institute and SEC Department«, Series of Conferences on the LCP Technology, Tokyo, Japan; Shanghai, Hong Kong, China; Taiwan, 16.–19.3.2009

Granek, F.

»Future Applications of Laser Chemical Processing (LCP) in Photovoltaics«, Series of Conferences on the LCP Technology, Tokyo, Japan; Shanghai, Hong Kong, China; Taiwan, 16.–19.3.2009

Granek, F.

»Laser Chemical Processing (LCP) for Selective Emitters: Principle and Results«, Series of Conferences on the LCP Technology, Tokyo, Japan; Shanghai, Hong Kong, China; Taiwan, 16.–19.3.2009

Granek, F.

»Principle of the Laser Chemical Processing (LCP)«, Series of Conferences on the LCP Technology, Tokyo, Japan; Shanghai, Hong Kong, China; Taiwan, 16.–19.3.2009

Granek, F.; Drew, K.; Hopman, S.; Hörteis, M.; Glunz, S.

»First Results with Combining Laser Chemical Processing an Aerosol Jet Printing for High Efficiency Front Side Structures of Silicon Solar Cells«, Proceedings, 19th International PVSEC, Jeju, Korea, 9.–13.11.2009

Grohe, A.; Granek, F.; Jäger, U.; Knorz, A.; Nekarda, J.; Preu, R.

»Laser Solar Cell Processing: New Technologies and Economic Prospects«, 9th International Laser Marketplace / Laser 2009, München, Germany, 17.6.2009

Hausmann, T.; Schossig, P.

»Forschungsaktivitäten – PCM in Baumaterialien«, LowEx Symposium, Kassel, Germany, 28./29.10.2009

Hausmann, T.; Schossig, P.; Grossmann, L.

»Experiences with Lowex PCM Chilled Ceilings in Demonstration Buildings«, Effstock 2009, Stockholm, Sweden, 14.–17.6.2009

Hebling, C.

»Elektroenergiespeicher in der künftigen Mobilität«, Auto und Zukunft: Alternative Antriebssysteme, Wolfsburg, Germany, 22.–24.10.2009

Hebling, C.

»Micro Surface Modification for Renewable Energy Conversion«, MST-BW Graduiertenkolleg, Freiburg, Germany, 5.11.2009

Hebling, C.

»Wassermanagement in Polymer-Elektrolyt-Membran-Brennstoffzellen«, FMF-Freitagssseminar Spezielle Probleme der Festkörperphysik, Freiburg, Germany, 6.11.2009

Hebling, C.

»Elektroenergiespeicher in der künftigen Mobilität – Wasserstoff und Batterien als sich ergänzende Optionen in der Elektromobilität«, VDMA-Ausschuss »Forschung und Innovation«, Berlin, Germany, 10.11.2009

Hebling, C.; Hannig, F.; Smolinka, T.; Bretschneider, P.; Nicolai, St.¹; Krüger, S.; Meißner, F.; Voigt, M.²

»Elektroenergiespeicher und Investitionsgüterindustrie – Ergebnisse einer BMWi-Studie«, E-MOTIVE Expertenforum Elektrische Fahrzeugantriebe, Hannover, Germany, 9./10.9.2009

(¹: Fraunhofer AST, Germany)

(²: VK Partner Berlin, Germany)

Henning, H.-M.

»Schlüsseltechnologien für zukunftsfähige Gebäude – Energieeffizienz und Solarenergienutzung«, Bau 2009, München, Germany, 12.–17.1.2009

Henning, H.-M.

»Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung-Grundlagen, Komponenten und Systeme, energetische Analyse und Wirtschaftlichkeit«, Internationales Symposium Solares und Erneuerbares Kühlen, Clean Energy Power, Stuttgart, Germany, 30.1.2009

Henning, H.-M.

»Modellbasierte Methoden zur Analyse des Gebäudebetriebs«, Energieeffizienz durch intelligentes Gebäudemanagement, Duisburg, Germany, 5.2.2009

Henning, H.-M.

»Technologie-Perspektiven für die solare Kühlung«, 1. Solarthermie-Technologiekonferenz, DSTTP, Berlin, Germany, 10.2.2009

Henning, H.-M.

»Solar Cooling Components and Systems – an Overview«, Intersolar North America, San Francisco, CA, USA, 14.–16.7.2009

Henning, H.-M.

»The Building Shell of the Future«, Intersolar North America, San Francisco, CA, USA, 14.–16.7.2009

Henning, H.-M.

»Energy Efficient Buildings and Districts – Latest Research Results«, Intersolar North America, 14.–16.7.2009, San Francisco, CA, USA

Henning, H.-M.

»Solar Thermal Collectors and Heat Pumps – A New Promising Combination«, Intersolar North America, San Francisco, CA, USA, 14.–16.7.2009

Henning, H.-M.

»The Building Shell of the Future«, Solar Summit 2009, Freiburg, Germany, 14.–16.10.2009

Henning, H.-M.

»Exergieanalyse der Solaren Kühlung«, LowEx-Symposium zum Deutschen Projektverbund des BMWi, 28./29.10.2009, Kassel, Germany

Henning, H.-M.; Herkel, S.

»Energieeffizienz in Gebäuden«, Fachkonferenz Energietechnologien 2050 des BMWi, Berlin, Germany, 26.5.2009

Henning, H.-M.; Kuhn, T.; Herkel, S.

»Solar Building Façades«, 4th Energy Forum on Solar Architecture & Urban Planning, Bressanone, Italy, 1.–4.12.2009

Henning, H.-M.; Miara, M.

»Kombination Solarthermie und Wärmepumpen – Lösungsansätze, Chancen und Grenzen«, 19. Symposium Thermische Solarenergie 2009, 6.–8.5.2009, Bad Staffelstein, Germany

Henning, H.-M.; Morgenstern, A.; Bongs, C.

»Energieeffiziente Kühlung und Entfeuchtung«, Statusseminar: Forschung für Energieoptimiertes Bauen 2009, Würzburg, Germany, 30.6.–2.7.2009

Henning, H.-M.; Nuñez, T.

»Fast Pre-Design of Systems Using Solar Thermally Driven Chillers«, 3rd International Conference Solar Air-Conditioning, Palermo, Italy, 30.9.–2.10.2009

VORTRÄGE

Henning, H.-M.; Sicre, B.¹; Schickanz M.; Usabiaga, M.²

»Small Capacity Tri-Generation Systems in the European Project PolySMART«, Heat Powered Cycles 2009, TU Berlin, Berlin, Germany, 7.–9.9.2009

(¹: Lucern University of Applied Sciences and Arts, Switzerland)

(²: IKERLAN, Spain)

Henninger, S. K.

»Neue Entwicklungen im Bereich der Sorptionsmaterialien für Wärmespeicherungs- und Wärmetransformationsanwendungen«,

1. Solarthermie-Technologiekonferenz, DSTTP, Berlin, Germany,

10.2.2009

Henninger, S. K.; Munz, G.¹

»Hydrothermal Stability of Sorption Materials and Composites for the Use in Heat Pumps and Cooling Machines«, Heat Powered Cycles 2009, TU Berlin, Berlin, Germany, 7.–9.9.2009

(¹: PSE AG, Freiburg, Germany)

Herkel, S.

»European Integrated Renovation and Solar Technologies«, Energy Conservation Week in Ontario Waterloo, 19.5.2009, Canada

Herkel, S.

»Technologieplattform für energieeffiziente Bürogebäude: InHaus Duisburg«, Ingenieurfachforum ZEBAU »Gutes Klima für Bürogebäude – Moderne Heiz- und Kühltechnik«, Hamburg, Germany, 16.9.2009

Herkel, S.

»Energy Efficient Systems in Old Buildings – Paths to Net Zero Energy Buildings«, Future Green Buildings, Watford, UK, 18.9.2009

Herkel, S.

»Gebäudetechnologien – Stand der aktuellen Forschung«, KfW-Entwicklungsbank, Frankfurt, Germany, 6.10.2009

Herkel, S.

»Advances in Housing Renovation – Processes, Concepts and Technologies«, Conference Substantial Energy Saving in Existing Housing Now, Antwerpen, Belgium, 14.10.2009

Herkel, S.

»New Concepts and Technologies for Energy Efficient Buildings Results and Experiences from German Demonstration Buildings«, Außenhandelskammer, Stockholm, Sweden, 3.11.2009

Herkel, S.; Henning, H.-M.

»Schlüsseltechnologien für zukunftsfähige Gebäude – Energieeffizienz und Solarenergienutzung«, ISH Frankfurt, Frankfurt, Germany, 16.3.2009

Herkel, S.; Kagerer, F.

»Sanierung mit Faktor 4 – Analyse und Auswirkungen auf die Energieversorgung«, in: Tagungsband, 19. Symposium Thermische Solarenergie 2009, Bad Staffelstein, Germany, 6.–8.5.2009

Herkel, S.; Kalz, D.; Pfafferott, J.

»Energieeffizienz und Arbeitsplatzqualität – Erfahrungen aus realisierten Projekten mit thermoaktiven Bauteilen«, viega-Fachsymposium Energieeffizienz in der Gebäudetechnik, an unterschiedlichen Standorten im Jahr 2009

Herkel, S.; Russ, C.; Römhild, T.; Wollensak, M.¹

»PlusEnergie-Schule Reutershagen, Rostock«, Bauhaus Solar, Erfurt, Germany, 12.11.2009

(¹: Hochschule Wismar)

Hermann, M.; Gschwander, S.

»Automatisiertes Wärmetransportsystem«, Tagungsband, 1. Solarthermie-Technologiekonferenz, DSTTP, Berlin, Germany, 10.2.2009

Hermle, M.

»Production Approaches to High Efficiency«, Intersolar North America, San Francisco, CA, USA, 14.–16.7.2009

Hess, S.; Heimsath, A.

»Raytracing-Untersuchungen für die Entwicklung und Optimierung von Prozesswärme-Kollektoren«, 1. Solarthermie-Technologiekonferenz, DSTTP, Berlin, Germany, 10.2.2009

Hofmann, M.; Schmidt, C.; Raabe, B.; Rentsch, J.; Preu, R.

»Thermal Stability of PECVD a-Si:H Single and PECVD a-Si:H + PECVD a-SiO_x:H Double Layers for Silicon Solar Cell Rear Side Passivation«, 18th International Photovoltaic Solar Science and Engineering Conference, PVSEC 18, Kolkata, India, 19.–23.1.2009

(! : University of Konstanz, Fachbereich Physik, Photovoltaik-Abteilung, Konstanz, Germany)

Hörteis, M.; Bartsch, J.; Radtke, V.; Filipovic, A.; Glunz, S. W.

»Fine Line Printed and Plated Contacts on High Ohmic Emitters Enabling 20% Cell Efficiency«, 34th IEEE Photovoltaic Specialist Conference, Philadelphia, USA, 7.–12.6.2009

Hörteis, M.; Grote, D.; Binder, S.; Filipovic, A.; Schmidt, D.;

Glunz, S. W.

»Different Aspects of Seed Layer Printed and Light-Induced Plated Front Side Contacts«, 24th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Hamburg, Germany, 21.–25.9.2009

Hülsmann, P.; Philipp, D.; Köhl, M.

»Bestimmung der Permeation von Wasserdampf und anderen Gasen durch Hochbarrierematerialien«, Hamburger Verpackungsgespräche, Hamburg, Germany, 13./14.2.2009

Jacob, D.

»Methoden zur Hochrechnung von Kurzzeitmessungen«, Kick-Off-Meeting Teilenergiekennwerte von Nicht-Wohngebäuden, Darmstadt, Germany, 14.5.2009

Jacob, D.

»Computer Aided Building Optimization«, Brown Bag Lunch, fbta University of Karlsruhe, Karlsruhe, Germany, 9.7.2009

Jacob, D.; Burhenne, S.

»Model Based Performance Analysis at Fraunhofer ISE«, Workshop for Water Systems, Equa Simulation AB, Stockholm, Sweden, 16.–18.3.2009

Jaus, J.; Bett, A. W.

»Concentrator Photovoltaics R&D at Fraunhofer ISE«, DERBI 2009, Perpignan, France, 11.6.2009

Kagerer, F.; Herkel, S.

»Energetische Sanierung von Wohngebäuden«, Workshop – Erfahrungen und Impulse aus der Forschung zur energieeffizienten Altbautsanierung, Frankfurt, Germany, 16.4.2009

Kagerer, F.; Herkel, S.

»Energetische Sanierung eines Wohnhochhauses in Freiburg«, Ökosan, Weiz, Österreich, 9.10.2009

Kailuweit, P.

»III-V Photovoltaics – Technology and Applications«, International School of Nanophotonics and Photovoltaics, Maratea, Italy, 20.9.2009

Kalz, D. E.

»Concept of Integrated Building Systems – inHaus2«, ITOBO Workshop, Workshop Design and Operation of Smart, Energy Efficient Buildings – Establishing European Networks for Innovation, Duisburg, Germany, 2.9.2009

Kalz, D. E.

»Energetische Sanierung von Nichtwohngebäuden – Druckerei Engelhardt & Bauer in Karlsruhe«, Round-Table »Technik«, Ludwigsburg, Germany, 15.9.2009

Kalz, D. E.; Pfafferoth, J.; Fischer, M.; Wagner, A.; Bagherian, B.

»LowEx Retrofit of a Printing Workshop – Monitoring and Evaluation«, The Future for Sustainable Built Environments, Heerlen, The Netherlands, 21.4.2009

Kalz, D. E.

»Evaluation of Heating and Cooling Concepts with Environmental Energy: in-use performance«, ASHRAE Annual Conference, Louisville KY, USA, 20.–24.6.2009

Kalz, D. E.; Herkel, S.; Fischer, M.

»Heiz- und Kühlkonzepte mit Umweltenergie für Niedrigenergiegebäude«, inHaus2-Forum, Duisburg, Germany, 19.11.2009

Kalz, D. E.; Pfafferoth, J.

»Summer Comfort and Cooling – ThermCo Project«, Conference Summer Comfort and Cooling, Barcelona, Spain, 31.3.–1.4.2009

VORTRÄGE

Kalz, D. E.; Pfafferott, J.; Herkel, S.

»EnBau – Bauphysik, thermischer Komfort und Energieeffizienz unter exergetischen Gesichtspunkten«, *LowEx Symposium, Kassel, Germany, 28./29.10.2009*

Kalz, D. E.; Wienold, J.; Fischer, M.; Cali, D.

»Evaluierung eines innovativen Heiz-/Kühlkonzeptes mit Regenwasserzisternen, Thermoaktiven Bauteilsystemen und Phasenwechselmaterialien in einem Wohngebäude«, *9. Internationales Anwenderforum Oberflächennahe Geothermie 2009, Bad Staffelstein, Germany, 27.–29.4.2009*

Kasemann, M.; Giesecke, J. A.; Kwapil, W.; Michl, B.; Seeland, M.; Hoppe, H.; Warta, W.

»What Photons Tell us about Solar Cells – Imaging Diagnostic Techniques«, *Optical Society of America Meeting on Optics and Photonics for Advanced Energy Technology, Cambridge, MA, USA, 24./25.9.2009*

Kiefer, K.

»Erträge und Ertragssicherheit – Was kann der Kunde von seiner Photovoltaik-Anlage verlangen?«, *OTTI PV Forum, Bad Staffelstein, Germany, 3.3.2009*

Kiefer, K.

»Ertragsprognose, Monitoring und Qualitätssicherung bei Photovoltaik-Anlagen«, *Kundenseminar der SolarMarkt AG, Freiburg, Germany, 26.3.2009*

Kiefer, K.

»Qualitätsmanagement und Betriebsergebnisse bei PV Kraftwerken von Aldi«, *Logistik Jahreskongress, Düsseldorf, 1.4.2009*

Kiefer, K.

»Stand der Technik und Optimierung der Erträge bei Photovoltaikanlagen«, *Solar-Fachtagung 2009 des Landesinnungsverbandes des Dachdeckerhandwerks Baden Württemberg, Karlsruhe, Germany, 2.4.2009*

Kiefer, K.

»Stand der Technik und Erträge von PV-Kraftwerken«, *Schloss Reinach, Munzingen, Germany, 29.4.2009*

Kiefer, K.

»Maximale Erträge von netzgekoppelten PV-Anlagen«, *OTTI Profiseminar Photovoltaik-Anlagen, München, Germany, 26.5.2009*

Kiefer, K.

»Maximum Yield of PV Systems through Quality Assurance«, *PV Seminar Egeres, Istanbul, Türkei, 28.10.2009*

Kiefer, K.

»Qualitätsanforderungen und Langzeiterfahrungen mit PV-Anlagen«, *11. Expertentage der Allianz, München, Germany, 23.11.2009*

Kiefer, K.

»Qualität und Erträge von PV-Anlagen«, *Kundenseminar der Stadtwerke Karlsruhe, Karlsruhe, Germany, 24.11.2009*

Knorz, A.; Aleman, M.; Grohe, A.; Preu R.; Glunz, S. W.

»Laser Ablation of Antireflection Coatings for Plated Contacts Yielding Solar Cell Efficiencies Above 20 %«, *24th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Hamburg, Germany, 21.–25.9.2009*

Köhl, M.

»Reliability Testing of PV-Modules«, *Second International Summit on OPV Stability, Amsterdam, Netherlands, 21./22.4.2009*

Köhl, M.

»Photovoltaic Materials Durability and Resistance to Environmental Strain«, *Photovoltaics Summit Europe 2009, Rome, Italy, 30.6.–2.7.2009*

Köhl, M.

»Progress Towards Service Life Assessment of PV Modules«, *ATCAE, Phoenix, Arizona, USA, 8./9.12.2009*

Kramer, K.

»Einfluss von Normungs- und Qualitätssicherungsprozessen auf Innovation und Diffusion in der Solarthermiebranche«, *1. Solarthermie-Technologiekonferenz, DSTTP, Berlin, Germany, 10.2.2009*

Kranzer, D.

»Power Semiconductors«, *Seminar Power Electronics for Renewable Energies, OTTI e. V., Munich, Germany, 25./26.5.2009*

Kranzer, D.

»Zukunftschancen von PV-Wechselrichtern mit Siliziumkarbid Transistoren«, 38. Kolloquium Halbleiter-Leistungsbaulemente und ihre systemtechnische Anwendung, Freiburg, Germany, 2./3.11.2009

Kranzer, D.; Reiners, F.; Burger, B.

»Anwendung von SiC-JFETs und SiC-MOSFETs in Photovoltaik Wechselrichtern«, Rundgespräch über Siliziumkarbid, Kloster Banz, Bad Staffelstein, Germany, 18./19.6.2009

Kröger-Vodde, A.

»Overview on PV Technology«, PV Seminar Egeres, Istanbul, Türkei, 28.10.2009

Kröger-Vodde, A.

»Monitoring of System Yield and Performance Ratio«, PV Seminar Egeres, Istanbul, Türkei, 28.10.2009

Kröger-Vodde, A.

»Monitoring Results for Large Scale PV Plants«, PV Seminar Egeres, Istanbul, Türkei, 28.10.2009

Kuhn, T. E.

»Solarenergie in Fenster und Fassade«, Europäischer Kongress für energieeffizientes Bauen mit Holz, Congress Centrum – Gürzenich, Köln, Germany, 16./17.6.2009

Kuhn, T. E.; Hermann, M.

»Gebäudeintegration Solarthermie«, in: Tagungsband, 1. Solarthermie-Technologiekonferenz, DSTTP, Berlin, Germany, 10.2.2009

Laukamp, H.

»Status of PV in Germany, 2009«, GTZ/SGCC Training Kurs, 15.6.2009

Link, J.

»Solare Mobilität: Netzintegration von Plug-In Fahrzeugen; Chancen und Synergien für dezentrale Erzeuger am Beispiel der Photovoltaik«, 24. Symposium Photovoltaische Solarenergie, Bad Staffelstein, Germany, 4.–6.3.2009

Link, J.

»Elektromobilität und Erneuerbare Energien – Netzintegration von Plug-In Fahrzeugen; Metering, Abrechnung und Kommunikation«, Workshop des Bundesumweltministeriums – Elektromobilität und Erneuerbare Energien, Juni 2009

Link, J.

»Plug-In Fahrzeuge und Vehicle to Grid Aktivitäten am Fraunhofer ISE«, Seminar Informations- und Kommunikationstechnik und Elektromobilität am ISET in Kassel, Kassel, Germany, Juni 2009

Link, J.

»Integration von Elektrofahrzeugen in Verteilnetze mit hoher Durchdringung von dezentralen Energieanlagen«, 2. Stipendientag der Reiner Lemoine Stiftung, Berlin, Germany, 12.9.2009

Löper, P.

»Quantenstrukturen aus Silizium für die Photovoltaik«, Stipendientag der Reiner Lemoine Stiftung, Berlin, Germany, 12.9.2009

Löper, P.; Künle, M.; Hartel, A.; Janz, S.; Zacharias, M.; Glunz, S. W.

»Silicon Quantum Dot Superstructures for All-Silicon Tandem Solar Cells«, Quantsol 2009 Winter Workshop, Rauris, Salzburg, Austria, 8.–14.3.2009

Miara, M.

»Wärmepumpen – Beurteilung«, Messe Gebäude.Energie.Technik, Freiburg, Germany, 8.3.2009

Miara, M.

»Feldmessung neuer Wärmepumpen, Zwischenbilanz«, 10. Biberacher Forum Gebäudetechnik, Biberach, Germany, 11.3.2009

Miara, M.

»Feldmessung neuer Wärmepumpen – Zwischenbilanz«, 9. Int. Anwenderforum Oberflächennahe Geothermie, Bad Staffelstein, Kloster Banz, Germany, 28.4.2009

Miara, M.

»Two Large Field-Tests On New Heat Pumps in Germany«, Energy Efficiency and Air Pollutant Control Conference, Wroclaw, Poland, 23.9.2009

VORTRÄGE

Miara, M.

»Wärmepumpenaktivitäten am Fraunhofer ISE«, BWP Beiratssitzung EVU und Industrie, Berlin, Germany, 21.10.2009

Miara, M.

»Feldtesterfahrungen, Zwischenergebnisse aus Wärmepumpen Felduntersuchungen«, Wärmepumpen Symposium Karlsruhe, Karlsruhe Germany, 29.10.2009

Miara, M.; Henning, H.-M.

»Systeme mit kombinierter Nutzung von thermischen Solaranlagen und Wärmepumpen«, 1. Solarthermie-Technologiekonferenz, DSTTP, Berlin, Germany, 10.2.2009

Neumann, C.

»Voraussetzungen und Werkzeuge für die effektive Betriebsanalyse und Optimierung von Gebäuden«, Energy Masters 2009, Berlin, Germany, 26.3.2009

Neumann, C.

»Continuous Commissioning and Building Certification«, Local Renewables, Freiburg, Germany, 28.4.2009

Neumann, C.

»Modellbasierte Betriebsanalyse von Bestandsgebäuden«, EnOB Statusseminar, Würzburg, Germany, 2.7.2009

Neumann, C.

»Results and Outcomes from Building EQ«, Building EQ-Symposium, Berlin, Germany, 1.10.2009

Neumann, C.

»Betriebsanalyse von Nichtwohngebäuden«, Energieforum der Deutschen Lufthansa AG, Frankfurt, Germany, 11.11.2009

Neumann, C.; Pfafferott, J.

»Modellbasierte Betriebsanalyse von Bestandsgebäuden«, GLT Anwenderforum, Linz, Österreich, 23.9.2009

Noeren, D.; Feuerhahn, S.

»Smart Metering Auswertung in der Region Mecklenburg Vorpommern/Neu Brandenburg«, enregio-Workshop, Germany, 17.4.–15.5.2009

Peharz, G.; Bett, A.

»Energieertragsmodellierung für photovoltaische Konzentratorsysteme«, Fachtagung Energiemeteorologie, Grainau, Germany, 20.1.2009

Peharz, G.; Dimroth, F.; Siefer, G.; Bett, A. W.

»Meteorologische Einflüsse auf die Energieproduktion von III-V Mehrfachsolarzellen«, EHF Seminar, Universität Oldenburg, Oldenburg, Germany, 12.5.2009

Peters, M.

»Photonic Structures and Solar Cells«, 2009 Winter Workshop, Rauris, Salzburg, Austria, 8.–14.3.2009

Pfafferott, J.; Fischer, M.; Herkel, S.; Kalz, D.; Schmidt, F.

»LowEx: Monitor – Heizen und Kühlen mit Geothermie«, LowEx Symposium, Kassel, Germany, 28./29.10.2009

Philipps, S. P.

»III-V Kaskadensolarzellen für höchste optische Konzentration«, 95. Stipendiatenseminar der DBU, Wiesenfelden, Germany, 12.–16.10.2009

Philipps, S. P.; Peharz, G.; Hornung, T.; Hoheisel, R.; Al-Abbadi, N. M.; Dimroth, F.; Bett, A. W.

»A Theoretical Analysis on the Energy Production of III-V Multi-Junction Concentrator Solar Cells Under Realistic Spectral Conditions«, 24th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Hamburg, Germany, 21.–25.9.2009

Reichert, S.

»Die neuen Grid Codes und deren Auswirkungen auf die PV-Wechselrichter«, 24. Symposium Photovoltaische Solarenergie, Bad Staffelstein, Germany, 4.–6.3.2009

Reichert, S.

»New Grid Codes for Low and Medium Voltage Grids«, Seminar Power Electronics for Renewable Energies, OTTI e. V., Munich, Germany, 25./26.5.2009

Reichert, S.

»Netzstützung durch PV-Wechselrichter – Die neuen Einspeiserichtlinien«, Fachforum »Photovoltaik«, Seligenstadt, Germany, 8.10.2009

Reinwand, D.

»PVD-Metallisierungsverfahren für kristalline Silizium-Solarzellen«, Stipendiatentag der Reiner Lemoine Stiftung, Berlin, Germany, 12.9.2009

Rochlitz, L.; Pölkner, K.; Aicher, T.

»Bioethanolreformer mit HT-PEM-Brennstoffzelle für die Hausenergieversorgung«, ProcessNet, Mannheim, Germany, 8.–10.9.2009

Rogalla, S.

»Module Integrated Electronics«, Seminar Power Electronics for Renewable Energies«, OTTI e. V., Munich, Germany, 25./26.5.2009

Rommel, M.; Hofmann, P.

»PVT Kollektoren: Entwicklungsmöglichkeiten für die Solare Kraft-Wärme-Kopplung«, 1. Solarthermie-Technologiekonferenz, DSTTP, Berlin, Germany, 10.2.2009

Rommel, M.; Thoma, C.; Richter, J.; Plischka, H.

»Draft for an Extension of the Standard EN12975 to Include Testing of Glazed Air Collectors«, ESTEC, München, Germany, 25./26.5.2009

Roth, W.

»Photovoltaics: Current Situation and Future Perspectives«, CNSNRE 2009 National Conference New and Renewable Energy Sources, Bucharest, Romania, 6.–10.10.2009

Roth, W.

»Netzferne Stromversorgung mit Photovoltaik – Einführung«, Grundlagenworkshop »Netzferne Stromversorgung mit Photovoltaik«, OTTI e. V., Freiburg, Germany, 6.10.2009

Roth, W.

»Grundlagen zur Nutzung der Sonnenenergie«, Grundlagenworkshop »Netzferne Stromversorgung mit Photovoltaik«, OTTI e. V., Freiburg, Germany, 6.10.2009

Roth, W.

»Netzferne Stromversorgung mit Photovoltaik«, Fachforum »Netzferne Stromversorgung mit Photovoltaik«, OTTI e. V., Freiburg, Germany, 7./8.10.2009

Saint-Cast, P.; Rüdiger, M.; Lude, S.; Wolf, A.; Kania, D.;

Hofmann, M.; Rentsch, J.; Preu, R.

»Advanced Analytical Models of Loss Calculation of PERC Structure«, 19th International PVSEC, Jeju, Korea, 9.–13.11.2009

Schickanz, M.

»Primary Energy Analysis of Solar Cooling and CHCP«, Joint Meeting IEA Annex 34, IEA Task 28, Freiburg, Germany, 29.4.2009

Schickanz, M.

»Progress Report on System Simulation«, IEA Task 38, Freiburg, Germany, 30.4.2009

Schickanz, M.; Sondermann, N.; Wapler, J.; Rother, C.; Nuñez, T.

»First Results of a Micro-CHCP System with two Adsorption Chillers«, Heat Powered Cycles Conference 2009, Berlin, Germany, 7.–9.9.2009 (†: PSE AG, Freiburg, Germany)

Schies, A.; Went, J.; Heidtmann, M.; Eisele, M.; Kroemke, M.;

Vetter, M.

»Operating Control Strategies and Dimensioning of Photovoltaic Powered Seawater Desalination Plants without Battery«, EDS Conference 2009, Baden-Baden, Germany, 17.–20.5.2009

Schiller, H.; Götz, S.

»Faktor Mensch – Sozialwissenschaftliche Erkenntnisse aus Smart Metering Projekten«, Energieworkshop Nr. 1 »Smart Metering«, Kiel, Germany, 3.11.2009

Schmidt, H.

»Meteorologie-Messtechnik«, Grundlagenworkshop »Netzferne Stromversorgung mit Photovoltaik«, OTTI e. V., Freiburg, Germany, 6.10.2009

Schmidt, H.

»Aufbau und Funktionsweise von Solarzelle, Modul und Solargenerator«, Grundlagenworkshop »Netzferne Stromversorgung mit Photovoltaik«, OTTI e. V., Freiburg, Germany, 6.10.2009

Schmidt, H.; Burger, B.; Bussemas, U.; Elies, S.

»Wie schnell muss ein MPP-Tracker wirklich sein?«, 24. Symposium – Photovoltaische Solarenergie, OTTI e. V., Bad Staffelstein, Germany, 4.–6.3.2009

VORTRÄGE

Schmidt, H.; Burger, B.; Bussemas, U.; Elies, S.

»How Fast Must a MPP-Tracker Really Be?«, 24th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Hamburg, Germany, 21.–25.9.2009

Schnabel, L.; Witte, K. T.; Hoffmann, A.; Huang, K.; Andersen, O.¹

»Water as a Refrigerant – Evaporator Development for Cooling Applications«, Heat Powered Cycles Conference 2009, Berlin, Germany, 7.–9.9.2009

(¹: Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Materialforschung IFAM, Dresden, Germany)

Smolinka, T.

»Wasserstoff als Energieträger, Speicher und Stromerzeuger«, OTTI-Seminar: Energiespeicher in elektrischen Netzen, Regensburg, Germany, 13.11.11.2009

Smolinka, T.; Berthold, S.¹; Dennenmoser, M.; Dötsch, C.¹; Noak, J.²; Tübke, J.²; Vetter, M.

»Redox-Flow Batteries – Electric Storage Systems for Renewable Energy«, 4th International Renewable Energy Storage Conference 2009, Berlin, Germany, 24./25.11.2009

(¹: Fraunhofer Environmental, Safety and Energy Technology UMSICHT, Oberhausen, Germany)

(²: Fraunhofer Chemical Technology ICT, Pfinztal, Germany))

Stalter, O.; Burger, B.

»Wechselrichterintegrierte Motoransteuerung für zweiachsige (C) PV Nachführsysteme«, 24. Symposium Photovoltaische Solarenergie, OTTI, Bad Staffelstein, Germany, 3.–6.3.2009

Stalter, O.; Burger, B.

»Tracking Inverter for Large Scale CPV Power Plants«, 2nd International Workshop on CPV Power Plants, Darmstadt, Germany, 9./10.3.2009

Stalter, O.; Burger, B.

»Inverter Integrated Motor Control Unit for Dual-Axis (C)PV Trackers: The Tracking Inverter«, 24th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Hamburg, Germany, 21.–25.9.2009

Stalter, O.; Burger, B.; Bacha, S.¹; Roye, D.¹

»Integrated Solar Tracker Positioning Unit in Distributed Grid-Feeding Inverters for Photovoltaic Power Plants«, IEEE International Conference on Industrial Technology, 2009 ICIT 2009, Curchill, Australia, 10.–13.2.2009

(¹: Institut Polytechnique de Grenoble, Grenoble, France)

Steinhüser, A.

»Stand der Technik und Erträge von PV-Kraftwerken«, Seminar Burg Windeck, Bühl, Germany, 9.5.2009

Steinhüser, A.

»Auslegung netzferner Stromversorgungen«, Seminar Netzferne Stromversorgung mit Photovoltaik, Freiburg, Germany, 8.10.2009

Steinhüser, A.

»Einführungsvortrag Produktkomponenten«, BSW Auftaktworkshop PV Brandvorbeugung, Frankfurt, Germany, 19.11.2009

Stillahn, T.

»Perspektiven der Intelligenten Energie«, Smart Energy: Auf der Überholspur zum XXL-Markt? Workshop der Bitkom Akademie, Köln, Germany, 24.11.2009

Vetter, M.

»Advanced Renewable Energy Technologies for Sustainable Rural Development«, United Nations Conference on Trade and Development, Geneva, 12.5.2009

Vetter, M.

»Photovoltaic Systems in Grid Connected Applications and Mini-Grids«, USAID/IUSEA Global Workshop on Grid Connected Renewable Energy, Washington, USA, 2.9.2009

Vetter, M.

»Power Supply for Autonomous Systems«, SKA Power Investigation Task Force Meeting, Manchester, Great Britain, 23.10.2009

Vetter, M.; Bopp, G.; Ortiz, B.; Schwunk, S.

»PV-Hybridssysteme zur Versorgung von technischen Anlagen, Einzelhäusern und Inselnetzen«, Fachtagung Elektrische Energiespeicher, Fulda, Germany, 25./26.3.2009

Vetter, M.; Bopp, G.; Schwunk, S.; Ortiz, B.

»Bedeutung und Auslegung von Energiespeichern für Inselnetze«, Energiespeicher in Verteilnetzen, 13./14.5.2009, Regensburg, Germany

Vetter, M.; Bopp, G.; Ortiz, B.; Schwunk, S.

»Appliances of Energy Storages in Isolated Mini-Grids and Distribution Networks«, German Japanese Environmental Dialogue Forum, Tokyo, Japan, 9./10.6.2009

Vetter, M.; Macias, E.¹

»Appliances of Hybrid PV Systems in Isolated Mini-Grids and Distribution Networks«, 24th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Hamburg, 21.–25.9.2009
(¹: Alliance for Rural Electrification, Brussels)

Vetter, M.; Miara, M.

»Two Large Field-Tests of New Heat Pumps in Germany – Interim Results«, German Japanese Environmental Dialogue Forum, Tokyo, Japan, 9./10.6.2009

Vetter, M.; Schwunk, S.; Merten, J.¹; Barruel, F.¹; Wiss, O.¹

»Electric Mobility and Photovoltaics – The Low Voltage Grid on the Way to Energy Autonomy?«, 24th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Hamburg, 21.–25.9.2009
(¹: Institut National De L'Energie Solaire INES, Le Bourget-du-Lac Cedex France)

Warta, W.; Schubert, M. C.; Habenicht, H.; Kasemann, M.; Kwapil, W.; Gundel, P.; Schön, J.

»Analysis of Performance Limiting Material Properties of Multi-crystalline Silicon«, 18th International Photovoltaic Science and Engineering Conference and Exhibition, Kolkata, India, 19.–23.1.2009

Weber, E.

»Where is Photovoltaic Technology Heading?«, SEMICON/SOLARCON, Seoul, Korea, 21.1.2009

Weber, E.

»The Future of Photovoltaics«, PHOTON's 7th Solar Silicon Conference, München, Germany, 3.3.2009

Weber, E.

»Entwicklung des PV-Marktes aus Sicht der Forschung«, 24. Symposium Photovoltaische Solarenergie, Kloster Banz, Bad Staffelstein, Germany, 4.3.2009

Weber, E.

»Regenerative Energiequellen«, Science Media Academy, Stifterverband für die deutsche Wissenschaft und DFG, Berlin, Germany, 13.3.2009

Weber, E.

»The Global Outlook for PV Technology and Markets«, SEMICON/SOLARCON, Shanghai, China, 17.3.2009

Weber, E.

»Current Status and Outlook for Photovoltaic Research in Germany and the United States«, 1. Deutsch-Amerikanische Energietage 2009, Berlin, Germany, 31.3.2009

Weber, E.

»Zukunftsaussichten der Solarenergie«, RWE Innogy, Berlin, Germany, 16.4.2009

Weber, E.

»Materialprobleme in der Silicium und III/IV Solarzellentechnologie«, Physikalisches Kolloquium der Universität Erlangen, Erlangen, Germany, 5.5.2009

Weber, E.

»Entwicklung des PV-Marktes«, Seminar des Wirtschaftsverbands Industrieunternehmen Baden WVIB, Freiburg, Germany, 11.5.2009

Weber, E.

»Metamorphic Multijunction Solar Cells with World Record Efficiencies«, Electrochemical Society ECS, San Francisco, USA, 26.5.2009

Weber, E.

»The Future of Si Solar Cells«, RD50 Tagung Universität Freiburg, Freiburg, Germany, 4.6.2009

Weber, E.

»Neue Impulse für die Energieforschung«, Energieforschungskongress der FDP-Bundestagsfraktion, Thalheim, Germany, 8.7.2009

VORTRÄGE

Weber, E.

»The Future of Solar Energy«, 2nd Intersolar North America, San Francisco, USA, 14.7.2009

Weber, E.

»Semiconductor Defect Science and Technology-Opening the Door for the Future of Solar Energy«, 25th International Conference on Defects in Semiconductors ICDS-25, St. Petersburg, Russia, 20.7.2009

Weber, E.

»Photovoltaic Research in Europe«, 36th International Symposium on Compound Semiconductors ISCS 2009, University of California, Santa Barbara, USA, 30.8.2009

Weber, E.

»Climate Change & Climate Change Mitigation«, Konferenz Etech – Globale Umwelt Technologien, Karlsruhe, Germany, 30.9.2009

Weber, E.

»The Future of Solar Electricity«, ISES Solar World Congress 2009, Johannesburg, South Africa, 12.10.2009

Weber, E.

»Solarenergie als Wirtschaftsmotor für eine nachhaltige Energieversorgung«, Parlamentarischer Abend der Innovationsstiftung Schleswig-Holstein, Kiel, Germany, 18.11.2009

Weber, E.

»Der globale Forschungsmarkt für erneuerbare Energien – Wettbewerb und Technologiepartnerschaften«, Jahrestagung Forschungsverbund Erneuerbare Energien FVEE, Berlin, Germany, 24.11.2009

Weiß, K.-A.; Jack, S.; Kaltenbach, T.; Köhl, M.

»Qualifizierung von Designs und Materialien für polymere solarthermische Kollektoren«, 19. Symposium Thermische Solarenergie 2009, Bad Staffelstein, Germany, 6.–8.5.2009

Welser, E.; Guter, W.; Philipps, S. P.; Oliva, E.; Wekkeli, A.; Scheer, M.; Siefert, G.; Dimroth, F.; Bett, A. W.

»High Efficiency Multi-Junction Solar Cells: Concepts and Realisation«, EMRS Strasbourg, France, 8.–12.6.2009

Went, J.; Heidtmann, C.; Eisele, M.; Schies, A.; Kroemke, F.; Vetter, M.

»Betriebsführungsstrategien und Auslegung von batterielosen, photovoltaisch betriebenen Meerwasserentsalzungsanlagen«, 24. Symposium Photovoltaische Solarenergie, Bad Staffelstein, Germany, 4.–6.3.2009

Went, J.; Kroemke, H.; Schmoch, H.; Vetter, M.

»Energy Demand for Desalination with Solar Driven Reverse Osmosis Units«, EDS Conference 2009, 17.–20.5.2009, Baden-Baden, Germany

Wienold, J.

»Glare Evaluation«, 8th International Radiance Workshop, Harvard University Cambridge, USA, 21.–23.10.2009

Wienold, J.; Reinhart, C.¹

»Daysim 3.0 – DDS, New Validation Study and Annual Daylight Glare Probability Schedules«, 8th International Radiance Workshop, Harvard University Cambridge, USA, 21.–23.10.2009
(¹: Harvard Design School, Cambridge, USA)

Wille-Haussmann, B.; Becker, R.; Sauer, C.; Wittwer, C.

»Bewertung von Kommunikationskonzepten zum dezentralen Energiemanagement an einem Beispiel«, ETG-Fachtagung IT-Solutions in der Elektrizität, Stuttgart, Germany, 17./18.11.2009

Wille-Haussmann; B.; Gemsjäger, B.; Link, J.; Sauer, C.; Wittwer, C.

»Local Energy Systems Optimised for Local Consumption of Self Produced Electricity«, 4th International Renewable Energy Storage Conference (IRES 2009), Berlin, Germany, 24./25.11.2009

Wille-Haussmann, B.; Sauer, C.; Soria, A.; Walter, T.; Wittwer, C.

»Models for Optimised Operation of Heating Systems with Variable Tariffs«, CISBAT Conference 2009, EPFL, Lausanne, Switzerland, 2./3.9.2009

Wilson, H. R.; Kuhn, T. E.

»Measurement of Electrical, Optical and Thermal Properties of PV Modules and Library Creation for Simulation Tools«, Multifunctional PV Façades Project, Kick-off Workshop, National University of Singapore, Singapore, 2./3.4.2009

Witte, K. T.; Schnabel, L.; Andersen, O.¹

»A II. 1: Verdampferentwicklung für den Einsatz in thermisch betriebenen Kältemaschinen«, Deutsche Kälte- und Klimatagung, Berlin, Germany, 18.–20.11.2009

(¹: Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Materialforschung IFAM, Dresden, Germany)

Wittwer, C.

»Der Weg vom Smart Metering System zum Smart Grid Device (Smart Grid, Smart Appliance, Smart Response)«, TAB-Fachforum 2009, »Der Zukunft verpflichtet. Energieeffizienz und TAB«, Düsseldorf, Germany, 17./18.2.2009

Wittwer, C.

»Grid Integration of VW-PlugIn-Hybrids with Tariff Controlled Bidirectional Operation within the Pilot Project of German-BMU-Projekt »Fleet Test Electro Mobility«, OTTI European Conference Smart Grids and Mobility, Würzburg, Germany, 16./17.6.2009

Wittwer, C.

»Bidirektionale Netzintegration von E-Fahrzeugen mit neuen Smart Metering-Systemen am Beispiel des Flottenversuchs VW-E.ON«, Smart Grids Week, Salzburg, Austria, 13.–15.5. 2009

Wittwer, C.

»Der Weg vom »smart metering« zum »smart grid«, Effiziente Energieversorgung, -speicherung und -nutzung als Schlüssel zum Klimaschutz, Zweites Deutsch-Japanisches Umweltdialogforum, Tokyo International Forum, Tokyo, Japan, 9./10.6.2009

Wittwer, C.; Schäfer, C.

»Der Weg vom »smart metering« zum »smart grid«, Smart Grid Workshop des BMWi, Netze für die Stromversorgung der Zukunft, Perspektiven für die Energieforschung, Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie BMWi, Bonn, Germany, 3.2.2009

IMPRESSUM

Redaktion

Marion Hopf, Karin Schneider (Leitung)

Presse und Public Relations

Bildquellen

Michael Eckmann, Freiburg; Thomas Ernsting, Köln;

Bernd Lammel, Berlin; Margrit Müller, Freiburg;

Joscha Rammelberg, Freiburg; Claudia Seitz, Sankt Märgen;

Herbert Stolz, Regensburg; Fraunhofer ISE;

Deutscher Zukunftspreis/Foto Ansgar Pudenz;

Ferrostal AG/Solar Power Group/de Riese; Messe München;

Pohlen-Solar GmbH; Volkswagen AG;

Wagner & Co. Solartechnik GmbH

Gestaltung und Druck

www.netsyn.de, Joachim Würger, Freiburg

Anschrift der Redaktion

Fraunhofer-Institut für

Solare Energiesysteme ISE

Presse und Public Relations

Heidenhofstr. 2

79110 Freiburg

Telefon +49 761 4588-5150

Fax + 49 761 4588-9342

info@ise.fraunhofer.de

www.ise.fraunhofer.de

Bestellung von Publikationen bitte per E-Mail oder per Fax.

Bei Abdruck ist die Einwilligung der Redaktion erforderlich.

www.ise.fraunhofer.de/presse_und_medien/presseinformationen

© Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE

Freiburg, 2010



© Messe München

SOLAR SUMMITS 2010

Solar Mobility – Fuel Cells and Energy Supply
for Sustainable Electromobility
13. bis 15. Oktober 2010, Konzerthaus Freiburg

2010 findet in Freiburg bereits zum dritten Mal die Kongressreihe »Solar Summits« statt. Die wissenschaftliche Konferenz widmet sich diesmal dem Thema »Solar Mobility – Fuel Cells and Energy Supply for Sustainable Electromobility«. Wissenschaftlicher Partner der internationalen Veranstaltungsreihe ist das Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE.

Ziel der »Solar Summits« ist es, einen fundierten Überblick über die neuesten Erkenntnisse der Wissenschaft zu geben, und den Wissenstransfer zwischen Forschern, Industrievertretern und Politikern zu generieren. Die Kongressreihe informiert über die neuesten Erkenntnisse der Wissenschaft und deren wirtschaftliche Umsetzung und Nutzung im Bereich erneuerbare Energien und effizienter Energieeinsatz. Die Konferenzen werden von der Messe München in Partnerschaft mit der Freiburg Wirtschaft Touristik und Messe GmbH (FWTM) und dem Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE organisiert.

Weitere Informationen und die Möglichkeit zur Anmeldung finden Sie unter www.solar-summits.com

VERANSTALTUNGEN 2010
MIT BETEILIGUNG DES
FRAUNHOFER ISE

25. Symposium Photovoltaische Solarenergie,
Kloster Banz, Bad Staffelstein 3.–5.3.2010

6. International Conference on Concentrating
Photovoltaic Systems, Freiburg, 7.–9.4.2010

Hannover Messe, Hannover, 19.–23.4.2010

20. Symposium Thermische Solarenergie,
Kloster Banz, Bad Staffelstein, 5.–7.5.2010

Intersolar, München, 9.–11.6.2010

Intersolar North America, San Francisco, 13.–15.7.2010

16th International SolarPACES Conference,
Perpignan, 21.–24.9.2010

f-cell Forum, Stuttgart, 27.–28.9.2010

25th European Photovoltaic Solar Energy
Conference and Exhibition, Valencia, 6.–10.9.2010

Solar Summits Freiburg: Solar Mobility – Fuel Cells
and Energy Supply for Sustainable Electromobility,
Freiburg, 13.–15.10.2010

SONSTIGE VERÖFFENTLICHUNGEN

Aicher, T.; Full, J.; Schaadt, A.

»A Portable Fuel Processor for Hydrogen Production from Ethanol in a 250 W_{el} Fuel Cell System«, in: *International Journal of Hydrogen Energy*, Vol. 32, No. 19, pp. 8006–8015

Alink, R.; Gerteisen, D.; Oszcipok, M.; Hebling, C.

»Freezing Effects in Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell Stacks«, in: *Proceedings, Diagnostic Tools for Fuel Cell Technologies, Trondheim, Norway*, 23./24.6.2009

Assmus, M.; Jack, S.; Koehl, M.; Weiss, K.-A.

»Dynamic Mechanical Loads on PV-Modules«, in: *Proceedings, 24th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Hamburg, Germany*, 21.–25.9.2009

Avato, P.¹; Bopp, G.; Cabraal, A.¹; Grüner, R.²; Lux, S.; Pfanner, N.

»Investigations and Tests of LED-Based PV-Powered Lanterns«, in: *Proceedings, 24th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Hamburg, Germany*, 21.–25.9.2009

(¹: World Bank Group, Washington, D.C., USA)

(²: Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ), Eschborn, Germany)

Bambrook, S.¹; Sproul, A.¹; Jacob, D.

»Exploring the Zero Energy House Concept for Sydney«, *Solar 09, The 47th ANZSES Annual Conference, Townsville, Queensland, Australia*, 29.9.–2.10.2009

(¹: University of New South Wales, Kensington NSW 2052, Australia)

Bartsch, J.; Radtke, V.; Savio, C.; Glunz, S. W.

»Progress in Understanding the Current Paths and Deposition Mechanisms of Light-Induced Plating and Implications for the Process«, in: *Konferenzband, Proceedings, 24th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Hamburg, Germany*, 21.–25.9.2009

Bartsch, J.; Savio, C.; Hörteis, M.; Glunz, S. W.

»Achievements and Challenges in Two-Step Metallization Processes for Crystalline Silicon Solar Cells«, in: *Photovoltaics International, 6th Edition*, pp. 54–63

Becker, J. P.; Pysch, D.; Leimenstoll, A.; Hermle, M.; Glunz, S. W.

»Wet-Chemical Pre-Treatment of c-Si Substrates Enhancing the Performance of a-SiC:H/c-Si Heterojunction Solar Cells«, in: *Konferenzband, Proceedings, 24th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Hamburg, Germany*, 21.–25.9.2009

Becker, R.; Wittwer, C.

»M2M für die Integration von E-Fahrzeugen«, in: *M2M Journal*

Benick, J.; Hoex, B.¹; Dingemans, G.¹; Kessels, W. M. M.¹; Richter, A.; Hermle, M.; Glunz, S. W.

»High Efficiency n-Type Silicon Solar Cells with Front Side Boron Emitter«, in: *Proceedings, 24th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Hamburg, Germany*, 21.–25.9.2009

(¹: Eindhoven University of Technology, Eindhoven, The Netherlands)

Benick, J.; Zimmermann, K.; Spiegelmann, J.¹; Hermle, M.;

Glunz, S. W.

»Passivation Quality of Wet Oxides Grown from Purified Steam«, in: *Proceedings, 24th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Hamburg, Germany*, 21.–25.9.2009

(¹: RASIRC, San Diego, CA, USA)

Bergmann, A.; Gerteisen D.; Kurz, T.

»Modeling of CO Poisoning and its Dynamics in PBI-Based HTPEM Fuel Cells«, in: *Fuel Cells – From Fundamentals to Systems, E-MRS 2009 Spring Meeting*, 8.–12.6.2009, Strasbourg, France

Bergmann, A.; Kurz, T.; Gerteisen, D.

»Dynamic Modelling of CO Poisoning in PBI-Based HTPEM Fuel Cells«, in: *Conference Proceedings, European Fuel Cell Forum 2009, Luzern, Switzerland*, 29.6.–2.7.2009

Bertram, C.; Wolf, A.; Bellendin, U.; Wotke, E. A.; Biro, D.

»Emitter Profile Tailoring by Gas Flux Variation in Tube Furnace POCl₃-Diffusion and Analysis of the Phosphosilicate Glass«, in: *Proceedings, 3rd International Conference Solar Air-Conditioning, Palermo, Italy*, 30.9.–2.10.2009

Bett, A. W.

»Current Status of Research on III-V Solar Cells at Fraunhofer ISE«, *Nagoyaa, Japan*, 9.12.2009

SONSTIGE VERÖFFENTLICHUNGEN

- Bett, A. W.; Dimroth, F.; Guter, W.; Hoheisel, R.; Oliva O.; Philipps, S. M.; Schöne, J.¹; Siefer, G.; Steiner, M.; Wekkeli, A.; Welsler, E.; Meusel, M.²; Köstler, W.²; Strobl, G.²
 »Highest Efficiency Mult-Junction Solar Cell for Terrestrial and Space Applications«, in: *Proceedings, 24th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Hamburg, Germany, 21.–25.9.2009*
 (1: centrotherm photovoltaics, Konstanz, Germany)
 (2: Azur Space, Solar Power, Heilbronn, Germany)
- Binder, S.; Hörteis, M.; Schmidt, D.; Drew, K.; Clement, F.
 »Overview of Aerosol Jet Application in Photovoltaic R&D at Fraunhofer ISE«, in: *Proceedings, Aerosol Jet User Group Meeting, Bremen, Germany, 28./29.9.2009*
- Birmann, K.; Zimmer, M.; Rentsch, J.
 »Alkaline Etching of Silicon Wafers«, in: *Proceedings, Freiburger Siliziumtage, Freiberg, Germany, 17.–19.6.2009*
- Birmann, K.; Zimmer, M.; Rentsch, J.
 »Controlling the Surface Tension of Alkaline Etching Solutions«, in: *Proceedings, 24th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Hamburg, Germany, 21.–25.9.2009*
- Biro, D.
 »Printing in Silicon Solar Cell Production«, in: *Intranet TU Darmstadt, Darmstadt, Germany, 1.7.2009*
- Blazek, M.¹; Kwapil, W.; Schön, J.; Warta, W.
 »Gettering Variation and Lifetime Characterization of Intentionally Iron, Nickel and Chromium Contaminated Multicrystalline Silicon Wafers«, in: *Proceedings, 24th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Hamburg, Germany, 21.–25.9.2009*
 (1: now with IMTEK, Freiburg, Germany)
- Bongs C.; Morgenstern, A.; Henning, H. M.
 »Evaluation of Sorption Materials for the Application in an Evaporatively Cooled Sorptive Heat Exchanger«, in: *Proceedings, Heat Power Cycles Conference 2009, Berlin, Germany, 7.–9.9.2009*
- Braun, M.; Arnold, G.; Laukamp, H.
 »Experiences of Photovoltaic Network Integration in Germany«, in: *IEEE Power & Energy magazine, Sonderausgabe März 2009*
- Brinkmann, N.; Mitchell, E. J.; Reber, S.
 »Epitaxy-Through-Holes Process for Epitaxy Wrap-Through Solar Cells«, in: *Proceedings, 24th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Hamburg, Germany, 21.–25.9.2009*
- Bruendlinger, R.¹; Henze, N.⁴; Häberlin, H.²; Burger, B.; Bergmann, A.⁵; Baumgartner, F.³
 »EN 50530 – The New European Standard for Performance Characterisation of PV Inverters«, in: *Proceedings, 24th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Hamburg, Germany, 21.–25.9.2009, pp. 3105–3109*
 (1: arsenal research, Wien, Österreich)
 (2: Berner Fachhochschule Technik und Informatik, Burgdorf, Schweiz)
 (3: Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften, Winterthur, Schweiz)
 (4: Fraunhofer IWES, Kassel, Germany)
 (5: DKE, Frankfurt, Germany)
- Burger, B.
 »Power Electronics for Photovoltaics – Review«, *Seminar Power Electronics for Renewable Energies, in: Proceedings, OTTI e. V., Munich, Germany, 25./26.5.2009, pp. 15–24*
- Burger, B.
 »Power Electronics for Off Grid Photovoltaics«, *Seminar Power Electronics for Renewable Energies, in: Proceedings, OTTI e. V., Germany, 25./26.5.2009, pp. 139–168*
- Burger, B.
 »Photovoltaic Inverters for Grid Connection«, *Seminar Power Electronics for Renewable Energies, in: Proceedings, OTTI e. V., Munich, Germany, 25./26.5.2009, pp. 169–228*
- Burger, B.
 »Wechselrichter für Inselsystem«, *Seminar Dezentrale Stromversorgung mit Photovoltaik, OTTI e. V., in: Tagungsband, Freiburg, Germany, 7.10.2009, pp. 115–160*
- Burger, B.; Kranzer, D.
 »Extreme High Efficiency PV-Power Converters«, *13th European Conference on Power Electronics and Applications, EPE 2009, Barcelona, Spain, 8.–10.9.2009*

Burger, B.; Kranzer, D.

»Transformerless PV Topologies«, in: *Power Systems Design Europe*, 12/2009

Burger, B.; Schmidt, H.

»Interactions Between Modules and Inverters«, *Seminar Power Electronics for Renewable Energies*, in: *Proceedings, OTTI e. V., Munich, Germany*, 25./26.5.2009, pp. 323–372

Burger, B.; Schmidt, H.; Bletterie, B.¹; Bruendinger, R.¹; Häberlin, H.²; Baumgartner, F.³; Klein, G.⁴

»Are We Benchmarking Inverters on the Basis of Outdated Definitions of the European and CEC Efficiency?«, in: *Proceedings, 24th European Photovoltaic Solar Energy Conference*, Hamburg, Germany, 21.–25.9.2009

(¹: arsenal research, Wien, Österreich)

(²: Berner Fachhochschule Technik und Informatik, Burgdorf, Schweiz)

(³: Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften, Winterthur, Schweiz)

(⁴: Fraunhofer IWES, Kassel, Germany)

Burger, B.; Schmidt, H.; Bletterie, B.¹; Bruendinger, R.¹;

Häberlin, H.²; Baumgartner, F.³; Klein, G.⁴

»Der Europäische Jahreswirkungsgrad und seine Fehler«, in: *Tagungsband, 24. Symposium – Photovoltaische Solarenergie*, OTTI e. V., Bad Staffelstein, Germany, 4.–6.3.2009, pp. 212–217

(¹: arsenal research, Wien, Österreich)

(²: Berner Fachhochschule Technik und Informatik, Burgdorf, Schweiz)

(³: Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften, Winterthur, Schweiz)

(⁴: Fraunhofer IWES, Kassel, Germany)

Cipollina, A.¹; di Miceli, A.¹; Koschikowski, J.; Micale, G.¹; Rizzuti, L.¹

»CFD Simulation of a Membrane Distillation Module Channel«, in: *Desalination and Water Treatment*, www.deswater.com

(¹: Dipartimento di Ingegneria Chimica dei Processi e dei materiali, Università di Palermo, Viale delle Scienze, Palermo, Italy)

Clement, F.; Menkö, M.; Erath, D.; Retzlaff, M.; Goetz, A. K.;

Hoerteis, M.; Bartsch, J.; Hoenig, R.; Bellendin, U.; Biro, D.; Preu, R.

»Industrially Feasible MC-Si Solar Cells with Fine Line Printed Front Contacts on High Emitter Sheet Resistance Towards 17 % Efficiency«, in: *Proceedings, 24th European Photovoltaic Solar Energy Conference*, Hamburg, Germany, 21.–25.9.2009

Clement, F.; Menkö, M.; Hoenig, R.; Haunschild, J.; Biro, D.; Preu, D.; Lahmer, D.¹; Lossen, J.¹; Krokoszinski, H.-J.¹

»Pilot-Line Processing of Screen-Printed CZ-Si MWT Solar Cells Exceeding 17 % Efficiency«, in: *Proceedings, 34th IEEE Photovoltaic Specialists Conference*, Philadelphia, PA, USA, 7.–12.6.2009

(¹: ersol Solar Energy AG, Erfurt, Germany)

Dimroth, F.; Guter, W.; Schöne, J.; Welsch, E.; Steiner, M.; Oliva, E.; Wekkeli, A.; Siefert, G.; Philipps, S. P.; Bett, A. W.

»Metamorphic GaInP/GaInAs/Ge Triple-Junction Solar Cells with > 41% EFFICIENCY«, in: *Proceedings, 34th IEEE Photovoltaic Specialists Conference*, Philadelphia, PA, USA, 7.–12.6.2009

Döscher, T.; Wille-Hausmann, B.; Link, J.

»Evaluation of Technical Integration of Electric Mobility Into the Grid«, in: *Conference Proceedings, EVS-24 The International Battery, Hybrid and Fuel Cell Electric Vehicle Symposium*, Stavanger, Norway, 13.–16.5.2009

Drießen, M.; Schmich, E.; Janz, S.; Reber, S.

»Optical Confinement for Thin-Film Solar Cells by Gaseous HCL Etching«, in: *Proceedings, 24th European Photovoltaic Solar Energy Conference*, Hamburg, Germany, 21.–25.9.2009

Dupeyrat, P.; Rommel, M.; Menezo, C.¹; Kwiatkowski, G.²; Binesti, D.²

»Analysis of a Hybrid PV-Thermal Collector Concept«, in: *Proceedings, 18th International Photovoltaic Science and Engineering Conference and Exhibition*, Kolkata, India, 19.–23.1.2009

(¹: LOCIE, Université de Savoie, Le Bourget-du-Lac, France)

(²: EDF R&D, Moret-sur-Loing, France)

SONSTIGE VERÖFFENTLICHUNGEN

Dupeyrat, P.; Menezo, C.¹; Hofmann, P.; Wirth, H.; Kwiatkowski, G.²; Binesti, D.²; Rommel, M.³

»Development of a High Performances PV-Thermal Flat Plate Collector«, in: *Proceedings, CISBAT 2009, Renewables in a Changing Climate – From Nano to Urban Scale, Lausanne, Switzerland, 2./3.9.2009*

(¹: LOCIE, Université de Savoie, Le Bourget-du-Lac, France)

(²: EDF R&D, Moret-sur-Loing, France)

(³: SPF, Rapperswil, Switzerland)

Ebert, G.

»Elektromobilität bringt Wind- und Sonnenenergie auf die Straße«, in: *Ingenieur-Spiegel 4/2009*, pp. 32–26

Elies, S.; Hermle, M.; Burger, B.

»Neue Mathematische Modelle für Solarzellenkennlinien«, in: *Tagungsband, 24. Symposium Photovoltaische Solarenergie, Bad Staffelstein, Germany, 4.–6.3.2009*, pp. 129–134

Elies, S.; Hermle, M.; Burger, B.

»Improved Two-Diode Model for More Detailed Dimulation of I-V-Curves for Solar Cells and Modules«, in: *Proceedings, 24th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Hamburg, Germany, 21.–25.9.2009*, pp. 3273–3276

Erath, D.; Specht, J.; Clement, F.; Biro, D.; Doll, O.; Tuehaus, C.¹; Stockum, W.¹; Koehler, I.¹; Geppert, T.²; Lossen, J.²

»Improved Edge Isolation of Solar Cells Applying Readily Dispensable Etching Paste«, in: *Proceedings, 24th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Hamburg, Germany, 21.–25.9.2009*, pp. 1762–1766

(¹: MERCK KGaA, Darmstadt, Germany)

(²: Bosch Solar Energy AG, Erfurt, Germany)

Fellmeth, T.; Fritz, S.; Menkö, M.; Mingirulli, N.; Glatthaar, M.; Clement, F.; Biro, D.; Preu, R.

»Development of Crystalline Silicon Based Metal Wrap Through (MWT) Solar Cells for Low Concentrator (2–30x) Applications«, in: *Proceedings, 24th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Hamburg, Germany, 21.–25.9.2009*

Feuerhahn, S.; Zillgith, M.; Becker, R.; Wittwer, C.

»Implementierung einer offenen Smart Metering Referenzplattform – OpenMUC«, in: *Proceedings, Internationaler ETG Kongress »Intelligente Netze«, Düsseldorf, Germany, 27./28.10.2009*

Frontini, F.; Kuhn, T. E.; Herkel, S.; Strachan, P.¹; Kokogiannakis, G.¹

»Implementation of a New Bi-Directional Solar Modelling Method for Complex Façades within the ESP-r Building Simulation Program and its Application«, in: *Proceedings, 11th International Building Performance Simulation 2009, University of Strathclyde, Glasgow, Scotland, Great Britain, 27.–30.7.2009*

(¹: University of Strathclyde, Glasgow, Scotland, Great Britain)

Frontini, F.; Kuhn, T. E.

»An Accurate Approach to Evaluate the Solar Control Strategies for Complex Façades within the ESP-r Building Simulation Program and its Application«, in: *Proceedings, 4th Energy Forum on Solar Architecture & Urban Planning, Bressanone, Italy, 1.–4.12.2009*

Füldner, G.; Schnabel, L.

»Water Adsorption in Compact Adsorbent Layers – Kinetic Measurement and Numerical Layer Optimization«, in: *Proceedings, Heat Powered Cycles 2009, TU Berlin, Berlin, Germany, 7.–9.9.2009*

Füldner, G.; Wittstadt, U.; Joshi, C.¹; Schmidt, F.¹

»Boost in Power Density of Adsorbers by Zeolite Coated Metal Fibres«, in: *Proceedings, 3rd International Conference Solar Air-Conditioning, Palermo, Italy, 30.9.–2.10.2009*

(¹: University of Karlsruhe, Karlsruhe, Germany)

Full, J.; Aicher, T.

»Vollautomatisches portables 250 Wei-Reformer-Brennstoffzellen-system – Strom für unterwegs«, in: *Brennstoffzellenmagazin*

Gautero, L.; Hofmann, M.; Rentsch, J.; Bitnar, B.; Sallèse, J.-M.; Preu, R.

»All-Screen-Printed 120- μ M-Thin Large-Area Silicon Solar Cells Applying Dielectric Rear Passivation and Laser-Fired Contacts Reaching 18 % Efficiency«, in: *Proceedings, 24th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Hamburg, Germany, 21.–25.9.2009*

SONSTIGE VERÖFFENTLICHUNGEN

Georg, A.

»Optisch schaltbare Schichten mit Wolframoxid«, in: Tagungsband, Statusseminar Energieoptimiertes Bauen, Würzburg, 30.6.2009

Georg, A.

»Transparente Elektroden für Organische Solarzellen auf Basis dünner Silberschichten«, in: Tagungsband, Dritte Fachtagung mit Ausstellung: Transparent leitfähige Schichten (TCO), Neu-Ulm, Germany, 2.12.2009

Georg, A.; Jungmann, T.; Tian, X.; Alink, R.; Meier, S.; Dyck, A.

»Impurities Originating from Fuel Cell and System Components«, in: Proceedings, International Workshop on the Effects of Fuel & Air Quality, Berlin, Germany, 9.–11.9.2009

Gerteisen, D.; Alink, R.; Hebling, C.

»Investigation of Multi-Phase Flow in PEMFC by Experimental and Modeling Work«, in: HyFC Academy School on Fuel Cells and Hydrogen, Vancouver, Canada, 26.–29.5.2009

Gerteisen, D.; Meyer, M.

»Modeling the Dynamic Effects of Catalyst Poisoning and Mixed Potential Formation in a DMFC«, in: Conference Proceedings, European Fuel Cell Forum 2009, Luzern, Switzerland, 29.6.–3.7.2009

Giesecke, J. A.; Kasemann, M.; Warta, W.

»Separation of Recombination Properties of Silicon Solar Cells and Wafers via Luminescence Imaging«, in: Proceedings, 24th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Hamburg, Germany, 21.–25.9.2009

Glatthaar, M.; Giesecke, J.; Kasemann, M.; Haunschild, J.; The, M.; Warta, W.; Rein, S.

»Spatially Resolved Determination of the Dark Saturation Current of Silicon Solar Cells from Electroluminescence Images«, in: Journal of Applied Physics, Vol. 11, No. 5, p. 5

Glunz, S. W.

»High-Efficiency Solar Cells – Concepts for n-Type Silicon«, in: Proceedings, 19th International PVSEC, Jeju, Korea, 9.–13.11.2009

Glunz, S. W.

»Hocheffiziente Solarzellen – Konzepte für n-Typ Silicium«, in: Proceedings, ipe-Kolloquium, Stuttgart, Germany, 7.12.2009

Goldschmidt, J. C.; Fischer, S.; Löper, P.; Peters, M.; Steidl, L.; Hermle, M.; Glunz, S. W.

»Photon Management with Luminescent Materials«, in: Proceedings, Quantsol 2009 Winter Workshop, Rauris, Salzburg, Austria, 8.–14.3.2009

Goldschmidt, J. C.; Peters, M.; Dimroth, F.; Bett, A. W.; Steidl, L.; Zentel, R.; Hermle, M.; Glunz, S. W.; Willeke, G.

»Developing Large and Efficient Fluorescent Concentrator Systems«, in: Proceedings, 24th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Hamburg, Germany, 21.–25.9.2009

Gölz, S.

»Smart Metering and Feedback Systems: Suitable Instruments to Increase Sustainable Energy Consumption?«, in: Edited Conference Volume, TRANSCOPE Midterm Conference, Münster, Germany, 5.11.2009

Gölz, S.

»Was will eigentlich der Kunde? Akzeptanz, Grund- und Zusatznutzen von elektronischen Zählern für den Endverbraucher«, Smart Metering kommt! Flächendeckender Roll-Out bis 2014 – Illusion oder Realität?, Wien, Österreich, 11.12.2009, online

Gölz, S.; Götz, K.; Deffner, J.

»Smart Metering – a Means to Increase Sustainable Energy Consumption? Socio-Technical Research and Development on Feedback Systems«, in: Conference Proceedings, 5th International Conference on Energy Efficiency in Domestic Appliances and Lighting (EEDAL' 09), Berlin, Germany, 16.6.2009

Gölz, S.; Noeren, D.; Götz, K.

»Smart Metering and Feedback Systems – a Technological Innovation to increase Knowledge, Motivation and Behaviour towards Energy Conservation?«, in: 8th Biennial Conference on Environmental Psychology, Zürich, Switzerland, 6.–9.9.2009

SONSTIGE VERÖFFENTLICHUNGEN

Gözl, S.; Schiller, H.; Götz, K.

»Feedback Systems to Increase Knowledge, Motivation towards Energy Conservation? Acceptance of an Environmental Innovation«, in: 8th Biennial Conference on Environmental Psychology, Zürich, Switzerland, 6.–9.9.2009

Granek, F.; Drew, K.; Hopman, S.; Hörteis, M.; Glunz, S.

»First Results with Combining Laser Chemical Processing and Aerosol Jet Printing for High Efficiency Front Side Structures of Silicon Solar Cells«, in: Abstract book, 19th International PVSEC, Jeju, Korea, 9.–13.11.2009

Granek, F.; Reichel, C.; Glunz, S. W.

»Stability of Front Surface Passivation of Back-Junction Back-Contact Silicon Solar Cells under UV Illumination«, in: Proceedings, 24th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Hamburg, Germany, 21.–25.9.2009

Grau, M.; Blangis, D.; Lindekugel, S.; Janz, S.; Reber, S.; Straboni, A.

»High VOC Crystalline Silicon Thin Film Solar Cells Through Recrystallised Wafer Equivalent Applied to Sintered Silicon«, in: Proceedings, 24th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Hamburg, Germany, 21.–25.9.2009

Greulich, J.; Glatthaar, M.; Krieg, A.; Emanuel, G.; Rein, S.

»JV Characteristics of Industrial Silicon Solar Cells: Influence of Distributed Series Resistance and Shockley Read Hall Recombination«, in: Proceedings, 24th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Hamburg, Germany, 21.–25.9.2009

Grohe, A.; Granek, F.; Jäger, U.; Knorz, A.; Nekarda, J.; Preu, R.

»Laser Solar Cell Processing: New Technologies and Economic Prospects«, in: Handouts, 9th International Laser Marketplace / Laser 2009, München, Germany, 17.6.2009

Grohe, A.; Knorz, A.; Nekarda, J.; Jäger, U.; Mingirulli, N.; Preu, R.

»Novel Laser Technologies for Crystalline Silicon Solar Cell Production«, in: Proceedings, Photonics West, San Jose, CA, USA, 24.–29.1.2009

Grohe, A.; Wirth, H.

»Laser Applications for the Photovoltaic Industry«, in: Laser Technik Journal, Vol. 1, 12.1.2009, pp. 30–32

Groos, U.; Hebling, C.

»Fuel Cell Systems for Portable Electronic Devices and for Light Traction Vehicles«, in: Proceedings, f-cell 2009, Stuttgart, Germany

Groß, B.; Peharz, G.; Siefer, G.; Peters, M.; Goldschmidt, J. C.; Steiner, M.; Guter, W.; Klinger, V.; George, B.; Dimroth, F.

»Highly Efficient Light Splitting Photovoltaic Receiver«, in: Proceedings, 24th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Hamburg, Germany, 21.–25.9.2009

Gundel, P.; Schubert, M. C.; Kwapil, W.; Schön, J.¹; Reiche, M.²;

Savin, H.³; Ily-Koski, M.³; Sans, J. A.⁴; Martinez-Criado, G.⁴; Warta, W.; Weber, E. R.

»Micro Photoluminescence Spectroscopy on Multicrystalline Silicon«, in: Proceedings, 24th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Hamburg, Germany, 21.–25.9.2009

(¹: Freiburg Materials Research Center, University of Freiburg, Germany)

(²: Max Planck Institute for Microstructure Physics, Halle, Germany)

(³: Helsinki University of Technology, TKK, Finland)

(⁴: ESRF, Grenoble Cedex, France)

Gundel, P.; Schubert, M. C.; Warta, W.

»Simultaneous Stress and Defect«, in: physica status solidi A, Vol. 1–6

Habenicht, H.; Schubert, M. C.; Richter, A.; Warta, W.

»Impact of Si_xH and Al_2O_3 Surface Passivation on Interstitial Iron Concentration and Carrier Lifetime in MC-Silicon Wafers«, in: Proceedings, 24th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Hamburg, Germany, 21.–25.9.2009

Haunschild, J.; Glatthaar, M.; Kwapil, W.; Rein, S.

»Comparing Luminescence Imaging for Inline Inspection of Silicon Solar Cells«, in: Proceedings, 24th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Hamburg, Germany, 21.–25.9.2009

Hausmann, T.; Schossig, P.

»Forschungsaktivitäten – PCM in Baumaterialien«, in: Tagungsband, LowEx Symposium, Kassel, Germany, 28./29.10.2009

Hausmann, T.; Schossig, P.; Grossmann, L.

»Experiences with Lowex PCM Chilled Ceilings in Demonstration Buildings«, in: *Effstock 2009, Stockholm, Sweden, 14.–17.6.2009*

Hebling, C.

»Microsurface Modification for an Efficient Conversion of Renewable Energy«, in: *Proceedings, Micromachine Summit 2009, Edmonton, Canada, 5.–8.5.2009*

Heider, F.; Büttner, M.; Link, J.; Wittwer, C.

»Vehicle to Grid: Realization of Power Management for the Optimal Integration of Plug-In Electric Vehicles into the Grid«, in: *Conference Proceedings, Electric Vehicle Symposium 24 [EVS 24], Stavanger, Norway, 13.–16.5.2009*

Henning, H.-M.

»Solar Cooling Components and Systems – an Overview«, in: *Proceedings, Intersolar North America, San Francisco, CA, USA, 14.–16.7.2009*

Henning, H.-M.

»Solar Thermal Collectors and Heat Pumps – A New Promising Combination«, in: *Proceedings, Intersolar North America, San Francisco, CA, USA, 14.–16.7.2009*

Henning, H.-M.

»The Building Shell of the Future«, in: *Proceedings, Intersolar North America, San Francisco, CA, USA, 14.–16.7.2009*

Henning, H.-M.

»Exergieanalyse der Solaren Kühlung«, in: *LowEx-Symposium zum Deutschen Projektverbund des BMWi, Kassel, Germany, 28.129.10.2009*

Henning, H.-M.; Nuñez, T.

»Fast Pre-Design of Systems Using Thermally Driven Chillers«, in: *Proceedings, Heat Power Cycles Conference 2009, Berlin, Germany, 7.–9.9.2009*

Henning, H.-M.; Nuñez, T.

»Fast Pre-Design of Systems Using Solar Thermally Driven Chillers«, in: *Tagungsband, 3rd International Conference Solar Air-Conditioning, Palermo, Italy, 30.9.–2.10.2009*

Henning, H.-M.; Kuhn, T.; Herkel, S.

»Solar Building Façades«, in: *Tagungsband, 4th Energy Forum on Solar Architecture & Urban Planning, Bressanone, Italy, 1.–4.12.2009*

Henning, H.-M.; Miara, M.

»Solarthermie und Wärmepumpen – getrennt oder zusammen?«, in: *Erneuerbare Energien, Vol. 2009-3, pp. 4–7*

Henning, H.-M.; Miara, M.

»Kombination Solarthermie und Wärmepumpe – Lösungsansätze, Chancen und Grenzen«, in: *Tagungsband, 19. Symposium Thermische Solarenergie 2009, Bad Staffelstein, Germany, 6.–8.5.2009, CD-ROM*

Henning, H.-M.; Morgenstern, A.; Bongs, C.

»Energieeffiziente Kühlung und Entfeuchtung«, in: *Tagungsband, Stausseminar: Forschung für Energieoptimiertes Bauen 2009, Würzburg, Germany, 30.6.–2.7.2009, CD-ROM*

Henninger, S. K.

»Neue Entwicklungen im Bereich der Sorptionsmaterialien für Wärmespeicherung- und Wärmetransformationanwendungen«, in: *Tagungsband, 1. Solarthermie-Technologiekonferenz, DSTTP, Berlin, Germany, 10.2.2009*

Henninger, S. K.; Habib, H. A.; Janiak, C.

»MOFs as Adsorbents for Low Temperature Heating and Cooling Applications«, in: *Journal of the American Chemical Society, Vol. 131, No. 8, pp. 2776–2777*

Henninger, S. K.; Munz, G.

»Hydrothermal Stability of Sorption Materials and Composites for the Use in Heat Pumps and Cooling Machines«, in: *Conference Proceedings, Heat Powered Cycles Conference, Berlin, Germany, 7.–9.9.2009*

SONSTIGE VERÖFFENTLICHUNGEN

Herkel, S.; Frontini, F.¹; Strachan, P.²; Kokogiannakis, G.²

»Solar Control: A General Method for Modelling of Solar Gains Through Complex Façades in a Whole Model Simulation Program«, in: *Energy and Buildings*, No. 38, pp. 648–660

(¹: Politecnico di Milano, Milano, Italy)

(²: University of Strathclyde, Glasgow, Scotland, Great Britain)

Hermann, M.; Gschwander, S.

»Automatisiertes Wärmetransportsystem«, in: *Tagungsband, 1. Solarthermie-Technologiekonferenz, DSTTP, Berlin, Germany, 10.2.2009*

Hermle, M.

»Production Approaches to High Efficiency«, in: *Proceedings, Intersolar North America, San Francisco, CA, USA, 14.–16.7.2009*

Heß, S.; di Lauro, P.; Oliva, A.; Hanby, V.¹

»RefleC – A New Collector for Solar Cooling Applications with Operating Temperatures up to 150 °C«, in: *Tagungsband, 3rd International Conference Solar Air-Conditioning, Palermo, Italy, 30.9.–2.10.2009*

(¹: De Montfort University, Institute of Energy and Sustainable Development, Leicester, United Kingdom)

Heß, S.; di Lauro, P.; Raucher, C.; Rommel, M.

»RefleC – Ein verbesserter Flachkollektor mit externen Reflektoren zur Erzeugung von Prozesswärme bis 150 °C«, in: *Tagungsband 19. Symposium Thermische Solarenergie 2009, Bad Staffelstein, Germany, 6.–8.5.2009, CD-ROM*

Heß, S.; Heimsath, A.

»Raytracing-Untersuchungen für die Entwicklung und Optimierung von Prozesswärme-Kollektoren«, in: *Tagungsband, 1. Solarthermie-Technologiekonferenz, DSTTP, Berlin, Germany, 10.2.2009*

Hofmann, M.; Saint-Cast, P.; Bareis, D.; Wagenmann, D.; Rentsch, J.; Preu, R.

»Towards a Si:H Rear Passivated Industrial-Type Silicon Solar Cells«, in: *Proceedings, 24th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Hamburg, Germany, 21.–25.9.2009, pp. 1539–1543*

Hofmann, M.; Saint-Cast, P.; Suwito, D.; Seiffe, J.; Schmidt, C.; Kambor, S.; Gautero, L.; Kohn, N.; Nekarda, J.-F.; Leimenstoll, A.; Wagenmann, D.; Erath, D.; Catoir, J.; Wolke, W.; Janz, S.; Biro, D.; Grohe, A.; Rentsch, J.; Glunz, S. W.; Preu, R.

»Overview on Crystalline Silicon Solar Cells Using PECVD Passivation and Laser-Fired Contacts«, in: *Proceedings, 24th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Hamburg, Germany, 21.–25.9.2009, pp. 1517–1522*

Hofmann, M.; Schmidt, C.; Raabe, B.¹; Rentsch, J.; Preu, R.

»Thermal Stability of PECVD a-Si:H Single and PECVD a-Si:H + PECVD a SiO_x:H Double Layers for Silicon Solar Cell Rear Side Passivation«, in: *Proceedings, 18th International Photovoltaic Solar Science and Engineering Conference, PVSEC 18, Kolkata, India, 19.–23.1.2009* (¹: University of Konstanz, Fachbereich Physik, Photovoltaik-Abteilung, Konstanz, Germany)

Hoheisel, R.; Fernandez, J.; Dimroth, F.; Bett, A. W.

»Analysis of Radiation Hardness of Rear-Surface Passivated Germanium Cells«, in: *Proceedings, 34th IEEE PVSC, Philadelphia, PA, USA, 7.–12.6.2009*

Hoheisel, R.; Philipps, S. P.; Dimroth, F.; Bett, A. W.

»Theoretical Investigation on Optimum Bandgap Energies of Ge-Based Triple-Junction Solar Cells for Annual Energy Production on Mars«, in: *Proceedings, 34th IEEE PVSC, Philadelphia, PA, USA, 7.–12.6.2009*

Homburg, O.¹; Braun, B.¹; Mitra, T.; Jäger, U.; Lottspeich, F.; Grohe, A.

»Superior Laser Processing with Flat Top Profiles in Solar Cell Technology«, in: *Proceedings, ICALEO, Orlando, FL, USA, 2.–5.11.2009* (¹: LIMO Lissotschenko Mikrooptik GmbH, Dortmund, Germany)

Hopman, S.; Fell, A.; Mayer, K.; Fleischmann, C.; Drew, K.; Kray, D.; Graneck, F.

»Study on Laser Parameters for Silicon Solar Cells with LCP Selective Emitters«, in: *Proceedings, 24th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Hamburg, Germany, 21.–25.9.2009*

Hörteis, M.; Grote, D.; Binder, S.; Filipovic, A.; Schmid, D.; Glunz, S. W.

»Fine Line Printed and Plated Contacts on High Ohmic Emitters Enabling 20 % Cell Efficiency«, in: *Proceedings, 34th IEEE Photovoltaic Specialists Conference, Philadelphia, USA, PA, 7.–12.6.2009*

Hörteis, M.; Gutberlet, T.^{1,2}; Reller, A.¹; Glunz, S. W.

»High Temperature Contact Formation on n-Type Silicon Basic Reactions and Contact Model for Seed Layer Contacts«, in: *Advanced Functional Materials*, online available

(¹: Universität Augsburg, Lehrstuhl für Festkörperchemie, Augsburg, Germany)

(²: now with: Centre for Building Materials at TU Munich AG4 Chemie, Munich, Germany)

Hörteis, M.; Bartsch, J.; Radtke, V.; Filipovic, A.; Glunz, S. W.

»Different Aspects of Seed Layer Printed and Light-Induced Plated Front Side Contacts«, in: *Proceedings, 24th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Hamburg, Germany, 21.–25.9.2009*

Hülsmann, P.; Philipp, D.; Köhl, M.

»Bestimmung der Permeation von Wasserdampf und anderen Gasen durch Hochbarrierematerialien«, in: *Tagungsband, Hamburger Verpackungsgespräche 2009, Hamburg, Germany, 13.–14.2.2009, CD-ROM*

Hülsmann, P.; Philipp, D.; Köhl, M.

»Measuring Temperature-Dependent Water Vapor and Gas Permeation through High Barrier Films«, in: *Review of Scientific Instruments*, Vol. 80, 2009, pp. 113901

Jack, S.; Köhl, M.; Weiß, K.-A.

»Untersuchung von Belastungsszenarien von Polymer-Solarkollektoren durch FEM-Simulation«, in: *Tagungsband, 38. Jahrestagung der GUS, Pfinztal, Germany, 18.–20.3.2009*

Jäger, U.; Okanovic, M.; Hörteis, M.; Grohe, A.; Preu, R.

»Selective Emitter by Laser Doping from Phosphosilicate Glass«, in: *Proceedings, 24th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Hamburg, Germany, 21.–25.9.2009*

Janz, S.; Voisin, P.; Suwito, D.; Peters, M.; Hermle, M.; Glunz, S. W.

»Photonic Crystals as Rear-Side Diffusers and Reflectors for High Efficiency Silicon Solar Cells«, in: *Proceedings, 24th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Hamburg, Germany, 21.–25.9.2009*

Jaus, J.; Bett, A. W.

»Concentrator Photovoltaics R&D at Fraunhofer ISE«, in: *Proceedings, DERBI 2009, Perpignan, France, 11.6.2009*

Jaus, J.; Peharz, G.; Gombert, A.¹; Ferrer Rodriguez, J.; Dimroth, F.

Eltermann, F.; Passig, M.; Wolf, O.; Siefert, G.; Hakenjos, A.¹;

v. Riesen, S.¹; Bett, A. W.

»Development of FLATCON[®] Modules Using Secondary Optics«, in: *Proceedings, 34th IEEE PVSC, Philadelphia, PA, USA, 7.–12.6.2009* (¹: Concentrix Solar, Freiburg, Germany)

Kailuweit, P.

»III-V Photovoltaics – Technology and Applications«, in: *International School of Nanophotonics and Photovoltaics, Maratea, Italy, 20.9.2009*

Kalz, D. E.; Herkel, S.; Wagner, A.¹

»The Impact of Auxiliary Energy on the Efficiency of the Heating and Cooling Systems: Monitoring of Low-Energy Buildings«, in: *Energy and Buildings, 2009*

(¹: University of Karlsruhe, Department of Architecture, Karlsruhe, Germany)

Kalz, D. E.; Pfafferott, J.

»Energieeffizientes Heizen und Kühlen mit Umweltenergie und thermoaktiven Bauteilsystemen bei hohem Raumkomfort«, in: *Deutsches Ingenieurblatt, März 2009*

Kalz, D. E.; Pfafferott, J.; Herkel, S.

»EnBau – Bauphysik, thermischer Komfort und Energieeffizienz unter exergetischen Gesichtspunkten«, in: *Tagungsband, LowEx Symposium, Kassel, Germany, 28./29.10.2009*

Kalz, D. E.; Pfafferott, J.; Herkel, S.

»Building Signatures: A Holistic Approach to the Evaluation of Heating and Cooling Concepts«, in: *Building and Environment, Vol. 1-15, 6.8.2009*

SONSTIGE VERÖFFENTLICHUNGEN

Kalz, D. E.; Pfafferott, J.; Herkel, S.; Wagner, A.¹

»Energy and Efficiency Analysis of Environmental Heat Sources in Combination with Heat Pump Systems: In-Use Performance«, in: *Building and Environment*

(¹: University of Karlsruhe, Department of Architecture, Karlsruhe, Germany)

Kalz, D. E.; Pfafferott, J.; Herkel, S.; Wagner, A.¹

»Evaluating the Heating and Cooling Performance of Environmental Energy Sources and Sinks: Long-Term Monitoring of 12 Low-Energy Buildings in Germany«, in: *Renewable Energy*

(¹: University of Karlsruhe, Department of Architecture, Karlsruhe, Germany)

Kalz, D. E.; Pfafferott, J.; Herkel, S.; Wagner, A.¹

»A Building's Signature in Terms of Thermal Comfort and Energy Efficient Cooling: Long-Term Monitoring Results of 12 Low-Energy Buildings in Germany«, in: *Building Research and Information (BRI)*

(¹: University of Karlsruhe, Department of Architecture, Karlsruhe, Germany)

Kalz, D. E.; Pfafferott, J.; Fischer, M.; Isenmann, B.; Siegmann, P.; Wagner, A.¹; Bagherian, B.¹; Knapp, T.¹

»Retrofit and Monitoring of a Printing Office Building in Karlsruhe, Germany«, in: *REHVA Journal*

(¹: University Karlsruhe (TH), Building Science Group, Karlsruhe, Germany)

Kalz, D. E.; Wienold, J.; Fischer, M.; Cali, D.

»Novel Heating and Cooling Concept Employing Rainwater Cisterns and Thermo-Active Building Systems for a Residential Building«, in: *Applied Energy*, 2009

Kalz, D. E.; Pfafferott, J.

»Heizen und kühlen mit TABS im Beton – Thermoaktive Bauteilsysteme sichern die Nutzung der Umweltenergien für eine höhere Energieeffizienz und einen hohen Raumkomfort«, in: *Deutsches Ingenieurblatt*, Ausgabe-Nr. 03/09 (2009), pp. 18–23

Kalz, D. E.; Wienold, J.; Fischer, M.; Cali, D.

»Monitoring und Evaluierung eines innovativen Heiz- /Kühlkonzeptes mit Regenwasserzisternen, Thermoaktiven Bauteilsystemen und Phasenwechselmaterialien in einem Wohngebäude«, in:

Proceedings, 9. Internationales Anwenderforum Oberflächennahe Geothermie, Staffelstein, Germany, 27.–29.4.2009

Kalz, D. E.; Pfafferott, J.; Fischer, M.; Isenmann, B.; Siegmann, P.; Wagner, A.¹; Bagherian, B.¹; Knapp, T.¹

»Retrofit and Monitoring of a Printing Office Building in Karlsruhe, Germany«, in: *REHVA Journal* October 2009, pp. 41–47

(¹: University Karlsruhe (TH), Building Science Group, Karlsruhe, Germany)

Kalz, D. E.; Pfafferott, J.; Herkel, S.

»EnBau – Bauphysik, thermischer Komfort und Energieeffizienz unter exergetischen Gesichtspunkten«, in: *Proceedings, LowEx Symposium zum deutschen Projektverbund des BMWi, Fraunhofer-Institut für Bauphysik*, Kassel, Germany, 28./29.10.2009

Kania, D.; Saint-Cast, P.; Wagenmann, D.; Hofmann, M.; Rentsch, J.; Preu, R.

»Industrial Negatively Charged c-Si Surface Passivation by Inline PECVD AlOx«, in: *Proceedings, 24th European Photovoltaic Solar Energy Conference*, Hamburg, Germany, 21.–25.9.2009

Keipert-Colberg, S.; Ickler, B.; Bellendin, U.; Krause, C.; Kopfer, J. M.; Botchak Mouafi, Y. P.; Kerscher, B.; Mueller, S.; Biro, D.; Rinio, M.; Borchert, D.

»Investigation and Development of Industrial Feasible Cleaning Sequences Prior to Silicon Nitride Deposition Enhancing Multicrystalline Silicon Solar Cell Efficiency«, in: *Proceedings, 24th European Photovoltaic Solar Energy Conference*, Hamburg, Germany, 21.–25.9.2009

Keller, S.; Lemes, Z.

»Universelle Elektronikplattform zur Steuerung von Brennstoffzellensystemen«, in: *H2wei – Das Magazin für Wasserstoff und Brennstoffzellen*, April 2009

Kluska, S.; Granek, F.; Rüdiger, M.; Hermle, M.; Glunz, S. W.

»Characterization and Modeling of Back-Contact Back-Junction Silicon Solar Cells«, in: *Proceedings, 24th European Photovoltaic Solar Energy Conference*, Hamburg, Germany, 21.–25.9.2009

Knorz, A.

»Laserbasierte Strukturierung für kristalline Silizium-Solarzellen«, in: *Proceedings 24th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Hamburg, Germany, 21.–25.9.2009*, pp. 1002–1005

Knorz, A.; Grohe, A.; Preu, R.

»Laser Ablation of Etch Resists for Structuring and Lift-Off Processes«, in: *Proceedings, 24th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Hamburg, Germany, 21.–25.9.2009*

Knorz, A.; Alemán, M.; Grohe, A.; Preu, R.; Glunz, S. W.

»Laser Ablation of Antireflection Coatings for Plated Contacts Yielding Solar Cell Efficiencies Above 20 %«, in: *Proceedings, 24th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Hamburg, Germany, 21.–25.9.2009*, pp. 1002–1005

Köhl, M.; Ferrara, C.; Heck, M.; Weiß, K.-A.; Herrmann, W.¹

»Natürliche und beschleunigte Bewitterung von Photovoltaikmodulen«, in: *Proceedings, 38. Jahrestagung der GUS 2009, Pfinztal, Germany, 18.–20.3.2009*, CD-ROM

(¹: TÜV Rheinland, Cologne, Germany)

Köhl, M.; Philipp, D.; Lenck, N.¹; Zundel, M.²

»Development and Application of a UV Light Source for PV-Module Testing«, in: *Proceedings, Solar Energy + Applications, San Diego, CA, USA, 2.–6.8.2009*

Köhl, M.; Heck, M.

»Load Evaluation of PV-Modules for Outdoor Weathering under Extreme Climatic Conditions«, in: *Proceedings, 4th European Weathering Symposium EWS, Budapest, Hungary, 16.–18.9.2009*

Kohn, C.; Kübler, R.; Krappitz, M.; Kleer, G.; Reis, I.; Retzlaff, M.; Erath, D.; Biro, D.

»Influence of the Metallization Process on the Strength of Silicon Solar Cells«, in: *Proceedings, 24th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Hamburg, Germany, 21.–25.9.2009*

Kopp, F.; Rosenits, P.; Roth, T.; Schmich, E.; Reber, S.; Warta, W.

»Lifetime Studies on Crystalline Silicon Thin-Film Material by Photoluminescence Imaging«, in: *Proceedings, 24th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Hamburg, Germany, 21.–25.9.2009*

Koschikowski, J.; Wieghaus, M.; Rommel, M.; Subiela Ortin, V.¹; Peñate Suarez, B.¹; Betancort Rodríguez, J. R.¹

»Experimental Investigation on Solar Driven Stand-Alone Membrane Distillation Systems for Remote Areas«, in: *Desalination, Vol. 248, No. 1–3*, pp. 125–131

(¹: Instituto Tecnológico de Canarias, Santa Lucía, Las Palmas), Spain

Kramer, K.

»Einfluss von Normungs- und Qualitätssicherungsprozessen auf Innovation und Diffusion in der Solarthermiebranche«, in: *Tagungsband, 1. Solarthermie-Technologiekonferenz, DSTTP, Berlin, Germany, 10.2.2009*

Kramer, K.

»Relation of Ecological Policy Instruments and Technological Innovations in the Solar Thermal Branch«, in: *Proceedings, Solar World Congress 2009, Johannesburg, South Africa, 11.–14.10.2009*, CD-ROM

Kranzer, D.

»Power Semiconductors«, *Seminar Power Electronics for Renewable Energies*, in: *Proceedings, OTTI e. V., Munich, Germany, 25./26.5.2009*, pp. 59–92

Kranzer, D.; Burger B.

»Application of Silicon Carbide Transistors in Photovoltaic Inverters«, in: *Silicon Carbide, Vol. 2: Power Devices and Sensors, ISBN 978-3-527-40997-6, Wiley-Vch-Verlag*, pp. 347–388

Kranzer, D.; Burger, B.

»SiC-Transistoren für PV-Wechselrichter«, in: *Tagungsband, 24. Symposium – Photovoltaische Solarenergie, OTTI e. V., Bad Staffelstein, Germany, 4.–6.3.2009*, pp. 252–257

Kranzer, D.; Burger, B.; Navarro, N.; Stalter, O.

»Applications of SiC-Transistors in Photovoltaic Inverters«, in: *Materials Science Forum, Vol. 615-617 (2009)*, pp. 895–898

Kranzer, D.; Burger B.; Reiners, F.; Wilhelm, W.

»Highly Efficient PV-Inverters with Silicon Carbide Transistors«, in: *Proceedings, 24th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Hamburg, Germany, 21.–25.9.2009*, pp. 3610–3615

SONSTIGE VERÖFFENTLICHUNGEN

Kranzer, D.; Wilhelm, C.; Reiners, F.; Burger, B.

»Application of Normally-off SiC-JFETs in Photovoltaic Inverters«, 13th European Conference on Power Electronics and Applications – EPE 2009, Barcelona, Spain, 8.–10.9.2009

Kranzer, D.; Reiners, F.; Wilhelm, C.; Burger, B.

»System Improvements of Photovoltaic Inverters with SiC-Transistors«, in: *Materials Science Forum, International Conference on Silicon Carbide and Related Materials*, Nürnberg, Germany, 11.–16.10.2009

Krieg, A.; Wallach, J.; Rein, S.

»Impact of Surface Structures on the Inline Vision Inspection of Antireflection Coatings«, in: *Proceedings, 24th European Photovoltaic Solar Energy Conference*, Hamburg, Germany, 21.–25.9.2009

Kuehnlein, H. H.¹; Koesterke, N.¹; Cimiotti, G.¹; Bay, N.¹; Nussbaumer, H.¹; Pauchard, A.²; Richerzhagen, B.²; Granek, F.; Fleischmann, C.; Hopmann, S.; Mayer, K.; Mesec, M.

»Next Generation of Front Grid Metallization: LCP Elective Emitter Combined with Ni-Cu-Sn Direct Plating on Silicon«, in: *Proceedings, 24th European Photovoltaic Solar Energy Conference*, Hamburg, Germany, 21.–25.9.2009

(¹: RENA GmbH, Gütenbach, Germany)

(²: Synova S. A., Ecublens, Switzerland)

Kuhn, T. E.

»Energetische Gebäudehülle«, in: *Fassadentechnik*, 4/2009, pp. 16–18

Kuhn, T. E.

»Controllo del Solare nell'Involucro Edilizio«, in: *Cda magazin (Official Magazin of the Air Conditioning, Heating and Refrigeration Association)*, cda no. 1, January 2009, pp. 16–24

Kuhn, T. E.

»Gebäudeintegrierte Photovoltaik (GIPV)«, *Zeitschrift Glas + Rahmen*, 5/2009, pp. 16/17

Kuhn, T. E.

»Solarenergie für Fenster und Fassade«, *IKZ-Fachplaner*, Mai 2009, pp. 10–13

Kuhn, T. E.; Eisenschmid, I.¹; Bosse, S.-K.²; Hinsch, A.

»Funktion und Ästhetik sind die bestimmenden Faktoren. Gebäudeintegrierte Photovoltaik (GIPV)«, *Zeitschrift Sicht+Sonnenschutz*, 7–8/2009, pp. 42–44

(¹: Scheuten Solar Germany GmbH, Germany)

(²: Sulfurcell Solartechnik GmbH, Germany)

Kuhn, T. E.; Hermann, M.

»Gebäudeintegration Solarthermie«, in: *Tagungsband, 1. Solarthermie-Technologiekonferenz, DSTTP*, Berlin, Germany, 10.2.2009

Künle, M.; Hartel, A.; Löper, P.; Janz, S.; Eibl, O.¹

»Preparation of Si-Quantumdots in SiC: Single Layer vs Multi Layer Approach«, in: *Proceedings, 24th European Photovoltaic Solar Energy Conference*, Hamburg, Germany, 21.–25.9.2009

(¹: Karl-Eberhards-Universität Tübingen, Institute for Applied Physics, Tübingen, Germany)

Künle, M.; Hartel, A.; Löper, P.; Janz, S.; Eibl, O.¹

»Nanostructure and Phase Formation in Annealed a-Si_{1-x}C_x:H Thin Films for Advanced Silicon Solar Cells«, in: *Proceedings, Quantsol 2009 Winter Workshop*, Rauris, Salzburg, Austria, 8.–14.3.2009

(¹: Karl-Eberhards-Universität Tübingen, Institute for Applied Physics, Tübingen, Germany)

Kwapil, W.; Kasemann, M.¹; Gundel, P.; Schubert, M. C.; Warta, W.; Breitenstein, O.²; Bauer, J.²; Lotnyk, A.³; Wagner, J.-M.²; Bronsveld, P. C. P.⁴; Coletti, G.⁴

»Physical Mechanisms of Breakdown in Multicrystalline Silicon Solar Cells«, in: *Proceedings, 24th European Photovoltaic Solar Energy Conference*, Hamburg, Germany, 21.–25.9.2009

(¹: Freiburg Materials Research Center, Albert-Ludwigs-University, Freiburg, Germany)

(²: Max-Planck-Institute of Microstructure Physics, Halle, Germany)

(³: now at: Christian-Albrechts-University, Technical Faculty, Kiel, German)

(⁴: Energy Research Centre of the Netherlands (ECN), Petten, The Netherlands)

SONSTIGE VERÖFFENTLICHUNGEN

Lahmer, D.¹; Lossen, J.¹; Meyer, K.¹; Krokoszinski, H.-J.¹; Clement, F.; Menkö, M.; Hönig, R.; Biro, D.; Preu, R.

»Pilot-Line Processing of CZ-SI MWT Solar Cells with an Efficiency Gain of 0.3 %«, in: Proceedings, 24th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Hamburg, Germany, 21.–25.9.2009

(¹: Bosch Solar Energy AG, Erfurt, Germany)

Lauro, P.; Raucher, C.; Heß, S.; Rommel, M.;

»Charakterisierung der optischen Eigenschaften von solarthermischen Kollektoren durch Raytracing-Simulationen«, in: Tagungsband, 19. Symposium Thermische Solarenergie 2009, Bad Staffelstein, Germany, 6.–8.5.2009, CD-ROM

Lindekugel, S.; Künle, M.; Mitchell, E.; Janz, S.; Reber, S.

»Enhanced Optical Confinement and Improved Solar Cell Processing for Crystalline Silicon Thin Film Solar Cells«, in: Proceedings, 24th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Hamburg, Germany, 21.–25.9.2009

Lindekugel, S.; Mitchell, E. J.; Kuenle, M.; Janz, S.; Reber, S.

»Further Investigations in Optical Confinement and Solar Cell Processing Crystalline Silicon Thin Film Solar Cells«, in: Proceedings, 24th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Hamburg, Germany, 21.–25.9.2009

Link, J.; Heider, F.; Erge, T.

»Netzintegration von Plug-In Fahrzeugen; Chancen und Synergien für dezentrale Erzeuger am Beispiel der Photovoltaik«, in: Tagungsband: 24. Symposium Photovoltaische Solarenergie, OTTI, Bad Staffelstein, Germany, 3.–6.3.2009

Löper, P.; Hartel, A.; Künle, M.; Goldschmidt, J. C.; Peters, M.; Janz, S.; Hermle, M.; Glunz, S. W.; Zacharias, M.

»Silicon Quantum Dot Superstructures for All-Silicon Tandem Solar Cells«, in: Proceedings, Quantsol 2009 Winter Workshop, Rauris, Salzburg, Austria, 8.–14.3.2009

Löper, P.; Hartel, A.; Künle, M.; Hiller, D.; Janz, S.; Hermle, M.; Zacharias, M.; Glunz, S. W.

»Silicon Quantum Dot Absorber Layers for All-Silicon Tandem Solar Cells: Optical and Electrical Characterisation«, in: Proceedings, 24th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Hamburg, Germany, 21.–25.9.2009

Mack, S.; Wolf, A.; Wotke, E. A.; Lemke, A.; Holzinger, B.; Dimitrova, T.¹; Biro, D.; Preu, R.

»Impact of Solar Cell Manufacturing Processes on Thermal Oxide-Passivated Silicon Surfaces«, in: Proceedings, 24th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Hamburg, Germany, 21.–25.9.2009

(¹: Four Dimensions, Inc., Hayward, CA, USA)

Mehnert, S.; Steinhart, J.; Brachmann, S.; Siems, T.; Behringer, A.-M.; Mühlhöfer, G.; Rommel, M.; Kramer, K.

»Bewertung der normativen Anforderungen der Prüfung auf Schlagfestigkeit thermischer Kollektoren durch simulierten Hagel-schlag mit Eiskugeln«, in: Tagungsband, 19. Symposium Thermische Solarenergie 2009, Bad Staffelstein, Germany, 6.–8.5.2009, CD-ROM

Meir, M.; Brunold, S.; Fischer, S.; Kahlen, S.; Köhl, M.; Ochs, F.; Peter, M.; Resch, K.; Wallner, G.; Weiß, K.-A.; Wilhelms, C.

»Kunststoffe unter der Sonne«, in: Erneuerbare Energien, 2009-4, pp. 14–16

Miara, M.

»Richtig geplant – wirklich gespart«, in: IKZ-Haustechnik, Heft 3, Februar 2009, pp. 28–32

Miara, M.

»Two Large Field Tests of New Heat Pumps in Germany – Structure and Interim Results«, in: Proceedings, Polish Journal of Environmental Studies, Energy Efficiency & Air Pollutant Control Conference, Wroclaw, Poland, 21.–25.9.2009

Miara, M.; Henning, H.-M.

»Systeme mit kombinierter Nutzung von thermischen Solaranlagen und Wärmepumpen«, in: Tagungsband, 1. Solarthermie-Technologiekonferenz, DSTTP, Berlin, Germany, 10.2.2009

Miara, M.

»Heat Pumps in Action«, in: Renewable Energy World Magazine, Volume 12, Number 5, September-October 2009, pp. 74–78

Miara, M.; Russ, Ch.

»Feldmessungen von Wärmepumpen in Wohngebäuden mit aktuellem Baustandard und in Bestandgebäuden«, in: Tagungsband, 9. Internationales Anwenderforum 2009, Bad Staffelstein, Germany, 27.–29.4.2009

SONSTIGE VERÖFFENTLICHUNGEN

Mingirulli, N.; Stüwe, D.; Specht, J.; Keding, R.; Neubauer, R.; Fallisch, A.; Biro, D.

»18.8 % EWT-Cells with Screen-Printed Metallization and Single Step Side Selective Emitter Formation«, in: *Proceedings, 24th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Hamburg, Germany, 21.–25.9.2009*

Mitchell, E.; Brinkmann, N.; Granek, F.; Reber, S.

»Epitaxy Wrap-Through Rear Contact Solar Cell Fabrication and Results«, in: *Proceedings, 24th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Hamburg, Germany, 21.–25.9.2009*

Moghbel, N.; Wienold, J.

»Contrast Evaluation on Monitor Screens under Daylight Conditions«, in: *Proceedings, Licht + Architektur, Bad Staffelstein, Germany, 12./13.2.2009*

Moghbel, N.; Wienold, J.

»Contrast Evaluation for Visual Displays under Daylight Conditions in Office Rooms«, in: *Proceedings, Lux Europa 2009, Istanbul, Turkey, 9.–11.9.2009*

Morgenstern, A.; Bongs, C.; Wagner, C.; Henning, H.-M.

»Experimental Evaluation of a Sorptive Coated Heat Exchanger Prototype for Dehumidification Purposes«, in: *Tagungsband, 3rd International Conference Solar Air-Conditioning 2009, Palermo, Italy, 30.9.–2.10.2009, CD-ROM*

Morin, G.; Dersch, J.¹; Eck, M.¹; Häberle, A.²; Platzer, W.

»Comparison of Linear Fresnel and Parabolic through Collector Systems – Influence of Linear Fresnel Collector Design Variations on Break Even Cost«, in: *Proceedings, SolarPACES 2009, Berlin, Germany, 15.–18.9.2009*

(¹: German Aerospace Center (DLR), Institute of Technical Thermodynamics Solar Research, Köln, Germany)

(²: PSE AG, Freiburg, Germany)

Mösle, P.¹; Pfafferott, J.; Pültz, G.²; Lenzer, M.³

»(Wie) lässt sich thermischer Komfort normieren?«, in: *HLH (VDI-TGA)*

(¹: Drees & Sommer Advanced Building Technologies, Stuttgart, Germany)

(²: Müller-BBM, Planegg, Germany)

(³: StoVerotec, Lauingen, Germany)

Müller, B.; Heydenreich, W.; Kiefer, K.; Reise, C.

»More Insights from the Monitoring of Real World PV Power Plants«, in: *Proceedings, 24th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Hamburg, Germany, 21.–25.9.2009*

Nekarda, J.; Stumpp, S.; Gautero, L.; Hörteis, M.; Grohe, A.; Biro, D.; Preu, R.

»LFC on Screen Printed Aluminium Rear Side Metallization«, in: *Proceedings, 24th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Hamburg, Germany, 21.–25.9.2009*

Neidert, M.¹; Clement, F.; Menkö, M.; Hönig, R.; Henning, A.; Zhang, W.¹; Biro, D.; Preu, R.

»Development of Via Pastes for High Efficiency MWT Cells with a Low Shunting Behaviour«, in: *Proceedings, 24th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Hamburg, Germany, 21.–25.9.2009* (¹: W. C. Heraeus, Thick Film Division, Business Unit Photovoltaics, Hanau, Germany)

Neuhäuser, A.; Sauerborn, A.; Platzer, W.

»Polygeneration Using Concentrated Solar Thermal Power«, in: *Proceedings, Heat Powered Cycles Conference 2009, Berlin, Germany 7.–9.9.2009*

Neuhäuser, A.; Sauerborn, A.; Platzer, W.

»Solar Polygeneration with Concentrating Collectors«, in: *Proceedings, SolarPACES 2009, Berlin, Germany, 15.–18.9.2009*

Nienborg, B.; Koch, L.; Wiemken E.; Troi, A.¹; Besana, F.¹;

Mugnier, D.²; Thür, A.³; Clauß, V.⁴; Egilegor, B.⁵; Tsekouras, P.⁶

»Virtual Case Study on Small Solar Cooling Systems within the SolarCombi+ Project«, in: *Tagungsband, Proceedings, 3rd International Conference Solar Air-Conditioning, Palermo, Italy, 30.9.–2.10.2009*

(¹: EURAC Italy)

(²: Tecsol, France)

(³: AEE INTEC, Austria)

(⁴: Sonnenklima, Germany)

(⁵: Ikerlan, Spain)

(⁶: CRES, Greece)

Niggemann, M.; Würfel, U.; Zimmermann, B.; Platzer, W.

»Energie aus der Umwelt – Organische Solarzellen«, in: *Kunststoffe international 04/2009*, pp. 66–72

Niggemann, M.; Würfel, U.; Zimmermann, B.; Platzer, W.

»Energy from the Environment – Organic Solar Cells«, in: *Kunststoffe international 04/2009*, pp. 46–51

Nunez, T.; Mehling, F.

»Heating and Cooling with a Small Scale Solar Driven Adsorption Chiller Combined with a Borehole System – Recent Results«, in: *Proceedings, 3rd International Conference Solar Air-Conditioning 2009, Palermo, Italy, 30.9.–2.10.2009, CD-ROM*

Okanovic, M.; Jäger, U.; Ahrens, M.¹; Stute, U.¹; Grohe, A.; Preu, R.

»Influence of Different Laser Parameters in Laser Doping from Phosphorus Silicate Glass«, in: *Proceedings, 24th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Hamburg, Germany, 21.–25.9.2009* (!: Trumpf Laser GmbH, Schramberg, Germany)

Oltersdorf, A.; Zimmer, M.; Rentsch, J.

»Analysis of Metal Impurities in Wet Chemical Processes by ICP OES and AAS«, in: *Proceedings, 24th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Hamburg, Germany, 21.–25.9.2009*

Orellana Pérez, T.; Mayer, K.; Schumann, M.; Granek, F.

»Increase in Mechanical Strength of As-Cut Mono-Crystalline Silicon Wafers by Alkaline Etching Process«, in: *Proceedings, 24th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Hamburg, Germany, 21.–25.9.2009*

Orellana Pérez, T.; Schmid, C.; Riepe, S.; Reber, S.

»Mechanical Characterization of Wafer Equivalent Substrate Materials from Alternative Silicon Feedstock«, in: *Proceedings, 24th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Hamburg, Germany, 21.–25.9.2009*

Peharz, G.; Dimroth, F.; Siefer, G.; Bett, A. W.

»Meteorologische Einflüsse auf die Energieproduktion von III-V Mehrfachsolarzellen«, in: *Proceedings, EHF Seminar, Universität Oldenburg, Oldenburg, Germany, 12.5.2009*

Peharz, G.; Ferrer-Rodriguez, J. P.; Bett, A. W.

»Shaping the Angular Divergence at Sun Simulators for Concentrator Modules«, in: *Proceedings, 24th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Hamburg, Germany, 21.–25.9.2009*

Peters, M.; Bielawny, A.; Lisca, M.; Goldschmidt, J. C.; Bläsi, B.; Gombert, A.

»Effects of an Incomplete Inversion on the Optical Properties of Opals«, in: *Josa B*

Peters, M.; Goldschmidt, J. C.; Bläsi, B.

»How Angular Confinement Increases the Efficiency of Photovoltaic Systems«, in: *Proceedings, 24th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Hamburg, Germany, 21.–25.9.2009*

Pfafferott, J.; Fischer, M.; Herkel, S.

»Gebäude sanieren – Büro- und Gewerbebau«, *BINE projektinfo 01/09*

Pfafferott, J.; Kalz, D. E.; Schmidt, F.

»The ThermCo Project: Low-Energy Cooling and Thermal Comfort«, in: *REHVA Journal February 2009*, pp. 51–55

Philippis, S.; Guter, W.; Steiner, M.; Oliva E.; Siefer, G.; Welsler, E.; George, B. M.; Hermle, M.; Dimroth, F.; Bett, A. W.

»III-V Multi-Junction Solar Cells – Simulation and Experimental Realization«, in: *Proceedings, MIDEM 2009, Postojna, Slovenia, 9.–11.9.2009*

Philippis, S.; Peharz, G.; Hornung, T.; Hoheisel, R.; Al-Abbadi, N. M.; Dimroth, F.; Bett, A. W.

»A Theoretical Analysis on the Energy Production of III-V Multi-Junction Concentrator Solar Cells Under Realistic Spectral Conditions«, in: *Proceedings, 24th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Hamburg, Germany, 21.–25.9.2009*

Platzer, W.

»Solarthermische Kraftwerke mit Fresnelkollektoren«, in: *Energy 2.0-Kompodium, 2009*, pp. 114–115

SONSTIGE VERÖFFENTLICHUNGEN

- Pysch, D.; Ziegler, J.; Becker, J. P.; Suwito, D.; Janz, S.; Glunz, S. W.; Hermle, M.
»Potential and Development of Amorphous Silicon Carbide Heterojunction Solar Cells«, in: *Proceedings, 34th IEEE Photovoltaic Specialists Conference, Philadelphia, PA, USA, 7.–12.6.2009*
- Pysch, D.; Bivour, M.; Zimmermann, K.; Schetter, C.; Hermle, M.; Glunz, S.
»Comprehensive Study of Different PECVD-Sources for Deposition of Intrinsic Amorphous Silicon for Heterojunction Solar Cells«, in: *Proceedings, 24th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Hamburg, Germany, 21.–25.9.2009*
- Qin, R.¹; Li, W.¹; Li, C.¹; Du, C.¹; Veit, C.; Schleiermacher, H.-F.²; Andersson, M.²; Bo, Z.¹; Lui, Z.¹; Inganäs, O.²; Wuerfel, U.; Zhang, F.¹
»A Planar Copolymer for High Efficiency Polymer Solar Cells«, in: *Journal of American Chemical Society, Vol. 131, No. 4, pp.14612–14613*
(¹: Institute of Chemistry CAS, Beijing Normal University, Beijing, China)
(²: Department of Physics, Chemistry and Biology, Linköping University, Linköping, Sweden)
- Rauer, M.; Schmiga, C.; Hermle, M.; Glunz, S. W.
»Effectively Surface-Passivated Aluminium-Doped p⁺ Emitters for n-Type Silicon Solar Cells«, in: *physica status solidi A*
- Rauer, M.; Schmiga, C.; Hermle, M.; Glunz, S. W.
»Passivation of Screen-Printed Aluminium-Alloyed Emitters for Back Junction n-Type Silicon Solar Cells«, in: *Proceedings, 24th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Hamburg, Germany, 21.–25.9.2009*
- Reber, S.; Arnold, M.; Pocza, D.; Schillinger, N.
»CONCVD and PROCONCVD: Development of High-Throughput CVD Tools on the Way to Low-Cost Silicon Epitaxy«, in: *Proceedings, 24th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Hamburg, Germany, 21.–25.9.2009*
- Reichert, S.; Burger, B.; Siedle, C.
»Die neuen Grid Codes und deren Auswirkungen auf die PV-Wechselrichter«, in: *Tagungsband, 24. Symposium – Photovoltaische Solarenergie, OTTI e. V., Bad Staffelstein, Germany, 4.–6.3.2009, pp. 85–90*
- Reichert, S.; Burger, B.; Siedle, C.
»New Grid Codes for Low and Medium Voltage Grids«, *Seminar Power Electronics for Renewable Energies, in: Proceedings, OTTI e. V., Munich, Germany, 25./26.5.2009, pp. 261–284*
- Rein, S.; Kwapił, W.; Geilker, J.; Emanuel, G.; Spitz, M.; Reis, I.; Weil, A.; Biro, D.; Glatthaar, M.; Soiland, A.-K.¹; Enebakk, E.¹; Tronstad, R.¹
»Impact of Compensated Solar-Grade Silicon on Czochralski Silicon Wafers and Solar Cells«, in: *Proceedings, 24th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Hamburg, Germany, 21.–25.9.2009*
(¹: Elkem Solar AS, Kristiansand, Norway)
- Reinwand, D.
»PVD-Metallisierungsverfahren für kristalline Silizium-Solarzellen«, *Stipendiatentag der Reiner-Lemoine-Stiftung, Berlin, Germany, 12.9.2009*
- Reinwand, D.; Nekarda, J.; Grohe, A.; Hartmann, P.; Trassl, R.¹; Preu, R.
»Industrial Sputtering Metallization Technology for Crystalline Silicon Solar Cells«, in: *Proceedings, 24th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Hamburg, Germany, 21.–25.9.2009*
(¹: Applied Materials GmbH, Alzenau, Germany)
- Reis, I. E.¹; Riepe, S.¹; Koch, W.²; Bauer, J.³; Beljakowa, S.⁴; Breitenstein, O.³; Habenicht, H.; Kreßner-Kiel, D.⁵; Pensl, G.⁴; Schön, J.; Seifert, W.⁶
»Effect of Impurities on Solar Cell Parameters in Intentionally Contaminated Multicrystalline Silicon«, in: *Proceedings, 24th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Hamburg, Germany, 21.–25.9.2009*
(¹: Materials Research Centre FMF, Albert-Ludwigs-University, Freiburg, Germany)
(²: KoSolCo GmbH, Dinkelsbühl, Germany)
(³: Max-Planck-Institut für Mikrostrukturphysik, Halle, Germany)
(⁴: Department of Condensed Matter Physics, University Erlangen-Nürnberg, Erlangen, Germany)
(⁵: Institute for Experimental Physics, TU Bergakademie Freiberg, Freiberg, Germany)
(⁶: IHP/BTU Joint Lab, BTU Cottbus, Cottbus, Germany)

Reise, C.

»For Years of Performance – Was it Worth the Effort?«, in: *Proceedings, 24th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Hamburg, Germany, 21.–25.9.2009*

Rentsch, J.; Ackermann, R.; Birman, K.; Furtwängler, H.;

Haunschild, J.; Kästner, G.; Neubauer, R.; Nievendick, J.;

Oltersdorf, A.; Rein, S.; Schütte, A.; Zimmer, M.; Preu, R.

»Wet Chemical Processing for C-Si Solar Cells – Status and Perspectives«, in: *Proceedings, 24th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Hamburg, Germany, 21.–25.9.2009*

Richter, A.; Benick, J.; Hermle, M.; Glunz, S. W.

»Amorphous Silicon Passivation Applied to the Front Side Boron Emitter of n-Type Silicon Solar Cells«, in: *Proceedings, 24th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Hamburg, Germany, 21.–25.9.2009*

Rinio, M.; Yodyunyong, A.; Pirker, M.; Zhang, C.; Günther, D.;

Botchak, P.; Keipert, S.; Borchert, D.; Heuer, M.¹; Montesdeoca-Santana, A.²

»New Results Using a Low Temperature Anneal in Processing of Multicrystalline Solar Cells«, in: *Proceedings, 24th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Hamburg, Germany, 21.–25.9.2009*

(¹: Calisolar, Berlin, Germany)

(²: Universidad De La Laguna (ULL), Departamento de Física Básica, Tenerife, Spain)

Rochlitz, L.; Kurz, T.; Aicher, T.

»Bio-Ethanol Reformer with HTPEM Fuel Cell for Domestic Combined Heat and Power Generation«, in: *Proceedings, 17th European Biomass Conference and Exhibition, Hamburg, Germany, 29.6.–3.7.2009*

Rochlitz, L.; Pölkner, K.; Aicher, T.

»Bioethanolreformer mit HT-PEM-Brennstoffzelle für die Hausenergieversorgung«, *Chemie-Ingenieur-Technik, 2009 (81)*, pp. 1133–1134

Rodolfili, A.; Hopman, S.; Fell, A.; Mayer, K.; Mesec, M. ; Granek, F.; Glunz, S. W.

»Characterization of Doping via Laser Chemical Processing (LCP)«, in: *Proceedings, 24th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Hamburg, Germany, 21.–25.9.2009*

Rogalla, S.; Burger, B.

»Module Integrated Electronics«, *Seminar Power Electronics for Renewable Energies*, in: *Proceedings, OTTI e. V., Munich, Germany, 25./26.5.2009*, pp. 229–260

Rommel, M.; Hofmann, P.

»PVT Kollektoren: Entwicklungsmöglichkeiten für die Solare Kraft-Wärme-Kopplung«, in: *Tagungsband, 1. Solarthermie-Technologie-Konferenz, DSTTP, Berlin, Germany, 10.2.2009*

Rommel, M.; Thoma, C.; Richter, J.; Plischka, H.

»Draft for an Extension of the Standard EN12975 to Include Testing of Glazed Air Collectors«, in: *Tagungsband, estec 2009, Munich, Germany, 25./26.5.2009*

Rosenits, P.; Kopp, F.; Roth, T.; Warta, W.; Reber, S.; Glunz, S. W.

»Quasi-Steady-State Photoconductance Measurements on Crystalline Silicon Thin-Film Material«, in: *Proceedings, 24th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Hamburg, Germany, 21.–25.9.2009*

Roth, T.; Rosenits, P.; Warta, W.; Glunz, S. W.

»Photoconductance-Based Excess Carrier Lifetime Measurements on Unpassivated Silicon Samples«, in: *Proceedings, 24th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Hamburg, Germany, 21.–25.9.2009*

Roth, T.; Hohl-Ebinger, J.; Grote, D.; Schmich, E.; Warta, W.; Glunz, S. W.; Sinton, R. A.¹

»Illumination-Induced Errors Associated with Suns-VOC Measurements of Silicon Solar Cells«, in: *Review of Scientific Instruments, Vol. 80, No. 3, p. 033106*

(¹: Sinton Consulting Inc., Boulder, CO, USA)

Roth, W.

»Netzferne Stromversorgung mit Photovoltaik – Einführung«, in: *Band, Grundlagenworkshop »Netzferne Stromversorgung mit Photovoltaik«, OTTI e. V., Freiburg, Germany, 6.10.2009*, pp. 9–51

Roth, W.; Reise, Ch.; Kaiser, R.¹

»Grundlagen zur Nutzung der Sonnenenergie«, in: *Band, Grundlagenworkshop »Netzferne Stromversorgung mit Photovoltaik«, OTTI e. V., Freiburg, Germany, 6.10.2009*, pp. 53–81

(¹: freier Mitarbeiter)

SONSTIGE VERÖFFENTLICHUNGEN

Roth, W.; Schmidt, H.

»Aufbau und Funktionsweise von Solarzelle, Modul und Solargenerator«, in: Band, Grundlagenworkshop »Netzferne Stromversorgung mit Photovoltaik«, OTTI e. V., Freiburg, Germany, 6.10.2009, pp. 83–130

Roth, W.

»Netzferne Stromversorgung mit Photovoltaik«, in: Seminarband, »Netzferne Stromversorgung mit Photovoltaik«, OTTI e. V., Freiburg, Germany, 7.18.10.2009, pp. 13–33

Rothfelder, M.; Bläsi, B.; Peters, M.; Künle, M.; Janz, S.

»Using Spectroscopic Ellipsometry for the Characterisation of Thin Films for Advanced Photovoltaic Concepts«, in: Proceedings, 24th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Hamburg, Germany, 21.–25.9.2009

Russ, C.; Miara, M.; Platt, M.

»Monitoring – Wärmepumpen im Gebäudebestand«, in: Tagungsband, 3. Internationales Anwenderforum energetische Sanierung von Gebäuden 2009, Bad Staffelstein, Germany, 26./27.3.2009

Russ, C.

»Wärmepumpen im Gebäudebestand«, in: IKZ Energy – Magazin für erneuerbare Energien und Energieeffizienz in Gebäuden, Vol. 1, pp. 104–109

Saint-Cast, P.; Tanay, F.; Alemán, M.; Reichel, C.; Bartsch, J.; Hofmann, M.; Rentsch, J.; Preu, R.

»Relevant Pinhole Characterisation Methods for Dielectric Layers for Silicon Solar Cells«, in: Proceedings, 24th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Hamburg, Germany, 21.–25.9.2009

Saint-Cast, P.; Hofmann, M.; Dimitrova, T.¹; Wagenmann, D.; Rentsch, J.; Preu, R.

»Firing Stable Passivation with a-Si/SiNx Stack Layers for Crystalline Silicon Solar Cells«, in: Proceedings, 24th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Hamburg, Germany, 21.–25.9.2009 (1: Four Dimensions Inc., Hayward, CA, USA)

Saint-Cast, P.; Rüdiger, M.; Lude, S.; Wolf, A.; Kania, D.; Hofmann, M.; Rentsch, J.; Preu, R.

»Advanced Analytical Models of Loss Calculation of PERC Structure«, in: Proceedings, 19th International PVSEC, Jeju, Korea, 9.–13.11.2009

Sala, G.; Pachon, D.; Leloux, J.; Victoria, M.; Bett, A. W.; Banda, P.; Gombert, A.; Diaz, V.; Vazquez, M. A.; El Moussaoui, A.; Abulfotuh, F. A.

»NACIR: A New Project on CPV'S Funded by the European Commission Under 7th FP«, in: Proceedings, 34th IEEE Photovoltaic Specialists Conference, Philadelphia, PA, USA, 7.–12.6.2009

Sauer, C.

»Zukunftspotenziale im Smart Metering; Smart Grids, Smart Homes«, in: YourSales »Stadtwerk der Zukunft«, Nr. 3, Januar 2009

Sauer, C.

»Schlaue Stromnetze der Zukunft – ein integrales Kommunikationskonzept realisiert Smart Grids«, in: Dow Jones Weekly, 12.2009

Sauer, C.; Erge, T.; Barnsteiner, M.

»Demonstration of Innovative Electricity Marketing Options from Decentralised Generation – the Badenova Showcase«, in: Conference Proceedings, CISBAT Conference 2009, EPFL, Lausanne, Switzerland, 2./3.9.2009

Sauer, C.; Wille-Haussmann, B.; Wittwer, C.

»Netzoptimierte Betriebsweise von BHKW«, in: Euroheat & Power, Sonderpublikation »Blockheizkraftwerke 2010«, 12/2009

Sauer, C.; Wille-Haussmann, B.; Wittwer, C.

»Modellbasierte Optimierung der KWK-Betriebsführung in elektrischen Verteilnetzen«, in: Conference Proceedings, 6. Internationale Energiewirtschaftstagung, TU Wien, Wien, Austria, 11.–13.2.2009

Schies, A.; Went, J.; Heidtmann, M.; Eisele, M.; Kroemke, M.; Vetter, M.

»Operating Control Strategies and Dimensioning of Photovoltaically Driven Seawater Desalination Plants Without Battery«, in: Desalination Journal, EDS Conference 2009, 17.–20.5.2009, Baden-Baden, Germany

Schick Tanz, M.

»Primary Energy Analysis of Solar Cooling and CHCP«, in: Proceedings, Joint Meeting IEA Annex 34, IEA Task 28, Freiburg, Germany, 29.4.2009

Schick Tanz, M.

»Progress Report on System Simulation«, in: Proceedings, IEA Task 38, Freiburg, Germany, 30.4.2009

Schick Tanz, M.; Nuñez, T.

»Modelling of an Adsorption Chiller for Dynamic System Simulation«, in: International Journal of Refrigeration, Vol. 32, No. 4, pp. 588–595, 2009

Schick Tanz, M.; Sondermann, N.; Wapler, J.¹; Rother, C.; Nunez, T.

»First Results of a Micro-CHCP System with Two Adsorption Chillers«, in: Proceedings, Heat Power Cycles Conference 2009, Berlin, Germany, 7.–9.9.2009

(¹: PSE AG, Freiburg, Germany)

Schiller, H.; Gölz, S.

»Faktor Mensch – Sozialwissenschaftliche Erkenntnisse aus Smart Metering Projekten«, in: Proceedings, Energieworkshop Nr. 1 »Smart Metering«, Kiel, Germany, 3.11.2009

Schiller, H.; Gölz, S.

»Goals when Using Feedback on Energy Consumption. Development of a Questionnaire«, in: 8th Biennial Conference on Environmental Psychology, Zürich, Switzerland, 6.–9.9.2009

Schmich, E.; Driessen, M.; Kiefer, F.; Hampel, J.; Reber, S.

»In-Situ CVD Processes for Crystalline Silicon Thin-Film Solar Cells«, in: Proceedings, 34th IEEE Photovoltaic Specialists Conference, Philadelphia, PA, USA, 7.–12.6.2009

Schmich, E.¹; Kiefer, F.; Hörteis, M.; Alemán, M.²; Glunz, S.; Reber, S.

»Emitter Epitaxy for Crystalline Silicon Thin Film Solar Cells with New Contact Methods«, in: Proceedings, 24th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Hamburg, Germany, 21.–25.9.2009

(¹: now with SCHOTT Solar AG)

(²: now with IMEC)

Schmidt, H.; Burger, B.; Bussemas, U.; Elies, S.

»Wie schnell muss ein MPP-Tracker wirklich sein?«, in: Tagungsband, 24. Symposium – Photovoltaische Solarenergie, OTTI e. V., Bad Staffelstein, Germany, 4.–6.3.2009, pp. 48–59

Schmidt, H.; Burger, B.; Bussemas, U.; Elies, S.

»How Fast Must a MPP-Tracker Really Be?«, in: Proceedings, 24th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Hamburg, Germany, 21.–25.9.2009, pp. 3273–3276

Schmiga, C.; Hörteis, M.; Hermle, M.; Glunz, S. W.

»Large-Area n-Type Silicon Solar Cells with Printed Contacts and Aluminium-Alloyed Rear Emitter«, in: Proceedings, 24th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Hamburg, Germany, 21.–25.9.2009

Schnabel, L.; Witte, K. T.; Hoffmann, A.; Huang, K.; Andersen, O.¹

»Water as a Refrigerant – Evaporator Development for Cooling Applications«, in: Proceedings, Heat Powered Cycles Conference 2009, Berlin, Germany, 7.–9.9.2009

(¹: Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Materialforschung, Dresden, Germany)

Schön, J.; Habenicht, H.; Schubert, M. C.; Warta, W.

»Simulation of Iron Distribution after Crystallization of MC Silicon«, in: Solid State Phenomena, GADEST 2009, September 2009, Dollnsee-Schorfheide, Germany

Smolinka, T.

»Wasserstoff als Energieträger, Speicher und Stromerzeuger«, in: Tagesband Energiespeicher in elektrischen Netzen, OTTI e. V., Regensburg, Germany, 13.11.11.2009

Schubert, M. C.; Habenicht, H.; Kerler, M. J.; Warta, W.

»Quantitative Iron Concentration Imaging«, in: Solid State Phenomena, GADEST 2009, September 2009, Dollnsee-Schorfheide, Germany

Schubert, M. C.; Kerler, M. J.; Warta, W.

»Influence of Depth Dependent Profiles on Carrier Density Measurements«, in: Proceedings, 24th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Hamburg, Germany, 21.–25.9.2009

SONSTIGE VERÖFFENTLICHUNGEN

Schumann, M.; Orellana, T.; Riepe, S.

»The Wafering Process for Photovoltaic Solar Cells«, in: *Photovoltaics International*, Vol. 5, 2009

Schumann, M.; Singh, M.; Pérez, T. O.; Riepe, S.

»Reaching a Kerf Loss Below 100 μm by Optimizing the Relation Between Wire Thickness and Abrasive Size for Multi-Wire Sawing«, in: *Proceedings, 24th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Hamburg, Germany, 21.–25.9.2009*

Seifert, H.; Hohl-Ebinger, J.; Würfel, U.; Zimmermann, B.; Warta, W.

»Determining the Junction Temperature for STC Measurements of Thin Film Solar Cells«, in: *Proceedings, 24th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Hamburg, Germany, 21.–25.9.2009*

Seiffe, J.; Suwito, D.; Korte, L.¹; Hofmann, M.; Janz, S.; Rentsch, J.; Preu, R.

»Thermally Activated P- and N-Doped Passivation Layers«, in: *Proceedings, 24th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Hamburg, Germany, 21.–25.9.2009*

(¹: Helmholtz-Zentrum Berlin für Materialien und Energie, Berlin, Germany)

Sicre, B.; Schickanz, M.; Henning, H.-M.; Usabiaga, M.¹

»Small Capacity Tri-Generation Systems in the European Project Polysmart: Overview, Design Assessment and Evaluation Methodology«, in: *Proceedings, Power Cycles Conference 2009, Berlin, Germany, 7.–9.9.2009*

(¹: Ikerlan, Minano (Alava), Spain)

Souren, F. M. M.¹; van de Sanden, M. C. M.¹; Kessels, W. M. M.¹; Rentsch, J.

»Quantitative Characterization of Dry Textured Surfaces«, in: *Proceedings, 24th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Hamburg, Germany, 21.–25.9.2009*

(¹: Eindhoven University of Technology, Eindhoven, The Netherlands)

Stalter, O.; Burger, B.

»Wechselrichterintegrierte Motoransteuerung für zweiachsige (C)PV Nachführsysteme«, in: *Tagungsband: 24. Symposium Photovoltaische Solarenergie, OTTI e. V., Bad Staffelstein, Germany, 3.–6.3.2009*

Stalter, O.; Burger, B.

»Tracking Inverter for Large Scale CPV Power Plants«, 2nd International Workshop on CPV Power Plants, Darmstadt, Germany, 9./10.3.2009

Stalter, O.; Burger, B.

»Inverter Integrated Motor Control Unit for Dual-Axis (C)PV Trackers: The Tracking Inverter«, in: *Proceedings, 24th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Hamburg, Germany, 21.–25.9.2009*

Stalter, O.; Burger, B.; Bacha, S.¹; Roye, D.¹

»Combined Mechanical and Electrical Control of Solar Trackers in (C)PV Power Plants«, 13th European Conference on Power Electronics and Applications – EPE 2009, Barcelona, Spain, 8.–10.9.2009
(¹: Institut Polytechnique de Grenoble, Grenoble, France)

Stalter, O.; Burger, B.; Bacha, S.¹; Roye, D.¹

»Integrated Solar Tracker Positioning Unit in Distributed Grid-Feeding Inverters for Photovoltaic Power Plants«, IEEE International Conference on Industrial Technology, 2009 ICIT 2009, Churchill, Australia, 10.–13.2.2009, pp. 1–5
(¹: Institut Polytechnique de Grenoble, Grenoble, France)

Steiner, M.; Philipps, S. P.; Hermle, M.; Bett, A. W.; Dimroth, F.

»Front Contact Grid Optimization for III-V Solar Cells with Spice Network Simulation«, in: *Proceedings, 24th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Hamburg, Germany, 21.–25.9.2009*

Stillahn, T.; Heider, F.; Link, J.; Wittwer, C.

»Smart Metering für dezentrale Erzeugung«, in: *EP-Photovoltaik – Fachzeitschrift für die Elektrofachkräfte in Handwerk und Industrie*, 5.6.2009, pp. 83–87

Stillahn, T.; Heider, F.; Wittwer, C.

»Netzintegration von Elektrofahrzeugen: V2G«, in: *Automobil Elektronik*, 03/2009, pp. 27–28

Strauß, P.^{1,2}; Bopp, G.; Glania, G.³; Landau, M.¹; Ortiz, B.;
Vandenbergh, M.¹; Vetter, M.; Wollny, M.^{3,4}

»Netzferne Stromversorgung und weltweite Elektrifizierung«,
FVEE-Jahrestagung, Berlin, Germany, 24./25.11.2009
(¹: Fraunhofer IWES, Kassel, Germany)

(²: DERlab e. V. Kassel, Germany)

(³: Alliance for Rural Electrification, Brüssel, Belgium)

(⁴: SMA Solar Energie AG, Niestetal, Germany)

Suwito, D.; Fernández, J.; Janz, S.; Dimroth, F.; Glunz, S. W.

»The Influence of Annealing on the Passivation Quality of a-SiC_x:H
on Crystalline Silicon and Germanium Surfaces«, in: Proceedings,
34th IEEE PVSC, Philadelphia, PA, USA, 7.–12.6.2009

Suwito, D.; Janz, S.; Hermle, M.; Glunz, S. W.

»High-Efficiency Silicon Solar Cells with Intrinsic and Doped A-SiC_x
Rear Side Passivation«, in: Proceedings, 24th European Photovoltaic
Solar Energy Conference, Hamburg, Germany, 21.–25.9.2009

Thaidigsmann, B.; Wolf, A.; Biro, D.

»Accurate Determination of the IQE of Screen Printed Silicon Solar
Cells by Accounting for the Finite Reflectance of Metal Contacts«,
in: Proceedings, 24th European Photovoltaic Solar Energy Confe-
rence, Hamburg, Germany, 21.–25.9.2009

Vetter, M.; Bopp, G.; Ortiz, B.; Schwunk, S.

»PV-Hybridssysteme zur Versorgung von technischen Anlagen, Einzel-
häusern und Inselnetzen«, in: Proceedings, Fachtagung Elektrische
Energiespeicher, Fulda, Germany, 25./26.3.2009

Vetter, M.; Bopp, G.; Schwunk, S.; Ortiz, B.

»Bedeutung und Auslegung von Energiespeichern für Inselnetze«,
in: Proceedings, Energiespeicher in Verteilnetzen, Regensburg,
Germany, 13./14.5.2009

Vetter, M.; Schwunk, S.; Merten, J.¹; Barruel, F.¹; Wiss, O.¹

»Electric Mobility and Photovoltaics – The Low Voltage Grid on the
Way to Energy Autonomy?«, in: Proceedings 24th European Photo-
voltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Hamburg, Germany,
21.–25.9.2009

(¹: Institut National de L'Energie Solaire INES, Le Bourget-du-Lac
Cedex, France)

Voisin, P.; Peters, M.; Hauser, H.; Helgert, C.¹; Kley, E.–B.¹; Pertsch, T.¹;
Bläsi, B.; Hermle, M.; Glunz, S. W.

»Nanostructured Back Side Silicon Solar Cells«, in: Proceedings,
24th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Hamburg,
Germany, 21.–25.9.2009

(¹: Friedrich-Schiller-Universität, Institute of Applied Physics, Jena,
Germany)

Volz, K.; Szesney, A.; Jurecka, C.; Nemeth, I.; Rubel, O.; Stolz, W.;
Welser, E.; Oliva, E.; Dimroth, F.; Bett, A. W.

»Development and Optimization of a 1 eV (GaIn)(NAs) Solar Cell«,
in: Proceedings, 34th IEEE PVSC, Philadelphia, PA, USA, 7.–12.6.2009

Warta, W.; Schubert, M. C.; Habenicht, H.; Kasemann, M.;
Kwapil, W.; Gundel, P.; Schön, J.

»Analysis of Performance Limiting Material Properties of Multi-
crystalline Silicon«, in: Proceedings, 18th International Photovoltaic
Science and Engineering Conference and Exhibition, Kolkata, India,
19.–23.1.2009

Warta, W.; Hohl-Ebinger, J.; Ohm, A.; Kordelos, K.; Winter, S.¹;
Adelhelm, R.²; Berger, D.²; Hartmann, H.–P.³; Neuhaus, D.–H.³;
Wald, M.⁴; Kieliba, T.⁴; Albert, H.⁵; Hund, B.⁶; Isenberg, J.⁶;
Nagel, H.⁷; Grabitz, P.⁸; Lattwein, W.⁸

»Precise Measurement of Solar Cell Performance in Production«, in:
Proceedings, 24th European Photovoltaic Solar Energy Conference,
Hamburg, Germany, 21.–25.9.2009

(¹: Physikalisch Technische Bundesanstalt PTB, Braunschweig,
Germany)

(²: Berger Lichttechnik GmbH & Co. KG, Pullach, Germany)

(³: Deutsche Cell GmbH, Freiberg, Germany)

(⁴: Bosch Solar Energy AG, Erfurt, Germany)

(⁵: HALM GmbH, Frankfurt, Germany)

(⁶: Q-Cells, Bitterfeld-Wolfen, Germany)

(⁷: Schott AG, Alzenau, Germany)

(⁸: Solarwatt Cells GmbH, Heilbronn, Germany)

SONSTIGE VERÖFFENTLICHUNGEN

- Weber, C.; Nuñez, T.; Schöppenthau, O.¹; Büttner, T.²
»System Description and First Monitoring Results of a Trigeneration Installation for Combined Heating, Cooling and Power«, in: *Proceedings, Heat Power Cycles Conference 2009, Berlin, Germany, 7.–9.9.2009*
(¹: Technische Werke Ludwigshafen AG, Ludwigshafen, Germany)
(²: Sortech AG, Halle (Saale), Germany)
- Weiß, K.–A.; Jack, S.; Kaltenbach, T.; Köhl, M.
»Qualification of Designs and Materials for Polymeric Solar-Thermal Collectors«, in: *Proceedings, ESTEC, München, Germany, 25./26.5.2009*
- Weiß, K.–A.; Jack, S.; Kaltenbach, T.; Köhl, M.
»Qualifizierung von Designs und Materialien für polymere solarthermische Kollektoren«, in: *Tagungsband, 19. Symposium Thermische Solarenergie 2009, Bad Staffelstein, Germany, 6.–8.5.2009, CD-ROM*
- Weiß, K.–A.; Kaltenbach, T.; Köhl, M.; Peike, C.; Litblau, A.¹; Zäh, M.¹
»Systematic Evaluation of Different Stress Factors onto the Degradation Behaviour of Plastics«, in: *Proceedings, 4th European Weathering Symposium EWS, Budapest, Hungary, 16.–18.9.2009*
(¹: Clariant Produkte (Deutschland) GmbH, Gersthofen, Germany)
- Weiß, K.–A.; Kratochwill, S.; Wirth, J.; Koehl, M.
»Light-Soaking and Power Measurements of Thin Film Modules«, in: *Proceedings, Solar Energy + Applications, San Diego, CA, USA, 2.–6.8.2009*
- Weiß, K.–A.; Assmus, M.; Jack, S.; Koehl, M.
»Measurement and Simulation of Dynamic Mechanical Loads on PV-Modules«, in: *Proceedings, Solar Energy + Applications, San Diego, CA, USA, 2.–6.8.2009*
- Weiß, K.–A.; Jack, S.; Köhl, M.
»Untersuchung von Belastungsszenarien von Polymer-Solkollektoren durch FEM-Simulation«, in: *Tagungsband, 38. Jahrestagung der GUS 2009, Pfinztal, Germany, 18.–20.3.2009, CD-ROM*
- Welser, E.; Guter, W.; Philipps, S. P.; Oliva, E.; Wekkeli, A.; Scheer, M.; Siefert, G.; Dimroth, F.; Bett, A. W.
»High Efficiency Multi-Junction Solar Cells: Concepts and Realisation«, in: *Proceedings, EMRS, Strasbourg, France, 8.–12.6.2009*
- Went, J.; Heidtmann, C.; Eisele, M.; Schies, A.; Kroemke, F.; Vetter, M.
»Betriebsführungsstrategien und Auslegung von batterielessen, photovoltaisch betriebenen Meerwasserentsalzungsanlagen«, in: *Tagungsband, 24. Symposium Photovoltaische Solarenergie, Bad Staffelstein, Germany, 4.–6.3.2009*
- Went, J.; Kroemke, H.; Schmoch, H.; Vetter, M.
»Energy Demand for Desalination with Solar Driven Reverse Osmosis Units«, in: *Proceedings, EDS Conference 2009, Baden-Baden, Germany, 17.–20.5.2009*
- White, S. D.¹; Kohlenbach, P.²; Bongs, C.
»Indoor Temperature Variations Resulting From Solar Desiccant Cooling in a Building without Thermal Backup«, in: *International Journal of Refrigeration, Vol. 32, No. 4, 2009, pp. 695–704*
(¹: CSIRO Energy Technology, Newcastle, Australia)
(²: Solem Consulting, Balgowlah, Australia)
- Wiemken, E.; Wewiór, J. W.¹
»Solar Air-Conditioning in the German Solarthermie 2000plus Programme: Installed Plants and First Monitoring Results«, in: *Tagungsband, 3rd International Conference Solar Air-Conditioning, Palermo, Italy, 30.9.–2.10.2009*
(¹: PSE AG, Freiburg, Germany)
- Wiemken, E.; Wewiór, J. W.¹
»Solare Kühlung im Förderprogramm Solarthermie2000plus – Stand der Demonstrationsvorhaben und erste Betriebsergebnisse«, in: *Tagungsband, 19. Symposium Thermische Solarenergie 2009, Bad Staffelstein, Germany, 6.–8.5.2009, CD-ROM*
(¹: PSE AG, Freiburg, Germany)
- Wienold, J.; Wittwer, V.; Moosmann, C.¹; Wagner, A.¹
»Tageslichtnutzung und Sichtkontakt am Büroarbeitsplatz«, in: *Tagungsband, 14. Symposium Licht und Architektur 2009, Bad Staffelstein, Germany, 12./13.2.2009*
(¹: Fachgebiet Bauphysik und Technischer Ausbau (ftba), Universität Karlsruhe, Karlsruhe, Germany)
- Wienold, J.
»Dynamic Daylight Glare Evaluation«, in: *Proceedings, Building Simulation 2009, University of Strathclyde, Glasgow, Scotland, Great Britain, 27.–30.7.2009*

SONSTIGE VERÖFFENTLICHUNGEN

Wille-Haussmann, B.; Becker, R.; Sauer, C.; Wittwer, C.

»Bewertung von Kommunikationskonzepten zum dezentralen Energiemanagement an einem Beispiel«, in: Konferenzband, ETG-Fachtagung IT-Solutions in der Elektrizität, Stuttgart, Germany, 17./18.11.2009

Wille-Haussmann, B.; Gernsberger, B.; Link, J.; Sauer, C.; Wittwer, C.

»Local Energy Systems Optimised for Local Consumption of Self Produced Electricity«, in: Proceedings, 4th International Renewable Energy Storage Conference (IRES 2009), Berlin, Germany, 24./25.11.2009

Wille-Haussmann, B.; Sauer, C.; Soria, A.; Walter, T.; Wittwer, C.

»Models for Optimised Operation of Heating Systems with Variable Tariffs«, in: Proceedings, CISBAT Conference 2009, EPFL, Lausanne, Switzerland, 2./3.9.2009

Wille-Haussmann, B.; Wittwer, C.; Tenbohlen, S.

»Reduced Models for Operation Management of Distributed Generation«, in: Proceedings, CIREN 2009, Prag, Czech Republic, 8.–11.6.2009

Wilson, H. R.; Kuhn, T.

»Winkelabhängige Farbmessungen an »dicken Verglasungsproben« im Labor und am Bau«, in: Tagungsband, Licht + Architektur, OTTI e. V., Bad Staffelstein, Germany, 12./13.2.2009, pp. 148–157

Wirth, J.; Kratochwill, S.; Philipp, D.; Weiß, K.-A.; Koehl, M.

»Comparison of Indoor and Outdoor Power Measurements of Thin Film Modules«, in: Proceedings, 24th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Hamburg, Germany, 21.–25.9.2009

Witte, K. T.; Schnabel, L.; Andersen, O.¹

»A II. 1: Verdampferentwicklung für den Einsatz in thermisch betriebenen Kältemaschinen«, in: Proceedings, Deutsche Kälte- und Klimatagung, Berlin, Germany, 18.–20.11.2009
(¹: Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Materialforschung IFAM, Dresden, Germany)

Witte, K.; Schnabel, L.; Andersen, O.¹

»Verdampferentwicklung für den Einsatz in Thermisch betriebenen Kältemaschinen«, in: Tagungsband, Deutsche Kälte-Klima Tagung, Berlin, Germany, 19./20.11.2009

(¹: Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Materialforschung IFAM, Dresden, Germany)

Witte, K. T.; Schnabel, L.; Hoffmann, A.; Huang, K.; Andersen, O.

»Water as a Refrigerant – Evaporator Development for Cooling Applications«, in: Konferenzband, Heat Power Cycles Conference 2009, 7.–9.9.2009, Berlin, Germany

Wittstadt, U.; Földner, G.; Schmidt, F.

»Comparison of the Heat Transfer Characteristic of two Adsorption Heat Exchanger Concepts«, in: Tagungsband, Heat Powered Cycles 2009, TU Berlin, Berlin, Germany, 7.–9. 9.2009

Wittwer, C.

»Optimierung von Smart Grids mit flexiblen Stromtarifen«, in: ew – das Magazin für die Energiewirtschaft, Vol. 21, 5.10.2009, pp. 32–39

Wittwer, C.; Stillahn, T.

»Das Stromnetz soll schlauer werden«, in: Die Welt, Sonderbeilage Energie, 11.2009

Wittwer, C.; Link, J.; Stillahn, T.; Ebert, G.

»Zusammenhänge von Elektromobilität und Smart Homes«, in: E-World News, 10.2.2009, p. 13

Zimmer, M.; Oltersdorf, A.; Rentsch, J.

»Online Process Control of Acidic Texturisation Baths with Ion Chromatography«, in: Talanta, Vol. 80, pp. 499–503, 14.7.2009

Zimmer, M.; Birmann, K.; Hilgert, J.; Rentsch, J.

»NIR-Spectroscopical Process Control for Wet Chemical Process«, in: Proceedings, 24th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Hamburg, Germany, 21.–25.9.2009

Zimmer, M.; Oltersdorf, A.; Rentsch, J.; Preu, R.

»Spectroscopical Analysis of Wet Chemical Processes«, in: Photovoltaics International, Vol. 3, 2009, pp. 73–78