



Jahresbericht

2015/16

Titelfoto:

*Wasserstoffherstellung durch elektrochemische Wasserspaltung
in einer Elektrolysezelle mit einer Polymer-Elektrolyt-Membran.*



VORWORT

Die letzten Jahre waren nicht leicht für die Solarbranche in Deutschland. Die große globale Produktions-Überkapazität führte zu unerwartet schnellen Preisreduktionen, die in rasch wachsenden Absatzmärkten resultierten. Deutschland verabschiedete sich leider aus dieser Entwicklung, auch durch politische Weichenstellungen, gerade in dem Moment, in dem die Branche zu ihrem zweiten Wachstumszyklus in Richtung auf einen 100 GW/a Markt 2020 ansetzte.

Das Fraunhofer ISE reagierte auf die schwierige Situation unserer Industriepartner durch Strategieanpassungen, organisatorische Optimierungen und Konsolidierungen, die bereits positive Wirkung zeigten. Unser Kernthema bleibt die Entwicklung und Markteinführung von Technologien, die für die Transformation des Energiesystems hin zu Nachhaltigkeit und einem effizienten Einsatz von 100 % erneuerbaren Energien erforderlich sind. Dies wird auch in den kommenden Jahrzehnten von zentraler Bedeutung bleiben, besonders nach der internationalen Einigung auf die Klimaziele von COP-21 in Paris. Wir wollen durch unsere FuE-Arbeit unseren Industriepartnern helfen, für hiesige wie für globale Märkte kostengünstige und effiziente Technologien anzubieten.

Insgesamt können wir auf ein solides Jahr 2015 zurückblicken. Einige positive Signale sind bereits erkennbar. So lässt die weltweite Dynamik des Photovoltaikmarkts einen Wiederanstieg des Bedarfs an Produktionskapazität erwarten – eine Chance für die Ausrüsterindustrie und damit auch für die Umsetzung unserer neu entwickelten Technologien.

Anfang des Jahres haben wir nationale und internationale Industriekunden befragt, um zu erfahren, was diese an uns schätzen und wo wir noch besser werden können. Unsere Fachkompetenz, unsere technische Ausstattung und unsere langjährige Erfahrung erhielten sehr gute Bewertungen. Diese Rückmeldungen bestärken uns in dem zentralen Anliegen, mit erfolgreichen Projekten und herausragenden Forschungsergebnissen unsere Kunden dabei zu unterstützen, ihre Wettbewerbsfähigkeit zu steigern.

Um unsere technische Infrastruktur noch weiter zu verbessern, haben wir 2015 einen neuen Laborstandort in der Auerstraße in Freiburg eingeweiht. Dieses neue Zentrum für Speicher- und Wärmetransformationstechnologien bietet gleich für mehrere zentrale Fragestellungen der Energiewende die erforderliche Ausstattung. Dort sind neue Labor- und Technikumsflächen entstanden für die Themen Batteriesysteme für Photovoltaik und Mobilität, Redox-Flow-Batterien, Wasserstoffherzeugung durch Elektrolyse, Hochtemperaturspeicher für die Solarthermie sowie Wärmepumpen und Kältemaschinen für den Antrieb mit Strom, Gas oder Wärme.

Unser Leistungsangebot haben wir 2015 auch durch die Akkreditierung unseres TestLab Power Electronics durch die DAkkS erweitert. Aufgrund des Zubaus an erneuerbaren Energien hat die Dynamik bei der Regelung von Energieversorgungsnetzen zugenommen und auch die Anforderungen an die elektrischen Eigenschaften der Leistungselektronik im Netz steigen. Um die Zuverlässigkeit von Erzeugungseinheiten sicherzustellen, bietet das Fraunhofer ISE nun ein noch umfangreicheres Portfolio an zertifizierten Prüfleistungen nach internationalen Richtlinien an.

Unsere Nähe zur Industrie wird auch durch Ausgründungen deutlich. 2015 haben wir die am Fraunhofer ISE entwickelte »kerfless wafer«-Technologie für epitaktisch gewachsene Wafer (EpiWafer) in unser Spin-off NexWafe GmbH transferiert, um sie dort weiter zu kommerzialisieren. Der EpiWafer ist ein kostengünstiger Ersatz für konventionelle n- oder p-dotierte monokristalline Siliciumwafer. NexWafe und das Fraunhofer ISE haben zudem die Produktionsschritte für EpiWafer weiter optimiert, so dass nach neuesten Messungen die Solarzelle nun einen Kurzschlussstrom von 39,6 mA/cm² erreicht - ein Weltrekord für epitaktisch gewachsene Siliciumsolarzellen!

Einen weiteren Weltrekord konnte das Fraunhofer ISE 2015 für seine Solarzellen mit TopCon-Technologie verbuchen. Für die beidseitig kontaktierten Siliciumsolarzellen wurde erstmals ein Wirkungsgrad von 25,1 % gemessen. Unser

Rückseitenkonzept bietet zudem große Chancen für weitere Effizienzsteigerungen. Mit diesen Ergebnissen zeigen wir, dass in der Photovoltaik-Forschung das Potenzial für weitere Kostenreduzierungen und Wirkungsgradsteigerungen noch längst nicht ausgeschöpft ist!

Unsere fundamentale Studie »Was kostet die Energiewende?« von Prof. Dr. Hans-Martin Henning und Andreas Palzer hat maßgeblich zu einem besseren Verständnis der systemischen Herausforderungen beigetragen, die adressiert werden müssen, um das Ziel einer mindestens 80-prozentigen Reduktion der Treibhausgasemissionen bis 2050 in Deutschland zu erreichen. Die modellbasierte Untersuchung erstreckt sich über alle Sektoren und Energieträger. Mit stundenscharfer Auflösung wird analysiert, wie Deutschland seine Klimaschutzziele durch effiziente Energienutzung und erneuerbare Energien erreichen kann. Dabei werden verschiedene, kostenoptimierte Transformationspfade detailliert untersucht. Bei allen Szenarien spielen fluktuierende erneuerbare Energien zur Stromerzeugung eine Schlüsselrolle in der zukünftigen Energieversorgung. Die neue Zusammensetzung erfordert ein hohes Maß an Flexibilisierung bei der Erzeugung und der Nutzung von Strom. Die Wärmeversorgung zeichnet sich durch eine starke Elektrifizierung aus. Die Studie zeigt, dass wir noch vor zahlreichen, spannenden Forschungsaufgaben stehen, um die Energiewende in die Realität umzusetzen.

Um die Forschung für eine nachhaltige Energieversorgung weiter zu stärken und die Kooperation mit der Wirtschaft zu intensivieren, haben die fünf Freiburger Fraunhofer-Institute und die Albrecht-Ludwigs-Universität Freiburg 2015 das »Leistungszentrum Nachhaltigkeit« gestartet. Zudem hat die Universität das »Institut für Nachhaltige Technische Systeme (INaTECH)« an der Technischen Fakultät gegründet. Es bildet nun den ingenieurwissenschaftlichen Kern des Leistungszentrums Nachhaltigkeit. Wir freuen uns sehr, dass Dr. Stefan Glunz zum Professor (W3) für »Photovoltaische Energiekonversion« am INaTECH ernannt wurde.

Das Fraunhofer ISE will nicht nur maßgebliche Ergebnisse für eine nachhaltige Energieversorgung vorlegen, sondern seine Forschungs- und Entwicklungsleistungen auch nachhaltig erbringen. Um uns dabei weiter zu verbessern, haben wir 2015 erstmals einen Nachhaltigkeitsbericht vorgelegt. Er ist die Grundlage für zukünftige regelmäßige Überprüfungen der Institutsentwicklung in dieser wichtigen Fragestellung.

Bei der internationalen Projektakquise stoßen wir auf immer stärkeres Interesse. Aus dem Preisgeld für den Zayed Future Energy Award, den ich 2014 für das Fraunhofer ISE erhalten habe, haben wir gemeinsam mit der Fraunhofer-Gesellschaft ein »Fraunhofer-Zayed-Programm« gestartet, um die Anschubfinanzierung für internationale Projekte zu gewährleisten. Damit sind bisher 14 Projekte in u. a. Ägypten, Brasilien, Chile, Großbritannien, Haiti, Indien und Südafrika finanziert worden, an denen das Fraunhofer ISE in zentraler Rolle beteiligt ist.

Die internationale Zusammenarbeit wird auch durch ein neues Solarforschungszentrum in Südamerika verstärkt. Ziel des von der Fraunhofer Chile Research Foundation neu gegründeten Fraunhofer Center for Solar Energy Technologies (FCR-CSET) in Santiago de Chile ist, das Potenzial des sonnenreichen Landes stärker zu nutzen. Hierfür sollen vor allem solarthermische und photovoltaische Technologien und Anwendungen mit Partnern aus Forschung und Industrie weiterentwickelt und vor Ort implementiert werden. Das Forschungszentrum für Solarenergie wurde in 2015 in Anwesenheit der chilenischen Vizeministerin für Energie Jimena Jara offiziell eingeweiht.

Schließlich möchte ich mich für die Unterstützung und Förderung unseres Instituts sowie die gute Zusammenarbeit herzlich bei unseren Kuratoren, Auditoren, Stipendiengebern, Ansprechpartnern in den Ministerien auf Bundes- und Länderebene sowie allen Projektpartnern bedanken. Wir freuen uns auf die vertrauensvolle Zusammenarbeit im nächsten Jahr.



UNSERE VISION

Das Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE betreibt anwendungsorientierte Forschung und Entwicklung mit dem Ziel einer nachhaltigen, wirtschaftlichen, sicheren und sozial gerechten Energieversorgung weltweit.

Das Institut entwickelt technische Lösungen zur wirtschaftlichen Nutzung erneuerbarer Energiequellen und zur Erhöhung der Energieeffizienz. Es trägt mit seinen system- und technologieorientierten Innovationen sowohl zur Wettbewerbsfähigkeit seiner Kunden als auch zur gesellschaftlichen Akzeptanz nachhaltiger Energiesysteme bei. Das Fraunhofer ISE hat den Anspruch, durch herausragende Forschungsergebnisse und erfolgreiche Projekte, Kooperationen und Firmenausgründungen eine weltweit führende Position als Forschungsinstitut im Bereich effizienter und solarer Energiesysteme einzunehmen und weiter auszubauen. Damit will es einen Beitrag zur Transformation des Energieversorgungssystems leisten. Um optimale Ergebnisse zu erzielen, arbeitet das Institut weltweit mit renommierten Partnern zusammen. Es ist unser Bestreben, exzellente wissenschaftliche Forschung und Entwicklung mit wirtschaftlichem Erfolg, industrieller Umsetzung und technischem Fortschritt zu verbinden.

UNSERE MISSION

UNSER FUNDAMENT

Das Fraunhofer ISE ist das größte Solarforschungsinstitut in Europa. Die erfolgreiche Arbeit basiert auf sieben Säulen, die das Selbstverständnis des Instituts markieren:

- hervorragend ausgebildete und motivierte Mitarbeiter
- moderne und leistungsfähige Forschungsinfrastruktur
- breites Themenspektrum und Systemkompetenz
- langjährige Erfahrung und Expertise
- anerkannte Analyse- und Prüfkompetenz
- erfolgreiches, projektfinanziertes Geschäftsmodell
- nationale und internationale Vernetzung



INHALTSVERZEICHNIS

Organisationsstruktur	6	Photovoltaik	12
Kuratorium	7		
Die Fraunhofer-Gesellschaft	8	Silicium-Photovoltaik	14
Das Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE	9	» Gespräch mit Dr. Ralf Preu und Prof. Dr. Stefan Glunz	15
Außenstandorte und Kooperationen	10	» Ansprechpartner und Projekte 2015	16
Angebotsspektrum	11	» Epitaktische Siliciumwafer für die Photovoltaik	17
		» Lokal kontaktierte, passivierte Solarzellen aus kristallinem Silicium	18
		» Ladungsträgerselektive Kontaktschichten für höchste Wirkungsgrade	20
		III-V- und Konzentrador-Photovoltaik	22
		» Gespräch mit Dr. Andreas Bett	23
		» Ansprechpartner und Projekte 2015	24
		» Charakterisierung von Mehrfachsolarzellen und Konzentratormodulen	25
		Neuartige Photovoltaik-Technologien	26
		» Einleitung	27
		» Ansprechpartner und Projekte 2015	28
		» Höchste Wirkungsgrade mit Silicium-basierten Tandemsolarzellen	29
		Photovoltaische Module und Kraftwerke	30
		» Einleitung	31
		» Ansprechpartner und Projekte 2015	32
		» Schadensanalyse an PV-Modulen – Ursachen und Auswirkungen	33
		» In situ Monitoring von PV-Modulen – Alterung im Blick der Zeit	34
		» Charakterisierung und Ertragsprognosen für bifaziale PV-Module	35



Solarthermie

- » Einleitung
- » Ansprechpartner und Projekte 2015
- » Neue Technologien für solarthermische Fassaden
- » Möglichkeiten solarer Prozesswärme – vom Bergbau bis zu Wäschereien
- » Forschung für solare Turmkraftwerke

Gebäudeenergiechnik

- » Gespräch mit Prof. Dr. Hans-Martin Henning
- » Ansprechpartner und Projekte 2015
- » Fenster- und Fassadensysteme für die Energiewende
- » Netzdienliche Gebäude
- » Wärmepumpen – energieeffizientes Heizen und Kühlen

Wasserstofftechnologien

- » Einleitung
- » Ansprechpartner und Projekte 2015
- » Neues Zentrum für leistungsstarke PEM-Elektrolyseure

Energiesystemtechnik

- » Einleitung
- » Ansprechpartner und Projekte 2015
- » Batteriespeicher – von der Zelle über das System zur Integration
- » Kostenoptimierung und Standortentscheidungen für die Energiewende
- » Netzintegration erneuerbarer Energien
- » Energieeffiziente Quartiere
- » Leistungselektronik

	36	CalLab PV Cells	58
	37	CalLab PV Modules	59
	38	TestLab PV Modules	60
	39	TestLab Solar Thermal Systems	61
		TestLab Solar Façades	62
	40	TestLab Power Electronics	63
	41	ServiceLab PV Power Plants	64
		ServiceLab Batteries	65
		ServiceLab Smart Energy	66
	42	ServiceLab Lighting and DC Appliances	67
	43	ServiceLab Fuel Cells	68
	44	ServiceLab Heat Pumps and Chillers	69
	45	ServiceLab Thermochemical and Porous Materials	70
	46	ServiceLab Phase Change Materials	70
		ServiceLab Air Handling Units	71
	47	ServiceLab Heat Exchangers	71
<hr/>			
	48		
	49	Studie: Was kostet die Energiewende?	72
	50	Preise und Auszeichnungen	73
		Ausgründungen, Neue Standorte	74
	51	Neues Leistungszentrum Nachhaltigkeit in Freiburg	75
		Internationale Vernetzung	76
		Professuren und Promotionen	78
	52	Lehrveranstaltungen	80
	53	Impressum	81
	54		
	55		
	56		
	56		
	57		
	57		



ORGANISATIONSSTRUKTUR

Institutsleitung

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

Stellvertretende Institutsleitung

Dr. Andreas Bett
Telefon +49 761 4588-5257
Prof. Dr. Hans-Martin Henning
Telefon +49 761 4588-5134

Verwaltungsleitung

Dr. Sonja Reidel
Telefon + 49 761 4588-5668

Technische Leitung

Jochen Vetter
Telefon + 49 761 4588-5214

Presse und Public Relations

Karin Schneider M.A.
Telefon +49 761 4588-5150

Nachhaltigkeit

Samuel Frey
Telefon +49 761 4588-2068

Energiepolitik

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

Betriebsratsvorsitzender

Prof. Dr. Gerhard Willeke
Telefon +49 761 4588-5266

(v. l. n. r.): Dr. Andreas Bett, Stellvertretender Institutsleiter und Geschäftsfeldkoordinator »Photovoltaik«, Jochen Vetter, Technischer Leiter, Karin Schneider, Leiterin Presse und Public Relations, Prof. Dr. Eicke R. Weber, Institutsleiter, Prof. Dr. Hans-Martin Henning, Stellvertretender Institutsleiter und Geschäftsfeldkoordinator »Gebäudeenergie-technik«, Dr. Sonja Reidel, Verwaltungsleiterin.

Die Organisationsstruktur des Fraunhofer ISE gliedert sich neben Verwaltung, Technik und Stabsstellen in acht wissenschaftliche Bereiche: Thermische Anlagen und Gebäudetechnik, Elektrische Energiesysteme, Solarzellen - Entwicklung und Charakterisierung, PV-Produktionstechnologie und Qualitätssicherung, Wasserstofftechnologien, Solarthermie und Optik, Photovoltaische Module, Systeme und Zuverlässigkeit sowie Materialien - Solarzellen und Technologie. Unsere Außendarstellung erfolgt durch fünf marktorientierte Geschäftsfelder: Photovoltaik, Solarthermie, Gebäudeenergie-technik, Wasserstofftechnologie und Energiesystemtechnik. Das Leitungsteam besteht aus Prof. Dr. Eicke R. Weber, Dr. Andreas Bett, Prof. Dr. Hans-Martin Henning, Dr. Sonja Reidel und Jochen Vetter.

In beratender Funktion wird das Fraunhofer ISE von langjährigen Begleitern und erfahrenen Experten der Solarbranche unterstützt: Prof. Dr. Adolf Goetzberger (Institutsgründer und Institutsleiter 1981–1993), Prof. Dr. Joachim Luther (Institutsleiter 1993–2006) und Prof. Dr. Volker Wittwer (stellvertretender Institutsleiter 1997–2009).

»Das Fraunhofer ISE hat sich in den letzten Jahren neben seiner herausragenden Kompetenz im Bereich der Photovoltaik zum gesuchten Ansprechpartner und Ideengeber für ganzheitliche Systeminnovationen im Bereich der Energiesysteme entwickelt.«

Dr. Carsten Voigtländer, CEO Vaillant Group

KURATORIUM

»Besonders beeindruckend ist, dass das Fraunhofer ISE sein Tätigkeitsfeld stetig und erfolgreich weiterentwickelt hat. Es kann die Wertschöpfungskette von der Materialforschung bis hin zur Untersuchung von Gesamtsystemen mit 100 % erneuerbaren Energien abdecken. So wird es seinen Erfolgskurs zweifellos fortsetzen.«

Dr. Hubert Aulich, President, SC Sustainable Concepts

VORSITZENDER

Dr. Carsten Voigtländer

Vaillant Group, Remscheid

STELLVERTRETENDER VORSITZENDER

Dr. Hubert Aulich

SC Sustainable Concepts GmbH, Erfurt

MITGLIEDER

Dr. Nikolaus Benz

Schott Solar CSP GmbH, Mainz

Dr. Dirk-Holger Neuhaus

SolarWorld Innovations GmbH, Freiberg

Dr. Klaus Bonhoff

NOW GmbH, Nationale Organisation Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie, Berlin

Dr.-Ing. Norbert Pralle

Ed. Züblin AG, Stuttgart

Ullrich Bruchmann

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi), Berlin

Dr. Klaus-Dieter Rasch

AZUR SPACE Solar Power GmbH, Heilbronn

Ministerialdirigent Martin Eggstein

Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg, Stuttgart

Regierungsdirektor Dr. Christoph Rövekamp

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF), Bonn

Hans-Josef Fell

Energy Watch Group (EWG), Hammelburg

Prof. Dr. Frithjof Staiß

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

Dr. Winfried Hoffmann

Applied Solar Expertise, Hanau

Dr. Norbert Verweyen

RWE Effizienz GmbH, Dortmund

Dipl.-Ing. Helmut Jäger

Solvis GmbH & Co. KG, Braunschweig

Prof. Andreas Wagner

Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Karlsruhe

Ministerialdirigent Günther Leßnerkraus

Ministerium für Finanzen und Wirtschaft Baden-Württemberg, Stuttgart

Das Kuratorium begutachtet die Forschungsprojekte und berät die Institutsleitung und den Vorstand der Fraunhofer-Gesellschaft bezüglich des Arbeitsprogramms des Fraunhofer ISE (Stand: 31. Dezember 2015).



DIE FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT

Forschen für die Praxis ist die zentrale Aufgabe der Fraunhofer-Gesellschaft. Die 1949 gegründete Forschungsorganisation betreibt anwendungsorientierte Forschung zum Nutzen der Wirtschaft und zum Vorteil der Gesellschaft. Vertragspartner und Auftraggeber sind Industrie- und Dienstleistungsunternehmen sowie die öffentliche Hand.

Die Fraunhofer-Gesellschaft betreibt in Deutschland derzeit 66 Institute und Forschungseinrichtungen. Knapp 24 000 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, überwiegend mit natur- oder ingenieurwissenschaftlicher Ausbildung, erarbeiten das jährliche Forschungsvolumen von mehr als 2 Milliarden Euro. Davon entfallen rund 1,7 Milliarden Euro auf den Leistungsbereich Vertragsforschung.

Über 70 Prozent dieses Leistungsbereichs erwirtschaftet die Fraunhofer-Gesellschaft mit Aufträgen aus der Industrie und mit öffentlich finanzierten Forschungsprojekten. Knapp 30 Prozent werden von Bund und Ländern als Grundfinanzierung beigesteuert, damit die Institute Problemlösungen entwickeln können, die erst in fünf oder zehn Jahren für Wirtschaft und Gesellschaft aktuell werden.

Internationale Kooperationen mit exzellenten Forschungspartnern und innovativen Unternehmen weltweit sorgen für einen direkten Zugang zu den wichtigsten gegenwärtigen und zukünftigen Wissenschafts- und Wirtschaftsräumen.

Mit ihrer klaren Ausrichtung auf die angewandte Forschung und ihrer Fokussierung auf zukunftsrelevante Schlüsseltechnologien spielt die Fraunhofer-Gesellschaft eine zentrale Rolle im Innovationsprozess Deutschlands und Europas. Die Wirkung der angewandten Forschung geht über den direkten Nutzen für die Kunden hinaus: Mit ihrer Forschungs- und Entwicklungsarbeit tragen die Fraunhofer-Institute zur Wettbewerbsfähigkeit der Region, Deutschlands und Europas bei. Sie fördern Innovationen, stärken die technologische Leistungsfähigkeit, verbessern die Akzeptanz moderner Technik und sorgen für Aus- und Weiterbildung des dringend benötigten wissenschaftlich-technischen Nachwuchses.

Namensgeber der als gemeinnützig anerkannten Fraunhofer-Gesellschaft ist der Münchner Gelehrte Joseph von Fraunhofer (1787–1826). Er war als Forscher, Erfinder und Unternehmer gleichermaßen erfolgreich.

¹ *Der Forscher, Erfinder und Unternehmer Joseph von Fraunhofer ist der Namensgeber der Fraunhofer-Gesellschaft, die anwendungsorientierte Forschung betreibt.*

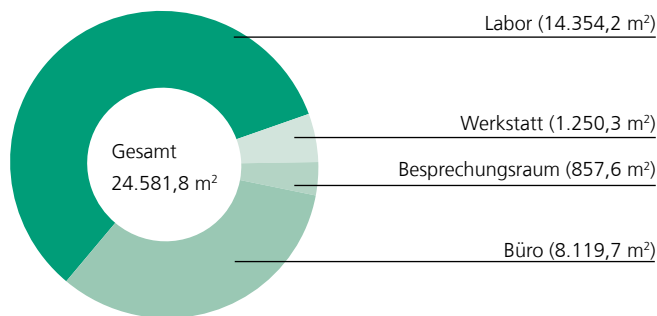
DAS FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR SOLARE ENERGIESYSTEME ISE

Das 1981 in Freiburg im Breisgau gegründete Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE ist mit ca. 1150 Mitarbeitern das größte Solarforschungsinstitut in Europa. Es schafft technische Voraussetzungen für eine effiziente und umweltfreundliche Energieversorgung, sowohl in Industriemaschinen als auch in Schwellen- und Entwicklungsländern. Mit den Forschungsschwerpunkten Energiegewinnung, Energieeffizienz, Energieverteilung und Energiespeicherung trägt es zur breiten Anwendung neuer Technologien bei.

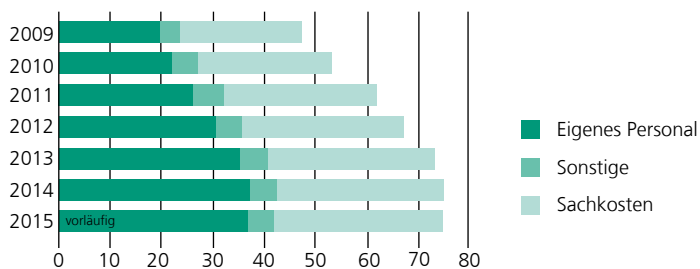
Zusammen mit Kunden und Partnern aus Wirtschaft, Politik und Gesellschaft entwickelt das Fraunhofer ISE konkret umsetzbare technische Lösungen. In fünf Geschäftsfeldern erforscht und entwickelt das Institut Materialien, Komponenten, Systeme und Verfahren. Zudem bietet das Institut Prüf- und Zertifizierungsleistungen an. Es zeichnet sich durch eine hervorragende Laborinfrastruktur aus. Das Fraunhofer ISE ist nach der Qualitätsmanagementnorm DIN EN ISO 9001:2008 zertifiziert.

Die Finanzierung erfolgt zu rund 80 Prozent durch Aufträge in den Bereichen angewandte Forschung, Entwicklung und Hochtechnologie-Dienstleistungen. Das Institut ist in nationale und internationale Kooperationen wie Forschungsverbund Erneuerbare Energien (FVEE) und Association of European Renewable Energy Research Centres (EUREC) eingebunden.

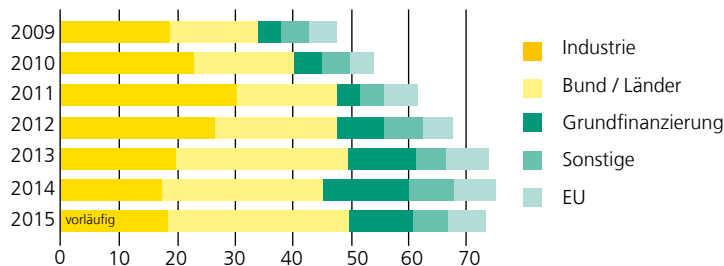
Die Finanzstruktur der Fraunhofer-Gesellschaft unterscheidet sich zwischen dem Betriebs- und dem Investitionshaushalt. Der Betriebshaushalt umfasst alle Personal- und Sachaufwendungen sowie deren Finanzierung durch externe Erträge und institutionelle Förderungen. Im Jahr 2015 betrug der Betriebshaushalt 73,1 Millionen Euro. Darüber hinaus tätigte das Institut Investitionen in Höhe von 10,6 Millionen Euro (ohne Bauinvestitionen und Konjunkturprogramme). Zum 31.12.2015 beschäftigte das Fraunhofer ISE insgesamt 1142 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter. Darunter waren u. a. 111 Promovierende, 110 Diplomanden, 31 Praktikanten und 240 wissenschaftliche Hilfskräfte.



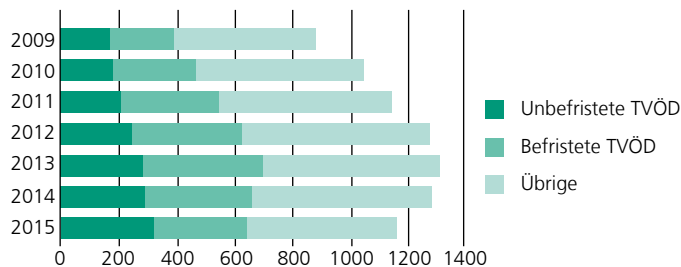
Flächenaufteilung der Fraunhofer ISE Gebäude in Freiburg.



Kosten [Mio €]



Erträge [Mio €]



Personal



AUSSENSTANDORTE UND KOOPERATIONEN

Neben seinem Hauptsitz in Freiburg unterhält das Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE drei Außenstandorte in Deutschland und zwei internationale Kooperationen.

Labor- und Servicecenter Gelsenkirchen LSC

Das 2001 durch die Initiative und mit Unterstützung der Landesregierung Nordrhein-Westfalen entstandene Fraunhofer ISE Labor- und Servicecenter LSC ist spezialisiert auf produktionsnahe Prozessentwicklung zur Herstellung von Silicium-Dünnschichtsolarmodulen, von Silicium-Heterosolarmodulen und multikristallinen Siliciumsolarmodulen. Es verfügt über zwei hervorragend ausgestattete Technologiebereiche und über umfangreiche Messtechnik zur Charakterisierung von Schichten und Solarmodulen.

Fraunhofer-Center für Silizium-Photovoltaik CSP

Das Fraunhofer-Center für Silizium-Photovoltaik CSP in Halle/Saale ist eine gemeinsame Einrichtung des Fraunhofer-Instituts für Werkstoffmechanik IWM, Freiburg und Halle (künftig: Fraunhofer-Institut für Mikrostruktur von Werkstoffen und Systemen IMWS), und des Fraunhofer ISE. Zentrale Schwerpunkte sind der Bereich »Zuverlässigkeit und Technologien für Netzparität« (CSP-ZTN) und das »Labor für Kristallisationstechnologie« (CSP-LKT). Letzteres bildet – gemeinsam mit dem Silicon Materials Technology and Evaluation Center SIMTEC am Fraunhofer ISE in Freiburg – eine umfassende Technologieplattform für industrierelevante Kristallisationsprozesse unter Verwendung produktionsnaher Anlagen, die über den Stand der Technik hinausweisen.

Technologiezentrum Halbleitermaterialien THM

Das Technologiezentrum Halbleitermaterialien THM in Freiberg, Sachsen, ist eine Kooperation des Fraunhofer ISE mit

- 1 Labor- und Servicecenter Gelsenkirchen LSC.
- 2 Fraunhofer-Center für Silizium Photovoltaik CSP in Halle/Saale.
- 3 Fraunhofer Center for Sustainable Energy Systems CSE in Boston.

Rechte Seite: Fraunhofer ISE Hauptgebäude in Freiburg.

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. Ergänzend bietet es Dienstleistungen in den Bereichen Analytik, Charakterisierung und Tests an.

Fraunhofer Center for Sustainable Energy Systems CSE

Das Fraunhofer Center for Sustainable Energy Systems CSE, 2008 in Boston ist aus der Kooperation des Fraunhofer ISE mit dem Massachusetts Institute of Technology MIT entstanden und trägt dazu bei, in Europa etabliertes Know-how und Technologien für den amerikanischen Markt weiterzuentwickeln und dort einzuführen. In Albuquerque, New Mexico betreibt das Fraunhofer CSE gemeinsam mit der Canadian Standards Association CSA ein Testzentrum für PV-Module, das CFV Solar Test Laboratory.

Fraunhofer Chile Research – Centro para Tecnologías en Energía Solar (FCR-CSET)

Mit dem Fraunhofer Chile Research – Centro para Tecnologías en Energía Solar (Fraunhofer Chile Research – Center for Solar Energy Technology) hat die Fraunhofer-Gesellschaft ihr Engagement in Chile erweitert. Wissenschaftler des Fraunhofer ISE, der Pontificia Universidad Católica de Chile und anderer chilenischer Universitäten forschen besonders an der Gewinnung von solarem Strom und Prozesswärme sowie der Aufbereitung von Wasser.

Vernetzung in der Fraunhofer-Gesellschaft

- Fraunhofer-Allianzen Energie, Batterien, Bau, Nanotechnologie, Space, SysWasser
- Fraunhofer Systemforschung Elektromobilität
- Fraunhofer-Verbund Werkstoffe, Bauteile – MATERIALS
- Fraunhofer-Netzwerke Elektrochemie, Energiespeichersysteme und Netze, Intelligente Energienetze, Nachhaltigkeit, Windenergie
- »Morgenstadt-Initiative« der Fraunhofer-Gesellschaft

Das Fraunhofer ISE betreibt anwendungsorientierte Forschung und Entwicklung für zukunftsrelevante Schlüsseltechnologien. Dazu ist das Institut thematisch breit aufgestellt und verfolgt einen ganzheitlichen, systemischen Ansatz. So können maximale Synergieeffekte zwischen den fünf Geschäftsfeldern des Instituts erzielt werden:

Photovoltaik

- Silicium-Photovoltaik
- III-V- und Konzentratoren-Photovoltaik
- Neuartige Photovoltaik-Technologien
- Photovoltaische Module und Kraftwerke

Solarthermie

- Materialforschung und Optik
- Thermische Kollektoren und Komponenten
- Thermische Anlagentechnik
- Thermische Speicher für Kraftwerke und Industrie
- Wasseraufbereitung

Gebäudeenergie-technik

- Gebäudehülle
- Wärme- und Kälteversorgung
- Betriebsführung und Gesamtenergiekonzepte
- Thermische Speicher für Gebäude
- Materialien und Komponenten für Wärmetransformation

Wasserstofftechnologien

- Thermochemische Prozesse
- Wasserstoffherzeugung durch Elektrolyse
- Brennstoffzellensysteme







Energiesystemtechnik

- Leistungselektronik
- IKT für Energiesysteme
- Systemintegration – Strom, Wärme, Gas
- Batteriesysteme für stationäre und mobile Anwendungen
- Energiesystemanalyse

FuE-Leistungen

Unsere Forschungsaktivitäten haben das Ziel, neue Produkte, Verfahren oder Dienstleistungen zu entwickeln, bzw. bestehende Produkte zu verbessern. Dafür findet das Institut zukunftsweisende technische Lösungen und transferiert Technologien aus Wissenschaft und Forschung in Wirtschaft und Gesellschaft. Zudem orientiert sich das Fraunhofer ISE an den Bedürfnissen der Kunden. Es ist Partner der Industrie und leistet einen Beitrag zur wirtschaftlichen Wertschöpfung seiner Kunden. Gerade kleine und mittelständische Unternehmen haben oft keine eigene FuE-Abteilung. Durch die Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer ISE erhalten sie Zugang zu hochleistungsfähiger Laborinfrastruktur und exzellenten Forschungsleistungen.

Wir setzen Forschungs- und Entwicklungsprojekte auf unterschiedlichen Stufen im Lebenszyklus von Technologien um. Je nach Auftrag und Bedarf des Kunden oder Reifegrad einer Technologie bietet das Institut unterschiedliche Leistungen an:

-  Neues Material / Verfahren
-  Prototyp / Kleinserie
-  Patent / Lizenz
-  Software / Anwendung
-  Messtechnische Analyse / Qualitätssicherung
-  Beratung / Planung / Studie

In den folgenden Kapiteln sind die dargestellten Projekte zur besseren Orientierung nach dieser Einteilung gekennzeichnet.

Service-Leistungen

Über die Forschungs- und Entwicklungstätigkeiten hinaus unterhält das Fraunhofer ISE 16 Dienstleistungslabors, die sich über die gesamte Bandbreite der Fraunhofer ISE-Themen erstrecken. Darunter sind auch sechs akkreditierte Test- und Kalibriereinrichtungen. Die Labors bieten mit ihrer jeweiligen Mess- und Prüfausstattung Dienstleistungen für die Wirtschaft. Die Aufträge haben zugleich eine Forschungsfunktion, denn die bei Charakterisierung, Prüfung und Test gewonnenen Erkenntnisse können für FuE-Projekte genutzt werden.

PHOTOVOLTAIK



Die Photovoltaik-Technologie ist eine zentrale Säule für die Transformation des heute Kohlenstoff-basierten zu einem auf erneuerbaren und nachhaltigen Quellen beruhenden Energiesystems. Analysen und Modelle des Fraunhofer ISE zeigen eindeutig, dass die Energiewende ohne das enorme Potenzial der Photovoltaik nicht realisierbar ist. Daher ist die technologische Weiterentwicklung der Photovoltaik unerlässlich. Durch den bisherigen technischen Fortschritt und Skaleneffekte in der Massenproduktion hat die Photovoltaik bereits in den letzten Jahren eine nicht für möglich gehaltene Kostenreduktion bei den Stromgestehungskosten erreicht. Eine Folge davon ist das weltweite Wachstum des Photovoltaikmarkts. So wurden in 2014 insgesamt 44 GWp installiert, was einer Steigerung um 14 % im Vergleich zum Vorjahr entspricht.

Allerdings hat die Photovoltaikbranche in den vergangenen Jahren trotz des weltweiten Marktwachstums eine Konsolidierungsphase erlebt. Seit dem Jahr 2012 sind etliche deutsche PV-Unternehmen restrukturiert worden oder aus dem Markt ausgestiegen. Das wirkte sich auch auf die am Fraunhofer ISE aus Industrieerträgen erzielten Erlöse aus und hatte eine Fokussierung der laufenden PV-Forschungsprojekte zur Folge. Um das Institut optimal auf die Marktentwicklung auszurichten, hatte das Fraunhofer ISE in 2014 einen intensivierten internen Strategieprozess durchlaufen. Die Ergebnisse wurden danach in einem Audit mit externen Branchenspezialisten diskutiert und dabei wertvolle Impulse gewonnen. Die Auditoren bestätigten uns, dass die technologischen Entwicklungen am Fraunhofer ISE auf höchstem internationalem wissenschaftlichem Niveau und gleichzeitig von hoher wirtschaftlicher Relevanz sind. Wir werden daher unseren Weg der Ausrichtung auf die neuen Marktgegebenheiten konsequent weiter gehen.

Der Schwerpunkt des Fraunhofer ISE wird auch in Zukunft auf der Silicium-Photovoltaik-Technologie liegen (Silicium Photovoltaik, S. 14 – S. 21). Kristallines Silicium dominiert mit einem Anteil von über 90 % des weltweiten Photovoltaik-Umsatzes nach wie vor den Markt. Wir sind überzeugt, dass in diesem Technologiezweig noch zahlreiche Innovationen möglich und notwendig sind, um die Kosten der PV-generierten Kilowattstunde weiter zu senken. Aktuelle Forschungsrichtungen am Fraunhofer ISE und den Außenstellen in Freiberg, Gelsenkirchen und Halle befassen sich mit Materialentwicklung, Zellarchitekturen und -Produktionstechnologien, Qualitätssicherung sowie Modulfertigung – um nur einige Beispiele zu nennen. An der Technologie der Silicium-Photovoltaik – vom Material bis zum Modul, und bei der Qualitätssicherung bis hin zur Kraftwerksebene – arbeiten im Institut ca. 380 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter.

Einen weiteren Schwerpunkt im Photovoltaik-Bereich bildet am Fraunhofer ISE das Geschäftsfeldthema III-V- und Konzentrator-Photovoltaik (S. 22 – S. 25), in dem rund 80 Mitarbeiter tätig sind. Ihr Ziel ist unter anderem, die höchsteffizienten Solarzellen auf Basis der III-V-Halbleiter weiter zu entwickeln. Wir sind stolz, hier den aktuellen Wirkungsgrad-Weltrekord mit 46 % zu halten. Derartige Mehrfachsolarzellen werden im Weltraum oder in Konzentratorsystemen eingesetzt. Bei letztgenannter Technologie wird das Licht zunächst von einer Optik gebündelt und dann erst auf die Solarzelle gelenkt. Neben der Zelle bearbeiten wir alle weiteren notwendigen Komponenten (Optik, Modul, Steuerung der Nachführung, Messtechnik) wie auch alle systemischen Fragen. Dies gilt nicht nur für die hochkonzentrierenden, zweiachsig nachgeführten III-V-basierenden Konzentratorsysteme, sondern auch für die niedrigkonzentrierenden, einachsig nachgeführten Konzentratorsysteme, die unsere speziell entwickelten Siliciumzellen nutzen.

Schließlich umfasst das Geschäftsfeld Photovoltaik auch die neu entstehenden Technologiethemata und Zukunftskonzepte (S. 26 – 29). Darunter fasst das Fraunhofer ISE Technologien wie die organischen und die Farbstoff-basierenden Solarzellen, hier besonders auch die in letzter Zeit sehr erfolgreichen Perowskit-Solarzellen. Im Geschäftsfeldthema Neuartige Photovoltaik-Technologien arbeiten ca. 50 Mitarbeiter an Konzepten, die bis zur industriellen Verwirklichung einen Zeithorizont von deutlich mehr als fünf Jahren haben. Beispiele hierfür sind up- und down-Konversion, photonische Strukturen sowie Tandemstrukturen auf Silicium, wo wir unsere Kompetenzen aus den unterschiedlichsten Technologiebereichen bündeln (z. B. die Verbindung von Perowskit- oder III-V-Solarzellen auf Silicium).

Bild: Das Fraunhofer ISE konnte in den letzten Jahren eine Reihe von innovativen PV-Technologien auf Zell- und Modulebene im Labormaßstab entwickeln und patentieren. Um zu zeigen, wie diese Technologien über industrienaher Herstellungsprozesse in substantiellen Stückzahlen und aussagekräftigen Formaten für eine gebäudeintegrierte Anwendung eingesetzt werden können, wurden 70 randversiegelte Module der TPedge-Technologie in die Fassade eines Laborneubaus des Fraunhofer ISE integriert. Die Module basieren auf HIP-MWT-Solarzellen (High Performance Metal Wrap Through) und strukturierten Zellverbindern für Rückkontaktzellen. Umfassende Prüfungen in Anlehnung an IEC 61215 belegen die Zuverlässigkeit der Module.



SILICIUM-PHOTOVOLTAIK





**Gespräch mit Dr. Ralf Preu
und Prof. Dr. Stefan Glunz**
ralf.preu@ise.fraunhofer.de
stefan.glunz@ise.fraunhofer.de

Das Fraunhofer ISE hat den Anspruch, die gesamte Wertschöpfungskette der Si-PV abzudecken. Haben Sie angesichts der schwächelnden PV-Branche in Europa noch Kunden für alle Herstellungsschritte?

Ralf Preu: Die Konsolidierung der letzten Jahre hat nicht nur die europäische, sondern auch die asiatische PV-Industrie stark getroffen. Die Schere zwischen Angebot und Nachfrage schließt sich nun wieder, sodass die Marktchancen für europäische Zell-, Modul- und besonders Anlagenhersteller steigen. Gerade bei der Prozesstechnologie für rückseitenpassivierte Solarzellen hat sich Deutschland eine führende Rolle erarbeitet.

Wie kann Ihre FuE-Arbeit die deutsche PV-Branche unterstützen, wettbewerbsfähiger zu werden?

Stefan Glunz: Die PV-Industrie ist stark technologiegetrieben. Ohne Innovationen haben weder Solarzellenhersteller noch Anlagenbauer gute Marktchancen. Wir wollen der Branche dabei helfen, diese Wettbewerbsfähigkeit zu erhalten und auszubauen.

Im PV-TEC können neue Prozesse und Anlagen erprobt werden. Welche Ziele verfolgen Sie?

Ralf Preu: Wir erproben im PV-TEC neue Technologien, die helfen, die Stromgestehungskosten zu reduzieren, d. h. den Wirkungsgrad zu steigern und die Prozesskosten zu senken. Gerade haben wir einige neuartige Prototypen im Einsatz, z. B. zur Extrusion von Metallisierungspasten bei der Herstellung sehr leitfähiger, schmaler und hoher Kontakte sowie zur Nutzung von Folien und lokaler Laserlegierung für die Metallisierung von rückseitenpassivierten Solarzellen.

Welche Trends sehen Sie bei der Zellmetallisierung?

Ralf Preu: Der vorherrschende Siebdruck und andere pastenbasierte Drucktechnologien bieten nach wie vor erhebliches Potenzial und werden noch für lange Zeit das Feld dominieren. Gerade bei neuartigen Zellstrukturen mit sehr hohem Wirkungsgradpotenzial sehen wir aber die Notwendigkeit, Alternativen zu prüfen. Deswegen arbeiten wir sehr intensiv an aufgedampften sowie galvanisch aufgetragenen Metallisierungen.

Das Fraunhofer ISE hat 2015 einen neuen Weltrekord für beidseitig kontaktierte Si-Solarzellen der TOPCon-Technologie aufgestellt. Ist diese Technologie die derzeit Zukunftsweisendste?

Stefan Glunz: Die TOPCon-Technologie basiert auf einem dünnen Tunneloxid und einer darauf abgeschiedenen hoch dotierten Si-Schicht. Damit kann man selektive Kontakte herstellen, die nur einen Ladungsträgertyp passieren lassen. TOPCon hat großes Potenzial, aber die Erfahrung der letzten Jahrzehnte zeigt, dass nur Technologien, die nah an der vorherrschenden Haupttechnologie bleiben, reale Umsetzungschancen haben. Deshalb haben wir unseren TOPCon-Kontakt als Rückseite einer ansonsten konventionell hergestellten Solarzelle eingesetzt. Für die industrielle Umsetzung müssen wir noch einige praktische Probleme lösen, bevor eine ähnliche Marktreife wie bei der PERC-Technologie erreicht wird.

NexWafe ist eine neue Ausgründung des Fraunhofer ISE. Was hat es damit auf sich?

Ralf Preu: Wir haben mit NexWafe eine über mehr als zehn Jahre am Institut entwickelte Technologie in ein Start-up-Unternehmen überführt. Bei der epitaktischen Herstellung von direkt industriell nutzbaren Siliciumscheiben können die Herstellungskosten der Wafer um bis zu 50 % reduziert werden. Ein echter Durchbruch für weitere Kostenreduktion in der Photovoltaik.

An welchen neuen Zelltypen forschen Sie?

Stefan Glunz: Die besten Si-Solarzellen erreichen Wirkungsgrade über 25 %. Da das praktische Limit um die 26 % liegt, wird die Luft langsam dünn. Wir arbeiten daher intensiv an Si-basierten Tandemsolarzellen mit deutlich höherem Wirkungsgradpotenzial. Die Technologie steht noch am Anfang, macht aber große Fortschritte. Das Fraunhofer ISE ist dabei international führend und gut vorbereitet für die Si-Solarzelle 2.0.

Mitarbeiter gesamt 288

Mitarbeiter vollzeitäquivalent 217

Zeitschriften- und Buchbeiträge 97

Vorträge und Konferenzbeiträge 62

Erteilte Patente 16

www.ise.fraunhofer.de/de/veroeffentlichungen/1-01



ANSPRECHPARTNER

Koordination Geschäftsfeldthema

Silicium-Photovoltaik

Prof. Dr. Stefan Glunz, Dr. Ralf Preu
Telefon +49 761 4588-0
sipv@ise.fraunhofer.de

Feedstock, Kristallisation und Wafering

Dr. Stephan Riepe Telefon +49 761 4588-5636
sipv.material@ise.fraunhofer.de

Epitaxie, Si-Folien und SiC-Abscheidungen

Dr. Stefan Janz Telefon +49 761 4588-5261
sipv.csi-thinfilm@ise.fraunhofer.de

Charakterisierung von Prozess- und Silicium-Materialien

Dr. Wilhelm Warta Telefon +49 761 4588-5192
sipv.characterization@ise.fraunhofer.de

Dotierung und Diffusion

Dr. Jan Benick Telefon +49 761 4588-5020
sipv.doping@ise.fraunhofer.de

Oberflächen: Konditionierung, Passivierung, Lichteinfang

Dr. Jochen Rentsch Telefon +49 761 4588-5199
sipv.surface@ise.fraunhofer.de

Kontaktierung und Strukturierung

Dr. Markus Glatthaar Telefon +49 761 4588-5918
sipv.contact@ise.fraunhofer.de

Herstellung und Analyse von hocheffizienten Solarzellen

Dr. Martin Hermle Telefon +49 761 4588-5265
sipv.hieta@ise.fraunhofer.de

Pilotherstellung von industrienahen Solarzellen

Dr.-Ing. Daniel Biro Telefon +49 761 4588-5246
sipv.pilot@ise.fraunhofer.de

Messtechnik und Produktionskontrolle

Dr. Stefan Rein Telefon +49 761 4588-5271
sipv.metrology@ise.fraunhofer.de






Dünnschicht-Siliciumsolarzellen

Dr. Dietmar Borchert Telefon +49 209 15539-13
sipv.si-thinfilm@ise.fraunhofer.de

Technologiebewertung

Dr. Ralf Preu Telefon +49 761 4588-5260
sipv.assessment@ise.fraunhofer.de

PROJEKTE 2015

-  Galvanische Kontaktierungsverfahren für Zellen mit rückseitigem p-n Übergang
-  Modellierung von Aluminium-Legierungsprozessen für Siliciumsolarzellen
-  Temperstabiler PVD-Schichtstapel zur konventionellen Modulverschaltung von Solarzellen
-  Identifikation limitierender Verunreinigungen in Silicium mit Photolumineszenz-Imaging
-  Entwicklung einer inline-fähigen Qualitätsbewertung für multikristalline Siliciumwafer



Mehr Informationen zu diesen und weiteren Projekten:
www.ise.fraunhofer.de/de/forschungsprojekte/1-01



Neues Material / Verfahren 
Messtechnische Analyse / Qualitätssicherung 

Bild S. 14: Durchlaufofen mit zwei Prozessspuren zum Tempern kristalliner Siliciumsolarzellen im PV-TEC des Fraunhofer ISE.



EPITAKTISCHE SILICIUMWAFER FÜR DIE PHOTOVOLTAIK

Das Fraunhofer ISE entwickelt Anlagen, Prozesse und Technologien zur Herstellung von epitaktischen Siliciumwafern (EpiWafer), die für Solarzellen mit Wirkungsgraden über 20 % eingesetzt werden können. EpiWafer sind einkristallin und etwa 150 Mikrometer dünn. Unser besonderer Abscheidungsprozess erlaubt eine Regulation der Dicke, sodass auch nur wenige zehn Mikrometer dünne Folien hergestellt werden können. Neben flexiblen Waferdicken bieten wir verschiedene n- und p-Dotierstoffkonzentrationen mit geringer Schwankungsbreite an.

Der erste Prozessschritt bei der Herstellung eines EpiWafers ist die elektrochemische Porosifikation eines fast 1 mm dicken monokristallinen Siliciumwafers. Hierfür haben wir gemeinsam mit Partnern eine Inline-Anlage für Wafer in der Größe von 156 x 156 mm² entwickelt.

Die darauf folgende Reorganisation zur Bildung einer Kristallvorlage und das epitaktische Wachstum der Siliciumschicht führen wir in der exklusiv am Fraunhofer ISE entwickelten Prototypanlage »ProConCVD« durch. Durch verschiedene chemische Gasphasenprozesse ermöglicht diese Anlage, eine große Bandbreite verschiedener Schichtvarianten abzuscheiden. Sie erreicht einen Durchsatz von etwa 1000 Wafern pro Stunde und kann Proben bis zu einer Größe von 500 x 500 mm² prozessieren. Bei der Reorganisation unter Wasserstoff- und Argon-Atmosphäre erzeugen wir nicht nur die Wachstumsvorlage für die Epitaxie, sondern auch eine Ablöseschicht, die eine Sollbruchstelle definiert. Die Trennung

und damit die Herstellung des EpiWafers erfolgt in einer vakuumunterstützten Ablöseanlage. Um Solarzellen herzustellen, werden die EpiWafer genauso behandelt wie die standardmäßig verwendeten monokristallinen Wafer. Auf n-Typ EpiWafern mit etwa 100 µm Dicke konnten wir Minoritätslebensdauern von über 1000 µs nachweisen und erste Solarzellen mit einer Größe von 2 x 2 cm² erreichten einen Wirkungsgrad von 20 %.

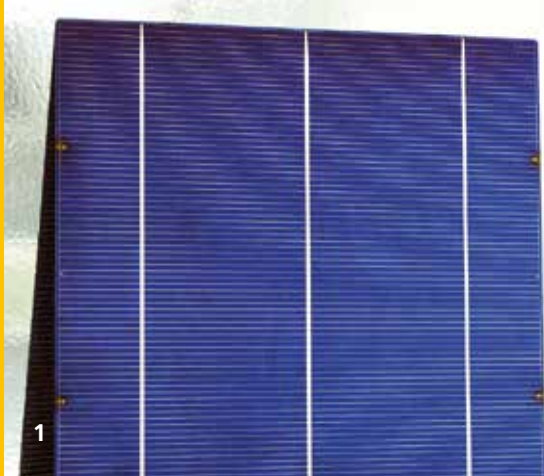
Neben der Bereitstellung einer weltweit einmaligen Anlagentechnologie zeichnen wir uns durch langjährige Expertise bei der Charakterisierung und Bearbeitung von epitaktischen Siliciumschichten aus. Wir bieten Service- und Entwicklungsleistungen zu allen Prozessschritten, aber auch Unterstützung bei der Substratauswahl, diverse Verfahren zum Transfer der Folien auf kostengünstige Substrate sowie angepasste Solarzellenprozesse an.

Die langjährigen Vorarbeiten wurden mit öffentlicher Unterstützung des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi) und der EU finanziert. Die Fraunhofer-Zukunftstiftung beteiligte sich an der Finanzierung der Arbeiten zur »ProConCVD«-Anlage. Mit dem Ziel, die EpiWafer-Technologie in die industrielle Produktion umzusetzen, wurde unter der Leitung des langjährigen Abteilungsleiters für Siliciummaterialien des Fraunhofer ISE, Dr. Stefan Reber, die Firma NexWafe gegründet. Derzeit arbeiten wir gemeinsam mit NexWafe daran, die Qualität und die Marktreife des EpiWafers stetig weiter zu verbessern.

1 Saatwafer, porosierter Wafer und epitaktisch gewachsene Si-Schicht (von links nach rechts).

Kontakt

Dr. Stefan Janz
Telefon +49 761 4588-5261
sipv.csi-thinfilm@ise.fraunhofer.de



LOKAL KONTAKTIERTE, PASSIVIERTE SOLARZELLEN AUS KRISTALLINEM SILICIUM

In den letzten zehn Jahren sind die PV-Modulwirkungsgrade jährlich um 0,3–0,4 % gestiegen. Um die Stromgestehungskosten noch weiter zu senken, müssen vermehrt Solarzellenkonzepte mit höherem Wirkungsgradpotenzial in die industrielle Produktion überführt und skaliert werden. Das Konzept der dielektrischen Passivierung mit lokalen Kontakten wurde als PERC (Passivated Emitter and Rear Cell)-Hocheffizienzkonzept 1989 auf p-dotiertem Silicium eingeführt. Dessen Grundidee ist, rund 10 nm dicke dielektrische Schichten zu verwenden. Diese verbessern die optischen Eigenschaften erheblich und reduzieren die Rekombination an der Oberfläche. Um den Strom durch das Dielektrikum leiten zu können, muss es lokal auf ca. 1–10 % der Fläche geöffnet sein. Auf der Vorderseite entspricht dies seit langem dem industriellen Standard. Lokal aufgetragene silberhaltige Pasten durchdringen das Dielektrikum. Die Rückseitenelektrode aber wird derzeit industriell meist durch ganzflächigen Druck von aluminiumhaltiger Siebdruckpaste und anschließendem Einlegieren bei Temperaturen um 800 °C hergestellt (Al-Back Surface Field). Um nah an diesem Prozess die PERC-Technologie einzuführen, wird für die Strukturierung bisher vor der Metallisierung ein dielektrischer Schichtstapel mit einer lokalen Kontaktstrukturierung verbunden, die sehr effizient mit dem Laser durchgeführt werden kann. Ein großer Vorteil dieses Ansatzes ist, dass die Komponenten direkt in die bisher vorherrschende Produktionstechnologie für siebgedruckte Solarzellen mit ganzflächig rückseitig einlegiertem Kontakt integriert werden können.

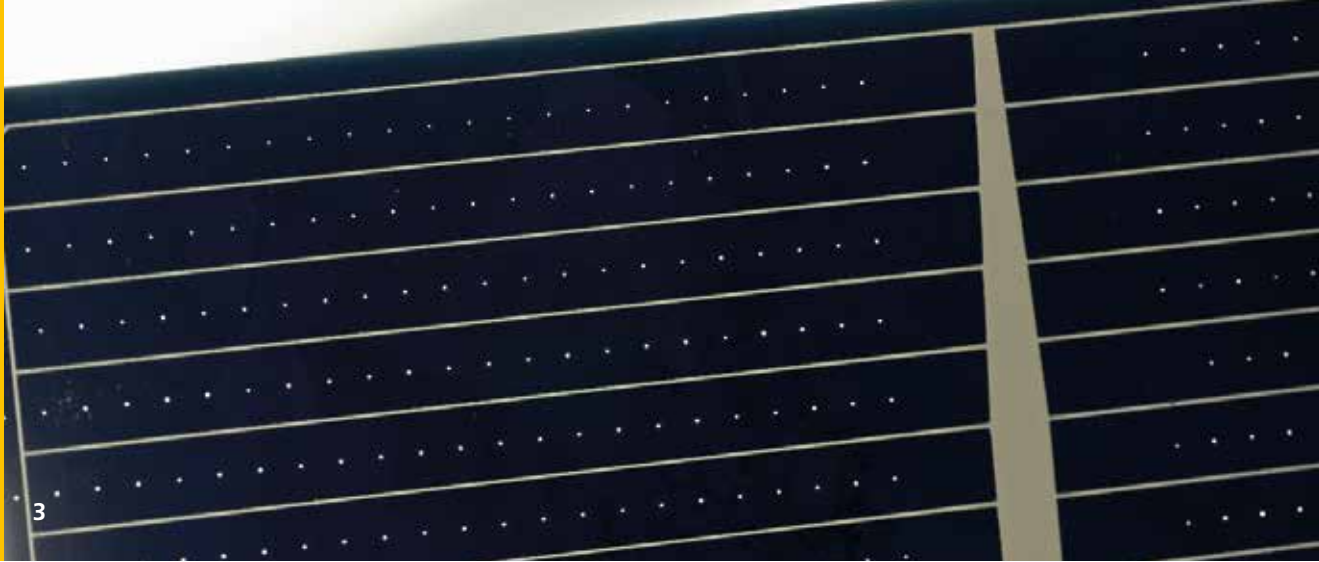
Die Vereinfachung der Herstellung und der Transfer der PERC-Struktur ist seit über 15 Jahren zentraler Bestandteil der Arbeit des Fraunhofer ISE. In den letzten drei Jahren wurde dieser Zelltyp zunehmend in die industrielle Produktion eingeführt und ist derzeit die wichtigste Komponente für Wirkungsgradsteigerungen industrieller Siebdrucksolarzellen. Zu den zentralen Technologien, die wir hierfür entwickelt und transferiert haben, gehören die lokale Kontaktstrukturierung

mit Laser sowie die Abscheidung von Aluminiumoxid als dielektrische Passivierungsschicht. In unserer Pilotumgebung im PV-TEC (Photovoltaik-Technologie Evaluations Center) haben wir einen industrienahen Solarzellenprozess für großflächige PERC-Solarzellen entwickelt. Wir erreichen hiermit einen Wirkungsgrad von 20,7 % auf mono- und 19,0 % auf multikristallinem Silicium. Unsere Technologiepartner im Bereich Anlagenherstellung, wie u. a. Roth&Rau, Innolas oder Manz, sind international führend bei der derzeitigen Aus- bzw. Auf-rüstung von ca. 10 % der weltweiten PV-Produktionskapazität.

Durch die linienartige Ausbildung der gedruckten Rückelektrode der PERC-Solarzellen wird die Rückseite der Zelle teiltransparent. In Verbindung mit einer transparenten Rückseitenkapselung, z. B. Glas, können die zusätzlichen Ertragspotenziale bifazialer Module genutzt werden. Hierfür haben wir die biPERC-Technologie entwickelt, für die wir auf multikristallinem Silicium einen Wirkungsgrad von 18 % vorne und 14 % hinten erreicht haben, ohne zusätzliche Gewinne durch Einstrahlung von der jeweils anderen Seite zu berücksichtigen.

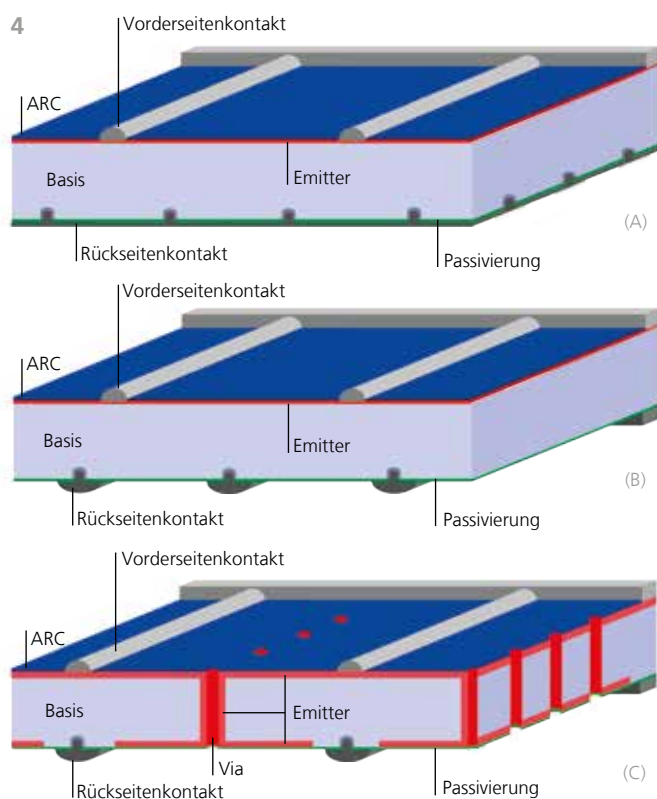
Unsere BOSCO (Both Sided Collecting and Contacted) Solarzelle erlaubt zudem die Verwendung von Material mit geringerer Diffusionslänge. Erreicht wird dies durch einen beidseitig diffundierten Emitter, der auf der Rückseite nur im Bereich der Rückseitenelektroden unterbrochen und über mit dem Laser eingebrachte und diffundierte Löcher mit dem Emitter auf der Vorderseite verbunden ist. Durch den direkt an der Rückseite liegenden ladungsträgersammelnden Emitter kann der Rückseitenwirkungsgrad nahezu die gleichen Werte wie der Vorderseitenwirkungsgrad erreichen.

- 1 Vorderseite einer Solarzelle.
- 2 Rückseite einer bifazialen Solarzelle.
- 3 BOSCO-Solarzelle mit Löchern, die der Durchkontaktierung des rückseitigen Emitters auf die Vorderseite dienen.



Die Weiterentwicklung dieser Solarzellen mit dielektrisch passivierter Rückseite und lokalen Kontakten beinhaltet kostensparende und wirkungsgradsteigernde Technologiekomponenten. So haben wir die Phosphor-Diffusion zur Emitterbildung weiterentwickelt und erreichen eine deutlich niedrigere Phosphor-Oberflächenkonzentration mit ausgezeichneter Homogenität über den Wafer und im Prozessboot. Damit können wir Emitter mit einer Konzentration von $2\text{--}3 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ herstellen, die mit aktuellen Silber-Siebdruckpasten einen spezifischen Kontaktwiderstand von unter $5 \text{ m}\Omega\text{cm}^2$ bieten. Um die Kontaktgeometrie der gedruckten Silber-Vorderseitenelektroden zu verbessern, extrudieren wir die metallischen Pasten durch haarfeine Düsen und erzielen damit $27 \mu\text{m}$ schmale Kontaktfinger mit einem ausgezeichneten Aspektverhältnis von 0,8. Auf der Rückseite setzen wir anstelle der herkömmlichen Pasten Aluminiumfolie mit sehr niedrigen Materialkosten, besserer Leitfähigkeit und optimierten optischen Eigenschaften ein. Zudem wird der Prozessfluss deutlich vereinfacht und zwei Prozessanlagen werden eingespart. Die Verbesserung der Diffusionslänge im Material ist für die Steigerung des Wirkungsgrads von PERC-Zellen ein wesentlicher Aspekt. Herkömmliches Silicium wird mit Bor basisdotiert, sodass es zur sogenannten Licht induzierten Bor-Sauerstoff-Degradation kommt, die sich besonders im monokristallinen Silicium auswirkt und zu Wirkungsgradverlusten von $2 \%_{\text{abs}}$ führen kann. Wir haben einen ultraschnellen Regenerationsprozess entwickelt, bei dem das Material in weniger als 1 Sekunde pro Wafer ausheilen und in einen für die Betriebsbedingungen stabilen Zustand nahe dem Ausgangszustand überführt werden kann. Unsere 3D-Simulationen ergeben für die Zusammenführung dieser Innovationen ein Wirkungsgradpotenzial von $22,5 \%$.

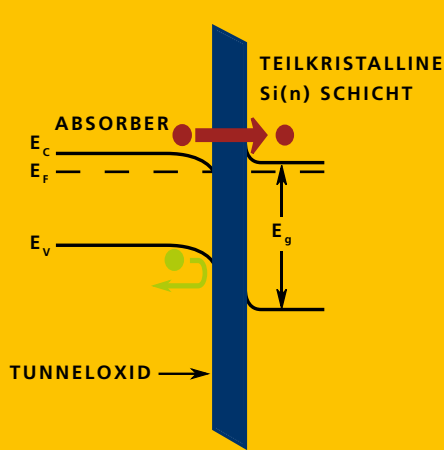
4 (A) Struktur der PERC-Solarzelle (B) Struktur der biPERC-Solarzelle (C) Struktur der BOSCO-Solarzelle .



Wir entwickeln auch PERC-Solarzellen auf der Basis von n-dotiertem Silicium. Hierfür haben wir einen laserbasierten Prozess zur Hochdotierung aus einer Passivierungsschicht geschaffen, die Phosphor als Dotiermaterial enthält. Durch die Weiterentwicklung dieser sogenannten PassDop-Schichten haben wir einen Wirkungsgrad von $20,9 \%$ auf großflächigen siebgedruckten n-Typ Solarzellen erreicht. Mit Bor-dotierten PassDop-Schichten ist es auch möglich, die Qualität der lokalen Kontakte von p-Typ Solarzellen zu verbessern.

Kontakt

Dr. Ralf Preu
 Telefon +49 761 4588-0
 sipv@ise.fraunhofer.de



LADUNGSTRÄGERSELEKTIVE KONTAKTSCHICHTEN FÜR HÖCHSTE WIRKUNGSGRAD

Anwendung in hocheffizienten Siliciumsolarzellen

Der Wirkungsgrad von Siliciumsolarzellen in der industriellen Produktion hat sich seit Einführung der PERC-Struktur (Passivated Emitter and Rear Cell) in den letzten Jahren nochmals deutlich verbessert (Seite 18 – 19). Die detaillierte Verlustanalyse dieser modernen Solarzellen zeigt, dass der Rekombination von Ladungsträgern an den Kontakten eine zentrale Rolle zukommt. Um diese Verluste zu reduzieren, wurde bisher unterhalb des Kontakts ein Dotierprofil diffundiert oder einlegiert, um die Minoritätsladungsträger von der hochrekombinativen Metall/Halbleitergrenzfläche »fernzuhalten« (z. B. beim Aluminium-Back Surface Field). Zusätzlich kann die Flächenbedeckung der Kontakte stark reduziert (z. B. bei der PERC-Solarzellenstruktur) werden. Beide Konzepte haben aber inhärente Nachteile, besonders wenn höchste Wirkungsgrade erreicht werden sollen.

Eine Alternative sind passivierte oder ladungsträgerselektive Kontakte. Das bekannteste Beispiel sind Heterojunction-Solarzellen, mit denen Rekordwirkungsgrade erreicht wurden. Die zentrale Komponente dieses Solarzellentyps ist ein Heteroübergang von kristallinem auf amorphes Silicium (a-Si/c-Si). Dieser Übergang hat eine sehr vorteilhafte elektronische Bandstruktur, sodass nur ein Ladungsträgertyp ihn passieren kann. So wird am eigentlichen Kontakt die Ladungsträgerrekombination effektiv unterdrückt und extrem hohe Leerlaufspannungen bis zu 750 mV werden erreicht. Das amorphe Silicium ist aber sehr temperaturempfindlich, sodass spezielle Metallisierungsverfahren verwendet werden müssen.

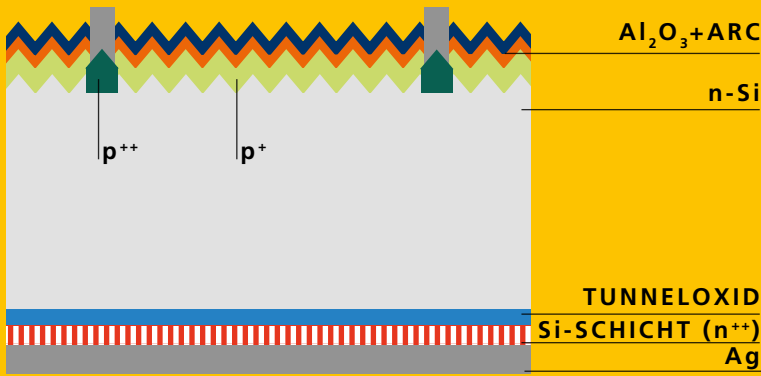
Am Fraunhofer ISE haben wir jetzt eine Kontaktstruktur mit temperaturstabileren Materialien entwickelt. Der sogenannte TOPCon-Kontakt (Tunnel Oxide Passivated Contact) besteht aus einer ultradünnen Tunneloxid- (< 1,5 nm) und einer hochdotierten Siliciumschicht, die mittels PECVD aufgebracht wird (Abb. 1). Teststrukturen zeigten, dass die TOPCon-Kontakte sehr kleine Rekombinationsströme (< 10 fA/cm²) und sehr

geringe Kontaktwiderstände (<10 mΩ cm²) aufweisen. Wegen dieser ermutigenden Ergebnisse haben wir die TOPCon-Technologie als ganzseitige Rückkontakte für eine n-Typ Solarzelle mit Bor-diffundiertem Rückseitenkontakt eingesetzt. Die Zelle ist relativ einfach aufgebaut (Abb. 2) und weist nicht die sonst notwendige Strukturierung der Rückseite auf.

Mit dieser beidseitig kontaktierten Zellstruktur haben wir auf kleinen Flächen Wirkungsgrade von 25,1 % erreicht. Die erzielte Leerlaufspannung von 718 mV und der Füllfaktor von 83,2 % zeigen, dass sowohl die Rekombinations- als auch die Transporteigenschaften dieser Zelle hervorragend sind. Der erzielte Wirkungsgrad ist bemerkenswert, da weltweit nur sehr selten Wirkungsgrade von über 25 % erreicht wurden. Meist wurden dabei Rückseitenkontaktsolarzellen verwendet, da diese keine Abschattung durch ein Vorderseitenkontaktgitter aufweisen. Herstellung und Aufbau solcher Rückseitenkontaktsolarzellen sind aber wesentlich komplexer. Eine beidseitig kontaktierte Zellstruktur ist im Allgemeinen einfacher umsetzbar. Mit der gleichen Zellstruktur und der TOPCon-Technologie haben wir auch auf multikristallinem Silicium einen sehr guten Wirkungsgrad von 19,6 % erreicht.

Momentan arbeiten wir an der Aufskalierung dieses Zellkonzepts, das sich als Nachfolgetechnologie für die momentan eingesetzte PERC-Technologie erweisen könnte. Besonderes Augenmerk kommt dabei der Metallisierung des TOPCon-Kontakts und der Vorderseite der Solarzelle zu. Um das volle Potenzial dieser Zellstruktur auszuschöpfen, ist der traditionelle Siebdruck eventuell nicht geeignet. Wir arbeiten deshalb intensiv an der Metallisierung der Vorderseite mit galvanisier-

1 TOPCon-Technologie: Bandstruktur (links). Transmissions-elektronenmikroskopbild eines Querschnitts (rechts).



2



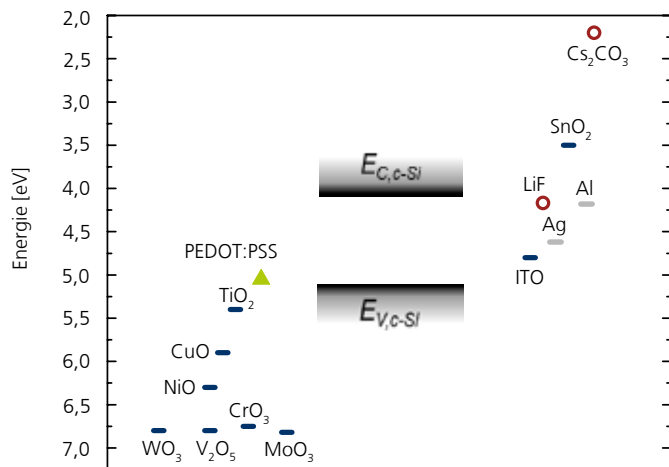
3

ten Ni/Cu-Kontakten und an chemischen Verfahren, um mit PVD-Verfahren auf der Rückseite aufgebrachte Metallschichten verlötbar zu machen. Eine weitere Herausforderung ist die Entwicklung selektiver Kontaktschichten für die Vorderseite der Solarzelle. Sowohl die bekannten a-Si/c-Si Heteroübergänge als auch die TOPCon-Struktur weisen parasitäre Lichtabsorption auf, die den Kurzschlussstrom der Solarzelle reduziert. Wir haben deshalb eine große Anzahl verschiedener Schichten experimentell und theoretisch untersucht (Abb. 3) und sie auf ihre elektrische und optische Eignung überprüft.

Anwendung in Tandemsolarzellen

Mit Wirkungsgraden von über 25 % kommen Siliciumsolarzellen immer näher an ihr praktisch erreichbares Limit von ca. 26 %. Da der Wirkungsgrad aber für weitere Kostensenkungen besonders auf Systemniveau entscheidend ist, müssen Technologien gefunden werden, die die physikalische Limitierung einer reinen Siliciumsolarzelle umgehen. Eine besonders attraktive Variante ist dabei die siliciumbasierte Tandemsolarzelle. Dabei wird auf eine Siliciumsolarzelle eine Solarzelle mit größerer Bandlücke aufgebracht. Wir arbeiten momentan sowohl an Kombinationen mit III-V- als auch mit Perowskit-Solarzellen (Seite 29). In beiden Fällen liegt unser Fokus auf einem monolithischen Aufbau der gesamten Tandemzelle. Dadurch können wir den klassischen Modulaufbau beibehalten. Zudem zeigte die industrielle Umsetzung reiner III-V-basierter Tandemzellen für Konzentrationen, dass dieser Aufbau im Unterschied zu mechanisch gestapelten Strukturen die erfolgversprechendste Variante ist. Um eine monolithische Tandemsolarzelle mit nur zwei Anschlüssen

herzustellen, müssen die beiden Einzelsolarzellen elektrisch miteinander »verbunden« werden. Wird dies über eine zusätzliche Schicht erreicht, so muss diese wiederum transparent und leitfähig sein. Auch hier kommen ladungsträgerselektive Schichten zum Einsatz. Damit kommt ladungsträgerselektiven Kontaktschichten sowohl für die nächsten Zellgenerationen als auch für Zukunftskonzepte eine Schlüsselrolle zu.



4 Verschiedene als ladungsträgerselektive Schichten auf Si geeignete Kontaktschichten. Auf der y-Achse ist die Austrittsarbeit der Materialien im Vergleich zu den Bandkanten von Silicium ($E_{C,c-Si}$ und $E_{V,c-Si}$) angegeben.

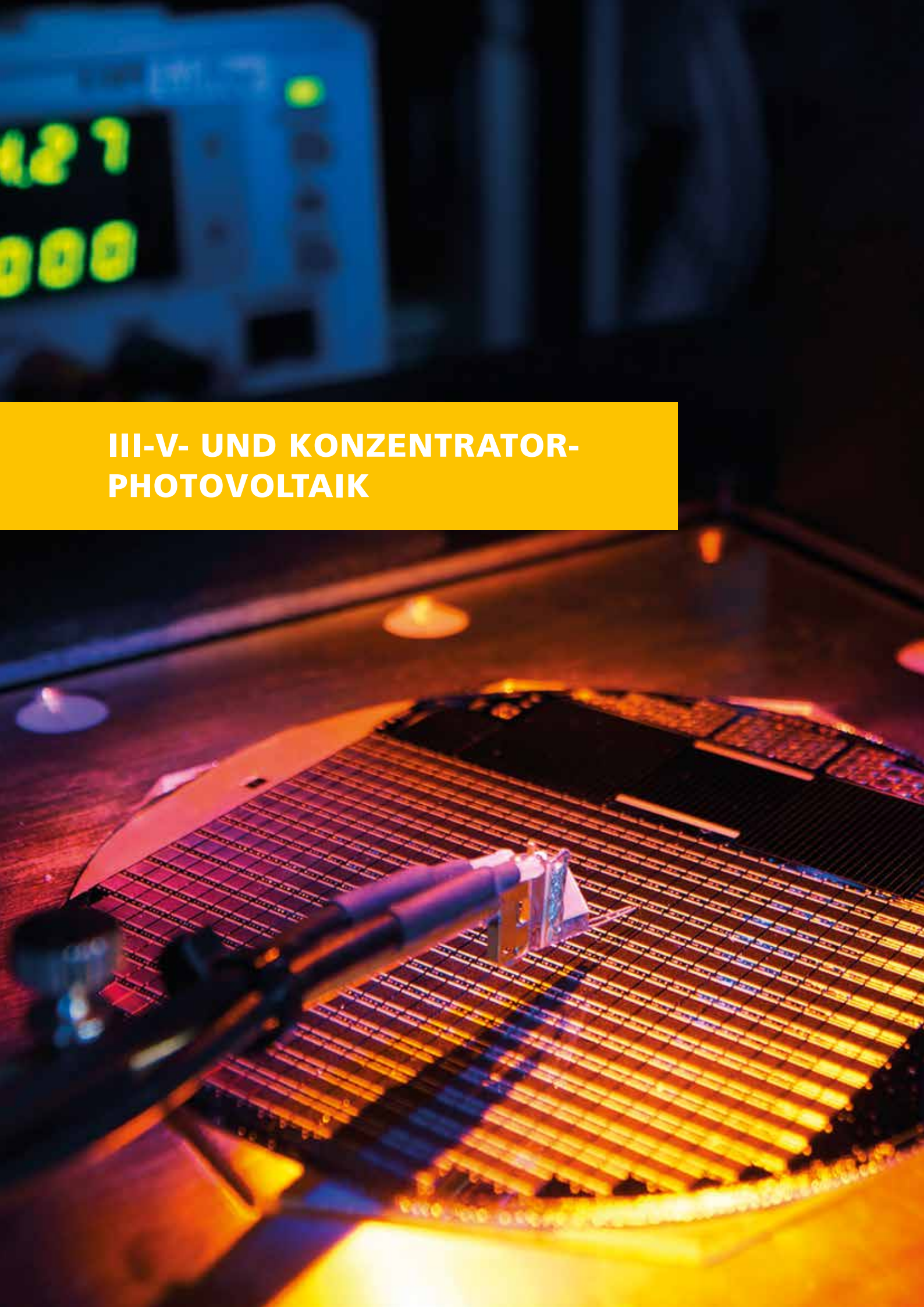
Die Arbeiten wurden vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) unterstützt.

2 Aufbau der n-Typ Solarzelle mit ganzflächigem TOPCon-Rückseitenkontakt.

3 Prinzipieller Aufbau einer monolithischen, siliciumbasierten Tandemsolarzelle.

Kontakt

Prof. Dr. Stefan Glunz
Telefon +49 761 4588-0
sipv@ise.fraunhofer.de



**III-V- UND KONZENTRATOR-
PHOTOVOLTAIK**



Gespräch mit Dr. Andreas Bett
andreas.bett@ise.fraunhofer.de

Das Fraunhofer ISE ist Weltrekordhalter beim Wirkungsgrad von Mehrfachsolarzellen und erzielt Spitzenwerte bei Konzentratormodulen. Warum ist das Institut hier technologisch führend?

Grundlage sind erstens die hochmotivierten Mitarbeiter, die den großen Gestaltungsspielraum für immer wieder neue Innovationen nutzen, zweitens die exzellente experimentelle Ausstattung am Institut, mit der neue Ideen perfekt validiert werden können, und drittens die langjährige und damit nachhaltige finanzielle Förderung durch Industrie und Fördergeber. Zudem ist entscheidend, dass wir unsere Experimente mit hochwertiger Charakterisierung und Modellierung bewerten und so systematisch Optimierungsmöglichkeiten angehen.

Der Marktanteil konzentrierender Photovoltaik ist noch sehr gering. Wie sehen Sie die Chancen für den Durchbruch dieser Technologie?

Die Konzentration-PV mit ihren hohen Wirkungsgraden ist ideal für Kraftwerke mit geringen Stromgestehungskosten in sonnenreichen Gebieten. Im Vergleich zur Silicium-Flachmodultechnologie ist sie aber erst kurz im Markt. Skaleneffekte in der Produktion konnten daher noch nicht ausgeschöpft werden. In den Jahren 2012/13 stieg die Anzahl der Kraftwerksinstallationen deutlich. Die Wachstumsrückgänge in den Jahren 2014/15 sind auf die langen Entwicklungszeiten und hohen Finanzierungsvolumina von Großprojekten im zweistelligen Megawatt-Bereich zurückzuführen. Diese Herausforderungen müssen noch besser adressiert werden, um der CPV-Technologie weiteres Wachstum und damit einen Durchbruch zu ermöglichen.

Welche Optimierungsansätze verfolgen Sie?

Die wichtigsten Ziele sind Wirkungsgraderhöhung und Kostenreduktion. Am liebsten kombinieren wir beides! Zielwirkungsgrade sind für uns 50 % bei Mehrfachzellen und 24 % bei Si-Konzentratorzellen. Dazu erforschen wir neue Materialien, Produktions- und Prozesstechnologien. Die Modultechnologie hat Optimierungspotenzial bei der Konzentratoroptik und in der Produktion.

Was versprechen Sie sich von der Forschung an Silicium-Konzentratorsolarzellen?

Neben den fest aufgeständerten PV-Modulen werden häufig auch nachgeführte PV-Systeme eingesetzt. Gesamtsystemisch bewertet, können nachgeführte PV-Systeme sehr kosten-

effizient sein. Es lassen sich niedrig-konzentrierende Module mit Konzentrationsfaktoren von 5 bis 20 implementieren. Vorteile sind der geringere Bedarf an Si-Halbleitermaterial und die geringeren Energierücklaufzeiten. Aus meiner Sicht hat diese Technologie Potenzial und wir wollen den Kunden helfen, geeignete Zellen und Systeme zu entwickeln.

Was verbirgt sich hinter dem neu angekündigten Virtuellen Labor mit CEA LETI in Frankreich?

Wir arbeiten schon sehr erfolgreich mit CEA zusammen, um z. B. Mehrfachsolarzellen auf Basis von Wafer-Bonding herzustellen. Mit dem Virtuellen Labor erweitern wir diese Kooperation. Wir wollen gemeinsam neue Konzepte für III-V-Mehrfachsolarzellen, aber auch innovative Tandemzellen auf Si-Basis entwickeln sowie Konzentratorsysteme optimieren. Damit stärken wir die internationale Wettbewerbsfähigkeit und erhalten das hohe Forschungsniveau in Europa.

Wie ergänzt die Power-by-Light-Technologie das Portfolio des Instituts?

Bei Power-by-Light wird das Licht von Laser oder Leuchtdioden durch Glasfaserkabel oder in der Luft übertragen und am Zielort von einer Photovoltaikzelle in elektrische Energie umgewandelt. Energie kann so kabellos übertragen werden. Mit unseren Kompetenzen aus der III-V-, Konzentration- und Weltraum-PV können wir die Zellen perfekt an die Lichtquelle anpassen und den Wirkungsgrad maximieren: Wir haben bereits Wandlungswirkungsgrade von über 57 % realisiert. Für ein aktuelles Projekt haben wir z. B. Zellen für ein System zur Überwachung der blitzschlaggefährdeten Flügel von Windkraftanlagen hergestellt. Ich sehe eine Vielzahl von Anwendungsmöglichkeiten für diese Technologie.

Mitarbeiter gesamt 81

Mitarbeiter vollzeitäquivalent 68

Zeitschriften- und Buchbeiträge 28

Vorträge und Konferenzbeiträge 29

Erteilte Patente 6

www.ise.fraunhofer.de/de/veroeffentlichungen/1-02



ANSPRECHPARTNER

Koordination Geschäftsfeldthema III-V- und Konzentrator-Photovoltaik

Dr. Andreas Bett
Telefon +49 761 4588-5257
cpv@ise.fraunhofer.de

III-V Epitaxie und Solarzellen

Dr. Frank Dimroth
Telefon +49 761 4588-5258
cpv.III-V@ise.fraunhofer.de

Konzentrator-Bauelemente

Maike Wiesenfarth M. Sc.
Telefon +49 761 4588-5470
cpv.assemblies@ise.fraunhofer.de

Konzentrator-Optik

Dr. Peter Nitz
Telefon +49 761 4588-5410
cpv.optics@ise.fraunhofer.de

Hochkonzentrierende Systeme (HCPV)

Maike Wiesenfarth M. Sc.
Telefon +49 761 4588-5470
cpv.highconcentration@ise.fraunhofer.de

Niedrigkonzentrierende Systeme (LCPV)

Maike Wiesenfarth M. Sc.
Telefon +49 761 4588-5470
cpv.lowconcentration@ise.fraunhofer.de








Silicium-Konzentratorsolarzellen

Dr.-Ing. Daniel Biro
Telefon +49 761 4588-5246
cpv.silicon@ise.fraunhofer.de

Power-by-Light


Dr. Henning Helmers
Telefon +49 761 4588-5094
power.by.light@ise.fraunhofer.de

PROJEKTE 2015

-  Solarzellenkonzepte für Raumfahrtgeneratoren der nächsten Generation
-  Nahwinkel-Lichtstreuung in Polymethylmethacrylat nach bis zu 27 Jahren in der Sonne
-  Entwicklung einer Norm zur Bestimmung der Nennleistung von CPV-Modulen
-  »SOPHIA« Konzentratormodul Rundvergleich
-  Receiver und Systeme für niedrigkonzentrierende PV
-  Hocheffizientes Konzentratormodul mit GaSb-basierter Vierfachsolarzelle
-  Optisch versorgte Sensornetzwerke für die Windkraftenergie



Mehr Informationen zu diesen und weiteren Projekten:
www.ise.fraunhofer.de/de/forschungsprojekte/1-02

Neues Material / Verfahren 

Prototyp / Kleinserie 


Messtechnische Analyse / Qualitätssicherung 

Bild S. 22: Weltrekordzelle auf 100 mm Wafer
mit ca. 500 Konzentratorzellen.



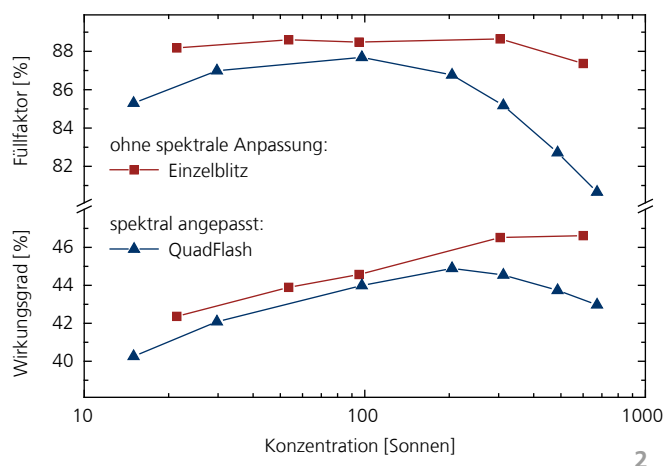
CHARAKTERISIERUNG VON MEHRFACH-SOLARZELLEN UND KONZENTRATORMODULEN

Am Fraunhofer ISE werden höchsteffiziente Mehrfachsolarmodule auf Basis der III-V-Halbleiter für Weltraum- und Konzentratoranwendungen entwickelt. Mit einer Vierfachkonzentratorzelle haben wir einen neuen Weltrekordwirkungsgrad von 46,0 % erreicht, wie vom AIST in Japan unabhängig bestätigt. Die Solarzelle wurde mit Soitec und CEA Leti in Frankreich entwickelt und basiert auf Wafer-Bonding-Technologie. Eingesetzt in unserem FLATCON® Konzentratormodul erreichen wir einen Wirkungsgrad von 36,7 %. An einem von Soitec hergestellten Konzentratormodul, das diese Vierfachzellen nutzt, wurde ein neuer Weltrekordwirkungsgrad von 38,9 % gemessen.

Die Bestimmung dieser Wirkungsgradwerte ist aufgrund der Zellstruktur mit vier intern seriell verschalteten Teilzellen aufwendiger als bei herkömmlichen Siliciumsolarzellen. Dies zeigt sich auch daran, dass die Messunsicherheiten für die obigen Wirkungsgrade bis zu 7 % relativ betragen. Neben der Weiterentwicklung der Solarzellen arbeitet das Fraunhofer ISE daher intensiv an der Schaffung passender Charakterisierungsverfahren. Dabei kooperieren wir eng mit unseren Kollegen vom AIST in Japan und am NREL in den USA.

Eine besondere Herausforderung bei Mehrfachsolarmodulen ist die Anpassung der spektralen Verteilung des verwendeten Sonnensimulators. Bei einer Vierfachsolarmodule muss in vier Wellenlängenbändern unabhängig voneinander das Spektrum so abgestimmt sein, dass jede der vier Teilzellen denselben Strombeitrag liefert wie unter Normbedingungen. Dazu verwenden wir Sonnensimulatoren mit mehreren Lichtquellen. Für die Charakterisierung von Vierfachzellen unter hohen Einstrahlungen nutzen wir neu den Messplatz »QuadFlash« mit vier spektral unterschiedlich gefilterten Blitzlampen. Er ermög-

licht die spektral angepasste Vermessung von Vierfachsolarmodulen bei Einstrahlungen entsprechend Konzentrationen von bis zu 700fach. Abb. 2 zeigt die Messung einer Vierfachsolarmodule mit QuadFlash im Vergleich zu bisherigen Messungen mit einem Einzelblitz. Der Unterschied im gemessenen Füllfaktor und Wirkungsgrad ist deutlich. Durch die bessere spektrale Anpassung wird die Messunsicherheit bis auf 5 % reduziert.



Die internationale Norm IEC 62670-3 zur Kalibrierung von Konzentratormodulen ist noch im Entwurfsstatus. In enger Zusammenarbeit zwischen NREL und Fraunhofer ISE wurden jedoch schon entscheidende Fortschritte erzielt. Das gilt besonders für die Bewertung des vorherrschenden Spektrums bei Außenmessungen, die Eingabeparameter für Temperaturkorrekturen sowie die Einbindung von Labormessungen. Zuletzt haben wir ein Modul von Soitec entsprechend der Norm charakterisiert und einen neuen Weltrekordwirkungsgrad von 38,9 % bei Concentrator Standard Testing Conditions (CSTC, AM1.5d, 1000 W/m², T_{cell} = 25 °C) gemessen.

1 Außenmessstand für CPV Module.

2 Füllfaktor und Wirkungsgrad einer Vierfachsolarmodule gemessen mit QuadFlash im Vergleich zum bisher benutzten Einzelblitz.

Kontakt

Dr. Gerald Siefer
 Telefon +49 761 4588-5433
 cpv@callab.de



**NEUARTIGE PHOTOVOLTAIK-
TECHNOLOGIEN**



Dr. Uli Würfel
uli.wuerfel@ise.fraunhofer.de

In diesem Geschäftsfeld sind die Themen Farbstoff- und Perowskitsolarzellen, Organische Solarzellen, Photonenmanagement sowie Tandemsolarzellen auf kristallinem Silicium zusammengefasst. Ziel ist, mit Hilfe dieser neuartigen Technologien Optimierungspotenziale in der Photovoltaik zu erschließen und Stromgestehungskosten zu senken. Dazu gehört, den Wirkungsgrad etablierter Solarzellen z. B. aus kristallinem Silicium durch verbesserte Absorption und Reflektion mittels fortgeschrittenem Photonenmanagement zu erhöhen. Ein weiterer Ansatz sind alternative Prozesse und Materialien, wie Farbstoff- und Organische Solarzellen, die zwar einen etwas niedrigeren Wirkungsgrad haben, aber deutlich kostengünstiger sind.

Wir arbeiten an den Grundlagen von Organischen Solarzellen, besonders den fundamentalen Eigenschaften selektiver Kontakte und deren Realisierung aus kostengünstigen, langzeitstabilen Ausgangsmaterialien und mit extrem dünnen Schichten. Zudem versuchen wir, vielversprechende Ergebnisse von der Zellebene auf die Modulebene zu übertragen. Ziel ist auch, mit Industriepartnern stabile Beschichtungs- und Verkapselungsprozesse auf unserer Rolle-zu-Rolle-Beschichtungsanlage zu entwickeln, die auf großen Anlagen genutzt werden können.

Perowskitsolarzellen bestehen ebenfalls aus sehr kostengünstigen Ausgangsmaterialien und werden mit Niedertemperaturprozessen hergestellt. Ihre hohe Kristallinität und bisher erreichte Wirkungsgrade rücken sie aber eher in die Nähe kristalliner anorganischer Solarzellen. Um ihre Stabilität weiter zu verbessern, nutzen wir besonders die Erfahrungen, die wir bei der Aufskalierung von Farbstoffsolarmodulen gewonnen haben.

Silicium-basierte Tandemsolarzellen entwickeln wir, um das Sonnenspektrum durch Reduktion der Thermalisierungsverluste besser auszunutzen. Neben der Prozessanpassung der Si-Basiszelle und der Entwicklung von Tunnelkontakten arbeiten wir an neuen Silicium-Nanokristallmaterialien mit einstellbaren Bandkanten und III-V-basierten Absorbermaterialien. Die Zusammenführung der beiden Einzelzellen erreichen wir durch direktes Aufwachsen auf der Si-Basiszelle und durch Bonden. Wir entwickeln auch die Perowskit- und Silicium-Schichten von Perowsit-Silicium-Tandemsolarzellen weiter. Dazu nutzen wir besonders unsere Konzepte zum Photonenmanagement, um eine gute Stromanpassung der Teilzellen zu gewährleisten.

Im Bereich des Photonenmanagements entwickeln wir Konzepte, Materialien und Technologien, um den Wirkungsgrad herkömmlicher Photovoltaik-Technologien durch den Einsatz optischer Technologien deutlich zu steigern. Dazu gehören Lichtfallenstrukturen, wie diffraktive Gitter und Streuer, Hochkonversion, Winkelselektivität sowie spektrale Aufteilung. Die untersuchten Konzepte sind dabei meist nicht auf eine bestimmte Solarzellentechnologie begrenzt.

Bild: Rolle-zu-Rolle prozessierte flexible organische Solarzellen mit durch Rolle-zu-Rolle-Siebdruckverfahren aufgebrachtten Silberelektroden.

Mitarbeiter gesamt	48
Mitarbeiter vollzeitäquivalent	36
Zeitschriften- und Buchbeiträge	44
Vorträge und Konferenzbeiträge	11
www.ise.fraunhofer.de/de/veroeffentlichungen/1-03	



ANSPRECHPARTNER

Koordination Geschäftsfeldthema Neuartige Photovoltaik-Technologien

Dr. Uli Würfel
Telefon +49 761 203-4796
emergingpv@ise.fraunhofer.de

Farbstoff- und Perovskitsolarzellen

Dr. Andreas Hinsch
Telefon +49 761 4588-5417
emergingpv.dye@ise.fraunhofer.de

Organische Solarzellen

Dr. Uli Würfel
Telefon +49 761 203-4796
emergingpv.organic@ise.fraunhofer.de






Photonenmanagement

Dr. Jan Christoph Goldschmidt
Telefon +49 761 4588-5475
emergingpv.photonics@ise.fraunhofer.de

Tandemsolarzellen auf kristallinem Silicium


Dr. Stefan Janz
Telefon +49 761 4588-5261
emergingpv.silicon@ise.fraunhofer.de

PROJEKTE 2015


-  Entwicklung von nanoporösen Siliciumschichten mit einem in-line Verfahren
-  Neuartige Elektrodenmaterialien für höhere Wirkungsgrade bei organischen Solarzellen
-  Diffraktive Rückseitenstrukturen für hocheffiziente, kristalline Siliciumsolarzellen
-  Höhere Zuverlässigkeit transparenter Glasfassaden mit Organischen Solarzellen
-  Hocheffiziente, gedruckte Perovskitsolarzellen

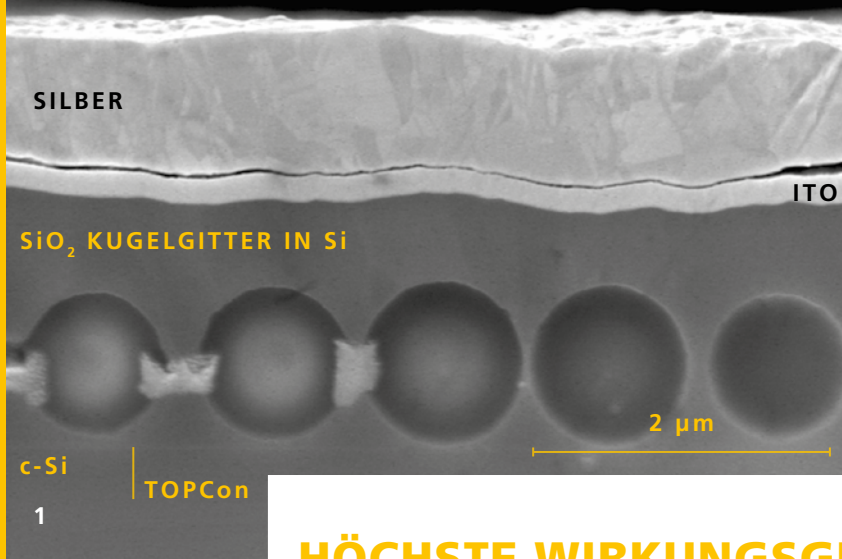


Mehr Informationen zu diesen und weiteren Projekten:
www.ise.fraunhofer.de/de/forschungsprojekte/1-03

Neues Material / Verfahren 

Prototyp / Kleinserie 

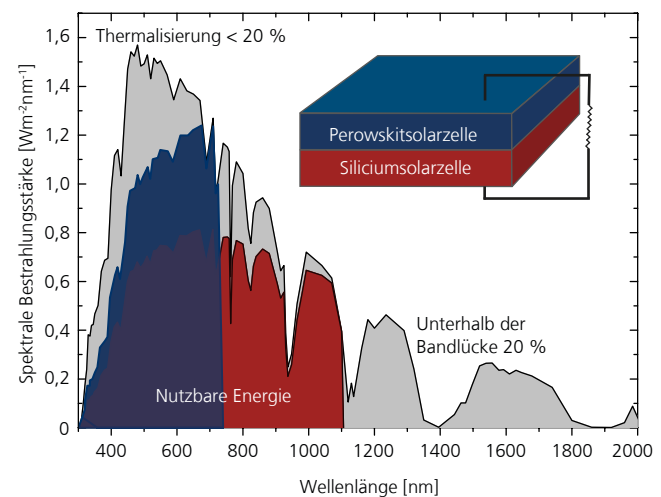
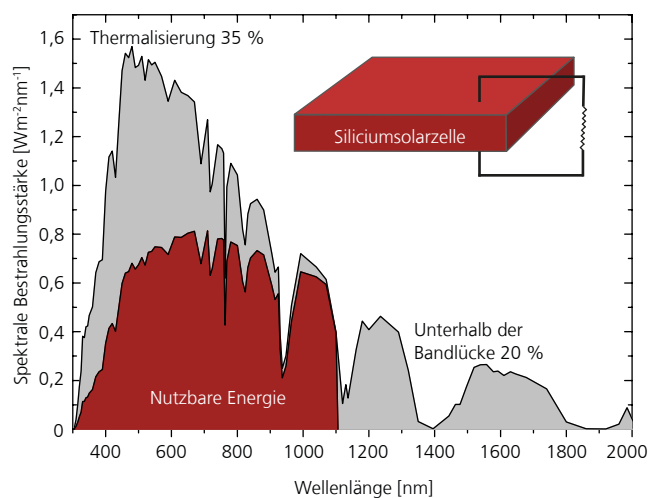
Messtechnische Analyse / Qualitätssicherung 



HÖCHSTE WIRKUNGSGRAD MIT SILICIUM-BASIERTEN TANDEMSOLARZELLEN

Höhere Solarzellenwirkungsgrade senken die Stromgestehungskosten. Allerdings hat die reine Silicium-Photovoltaik ihre realistische Wirkungsgradgrenze von ca. 26 % schon fast erreicht. Um trotzdem deutlich höhere Wirkungsgrade zu erzielen, müssen die spektralen Verluste verringert werden. Dies ist mit Tandemsolarzellen möglich. Dabei ist es sinnvoll, auf der etablierten Si-Photovoltaik aufzubauen, um geringere Entwicklungskosten und eine schnelle Markteinführung zu ermöglichen. Das Fraunhofer ISE entwickelt daher Si-basierte Tandemsolarzellen, bei denen eine obere Solarzelle mit einer höheren Bandlücke Photonen mit hoher Energie effizient nutzt, während die untere Si-Solarzelle die niederenergetischen Photonen umwandelt.

Eine Variante solcher Tandemzellen beruht auf der Kombination von Silicium und Perowskiten. In knapp zehn Jahren Entwicklung haben Perowskitsolarzellen Wirkungsgrade über 20 % erreicht, außerdem können sie kostengünstig auf Si-Solarzellen hergestellt werden. Die Perowskitsolarzellen müssen dazu angepasst, leitfähige transparente Schichten entwickelt und die Stabilität erhöht werden. Hierbei profitieren wir stark von unseren langjährigen Erfahrungen bei der Entwicklung von Farbstoff- und Organischen Solarzellen. Wir optimieren auch den Ladungsträgertransport und die elektrische Verbindung der Teilzellen und entwickeln angepasste Si-Solarzellen. Um die Lichtabsorption zu erhöhen, realisieren wir optische Nano- und Mikrostrukturen zur verbesserten Lichteinkopplung und Lichtumlenkung. Alternativ untersuchen wir den Einsatz von III-V-Halbleitern in konventionellen Schichtsystemen und als Nanodrähte. Mit einer auf eine Si-Solarzelle gebundenen III-V-Tandemzelle konnten wir bereits einen Wirkungsgrad von 25,6 % erreichen. Herausforderungen sind die kostengünstige



Fertigung und die Verbindung der Teilzellen. Um auch noch Verluste niederenergetischer Photonen mit Energien unterhalb der Bandlücke des Silicium zu reduzieren, entwickeln wir parallel die Hochkonversion dieser Photonen.

1 *Si/SiO₂-Kugeligitter auf der Rückseite einer Si-Solarzelle zur Stromerhöhung in einer Tandemsolarzelle.*

2 *Tandemsolarzellen (unten) nutzen das Spektrum deutlich besser als einfache Siliciumsolarzellen (oben).*

Kontakt

Dr. Jan Christoph Goldschmidt
 Telefon +49 761 4588-5475
 emergingpv.photonics@ise.fraunhofer.de

PHOTOVOLTAISCHE MODULE UND KRAFTWERKE





Dr. Harry Wirth
harry.wirth@ise.fraunhofer.de

Modultechnologie verwandelt Solarzellen in ein beständiges Produkt für den sicheren Betrieb in PV-Kraftwerken. Das Fraunhofer ISE unterstützt die Modulentwicklung in Richtung optimaler Wirkungsgrade, reduzierter Kosten, höchster Zuverlässigkeit und spezialisierter Anwendungen wie der Gebäudeintegration. Wir charakterisieren Module auf höchstem Präzisionsniveau, analysieren ihre Gebrauchsdauer und bieten umfassende Modulprüfungen an. Von der Planung bis zum dauerhaften Betrieb bieten wir Leistungen zur Qualitätssicherung von PV-Kraftwerken.

Das Photovoltaik Modul-Technologiecenter (Module-TEC) bietet eine große Bandbreite an Prozess- und Analyseplattformen für die Aufbau- und Verbindungstechnik, insbesondere zur Materialerprobung, Produkt- und Prozessentwicklung. Über Messungen und Simulationen analysieren wir elektrische, optische sowie mechanische Effekte und überführen Laborentwicklungen auf direktem Weg in aussagekräftige Modulstückzahlen und -formate.

Lebensdauer und Degradationsverhalten der Komponenten sind entscheidend für die Rentabilität eines PV-Kraftwerks. Mit selbst entwickelter Ausrüstung überwachen wir PV-Module in verschiedenen Klimaten. Analytische, möglichst zerstörungsfreie Untersuchungen (z. B. durch Raman- und FTIR-Spektroskopie) helfen, Alterungsmechanismen zu verstehen und frühzeitig zu erkennen. Wir entwickeln Simulationsmodelle und beschleunigte Prüfverfahren zur Untersuchung des Alterungsverhaltens, besonders zur Qualifizierung neuer Materialien und Komponenten. Für die Prüfung stehen neben den Einrichtungen unseres seit 2006 akkreditierten TestLab PV Modules auch spezielle Prüfanlagen zur Verfügung – zum Teil aus eigener Entwicklung – mit denen wir auch kombinierte und verstärkte Belastungen simulieren können.

Mit den fünf Phasen des Fraunhofer ISE Qualitätszirkels – Development, Engineering, Procurement, Commissioning und Operation – gewährleisten wir eine umfassende Qualitätssicherung für PV-Kraftwerksprojekte. Eine gute Planung, auch unter Einbeziehung von Standort- und Klimafaktoren, präzise Ertragsprognosen, eine projektspezifische Auswahl hochwertiger Komponenten, eine umfangreiche Kraftwerksprüfung bei Inbetriebnahme und fortlaufende Qualitäts- und Leistungsmessungen im langjährigen Betrieb sind entscheidende Voraussetzung für die Wirtschaftlichkeit und damit auch für die »bankability« eines PV-Kraftwerks. Höchste Präzision bietet auch unser akkreditiertes Kalibrierlabor CalLab PV Modules, das mit einer Messunsicherheit von 1,6 % bei kristallinen Modulen zu den führenden Labs weltweit zählt.

Auf Basis unserer Kompetenz auf den Gebieten der Photovoltaik und der Energieversorgung von Gebäuden bearbeiten wir Fragestellungen zur Integration von Photovoltaik in die Gebäudehülle. Neben energetischen und architektonischen Gesichtspunkten werden auch bauphysikalische und konstruktive Aspekte berücksichtigt.

Bild: Zerstörungsfreie Materialanalyse für PV-Module mittels Raman-Spektroskopie. Mit dieser Technologie wird das Degradationsverhalten des polymeren Verkapselungsmaterials von PV-Modulen orts aufgelöst bestimmt. Damit können Degradationsindikatoren für Lebensdauermodelle einfach gemessen und Alterungsmechanismen bestimmt werden.

Mitarbeiter gesamt	95
Mitarbeiter vollzeitäquivalent	68
Zeitschriften- und Buchbeiträge	14
Vorträge und Konferenzbeiträge	16
Erteilte Patente	3
www.ise.fraunhofer.de/de/veroeffentlichungen/1-04	



ANSPRECHPARTNER

Koordination Geschäftsfeldthema Photovoltaische Module und Kraftwerke

Dr. Harry Wirth
Telefon +49 761 4588-5858
pvmod@ise.fraunhofer.de

Modultechnologie

Dr.-Ing. Ulrich Eitner
Telefon +49 761 4588-5825
pvmod.tech@ise.fraunhofer.de

Modulcharakterisierung

Dipl.-Ing. (FH) Klaus Kiefer
Telefon +49 761 4588-5218
pvmod.callab@ise.fraunhofer.de

Gebrauchsdaueranalyse für Module und Materialien

Dr. Karl-Anders Weiß
Telefon +49 761 4588-5474
pvmod.reliable@ise.fraunhofer.de

Modulprüfung und Schadensanalyse

Dipl.-Ing. (FH) Daniel Philipp
Telefon +49 761 4588-5414
pvmod.testlab@ise.fraunhofer.de







Photovoltaische Kraftwerke

Dipl.-Ing. (FH) Klaus Kiefer
Telefon +49 761 4588-5218
pvmod.powerplant@ise.fraunhofer.de

Bauwerksintegrierte Photovoltaik


Dipl.-Phys. Tilmann Kuhn
Telefon +49 761 4588-5297
pvmod.bipv@ise.fraunhofer.de

PROJEKTE 2015

-  Effiziente und zuverlässige Drahtverschaltung von Solarzellen
-  Entwicklung eines industrietauglichen Recycling-Prozesses für PV-Module
-  Pilotinstallation von MWT-TPedge Modulen an einem Gebäude des Fraunhofer ISE
-  UV-Beständigkeitsprüfungen von Rückseitenfolien
-  Optimierung von Modulprüfverfahren auf Basis statistischer Auswertungen
-  Kundenindividuelle BIPV-Schindeln für Fassade oder Dach




Mehr Informationen zu diesen und weiteren Projekten:
www.ise.fraunhofer.de/de/forschungsprojekte/1-04

Neues Material / Verfahren 

Prototyp / Kleinserie 

Patent / Lizenz 

Messtechnische Analyse / Qualitätssicherung 

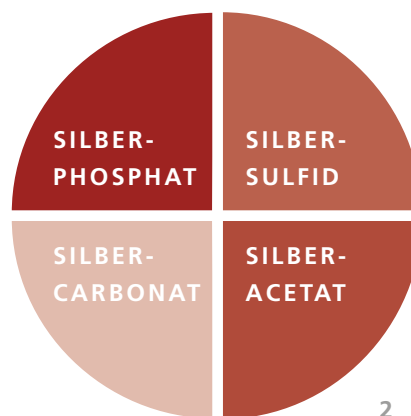
1

SCHADENSANALYSE AN PV-MODULEN – URSACHEN UND AUSWIRKUNGEN

Die Schadensanalyse an PV-Modulen liefert wertvolle Informationen zu Umfang, Ursache und Folgen von Schäden, die sich z. B. als Minderleistung oder optische Mängel bemerkbar machen. Betroffene Module kommen häufig aus PV-Kraftwerken, sie können jedoch auch direkt aus der Produktion stammen oder nach Laborprüfungen entnommen werden. Die Analyse hilft Material- und Modulherstellern, kritische Eigenschaften der eingesetzten Materialkombinationen sowie Schwachstellen bei der Qualitätssicherung der laufenden Produktion zu identifizieren und zu beheben. Kraftwerksbetreiber erhalten Empfehlungen zum Austausch von Modulen in ihrer Anlage, um performance- und sicherheitsrelevante Probleme zu lösen. Für Betreiber, Eigentümer und Versicherer identifiziert das Fraunhofer ISE Ursachen und mögliche Folgeschäden im fortgesetzten Anlagenbetrieb.

Eine konkrete Schadensanalyse beinhaltet zunächst eine zerstörungsfreie Analyse betroffener Module. Dadurch können wir die Fehlerursache häufig eingrenzen oder das Fehlerbild einer Komponente zuordnen. Das Fraunhofer ISE verfügt dazu über neuste, zerstörungsfreie Charakterisierungseinrichtungen wie (Dark Lock-In-) Thermographie-, Elektrolumineszenz- und Dark-IV-Messsysteme sowie Licht- und konfokale Raman-Mikroskope. Für eine detailliertere Analyse wurde eine spezielle Methode zur Probenentnahme entwickelt, mit der wir Bereiche beschädigter Stellen eines PV-Moduls herauspräparieren können. Hierdurch können wir z. B. Zellstücke zur anschließenden chemischen Analyse der Alterungsprodukte aus PV-Modulen extrahieren.

Mit dieser Technik und anschließender Raman-Spektroskopie konnten wir an betroffenen Zellstücken erstmals verschiedene Arten von Schneckenspuren unterscheiden. Die Kenntnis des chemischen Produkts, das die Verfärbung auslöst, macht eine Einstufung der Gefährdung der betroffenen PV-Module



möglich. So konnten bislang vier verschiedene Silbersalze (Abb. 2) nachgewiesen werden, die als Kristallite auf der Frontseitenmetallisierung von entsprechend präparierten Zellstücken mehrerer von Schneckenspuren betroffener Module aus PV-Anlagen in Europa vorlagen. Die Bildungsreaktionen dieser Degradationsprodukte unterscheiden sich stark, sodass wir auf Grundlage dieser Kenntnis und mit Einblick in die verwendeten Materialien, der sogenannten »Bill of Materials« (BOM), die Ursache analysieren und für Module mit identischem Aufbau das Gefährdungspotenzial für künftige Leistungsverluste ableiten können.

1 Von Schneckenspuren betroffenes PV-Modul.

2 Vier verschiedene Schneckenspurenprodukte, die mittels Raman-Spektroskopie analysiert wurden.

Kontakt

Dr. Ines Dürr

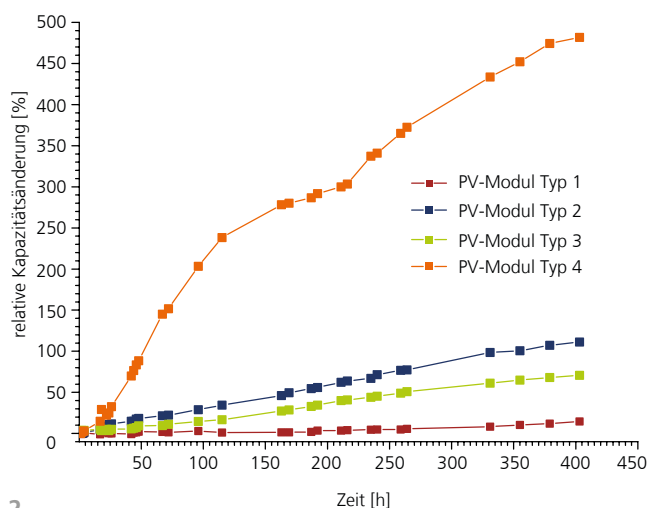
Telefon +49 761 4588-5879

pvmmod.reliable@ise.fraunhofer.de



IN SITU MONITORING VON PV-MODULEN – ALTERUNG IM BLICK DER ZEIT

Für Lebensdauer- und Zuverlässigkeitstests von PV-Modulen haben sich Prüfverfahren etabliert, bei denen die Module in Klimakammern definierten Belastungen ausgesetzt werden. Vor und nach diesen Belastungen werden Charakterisierungsmessungen durchgeführt, um Materialveränderungen oder Leistungsverluste zu identifizieren. Nachteil dieser sequenziellen Herangehensweise ist, dass ein Ergebnis erst nach Ablauf der gesamten Belastungsdauer vorliegt. Aufgrund des wachsenden Kostendrucks entlang der gesamten Wertschöpfungskette der Photovoltaik steigt die Nachfrage nach effizienteren und trotzdem aussagekräftigen Prüfverfahren.



2

Das Fraunhofer ISE hat im TestLab PV Modules unterschiedliche in situ Messverfahren entwickelt, mit denen Alterungsvorgänge bereits während der Belastung erkannt werden können. Dadurch können Prüfzeiten optimiert und Kosten

für aufwendige Vor-, Zwischen- und Nachcharakterisierungen gespart werden. Darüber hinaus steigt die Aussagekraft der Prüfverfahren, da der zeitliche Verlauf der Degradationsprozesse aufgezeichnet werden kann.

Unter anderem haben wir ein Monitoring-System für Prüfungen zur Potenzial-induzierten Degradation (PID) entwickelt. Hierbei wird, parallel zur Belastung, die Dunkelkennlinie an bis zu acht Modulen in definierten Zeitintervallen gemessen. Durch die hochaufgelöste Messung über einen Messbereich von bis +70 V und +14 A können charakteristische Modulparameter bestimmt und deren Veränderungen nachverfolgt werden. Damit sind nicht nur Rückschlüsse auf den zeitlichen Verlauf der Belastungsauswirkung, sondern auch die Beobachtung der Zellregenerationsprozesse beim Wegfall des elektrischen Potenzials oder bei Potenzialumkehr möglich. Ein weiteres Beispiel für die Einführung von in situ Monitoring-Systemen im TestLab PV Modules ist die exakte Messung der komplexen Isolationseigenschaften von PV-Modulen. Durch die zeitliche Verfolgung der kapazitiven und ohmschen Isolationswirkung der Zellverkapselung können wir z. B. den Prozess eindringender Feuchtigkeit während einer Feuchte-Wärme-Prüfung nach IEC 61215 beobachten. Diese Informationen helfen, Alterungseffekte zu interpretieren und zu erklären. Darüber hinaus können mit diesem System die komplexen Isolationseigenschaften von PV-Modulen unter definierten Umweltbedingungen bestimmt werden. Genauer Kenntnis dieser Größen verhindert, dass es beim Einsatz der Module in Anlagen zu Wechselrichterabschaltungen und damit verbundenen Ertragsausfällen aufgrund zu großer komplexer Ableitströme kommt.

- 1 Messkabel des automatischen Monitoring-Systems für die PID-Prüfung. Über die Kabel werden Prüfspannungen von bis zu ± 1000 V angelegt sowie die Messung der Dunkelkennlinie durchgeführt.
- 2 Relative Kapazitätsänderung aufgrund von Feuchtigkeitsaufnahme während Feuchte-Wärme-Prüfung.

Kontakt

Dipl.-Ing. (FH) Daniel Philipp
Telefon +49 761 4588-5414
pvmod.testlab@ise.fraunhofer.de



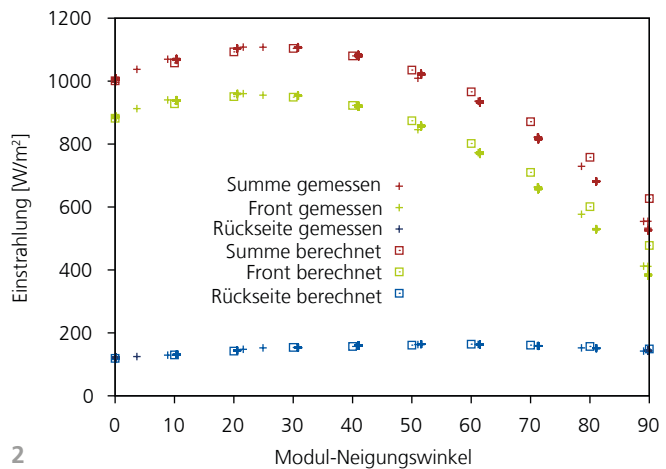
CHARAKTERISIERUNG UND ERTRAGS- PROGNOSEN FÜR BIFAZIALE PV-MODULE

Bifaziale PV-Module können einfallendes Licht auf Vorder- und Rückseite zur Stromerzeugung nutzen und haben daher großes Potenzial zur Ertragssteigerung von PV-Kraftwerken. Der Mehrertrag im Vergleich zu herkömmlichen Modulen hängt dabei von der Rückseiteneffizienz und der rückseitigen Einstrahlung ab. Da diese Einstrahlung von der Montagegeometrie und den Umgebungsbedingungen beeinflusst wird, hängt der Mehrertrag nicht allein vom Modul, sondern auch von den Eigenschaften des Systems ab.

Bifaziale Module stellen neue Anforderungen an die Messprozeduren. Zur Kalibrierung bifazialer Module kann die Leistung bei Standard Test Conditions unter einseitiger Bestrahlung gemessen werden, wobei eine absorbierende Rückseitenabdeckung einfallendes Streulicht abschirmt. Weitere ertragsrelevante Eigenschaften wie Temperaturabhängigkeit und Schwachlichtverhalten werden ebenfalls einseitig bestimmt.

Um die Modulleistung bei beidseitiger Bestrahlung zu analysieren, hat das Fraunhofer ISE im Callab PV Modules einen Messplatz entwickelt, der simultan verschiedene Bestrahlungsstärken und -verhältnisse auf beiden Modulseiten ermöglicht. Wir können so typische Einstrahlungsverhältnisse, die bei verschiedenen Installationsgeometrien zu erwarten sind, nachstellen. Damit wird ein bifaziales Power-Rating ermöglicht, dessen Resultate für Ertragsberechnungen verwendet werden können.

Bifaziale Module stellen auch diese Ertragsberechnungen vor neue Herausforderungen. Bislang ist keines der bekannten Simulationsprogramme in der Lage, die rückseitige Einstrahlung korrekt zu berechnen. Das Fraunhofer ISE hat daher ein Ray-Tracing-Verfahren entwickelt, um die optischen Gewinne der Modulrückseite innerhalb von Zeitschritt-Simulationen zu berechnen. Damit haben wir unser bestehendes Verfahren zur PV-Ertragsprognose deutlich erweitert.



2

Auf der Basis dieser Werkzeuge zur Modulcharakterisierung und Systemsimulation können wir zukünftige bifaziale PV-Kraftwerke vom einzelnen Modul über das Montagesystem bis hin zur Installationsgeometrie präzise bewerten und optimieren.

1 Messung von Rückseiteneinstrahlung und Modulleistung in Abhängigkeit des Neigungswinkels auf einem Teststand.

2 Gemessene und berechnete Bestrahlungsstärke, vorder-, rück- und beidseitig, für das freistehende PV-Modul aus Abb. 1 bei unterschiedlichen Neigungswinkeln an einem klaren Tag.

Kontakt

Dr. Christian Reise

Telefon +49 761 4588-5282

pvmmod.powerplant@ise.fraunhofer.de



SOLARTHERMIE



Dr. Werner Platzer
werner.platzer@ise.fraunhofer.de

Für die Umstellung der Energiesysteme im Wärmebereich ist Solarwärme neben der Energieeffizienz ein zentraler Baustein. Wie diese Rolle in verschiedenen Volkswirtschaften und Klimazonen ausgefüllt wird, hängt auch an der Kostenentwicklung in Produktion und Vertrieb. Forschung und Entwicklung kann ihren Anteil dazu beitragen, indem kostengünstigere Materialien, Produktionsverfahren und in Bezug auf Investition und Ertrag optimierte Gesamtsysteme entwickelt werden.

Im Geschäftsfeld Solarthermie beschäftigen wir uns mit Optik und Oberflächen-technik, um die Solarstrahlung je nach Anforderung besser zu transmittieren, zu reflektieren, zu absorbieren, umzulenken oder zu konzentrieren. Des Weiteren werden in der Solarthermie Technologien und Systemtechnik weiterentwickelt: Solarthermische Flach- und Vakuumröhrenkollektoren haben vielseitige Anwendungen von der Brauchwasser- und Solarheizungsanlage bis zur Kühlung und Kälteerzeugung. In Bezug auf den Wettbewerb mit der Photovoltaik in der Fläche sind Neuentwicklungen bei fassadenintegrierten Kollektoren oder Kollektoren mit kombinierter photovoltaischer Stromerzeugung wichtig. Mit linear konzentrierenden Kollektoren können Betriebstemperaturen von 150 °C bis zu 550 °C erreicht werden. Sie werden in Großkraftwerken nicht nur für die solarthermische Stromversorgung eingesetzt, sondern auch in oft einfacheren und kostengünstigeren Varianten für die Erzeugung von Prozesswärme, Prozessdampf und Antriebswärme von Absorptionskältemaschinen.

Auch die Energieeffizienz in der Industrie stellt ein wichtiges Arbeitsgebiet für die Solarthermie dar. Wir beschäftigen uns beispielsweise mit einer Verbesserung der Wärmeversorgung auf der Basis von Dampf oder anderen Wärmeträgern, mit Hochtemperaturwärmespeichern oder auch mit Produktionsverfahren, deren Effizienz mit Hilfe innovativer thermischer Wärmeübertragung verbessert werden kann. Mit Membranverfahren, angetrieben durch Solar- oder Abwärme, können industrielle Abwässer gereinigt werden oder auch Reststoffe so aufkonzentriert werden, dass sie sich besser wiederverwerten lassen.

Das Fraunhofer ISE verfügt über Kompetenzen von Materialwissenschaft, Komponentendesign, Charakterisierungs- und Prüfverfahren, theoretischer Modellierung und Simulation, Anlagenregelung bis hin zur Systemtechnik bei den verschiedenen Anwendungen.

Bild: Das »Crescent Dunes Solar Energy Project« ist ein 110 MW Solarthermie-Kraftwerk in Nevada, USA.

Mitarbeiter gesamt	73
Mitarbeiter vollzeitäquivalent	55
Zeitschriften- und Buchbeiträge	17
Vorträge und Konferenzbeiträge	36
Erteilte Patente	1
www.ise.fraunhofer.de/de/veroeffentlichungen/2-00	



ANSPRECHPARTNER

Koordination Geschäftsfeld Solarthermie

Dr. Werner Platzer
Telefon +49 761 4588-5983
soltherm@ise.fraunhofer.de

Materialforschung und Optik

Dr. Werner Platzer
Telefon +49 761 4588-5983
soltherm.materials@ise.fraunhofer.de

Thermische Kollektoren und Komponenten

Dr.-Ing. Wolfgang Kramer
Telefon +49 761 4588-5096
soltherm.collectors@ise.fraunhofer.de

Thermische Anlagentechnik

Dr. Peter Nitz
Telefon +49 761 4588-5410
soltherm.systems@ise.fraunhofer.de






Thermische Speicher für Kraftwerke und Industrie

Dr.-Ing. Wolfgang Kramer
Telefon +49 761 4588-5096
soltherm.storage@ise.fraunhofer.de

Wasseraufbereitung


Dr.-Ing. Joachim Koschikowski
Telefon +49 761 4588-5294
soltherm.water@ise.fraunhofer.de


PROJEKTE 2015


-  Intelligente und energieeffiziente Fenster, basierend auf neuen Materialkombinationen
-  Bestimmung der Reflexion und Absorption von Solarzellen mit beidseitig texturierten Oberflächen
-  Kühlung von Formwerkzeugen durch bionische Methoden
-  Neuronale Netzwerke für die Anwendung in der Solarthermie
-  Entwicklung beschleunigter Alterungstestverfahren für solarthermische Kollektoren und Komponenten




Mehr Informationen zu diesen und weiteren Projekten:
www.ise.fraunhofer.de/de/forschungsprojekte/2-00

Neues Material / Verfahren 

Software / Anwendung 

Messtechnische Analyse / Qualitätssicherung 

Beratung / Planung / Studie 



NEUE TECHNOLOGIEN FÜR SOLARTHERMISCHE FASSADEN

Solar-aktive Gebäudehüllen sind ein wichtiger Baustein eines zukünftigen Energiesystems mit erneuerbaren Energien. Der Trend zu Niedrigstenergiegebäuden wird unterstützt durch höhere gesetzliche Anforderungen an Alt- und Neubauten sowie durch Wertzuwächse dieser Immobilien. Bauwerksintegrierte Solarsysteme (BISS) können heute schon Kosten sparen, da Materialbedarf und Arbeitszeit gegenüber der separaten Ausführung von Gebäudehülle und Solarsystem sinken. Zudem bieten sie eine hohe ästhetische Qualität. Bauwerksintegrierte Photovoltaik (BIPV) und Solarthermie (BIST) stehen für solar-aktive Gebäudehüllen zur Verfügung.

Die Entwicklung solarthermischer Fassaden unterscheidet sich deutlich von der üblicher Solarkollektoren. Beispielsweise werden architektonische Aspekte wie geometrische Flexibilität, bauphysikalische Funktionalität und Ästhetik wesentlich relevanter. Das Fraunhofer ISE entwickelt, modelliert und charakterisiert seit Jahren innovative BISS-Technologien. Durch die multifunktionale Nutzung von Dämmung, Tageslicht und Sonnenschutz ermöglicht bauwerksintegrierte Solarthermie höheren Nutzen und geringere Heizkosten. Für die komplexe Modellierung von derartigen Energieströmen in multifunktionalen Fassadenelementen haben wir ein breites Spektrum an Modellen entwickelt. Vereinfachte Modelle für BIST ermöglichen Näherungen in frühen Planungsstadien, während detaillierte physikalische Modelle Planungssicherheit auch bei Großprojekten bieten.

Aus unseren innovativen Ideen haben wir praxisrelevante neue Ansätze für die Baubranche entwickelt. Ein Beispiel sind vorgefertigte Fassadenelemente, die schnelle und robuste Installation bei geringen Kosten erlauben. Hier wurde z. B. ein preiswertes, vorgefertigtes, bauwerksintegriertes photovoltaisch-thermisches Element entwickelt, das Strom und Wärme gleichzeitig produziert. Die Elemente wurden anschließend über ein Klicksystem schnell im Demonstrationsgebäude installiert und miteinander verbunden. Am OFREE-Prüfstand (Abb. 2) werden Fassadenelemente bis Raumhöhe vermessen. Zusammen mit Industriepartnern haben wir bereits durchströmbare thermische Bauteile aus Ultrahochleistungsbeton (UHPC) entwickelt. Hier zeigt sich, dass Wirkungsgrade wie bei konventionellen Kollektoren möglich sind, so dass die Betonfertigteilindustrie ihr Produktportfolio gut auf aktive Gebäudehüllen erweitern kann (Abb. 1).

Um Architekten zusätzliche Gestaltungsspielräume zu geben, haben wir die »Heat-Pipe-Technologie« weiterentwickelt. Damit können nun Fassadenkollektoren geringer Höhe und flexibler Länge (»Streifenkollektor«) mit stufenloser Anbindung an die Sammelkanäle hergestellt werden. Heat-Pipes können auch verwendet werden, um eine solarthermische Jalousie zu bauen, die wahlweise erneuerbare Wärme und Sonnenschutz oder freie Aussicht bietet.

1 Schnitte durch ein durchströmbares thermisches Bauteil aus Ultrahochleistungsbeton (UHPC).

2 Am OFREE-Prüfstand wird der Kollektorstrom simultan zum Energiestrom ins Gebäude gemessen.

Kontakt

Dr.-Ing. Christoph Maurer
Telefon +49 761 4588-5667
soltherm.collectors@ise.fraunhofer.de

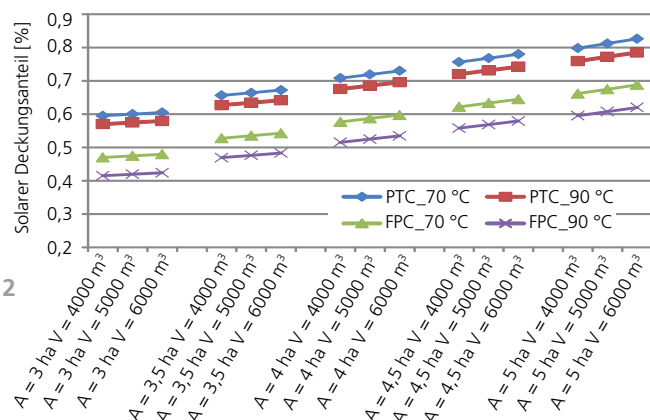


MÖGLICHKEITEN SOLARER PROZESSWÄRME – VOM BERGBAU BIS ZU WÄSCHEREIEN

Solare Prozesswärme bietet für den Temperaturbereich von 50 °C bis 250 °C vielseitige Möglichkeiten die fossile Wärmeversorgung von Industrie und Gewerbe umweltfreundlicher zu gestalten. Während in unseren Breitengraden vorwiegend Flach- und Vakuumkollektoren zum Einsatz kommen, können in sonnenreichen Gegenden konzentrierende Kollektoren genutzt werden, die sogar direkt Dampf erzeugen können. Um Solarenergie effektiv in ein bestehendes Wärmenetz einzubinden, sollte gleichzeitig eine Verbesserung der Energieeffizienz und eine Betriebsoptimierung durchgeführt werden.

Fehleranalyse, eine sichere Betriebsoptimierung und eine Validierung von Simulationsmodellen ermöglichen, ergänzen unsere Arbeit.

In unserem Projekt »SoProW« untersuchen wir im Detail das Einsparpotenzial der Wäschereibranche. Dazu wurde eine Modellwäscherei entwickelt, die für weitere Untersuchungen und Optimierungen zur Verfügung steht. Mit unseren Industriepartnern diskutieren wir aktuell die Vor- und Nachteile einzelner Integrationspunkte.



In einem weiteren Projekt beschäftigen wir uns mit den Vorteilen einer solaren Wärmeversorgung bei chilenischen Kupferminen. Die Gewinnung von Kupfer aus Erz ist ein mehrstufiger energieintensiver Prozess. Eine Methode zur Extraktion ist das sogenannte »Bioleaching«, bei dem Kupfer durch Bakterien aus dem Erz gelöst wird. Die Ergebnisse unseres Simulationsmodells zeigen, dass mit Solarthermie die für Bakterien optimalen Temperaturbedingungen geschaffen werden können, was zu einer Zunahme der Kupfergewinnung um 18 % führt. Eine wirtschaftlich optimierte Kollektorfeld-Fläche umfasst ein Viertel der Haldengröße und führt zu einer Produktionssteigerung von 9 %.

So können Abwärmepotenziale besser genutzt und Wärmeverluste vermieden werden. Solarwärme kann in ein optimiertes Netz flexibel in die Versorgungsebene eingebunden werden oder mit optimalem Wirkungsgrad bei ausgesuchten Einzelprozessen. Hier entwickeln wir validierte Planungstools, um diese komplexen Fragestellungen lösen zu können. Unsere qualitativ hochwertigen Monitoringdaten, die uns eine exakte

In einem elektrolytischen Prozess wird Kupfer auf die Kathodenplatten ausplattiert. Dabei muss die Temperatur zwischen 47 °C und 57 °C gehalten werden. Bereits zwei Anlagen in Chile decken mit Solarthermieunterstützung bis zu 85 % des Wärmebedarfs ab. Hier kommen sowohl konzentrierende als auch nicht-konzentrierende Technologien in Frage.

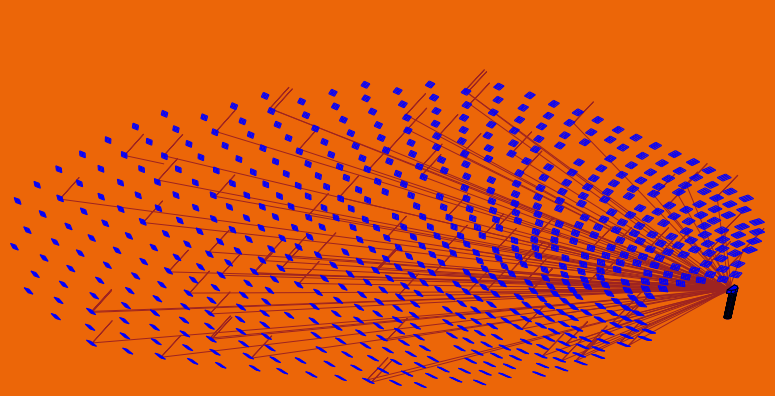
Kontakt

Dr. Pedro Horta
Telefon +49 761 4588-2126
soltherm.systems@ise.fraunhofer.de

1 Parabolrinnenfeld Mine »El Tesoro« in Chile.
2 Steigerung des Solaranteils durch Flächen- und Speichervergrößerung bei Flach- und Parabolkollektoren (FPC und PTC).



1



2

FORSCHUNG FÜR SOLARE TURMKRAFTWERKE

Neben Parabolrinnen- und linearen Fresnel-Kollektoren stellen solarthermische Turmkraftwerke eine vielversprechende technologische Möglichkeit dar, kostengünstig Strom zu erzeugen. In diesen wird direkte Solarstrahlung von einer Vielzahl nachgeführter Spiegel (Heliostaten) auf einen zentralen Absorber (Receiver) an der Spitze eines Turms gelenkt. Durch die sehr hohe Strahlungskonzentration werden im Receiver sehr hohe Temperaturen erzeugt. Mit der so gewonnenen thermischen Energie wird mit einer Turbine in einem Kraftwerksblock Strom produziert. Alternativ kann die Energie auch einem thermischen Speicher zugeführt werden und damit für eine zeitversetzte Stromerzeugung zur Verfügung stehen. Hierfür stellen die potenziell hohen Temperaturen und eine geringe Entfernung zwischen Receiver und Speicher einen besonderen Vorteil dar. So können solarthermische (Turm-) Kraftwerke rund um die Uhr bedarfsgerecht Strom erzeugen und in Regionen hoher Direktstrahlung langfristig zur Stabilisierung von Netzen mit hohen Anteilen an regenerativen Energien beitragen.

Am Fraunhofer ISE arbeiten wir in verschiedenen Projekten an der weiteren Kostensenkung dieser Technologie. Im Bereich der Heliostaten sind alternative Spiegelfacetten, die Antriebe und Ansteuerung der Nachführung sowie optimierte Betriebskontrolle und Spiegelreinigung aktuelle Forschungsthemen. In der Nähe unseres Instituts bauen wir derzeit ein Heliostatentestfeld auf. Darüber hinaus untersuchen und simulieren wir verschiedene Konzepte für Turmreceiver. Aufgrund der hohen Temperaturen liegt unser

Schwerpunkt auf Konzepten mit Gas oder Salzschnmelzen als Wärmeträgerfluid. Die Entwicklung kostengünstiger Speicher sowie deren optimale Einbindung in das Gesamtsystem und die Betriebsführung bilden weitere Schwerpunkte unserer Arbeiten. Auch der Einsatz spezieller photovoltaischer Receiver in Turmkraftwerken wird untersucht.

Das Kostensenkungspotenzial lässt sich nur ausschöpfen, wenn alle Komponenten eines Kraftwerks optimal aufeinander abgestimmt sind. Um dies bereits in der Entwicklung zu berücksichtigen, simulieren wir Komponenten in der notwendigen Detailtreue, bilden deren Funktion aber auch in den Kraftwerksmodellen ab, mit denen sich Funktion und Ertrag prognostizieren lassen. Hierbei setzen wir selbst entwickelte Simulationswerkzeuge ein, deren Modelle und Detaillierungsgrad wir sehr flexibel an unterschiedliche Fragestellungen anpassen können. Kombiniert mit Kostendaten aus der industriellen Fertigung führen wir techno-ökonomische Optimierungen durch.

Unsere Forschungsaktivitäten und Dienstleistungsangebote werden abgerundet durch Untersuchungen zur Qualifizierung potenzieller Standorte für solarthermische Kraftwerke, Schichtentwicklungen für Absorber und Spiegel, Alterungsuntersuchungen bzw. Beständigkeitsprüfungen. Ebenso bieten wir die Qualifizierung und Qualitätssicherung von Komponenten sowie Untersuchungen zur Kombination von Turmkraftwerken mit anderen Kraftwerken und ihre Einbindung in Energieversorgungssysteme an.

1 Luftbild des Turmkraftwerks »Ivanpah Solar Electric Generating System« in Kalifornien, USA, mit einer Gesamtleistung von 377 MW_{el}.

2 Teil-Visualisierung einer optischen Simulation mit unserer selbst entwickelten Strahlverfolgungs-Software »raytrace3D«.

Kontakt

Dr. Peter Nitz

Telefon +49 761 4588-5410

soltherm.systems@ise.fraunhofer.de



GEBÄUDEENERGIETECHNIK



Gespräch mit
Prof. Dr. Hans-Martin Henning
hans-martin.henning@ise.fraunhofer.de

■ **Die Energiewende in Deutschland wird ohne energieeffizientere Gebäude nicht zu schaffen sein, daher werden viele Gesetze und Regularien dazu in Kraft gesetzt. Wie kann das Fraunhofer ISE zu deren kosteneffizienter Umsetzung beitragen?**

Die grundsätzlichen Maßnahmen im Bereich des baulichen Wärmeschutzes sind heute gut verstanden und bekannt. Um eine kostengünstige Umsetzung im Gebäudebestand in der Breite zu ermöglichen, sind allerdings noch Verbesserungen notwendig. Konzepte an denen wir arbeiten, zielen auf die Integration von haustechnischen Komponenten wie Heizung und Lüftung in die Dämmebene. So sind Kosteneinsparungen, auch durch einen höheren Grad der Vorfertigung, möglich und zugleich kann die Beeinträchtigung der Bewohner während der Sanierung reduziert werden.

■ **Das Geschäftsfeld Gebäudeenergie-technik hat 2015 die Laborfläche zu Wärmetransformationstechnologien, vor allem Wärmepumpen, deutlich ausgeweitet. Warum ist dieses Segment für Sie so wichtig?**

Die Transformation des Energiesystems bedingt eine zunehmende Verschmelzung von Strom und Wärme. Unsere Studien geben Hinweise darauf, dass Wärmepumpen, sowohl elektrische als auch Gas-Wärmepumpen, mittel- bis langfristig die dominierende Heizungstechnik werden. Für deren Weiterentwicklung über ihre Einbindung in Gebäudeenergiesysteme bis hin zur Entwicklung flexibler, netzdienlicher Betriebskonzepte ergeben sich damit wichtige Forschungsthemen.

Heute werden Wärmepumpen vor allem in Einfamilienhäusern genutzt. Im Geschosswohnungsbau ist ihre Anwendung noch selten. Unsere Arbeiten zielen darauf, tragfähige Konzepte für den Einsatz von Wärmepumpen in Mehrfamiliengebäuden zu entwickeln und die Marktimplementierung durch begleitende Arbeiten im Bereich der Qualitätssicherung zu unterstützen. Dabei können wir sehr gut auf unsere langjährigen, umfangreichen Erfahrungen im wissenschaftlichen Monitoring von Gebäuden und Anlagen zurückgreifen.

■ **Gebäude werden immer mehr zu »Energieerzeugern«. Welche Trends sehen Sie hier?**

Ein wichtiges Thema der Zukunft heißt »netzreaktive Gebäude«. Gebäude und ihre energietechnischen Anlagen werden integraler Bestandteil des übergeordneten Energiesystems. Hierfür müssen neben der Weiterentwicklung der Technik, z. B. des dynamischen Betriebs mit vielen Lastwechseln, besonders die Betriebsführungskonzepte gestaltet und Marktmodelle identifiziert werden, die einen optimierten netzdienlichen Betrieb ermöglichen. Zugleich wird die umfassende architektonische und baulich-konstruktive Integration von Solarenergiewandlern (Photovoltaik, Solarthermie) in die Gebäudehülle immer wichtiger.

■ **Macht das unsere Gebäude und ihre Energieversorgung nicht immer komplizierter?**

Das stimmt, mehr Komponenten und Wechselwirkung mit dem Netz bedeutet mehr Komplexität. Umso wichtiger sind leistungsfähige, sichere und nutzerfreundliche Betriebsführungskonzepte, auch eines unserer wichtigen Arbeitsfelder.

■ **Zunehmend geht der Blick weg vom einzelnen Gebäude hin zu Quartieren und Städten. Welche Ansätze verfolgen Sie in diesem Bereich?**

Unser Schwerpunkt ist es hier, Kommunen und andere Akteure im Bereich städtischer Energieversorgung durch solide, modell-basierte Expertisen bei der Gestaltung und Umsetzung von Entwicklungsplänen für die zukünftige Energieversorgung zu unterstützen. In den vergangenen Jahren konnten wir leistungsfähige Modelle und Tools entwickeln, die Entscheidungsträger unterstützen, z. B. wenn es darum geht, kommunale Klimaschutzziele in konkrete technische Maßnahmenpakete zu übersetzen.

Mitarbeiter gesamt	160
Mitarbeiter vollzeitäquivalent	121
Zeitschriften- und Buchbeiträge	31
Vorträge und Konferenzbeiträge	40
Erteilte Patente	2
www.ise.fraunhofer.de/de/veroeffentlichungen/3-00	



ANSPRECHPARTNER

Koordination Geschäftsfeld Gebäudeenergie-technik

Prof. Dr. Hans-Martin Henning
Telefon +49 761 4588-5134
building@ise.fraunhofer.de

Gebäudehülle

Dipl.-Phys. Tilmann Kuhn
Telefon +49 761 4588-5297
building.envelope@ise.fraunhofer.de

Wärme- und Kälteversorgung

Dr.-Ing. Peter Schossig
Telefon +49 761 4588-5130
building.heating-cooling@ise.fraunhofer.de

Betriebsführung und Gesamtenergiekonzepte

Dipl.-Ing. Sebastian Herkel
Telefon +49 761 4588-5117
building.concepts@ise.fraunhofer.de

Thermische Speicher für Gebäude

Dipl.-Biol. Stefan Gschwander
Telefon +49 761 4588-5494
building.thermal-storage@ise.fraunhofer.de

Materialien und Komponenten für Wärmetransformation

Dr. Stefan Henninger
Telefon +49 761 4588-5104
building.heattransfer-materials-components@ise.fraunhofer.de


Bild S. 42: Detail eines binären Kältemittel-verteilers für Luft-Wasser-Wärmepumpen.

PROJEKTE 2015


-  Neue Phasenwechselmaterialien auf Basis von Zuckeralkoholen für Latentwärmespeicher
-  Sorptionsmaterialien und Beschichtungen für Adsorptionsprozesse
-  Effiziente Rückkühlung für die solarthermisch angetriebene Kälteerzeugung
-  Vorgefertigte, multifunktionale Fassadenkomponenten für die Gebäudesanierung
-  Datenbank für Monitoring-Daten zu innovativen Betriebsstrategien von Gebäuden
-  Qualitätssicherung bei Planung und Ausführung von Hydraulikkonzepten in niedrig-exergetischen Heiz- und Kühlsystemen
-  Optimierung und Betriebsführung komplexer Gebäudeenergieversorgungsanlagen
-  Planung und Betriebsoptimierung von energieeffizienten Gebäuden durch Bauwerkinformationsmodelle
-  Ganzheitliche Integration energetisch-aktiver Fassadenkomponenten in Bauprozesse




Mehr Informationen zu diesen und weiteren Projekten:
www.ise.fraunhofer.de/de/forschungsprojekte/3-00

Neues Material / Verfahren 

Prototyp / Kleinserie 

Messtechnische Analyse / Qualitätssicherung 

Beratung / Planung / Studie 



FENSTER- UND FASSADENSYSTEME FÜR DIE ENERGIEWENDE

Gebäudehüllkomponenten, wie Fenster- und Fassadensysteme, sind wichtige Bausteine, um Heiz- und Kühlenergie nachfrage sowie Kunstlichtbedarf von Gebäuden zu reduzieren, den thermischen und visuellen Komfort zu gewährleisten und eine gesunde Tageslichtversorgung sicherzustellen. Zudem sollen sie Wärme, Kälte, Strom und Frischluft angemessen im Gebäude verteilen oder auch Sonnenlicht in Strom und Nutzwärme umwandeln. Das Fraunhofer ISE trägt dazu bei, dass Gebäudehüllkomponenten diese Anforderungen besser erfüllen. Durch seine FuE-Arbeiten erhöht das Institut die Zuverlässigkeit der Bewertungsmethoden und Planungswerkzeuge und entwickelt gemeinsam mit Industriepartnern neue leistungsfähige, multifunktionale Gebäudehüllkomponenten.

So haben wir im vergangenen Jahr unter anderem die Entwicklung eines neuen Systems von Komponenten für die Gebäudehülle mit integrierter BIPV-Funktionalität (Building-Integrated Photovoltaics) vorangetrieben. Die neuen Elemente wurden im Rahmen des EU-Projekts »construct-PV« entwickelt und lassen sich einfach auf der Baustelle an die exakten Maße des Gebäudes anpassen. Ein weiteres Forschungsprojekt befasst sich mit der Entwicklung von Dämmsystemen mit schaltbarem U-Wert. Diese können z. B. in kühlen Sommernächten über die opaken Teile der Gebäudehülle Wärme abgeben. Darüber hinaus wurden erstmals neue fassadenintegrierte Verteilsysteme für Wärme, Kälte, Strom und Frischluft erfolgreich in Pilotanwendungen installiert.

Zudem haben wir verschiedene neue Modelle entwickelt und vorhandene Planungswerkzeuge ausgebaut, um Bewertungsmethoden für Gebäudehüllsysteme zu optimieren.

Unser Planungswerkzeug zur Auslegung von BIPV-Systemen unter Berücksichtigung von Teilverschattung wurde erweitert und kann nun auch für die Planung von Wechselrichtern und Bypass-Dioden genutzt werden. Ein neues Modul für das Gebäudesimulationsprogramm »Modelica« erlaubt die Abbildung von solarthermischen Fassadenelementen im Rahmen der dynamischen Gebäudesimulation.

Unser Programm »FENER«, das zur Analyse und Bewertung von schaltbaren Fassadensystemen auf Basis von Jahressimulationen dient, kann nun über eine Internetschnittstelle von externen Partnern bedient und genutzt werden. Die Bewertung umfasst neben visuellem und thermischem Komfort und dem Energiebedarf für Heizung und Kühlung neuerdings auch innovative Regelungsalgorithmen für die Fassadensysteme.

Das effiziente und zuverlässige Management von Daten und Informationen im gesamten Bauprozess ist eine weitere wichtige Voraussetzung, um preisgünstige und leistungsfähige Gebäudehüllen zu realisieren. Das Fraunhofer ISE trägt hierzu durch die Weiterentwicklung von Methoden des BIM (Building Information Modeling) im Rahmen des 2015 gestarteten Projekts »SolConPro« bei. Dazu werden Produktdatenmodelle für Fassadenelemente so weiter entwickelt, dass auch die energetischen Eigenschaften von multifunktionalen Bauteilen für die Gebäudehülle im Rahmen des BIM berücksichtigt werden können.

1 Seminarraum mit bauwerksintegrierter Photovoltaik (BIPV) am Fraunhofer ISE – teiltransparente PV-Module mit winkelselektiver Transmission (PV Shade®).

2 Putzintegrierter Fassadenkollektor.

Kontakt

Dipl.-Phys. Tilmann Kuhn

Telefon +49 761 4588-5297

building.envelope@ise.fraunhofer.de



NETZDIENLICHE GEBÄUDE

Mit einem steigenden Anteil fluktuierender, erneuerbarer Stroms aus Wind und Sonne in Deutschland kommt dem Zeitpunkt des Strombezugs aus dem öffentlichen Netz eine wachsende Bedeutung zu. Mal ist Strom an sonnen- und windreichen Tagen reichlich vorhanden, mal muss er aufwendig mit Spitzenlast-Kraftwerken erzeugt werden. Hochrechnungen zeigen, dass bei angenommenen Werten einer installierten Leistung von 66,3 GWp Photovoltaik und 91,6 GWp Windkraft im Jahr 2033 an über 1250 Stunden, rechnerisch also für fast zwei Monate, Deutschland komplett von Wind- und Sonnenstrom versorgt wird. Aus Sicht des Stromnetzes wird es daher immer wichtiger, die Residuallast, die nach Abzug der regenerativen Erzeuger (Wind und Sonne) verbleibende Last, durch regelbare Erzeuger und Speicher, aber auch flexible Verbraucher zu glätten. »Netzdienliche« Stromverbraucher sollten also einen möglichst hohen Anteil ihres Netzstrombezugs in Zeiträume mit hoher Stromverfügbarkeit verlagern.

Gebäude verbrauchen elektrischen Strom, manche speisen auch Strom ein (PV, BHKW). Sie stehen somit in Interaktion mit den Stromnetzen und Kraftwerken. Dennoch werden sie bisher als passive Verbraucher betrachtet und übliche Optimierungsmaßnahmen und tarifliche Anreize beschränken sich darauf, den Strombezug zu minimieren, da sich dieser letztlich in der Stromrechnung widerspiegelt. Zukünftig können Gebäude aber durch den Einsatz von Speichern und Lastmanagement einen Teil zur Flexibilisierung des Energiesystems beitragen.

Das Fraunhofer ISE erarbeitet Betriebsführungskonzepte für die gezielte Aktivierung elektrischer und nicht-elektrischer Wärme- und Kälteerzeuger. Je nach Anforderung wird zwischen unterschiedlichen Endenergieformen (z. B. Strom und Gas) umgeschaltet. Verfügt ein Gebäude über eine lokale Stromproduktion, muss auch diese in die Optimierung der Netzdienlichkeit einbezogen werden.

Mit thermisch-dynamischen Simulationsmodellen dimensionieren und bewerten wir den Einsatz von Speichern, um Wärme- und Kälteerzeugung in »netzgünstige« Stunden zu verlagern, dabei aber die thermischen Lastanforderungen des Gebäudes jederzeit sicherzustellen. Grundsätzlich können sowohl elektrische (Batterie-)Speicher als auch Warm- / Kaltwasser- oder Phasenwechselspeicher genutzt werden. Thermische Energie lässt sich, im Gegensatz zu elektrischer Energie, relativ günstig in großer Menge dezentral zwischenspeichern. Auch Gebäude mit vergleichsweise kleinen technischen Speichern können netzdienlich betrieben werden, wenn das zeitliche Profil der Wärme- und Kälteübergabe an die Räume entsprechend angepasst wird. Dabei wird die Gebäudemasse als thermischer Puffer genutzt. In unseren Arbeiten konnten wir zeigen, dass dies möglich ist, ohne den thermischen Komfort einzuschränken – anders als etwa bei einer Begrenzung der Nutzungszeiten für elektrische Geräte. Um diese netzdienlichen Gebäudekonzepte flächendeckend umzusetzen, sind ökonomische Anreize durch entsprechende, noch zu entwickelnde Geschäftsmodelle und Marktrahmenbedingungen zu schaffen.

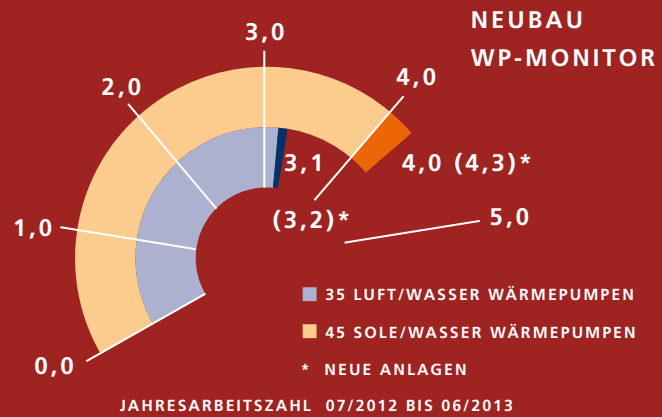
Kontakt

Dr.-Ing. Doreen Kalz
Telefon +49 761 4588-5403
building.concepts@ise.fraunhofer.de

1 / 2 Wärme- und Kälteversorgung von Nichtwohngebäuden mit erdgekoppelter Wärmepumpe.



2



WÄRMEPUMPEN – ENERGIEEFFIZIENTES HEIZEN UND KÜHLEN

Wärmepumpen kommt bei der Energiewende eine Schlüsselrolle zu. Elektrische Wärmepumpen stellen in Verbindung mit einer immer CO₂-ärmeren Stromerzeugung sehr effizient Wärme bereit. Gas-Wärmepumpen nutzen Brennstoffe wesentlich effizienter als heutige Heizkessel. Das Fraunhofer ISE trägt durch intensive FuE-Arbeiten in Kooperation mit Industriepartnern und Forschungsinstitutionen maßgeblich zur Weiterentwicklung dieser Technologien bei. Die Fragestellungen reichen von der Material- und Komponentenentwicklung bis hin zur Systembewertung und -optimierung.

Bereits seit 2005 führt das Fraunhofer ISE großangelegte Feldstudien über elektrisch angetriebene Wärmepumpen zur Raumheizung und Trinkwassererwärmung in unsanierten, teilsanierten sowie neuen Einfamilienhäusern durch. Bisher wurden über 200 Anlagen im realen Betrieb messtechnisch untersucht, wobei umfassende Kenntnisse über deren Effizienz gewonnen werden konnten. Im zukünftigen Energiesystem können elektrische Wärmepumpen zum Lastmanagement und damit zur Entlastung des Stromnetzes beitragen. Im aktuellen Projekt »WPsmart im Bestand«, an dem 13 Wärmepumpenhersteller und Energieversorger mitwirken, geht es darum, ihr Potenzial für netzdienlichen Betrieb zu erschließen und zugleich Effizienzverluste zu reduzieren.

Die Komponenten der Wärmepumpe haben entscheidenden Einfluss auf Effizienz und Lebenszykluskosten. Schwerpunkte unserer Arbeiten bei der Komponentenentwicklung für Kaldampfverfahren sind kältemittelreduzierte Systeme, Komponenten zur Vermeidung der Fehlverteilung von Luft

und Kältemittel sowie Technologien zur Verbesserung der Anlagensicherheit von Systemen mit brennbaren Kältemitteln. Diese Arbeiten fließen z. T. in europäische Forschungsprojekte ein, wie zum Beispiel das EU-Projekt »Green Heat Pump«.

Neben den elektrischen Wärmepumpen finden zunehmend gasbefeuerte Sorptionswärmepumpen ihren Weg in den Markt. Sie sind eine vielversprechende Heizungstechnik der Zukunft. Das Fraunhofer ISE arbeitet seit vielen Jahren an der Entwicklung von neuen Sorptionsmaterialien und verbesserten Komponenten für Sorptionswärmepumpen und -kälteanlagen und begleitet Hersteller in allen Phasen der Entwicklung bis zur Systembewertung im Feld. Für das EU-Projekt »Heat4U« haben wir im Labor einen Prototyp einer neuartigen Gasabsorptionswärmepumpe charakterisiert. Dabei konnte eine deutliche Effizienzsteigerung im Vergleich zu modernster Gasbrennwerttechnologie nachgewiesen werden.

Im Juli 2015 haben wir ein neues Prüf- und Entwicklungszentrum für Wärmepumpen und Kältemaschinen eröffnet. Es ist mit modernster Konditionierungs- und Messtechnik ausgestattet und für die Durchführung von standardisierten sowie dynamischen Messungen (inkl. Hardware-In-The-Loop) konzipiert. Unsere Ausstattung erlaubt auch die Untersuchung und Entwicklung von Anlagen mit natürlichen Kältemitteln (z. B. CO₂, Ammoniak, Propan).

Der Aufbau des Prüf- und Entwicklungszentrums und das Vorhaben »WP-Smart im Bestand« werden durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) gefördert.

1 Entwicklung eines binären Kältemittelverteilers für Luft-Wasser-Wärmepumpen.

2 Effizienzergebnisse der Wärmepumpenanlagen aus dem Projekt »WP-Monitor« (www.wp-monitoring.de).

Kontakt

Dr.-Ing. Marek Miara
Telefon +49 761 4588-5529
building.heating-cooling@ise.fraunhofer.de

WASSERSTOFFTECHNOLOGIEN





Dr. Christopher Hebling
christopher.hebling@ise.fraunhofer.de

Mit dem Ausbau der erneuerbaren Energien steigt der Anteil des aus fluktuierenden Quellen stammenden Stroms und damit die Nachfrage nach einer bedarfsgerechten Regelung von Angebot und Nachfrage im Netz. Wasserstoff, als Sekundärenergieträger über Wasserelektrolyse durch erneuerbaren Strom erzeugt, besitzt als einziger Energieträger das Potenzial, sehr große Energiemengen auch über lange Zeiträume chemisch zu speichern. Wasserelektrolyseure sind als dezentrale, regelbare Lasten eine zunehmend wertvolle Regelgröße für Stromnetzbetreiber, um Erzeugung und Verbrauch zeitnah anzupassen und auch die Netzfrequenz zu stabilisieren. Als Kraftstoff in Brennstoffzellenfahrzeugen ist Wasserstoff das Bindeglied zwischen Energiewirtschaft und emissionsfreier Mobilität, mit Betankungszeiten und Reichweiten, die der jetzigen Mobilität entsprechen.

Im Geschäftsfeld Wasserstofftechnologien bieten wir FuE-Leistungen zur Erzeugung, Wandlung und Speicherung von Wasserstoff. Bei der elektrochemischen Wasserstofferzeugung liegt unser Schwerpunkt auf Fragestellungen zur Wasserspaltung durch Strom in Polymerelektrolyt-Membran-Elektrolyseuren (PEM). Wir betreiben multiphysikalische Simulationen und elektrochemische Charakterisierungen von Zellen und Stacks. Zudem konstruieren wir produktnahe Funktionsmuster vom Zellstapel bis zu vollautomatisierten Gesamtsystemen bis 50 bar. Dafür stehen uns Teststände für Zellstapel bis 4000 Ampere Strombeaufschlagung zur Verfügung (1 MW_{el} Leistungsaufnahme). Wir erarbeiten Studien zur Technologie der Wasserelektrolyse und Anwendung von Wasserstoff in einer nachhaltigen Energiewirtschaft.

Brennstoffzellen wandeln mit hoher Effizienz Wasserstoff in Strom und Wärme. Wir entwickeln Brennstoffzellensysteme für reale Außenbedingungen, besonders für Fahrzeugtechnik und dezentrale stationäre Systeme. Unsere Arbeiten umfassen Entwicklung, Simulation und Charakterisierung von Einzelzellen, Zellstapeln und Systemen, ebenso wie das Testen von Peripherie- und Zellkomponenten unter extremen Klimabedingungen.

Wir besitzen langjährige verfahrens- und prozesstechnische Erfahrung mit der thermochemischen Prozessierung von fossilen und biogenen Energieträgern. Zu diesen Verfahren zählen Reformierung und Pyrolyse sowie Synthetisierung von Wasserstoff und CO₂ zu flüssigen Kraftstoffen. Wir entwickeln Verfahren, um nachhaltige flüssige Energieträger oder auch chemische Bausteine zu synthetisieren. In experimentellen Untersuchungen oder Studien prüfen wir die technologische Machbarkeit von neuen, energieeffizienten und ressourcenschonenden Verfahren und erstellen dazu Wirtschaftlichkeitsanalysen. Mit diesen Arbeiten ermöglichen wir den Übergang von der Verwendung fossiler Energieträger hin zu einer CO₂-neutralen Energiewirtschaft.

Bild: Wasserelektrolyse-Messzelle (Nachbau) aus transparentem Kunststoff zur Visualisierung der segmentierten Endplatten mit Kanalstrukturen (paralleles Flowfield). Mit Hilfe dieser Laborzelle führen wir Komponentenscreenings und Langzeitmessungen für Lebensdaueruntersuchungen durch.

Mitarbeiter gesamt	83
Mitarbeiter vollzeitäquivalent	56
Zeitschriften- und Buchbeiträge	10
Vorträge und Konferenzbeiträge	21
Erteilte Patente	2

www.ise.fraunhofer.de/de/veroeffentlichungen/4-00



ANSPRECHPARTNER

Koordination Geschäftsfeld Wasserstofftechnologien

Dr. Christopher Hebling
Telefon +49 761 4588-5195
h2fc.hydrogen@ise.fraunhofer.de

Thermochemische Prozesse

Dr.-Ing. Achim Schaadt
Telefon +49 761 4588-5428
h2fc.thermoprocess@ise.fraunhofer.de











Wasserstoffherzeugung durch Elektrolyse

Dr. Tom Smolinka
Telefon +49 761 4588-5212
h2fc.electrolysis@ise.fraunhofer.de

Brennstoffzellensysteme



Dipl.-Ing. Ulf Groos
Telefon +49 761 45 88-5202
h2fc.systems@ise.fraunhofer.de

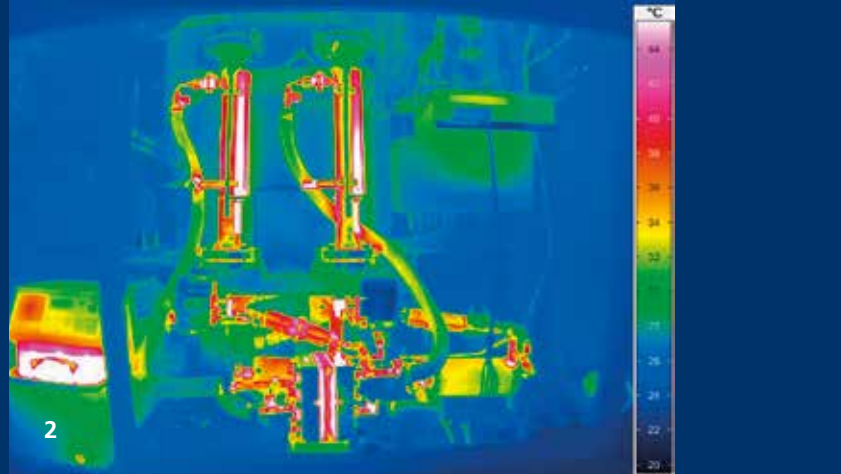
PROJEKTE 2015

-  Charakterisierung und Modellierung einer Polymerelektrolytmembran (CCM)
-  Neuartige Materialien und Systemdesigns für PEM-Elektrolyseure
-  Start-Stopp-Alterung von PEM-Brennstoffzellen
-  Rückstandsfreie Verdampfung flüssiger Energieträger
-  Ortsaufgelöste Charakterisierung automobiler Einzelzellen
-  Kontaminationsuntersuchungen und Komponentenscreening mit 30-Zell-Tester
-  Solare Wasserstoffherzeugung mit einem HyCon-System
-  Technische und ökonomische Systemanalyse für Power-to-Gas-Systeme
-  Nachhaltige Kohlenstoffträger für die aktuelle und zukünftige katalytische Hydrierung
-  Flüssige Energieträger, Chemikalien und Kraftstoffe aus CO₂ und H₂



Mehr Informationen zu diesen und weiteren Projekten:
www.ise.fraunhofer.de/de/forschungsprojekte/4-00

Neues Material / Verfahren 
Messtechnische Analyse / Qualitätssicherung 



NEUES ZENTRUM FÜR LEISTUNGS-STARKE PEM-ELEKTROLYSEURE

Die elektrochemische Spaltung von Wasser in Elektrolyseuren ist ein sauberes und effizientes Verfahren zur Wasserstoff-erzeugung. Sofern Strom aus erneuerbaren Energiequellen verwendet wird, kann grüner Wasserstoff als speicherbarer und universeller Energieträger erzeugt werden, der anschließend bedarfsgerecht in verschiedenen Anwendungen der Energiewirtschaft, des Verkehrs oder der chemischen Industrie zum Einsatz kommt. Es ergibt sich so die Möglichkeit, trotz des stark volatilen und stetig steigenden Stromangebots durch erneuerbare Energien eine sichere Energieversorgung zu gewährleisten und in einem zukünftigen Energiesystem sogar eine saisonale Langzeitspeicherung zu ermöglichen.

Vor allem die PEM-Elektrolyse, bei der eine Protonen-Austausch-Membran (Proton Exchange Membrane, PEM) zum Einsatz kommt, eignet sich zur Kopplung mit erneuerbaren Energien. Dieses Verfahren ermöglicht sehr gute Wirkungsgrade bei hohen Stromdichten und kann bei hohen Drücken sehr dynamisch in einem weiten Betriebsfenster, d. h. auch bei Teil- und Überlast, betrieben werden. Das Fraunhofer ISE beschäftigt sich daher seit über 25 Jahren mit der Komponenten- und Systementwicklung sowie der Integration von PEM-Elektrolyseuren in übergeordneten Energiesystemen. Es hat jetzt seine Aktivitäten in einem Elektrolysezentrum am neuen Standort des Instituts in der Auerstraße gebündelt.

Wesentliches Alleinstellungsmerkmal des neuen Elektrolysezentrums sind zwei Testanlagen zur Prüfung von PEM-Zellstapeln mit Stromstärken bis zu 4000 Ampere und Betriebsdrücken bis 50 bar. Der größere der beiden Teststände erlaubt DC-Spannungen bis zu 250 VDC, so dass PEM-Elektrolysezellstapel mit einer nominellen Anschlussleistung

von bis zu 1 MW betrieben und untersucht werden können. Weltweit existiert bisher in keiner Forschungseinrichtung eine vergleichbare Versuchsanlage. Der maximale Wasserstoffabgasstrom ist mit 200 Normkubikmetern pro Stunde spezifiziert. Flankiert wird dieser Aufbau von einem kleineren Teststand für Elektrolysezellstapel mit DC-Spannungen bis zu 50 VDC und einer Leistung von 200 kW, der Messungen mit spezieller Diagnostik an Elektrolysezellstapeln mit verringerter Zellanzahl erlaubt. Durch aufwendiges Mess-Equipment und eine vielseitig anpassbare Prozessführung ermöglichen die Teststände einen umfassenden Messbetrieb für Zellstapel verschiedener Hersteller. Damit soll zukünftig die Wasserstoffherzeugung in großflächigen Zellen und Stacks eingehend untersucht und so wichtige Grundlagen für den Einsatz dieser Technologie in der Energiewende gelegt werden.

Aktuelle Forschungsschwerpunkte im neuen Elektrolysezentrum sind:

- Entwicklung von standardisierten Messverfahren zur Charakterisierung von PEM-Elektrolyseuren
- Evaluierung von neuen Zellkomponenten und -stapeln für die PEM-Elektrolyse
- Untersuchung von Alterungsmechanismen und Ableitung von Schnellalterungstests
- Qualifizierung von kompletten Prototypen bis in den dreistelligen kW-Bereich
- Untersuchungen zur Netzdienlichkeit von Elektrolyseuren

Das neue Elektrolysezentrum wurde durch die finanzielle Unterstützung des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi) im Rahmen der Förderinitiative »Energiespeicher« ermöglicht.

1 Seitenansicht des neuen Teststands zur Charakterisierung von Zellstapeln für die PEM-Wasserelektrolyse.

2 Modell einer Elektrolyse-Testzelle zur Untersuchung neuer Zellkomponenten für die PEM-Wasserelektrolyse.

Kontakt

Dr. Tom Smolinka

Telefon +49 761 4588-5212

h2fc.electrolysis@ise.fraunhofer.de



ENERGIESYSTEMTECHNIK





Dr. Günther Ebert
guenther.ebert@ise.fraunhofer.de

Die Energiesystemtechnik, die sich mit der Optimierung des Zusammenspiels von Erzeugern und Verbrauchern, deren Steuerung und Regelung sowie dem Management von Energieverteilung und -speicherung befasst, gehört zu den wichtigsten Arbeitsfeldern der Energiewende und ist deshalb einer der Schwerpunkte unserer Arbeiten.

Unser Spektrum reicht von der Energiesystemanalyse über die Optimierung von Energiesystemen bis zur Entwicklung von Batteriesystemen, leistungselektronischen Komponenten oder IKT-Lösungen. Unschätzbare Vorteil hierbei ist, dass wir zur Konzeption und Optimierung auf Systemebene auch auf fundierte institutsinterne technologische Erfahrungen mit Komponenten für die Energieversorgung wie PV-Module, Speicherkomponenten oder KWK-Anlagen zur Lösungsentwicklung zurückgreifen können.

Den Schwerpunkt unserer Arbeiten bilden die Konzeption und die optimierte Betriebsführung von nachhaltigen Energieversorgungssystemen für Gebäude, städtische Quartiere, Industrieanlagen bis zu Energieversorgungssystemen auf nationaler Ebene. Hierzu gehören auch Versorgungsstrukturen wie Strom- und Wärmenetze sowie der Mobilitätssektor, für den wir neue Lösungen zur Einbindung von Elektrofahrzeugen in die Stromnetze erarbeiten. Ein wesentlicher Aspekt unserer Arbeiten ist, bei der Konzeption moderner Energiesysteme, die von fluktuierender Erzeugung geprägt sind, die verschiedenen Energieträger wie Strom, Wärme und Gas gesamthaft zu betrachten. So kann maximale Flexibilität und größtmögliche Wirtschaftlichkeit des Energieeinsatzes erreicht werden. Dafür entwickeln wir auch innovative Lösungen für die Steuerung und Regelung sowie die kommunikative Vernetzung sowohl auf Komponenten- als auch auf Systemebene.

Batteriesysteme sind seit langem fester Bestandteil von autonomen Energiesystemen. Aber auch in netzgekoppelten Systemen wächst deren Bedeutung rasant. Wir bieten hier eine breite Palette an FuE-Dienstleistungen für Blei-, Lithium- oder Redox-Flow-Systeme an. Teil unseres neuen Zentrums für Speichertechnologien ist ein hochmodernes Labor, in dem neben der Entwicklung von Redox-Flow-Batterien vor allem Batteriesysteme konzipiert, analysiert, getestet und deren Betriebsführung optimiert werden.

Auch im Bereich der Leistungselektronik entwickeln wir Komponenten und Systeme für viele Anwendungsgebiete. Schwerpunkte sind Wechsel- und Umrichter, Wandler und Steuerungen für den Einsatz in der Energieversorgung und -übertragung sowohl für stationäre als auch für mobile Anwendungen. Besonderes Augenmerk liegt dabei auf der optimalen Einbindung in das Gesamtsystem und das Erreichen höchster Energieeffizienz.

Bild: Immer mehr Energien aus erneuerbaren Quellen werden ins Stromnetz eingespeist.

Mitarbeiter gesamt	183
Mitarbeiter vollzeitäquivalent	144
Zeitschriften- und Buchbeiträge	27
Vorträge und Konferenzbeiträge	80
Erteilte Patente	5

www.ise.fraunhofer.de/de/veroeffentlichungen/5-00



ANSPRECHPARTNER

Koordination Geschäftsfeld Energiesystemtechnik

Dr. Günther Ebert
Telefon +49 761 4588-5229
energysystem@ise.fraunhofer.de

Leistungselektronik

Dr.-Ing. Olivier Stalter
Telefon +49 761 4588-5467
energysystem.power@ise.fraunhofer.de

IKT für Energiesysteme

Prof. Dr.-Ing. Christof Wittwer
Telefon +49 761 4588-5115
energysystem.ict@ise.fraunhofer.de

Systemintegration – Strom, Wärme, Gas

Dipl.-Ing. Sebastian Herkel
Telefon +49 761 4588-5117
energysystem.integration@ise.fraunhofer.de








Batteriesysteme für stationäre und mobile Anwendungen

Dr. Matthias Vetter
Telefon +49 761 4588-5600
energysystem.batteries@ise.fraunhofer.de

Energiesystemanalyse



Dr. Thomas Schlegl
Telefon +49 761 4588-5473
energysystem.analysis@ise.fraunhofer.de

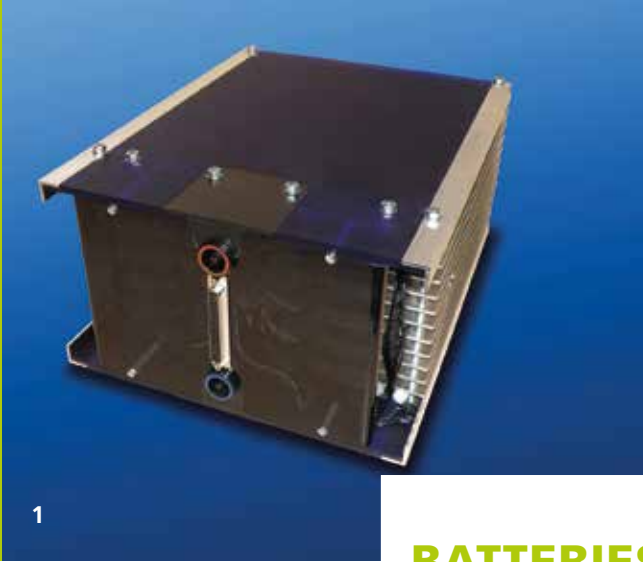
PROJEKTE 2015

-  Simulation, Entwicklung und Aufbau eines hocheffizienten DC/DC-Wandler-Konzepts für kleine Batteriesysteme
-  Solarbatteriesysteme-Dienstleister für das Stromnetz
-  Hocheffizienter und integrierter USV-Wechselrichter mit SiC-Transistoren
-  Konzept für Wechselrichter-Regler in PV-Kraftwerken
-  Systemoptimierung und Betriebsstrategien für PV-Diesel-Kraftwerke der Multimegawatt-Klasse
-  Intelligente Nutzung von Elektrofahrzeugen im Gesamtenergiekonzept einer Energieplus-Haus-Gruppe
-  Stromnetze für ein zukünftiges Energiesystem

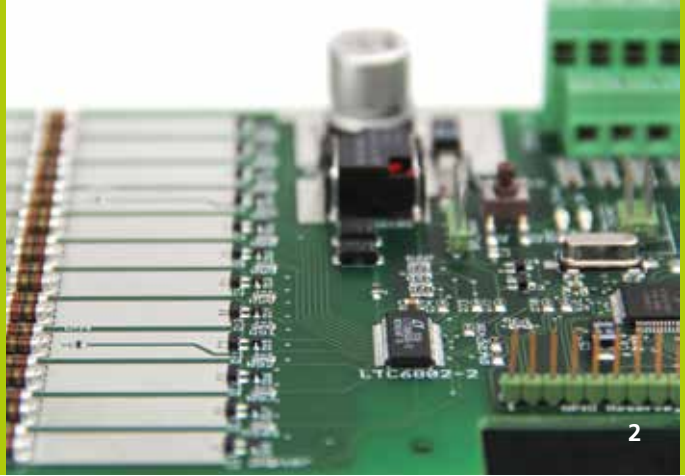


Mehr Informationen zu diesen und weiteren Projekten:
www.ise.fraunhofer.de/de/forschungsprojekte/5-00

Prototyp / Kleinserie 
Software / Anwendung 



1



2

BATTERIESPEICHER – VON DER ZELLE ÜBER DAS SYSTEM ZUR INTEGRATION

Das Fraunhofer ISE arbeitet an der Optimierung von Batteriesystemen entlang der gesamten Wertschöpfungskette. Das zeigt sich an der Vielfalt der aktuellen FuE-Themen und Zielsetzungen in diesem Bereich.

Lebensdauer verlängern

Im EU geförderten Projekt »Mars-EV« untersuchen wir an ausgewählten Lithium-Ionen-Zellchemien Alterungsprozesse. Wir entwickeln Alterungsmodelle und validieren sie mit Messdaten aus unserem Labor. Mit einer optimierten Testmatrix konnten wir die Anzahl an Langzeittests zur Untersuchung der kalendarischen und der zyklischen Alterung deutlich reduzieren. Die Modellentwicklung umfasst neben der genauen Abbildung des Alterungsverhaltens der Zellen auch die Entwicklung von präzisen Algorithmen für die Ladezustands- und Alterungsbestimmung. Dazu gehören zudem ein »End-of-Life« Modell und modellbasierte Betriebsführungsstrategien zur Verlängerung der Lebensdauer auf Systemebene.

Systemeffizienz steigern

Im Projekt »Cell-Booster« wird ein neuer technischer Lösungsansatz untersucht, der die Energie- und Kosteneffizienz heutiger Batteriespeichersysteme optimiert und deren Betriebs- und Lebensdauer verlängert. Die angestrebte Innovation bezieht sich auf die Systemtechnik mit dem Schwerpunkt auf einer neuartigen »Embedded Elektronik«, dem sogenannten »Cell-Booster«. Sie bewirkt eine direkte Impedanzanpassung und DC/DC-Wandlung, was zu einer Entkopplung des 48 V-Batteriepacks führt und ein Modul bildet. Durch den modularen Aufbau wird nicht nur die Systemeffizienz gesteigert, sondern auch die einfache Umsetzung einer Hybridbatterie ermöglicht.

Speichermanagement optimieren

In dem vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) geförderten Projekt »Net-PV« entwickeln wir mit unseren Industriepartnern wirtschaftlich umsetzbare Lösungen für die dezentrale Speicherung von PV-Strom kombiniert mit Lastmanagement und Netzdienstleistungen. Als Speicher werden hierzu Lithium-Ionen-Batteriesysteme in Kombination mit hocheffizienten Wechselrichtern entwickelt, die eine hohe kalendarische wie auch zyklische Lebensdauer aufweisen. Optimierte Betriebsführungsstrategien, implementiert auf einem Energiemanagementsystem, sorgen für eine bessere Einbindung in das Verteilnetz. Neben der Eigenverbrauchsoptimierung stehen Netzdienstleistungen (z. B. Bereitstellung von Primärregelleistung) im Fokus. Die entwickelten Lösungen werden mit zehn Systemen im Verteilnetz der Stadtwerke Schwäbisch Hall erprobt.

Betreibermodelle entwickeln

Im Projekt »Betreibermodelle für Stromspeicher« entwickeln wir gemeinsam mit dem Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung (IER) und Compare Consulting durch detaillierte ökonomische und ökologische Analyse Betreibermodelle für den rentablen Einsatz von Speicherkraftwerken. Ein kontinuierlicher Wissenstransfer mit Interessensgruppen und Bürgern in Workshops gewährleistet, dass die Akzeptanz wächst und auch Ziele der involvierten Akteure in die Betreibermodelle mit einfließen. Das Projekt richtet sich an Industriebetriebe, Genossenschaften und private Investoren und zeigt, unter welchen Bedingungen die Investition in Speicherprojekte für sie rentabel sein kann.

1 *Lithium-Ionen-Batteriemodul mit hoher Energiedichte für stationäre Anwendungen.*

2 *Detailansicht einer Batteriemanagementeinheit.*

Kontakt

Dr. Matthias Vetter
Telefon +49 761 4588-5600
energysystem.batteries@ise.fraunhofer.de



KOSTENOPTIMIERUNG UND STANDORTENTSCHEIDUNGEN FÜR DIE ENERGIEWENDE

Für eine kosteneffiziente Integration und langfristige Entwicklung von erneuerbaren Energien untersucht das Fraunhofer ISE das Energiesystem Deutschlands im europäischen Kontext. Dazu haben wir das Modell »ENTIGRIS« entwickelt, das die Potenziale erneuerbarer Energien sowie die Übertragungskapazitäten in einem Ausbau- und Betriebsoptimierungsmodell detailliert abbildet. Dies erlaubt uns, Aussagen über die optimale Verteilung von erneuerbaren und konventionellen Kraftwerken unter Berücksichtigung von Netzrestriktionen und der Verstärkung von Netzkapazitäten zu treffen. Ausgleichseffekte von Standorten mit schlechteren Wind- oder Solarangeboten und Standorten mit sehr guten Ressourcenbedingungen können so analysiert werden. Die detaillierte Integration der Potenziale und jetzigen Standorte erlaubt für den Ausbau eine hohe regionale Auflösung. Dadurch kann der Einfluss von Netzrestriktionen berücksichtigt werden, die in einem zukünftigen System mit hohen Anteilen erneuerbarer Energien eine große Rolle spielen werden.

Um hohe EE-Ziele zu erreichen, werden auch Windkraftanlagen im Süden und Solarstromanlagen im Norden Deutschlands attraktiv. Durch die Einbettung des Modells in den europäischen Kontext lässt sich der Austausch zwischen den Ländern und damit verbundene Synergie- und Ausgleichseffekte analysieren, die sich nur durch verstärkte Koordinierung nationaler Energiepolitiken und Infrastrukturmaßnahmen erreichen lassen. Das Modell kann jederzeit zur Bewertung von neuen nationalen energiepolitischen Zielen angepasst werden und deren Auswirkung quantitativ berechnen.

1 Geographische Abdeckung des Fraunhofer ISE Energiesystemmodells »ENTIGRIS« mit 53 verschiedenen Nachfrageregionen (die Regionen sind farblich einzeln gekennzeichnet).

Kontakt

Dr. Thomas Schlegl
Telefon +49 761 4588-5473
energysystem.analysis@ise.fraunhofer.de



NETZINTEGRATION ERNEUERBARER ENERGIEN

Die Transformation unseres Energiesystems in eine emissionsfreie Energieversorgung stellt uns vor gewaltige Herausforderungen. Die Energieszenarien für die kommenden Jahre zeigen, dass diese Aufgabe nur durch die geeignete Kombination und Integration verschiedener Energiesysteme und Netzstrukturen erreicht werden kann. Dabei werden die IKT-Technologien zunehmend wichtig bei der Vernetzung der Komponenten und dem flexiblen Betrieb. Bei Stromnetzen untersuchen wir seit einigen Jahren das »Smart Grid«, das ein optimales Zusammenspiel von Energiesystemen im liberalisierten Energiemarkt ermöglichen soll. In laufenden Forschungsprojekten beschäftigen wir uns mit der Integration von erneuerbaren Energieerzeugern und Speichern in Energiemarkt und Netzbetrieb.

Die Integration von Strom- und Wärmesektor, z. B. durch die »Power2Heat«-Verfahren, ermöglicht den Ausgleich der hohen Fluktuationen im Stromnetz, der durch den Eintrag von erneuerbaren Energien entsteht. Die Betriebsführungssysteme spielen hier eine zentrale Rolle, denn es geht nicht nur um zeitgerechte Bereitstellung von Strom und Wärme, sondern auch um die vorausschauende Bewirtschaftung von Speichersystemen. So kommen heute schon virtuelle Kraftwerke zum Einsatz, die eine Optimierung der Stromproduktion mit Hilfe von thermischen Pufferspeichern bewerkstelligen, indem die Spotmarkt-Preise und Wettervorhersagen für die Betriebsoptimierung zu Grunde gelegt werden.

2 Intelligente Betriebsführung erlaubt die Vermittlung von Netz- und Marktanforderungen.

Kontakt

Prof. Dr.-Ing. Christof Wittwer
Telefon +49 761 4588-5115
energysystem.ict@ise.fraunhofer.de



ENERGIEEFFIZIENTE QUARTIERE

Quartiere und Kommunen stellen einen wichtigen Handlungsraum der Energiewende dar. Hier können auf gesellschaftlicher und politischer Ebene Umsetzungskampagnen in der Gebäudesanierung und der gemeinschaftlichen Energieversorgung auf Basis lokaler erneuerbarer Energiequellen umgesetzt werden. Zum anderen ist auf Quartiersebene eine Transformation der Energieversorgungsinfrastruktur erforderlich, weg von fossiler Verbrennung hin zu netzgebundener Wärmeversorgung, elektrischen Wärmeversorgungssystemen wie Wärmepumpen sowie von Wärme- und Stromspeichern.

Durch die Kopplung von Geoinformationssystemen (GIS) mit räumlich aufgelösten, techno-ökonomischen Energiesystemmodellen können wir multimodale Zielszenarien für kommunale Energieversorgungssysteme sowie Transformationsfahrpläne zur Implementierung erstellen. Damit sind wir in der Lage, die strategische Planung von Kommunen und kommunalen Unternehmen im Hinblick auf eine zukunftsfähige Energieversorgung wissenschaftlich zu unterstützen und damit robuster zu gestalten. Durch die simultane Betrachtung von Strom und Wärme lassen sich kostenoptimierte Systeme auch bei Einsatz fluktuierender erneuerbarer Energien identifizieren.

In dem vom Land Baden-Württemberg geförderten Vorhaben »GISOPT« wurde ein Werkzeug zur Potenzialanalyse und Strukturoptimierung von Speichern in regionalen Energiesystemen entwickelt. Mit diesem Werkzeug wurden für unterschiedliche Quartiere Szenarien analysiert.

1 Szenarien für den Speicherausbau in einem innerstädtischen Quartier.

Kontakt

Dipl.-Ing. Sebastian Herkel
 Telefon +49 761 4588-5117
energysystem.integration@ise.fraunhofer.de



LEISTUNGSELEKTRONIK

Die Leistungselektronik ist für den Umbau unserer Energieversorgung von fundamentaler Bedeutung. Durch die stetige Weiterentwicklung der elektronischen Bauelemente und verbesserte Schaltungskonzepte können viele leistungselektronische Komponenten und Systeme heute kleiner, leichter, effizienter und kostengünstiger realisiert werden. Ferner sind neue Systemdienstleistungen möglich geworden.

Das Fraunhofer ISE entwickelt in modern und umfangreich ausgestatteten Labors leistungselektronische Komponenten und Systeme für Anwendungsgebiete wie Energieversorgung, Antriebstechnik und Elektromobilität.

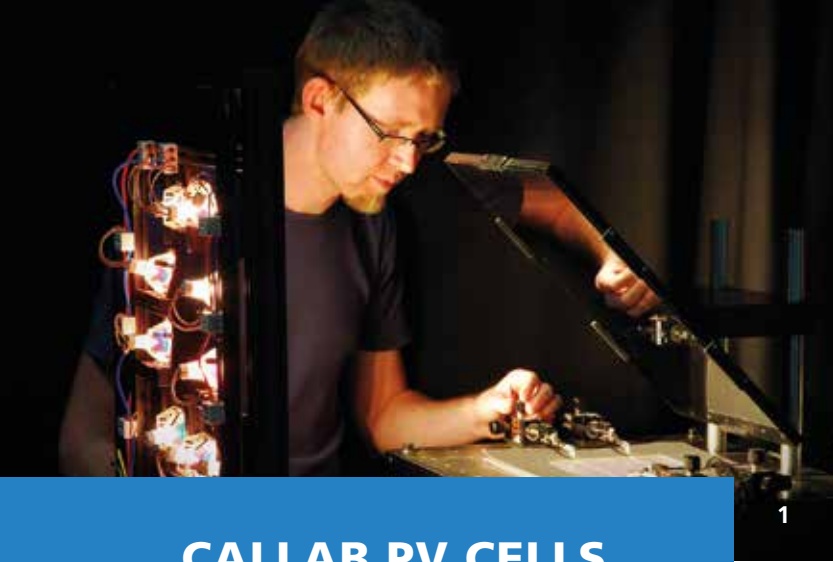
Im Vordergrund steht dabei die Entwicklung von Leistungselektronik zur Aufbereitung der elektrischen Energie von erneuerbaren Stromerzeugern als auch zur Systemintegration elektrischer Speichersysteme und zur Energieübertragung. Dazu entwickeln wir Wechselrichter, Umrichter, DC/DC-Steller sowie Systeme zur induktiven Energieübertragung in einem breiten Leistungs- und Spannungsbereich.

Ferner steht die Regelung von Stromnetzen im Fokus unserer Arbeit. Dazu gehören z. B. die Filterung von Oberwellen, die Blindleistungskompensation auf Nieder- und Mittelspannungsebene sowie die Schwarzstartfähigkeit. Darüber hinaus arbeiten wir an der Flexibilisierung vorhandener Netzstrukturen durch die Entwicklung von Mittelspannungsumrichtern zur bidirektionalen Anbindung von z. B. Tram- oder Bahnnetzen.

2 Dreiphasiger 10 kW USV-Wechselrichter mit nur 5 Liter Volumen und 98,7 % Wirkungsgrad.

Kontakt

Dr.-Ing. Olivier Stalter
 Telefon +49 761 4588-5467
energysystem.power@ise.fraunhofer.de



CALLAB PV CELLS

GESCHÄFTSFELD PHOTOVOLTAIK

Das CallLab PV Cells des Fraunhofer ISE bietet die Kalibrierung / Messung von Solarzellen verschiedenster PV-Technologien an und arbeitet national sowie international mit Firmen und Instituten an der Entwicklung präziser Messungen für neue Technologien. Es zählt zu den weltweit führenden PV-Kalibrierlabors und ist Referenz für Forschung und Industrie. Solarzellenhersteller lassen ihre Referenzsolarzellen für die Produktion nach internationalen Standards bei uns kalibrieren.

Das CallLab PV Cells ist gemäß ISO / IEC 17025 als Kalibrierlabor für die Solarzellenkalibrierung bei der Deutschen Akkreditierungsstelle DAkkS akkreditiert. In Kooperation mit PV-Herstellern und mit Unterstützung des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi) arbeiten wir an der kontinuierlichen Verbesserung der Messunsicherheiten und der Entwicklung neuer Messverfahren. So spielt die Entwicklung der Solarzellenparameter zu höheren Temperaturen eine wichtige Rolle für den Ertrag im praktischen Einsatz. Ein neues Verfahren, das es uns erlaubt, das Temperaturverhalten mit bisher unerreichter Präzision zu bestimmen, wird inzwischen von Solarzellenherstellern stark nachgefragt. Diese und weitere Spezialmessungen setzen wir in einem Projekt zur Optimierung von Hocheffizienz-Solarzellen für maximalen Jahresertrag auf Basis der hochpräzisen Analyse der temperatur- und intensitätsabhängigen Zelldaten ein.

Um die Vergleichbarkeit von verschiedenen Solarzellentechnologien zu gewährleisten, entwickeln wir Messverfahren für neuartige Solarzellen. Dabei stellen neue Metallisierungsstrukturen bei Wafersolarzellen sowie neue Materialkombinationen der Absorber, wie bei Perowskitsolarzellen, wesentliche Punkte unserer Weiterentwicklung dar. Verschiedene Mehrlichtquellensimulatoren ermöglichen Messungen unter nahezu beliebigen Normbedingungen, wie AM0 (ISO 15387) für Weltraum- und AM1.5d (ASTM G173-03) für Konzentrationen. Mit unserem spektral anpassbaren Blitzlichtsimulator können Mehrfachzellen mit bis zu 4 pn-Übergängen unter angepasstem Simulatorspektrum unter Konzentration vermessen werden. Zusätzlich unterstützen wir die Normentwicklung der Arbeitsgruppen WG2 und WG7 des technischen Komitees TC82 der IEC im Bereich der konzentrierenden und nicht-konzentrierenden Photovoltaik.

CallLab
PV Cells



Kontakt

cells@callab.de

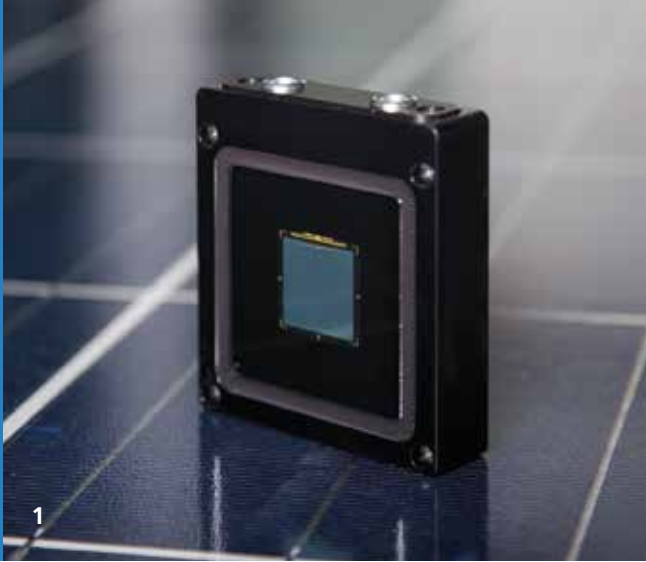
*Silicium-, Dünnschicht-,
Organische Solarzellen*
Dr. Wilhelm Warta
Telefon +49 761 4588-5192

*Silicium-, Dünnschicht-,
Organische Solarzellen*
Wendy Schneider
Telefon +49 761 4588-5146

Mehrfach- und Konzentrationzellen
Dr. Gerald Siefer
Telefon +49 761 4588-5433

- Konstant- und Blitzlicht-Sonnensimulatoren mit höchsten Anforderungen an Spektraltreue und laterale Homogenität
- Messplätze zur präzisen Kalibrierung von Mehrfachsolarzellen
- Kontaktierungsvorrichtungen für fast alle Solarzellentypen
- Verschattungsfreie Messung auch an Zellen mit unterbrochenen Busbars
- Messung der spektralen Empfindlichkeit an allen Solarzellenarten und -größen
- Qualifizierung der Einstrahlung von Sonnensimulatoren nach IEC-Normen

¹ Bestimmung spektraler Empfindlichkeiten an großflächigen Solarzellen mit hoher Genauigkeit und exakter Angabe der Messunsicherheiten.



CALLAB PV MODULES

GESCHÄFTSFELD PHOTOVOLTAIK



In unserem akkreditierten Kalibrierlabor CallLab PV Modules verbinden wir umfassendes wissenschaftliches Know-how mit modernster Messtechnik. Zu unseren Kunden zählen namhafte Modulhersteller, EPCs (Engineering, Procurement, Construction) und Investoren mit höchsten Qualitätsansprüchen. Sie schätzen unsere langjährige Erfahrung sowie unsere ausgezeichnete Reputation auf dem Gebiet der Modulcharakterisierung.

Unser Angebot reicht von der Kalibrierung einzelner Zellen und Module bis hin zu kundenspezifischen Aufgaben, wie der Kalibrierung bifazialer Module. Mit unserer Messunsicherheit von nur 1,6 % und unseren Maßnahmen zur Qualitätssicherung sind wir weltweit führend. Im CallLab PV Modules werden umfassende Modulcharakterisierungen gemäß dem Energy Rating Standard IEC 61853 sowie Qualitätsbewertungen auf Basis individueller Testprozeduren durchgeführt. Darüber hinaus liefert und kalibriert das CallLab PV Modules selbstentwickelte, kundenspezifische Referenzzellen (WPVS Standard und LARC) für verschiedene Anwendungen. Unser Ziel ist es, Kundenanforderungen genau zu verstehen und maßgeschneiderte Lösungen anzubieten.

Das CallLab PV Modules wurde im März 2015 als weltweit erstes Kalibrierlabor mit einer Messunsicherheit von 1,6 % akkreditiert. Die Deutsche Akkreditierungsstelle GmbH (Dakks) bestätigte am 24. März 2015, dass das CallLab PV Modules unter den Testbedingungen von DIN EN ISO/IEC 17025:2005 Kalibrierungen im Bereich der Photovoltaik durchführen kann.

Die Leistung von Konzentratoren-PV-Modulen (CPV) unter Standardbedingungen können wir an mehreren Außentestständen mit Nachführeinheiten sowie an einem Sonnensimulator in unserem Labor messen. Die angewandten Ratingverfahren sind im IEC Entwurfsstandard 62670-3 festgehalten. Das Fraunhofer ISE beteiligt sich aktiv an der Entwicklung dieses Standards, der kürzlich von der IEC als NWIP (New Work Item Proposal) angenommen wurde.

Kontakt

modules@callab.de

Dipl.-Ing. (FH) Frank Neuberger

Telefon +49 761 4588-5280

Mobil +49 170 9247193

- Präzisionsmessungen gemäß IEC 60904-3 mit einer Messunsicherheit von nur 1,6 %
- Bestimmung der spektralen Empfindlichkeit auf Modul- und Zellebene von 300 nm bis 1200 nm
- Power Rating Messungen gemäß IEC 61853
- Bestimmung der Winkelabhängigkeit nach IEC 61853-2
- Ermittlung des Schwachlichtverhaltens bis 100 W/m²
- Messung der Temperaturkoeffizienten im Bereich 15 bis 75 °C
- Charakterisierung bifazialer PV-Module
- Lieferung und Kalibrierung von WPVS- und LARC-Referenzzellen
- Bewertung von CPV-Modulen bei CSOC und CSTC

1 *Im CallLab PV Modules entwickelte und kalibrierte WPVS-Referenzzelle.*

2 *Aufbau zur Bestimmung der Winkelabhängigkeit nach IEC 61853-2.*



© BSW-Solar

TESTLAB PV MODULES

GESCHÄFTSFELD PHOTOVOLTAIK

TestLab
PV Modules



Das TestLab PV Modules bietet seit 2006 ein breites Spektrum an Qualitäts- und Zuverlässigkeitsprüfungen an. In unserem nach ISO 17025 akkreditierten Labor betreiben wir modernste und innovative Prüfanlagen, deren Anwendungsbereich deutlich über die Standardprüfungen hinausgeht.

Kunden- und anwendungsspezifische Prüfungen

Wir beraten unsere Kunden bei der Definition von kosten- und zeiteffizienten Prüfprogrammen sowie von individuellen Qualitätskriterien, abhängig von der konkreten Fragestellung. Die Prüfungen können dazu dienen, potenzielle Schwachstellen von Modulen aufzuspüren, verschiedene Modultypen im Benchmarking zu vergleichen oder spezielle Modultechnologien für besondere Einsatzbedingungen zu qualifizieren.

Analyse von Fehlerbildern und Risikominimierung

Mit Hilfe innovativer und modernster Analysemethoden untersuchen wir Fehlerbilder wie Schneckenspuren und Potenzial-induzierte Degradation (PID) systematisch. Das TestLab PV Modules bietet für viele typische Fehlerbilder zielgerichtete Prüfungen und Prüfsequenzen an.

Präzision

Unsere Plattformen liefern genaueste Messwerte für eine umfassende Charakterisierung. Die hochpräzisen Leistungsmessungen werden in unserem akkreditierten Kalibrierlabor Callab PV Modules mit einer weltweit führenden Messunsicherheit von nur 1,6 % durchgeführt.

Qualitätsprüfungen nach internationalen Standards

In Kooperation mit dem VDE Prüf- und Zertifizierungsinstitut führen wir Zertifizierungen entsprechend internationaler Qualitäts- und Sicherheitsstandards (IEC 61215, IEC 61646, IEC 61730) durch.

Qualitätsprüfungen für das »VDE Quality Tested« Zertifikat

Zusammen mit dem VDE haben wir ein Qualitätszertifikat für PV-Module entwickelt, das eine laufende Qualitätssicherung der Modulproduktion von unabhängiger Seite auf hohem Niveau ermöglicht. Diese Modulprüfungen führen wir ebenfalls in unserem TestLab PV Modules durch.

Kontakt

tlpv@ise.fraunhofer.de
www.testlab-pv-modules.de

Dipl.-Ing. (FH) Daniel Philipp
Telefon +49 761 4588-5414

- Akkreditiertes Prüflabor gem. ISO 17025 für IEC 61215, IEC 61730
- Fehler- und Materialanalytik (z. B. EDX-, Raman-, Auger-Spektroskopie)
- Zerstörungsfreie Analytik (z. B. Lock-in-Thermographie, EL, Mikroskopie)
- In situ Monitoring
- Klimaprüfkammer mit UV-Bestrahlung
- Klimaprüfkammer mit integriertem Sonnensimulator
- Mechanische Belastungsprüfung bei verschiedenen Temperaturen und Montagewinkeln
- Sandabrationstests
- Salznebeltest IEC 61701

1 Die Hot-Spot-Prüfung (IEC 61215) wird in unserer Doppelklimakammer mit einem Sonnensimulator durchgeführt.



1

TESTLAB SOLAR THERMAL SYSTEMS

GESCHÄFTSFELD SOLARTHERMIE

TestLab
Solar Thermal
Systems



Das TestLab Solar Thermal Systems ist eine weltweit durch nationale Zertifizierer anerkannte Prüfstelle und durch die Deutsche Akkreditierungsstelle (DAkkS) voll akkreditiert (ISO 17025). Wir prüfen Sonnenkollektoren, Wärmespeicher sowie Komplettsysteme und unterstützen damit unsere Kunden bei der Entwicklung von solarthermischen Energiesystemen.

Seit 2012 prüfen wir intensiv unterschiedlichste Fragestellungen bezüglich der mechanischen Widerstandsfähigkeit (bei -40 °C bis 90 °C) von Montagesystemen, PV-Modulen und Solarthermiekollektoren. Das Angebot ist hier auch auf die Anforderungen des DIBt abgestimmt. Für PVT-Kollektoren kann gemeinsam mit dem TestLab PV Modules des Fraunhofer ISE eine komplette Zertifizierungsmessung (IEC u. ISO) angeboten werden. Unser etablierter Teststand für Solarluftkollektoren wird intensiv genutzt. Auf Basis der technischen Charakterisierung im vergangenen Jahr wurden so Solar Keymark Zertifizierungen möglich.

System- und Speicher-Vermessungen können in unserem System- und Speicherlabor durchgeführt werden. Hier werden auch die notwendigen Kennzahlen zur Bewertung von Speichern nach dem Energy Label (ErP) der EU ermittelt. Unser Solarsimulator liefert hohe Wiederholgenauigkeit. Die Testmöglichkeiten für die Bestimmung von Wirkungsgradkennlinien mit Arbeitspunkten bis zu 230 °C wurden in 2014 deutlich erweitert. Außerdem ist es uns gelungen, eine in situ Charakterisierung eines großen konzentrierenden Kollektors durchzuführen. Damit betritt das TestLab Solar Thermal Systems Neuland im Kontext der verbreiteten Kollektorzertifizierung. Wir prüfen grundsätzlich nach der aktualisierten EN ISO 9806:2014. Diese kann direkt für alle in den Anwendungsbereich aufgenommenen Technologien sowie die Änderungen in den Testmethoden innerhalb unseres Akkreditierungsumfangs angeboten werden. Das ist weiterhin weltweit einzigartig.

1 *Wärmespeicher im Test für das EU Energy Label (ErP) am TestLab Solar Thermal Systems des Fraunhofer ISE.*

Kontakt

testlab-sts@ise.fraunhofer.de
www.kollektortest.de

in situ Vermessung

Dr. Korbinian S. Kramer
Telefon +49 761 4588-5139

Kollektoren

Dipl.-Ing. (FH) Stefan Mehnert
Telefon +49 761 4588-5354

Speicher, Systeme

Dipl.-Ing. (FH) Konstantin Geimer
Telefon +49 761 4588-5354

- Messungen für die Vergabe des Energy Label nach ErP
- Mechanische Lastprüfungen (z. B. DIBt)
- Zertifizierungsmessungen für Luftkollektoren
- Zertifizierungsmessungen für PVT-Hybridkollektoren
- Zertifizierungsmessungen für konzentrierende Kollektoren
- Zertifizierungsmessungen für Flach- und Vakuumröhrenkollektoren
- Feldmessungen, Monitoring und in situ Zertifizierung
- Optimierungsbegleitende Hochpräzisionsmessungen (z. B. Solarsimulator)



1

TESTLAB SOLAR FAÇADES

GESCHÄFTSFELD GEBÄUDEENERGIETECHNIK

TestLab
Solar Façades



Im TestLab Solar Façades charakterisieren wir transparente, transluzente und opake Materialien, prüfen Fassadenbauteile und bewerten die energetischen, thermischen und optischen Eigenschaften von kompletten Fassaden. Dabei geht es sowohl um »passive« Fassadenbauteile wie Verglasungen und Sonnenschutzvorrichtungen, die klassische Funktionen wie Wärmeschutz, Sonnenschutz und Tageslichtbeleuchtung bieten, als auch um »aktive« Fassadenkomponenten, die Sonnenenergie in Strom oder Wärme umwandeln.

Akkreditierte Prüfungen für optische Werte, g-Wert und U-Wert

Das TestLab Solar Façades ist nach DIN EN ISO/IEC 17025:2005 für die messtechnische und rechnerische Prüfung von Transmission, Reflexion, g-Wert und U-Wert akkreditiert. Unsere Spezialität liegt bei der Prüfung von Objekten, die mit herkömmlichen Prüfmethoden oftmals nur unzureichend charakterisiert werden können, wie z. B. Bauteilen mit winkelabhängigem Verhalten, streuenden Materialien oder strukturierten und lichtlenkenden Elementen. Die Dienstleistungen des TestLab Solar Façades werden auch für Bereiche genutzt, die keinen Bezug zu Fassaden haben.

Gesamtenergetische Bewertung von passiven und aktiven Fassaden

Wir verfügen über umfangreiche Forschungserfahrung im Bereich der Sonnenschutzsysteme, der bauwerkintegrierten Photovoltaik (BIPV) und der bauwerkintegrierten Solarthermie (BIST). Wir sind spezialisiert auf die mathematische und physikalische Modellierung optischer, thermischer und PV-elektrischer Prozesse in sonnenbestrahlten Fassaden sowie auf die Analyse ihrer Effekte auf die energetischen Eigenschaften des Gebäudes.

Tageslichtnutzung und Blendungsbewertung

Goniometrisch ermittelte BSDF-Datensets (Bi-Directional Scattering Distribution Function) werden in Simulationsprogrammen zur Bewertung von Tageslichtnutzung und Blendung, z. B. für Büroräume mit komplexen Fenster- und Sonnenschutzsystemen, genutzt. Studien zu Nutzerpräferenzen und visuellem Komfort werden in drehbaren Tageslicht-Testeinrichtungen durchgeführt.

Kontakt

testlab-solarfacades@ise.fraunhofer.de

g-Wert Prüfung, U-Wert Prüfung

Dipl.-Ing. (FH) Ulrich Amann

Telefon +49 761 4588-5142

BIPV, Sonnenschutz

Dipl.-Phys. Tilmann Kuhn

Telefon +49 761 4588-5297

Solarthermische Fassaden

Dr.-Ing. Christoph Maurer

Telefon +49 761 4588-5667

Spektrometrie, Goniometrie,

SRI und Farbmessung

Dr. Helen Rose Wilson

Telefon +49 761 4588-5149

Tageslichtmessräume

Dr.-Ing. Bruno Bueno

Telefon +49 761 4588-5377

- Modellierung und Vermessung passiver und aktiver Fassadenelemente
- g-Wert-Teststände (winkelabhängig; indoor und outdoor)
- 3D-Goniometer zur BSDF-Bestimmung
- Große Ulbrichtkugeln für winkelabhängige Spektralmessungen

1 Scanning-Photogoniometer pgII für BSDF-Messungen.



TESTLAB POWER ELECTRONICS

GESCHÄFTSFELD ENERGIESYSTEMTECHNIK

TestLab
Power Electronics



Im TestLab Power Electronics, das nach DIN EN ISO/IEC 17025 akkreditiert ist, charakterisieren wir leistungselektronische Geräte bis in den Megawatt-Bereich. Hierfür stehen DC-Quellen mit einer Gesamtleistung von 1,4 MW zur Verfügung, die flexibel parametrierbar sind und das Verhalten von z. B. PV-Generatoren simulieren können. Für die Vermessungen stehen hochgenaue und hochdynamische Leistungsmessgeräte zur Verfügung. Für den Betrieb netzgekoppelter Umrichter bis zu 1,25 MVA Leistung können wir im Labor Spannungen in einem weiten Bereich, von 255 bis 790 V, zur Verfügung stellen. Des Weiteren können Netzfehler im Mittelspannungsnetz simuliert werden, um die dynamische Netzstützung von Erzeugungseinheiten zu untersuchen – das sogenannte Low Voltage Ride Through (LVRT) und High Voltage Ride Through (HVRT) Verhalten.

Zusätzlich bieten wir unseren Kunden Vermessungen im Feld an, etwa in großen PV-Kraftwerken. Hierfür können sechs Messsysteme mit je 16 Messkanälen im Feld frei verteilt eingesetzt werden. In unserem Testfeld in Dürbheim steht ein flexibel konfigurierbarer PV-Generator mit einer Leistung von 1 MWp zur Verfügung. Dieser kann für Tests an Wechselrichtern unter realen Bedingungen verwendet werden. Hierfür ist auch ein Netzanschluss sowohl nieder- als auch mittelspannungsseitig vorhanden.

Erzeugungseinheiten können wir nach internationalen Einspeiserichtlinien, z. B. für Deutschland, China oder Großbritannien, vermessen. Es können hochgenaue Messungen des Wirkungsgrads leistungselektronischer Geräte durchgeführt werden. Wir unterstützen unsere Kunden bei der Modellierung von Erzeugungseinheiten z. B. nach TR3 und erstellen dynamische Simulationsmodelle von PV-Kraftwerken oder Netzabschnitten. Sowohl in unserem Labor als auch im Testfeld führen wir Messkampagnen durch, die an die Kundenwünsche angepasst sind. Hierfür beraten wir unsere Kunden auch im Vorfeld und bieten bei Bedarf begleitende Simulationen an.

Kontakt

testlab-pe@ise.fraunhofer.de

Roland Singer M. Eng.

Telefon +49 761 4588-5948

LaboraAusstattung

- 1,4 MW DC-Quelle
- LVRT-Prüfeinrichtung bis 1 MVA
- Einstellbare Transformatoren (255–790 V / 1,25 MVA)
- 30 KW Dreiphasiger Netzsimulator

Testfeldausstattung

- 1 MWp PV-Freiflächentestfeld
- Mobiler 4,5-MVA-LVRT-Testcontainer
- Einstellbarer Transformator (264–1120 V / 1,25 MVA)

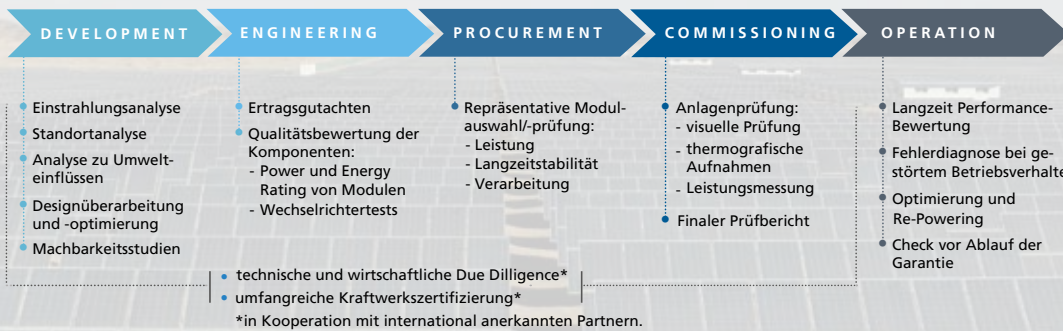
Messausstattung

- Hochpräzise Leistungsmessgeräte
- 60–5000 A Stromwandler

Simulationssoftware

- MATLAB®/Simulink®, PLECS®
- DIgSILENT PowerFactory

- 1 *Das Megawatt-Labor ermöglicht die hochpräzise Charakterisierung von netzgekoppelten Umrichtern hinsichtlich ihres Verhaltens am Netz.*
- 2 *Hochstromschienen (2.500 A).*



1

SERVICELAB PV POWER PLANTS

GESCHÄFTSFELD PHOTOVOLTAIK

PV-Kraftwerke im Multi-Megawatt-Bereich gewinnen international weiter an Bedeutung. Investoren, Projektentwickler und EPCs (Engineering, Procurement, Construction), ebenso Banken und Versicherungen müssen sich darauf verlassen können, dass ein Kraftwerk den prognostizierten Ertrag erbringt. Mit dem Fraunhofer ISE Qualitätszirkel bieten wir eine umfassende Qualitätssicherung in allen Phasen eines PV-Kraftwerkprojekts – von der Entwicklung bis zum laufenden Betrieb.

Bereits in der Planungsphase beraten wir unsere Kunden bei der Komponentenauswahl und dem Systemdesign. Dabei werden die unterschiedlichen Klimabedingungen am jeweiligen Standort berücksichtigt. Die Ergebnisse fließen auch in unsere international anerkannten Ertragsgutachten ein. Mit Hilfe selbstentwickelter Prüfprogramme, wie dem Quality Benchmarking und dem Procurement Check, untersuchen wir in unseren Labors TestLab und Callab PV Modules ausgewählte Module und Komponenten auf deren Qualität sowie deren Eignung für den geplanten Einsatz. Dadurch wird das Risiko für bekannte Fehlermechanismen bereits im Vorhinein stark reduziert.

Damit unsere Kunden sicher sein können, dass ihr Kraftwerk auch wirklich dem Stand der Technik entspricht und die versprochene Leistung erbringt, bieten wir eine umfangreiche Vollprüfung des gesamten Kraftwerks. Eine Vor-Ort-Analyse mit visueller Überprüfung, thermographischen Aufnahmen und tatsächlicher Leistungsermittlung gibt Aufschluss über die Qualität der Anlage und dokumentiert vorhandene Mängel. Hat eine PV-Anlage den Betrieb aufgenommen, ermitteln wir die tatsächliche Performance Ratio des Kraftwerks und vergleichen die Ergebnisse mit den Werten des Ertragsgutachtens. Durch die frühzeitige Erkennung eines nicht optimalen Betriebs ermöglichen wir den Kraftwerksbetreibern, rechtzeitig notwendige Korrekturmaßnahmen einzuleiten.

Kontakt

service.pvpowerplants@ise.fraunhofer.de

Dipl.-Ing. (BA) Boris Farnung
 Telefon +49 761 4588-5471
 Mobil +49 173 8929221

Anlagenprüfung
 Dipl.-Ing. Andreas Steinhüser
 Telefon +49 761 4588-5225

- »One-stop-shop« für Qualitätssicherung
- Mehr als 25 Jahre Erfahrung
- Zahlreiche Referenzprojekte weltweit
- Präzise und unabhängige Ertragsgutachten
- Qualitätsbewertung der Komponenten
- Technische Prüfung und Optimierung des Gesamtsystems nach Inbetriebnahme
- Fehlerdiagnose bei gestörtem Betriebsverhalten
- Unabhängige Leistungs- und Performancebewertung
- Optimierung und Re-Powering für bestehende Kraftwerke
- Degradationsanalyse

1 *Qualitätssicherung für alle Lebenszyklus-Phasen eines PV-Kraftwerks.*



SERVICELAB BATTERIES

GESCHÄFTSFELD ENERGIESYSTEMTECHNIK

Im ServiceLab Batteries prüfen wir auf einer Fläche von über 400 m² Batteriezellen und Module sowie komplette Batteriespeichersysteme auf Basis von z. B. Blei, NiMH, Lithium-Ionen sowie Hochtemperaturbatterien und Doppelschichtkondensatoren. Die Laborausstattung beinhaltet Batterietestsysteme und Impedanzspektrometer, mit denen nach Norm oder nach Kundenanforderung in der Klimakammer oder im Wasserbad getestet wird. Wir erstellen elektrische und thermische Batteriemodelle, validiert mit den Daten aus unserem Labor, die als Grundlage für die Systemsimulation und -integration dienen.

Für Alterungsuntersuchungen und Lebensdaueranalysen bieten wir mehrmonatige Langzeittests an. Dabei können Zellen und Systeme unter genau spezifizierten Bedingungen beschleunigt gealtert werden. Unsere Alterungsmodelle ermöglichen eine Prognose der Lebensdauer in der realen Anwendung.

Für die hochgenaue Untersuchung des thermischen Verhaltens von Batteriezellen steht ein Präzisionskalorimeter zur Verfügung. Dieses ermöglicht u. a. eine exakte Analyse der in der Zelle auftretenden Verlustleistung und dient als Basis für die Entwicklung eines optimalen thermischen Managements und für eine optimale Systemauslegung.

Für den Automotive-Bereich testen wir Batteriesysteme bis zu 250 kW bei Strömen bis zu 600 A und Spannungen bis zu 1000 V und können dabei die Systeme über eine CAN-Bus-Schnittstelle ansteuern.

Aktuell kommt eine Vielzahl von Heimspeichern für den Privatanwender sowie größere Batteriespeicher für den gewerblichen und industriellen Einsatz auf den Markt. Wir testen mit Solarsimulatoren und unserer Ausstattung an Wechselrichtern, elektronischen Lasten und Laderegeln diese elektrischen Speichersysteme in einer realitätsnahen Umgebung, sowohl in der netzgekoppelten als auch in der netzunabhängigen Anwendung.

Kontakt

service.batteries@ise.fraunhofer.de

Dipl.-Ing. Stephan Lux

Telefon +49 761 4588-5419

- Zell- und Systemtests
- Langzeituntersuchungen
- Thermische Untersuchungen (Kalorimetrie)
- Systemtests bis 250 kW
- Teststände für Heimspeichersysteme

1 *Innenansicht ServiceLab Batteries am Fraunhofer ISE.*



SERVICELAB SMART ENERGY

GESCHÄFTSFELD ENERGIESYSTEMTECHNIK

Wirtschaftlich zunehmend attraktive dezentrale Energieerzeuger, wie Elektrofahrzeuge, Wärmepumpen und elektrische Speicher erobern unsere Wohngebäude. Gleichzeitig führen Veränderungen in den energieregulatorischen Rahmenbedingungen zu neuen Betriebsstrategien, von der reinen Volleinspeisung hin zur Eigenversorgung mit lokalen netzdienlichen Regelungskonzepten. Das ServiceLab Smart Energy verfügt über eine vollständige Ausstattung an dezentralen Erzeugungstechnologien und Speichern zukünftiger Wohngebäude. Hierzu gehören ein Simulator für elektrische Lasten zur Einstellung sekundengenauer 3-phasiger Profile sowie ein PV-Simulator zur Bereitstellung einer sekundlich aufgelösten UI-Charakteristik für Wechselrichter. Über leistungsfähige Simulationsrechner wird der modellbasierte »Hardware-in-the-Loop«-Betrieb zur Bewertung von Systemreglern ermöglicht. So können innovative Systemkomponenten wie PV-Batteriesysteme und Wärmepumpen unter beliebigen dynamischen Szenarien für Last und Erzeugung im häuslichen Kontext bewertet werden.

Das ServiceLab Smart Energy verfügt über die gesamte Infrastruktur, die für Fragen der Systemintegration dezentraler Energiesysteme im Smart Grid erforderlich ist. Systemanbieter können sowohl Einzelsysteme als auch Gesamtkonzepte in einer realitätsnahen Umgebung testen, evaluieren und damit Geschäftsmodelle und Regler prüfen. Diese kundenspezifischen Untersuchungen beinhalten im Detail Performance-Analysen von neuartigen Strom-Wärme-Versorgungssystemen in einer realitätsnahen Systemumgebung, die Bewertung der Netzverträglichkeit von dezentralen Erzeugungssystemen, die Bewertung von PV-Batteriesystemen nach Effizienz und Netzverträglichkeit mit Hilfe beliebiger Referenzszenarien, die Bewertung von thermischen Speicherkonzepten in Bezug auf dezentrale Erzeugung, den Entwurf und das »Prototyping« intelligenter Betriebsführungskonzepte und vernetzter Regelungssysteme sowie die Implementierung von Prototypsystemen mit beliebigen Schnittstellen.

Kontakt

service.smartenergy@ise.fraunhofer.de

Dr.-Ing. Bernhard Wille-Haußmann

Telefon +49 761 4588-5443

- Simulator für elektrische Lasten zur Einstellung sekundengenauer 3-phasiger Profile
- PV-Simulator zur Bereitstellung einer sekundlich aufgelösten UI-Charakteristik für Wechselrichter
- Abbildung thermischer Last und Solarthermie durch rechnergestützte »Hardware-in-the-Loop«-Emulationen
- Teststand für alle gängigen Batteriespeichersysteme
- Vernetzte Ladestationen für die Integration von E-Fahrzeugen in den Haushaltsstromkreis
- Bewertung der System-Performance gegenüber Referenzszenarien durch ein umfangreiches Monitoring

1 *Innenansicht des ServiceLab Smart Energy.*

1

SERVICELAB LIGHTING AND DC APPLIANCES

GESCHÄFTSFELD ENERGIESYSTEMTECHNIK

Wir testen, prüfen und zertifizieren für Hersteller, Systemintegratoren und Anwender Leuchtmittel, Beleuchtungssysteme und Laderegler aller gängigen Technologien und Ausführungen. Unsere Laborausstattung ist speziell auf die Anforderungen von photovoltaisch versorgten LED-Beleuchtungssystemen ausgelegt. Netzversorgte Standard-Leuchtmittel und Leuchten können in unserem Labor ebenfalls vermessen werden. Im Vordergrund steht dabei immer das System, also Leuchtmittel mit elektronischer Ansteuerung, optischer Peripherie, Ladekontroll-Elektronik und elektrischer Speicher.

Charakterisierung

Wir führen präzise Messungen lichttechnischer Größen an Leuchtmitteln, Leuchten und Beleuchtungssystemen durch. Darunter fällt die Messung des Lichtstroms, der Lichtausbeute und der Beleuchtungsstärkeverteilung mit Hilfe goniometrischer Messverfahren, sowie Untersuchungen des lichttechnischen Betriebsverhaltens unter verschiedenen Umgebungsbedingungen (z. B. Änderung der Betriebsspannung und Umgebungstemperatur). Wir erfassen ebenfalls die elektrischen Eigenschaften von Betriebselektronik, Vorschaltgeräten und Laderegler wie Wirkungsgrad, Eigenverbrauch, Betriebsführungsverhalten und das Fehler- und Überlastverhalten.

Langzeittests

Für LED-Leuchtmittel und LED-bestückte Leuchten ermitteln wir die L70 bzw. L50 Lebensdauer bei verschiedenen Betriebsbedingungen. Mit Hilfe eines automatisierten Teststandes messen wir die erreichbare Beleuchtungsdauer (Autonomiezeit) von batterieversorgten Leuchten.

Zertifizierung nach verschiedenen Testnormen

Wir zertifizieren die Qualität photovoltaisch versorgter Beleuchtungssysteme nach IEC TS 62257-9-5 und IEC TS 62257-9-6 (Pico-PV-Systeme und Solar Home System Kits). Unser ServiceLab Lighting and DC Appliances ist eines von derzeit sechs weltweit von Lighting Global akkreditierten Testlaboren. Ein spezieller Teststand für Laderegler erlaubt die Charakterisierung von Laderreglern bis zu 80 A und 150 V nach IEC 62509.

Kontakt

service.lighting@ise.fraunhofer.de

Dipl.-Ing. (FH) Norbert Pfanner

Telefon +49 761 4588-5224

- Softwaregesteuerter Lichtmesstand mit einem Kugelphotometer mit 1,50 m Durchmesser
- Softwaregesteuertes Spektrometer zur automatisierten Messung der spektralen Lichtverteilung mit einem Kugelphotometer mit 1,0 m Durchmesser
- Goniophotometer zur Bestimmung der räumlichen Lichtstärkeverteilung
- Leuchtdichtekamera, Luxmeter und Langzeitteststände
- Breitbandige, präzise Wattmeter, Digitaloszilloskope
- Programmierbare, langzeitstabile Stromversorgungen
- Automatisierte Teststände zur Bestimmung der autonomen Leuchtdauer
- Automatisierte Teststände zur Charakterisierung elektrischer Speicher
- Teilautomatisierter Teststand zur Charakterisierung u. a. von Laderegler

1 *Kugelphotometer des Lichtlabors zur Erfassung des Lichtstroms und der Lichtausbeute sowie des Langzeitverhaltens von Lichtquellen und Leuchten.*



SERVICELAB FUEL CELLS

GESCHÄFTSFELD WASSERSTOFFTECHNOLOGIEN

Das Servicelab Fuel Cells bietet Messdienstleistungen für Brennstoffzellen-System- und -Komponentenhersteller. Wir charakterisieren und prüfen Membranbrennstoffzellen und -systeme normgerecht bis zu elektrischen Leistungen von 20 kW_{el}.

Unsere Charakterisierungen unterstützen die Stack- und Systemauslegung und ermöglichen die Optimierung der Betriebsstrategie je nach Anwendung und Einsatzbedingungen. Dabei ermöglicht unsere begehbare Klimakammer Untersuchungen von Brennstoffzellen-Stacks und -Systemen für alle Klimazonen der Welt. Für systemnahe Untersuchungen, auch ohne den Einsatz der Klimakammer, können wir Peripherie-Aggregate wie Pumpen, Lüfter, Ventile ansteuern. Inhomogenitäten im Stack identifizieren wir über simultanes Einzelzell-Monitoring hinsichtlich Zellspannung und Zellimpedanzspektrum.

Wir bieten Sicherheitsprüfungen zur elektrischen Sicherheit sowie Leckage-Tests an. Zur Auswahl von Komponenten und Materialien sind zusätzliche Charakterisierungen möglich. Den Test von Einzelzellen sowie von Zellkomponenten wie Gasdiffusionsanlagen, Elektroden und Membranen führen wir gemäß anerkannter, internationaler Testprotokolle durch. Dabei vermessen wir die Leistungsfähigkeit sowie die Langzeitbeständigkeit der Zellkomponenten. Zur in situ Analyse stehen uns neben der Aufnahme der Strom-Spannungskennlinie Messverfahren wie die elektrochemische Impedanzspektroskopie, Zyklovoltammetrie und Linear Sweep Voltammetrie zur Verfügung. Durch die Möglichkeiten zur Herstellung von Elektroden und Membranelektrodenheiten sind wir auch in der Lage, Materialien wie Katalysatoren oder Katalysatorträger in situ zu untersuchen.

Uns steht zudem eine Unterdruckkammer für die Simulation von Höhen bis 6000 m zur Verfügung. Zellkomponenten untersuchen wir hinsichtlich ihrer elektrochemischen Beständigkeit mit Hilfe eines 3-Elektroden-Aufbaus oder Auslagerungsversuchen.

¹ *Brennstoffzellen-Labor zum Test von Labor-einzelzellen und Brennstoffzellenkomponenten sowie Peripherieaggregaten.*

Kontakt

service.fuelcells@ise.fraunhofer.de

Dipl.-Ing. (FH) Thomas Jungmann

Telefon +49 761 4588-5213

- Brennstoffzellen-Teststände für Brennstoffzellen-Stack bis 20 kW_{el} bzw. 1000 A_{DC}
- Brennstoffzellen-Teststände für Einzelzellen und Zellkomponenten
- On-line-Einzelzellmonitoring mit EIS, HFR und CV von Brennstoffzellen-Stackeln
- Isolations- und Kurzschlussprüfungen für Brennstoffzellen-Stacks bis 5000 A_{DC}
- Leckage-Tests von Brennstoffzellen-Stacks
- Klimakammer mit 8 m³ Innenvolumen und Luftdurchsatz bis zu 2000 Nm³/h, Temperaturen von -50 °C bis +80 °C, relativen Feuchten von 10 % bis 95 % (ab +10 °C)
- Klimakammer mit 300 Liter Innenvolumen, Temperaturen von -40 °C bis +95 °C, relativen Feuchten von 10 % bis 95 % (ab +10 °C)
- Test von Peripherieaggregaten unter Wasserstoffbeaufschlagung und bei extremen Klimabedingungen
- Ex situ Komponententests zur elektrochemischen Langzeitbeständigkeit
- Analyse der Kontaktwiderstände von Materialien – in-plane und through-plane

SERVICELAB HEAT PUMPS AND CHILLERS

GESCHÄFTSFELD GEBÄUDEENERGIETECHNIK

Das ServiceLab Heat Pumps and Chillers bietet neueste Technik zur Entwicklung, Vermessung und Charakterisierung von Wärmepumpen und Kältemaschinen sowie deren Komponenten. Das modulare Prüfstandkonzept ermöglicht Tests verschiedener Technologien und Systemkonfigurationen in einem breiten Spektrum von Betriebsbedingungen mit verschiedenen Wärmeträgermedien (Luft, Wasser, Sole). Neben Anlagen mit einer elektrischen Anschlussleistung von bis zu 35 kW können auch thermisch angetriebene Geräte – Wärme, Erd- oder Prüfgas – vermessen werden. Das Labor verfügt über ein integrales Sicherheitskonzept, das den Aufbau und die Vermessung von Komponenten und Systemen mit brennbaren Kältemitteln oder Ammoniak erlaubt.

In einer kalorimetrischen Doppelklimakammer können Prüflinge bis zu 100 kW Wärme- oder Kälteleistung (50 kW im kalorimetrischen Betrieb) bei Temperaturen von -25 °C bis 50 °C und relativen Luftfeuchten von 25 % bis 95 % vermessen werden. Für die Konditionierung von Wasser oder Sole stehen mehrere Anlagen zu Verfügung, die das entsprechende Medium auf Temperaturen von -25 °C bis 95 °C im Leistungsbereich bis 40 kW bereitstellen können. In den drei Luftstrecken kann der Luftstrom (80 m³/h bis 5000 m³/h) im Temperaturbereich von -15 °C bis 50 °C bei relativer Luftfeuchtigkeit von 15 % bis 95 % konditioniert werden.

Die gesamte Mess- und Konditioniertechnik ist für Vermessungen nach allen gängigen Regelwerken geeignet. Darüber hinaus entwickeln wir mit unseren Partnern individuelle Messverfahren, die den Entwicklungs- und Optimierungsprozess von Geräten und komplexeren Systemen durch realitätsnahe, dynamische Prüfabläufe, inklusive Hardware-in-the-Loop, zeit- und kosteneffizient gestalten lassen.

Ergänzend werden auch komponentenspezifische Teststände konzipiert und betrieben, bei denen modernste Mess- und Analysetechnik für spezifische Fragestellungen aus den Bereichen Strömungsmechanik, Akustik, Vibrationen und Gasanalyse zum Einsatz kommt (z. B. Particle Image Velocimetry, Laser Doppler Anemometry, Shadowgraphie, Gaschromatographie).

Kontakt

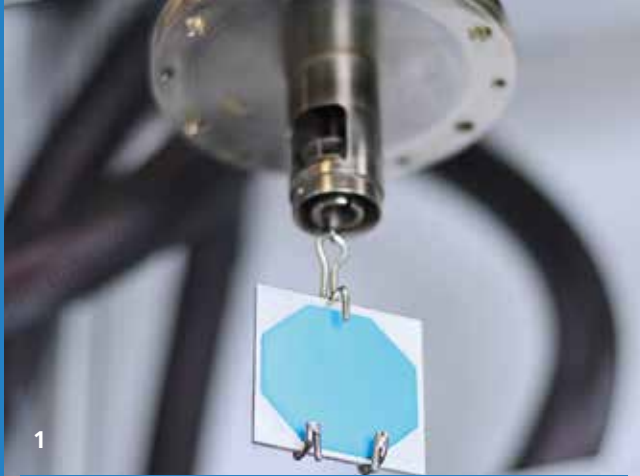
service.heatpumps@ise.fraunhofer.de

Dipl.-Ing. Ivan Malenković

Telefon +49 761 4588-5533

- Auslegung und Entwicklung von Komponenten und Systemen unter Anwendung spezialisierter Softwaretools
- Spezialisierte Komponentenprüfstände, z. B. für Kältemittelverteilung, Verdampfer oder Adsorber
- Akustische Messungen in Zusammenarbeit mit Fraunhofer IBP
- Vermessungen nach EN 14511, EN 14825, EN 16147, EN 12309 und anderen Normen
- Vermessungen nach VDI, EHPA, ErP, Eurovent und anderen Regelwerken und Reglements
- Unser Personal ist nach der F-Gase-Verordnung, Klasse I, zertifiziert
- Akkreditierung nach ISO/IEC 17025 für 2016 geplant

1 *Vorrichtung zur Vermessung der gemittelten Lufttemperatur und -feuchte in der Klimakammer.*



1

**SERVICELAB THERMOCHEMICAL
AND POROUS MATERIALS**
GESCHÄFTSFELD
GEBÄUDEENERGIETECHNIK

Das Servicelab Thermochemical and Porous Materials verfügt über vielfältige Analysemöglichkeiten zu Wärmeleitfähigkeit, Wärmekapazität, Kristallstruktur und Oberflächengruppen. Hierzu zählen die Analyse von porösen Materialien und Werkstoffen hinsichtlich innerer Oberfläche, Porenstruktur, Porosität und Morphologie sowie die Analyse der Adsorptionscharakteristik verschiedener Gase. Unsere Möglichkeiten umfassen Gassorptionsmessungen mit verschiedenen Prüfgasen (N₂, CO₂, Ethanol, Methanol, H₂O) zur Bestimmung der Adsorptionscharakteristik.

- Volumetrische und gravimetrische Sorptionsmessgeräte in breitem Temperaturbereich
- Vielfalt von Gasen / Sorptiven / Probenformen / Mess- und Analysemethoden
- In situ XRD und FT-IR mit Feuchtezyklus
- Wärmeleitfähigkeit von RT bis 500 °C
- Hydrothermale Stabilitätstests bis 50 000 Zyklen
- Makroporencharakterisierung durch Quecksilberintrusion
- Helium-Pyknometrie zur Dichtebestimmung
- Kalorimeter in unterschiedlichen Größen- und Temperaturbereichen
- Zwei Laser-Flash-Anlagen
- Licht- und Laserscanning Mikroskopie zur Bestimmung von Teilchenform und -größenverteilung, Rauigkeit und Homogenität von Oberflächen

1 *Thermowaage zur Bestimmung der Wasserdampfaufnahmekapazität großer Verbundproben in Abhängigkeit von Druck und Temperatur.*

Kontakt

service.thermolab@ise.fraunhofer.de

Dr. Stefan Henninger

Telefon +49 761 4588-5104



2

**SERVICELAB PHASE
CHANGE MATERIALS**
GESCHÄFTSFELD
GEBÄUDEENERGIETECHNIK

Wir testen und charakterisieren Phasenwechselmaterialien (PCM), aber auch andere Wärmespeichermaterialien bzw. Wärmeträgerflüssigkeiten von der Materialebene bis zum fertigen Produkt. Neben der Materialcharakterisierung in unseren Labors bieten wir die anwendungsnahe Untersuchung in Testständen an. So steht z. B. ein adiabater Testraum zur Verfügung, der zur Untersuchung von Heiz- und Kühlsystemen genutzt wird. Wir sind ein von der RAL Gütegemeinschaft PCM anerkanntes Prüfinstitut zur Vergabe des RAL Gütezeichens PCM, eines vom Fraunhofer ISE mitentwickelten Qualitätssiegels für Phasenwechselmaterialien und PCM-Produkte. Das ServiceLab Phase Change Materials bietet hierbei die vollständige Zertifizierung aus einer Hand.

- Zertifizierung nach RAL Gütezeichen PCM, GZ 896
- Thermische Charakterisierung mittels Heatflux oder Tian-Calvet DSC im Temperaturbereich -90 °C bis 800 °C
- Charakterisierung makroskopischer Proben bis 50 cm x 50 cm Fläche mit dynamischer Plattenapparatur
- Bestimmung des Fließverhaltens und der Viskosität mittels Rotationsrheometrie im Temperaturbereich von -20 °C bis 600 °C
- Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit mit Xenon-, Laser-Flash und Hitzdraht im Bereich von -50 °C bis 1200 °C
- Bestimmung der Dichte von Flüssigkeiten bis 100 °C
- Testen der thermischen Stabilität von PCM und PCM-Produkten bei Temperaturwechseln
- Monitoring von PCM-Systemen im Feld

2 *Apparatur zur thermischen Zyklisierung unterschiedlichster Proben.*

Kontakt

service.pcm@ise.fraunhofer.de

Dipl.-Ing. (FH) Thomas Haussmann

Telefon +49 761 4588-5351



**SERVICELAB AIR
HANDLING UNITS**
GESCHÄFTSFELD
GEBÄUDEENERGIETECHNIK

Wir untersuchen und charakterisieren Komponenten und Geräte der Lüftungs- und Klimatisierungstechnik. Dafür stehen uns drei Luftkonditionierungsstrecken zur Verfügung, die hinsichtlich Temperatur, Feuchte und Volumenstrom einen großen Leistungsbereich abdecken. Durch modularen Aufbau können die Luftstrecken entsprechend des Untersuchungsziels kombiniert werden. Sowohl reiner Zuluftbetrieb als auch Umluftbetrieb an den Prüflingen ist möglich, wobei zusätzlich eine drucklose Vermessung gewährleistet werden kann. Mit speziellen Aufbauten können auch kleine Prüflinge im Zentimetermaßstab bei weit reduziertem Volumenstrom untersucht werden. Sicherheitstechnisch relevante Untersuchungen werden in einer Einhausung durchgeführt, die über ein Gasdetektionssystem sowie eine Havarieabsaugung verfügt. Prüflinge können zusätzlich an Wasser- oder Solekreisläufe im ServiceLab Heat Pumps and Chillers angeschlossen oder in einer Klimakammer aufgestellt und untersucht werden.

- Volumenstrombereiche 80 bis 300 m³/h, 150 bis 1000 m³/h, 800 bis 5000 m³/h
- Heizleistung 2 bis 50 kW
- Kühlleistung 2 bis 15 kW
- Temperaturbereich -15 °C bis 50 °C
- Feuchtebereich 15 % bis 95 % rF
- Temperaturkonstanz ±0,3 K
- Befeuchtungsleistung 1 bis 40 kg/h

1 Eine der drei Luftkonditionierungsstrecken.

Kontakt

service.airhandling@ise.fraunhofer.de

Dr.-Ing. Alexander Morgenstern
Telefon +49 761 4588-5107



**SERVICELAB HEAT
EXCHANGERS**
GESCHÄFTSFELD
GEBÄUDEENERGIETECHNIK

Wir bieten verschiedene Möglichkeiten zur Charakterisierung und Bewertung von Wärmeübertragern und charakteristischen Strukturausschnitten. Ziel ist, Potenziale zur Effizienzsteigerung an Wärmeübertragern zu identifizieren und in gebäudetechnischen Anwendungen, wie z. B. elektrisch oder thermisch getriebenen Wärmepumpen, nutzbar zu machen. Hierfür steht eine umfangreiche Infrastruktur zur Verfügung, mit der sowohl komplette Wärmeübertrager als auch Detailelemente hinsichtlich ihrer Übertragungscharakteristik oder detaillierter Strömungsanalytik untersucht werden können. Für die genaue Analyse des Wärmetransports und der Wärmetransportlimitierungen setzen wir unterstützend auch Literaturdaten und Simulationswerkzeuge ein.

- Vermessung von luftbeaufschlagten Wärmeübertragern mit unterschiedlichen Fluiden (Wasser, Solen, Kältemittel)
- Größen bis zu 1,5 x 1,5 m² (berippte Länge / Höhe)
- Vermessung charakteristischer Strukturausschnitte (z. B. Lamellenausschnitte, Fluidverteilung)
- Vermessung der dynamischen / stationären Siede- und Adsorptionscharakteristik von Wasser im Niederdruck an Strukturausschnitten und Wärmeübertragern
- Hochaufgelöste, optische Strömungsanalysen
- Auslegung und Musterbau von Wärmeübertragern
- Einsatz von Simulationswerkzeugen (CFD / FES / Wärmeübertrager-Auslegungstools / Systemsimulationssoftware)

2 Gravimetrische Messung der Wasseraufnahme an Wärmeübertragern als Adsorber oder Verdampfer / Kondensator für Wasser im Niederdruckbereich.

Kontakt

service.heatexchangers@ise.fraunhofer.de

Dr.-Ing. Lena Schnabel
Telefon +49 761 4588-5412



STUDIE: WAS KOSTET DIE ENERGIEWENDE?

Mit dem Titel »Was kostet die Energiewende? Wege zur Transformation des deutschen Energiesystems bis 2050« stellte das Fraunhofer ISE 2015 eine Studie zu möglichen Pfaden und notwendigen Investitionen für die Energiewende in Deutschland vor. Prof. Dr. Hans-Martin Henning, der die Studie gemeinsam mit Andreas Palzer verfasst hat, präsentierte die Ergebnisse vor Mitgliedern verschiedener parlamentarischer Ausschüsse sowie in einem Pressegespräch am 5. November 2015 in Berlin.

Die modell-basierte Untersuchung erstreckt sich über alle Sektoren und Energieträger und analysiert detailliert, wie Deutschland seine Klimaschutzziele im Energiesektor – Reduktion der CO₂-Emissionen bis 2050 um mindestens 80 Prozent bezogen auf 1990 – durch Maßnahmen der effizienten Energienutzung und den Einsatz erneuerbarer Energien erreichen kann. Die Szenarien unterscheiden sich dabei hinsichtlich der in der Zukunft verwendeten Antriebskonzepte im Bereich der Mobilität, hinsichtlich des Umfangs der energetischen Sanierung von Gebäuden und hinsichtlich des Zeitpunkts, zu dem der Ausstieg aus der Nutzung von Kohle zur Stromerzeugung erfolgt. Außerdem werden unterschiedliche Zielwerte der Minderung energiebedingter CO₂-Emissionen, um 80 %, 85 % und 90 % bezogen auf den Referenzwert im Jahr 1990, betrachtet.

Bei allen Szenarien spielen fluktuierende erneuerbare Energien zur Stromerzeugung, also Windenergieanlagen und Photovoltaikanlagen, eine Schlüsselrolle in der zukünftigen Energieversorgung. Die geänderte Zusammensetzung der Energieerzeuger erfordert ein hohes Maß an Flexibilisierung in der Stromerzeugung ebenso wie in der Stromverwendung. Zugleich müssen über die klassischen auf Strom basierenden Anwendungen hinaus neue Stromanwendungen besonders im Bereich der Gebäude und des Verkehrs hinzukommen. Die Wärmeversorgung zeichnet sich dabei durch eine starke Elektrifizierung aus: Elektrische Wärmepumpen werden in

nahezu allen untersuchten Szenarien zur wichtigsten Technik für die Wärmebereitstellung in Einzelgebäuden. Solarthermie deckt in allen untersuchten Szenarien anteilig den Bedarf an Niedertemperaturwärme in Gebäuden und der Industrie. Signifikant positiv wirkt sich ein beschleunigter Ausstieg aus der Nutzung von Kohle zur Stromerzeugung bis zum Jahr 2040 auf das Erreichen der Klimaschutzziele im Bereich der Energieversorgung aus.

Die Kosten für die Transformation des Energiesystems werden für unterschiedliche Szenarien der Preisentwicklung für fossile Energieträger und weiterer externer Kosten, z. B. Preise für CO₂-Emissionen, untersucht. Bleiben die Preise für fossile Energieträger bis 2050 gleich und die Kosten für CO₂-Emissionen langfristig niedrig, so liegen die kumulativen Gesamtkosten für das kostengünstigste Szenario um rund 1100 Mrd. Euro, d. h. 25 %, höher als im Fall eines Weiterbetriebs des heutigen Energiesystems in unverändertem Zustand. Geht man allerdings von einer Erhöhung der Preise für fossile Energieträger um jährlich 3 % aus, dann bleiben die kumulativen Gesamtkosten für eine Transformation des Energiesystems praktisch gleich wie die Kosten für einen Weiterbetrieb des heutigen Systems, und dies bei gleichzeitiger Reduktion energiebedingter CO₂-Emissionen um 85 %.

Zentrales Werkzeug für die Erstellung der Studien ist das Fraunhofer ISE Simulations- und Optimierungsmodell »REModD« (Regenerative Energien Modell – Deutschland). Um neben der Umweltverträglichkeit und Wirtschaftlichkeit auch die Versorgungssicherheit zu betrachten, wird in diesem Modell eine zeitlich aufgelöste Simulation verwendet, innerhalb der zu jeder Stunde des Jahres alle Energiebedarfe sicher befriedigt werden.

www.ise.fraunhofer.de/was-kostet-die-energiewende



PREISE UND AUSZEICHNUNGEN

1 Preisverleihung SolarWorld Junior Einstein Award 2015, Dr. Holger Neuhaus, Vorsitzender der SolarWorld Einstein Award Jury (li), Preisträger Michael Rauer, Fraunhofer ISE (re).

2 Markus Löning, Menschenrechtsbeauftragter der Bundesregierung a. D., Dr. Manfred Vohrer, Vorsitzender des Freundeskreises Walter Scheel e.V., Preisträger James Shikwati, Direktor des Inter Region Economic Network, Kenia, Preisträger Prof. Dr. Eicke R. Weber, Institutsleiter Fraunhofer ISE, Prof. Dr. Dr. h.c. Karl-Heinz Paqué, Finanzminister Sachsen-Anhalt a. D., stellv. Vorstandsvorsitzender FNF (v.l.n.r.).

Dr. David Lackner, Dr. Peter Kailuweit, Dr. Simon Philipps, Dr. Andreas Bett; WCPEC – 6 Paper Award, »Potential for Reaching 50 % Power Conversion Efficiency Using Quantum Heterostructures«, 2014, Kyoto, Japan

Johannes Eisenlohr, »Rear Side Sphere Gratings - Improving Light Trapping in Crystalline Si Single-Junction and Si-Based Tandem Solar Cells«; Dr. Jonas Schön, »Identification of the Most Relevant Metal Impurities in mc n-Type Silicon for Solar Cells« und Martin Bivour »Alternative Contact Materials for Induced Junction Silicon Solar Cells«, Silicon PV Awards, März 2015, Konstanz

Andreas Hensel, Corentin Gasser, Christian Schöner, Thomas Niebling, Arne Hendrik Wienhausen und David Derix; Bester Posterbeitrag »Hocheffizienter und integrierter dreiphasiger Wechselrichter mit drei multifunktionalen DC-Eingängen zur Eigenverbrauchsoptimierung«, 30. Symposium Photovoltaische Solarenergie, März 2015, Bad Staffelstein

Enit IT Systems, Spin-off des Fraunhofer ISE, Hauptpreis im »Gründerwettbewerb – IKT Innovativ« des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi), CeBIT, März 2015, Hannover

Julian Schrof, »Ernst-Blickle Studienpreis 2014« der SEW-EURODRIVE-Stiftung für die Masterarbeit »Lokale Überkompensation von dotierten Bereichen mittels Ionenimplantation«, Mai 2015, Bruchsal

Stefan Gschwander, Thomas Haussmann, Georg Hagelstein, und andere, »Climator« Preis für das Paper »Standardization of PCM Characterisation via DSC«, IEA Konferenz »Greenstock«, Mai 2015, Peking, China

Michael Rauer, »SolarWorld Junior Einstein Award« für »Alloying from Screen-Printed Aluminum Pastes for Silicon Solar Cell Applications«, Intersolar Europe, Juni 2015, München

Florian Schindler, »Best Student Paper Award« für das Paper und den Vortrag »High Efficiency Multicrystalline Silicon Solar Cells: Potential of n-Type Doping« (Area 4: Silicon Material: Technology), 42nd IEEE PVSC, Juni 2015, New Orleans, USA

Edo Wiemken, Björn Nienborg; Bester Posterbeitrag »Storage Selection and Design for Increased PV Power Self-Consumption with Heat Pumps«, 6th International Conference Solar Air Conditioning, September 2015, Rom, Italien

Prof. Dr. Eicke R. Weber, »Walter-Scheel-Preis 2015« der Friedrich-Naumann-Stiftung für Freiheit und des Freundeskreises Walter Scheel für das Engagement für Solarenergie als Wirtschaftsfaktor, September 2015, Bonn

Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE »World Technology Award 2015« des World Technology Network (WTN) in der Kategorie »Energy« für die FuE-Arbeiten in der Konzentratorphotovoltaik (CPV), November 2015 New York City, USA



AUSGRÜNDUNGEN, NEUE STANDORTE

Neuer Standort für Speicher- und Wärmetransformationstechnologien

Schon seit seiner Gründung vor mehr als 30 Jahren ist das Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE sehr breit und komplementär und damit optimal für die zentralen Fragen der Energiewende aufgestellt. Systemische Aspekte und die Frage der Energiespeicherung zählten in Ergänzung zu solaren Technologien von Anfang an dazu. Zwei der Themen, die heute bei der Transformation unseres Energiesystems besonders im Fokus stehen sind Energiespeichertechnologien sowie effiziente Verfahren für die Wärme- und Kältebereitstellung. In diesen Bereichen hat das Fraunhofer ISE seine Aktivitäten an einem neuen Standort in der Auerstraße in Freiburg gebündelt und die Ausstattung deutlich erweitert. Am 2. Juli 2015 wurde das neue Zentrum für Speicher- und Wärmetransformationstechnologien in Anwesenheit von Vertretern mehrerer Bundesministerien sowie Repräsentanten aus der Industrie und Branchenverbänden offiziell eingeweiht.

Neue Labor- und Technikumsflächen gibt es für die Themen Batteriesysteme für Photovoltaik und Mobilität, Redox-Flow-Batterien, Wasserstoffherzeugung durch Elektrolyse, Hochtemperaturspeicher für die Solarthermie sowie Wärmepumpen und Kältemaschinen für den Antrieb mit Strom, Gas oder Wärme.

Neue Ausgründung: NexWafe GmbH

Um die Kosten von Solarmodulen weiter zu verringern, braucht die Photovoltaikindustrie neue, bahnbrechende Technologien. Vor diesem Hintergrund startete im Juni 2015 das Fraunhofer ISE Spin-off NexWafe GmbH mit dem Ziel, den am Fraunhofer ISE entwickelten Herstellungsprozess für epitaktisch gewachsene Wafer («kerfless wafer» Technologie) in die Produktion zu transferieren. NexWafe adressiert den mehrere Milliarden großen Markt für hochwertige Wafer. Die «kerfless wafer» Technologie basiert auf einem Epitaxie-Prozess und kann das konventionelle Herstellen und Sägen der Blöcke in

1 Teststand für Wasserelektrolyseure am neuen Standort Auerstraße in Freiburg.

2 Von NexWafe nach dem neuen Verfahren abgelöster Wafer (rechts), wiederverwendbares Substrat (links).

der Waferfertigung für Siliciumsolarzellen direkt ersetzen. Bei dieser Art der Waferproduktion wird der Material- und Energieeinsatz drastisch reduziert, was neben dem Kostenvorteil auch die Nachhaltigkeit der Solarmodule weiter erhöht. Gründer und CEO des Unternehmens ist Dr. Stefan Reber, zuvor Abteilungsleiter »Kristallines Silicium – Materialien und Dünnschichtsolarmodule« am Fraunhofer ISE. Die Ausgründung wird von Fraunhofer Venture unterstützt.

www.nexwafe.com

JB Instruments GmbH für Inkjet-Drucker in der Solarzellenproduktion

Bereits zu Beginn des Jahres erfolgte eine Ausgründung aus dem Bereich »PV Produktionstechnologie und Qualitätssicherung«. Daniel Biro, Abteilungsleiter »Thermische Prozesse, PVD und Drucktechnologie / Industrielle Zellstrukturen«, und Mike Jahn, als Ingenieur verantwortlich für Inkjet-Anlagen und -Prozesse, gründeten die Firma JB Instruments GmbH. Ziel des Unternehmens ist die Entwicklung innovativer Produkte im Bereich der Inkjet-Technologie. Im Fokus steht dabei die Weiterentwicklung von im technischen Bereich etablierten Inkjet- oder Tintenstrahl Druckern für die Verwendung mit funktionalen Medien und damit insbesondere für den Einsatz in der Solarzellenproduktion. Der Abschluss erster Lizenz- und Service-Verträge spricht für die Attraktivität dieser Produktentwicklung, die zu weiteren Kostensenkungen in der Solarzellenherstellung beitragen kann.

www.jbinstruments.de

NEUES LEISTUNGSZENTRUM NACHHALTIGKEIT IN FREIBURG

Im März 2015 ging das »Leistungszentrum Nachhaltigkeit« in Freiburg an den Start, eine langfristige strategische Allianz zur Förderung der Kooperation zwischen Universität Freiburg, Fraunhofer-Gesellschaft, Wirtschaft und Gesellschaft und damit ein neues, transdisziplinäres Forschungsnetzwerk für den Wissenschaftsstandort Freiburg. Aufbauend auf der bislang schon intensiven Kooperation zwischen den fünf Freiburger Fraunhofer-Instituten (EMI, IAF, IPM, ISE und IWM) und der Albert-Ludwigs-Universität steht es für multidisziplinäre Forschung und Lehre im Bereich Nachhaltigkeit und für die Entwicklung innovativer, nachhaltiger Produkte und Dienstleistungen in Zusammenarbeit mit der Industrie. Forschung und Entwicklung im Umfeld der erneuerbaren Energien wird eine der zentralen Säulen des Leistungszentrums sein.

Institut für Nachhaltige Technische Systeme (INaTech)

Das im Oktober 2015 neu gegründete »Institut für Nachhaltige Technische Systeme (INaTech)« an der Technischen Fakultät der Universität Freiburg bildet den ingenieurwissenschaftlichen Kern des Leistungszentrums Nachhaltigkeit. Im INaTech werden künftig die wissenschaftlichen und technologischen Stärken der Universität mit Forschungsaktivitäten der Freiburger Fraunhofer-Institute im Bereich makroskopischer technischer Systeme zusammengeführt und ausgebaut. Ziel der strategischen Weiterentwicklung der Universität Freiburg ist der Ausbau der ingenieurwissenschaftlichen Kompetenzen in enger Zusammenarbeit mit lokaler und überregionaler Industrie auf dem Gebiet der Nachhaltigkeit in der technischen Fakultät. Besonders die technologischen Herausforderungen im Kontext der Energiewende, der Mobilität von morgen sowie künftiger urbaner Lebensräume sollen dort adressiert werden.

Die Forschungsschwerpunkte des INaTech entsprechen den technologischen Themen des Leistungszentrums:

- Nachhaltige Werkstoffe
- Erneuerbare Energien
- Resilienz

Mit dem Aufbau des INaTech werden in den nächsten Jahren auch der durchgängig englischsprachige Bachelor- und Masterstudiengang »Sustainable Systems Engineering« eingeführt. Zugleich verbindet das Institut die Technische Fakultät eng mit den Fakultäten für Umwelt und Natürliche Ressourcen und für Chemie und Pharmazie, u. a. über die Masterstudiengänge »Sustainable Materials« und »Renewable Energy Engineering Management«.



Im Endausbau soll das INaTech bis zu 14 Professuren umfassen, die teilweise mit Leitungsfunktionen in den beteiligten Fraunhofer-Instituten verknüpft sind. Aus dem Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE hat Prof. Dr. Stefan Glunz, einen Ruf auf die W3-Professur »Photovoltaische Energiekonversion« erhalten, die er in Personalunion mit seiner Tätigkeit als Bereichsleiter »Solarzellen – Entwicklung und Charakterisierung« ausüben wird. Die Schwerpunkte der neuen Professur sind photovoltaische Bauelemente und Systeme. Zielsetzung ist die Weiterentwicklung von Solarzellen, die Analyse der zugrundeliegenden Materialeigenschaften und die Konzeption neuer Solarzellenstrukturen und Messmethoden.

Mit regelmäßig stattfindenden Netzwerkveranstaltungen bindet das »Leistungszentrum Nachhaltigkeit« die Akteure aus Wirtschaft und Gesellschaft in die laufenden Aktivitäten ein. Zu diesen Veranstaltungen zählt der jährlich stattfindende »Sustainability Summit« ebenso wie Kamingsgespräche, Recruiting Days und anderes mehr.

www.leistungszentrum-nachhaltigkeit.de

INTERNATIONALE VERNETZUNG



USA

- Fraunhofer Center for Sustainable Energy Systems CSE, Boston (Massachusetts)

Chile

- Center for Solar Energy Technology (CSET), Santiago
- Fraunhofer Chile Research, Santiago



USA, Golden (Colorado)

USA, Newark (Delaware)

USA, Berkeley (California)

Brasilien, Rio de Janeiro



USA

- CFV Solar Test Laboratory, Albuquerque (New Mexico)
- Georgia Institute of Technology, Atlanta (Georgia)
- Humboldt State University, Arcata (California)
- National Renewable Energy Laboratory NREL, Golden (Colorado)

Brasilien

- CTGAS-ER – Centro de Tecnologias do Gás e Energias Renováveis, Lagoa Nova – Natal/RN
- SENAI – DR/RN – Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial

Eine CO₂-freie globale Energieversorgung der Zukunft bedarf weltweiter Anstrengungen. Das Fraunhofer ISE ist daher über Außen- und Auslandsgeschäftsstellen (■), Memorandums of Understanding mit Forschungsinstitutionen weltweit (■) sowie nicht zuletzt durch die zahlreichen internationalen Gastwissenschaftler von Hochschulstandorten weltweit (■), die am Fraunhofer ISE forschen und ihre Expertise einbringen, global vernetzt. (●) Mit den beiden anderen weltweit führenden Solarforschungseinrichtungen bildet das Fraunhofer ISE die 2012 gegründete Kooperation Global Alliance of Solar Research Institutes (GA-SERI). Das Institut ist zudem in zahlreichen internationalen Gremien, Verbänden und Vereinigungen aktiv: www.ise.fraunhofer.de/de/ueber-uns/gremien

**Deutschland**

- Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE, Freiburg
- Labor- und Servicecenter Gelsenkirchen LSC, Gelsenkirchen
- Fraunhofer-Center für Silizium-Photovoltaik CSP, Halle/Saale
- Technologiezentrum Halbleitermaterialien THM, Freiberg

**Global Alliance of Solar Research Institutes (GA-SERI)**

- Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE, Freiburg
- National Institute of Advanced Industrial Science and Technology AIST, Tokio
- National Renewable Energy Laboratory NREL, Golden (Colorado)



- Algerien, Sétif**
- Deutschland, Karlsruhe**
- Italien, Alessandria**
- Norwegen, Trondheim**
- Österreich, Graz**
- Schweiz, Genf**
- Slovenien, Ljubljana**
- Spanien, La Laguna**

**Saudi Arabien**

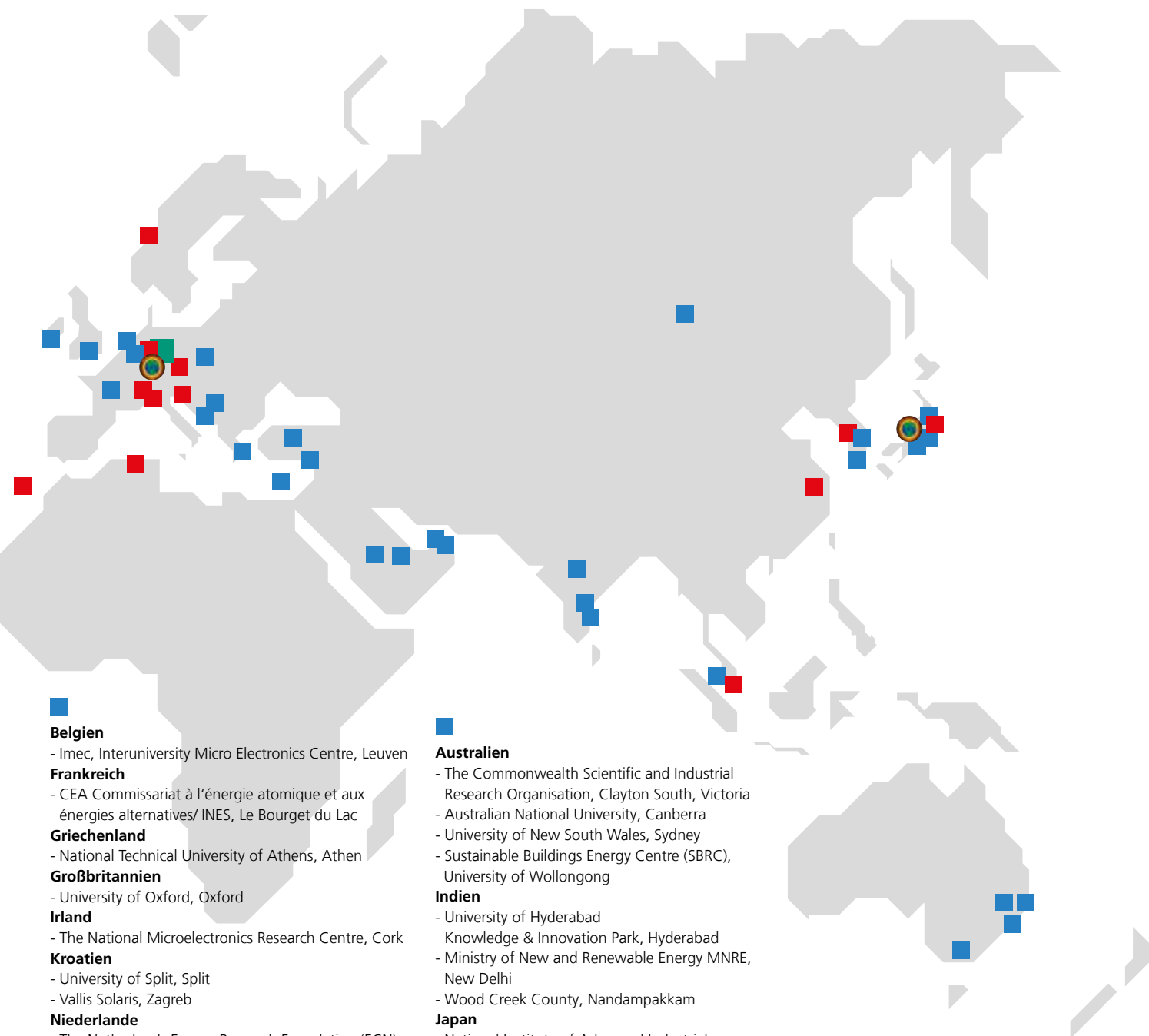
- ADECO, Riad
- King Abdullah City for Atomic and Renewable Energy, K.A.CARE, Riad

Südkorea

- Chonbuk National University Korea, Jeonju
- Seoul Metropolitan Government
- Korea University, Seoul
- Konkuk University, Seoul

Vereinigte Arabische Emirate

- IRENA, Abu Dhabi
- Masdar City Project, Abu Dhabi

**Belgien**

- Imec, Interuniversity Micro Electronics Centre, Leuven

Frankreich

- CEA Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives/ INES, Le Bourget du Lac

Griechenland

- National Technical University of Athens, Athen

Großbritannien

- University of Oxford, Oxford

Irland

- The National Microelectronics Research Centre, Cork

Kroatien

- University of Split, Split
- Vallis Solaris, Zagreb

Niederlande

- The Netherlands Energy Research Foundation (ECN), Petten

Polen

- Warsaw University of Technology and Institute of Electronic Materials Technology, Warschau

Türkei

- Middle East Technical University METU, Ankara
- University of Gaziantep, Gaziantep

Zypern

- The Cyprus Institute, Nikosia

**Australien**

- The Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation, Clayton South, Victoria
- Australian National University, Canberra
- University of New South Wales, Sydney
- Sustainable Buildings Energy Centre (SBRC), University of Wollongong

Indien

- University of Hyderabad Knowledge & Innovation Park, Hyderabad
- Ministry of New and Renewable Energy MNRE, New Delhi
- Wood Creek County, Nandampakkam

Japan

- National Institute of Advanced Industrial Science and Technology AIST, Tokio
- Präfektur Fukushima
- Inter-University Research Institute for Energy Technology, Ibaraki

Malaysia

- Universiti Kebangsaan Malaysia, Bangi

Mongolei

- National Renewable Energy Centre, Ulan Bator



- China, Nanjing**
- Japan, Tokio**
- Singapur, Singapur**
- Südkorea, Seoul**

PROFESSUREN UND PROMOTIONEN

Professuren

Prof. Dr. Stefan Glunz
Professur »Photovoltaische Energiekonversion«
Technische Fakultät
Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
Ernannt im Juni 2015

Promotionen

Fabien Coydon
»Holistic Evaluation of Conventional and Innovative Ventilation Systems for the Energy Retrofit of Residential Buildings«
KIT Karlsruher Institut für Technologie, 2015

Daniela Dirnberger
»Uncertainties in Energy Rating for Thin Film PV Modules«
Carl-von-Ossietzky Universität Oldenburg, 2015

Frank Feldmann
»Carrier-Selective Contacts for High-Efficiency Silicon Heterojunction Solar Cells«
Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, 2015

Katrine Flarup Jensen
»Methodology to Identify Critical Mechanisms in the Dye Solar Cell Related to the Degradation of Triiodide«
Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, 2015

Gerrit Földner
»Stofftransport und Adsorptionskinetik in porösen Adsorbenskompositen für Wärmetransformationsanwendungen«
Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, 2015

Aline Gautrein
»Low Temperature Metallization for Silicon Solar Cells«
Johannes-Gutenberg-Universität Mainz, 2015

Lena Geimer-Breitenstein
»Surface Analysis for High Efficiency Silicon Solar Cells«
Universität Konstanz, 2015

Christian Geisler
»Characterization of Laser Doped Silicon and Overcoming Adhesion Challenges of Solar Cells with Nickel-Copper Plated Contacts«
Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, 2015

Stefan Hess
»Low-Concentrating, Stationary Solar Thermal Collectors for Process Heat Generation«
De Montfort University, Leicester, UK, 2014

Oliver Höhn
»Winkelselektive Photonische Strukturen für eine Optimierte Strahlungsbilanz in Solarzellen«
Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, 2015

Rene Hönig
»Lumineszenz-Imaging Anwendungen in industrieller Fertigungsumgebung von Silicium-Solarzellen«
Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, 2015

Sven Roland Holinski
»a-Si:H, aSiO:H und $\mu\text{-Si:H}$ Schichten für Siliziumdünnschicht-solarzellen«
Ruhr-Universität Bochum, 2015

Felix Jeremias
»Synthesis and Characterisation of Metal-Organic Frameworks for Heat Transformation Applications«
Heinrich-Heine Universität Düsseldorf, 2015

Andre Kalio
»Study of Contact Formation Using Lead-free and Leaded Silver Model Pastes on Advanced Crystalline Silicon Solar Cells«
Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, 2015

Deepak Kaduwal
»Roll-to-Roll Processing of ITO-free Organic Solar Cells«
Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, 2015

Roman Keding
»IBC-BJ Solarzellen mit Bor-Emitter«
Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, 2015

René Kellenbenz
»Metallorganische-Gasphasenepitaxie von III-V-Mehrfachsolarzellen für die Konzentratoranwendung«
Universität Konstanz, 2015

Achim Kimmerle
»Entwicklung und Charakterisierung von rückseitig sammelnden und lokal kontaktierten Solarzellen mit Aluminium Emitter«
Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, 2015

Christoph Kost
»Renewable Energy in North Africa: Modeling of Future Electricity Scenarios and the Impact on Manufacturing and Employment«
Technische Universität Dresden, 2015

Achim Kraft
»Plated Copper Front Side Metallization on Printed Seed-Layers for Silicon Solar Cells«
Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, 2015

Elmar Lohmüller
»Transfer des Metal-Wrap-Through Solarzellen-Konzepts auf n-Typ Silicium«
Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, 2015

Andrew Mondon
»Nickel Silicide from Plated Nickel for High Adhesion of Fully Plated Silicon Solar Cell Metallization«
Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, 2015

Milan Padilla
»Spatially Resolved Characterization and Simulation of Interdigitated Back Contact Silicon Solar Cells«
Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, 2015

Regina Pavlovic
»Process Development for Crystalline Silicon Thin-Film Modules with Integrated Interconnection«
Universität Konstanz, 2015

Maximilian Pospischil
»Entwicklung eines Dispensiersystems mit Paralleldruckkopf zur kontaktlosen Vorderseitenmetallisierung von Siliciumwafern im industriellen Maßstab«
Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, 2015

Mohammad Reza Safizadeh
»Theoretical and Experimental Analyses of a Solar/Waste Heat Assisted Air-Conditioning System for Applications in Tropical Climates«
National University of Singapore, 2015

Kurt-Ulrich Ritzau
»Transportphänomene in amorph-kristallinen Silicium Hetero-Solarzellen«
Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, 2015

Subarna Sapkota
»Long-Term Stability of Organic Solar Cells«
Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, 2015

Florian Schindler
»Electrical Material Properties and Efficiency Limits of Compensated and Multicrystalline Silicon for Solar Cells«
Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, 2015

Manuel Schnabel
»Silicon Nanocrystals Embedded in Silicon Carbide for Tandem Solar Cell Applications«
University of Oxford, UK, 2015

Holger Seifert
»Kalibrierung von Dünnschichtsolarzellen«
Universität Konstanz, 2015

Alexander Vogel
»Konzepte für Speicher in thermischen Solarkraftwerken«
TU Braunschweig, 2015

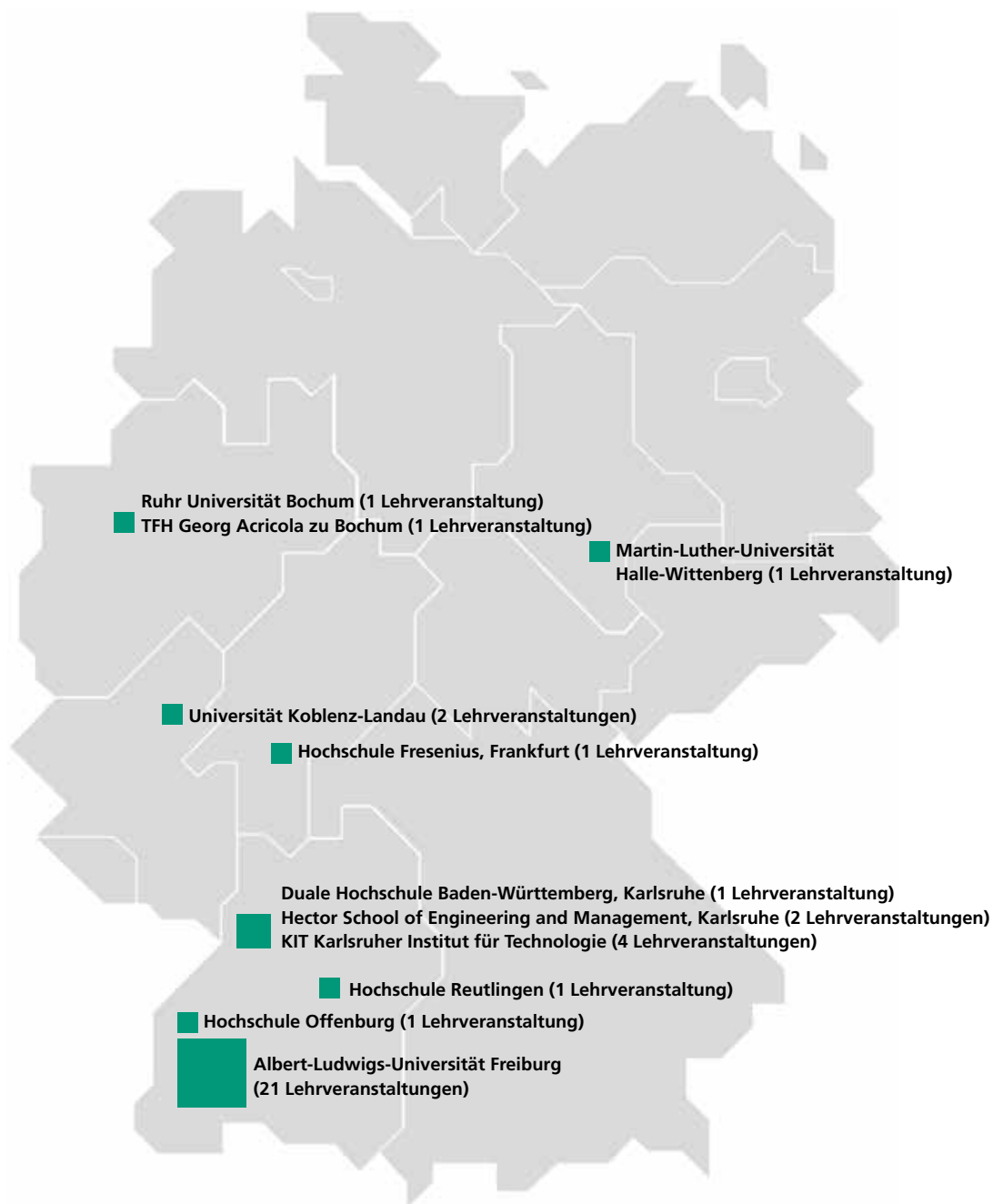
Bernd Weber
»Untersuchung der Material begrenzenden Einflüsse beim Multidrahtsägen von Silicium unter Verwendung gerader und strukturierter Drähte«
Technische Universität Bergakademie Freiberg, 2015

Kai Thomas Witte
»Experimentelle Untersuchungen zum Sieden in Metallfaserstrukturen im Bereich niederer Drücke«
Technische Universität Darmstadt, 2015

Erstbetreuer von Doktorandinnen und Doktoranden am Fraunhofer ISE sind: Prof. Dr. Peter Dold, Prof. Dr. Stefan Glunz, Prof. Dr. Adolf Goetzberger, Prof. Dr. Hans-Martin Henning, Prof. Dr. Joachim Luther, Prof. Dr. Hans-Joachim Möller, Prof. Dr. Roland Schindler, Prof. Dr. Eicke R. Weber, Prof. Dr. Gerhard Willeke und Prof. Dr. Christof Wittwer.

LEHRVERANSTALTUNGEN

Das Fraunhofer ISE ist eng mit Universitäten, Fachhochulen und anderen Forschungseinrichtungen vernetzt. Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des Fraunhofer ISE sind in verschiedenen Städten im akademischen Lehrbetrieb engagiert. So geben wir nicht nur Wissen und praktische Erfahrung an Studierende weiter. Die engen Verbindungen zur Lehre steigern auch die hohe Themenkompetenz des Instituts.



Eine genaue Übersicht über alle Lehrveranstaltungen, die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des Fraunhofer ISE anbieten, findet sich im Internet: www.ise.fraunhofer.de/vorlesungen-seminare

IMPRESSUM

Redaktion

Christina Lotz, Jutta Ottmann, Karin Schneider (Leitung)
Presse und Public Relations

Bildnachweise

Fraunhofer CSPIHalle S. 10 Abb. 2;
Fraunhofer CSE Boston S. 10 Abb. 3;
www.gtecz.de S. 39 Abb. 1;
BrightSource Energy S. 41 Abb. 1;
Zent-Frenger GmbH S. 46 Abb. 1;
shutterstock / crystal51 S. 56 Abb. 2;
BSW-Solar S. 60 Abb. 1;
iStock.com / jntvisual S. 72 Abb. 1;
SolarWorld S. 73 Abb. 1;
FNF-NRW S. 73 Abb. 2

Fotografen

Auslöser-Fotodesign Kai-Uwe Wudtke
S.1, S. 23, S. 27, S. 31, S. 37, S. 43, S. 49, S. 53
Joscha Feuerstein S. 48/49;
Guido Kirsch S. 11, S. 12/13, S. 45 Abb. 1,
S. 46 Abb. 2;
Werner Platzer S. 36/37, S. 40 Abb. 1;
Werner Roth S. 52/53;
Timo Sigurdsson S. 6, S. 15, S. 51 Abb. 1,
S. 62, S. 67, S. 70 Abb. 1, S. 70 Abb.2;
Alexander Wekkeli S. 22

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.
Bei Abdruck ist die Einwilligung der Redaktion erforderlich.

www.ise.fraunhofer.de/de/presse-und-medien

© Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE
Freiburg, 2016

VERANSTALTUNGEN 2016

MIT BETEILIGUNG DES FRAUNHOFER ISE

World Future Energy Summit, Abu Dhabi,
Vereinigte Arabische Emirate, 18.–21.01.2016

Zukünftige Stromnetze für Erneuerbare Energien,
Berlin, 26.–27.01.2016

12. SiliconFOREST Workshop, Feldberg-Falkau,
14.–17.02.2016

KONGRESS-Forum ElektroMobilität, Berlin, 01.–02.03.2016

Brandschutz und Wartung von PV-Anlagen, Kloster Banz,
Bad Staffelstein, 03.03.2016

6th International Conference on Crystalline Silicon
Photovoltaics and PV Workshop, Chambéry, Frankreich,
07.–09.03.2016

nPV Workshop, Chambéry, Frankreich, 09.–10.03.2016

2. Fachforum PV-Diesel-Hybrid-Systeme, Kloster Banz,
Bad Staffelstein, 08.03.2016

31. Symposium Photovoltaische Solarenergie, Kloster
Banz, Bad Staffelstein, 09.–11.03.2016

Energy Storage / Internationale Konferenz zur
Speicherung Erneuerbarer Energien (IRES), Düsseldorf,
15.–17.03.2016

The Terawatt Workshop, GA-SERI, Freiburg,
17.–18.03.2016

10. Entwicklerforum Akkutechnologien, Battery Uni-
versity, Aschaffenburg, 28.–30.03.2016

Berliner Energietage, 11.–13.04.2016

26. Symposium Thermische Solarenergie, Kloster Banz,
Bad Staffelstein, 20.–22.04.2016

12th International Conference on Concentrator Photo-
voltaics (CPV-12), Peking, China, 25.–27.04.2016

Hannover Messe Industrie, Hannover, 25.–29.04.2016

6. SOPHIA Workshop PV Module Reliability, Wien,
Österreich, 28.–29.04.2016

PCIM Europe, Nürnberg, 10.–12.05.2016

11th IIR Conference on Phase Change Materials,
Slurries for Refrigeration and Air Conditioning, Karlsruhe,
18.–20.05.2016

10th SNEC PV POWER EXPO 2016, Shanghai, China,
24.–26.05.2016

43th IEEE Photovoltaic Specialists Conference, Portland,
Oregon, USA, 05.–10.06.2016

13th International Conference on the European Energy
Market; Porto, Portugal, 06.–09.06.2016

Power Electronics for Photovoltaics, München,
20.–21.06.2016

Intersolar Europe / EU PVSEC 2016 / Electrical Energy
Storage, München, 22.–24.06.2016

Power Electronics for Photovoltaics, San Francisco,
USA, 11.07.2016

Intersolar North America, San Francisco, USA,
12.–14.07.2016

Solar Technologies & Hybrid Mini Grids to Improve
Energy Access, Frankfurt / Main, 21.–23.09.2016

World of Energy Solutions 2016 / f-cell 2016, Stuttgart,
10.–12.10.2016

SolarPACES Conference 2016, Abu Dhabi, Vereinigte
Arabische Emirate, 11.–14.10.2016

Sustainability Summit, Freiburg, 12.–13.10.2016

Berlin Conference on Energy and Electricity Economics,
Berlin, 13.–14.10.2016

8. eCarTec, München, 18.–20.10.2016