



Fraunhofer

ISE

FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR SOLARE ENERGIESYSTEME ISE



Jahresbericht

2016/17

Titel und Detail auf Seite 5:

Der weltweit sich rasant entwickelnde Photovoltaik-Markt erfordert eine immer effizientere und kostengünstigere Technologie. Um hocheffiziente PERC-Solarzellen in Serie herzustellen, entwickelten Dr. Jan Nekarda und Dr.-Ing. Ralf Preu den Laser Fired Contact (LFC)-Prozess, der sich einfach und kostengünstig in bestehende Produktionsprozesse der Hersteller von Solarzellen integrieren lässt. Sie wurden dafür mit dem Joseph-von-Fraunhofer-Preis 2016 ausgezeichnet.

Solarzellen werden heute in der Regel mit einem flächigen metallischen Kontakt versehen, um Strom zu gewinnen. Der Kontakt bedeckt dabei die gesamte Rückseite eines Siliciumwafers. Dies limitiert jedoch den Wirkungsgrad. Als leistungsfähigere Alternative ist seit 1989 die Passivated Emitter and Rear Cell-Technologie, kurz PERC, bekannt. Durch die Entwicklung des LFC-Prozesses ermöglichten die Fraunhofer-Forscher die erste industrielle Massenproduktion der PERC-Solarzelle. Auf der Unterseite einer PERC-Solarzelle wird zwischen Kontaktschicht und Wafer eine sehr dünne nicht-leitende Schicht abgeschieden. Diese dient als Spiegel und reflektiert den Anteil des Sonnenlichts, der beim Durchdringen des Wafers nicht absorbiert wurde, in die Siliciumscheibe zurück. Da dasselbe an der Vorderseite passiert, wird das Licht im Siliciumwafer gefangen und der Wirkungsgrad der Solarzelle steigt. Um den Strom aus dem Wafer ableiten zu können, sind viele kleine Öffnungen in der nicht-leitenden Schicht notwendig, durch welche ein Kontakt zwischen Elektrodenmetall und Siliciumwafer entsteht. Beim LFC-Verfahren werden diese etwa 100 000 Kontakte in einer Sekunde erzeugt – jeder der Kontakte durch einen einzelnen Laserpuls. Die so produzierten PERC-Solarzellen haben einen verbesserten Wirkungsgrad von 1 % absolut. Das sind circa 5 % relativ bei einem Solarzellenwirkungsgrad von heute etwa 20 %. Im System werden zusätzlich 2 % gewonnen, wodurch sich der gesamte Energieertrag um 7 % steigert.



Institutsleitung (bis 31.12.2016)

Prof. Dr. Eicke R. Weber

VORWORT

Nach gut zehn Jahren als Institutsleiter des Fraunhofer ISE verabschiede ich mich mit diesem Jahresbericht mit einem lachenden und einem weinenden Auge. Gerne lege ich die kommissarische Institutsleitung in die Hände meiner beiden bisherigen Stellvertreter, Prof. Hans-Martin Henning und Dr. Andreas Bett. Sie werden mit frischen Ideen an die wichtige Aufgabe herangehen, das Fraunhofer ISE in das nächste Jahrzehnt zu führen. Über die Zukunft des Instituts diskutieren wir gemeinsam auf Seite 10/11 dieses Jahresberichts.

Auf der anderen Seite – und dies ist das weinende Auge – hat mir die Aufgabe, dieses durch die Wirkung seiner Forschung auf die weltweite Transformation des Energiesystems einflussreiche Institut zu leiten, ausgesprochen Freude gemacht. Diese lag auch darin, die heute mehr als 1100 – in der Spitze 2012/13 sogar 1300 – Beschäftigten zu führen, die mit großem persönlichen Interesse an den Themen der Energiewende arbeiten und sich dafür mit viel kreativem Engagement einsetzen. Ein Beispiel für viele – und für den »ISE Spirit« – ist Prof. Bruno Burger, der als Leiter der Gruppe Leistungselektronik erkannte, dass es in Deutschland ein Defizit an verlässlichen Daten zur Situation der erneuerbaren Energien gab und parallel zu seiner Kernarbeit damit begann, die »Energy Charts« aufzubauen, die heute jährlich vieltausendfach im Internet heruntergeladen werden. Auch in den Sitzungen unseres Kuratoriums wurde uns immer wieder bestätigt, dass unsere Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter unser größter Schatz sind. Ich bin glücklich darüber, dass es uns trotz des gewaltigen Wachstums in den letzten Jahren gelungen ist, diesen kooperativen und durchaus auch idealistischen »ISE Spirit« zu erhalten: Wir wissen, wir arbeiten am Fraunhofer ISE nicht nur, um Geld zu verdienen, sondern es geht auch darum, die Transformation des Energiesystems hin zu einer effizienten Nutzung von schließlich nur noch erneuerbaren Energien technisch und finanziell möglich zu machen.

Um unseren Jahresbericht handlich und übersichtlich zu halten, haben wir uns im vorletzten Jahr entschlossen, Forschungsprojekte des Fraunhofer ISE nicht mehr einzeln darin darzustellen, sondern die Aktivitäten in den Geschäftsfeldern zusammenfassend vorzustellen und mit Links auf die zahlreichen Veröffentlichungen und Projektberichte zu verweisen, die sich auf unserer Website befinden. An dieser Stelle möchte ich der engagierten Arbeit unseres PR-Teams unter der Leitung von Karin Schneider meinen Dank aussprechen, die mich in den letzten zehn Jahren am Fraunhofer ISE so effektiv begleitet haben. Ich erkannte früh, dass die Außendarstellung für ein Institut unserer Größe sehr wichtig ist. Es gilt nicht nur in der Fachpresse, sondern auch in den allgemeinen Medien die Öffentlichkeit anzusprechen, deren Meinung letztendlich auch über die Themen der Forschungsförderung entscheidet. So habe ich unsere Außendarstellung immer mit den beiden Zielen gesehen, uns gegenüber unseren Auftraggebern, besonders auch der Industrie, vorzustellen, aber auch unsere Positionierung und Einschätzungen durch Interviews, Gastbeiträge und anderes Engagement im öffentlichen Raum zu vermitteln. Dazu gehört, dass das Fraunhofer ISE seit 2016 auch in den sozialen Medien aktiv ist, mit einem eigenen Wissenschaftsblog sowie in Facebook und Twitter. Wir freuen uns, über diese Kanäle und Ihre Kommentare, Likes und Posts mit Ihnen in Dialog zu treten.

Auch im Jahre 2016 konnten wir wieder eine Reihe von bemerkenswerten Highlights unserer Arbeit feiern. Dazu möchte ich besonders das 30jährige Jubiläum des international bestens renommierten Callab PV Cells zählen, aber auch das 10jährige Jubiläum unseres sehr erfolgreichen PV-TEC, das durch die Gründung des PV-TEC Select 2016 noch schlagkräftiger werden wird. Dr.-Ing. Ralf Preu und Dr. Jan Nekarda wurde durch die Verleihung des Joseph-von-Fraunhofer Preises für die Laser Fired Contact-Technologie LFC eine besondere Auszeichnung zuteil. Zudem freuen wir uns über eine weitere Professur am

Fraunhofer ISE durch die Honorarprofessur für Prof. Werner Platzer. Ich selbst freue mich über die Verleihung des Rudolf-Jäckel-Preises der Deutschen Vakuumgesellschaft.

Im März 2016 waren wir Gastgeber eines speziellen Workshops, der den Übergang der Photovoltaik in eine neue Phase, ins Terawatt-Zeitalter, thematisierte. Dazu konnten wir insbesondere auch die Fachkollegen der »Global Alliance of Solar Research Institutes« (GA-SERI) vom National Renewable Energy Laboratory NREL, USA, und National Institute of Advanced Industrial Science and Technology AIST, Japan in Freiburg begrüßen.

Das Fraunhofer ISE forscht nicht nur an Themen, die für den Übergang der Welt in eine nachhaltige Wirtschaft wichtig sind. Uns ist auch die Nachhaltigkeit unserer Arbeit selbst wichtig. Daher haben wir 2016 unseren ersten Nachhaltigkeitsbericht veröffentlicht. Dieses Thema werden wir in Zukunft regelmäßig aufgreifen.

Auch aus unserer Forschung gibt es 2016 viele erfreuliche Ergebnisse zu berichten. Mit einer Effizienz von 30,2 % haben wir die 30 %-Glasdecke für die Effizienz von Solarzellen basierend auf kristallinem Silicium durchbrochen. Dieser Erfolg wurde durch die Kombination einer III-V-Heterostruktur mit einer guten Si-Solarzelle möglich, die durch Wafer-Bonden vereinigt wurden, so dass diese Zelle monolithisch durch nur zwei Kontakte verschaltet werden kann. Auch zum Thema Konzentratoren-Photovoltaik gab es einen neuen Weltrekord: Wir hatten bereits 2015 einen Zell-Weltrekord für konzentrierende PV mit III-V-Heterostrukturen von 46 % erreicht, nun wird dieses Ergebnis durch einen Weltrekordwert von 43,4 % für ein Mini-Modul ergänzt.

Als eine seiner ersten Ideen hatte unser Institutsgründer Adolf Goetzberger »Agro-PV-Projekte« verfolgt, die kombinierte Nutzung von Land für Nutzpflanzen und Photovoltaik. Nach langem Anlauf konnte nun im September 2016 eine große Versuchsanlage auf der Demeter Hofgemeinschaft in Heggel-

bach in Betrieb genommen werden. Das Foto auf Seite 58/59 zeigt eine Ansicht dieser Anlage, mit der wissenschaftlich untersucht werden wird, inwieweit die PV-Ernte von Sonnenstrom den Wuchs von Nutzpflanzen unter einer PV-Anlage beeinflusst.

Eine Reihe weiterer Studien des Fraunhofer ISE erregte in diesem Jahr Aufmerksamkeit, z. B. eine Arbeit zu einem weltumspannenden Supergrid sowie eine weitere Studie zum Thema klimaneutraler Gebäudebestand 2050. Wir können auch über eine Anzahl neuer Kooperationen berichten, mit dem NREL in den USA zum Thema Wasserstoff und Brennstoffzellen, mit der französischen EDF Energies Nouvelles, mit Transnet Baden-Württemberg, sowie mit Bosch zum Thema Brennstoffzellen. Das Fraunhofer ISE ist auch neues Mitglied im »Climate Technology Centre & Network« geworden. Wie auf Seite 78 dieses Jahresberichts ausgeführt, konnten wir im Rahmen des Fraunhofer Zayed-Programms 2016 weitere Mittel für die Anschubfinanzierung von Projekten besonders in sich entwickelnden Ländern vergeben. Insgesamt wurden bisher bereits 28 derartiger Projekte gefördert.

Abschließend möchte ich mich mit ganz besonderem Dank von unseren Kuratoren unter dem Vorsitz von Herrn Voigtländer verabschieden. Die sehr konstruktiven Kuratoriums-sitzungen haben mir in den letzten zehn Jahren wertvolles Feedback gegeben. Interessante neue Aktivitäten sind direkt durch Diskussionen im Kuratorium angestoßen worden. Dazu kommt natürlich mein Dank an alle Firmenpartner und Mittelgeber im Land, Bund sowie der EU, welche die wirklich recht erfolgreichen zehn Jahre erst möglich gemacht haben. Ich selbst werde mit 67 Jahren noch einmal etwas Neues anpacken und mich den interessanten Aufgaben stellen, die mit der mir übertragenen Leitung der »Berkeley Education Alliance for Research in Singapore BEARS« ab 2017 auf mich zukommen.





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.

UNSERE MISSION

Das Institut entwickelt technische Lösungen zur 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 hin zur effizienten Nutzung von schließlich nur noch erneuerbaren Energien 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.

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

Vorwort	3	PHOTOVOLTAIK	16
Mission, Vision, Fundament	5	Einleitung	17
Organisationsstruktur	8		
Kuratorium	9	Silicium-Photovoltaik	18
Wechsel der Institutsleitung – Rückblick und Ausblick	10	Gespräch mit Dr.-Ing. Ralf Preu	
Fraunhofer-Gesellschaft	12	und Prof. Dr. Stefan Glunz	19
Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE	13	Ansprechpartner und ausgewählte Projekte 2016	20
Außenstandorte und Kooperationen	14	Multikristallines n-Typ Silicium für Solarzellen	21
Angebotsspektrum	15	Jenseits der Auger-Grenze – Siliciumbasierte Tandemsolarzellen	22
		Zehn Jahre PV-TEC und Einweihung PV-TEC Select	24
		III-V- und Konzentrador-Photovoltaik	26
		Einleitung	27
		Ansprechpartner und ausgewählte Projekte 2016	28
		Metal-Wrap-Through (MWT)-Mehrfachsolarzellen aus III-V-Halbleitern	29
		Neuartige Photovoltaik-Technologien	30
		Einleitung	31
		Ansprechpartner und ausgewählte Projekte 2016	32
		Niedrigtemperaturroute für Perowskitsolarzellen	33
		Photovoltaische Module und Kraftwerke	34
		Einleitung	35
		Ansprechpartner und ausgewählte Projekte 2016	36
		Neuer Teststand zur Charakterisierung bifazialer PV-Module	37
		SOLARTHERMIE	38
		Einleitung	39
		Ansprechpartner und ausgewählte Projekte 2016	40
		Zukunft des solaren Heizens	41
		Wärmeintegration in der Lebensmittelindustrie	42
		Prototyp eines Ein-Tank-Salzschesmelzspeichers	43



GEBÄUDEENERGIETECHNIK

Einleitung	44
Ansprechpartner und ausgewählte Projekte 2016	45
BIM für eine integrale Gebäude- und Anlagenplanung	46
Algorithmen zur Überwachung des Gebäudebetriebs	47
Hocheffiziente Adsorptions-Verbund-Systeme für die Energietechnik	48
Wärmepumpen – Komponenten, Geräte, Monitoring	49
PCM-Dispersionen über 20000 Zyklen stabil	50

WASSERSTOFFTECHNOLOGIEN

Einleitung	52
Ansprechpartner	53
Neues Verfahren senkt Emissionen in Verbrennungsmotoren	54
Membranelektrodeneinheiten für PEM-Brennstoffzellen	55
Analyse poröser Transportschichten in PEM-Elektrolysezellen	56

ENERGIESYSTEMTECHNIK

Einleitung	58
Ansprechpartner und ausgewählte Projekte 2016	59
Effizienz von Batteriesystemen	60
Lebensdauer von Batteriesystemen – Prognose und Optimierung	61
Innovative Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge	62
Kompakte und effiziente Leistungselektronik mit GaN- und SiC-Halbleitern	62
Stromspeicher wirtschaftlich betreiben	63

SERVICES

CallLab PV Cells	64
CallLab PV Modules	65
TestLab PV Modules	66
TestLab Solar Thermal Systems	67
TestLab Solar Façades	68
TestLab Power Electronics	69
ServiceLab PV Power Plants	70
ServiceLab Batteries	71
ServiceLab Smart Energy	72
ServiceLab Lighting and DC Appliances	73
ServiceLab Heat Pumps and Chillers	74
ServiceLab Fuel Cells	75
ServiceLab Thermochemical and Porous Materials	76
ServiceLab Phase Change Materials	76
ServiceLab Air Handling Units	77
ServiceLab Heat Exchangers	77
28 Projekte im »Fraunhofer-Zayed-Programm«	78
Preise und Auszeichnungen	79
Nachwuchsförderung und Alumni-Arbeit	80
Lehrveranstaltungen	81
Professuren und Promotionen	82
Internationale Vernetzung	84
Impressum	86
Veranstaltungen Ausblick 2017	88



ORGANISATIONSSTRUKTUR

Die Organisationsstruktur des Fraunhofer ISE gliedert sich neben Business Administration, Facility Management 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
- Gebäudeenergietechnik
- Wasserstofftechnologien und
- Energiesystemtechnik

Das Leitungsteam bestand bis zum 31.12.2016 aus Prof. Dr. Eicke R. Weber, Dr. Andreas Bett, Prof. Dr. Hans-Martin Henning, Dr. Sonja Reidel und Jochen Vetter. Ab dem 01.01.2017 besteht es aus Prof. Dr. Hans-Martin Henning, Dr. Andreas Bett, 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).

V. l. n. r.: Dr. Andreas Bett, Stellvertretender Institutsleiter und Geschäftsfeldkoordinator »Photovoltaik« bis 31.12.2016 und kommissarischer Institutsleiter ab 01.01.2017; Jochen Vetter, Verwaltungsleitung – Facility Management; Karin Schneider, Leiterin Presse und Public Relations; Prof. Dr. Eicke R. Weber, Institutsleiter bis 31.12.2016; Prof. Dr. Hans-Martin Henning, Stellvertretender Institutsleiter sowie Geschäftsfeldkoordinator »Gebäudeenergietechnik« bis 31.12.2016 und kommissarischer Institutsleiter ab 01.01.2017; Dr. Sonja Reidel, Verwaltungsleitung – Business Administration.

Institutsleitung

Prof. Dr. Eicke R. Weber

bis 31.12.2016

Prof. Dr. Hans-Martin Henning (kommissarisch)

☎ +49 761 4588-5134 · ab 01.01.2017

Dr. Andreas Bett (kommissarisch)

☎ +49 761 4588-5257 · ab 01.01.2017

Stellvertretende Institutsleitung

Prof. Dr. Hans-Martin Henning

bis 31.12.2016

Dr. Andreas Bett

bis 31.12.2016

Verwaltungsleitung – Business Administration

Dr. Sonja Reidel ☎ + 49 761 4588-5668

Verwaltungsleitung – Facility Management

Jochen Vetter ☎ + 49 761 4588-5214

Presse und Public Relations

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

Energiepolitik

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

Das Kuratorium begutachtet die Forschungsprojekte und berät die Institutsleitung und den Vorstand der Fraunhofer-Gesellschaft bezüglich des Arbeitsprogramms des Fraunhofer ISE (Stand: 31. Dezember 2016).

KURATORIUM

VORSITZENDER

Dr. Carsten Voigtländer

Vaillant Group, Remscheid

STELLVERTRETENDER VORSITZENDER

Dr. Hubert Aulich

SC Sustainable Concepts GmbH, Erfurt

MITGLIEDER

Oliver Baudson

TSK Flagsol GmbH, Köln

Dr. Klaus Bonhoff

NOW GmbH, Nationale Organisation Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie, Berlin

Ullrich Bruchmann

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi), Berlin

Dr. Christian Buchner

Schmid Technology Systems GmbH, Freudenstadt

Ministerialdirigent Martin Eggstein

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

Daniel Etschmann

Kreditanstalt für Wiederaufbau, Frankfurt

Hans-Josef Fell

Energy Watch Group (EWG), Hammelburg

Burkhard Holder

VDE Prüf- und Zertifizierungsinstitut GmbH, Offenbach

Dipl.-Ing. Helmut Jäger

Solvis GmbH & Co. KG, Braunschweig

Ministerialdirigent Günther Leßnerkraus

Ministerium für Finanzen und Wirtschaft Baden-Württemberg, Stuttgart

Sylvère Leu

Meyer Burger Technology AG, Gwatt, Schweiz

Dr. Dirk-Holger Neuhaus

SolarWorld Innovations GmbH, Freiberg

Dr.-Ing. Norbert Pralle

Ed. Züblin AG, Stuttgart

Dr. Klaus-Dieter Rasch

AZUR SPACE Solar Power GmbH, Heilbronn

Prof. Leonhard Reindl

Albert-Ludwigs-Universität, Freiburg

Prof. Dr. Frithjof Staib

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

Dr. Norbert Verweyen

RWE Effizienz GmbH, Dortmund

Prof. Andreas Wagner

Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Karlsruhe



WECHSEL DER INSTITUTSLEITUNG – RÜCKBLICK UND AUSBLICK

Im Gespräch (v. l. n. r.): Prof. Dr. Eicke R. Weber, Institutsleiter 01.07.2006 bis 31.12.2016 mit Prof. Dr. Hans-Martin Henning und Dr. Andreas Bett, kommissarische Institutsleiter ab 01.01.2017

Weber: Ich hatte großes Glück, Institutsleiter des Fraunhofer ISE in einer der spannendsten Phasen der Geschichte der Solarbranche weltweit zu sein. 2006 wurden ein paar 100 MW Photovoltaik-Leistung jährlich installiert, heute sind es 60 GW. Die rasante Entwicklung ermöglichte uns, den Betriebshaushalt von 25 Mio auf 75 Mio Euro zu steigern und von 500 auf über 1100 Mitarbeitende zu wachsen. Wir haben durch technologischen Fortschritt viele Meilensteine und Rekordwirkungsgrade erreicht, wie 46 % bei den Konzentratorsolarzellen, 99 % bei Wechselrichtern und kürzlich die Glasdecke von 30 % für eine Silicium-basierte Mehrfachsolarzelle durchschlagen. Institutsintern habe ich strukturelle Veränderungen vorgenommen, indem aus einer Photovoltaik-Abteilung vier sich hervorragend entwickelnde PV-Bereiche wurden. Meine persönliche Politik war es, bewusst Verantwortung zu delegieren, um ein dynamisches Wachstum des Instituts angesichts der stürmischen Marktentwicklung zu ermöglichen. Dazu zählte auch die Umstellung von Abteilungen auf Bereiche, mit großer Eigenverantwortung bei deren Leitern. Dies war meines Erachtens das Geheimnis der großen Dynamik des Fraunhofer ISE in den letzten zehn Jahren.

Henning: Ich stimme Ihnen vollkommen zu, sehe aber zugleich, dass wir viele weitere Systemkomponenten benötigen, um die Energiewende voranzubringen, so z. B. Speicher, Effizienztechnologien, Solarthermie u. a., an denen das Fraunhofer ISE arbeitet und deren Bedeutung in den nächsten Jahren deutlich steigen wird. Insofern werden neben dem weiterhin wichtigen Standbein Photovoltaik viele andere Technologiefelder eine wachsende Rolle spielen. Sei es die Batterietechnik, die Leistungselektronik oder die Herstellung von Was-

serstoff mit den verschiedenen nachgelagerten Technologien wie der Rückkonversion von Wasserstoff in Strom in Brennstoffzellen oder die Weiterkonversion mit Kohlendioxid in gasförmige oder synthetische Energieträger. All diese Themen bearbeiten wir schon lange, aber erst jetzt erhalten sie richtig Bedeutung. Wir müssen hier dafür sorgen, dass wir als Fraunhofer-Institut mit vorne dabei sind, wenn es um die wirtschaftliche Umsetzung und nachhaltige Marktentwicklung geht.

Weber: Ja, und das Tolle ist, dass das Fraunhofer ISE schon seit seiner Gründung richtig aufgestellt ist, da das Themenspektrum bereits in den 80er Jahren angelegt wurde – eine großartige Leistung unserer Vorgänger. Dies erlaubt dem Institut eine flexible Anpassung an die Markterfordernisse. Insgesamt geht der Zug in Richtung Ersatz der fossilen und nuklearen Energieträger durch erneuerbare Energien. Das wird passieren, die Frage ist, wie schnell und in welchem Land. Und für mich – und auch die neue Institutsleitung – wird es eine große Herausforderung sein, dafür zu sorgen, dass wir weiterhin an der Spitze dieser Entwicklung bleiben, dass wir uns das nicht wegnehmen lassen. Denn die Technologien haben wir. Der Markt ist zwar in Deutschland geschrumpft, aber in der ganzen Welt wächst er. Diese Aufgabe gilt natürlich nicht nur für die Forschung, sondern auch für Politik und Industrie.

Henning: Ich glaube, daran können wir bestens anknüpfen. Ich denke, wir haben noch Chancen, die wir heben können, indem wir unsere wissenschaftlichen Bereiche, die in der Tat sehr selbstständig unterwegs sind, noch besser vernetzen. Gerade bei den systemischen Themen wird es darauf ankommen, die verteilten Kompetenzen zusammen zu führen, um große Fragestellungen, die sich nicht auf eine Technologie begrenzen, adressieren zu können. Hier hat das Fraunhofer ISE sehr viel zu bieten. Insofern wird es eine der Aufgaben für die neue Institutsleitung sein, Wege und Instrumente zu finden, um die interne Vernetzung noch mehr zu stärken.



Bett: Aber auch die Photovoltaik hat noch sehr viel zu bieten. Wir sind für den nächsten Schritt hervorragend aufgestellt. Was kommt nach der Siliciumsolarzelle? Die Antwort ist Mehrfachsolarmodulen mit höheren Wirkungsgraden zu niedrigeren Kosten. Kein Institut weltweit hat bessere Voraussetzungen, diese Herausforderungen anzugehen. Herr Weber hat schon den Rekordwirkungsgrad von 46 % mit Mehrfachsolarmodulen auf Basis der III-V-Halbleiter genannt. Auch im Silicium haben wir mit der TopCon-Technologie aktuell mit 25,3 % den höchsten Wirkungsgrad für eine beidseitig kontaktierte Solarzelle. Wir werden beide Technologieansätze zusammenbringen. Hinzu kommen die Entwicklungen beim Perowskit-Material und der Umsetzung der Solarmodulen im Modul. Wir haben hier noch sehr viel zu entwickeln und in die industrielle Umsetzung zu bringen. Die FuE-Arbeiten bei der PV sind noch nicht am Ende. Daher investieren wir und bauen gerade ein Zentrum für höchsteffiziente Solarmodulen mit optimierter Reinraumausstattung. Es bietet uns die Möglichkeit, in der Effizienz- und Kostenoptimierung noch weiter zu kommen. Kompetenzen, die wir im PV-Bereich aufgebaut haben, transferieren wir in andere Technologiethemata. So haben wir durch unsere Erfahrungen in der PV-Produktionstechnologie sehr viel zum Thema Batterien zu bieten und können einen guten Beitrag zur international sehr aktiven Batterieforschung leisten.

Henning: Das ist richtig, und dann sollten wir natürlich nicht die Gebäudethemen vergessen. Gebäude benötigen gut ein Drittel der Endenergie Deutschlands – dort ist enorm viel zu holen, sowohl im Bereich der Gebäudehülle als auch bei der Haustechnik. Bei der Gebäudehülle stellt sich die Frage, wie wir Effizienz kostengünstiger machen können, aber auch, wie wir sie als aktive Energiewandler verwenden können. In der Haustechnik ist die Herausforderung, den verbleibenden Energiebedarf mit erneuerbaren Energien zu decken, bspw. indem Wärmepumpen – die nach Möglichkeit erneuerbaren Strom verwenden – optimal und zugleich systemdienlich eingesetzt werden. All dies sind Themen, an denen das Fraunhofer ISE seit vielen Jahren arbeitet und deren Bedeutung wächst. Insofern sind wir technologisch wirklich gut aufgestellt. Wir

können aber noch mehr tun im Bereich der Energiesystemanalyse und der Energiesystemtechnik.

Weber: Ganz genau – dort haben Sie, Herr Henning, ja selbst hervorragende Arbeit geleistet mit der Untersuchung des deutschen Energiesystems »REMoD-D«, mit der Analyse modellhafter Pfade zur Umsetzung der Energiewende, einschließlich detaillierter Kostenbetrachtungen. Das ist ein wundervolles Beispiel, wie der Übergang zur neuen Institutsleitung – basierend auf den Stärken, die in den letzten Jahren entwickelt wurden – neue Chancen bietet. Ich glaube, in den kommenden Jahren wird das Fraunhofer ISE eine führende Stellung zum Thema Energiesystemanalyse einnehmen.

Bett: Und dies durchaus international, denn weltweit passiert ja derzeit mehr als in Deutschland. So werden wir sicherlich in den nächsten Jahren auch eine stärkere Internationalisierung unserer Arbeit sehen. Wichtige Signale dafür sind z. B. die beim Weltklimagipfel in Marrakesch von zahlreichen Entwicklungsländern geäußerten Absichten, bis 2040 ihre Energieversorgung zu 100 % aus erneuerbaren Energien zu bestreiten. Letztendlich muss es uns gelingen, mit unseren Angeboten die Wirtschaft und die Kunden weltweit zu bedienen und zu zeigen, was wir beitragen können.

Henning: Dabei verlieren wir nicht aus dem Blick, dass für uns die deutsche Wirtschaft äußerst wichtig ist. Meines Erachtens werden die Chancen, die für die deutsche Industrie darin liegen, eine federführende Rolle bei der Entwicklung von Technologien für den Umbau unserer Energiesysteme – in Deutschland und global – zu übernehmen, viel zu wenig gesehen.

Weber: Und ich kann Ihnen versprechen, dass für mich die Fraunhofer-Verbindung bestehen bleibt. Ich werde als Professor der UC Berkeley Direktor der »Berkeley Education Alliance for Research in Singapore BEARS«, eines Programms von Berkeley und der National University of Singapore, bei dem es besonders um Energiewendethemen geht. Da werde ich die Kompetenzen des Fraunhofer ISE nicht vergessen.



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 67 Institute und Forschungseinrichtungen. 24 000 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, überwiegend mit natur- oder ingenieurwissenschaftlicher Ausbildung, erarbeiten das jährliche Forschungsvolumen von mehr als 2,1 Milliarden Euro. Davon fallen über 1,8 Milliarden Euro auf den Leistungsbereich Vertragsforschung. Mehr als 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.

Ihren Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern bietet die Fraunhofer-Gesellschaft die Möglichkeit zur fachlichen und persönlichen Entwicklung für anspruchsvolle Positionen in ihren Instituten, an Hochschulen, in Wirtschaft und Gesellschaft. Studierenden eröffnen sich aufgrund der praxisnahen Ausbildung und Erfahrung an Fraunhofer-Instituten hervorragende Einstiegs- und Entwicklungschancen in Unternehmen.

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 Das Gebäude der Fraunhofer-Gesellschaft in München.

FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR SOLARE ENERGIESYSTEME ISE

Das 1981 in Freiburg im Breisgau gegründete Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE ist mit mehr als 1100 Mitarbeitenden das größte Solarforschungsinstitut in Europa. Es schafft technische Voraussetzungen für eine effiziente und umweltfreundliche Energieversorgung, sowohl in Industrie- als auch in Schwellen- und Entwicklungsländern. Mit den Forschungsschwerpunkten Energiegewinnung, Energieeffizienz, Energieverteilung und Energiespeicherung trägt es zur breiten Anwendung neuer Technologien bei.

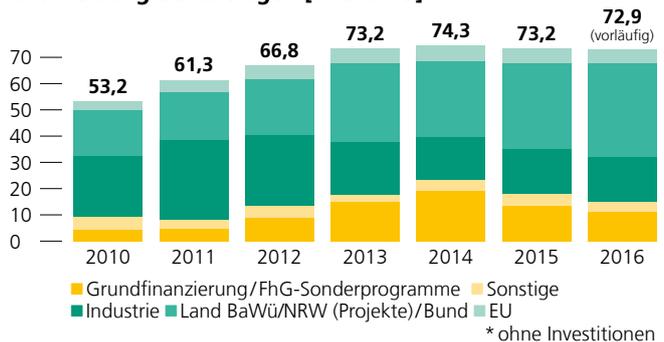
Zusammen mit Kunden und Partnern aus Wirtschaft, Politik und Gesellschaft entwickelt das Fraunhofer ISE konkret umsetzbare technische Lösungen. In seinen fünf Geschäftsfeldern erforscht und entwickelt das Institut Materialien, Komponenten, Systeme und Verfahren. Das Institut bietet auch Prüf- und Zertifizierungsleistungen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

Die Finanzierung erfolgt zu rund 84 % durch Aufträge in den Bereichen angewandte Forschung, Entwicklung und Hochtechnologie-Dienstleistungen. Das Institut ist in nationale und internationale Kooperationen wie dem Forschungsverbund Erneuerbare Energien (FVEE) und der Association of European Renewable Energy Research Centres (EUREC) eingebunden.

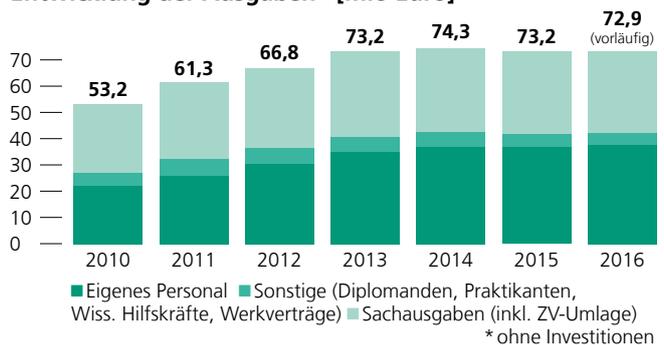
Die Finanzstruktur der Fraunhofer-Gesellschaft unterscheidet zwischen dem Betriebs- und dem Investitionshaushalt. Der Betriebshaushalt umfasst alle Personal- und Sachaufwendungen sowie deren Finanzierung durch externe Erträge und institutionelle Förderungen. Im Jahr 2016 betrug der Betriebshaushalt 72,9 Mio Euro. Darüber hinaus tätigte das Institut Investitionen in Höhe von 8,2 Mio Euro (ohne Bauinvestitionen und Konjunkturprogramme).

Zum 31.12.2016 beschäftigte das Fraunhofer ISE insgesamt 1163 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter. Darunter waren u. a. 124 Promovierende, 115 Diplomanden, 20 Gastwissenschaftler, 33 Praktikanten und 250 wissenschaftliche Hilfskräfte.

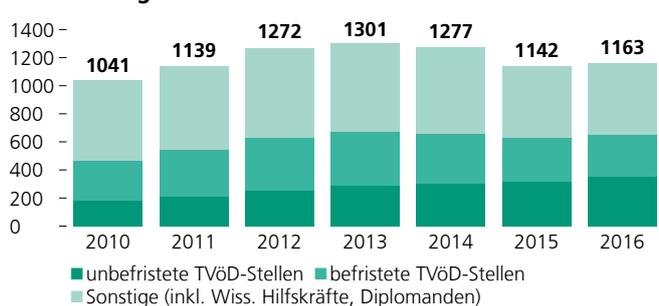
Entwicklung der Erträge* [Mio Euro]



Entwicklung der Ausgaben* [Mio Euro]



Entwicklung der Mitarbeiterzahlen





AUSSENSTANDORTE UND KOOPERATIONEN

Neben dem 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 gegründete Fraunhofer ISE Labor- und Servicecenter LSC ist spezialisiert auf produktionsnahe Prozessentwicklung zur Herstellung von Silicium-Dünnschicht-, von Silicium-Hetero- und von multikristallinen Siliciumsolarzellen. Es verfügt über zwei hervorragend ausgestattete Technologiebereiche und über umfangreiche Messtechnik zur Charakterisierung von Schichten und Solarzellen.

Fraunhofer-Center für Silizium-Photovoltaik CSP

Das Fraunhofer-Center für Silizium-Photovoltaik CSP in Halle/Saale ist eine gemeinsame Einrichtung des Fraunhofer-Instituts für Mikrostruktur von Werkstoffen und Systemen IMWS in Halle 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 in Freiburg – eine umfassende Technologieplattform für industrierelevante Kristallisationsprozesse unter Verwendung neuester, produktionsnaher Anlagen.

Technologiezentrum Halbleitermaterialien THM

Das Fraunhofer THM in Freiberg beschäftigt sich mit der Herstellung von kristallinen Werkstoffen sowie der Vereinzelung des hergestellten Grundmaterials. Dabei unterstützt es Firmen im Rahmen von Industrieaufträgen und öffentlich geförderten Projekten auf den Gebieten der Materialpräparation, -bearbeitung und -charakterisierung einschließlich Kristallzüchtung, Scheibenherstellung sowie Epitaxie und bei Hilfsstofffragen. Das Fraunhofer THM wird seit 2005 als gemeinsame Abteilung der beiden Fraunhofer-Institute IISB und ISE betrieben.

Fraunhofer Center for Sustainable Energy Systems CSE

Das Fraunhofer Center for Sustainable Energy Systems CSE ist 2008 in Boston 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)

Das Centro para Tecnologías en Energía Solar (Fraunhofer Chile Research – Center for Solar Energy Technology FCR-CSET) bietet Forschungs- und Beratungsleistungen für die chilenische Solarwirtschaft und Politik an. 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

1 *Centro para Tecnologías en Energía Solar (FCR-CSET) in Santiago de Chile.*

2 *Fraunhofer-Center für Silizium Photovoltaik CSP in Halle/Saale.*



Das Fraunhofer ISE betreibt anwendungsorientierte Forschung und Entwicklung für zukunftsrelevante Schlüsseltechnologien im Bereich erneuerbarer Energien. Das Institut ist thematisch breit aufgestellt und verfolgt einen ganzheitlichen, systemischen Ansatz. So erzielen wir maximale Synergieeffekte zwischen den Geschäftsfeldern des Instituts.

ANGEBOTSSPEKTRUM

GESCHÄFTSFELDER

Photovoltaik (Seite 16)

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

Solarthermie (Seite 38)

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

Gebäudeenergie-technik (Seite 44)

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

Wasserstofftechnologien (Seite 52)

- Thermochemische Prozesse
- Wasserstoffherzeugung durch Elektrolyse
- Brennstoffzellensysteme

Energiesystemtechnik (Seite 58)

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

FuE-LEISTUNGEN

Durch unsere Forschungsaktivitäten entwickeln wir neue Produkte, Verfahren oder Dienstleistungen und optimieren Bestehende. Dafür findet das Institut zukunftsweisende technische Lösungen bzw. transferiert Technologien aus Wissenschaft und Forschung in Wirtschaft und Gesellschaft. Als Partner der Industrie orientiert sich das Institut an den Bedürfnissen der Kunden und leistet einen Beitrag zu deren wirtschaftlicher Wertschöpfung. Unternehmen ohne große eigene FuE-Abteilung erhalten durch die Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer ISE Zugang zu hochleistungsfähiger Laborinfrastruktur und exzellenten Forschungsleistungen. Wir setzen FuE-Projekte 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:

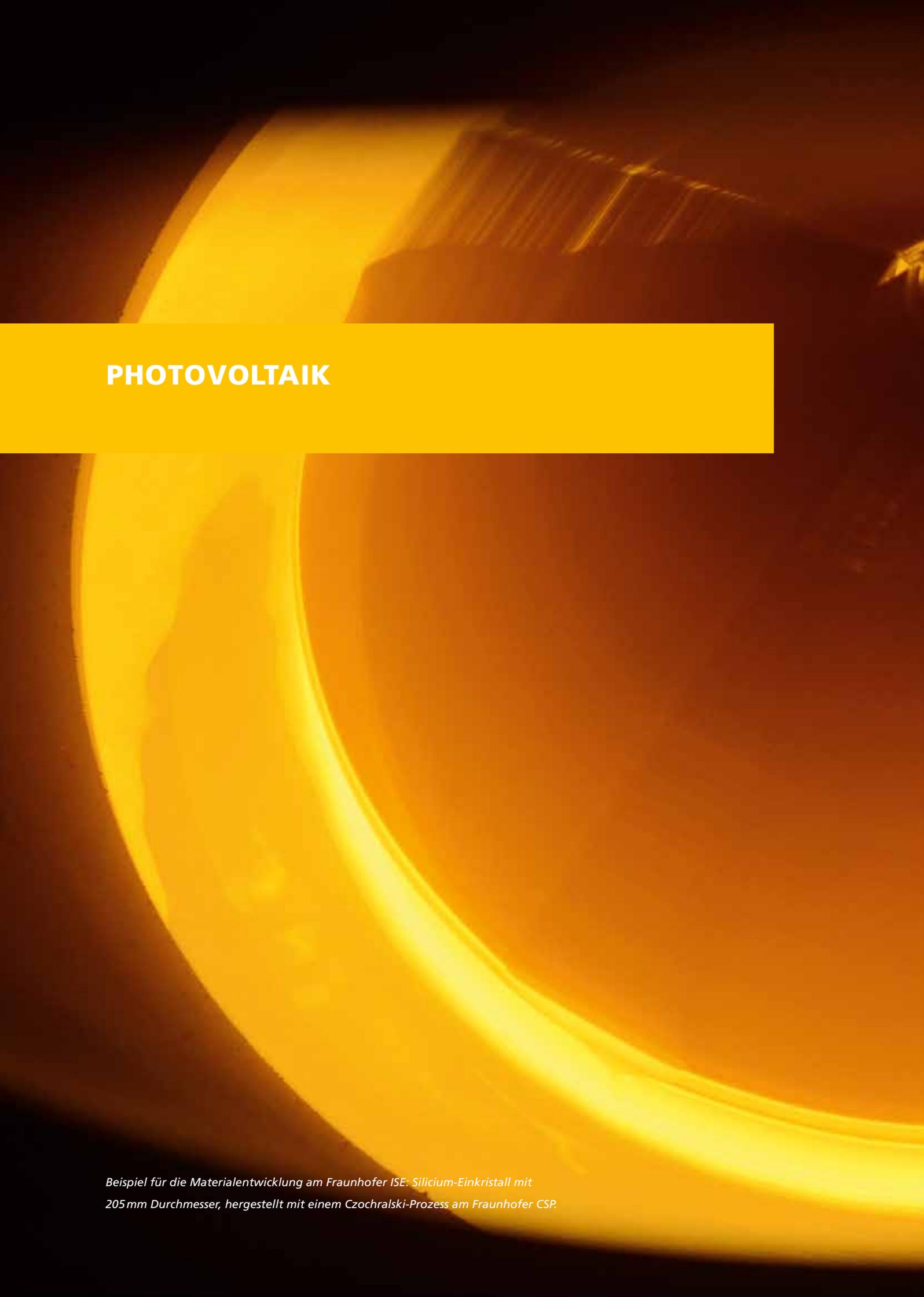
-  Neues Material/Verfahren
-  Prototyp/Kleinserie
-  Patent/Lizenz
-  Software/Anwendung
-  Messtechnische Analyse/Qualitätssicherung
-  Beratung/Planung/Studie

SERVICE-LEISTUNGEN (Seite 64)

Ergänzend zu den Forschungs- und Entwicklungstätigkeiten verfügt das Fraunhofer ISE über 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.

¹ Hauptgebäude des Fraunhofer ISE in Freiburg.

* Die Projektberichte in den Geschäftsfeldkapiteln sind nach diesem Schema klassifiziert.



PHOTOVOLTAIK

*Beispiel für die Materialentwicklung am Fraunhofer ISE: Silicium-Einkristall mit
205 mm Durchmesser, hergestellt mit einem Czochralski-Prozess am Fraunhofer CSP.*



Die Photovoltaik-Technologie ist eine zentrale Säule für die Transformation unseres Energiesystems hin zu erneuerbaren und nachhaltigen Quellen. 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 schnelle Wachstum des weltweiten Photovoltaikmarkts. So wurde 2015 weltweit eine Nominaleistung von insgesamt 59 GW installiert, was einer Steigerung um 35 % im Vergleich zum Vorjahr entspricht. In Deutschland wurden allerdings lediglich 1,4 GW installiert und damit ca. 26 % weniger als noch 2014. Die Photovoltaikbranche vermeldet nach Jahren überschüssiger Produktionskapazität wieder verbesserte Betriebsergebnisse und Investitionsbereitschaft. Dabei zeichnet sich ein Trend zur Fertigung von hocheffizienten Solarzellenstrukturen und zu steigenden Qualitätsmaßstäben ab. Das Fraunhofer ISE ist dafür mit seinem Forschungsangebot sehr gut aufgestellt und unterstützt die Industrie mit FuE-Arbeiten und neuen Konzepten.

Der Schwerpunkt der FuE-Arbeiten am Fraunhofer ISE liegt auf der Silicium-Photovoltaik (Seite 18). Kristallines Silicium dominiert mit einem Anteil von über 90 % des weltweiten Photovoltaik-Umsatzes nach wie vor den Markt. Trotz des hohen Reifegrads dieser Technologie zeigen aktuelle Entwicklungen, dass in diesem Technologiezweig noch zahlreiche Innovationen möglich und auch 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, Prozess- und -Produktionstechnologien, Modultechnologie und -prüfung sowie mit Qualitätssicherung – um nur einige Beispiele zu nennen. Dabei decken wir Technologiereifen von der Demonstration von Rekordsolarzellen bis hin zur Pilotierung und dem Transfer in die

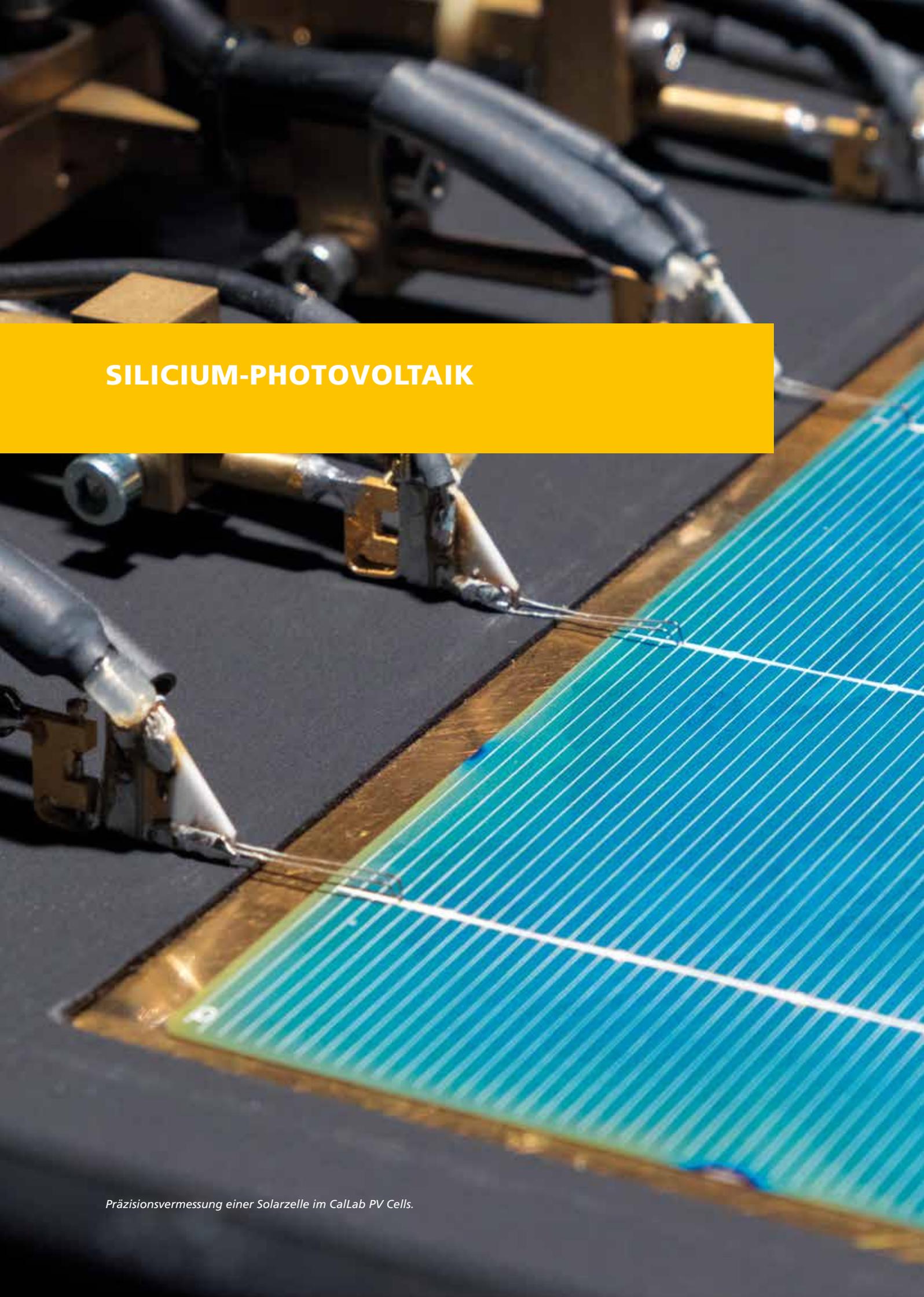
industrielle Umgebung ab. An der Technologie der Silicium-Photovoltaik – vom Material bis zum Modul und bei der Qualitätssicherung bis hin zur Kraftwerksebene – arbeiten im Institut ca. 430 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter.

Einen weiteren Schwerpunkt im Photovoltaik-Bereich bildet am Fraunhofer ISE das Geschäftsfeldthema III-V- und Konzentrador-Photovoltaik (Seite 26), für das rund 60 Mitarbeiter tätig sind. Ihr Ziel ist u. a. höchsteffiziente Solarzellen auf Basis der III-V-Halbleiter weiter zu entwickeln. Wir sind stolz, hier den aktuellen Wirkungsgradweltrekord 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 Entwicklung von III-V- und Si-basierten Konzentradorzellen bearbeiten wir alle weiteren notwendigen Komponenten (Optik, Modul, Steuerung der Nachführung, Messtechnik), wie auch alle systemischen Fragen.

Die Kombination der Si- und III-V-Expertise am Fraunhofer ISE ist ein Alleinstellungsmerkmal und wird genutzt, um siliciumbasierte Tandemsolarzellen zu entwickeln: Dabei konnten wir einen Rekordwirkungsgrad von über 30 % erreichen und haben somit das fundamentale physikalische Limit von 29,4 % für einfache Silicium-Solarzellen bereits überschritten. Neben der Kombination mit III-V ist auch die Kombination mit Perowskiten eine sehr interessante Option für siliciumbasierte Tandemsolarzellen.

Schließlich umfasst das Geschäftsfeld Photovoltaik auch neue Technologiethemata und Zukunftskonzepte (Seite 30). Darunter fasst das Fraunhofer ISE Technologien wie Organische, Farbstoff-basierte und 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 und photonische Strukturen.

SILICIUM-PHOTOVOLTAIK



Präzisionsvermessung einer Solarzelle im CaLab PV Cells.



Gespräch mit

Dr.-Ing. Ralf Preu ✉ ralf.preu@ise.fraunhofer.de

Prof. Dr. Stefan Glunz ✉ stefan.glunz@ise.fraunhofer.de

Mitarbeiter gesamt	325
Zeitschriften- und Buchbeiträge	64
Vorträge und Konferenzbeiträge	55
Erteilte Patente	24

www.ise.fraunhofer.de/silicium-photovoltaik

Welche aktuellen technologischen Trends sollte die deutsche Solarbranche nutzen?

Preu: Aufgrund der asiatischen Dominanz in der Massenproduktion sollten wir uns auf Märkte fokussieren, in denen wir technische Alleinstellungsmerkmale haben. Der Wirkungsgrad als zentraler Parameter der Stromgestehungskosten ist in der PV entscheidend. Die deutsche Solarbranche ist ausgezeichnet aufgestellt, um die nächsten Generationen höhereffizienter Solarzellen und Module zu entwickeln. Zudem bieten Technologien zur Herstellung von Höchsteffizienz-Zellen-Geräteherstellern eine wichtige Differenzierungsmöglichkeit.

Wie ist die LFC-Technologie einzuordnen, für die Sie, Herr Preu, zusammen mit Dr. Jan Nekarda 2016 einen Joseph-von-Fraunhofer-Preis erhielten?

Preu: Laser-Fired-Contact war lange die greifbarste Technologie zur Rückseitenstrukturierung von PERC-Solarzellen. Sie ermöglichte die industrielle Einführung auf multikristallinem Silicium und ebnete den Weg für die Massenfertigung. Durch die LFC-Technologie ist es nun möglich, die Rückelektrode kostengünstiger und effizienter mit Aluminiumfolie statt mit aluminiumhaltigem Pulver herzustellen. Wir entwickeln derzeit mit Partnern einen ersten industrietauglichen Prototypen.

2016 wurde das Jubiläum »30 Jahre CalLab PV Cells« begangen. Welche Services bietet das Labor?

Glunz: Die exakte Kalibrierung von Solarzellen ist ein Service, den weltweit nur eine Handvoll Labors anbieten und der daher immer schon stark nachgefragt war. Seit 1986 gehen hochgenau vermessene Referenzsolarzellen von Freiburg in die ganze Welt. Hersteller und Forscher können damit Leistungswerte wirklich vergleichbar machen. Heute kalibrieren 30 Mitarbeitende etwa 2500 Solarzellen und 5000 Solarmodule pro Jahr.

Sie haben 2016 auch das 10jährige Bestehen des PV-TEC und die Einweihung des PV-TEC Select gefeiert. Welche Meilensteine gab es und was ist noch geplant?

Preu: Durch die Weiterentwicklung der Zelltechnologie weltweit und im PV-TEC konnten wir unsere Spitzenwirkungsgrade von 2006 bis 2016 von 15,5 % auf 21,4 % steigern. 40 Dok-

torarbeiten wurden im PV-TEC angefertigt und mehr als 500 000 Wafer prozessiert. Das PV-TEC Select ist die Weiterentwicklung in Richtung höchsteffizienter Solarzellen mit passivierten Kontakten. So haben wir mit unserer TOPCon-Technologie im Labormaßstab schon sehr gute Ergebnisse mit über 25 % Wirkungsgrad erreicht. Solche Zelltechnologien wollen wir im PV-TEC Select im Pilotlinienmaßstab umsetzen. Dort wird das besonders reinheitssensible Front-End der Solarzellen abgebildet. Die Back-End-Prozessierung, d. h. die Metallisierung, erfolgt weiterhin im PV-TEC.

Das Fraunhofer ISE arbeitet auch an der Charakterisierung und Qualitätssicherung der verwendeten Materialien. Welche neuen Ansätze gibt es hier?

Glunz: Die Herstellung von Si-Materialien und Solarzellen wird immer professioneller. Wie in der Mikroelektronik steigt deshalb der Bedarf nach aussagekräftigen Messmethoden und Apparaturen. Diese Marktnische bedienen wir u. a. mit unserer lumineszenzbasierten Messapparatur »modulum«, mit der die elektrische Qualität von Silicium-Ingots, Wafern und Zellen genau bestimmt werden kann. Neben der hochwertigen Messtechnik bieten besonders die hochentwickelten Auswertoroutinen einen großen FuE-Mehrwert. Wir können dabei das »modulum« Tool genau auf die Anforderungen von Nutzern in der Photovoltaik anpassen.

Verschiedene Si-basierte Tandemsolarzellenkonzepte sollen den Wirkungsgrad herkömmlicher Si-Zellen übertreffen. Welche Ansätze sind besonders erfolgreich versprechend?

Glunz: Wir verfolgen sowohl die Kombination von Silicium-solarzellen mit Perowskiten als auch mit III-V-Halbleitern. Mit den gut etablierten III-V-Halbleitern können bereits heute sehr effiziente Tandemsolarzellen hergestellt werden und wir haben Wirkungsgrade über 30 % erreicht. Perowskit-Silicium-Tandemzellen könnten bei einer erfolgreichen Umsetzung den Vorteil niedrigerer Herstellungskosten haben. Beide Entwicklungen sind für uns sehr wichtig, da siliciumbasierte Tandemzellen die Chance bieten, die bisher sehr erfolgreiche Entwicklung der Silicium-Photovoltaik auch in Zukunft weiterzuführen.

ANSPRECHPARTNER

Koordination Geschäftsfeldthema

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

Feedstock, Kristallisation und Wafering

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

Epitaxie, Si-Folien und SiC-Abscheidungen

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

Charakterisierung von Prozess- und Silicium-Materialien

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

Dotierung und Diffusion

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

Oberflächen: Konditionierung, Passivierung, Lichteinfang

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

Kontaktierung und Strukturierung

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

Herstellung und Analyse von hocheffizienten Solarzellen

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

Pilotherstellung von industrienahen Solarzellen

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

Messtechnik und Produktionskontrolle

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

Dünnschicht-Siliciumsolarzellen

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

Technologiebewertung

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

AUSGEWÄHLTE PROJEKTE 2016

- ☎ Kostenoptimierte Hocheffizienz-Solarzellen aus sauerstoffarmem n-Typ mono Silicium
- ☎ Hochdurchsatz Silicium-basierte Schichten und Silicium-Epitaxie
- ☎ Entwicklung hoch- und kosteneffizienter Siliciumwafer
- ☎ Metallisierte Kontakte – auf dem Weg zur Implementierung im Industriemaßstab
- ☎ Kostengünstige Aluminium-Metallisierung
- ☎ Vermeidung lichtinduzierter Degradation in Solarzellen durch schnelle Regeneration
- ☎ Überwindung der fundamentalen Hindernisse für eine neue Weltrekord-Siliciumsolarzelle
- ☎ Material- und Prozessschwankungen bei multikristallinen PERC-Solarzellen
- ☎ modulum – neuartiges Charakterisierungs-Tool

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

☎ *Neues Material / Verfahren*

☎ *Messtechnische Analyse / Qualitätssicherung*



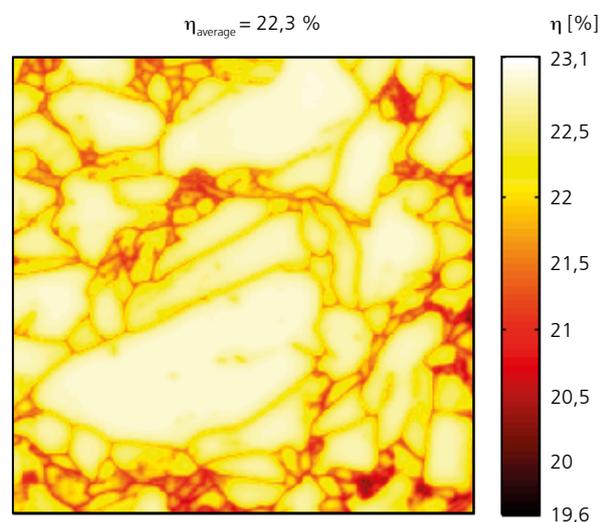


MULTIKRISTALLINES N-TYP SILICIUM FÜR SOLARZELLEN

Die Kombination von hocheffizienten Solarzellenstrukturen und versetzungsarmem High Performance (HP) multikristallinem Silicium ermöglicht Wirkungsgrade deutlich über 20 %. HP multikristallines Silicium zeichnet sich durch die Unterdrückung der Versetzungsbildung im Silicium sowie den Einsatz von Tiegelsystemen, die den Eintrag von Verunreinigungen reduzieren, aus. Bei dem am Fraunhofer ISE hergestellten HP multikristallinen Silicium (mc-Si) konnten wir in Körnern Ladungsträgerlebensdauern deutlich über 1 ms erreichen. Das sind Werte, die mit denen von hochwertigem monokristallinem Silicium vergleichbar sind, sodass die elektrische Materialqualität hauptsächlich noch durch die Rekombinationseigenschaften der verbliebenen Korngrenzen limitiert ist.

Wir haben ein mit Phosphor dotiertes n-Typ HP mc-Si entwickelt, das an die Verwendung in einer TOPCon-Solarzelle angepasst wurde. Die Kornstruktur des Kristalls haben wir mittels hochreinem Siliciumgranulat als Keimschicht so eingestellt, dass über die gesamte Blockhöhe der Flächenanteil durch Versetzungen limitierter Materialbereiche kleiner als 1 % war. Das Foto zeigt einen Querschnitt durch einen Forschungsblock der Größe G2 mit den Maßen 420 mm x 220 mm mit dem nicht aufgeschmolzenen Keimmaterial am unteren Blockrand und der für HP mc-Si typischen Entwicklung der Kornstruktur. Die daraus hergestellten Wafer weisen nach der für den Solarzellenemitter notwendigen Bordiffusion über den gesamten Wafer gemittelte Lebensdauerwerte von ca. 400 μ s auf. Dabei können in einzelnen Körnern über 1,5 ms erreicht werden. Bei ersten TOPCon-Solarzellen, die mit einem vereinfachten Prozess auf n-Typ HP mc-Si aus einer ersten Entwicklungsphase mit weniger hoher Materialqualität hergestellt wurden, haben wir bereits einen Wirkungsgrad von 19,6 % mit einer Offenklemmspannung von 663,7 mV gemessen. Die ELBA-Methode ermöglicht eine realistische Abschätzung der mit dem aktuellen Material zu erreichenden Solarzelleneffizienz. Die Grafik zeigt einen 6 x 6 cm² großen Ausschnitt aus einem n-Typ HP

mc-Si-Wafer aus dem oberen Blockbereich. Die Farbcodierung stellt dabei die lokal zu erreichende Zelleffizienz dar. Die Effizienzwerte wurden für einen weiterentwickelten Solarzellenprozess mit angepasster Textur bestimmt, der einen maximalen Wirkungsgrad ohne materialbedingte Verluste von 23,1 % ermöglicht. Im untersuchten Material sind nicht mehr die Körner selbst, sondern nur noch die Korngrenzen limitierend, weshalb Solarzelleneffizienzen von über 22 % auf großer Fläche erwartet werden können. Dieses Projekt wurde vom Ministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) im Rahmen des Projekts »THESSO« unterstützt.



Erwartete Effizienz des aktuellen Siliciummaterials in einer für mc-Si angepassten TOPCon-Solarzelle.

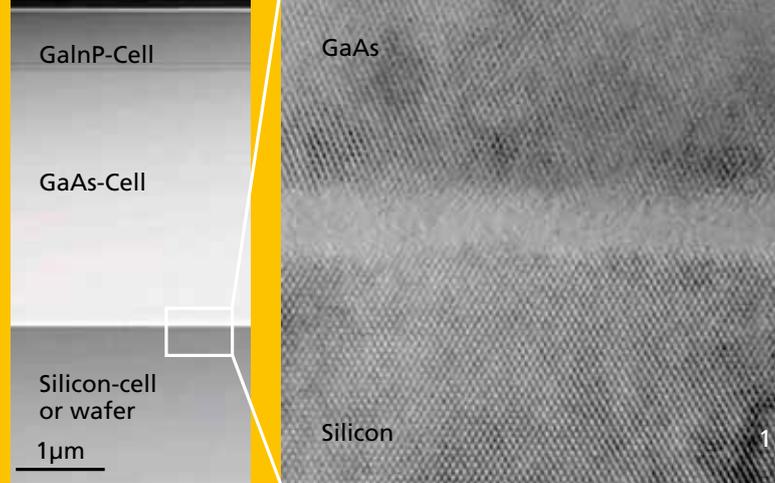
1 *Querschnitt eines n-Typ High Performance multikristallinen Siliciumblocks mit Keimvorgabe.*

Kontakt

Dr. Stephan Riepe

+49 761 4588-5636

sipv.material@ise.fraunhofer.de



JENSEITS DER AUGER-GRENZE – SILICIUMBASIERTE TANDEMSOLARZELLEN

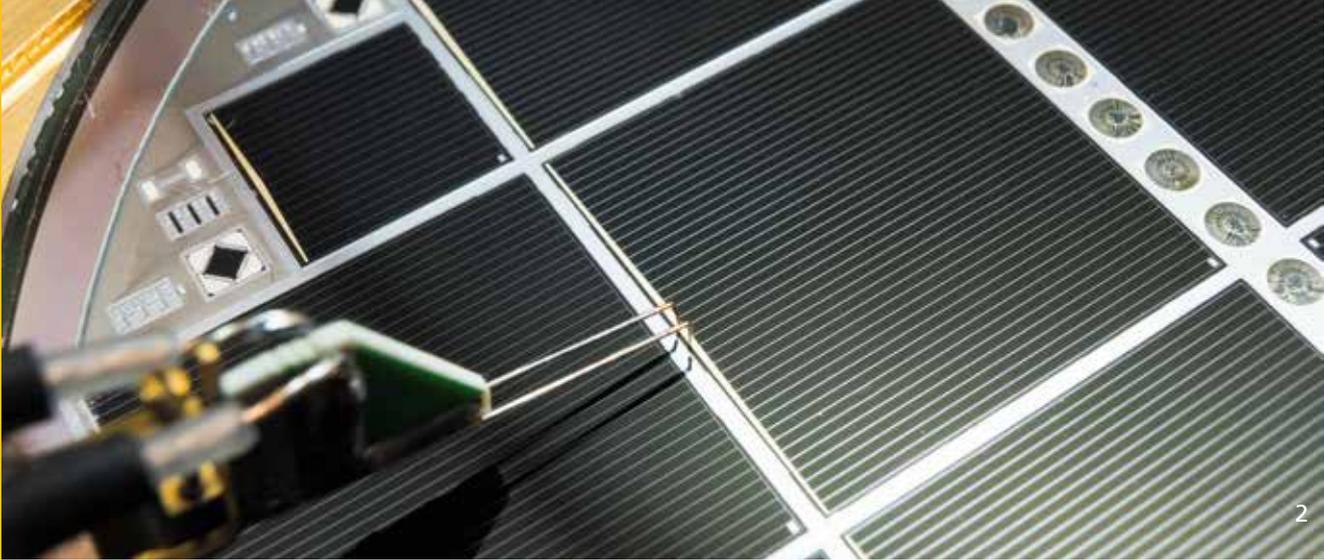
Der Wirkungsgrad von Siliciumsolarzellen hat sich in der letzten Dekade immer näher an die maximal erreichbare Grenze von 29,4 %, der sogenannten Auger-Grenze, herangeschoben. Wirkungsgrade von über 22 %, die vor zehn Jahren nur mit Laborsolarzellen möglich waren, können heute auch mit industriellen Zellstrukturen erzielt werden, während Zellprototypen bereits Werte über 26 % erreichen. Für die nächsten zehn Jahre ist das Potenzial von traditionellen Siliciumsolarzellen zur Erhöhung des Wirkungsgrads noch groß genug. Längerfristig sind aber neuartige Zellarchitekturen notwendig, damit die technologische Entwicklung fortgesetzt und damit die Kosten von photovoltaisch generiertem Strom weiter reduziert werden können. Eine vielversprechende Option sind siliciumbasierte Tandemsolarzellen, da sie auf die bereits hochskalierte und kostengünstige Produktionstechnologie von Siliciumsolarzellen aufbauen können. Hierbei wird die Siliciumsolarzelle mit einer Solarzelle mit größerer Bandlücke kombiniert, um das breitbandige Spektrum der Sonne besser nutzen zu können. Dafür bieten sich z. B. Perowskite oder III-V-Halbleiter besonders an.

Gerade die Kombination von Silicium mit III-V-Halbleitern ist am Fraunhofer ISE eine besonders attraktive Variante, da wir bei beiden Technologien auf eine langjährige technologische und wissenschaftliche Erfahrung zurückblicken können, die in viele Weltrekorde und industriell verwertbare Technologien

mündete. Bei der Entwicklung von rein III-V-basierten Tandemsolarzellen hat sich gezeigt, dass nur monolithische Zellstrukturen, bei denen alle Teilzellen ein kompaktes Halbleiterbauelement bilden, echtes Marktpotenzial besitzen, während andere Strukturen nicht über die Demonstrationsphase hinaus kamen. Deshalb haben wir uns entschlossen, auch bei siliciumbasierten Tandemzellen diese Prozessroute zu verfolgen, u. a. weil sich monolithische Mehrfachsolarzellen aufgrund ihrer normalen beidseitigen Kontaktstruktur bei der Modulverschaltung genauso wie übliche Siliciumsolarzellen verarbeiten lassen.

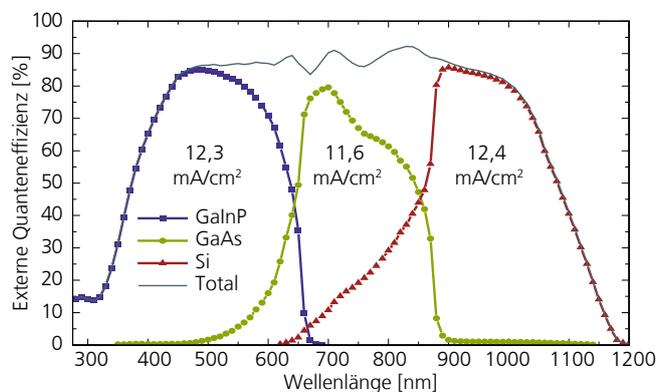
Da Silicium und die verwendeten III-V-basierten Halbleiter unterschiedliche Gitterkonstanten aufweisen, stellt die monolithische Verbindung eine große Herausforderung dar. Bei einem direkten epitaktischen Wachstum von III-V-Schichten auf Silicium müssen spezielle Pufferschichten eingebaut werden, damit Kristallschädigungen im III-V-Halbleiter vermieden werden. Alternativ können die beiden Halbleiter auch mittels Wafer-Bonding verbunden werden. Beim Wafer-Bonding werden die Silicium- und III-V-Teilzellen nach einer speziellen Oberflächenvorbehandlung zusammengepresst und verbinden sich untrennbar zu einem Halbleiter. Dabei entsteht eine dünne amorphe Halbleiterschicht, die sich aber nicht störend auf die Bauelementeigenschaften auswirkt (Abb. 1).

¹ Transmissionselektronenmikroskopie-Aufnahme der III-V-Silicium-Mehrfachsolarzelle. Während die GaInP- und GaAs-Zelle komplett dargestellt sind, ist von der ca. 200 μm dicken Siliciumsolarzelle nur der obere Teil sichtbar. In der Vergrößerung (rechts) ist die durch das Waferbonding entstandene 4 nm dicke amorphe Schicht sichtbar. Die TEM-Aufnahme wurde an der Christian-Albrechts-Universität Kiel in der Arbeitsgruppe Prof. Jäger erstellt.



Um das Spektrum der Sonne gut abzudecken, haben wir für unsere Mehrfachsolare zelle die Kombination einer hocheffizienten Siliciumsolarzelle mit einer GaAs- und GaInP-Solarzelle gewählt. Die drei zugehörigen Bandlücken von 1,12, 1,43 und 1,90 eV ergänzen sich optimal und sollten so Wirkungsgrade über 30 % zulassen. Beim Design der Zellarchitektur war neben den Bandlücken von zentraler Bedeutung, dass die Stromdichten aller drei Teilzellen gleich groß sind, da bei der durch die monolithische Struktur entstandenen Serienschaltung der kleinste Strom der Zellsequenz den Gesamtstrom dominiert, während die drei Teilspannungen sich aufsummieren.

Wie die Quanteneffizienzmessung der am Fraunhofer ISE hergestellten Mehrfachsolare zelle zeigt, ist dies gut gelungen. Die drei Teilzellen decken gemeinsam den Wellenlängenbereich zwischen 300 und 1200 nm ab, und ihre Teilströme liegen dicht beieinander. Die Gesamtspannung der Mehrfachsolare zelle liegt bei 3,05 V. Die kalibrierte Messung unserer siliciumbasierten Tandemsolare zelle ergab einen Rekordwirkungsgrad von 30,2 % bei unkonzentriertem Sonnenlicht (AM1.5G). Dieser Wirkungsgrad stellt einen historischen Meilenstein in der Solare zellenentwicklung dar. Es ist weltweit die erste siliciumbasierte Solare zelle, die in einer monolithisch integrierten Struktur einen Wirkungsgrad oberhalb der Auger-Grenze von 29,4 % erreicht.



Quanteneffizienzmessung der GaInP/GaAs/Si-Mehrfachsolare zelle. Die graue Linie ist die Summe der Teilströme der GaInP- (blau), GaAs- (grün) und Siliciumsolarzelle (rot).

2 4 cm² große GaInP/GaAs/Si-Mehrfachsolare zelle für Anwendung bei unkonzentriertem Sonnenlicht. Aufgrund des monolithischen Aufbaus kann die Solare zelle, wie von Standardsolare zellen gewohnt, auf der Vorder- und Rückseite kontaktiert werden.

Kontakt

Prof. Dr. Stefan Glunz

+49 761 4588-0

sipv@ise.fraunhofer.de



ZEHN JAHRE PV-TEC UND EINWEIHUNG PV-TEC SELECT

Im Frühjahr 2006 als »Forschungsfabrik für Solarzellen« eingeweiht, war das Photovoltaik-Technologie Evaluations Center PV-TEC am Fraunhofer ISE die erste institutionelle Pilotlinie für kristalline Siliciumsolarzellen. Mit Unterstützung des Bundesumweltministeriums bot das Labor damals als neues, einzigartiges Dienstleistungszentrum der Photovoltaik-Industrie auf 1200 m² Fläche Forschung, Entwicklung und Service im Produktionsmaßstab an. Der Technologietransfer in die Industrie erfuhr dadurch eine enorme Beschleunigung. Das PV-TEC fungierte als Wegbegleiter für den Aufstieg Deutschlands zur weltweit führenden Nation in den Bereichen Solarzellenproduktion und Produktionstechnologie, Letzteres bis heute.

Der überwiegend mit Vertretern der Industrie besetzte PV-TEC Beirat unterstützt seit der Gründung die bedarfsgerechte Weiterentwicklung unseres Großlabors. Zielsetzung des PV-TEC in 2006 war nicht nur die Reduzierung der Kosten für Solarstrom, sondern auch die Qualitätssicherung für effiziente PV-Forschung und Entwicklung und somit die Unterstützung und Stärkung der deutschen und europäischen PV-Industrie. Seither haben wir dort mehr als 500 000 Siliciumscheiben charakterisiert und prozessiert sowie über 4000 Experimente an Großgeräten durchgeführt. Auch Ausbildung und Schulung hatten und haben einen hohen Stellenwert. Bisher wurden 40 Doktorarbeiten im Bereich der technologischen und messtechnisch-analytischen Arbeiten im PV-TEC erstellt.

War das PV-TEC zunächst für die klassische siebgedruckte Solarzelle ausgelegt, so konnte die Anlagentechnologie mit Unterstützung von Bund und Land für die aktuelleren Solarzellenstrukturen mit passivierten Oberflächen erweitert werden. Auch hierdurch haben wir den Spitzenwirkungsgrad für industriennahe Solarzellen von 15,5 % auf jetzt 21,4 % im PV-TEC steigern können. Es werden sowohl Rückkontakt- als auch bifaziale Solarzellen hergestellt und charakterisiert. Für diese Solarzellentypen haben wir industriennahe Prozessrouten entwickelt, die den zusätzlichen Prozessaufwand auf ein Minimum reduzieren, z. B. durch die simultane Dotierung mit unterschiedlichen Stoffen (Co-Diffusion). Im Rahmen des Projekts »RDemo« haben wir Module mit im PV-TEC hergestellten Rückkontaktsolarzellen, so genannten HIP-MWT-Solarzellen, erfolgreich in die Fassade eines Neubaus des Fraunhofer ISE integriert.

Insgesamt hat das Labor in den letzten zehn Jahren einen signifikanten Beitrag zur Einführung neuer Zellkonzepte und Produktionstechnologien in die industrielle Produktion geleistet. Besonders die Einführung einer Hochdurchsatz-geeigneten Laserstrukturierung der lokalen Punktkontakte auf der Zellrückseite war hierfür essenziell und wurde 2016 mit dem Joseph-von-Fraunhofer-Preis ausgezeichnet. Weitere herausragende Meilensteine beim Transfer neuer Produktionstechnologien in das industrielle Umfeld waren die Entwicklung von Rückseitenpassivierungsschichten basierend auf mittels PECVD-Verfahren abgeschiedenen Aluminiumoxidschichten und die Entwicklung des Multi-Düsen-Dispensverfahrens zur Erzeugung ultrafeiner Leiterbahnen (<30 µm) mit hohen Aspekt-Verhältnissen.



2



3

Die technologischen Entwicklungen wurden von umfassenden messtechnischen und analytischen Entwicklungen begleitet, um neuartige Zellstrukturen wie z. B. Rückkontaktzellen oder bifaziale Zellen automatisiert vermessen zu können, bildgebende Messverfahren wie z. B. die Lumineszenzmessung in die Produktion zu integrieren und deren Daten vollautomatisch zu analysieren. Herausragende Ergebnisse waren hierbei lumineszenzbasierte Methoden zur quantitativen, orts aufgelösten Solarzellenanalyse, ein auf maschinellem Lernen basiertes Verfahren zur Bewertung der Materialqualität von multikristallinen Wafern im sägerauen Ausgangszustand sowie ein simulationsgestütztes Verfahren zur Analyse von Prozessschwankungen.

Zeitgleich mit dem Jubiläum der ersten Solarzellen-Pilotlinie in einer Forschungsumgebung wurde am 13. April 2016 der Start der Laborerweiterung »PV-TEC Select« gefeiert. Dies ist ein neues Pilotzentrum mit 800 m² Reinraum-Laborfläche für »Front-End Processing«, also den Solarzellenprozess vor der Metallisierung. Damit ist es uns möglich, höchsteffiziente Solarzellen auf Basis selektiver Kontakte industrienahe zu entwickeln und Wirkungsgrade bis 25 % anzustreben. Hierbei kommen sowohl etablierte Technologien wie die Hetero-Junction-Technologie auf der Basis dünner amorpher Siliciumschichten, wie auch die am Fraunhofer ISE entwickelten TOPCon-Technologie und Polysilicium-basierte Schichtsysteme zum Einsatz. Die Industrie verfügt dadurch über eine einzigartige Möglichkeit, geeignete Anlagentechnologie im Pilotmaßstab in einer reinraumartigen Umgebung zu evaluieren.

Das »PV-TEC Select« in Freiburg befindet sich in unmittelbarer räumlicher Nähe zum Anlagenhersteller RENA. Dadurch ergeben sich Synergieeffekte über die Nutzung nasschemischer Prozessanlagen. Es ist zusätzlicher Raum und Potenzial für Anlagen weiterer Industriepartner vorhanden. Die Grundidee des PV-TEC, die Bildung eines Pools von grundlegenden Technologie-Komponenten für die Entwicklung neuer Generationen

von Solarzellentechnologie, wird hierdurch ausgebaut. Unter Verwendung der Hetero-Junction-Technologie konnten in enger Zusammenarbeit mit Industriepartnern bereits kurz nach Inbetriebnahme der neuen Laborflächen Solarzellenwirkungsgrade von 22 % im PV-TEC Select demonstriert werden. Das PV-TEC Select wurde unterstützt durch das Baden-Württembergische Umweltministerium hinsichtlich Infrastruktur und Räumlichkeiten sowie durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi), das Investitionsmittel für Geräte zur Verfügung stellte.

- 1 *Im PV-TEC stehen Anlagen im Produktionsmaßstab zur Verfügung, um industrienahe Prozessrouten zu entwickeln.*
- 2 *Industrieller Rohofen für Bor-Diffusion und Co-Diffusionsprozesse zur Herstellung von n-Typ Silicium solarzellen im PV-TEC.*
- 3 *Dispensierautomat mit zehn Düsen für das am Fraunhofer ISE entwickelte Multi-Düsen-Dispensverfahren zur Erzeugung ultrafeiner Leiterbahnen.*

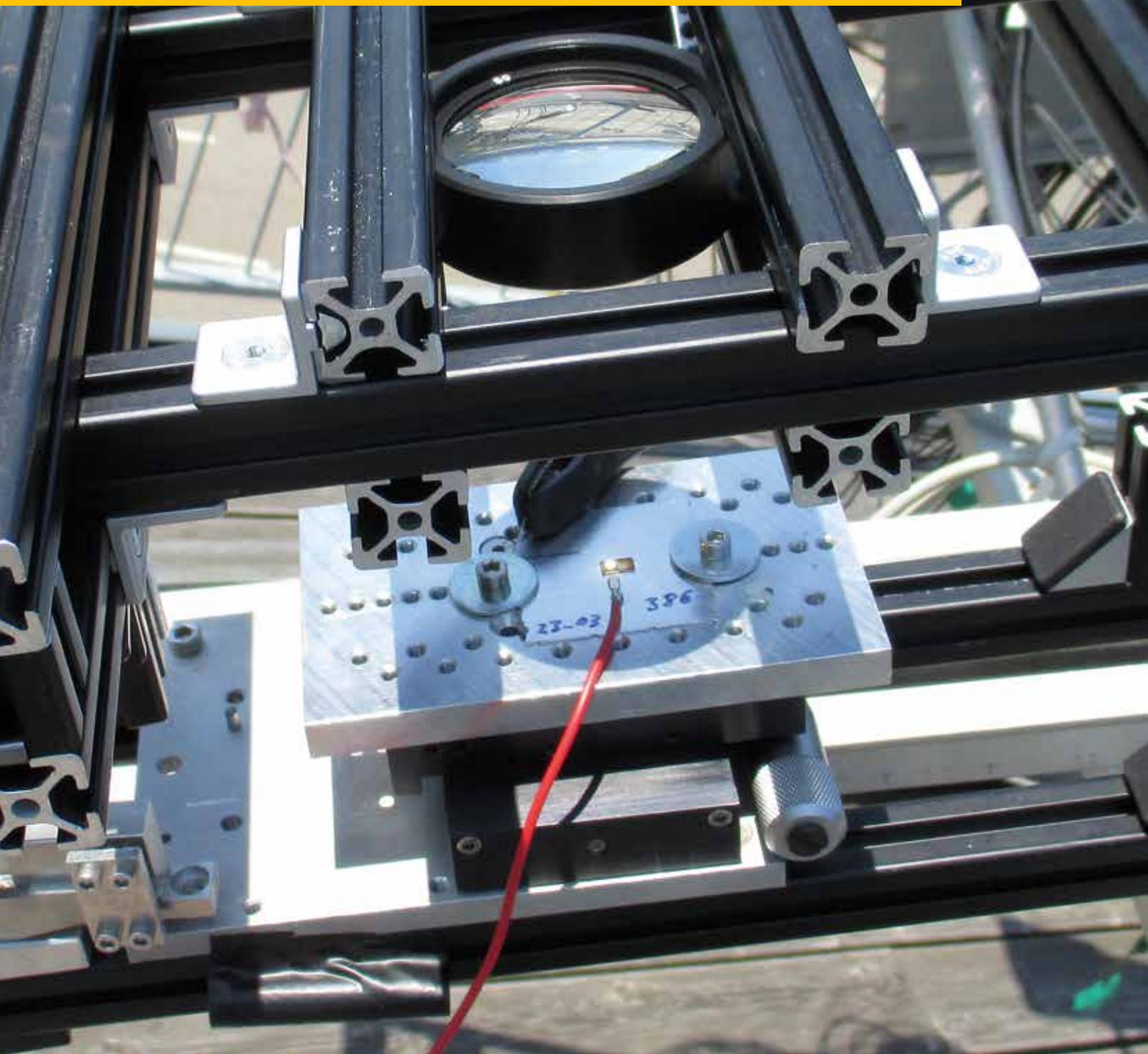
Kontakt

Dr.-Ing. Ralf Preu

☎ +49 761 4588-5260

✉ sjpv@ise.fraunhofer.de

III-V- UND KONZENTRATOR-PHOTOVOLTAIK





Dr. Andreas Bett

✉ andreas.bett@ise.fraunhofer.de



Mitarbeiter gesamt	59
Zeitschriften- und Buchbeiträge	20
Vorträge und Konferenzbeiträge	27
Erteilte Patente	4

www.ise.fraunhofer.de/iii-v-und-konzentrator-pv

In diesem Geschäftsfeldthema adressieren wir Anforderungen, die sich aus dem Weltraum- und dem terrestrischen Konzentrator-Photovoltaikmarkt ergeben. Satelliten werden heute praktisch ausschließlich mit hocheffizienten III-V-Mehrfach-solarzellen bestückt. Für diesen Markt entwickeln wir leichtere und effizientere Solarzellen der nächsten Generation, die dem Beschuss mit hochenergetischen Elektronen und Protonen besser standhalten. Auch bei der Anwendung von III-V-Mehrfach-solarzellen auf der Erde in hochkonzentrierenden Photovoltaiksystemen sind hohe Wirkungsgrade und geringe Kosten gefordert.

Ein Schwerpunkt unserer Arbeiten ist die Entwicklung von Vierfachsolarzellen, die in der Anwendung der Konzentrator-technologie einen Wirkungsgrad von 50 % und im Weltraum von 36 % erzielen können. Wir untersuchen dazu eine Vielzahl von Zellarchitekturen und nutzen Konzepte wie das metamorphe Wachstum oder/und das direkte Halbleiter-Bonding. Dies ermöglicht uns, unterschiedliche Halbleiter wie GaSb, GaAs, InP, Si oder Ge zu kombinieren. Im letzten Jahr wurde erstmals eine Dreifachsolarzelle aus GaInP/GaAs//Si mit einem Wirkungsgrad von über 30 % unter einer Sonne demonstriert (Seite 29). Diese Technologie eröffnet neue Möglichkeiten für höchsteffiziente Flachmodule.

Wir untersuchen auch eine besondere Anwendung von III-V-Photovoltaikzellen: Beleuchtung mit monochromatischer Bestrahlung mittels LED oder Laser. Hier können sehr hohe Wandlungswirkungsgrade bis 60 % erzielt werden.

Die III-V-Mehrfachsolarzellen werden terrestrisch in hochkonzentrierenden Photovoltaiksystemen genutzt. Mit derartigen Zellen erreichte das Fraunhofer ISE einen Weltrekord über 46 % Konversionseffizienz von Sonnenlicht in elektrischen

Strom. Dazu entwerfen, untersuchen und qualifizieren wir optische Komponenten, die das Sonnenlicht um den Faktor 300–1000 konzentrieren, bevor es in der III-V-Mehrfachsolarzelle in elektrische Energie gewandelt wird. Das von uns entwickelte linsenbasierte FLATCON®-Modul ist ein Beispiel hierfür. Wir optimieren es kontinuierlich weiter, um höhere Wirkungsgrade und niedrigere Fertigungskosten zu erzielen. Im ConTEC (Concentrator Technology and Evaluation Center) untersuchen wir Modulfertigungsprozesse und die Zuverlässigkeit unterschiedlicher Modulkonzepte. Unsere Kompetenzen im Bereich der thermischen, optischen und elektrischen Simulation stellen wir Kunden zur Verfügung.

Neben der hochkonzentrierenden Photovoltaik auf Basis von III-V-Mehrfachsolarzellen arbeiten wir an niedrigkonzentrierenden Systemen. Diese decken den Konzentrationsbereich bis 30 ab. Hier bieten wir unseren Kunden Zusammenarbeit bei der Entwicklung von optischen Konzentratoren und photovoltaischen Receivern sowie bei der Auslegung und Vermessung von Systemen an. Für den Einsatz in niedrigkonzentrierenden Systemen haben wir spezielle Siliciumsolarzellen entwickelt. Im PV-TEC (Photovoltaik-Technologie Evaluations Center) können auch Serien für individuelle Kundenanwendungen produziert werden.

Aufbau zur elektronischen Charakterisierung eines CPV-Minimoduls am Außenmessplatz des Fraunhofer ISE.

Das Minimodul erzielte einen Weltrekordwirkungsgrad von 43,3 % unter Konzentratorstandardtestbedingungen (CSTC).

ANSPRECHPARTNER

Koordination Geschäftsfeldthema

Dr. Andreas Bett

☎ +49 761 4588-5257

✉ cpv@ise.fraunhofer.de

III-V-Epitaxie und Solarzellen

Dr. Frank Dimroth

☎ +49 761 4588-5258

✉ cpv.III-V@ise.fraunhofer.de

Konzentrator-Bauelemente

Maike Wiesenfarth M. Sc.

☎ +49 761 4588-5470

✉ cpv.assemblies@ise.fraunhofer.de

Konzentrator-Optik

Dr. Peter Nitz

☎ +49 761 4588-5410

✉ cpv.optics@ise.fraunhofer.de

Hochkonzentrierende Systeme (HCPV)

Maike Wiesenfarth M. Sc.

☎ +49 761 4588-5470

✉ cpv.highconcentration@ise.fraunhofer.de

Niedrigkonzentrierende Systeme (LCPV)

Maike Wiesenfarth M. Sc.

☎ +49 761 4588-5470

✉ cpv.lowconcentration@ise.fraunhofer.de

Silicium-Konzentratorsolarzellen

Dr.-Ing. Daniel Biro

☎ +49 761 4588-5246

✉ cpv.silicon@ise.fraunhofer.de

Power-by-Light

Dr. Henning Helmers

☎ +49 761 4588-5094

✉ power.by.light@ise.fraunhofer.de

AUSGEWÄHLTE PROJEKTE 2016

-  Hocheffiziente III-V-Mehrfachsolarzellen auf Silicium
-  Ultra-dünne Zellen auf Metallfolie mit recycelbaren Substraten
-  CPV-T-System gekoppelt mit Entsalzungssystemen
-  Hocheffizientes Konzentratormodul mit GaSb-basierter Vierfachsolarzelle
-  Forschungskoooperation Klimatechnologie – CPV Indien
-  Entwicklung einer Norm zur Bestimmung der Nennleistung von CPV-Modulen

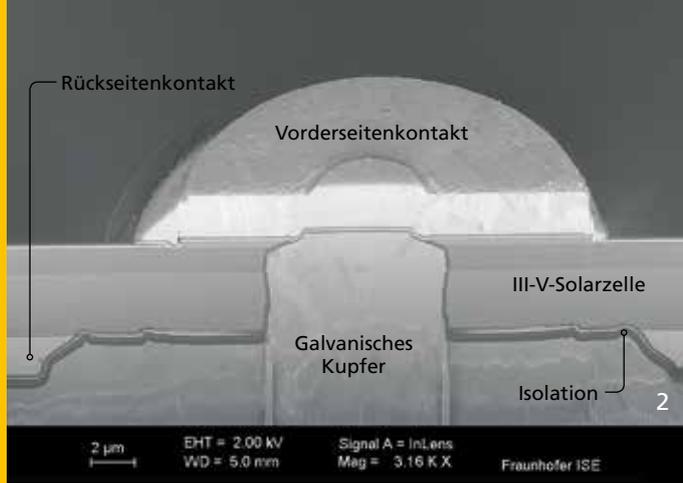
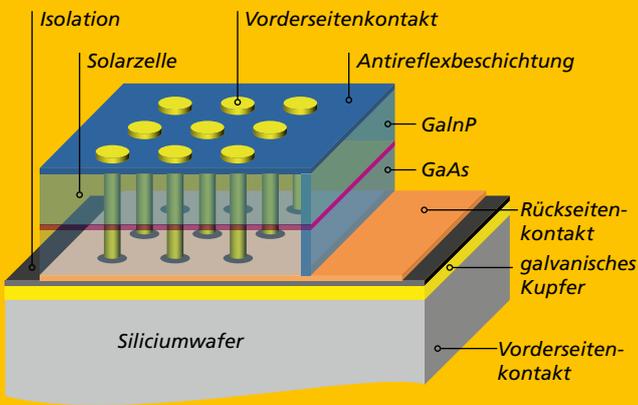
Mehr Informationen zu diesen und weiteren Projekten:
www.ise.fraunhofer.de/de/forschungsprojekte/1-02

 *Neues Material / Verfahren*

 *Prototyp / Kleinserie*

 *Messtechnische Analyse / Qualitätssicherung*





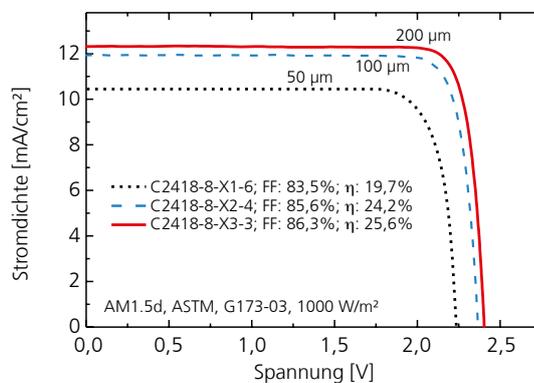
METAL-WRAP-THROUGH (MWT)-MEHRFACH-SOLARZELLEN AUS III-V-HALBLEITERN

Solarzellen basierend auf III-V-Halbleitermaterialien erreichen unter konzentriertem Sonnenlicht mit bis zu 46 % die höchsten Wirkungsgrade für die photovoltaische Energiebereitstellung. Bei hohen Konzentrationsfaktoren von mehr als 500 Sonnen ist die Solarzellengröße auf lediglich ca. 1 cm² beschränkt, da sonst zu hohe Verluste durch Abschattung und elektrische Widerstände in den Vorderseitenkontakten entstehen. Eine Lösung für diese Einschränkung ist, die Kontakte von der Vorder- auf die Rückseite der Zelle zu legen – so können diese Verluste minimiert werden. Dieses Vorgehen ist aus der Silicium-Photovoltaik unter dem Namen »Metal Wrap Through (MWT)«-Technologie bekannt. Hierbei wird der Vorderseitenkontakt durch elektrisch isolierte Löcher durch die Solarzellenschichten geführt, sodass auf der Vorderseite der Zelle nur kleine Kontaktpunkte notwendig sind. Dies minimiert die Abschattung, macht die Stromleitung durch Gridfinger auf der Vorderseite überflüssig und ermöglicht eine Verschaltung von mehreren Solarzellen auf der Rückseite.

Für III-V-Solarzellen wurde diese technologisch herausfordernde Zellarchitektur in einer Zusammenarbeit mit dem französischen Forschungsinstitut CEA in Grenoble im Rahmen des Projekts »VirtualLab« zum ersten Mal realisiert. Hierbei wurde ein vereinfachtes Design gewählt, bei dem der Vorderseitenkontakt der Zelle auf die Rückseite durchgeführt wird und der Rückseitenkontakt von der Vorderseite aus zugänglich ist (Abb. 1). Die Raster-Elektronenmikroskopie (REM)-Aufnahme des Querschnitts eines durchgeführten Vorderseitenkontakts (Via) zeigt eine durchgängige Isolation der Via-Wand, die für eine funktionale Zelle notwendig ist (Abb. 2).

Der Abstand zwischen den Vias muss so gewählt werden, dass der Stromfluss zum Via einen geringen elektrischen Widerstand aufweist und gleichzeitig die Abschattung minimiert wird. Um dies experimentell zu testen, wurden Solarzellen mit unterschiedlichen Via-Abständen in einer hexagonalen Anord-

nung hergestellt und elektrisch vermessen. Dabei lieferten die Zellen mit dem größten Via-Abstand von 200 µm die besten Ergebnisse unter dem AM1.5d-Spektrum mit einem Wirkungsgrad von 25,6 % (Grafik unten). Die Abschattung durch den auf der Zelle aufliegenden Kontaktpunkt beträgt dabei ca. 16 %/4 %/1 % für Via-Abstände von 50/100/200 µm. Unter Konzentration stieg der Wirkungsgrad der Zellen bis auf 28,3 % bei 176 Sonnen und auf 27,2 % bei 800 Sonnen an. Der Wirkungsgrad der Zellen kann noch weiter gesteigert werden, wenn statt einer Zweifach- eine Dreifachsolarelle gewählt wird und das Via-Design optimiert wird.



IV-Kennlinien und Wirkungsgrade unter dem AM1.5d-Spektrum von drei MWT-Zellen mit unterschiedlichem Via-Abstand.

- 1 Schematische Zeichnung des vereinfachten MWT-Designs.
- 2 REM-Aufnahme eines Querschnitts einer MWT-Zelle mit Vorder- und Rückseitenkontakt sowie der Durchführung (Via) aus galvanischem Kupfer.

Kontakt

Dr. Vera Klinger

+49 761 4588-5093

cpv.iii-v@ise.fraunhofer.de



NEUARTIGE PHOTOVOLTAIK-TECHNOLOGIEN

Siebgedruckte Elektrode für die Weiterentwicklung von Perowskitsolarmodulen.



Dr. Uli Würfel

✉ uli.wuerfel@ise.fraunhofer.de



Mitarbeiter gesamt	53
Zeitschriften- und Buchbeiträge	9
Vorträge und Konferenzbeiträge	8
www.ise.fraunhofer.de/neuartige-pv-technologien	

In diesem Geschäftsfeldthema sind die Themen Farbstoff- und Perowskitsolarzellen, Organische Solarzellen, Photonenmanagement sowie Tandemsolarzellen auf kristallinem Silicium zusammengefasst. Ziel ist, mithilfe dieser neuartigen Technologien Optimierungspotenziale in der Photovoltaik zu erschließen und Stromgestehungskosten zu senken. Dazu gehört, den Wirkungsgrad etablierter Solarzellen durch verbesserte Absorption und Reflektion sowie fortgeschrittenes Photonenmanagement zu erhöhen. Ein weiterer Ansatz sind alternative Prozesse und Materialien, wie Farbstoff- und Organische Solarzellen, die zwar einen etwas niedrigeren Wirkungsgrad aufweisen, aber gleichzeitig auch über ein deutliches Kostenreduktionspotenzial verfügen.

Wir arbeiten an den Grundlagen von Organischen Solarzellen, besonders an 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, mit dem Ziel, kosteneffiziente, flexible und haltbare organische Solarmodule zu realisieren. Dabei geht es übergeordnet darum, mit Industriepartnern stabile Beschichtungs- und Verkapselungsprozesse auf unserer Rolle-zu-Rolle-Anlage zu entwickeln, die im Industriemaßstab genutzt werden können.

Perowskitsolarzellen bestehen ebenfalls aus sehr kostengünstigen Ausgangsmaterialien und können mit Niedertemperaturprozessen hergestellt werden, ähnlich wie bei Organischen Solarzellen. Die Eigenschaften der kristallinen Perowskit-Absorberschicht sowie die bereits erreichten sehr hohen Wirkungsgrade rücken sie aber eher in die Nähe kristalliner anorganischer Solarzellen. Um eine ausreichende Langzeitstabilität zu erreichen, nutzen wir besonders die Erfahrungen, die wir bei der Aufskalierung von glasbasierten Farbstoff-solarmodulen gewonnen haben. Bei unseren Arbeiten zu Perowskit- und Organischen Solarzellen kooperieren wir eng mit dem Freiburger Materialforschungszentrum FMF der Albert-Ludwigs Universität.

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 einstellbarer Bandlücke und III-V-basierten Absorbermaterialien. Die Zusammenführung der beiden Einzelzellen erreichen wir durch direktes Aufwachsen auf der Si-Basiszelle und durch Bonden. Ein weiterer Fokus unserer Arbeiten ist die Entwicklung von Perowskit- und Siliciumschichten, um hocheffiziente Perowskit-Silicium-Tandemsolarzellen zu realisieren. 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.

ANSPRECHPARTNER

Koordination Geschäftsfeldthema

Dr. Uli Würfel

☎ +49 761 203-4796

✉ emergingpv@ise.fraunhofer.de

Farbstoff- und Perowskitsolarzellen

Dr. Andreas Hinsch

☎ +49 761 4588-5417

✉ emergingpv.dye@ise.fraunhofer.de

Organische Solarzellen

Dr. Uli Würfel

☎ +49 761 203-4796

✉ emergingpv.organic@ise.fraunhofer.de

Photonenmanagement

Dr. Jan Christoph Goldschmidt

☎ +49 761 4588-5475

✉ emergingpv.photonics@ise.fraunhofer.de

Tandemsolarzellen auf kristallinem Silicium

Dr. Stefan Janz

☎ +49 761 4588-5261

✉ emergingpv.silicon@ise.fraunhofer.de

AUSGEWÄHLTE PROJEKTE 2016



Skalierbare Perowskit-Technologie



Perowskit-Silicium-Tandemsolarzellen



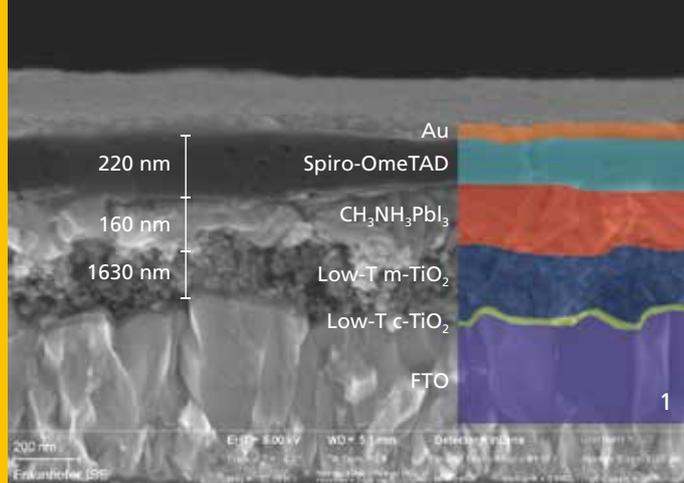
Nano-Strukturen zur Lumineszenzverstärkung für die Wirkungsgradsteigerung von LEDs und Solarzellen

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



Neues Material / Verfahren





NIEDRIGTEMPERATURROUTE FÜR PEROWSKITSOLARZELLEN

Eines der zentralen Ziele im Geschäftsfeldthema »Neuartige Photovoltaik-Technologien« ist die Entwicklung von hocheffizienten Silicium-Perowskit-Tandemsolarzellen basierend auf der Kombination aus einer kristallinen Silicium-Unterzelle und einer Perowskit-Oberzelle. Um dafür eine c-Si/a-Si Heterojunction-Solarzelle als Unterzelle einzusetzen, müssen im weiteren Prozessverlauf Hochtemperaturschritte vermieden werden.

Die höchsten Wirkungsgrade für Perowskitsolarzellen wurden bisher jedoch unter Einsatz einer kompakten sowie einer nanoporösen TiO₂-Schicht erreicht, die bei Temperaturen um die 500 °C ausgeheilt werden. Um das Titandioxid dennoch verwenden zu können, wurde eine Niedrigtemperaturroute verwendet und weiterentwickelt. Dabei wird die kompakte TiO₂-Schicht nicht wie üblicherweise durch Spraypyrolyse, sondern durch Verdampfen im Hochvakuum hergestellt. Die nanoporöse TiO₂-Schicht wird bei niedrigen Temperaturen durch Bestrahlung mit UV-Licht geeigneter Wellenlänge behandelt. Diese alternativen Prozesse sind vollauf kompatibel mit der Verwendung einer c-Si/a-Si Heterojunction-Solarzelle als Unterzelle. Die erreichten Wirkungsgrade der Perowskitsolarzellen, die mithilfe der beschriebenen Niedrigtemperaturroute hergestellt wurden, sind mit bis zu 16 % bereits recht vielversprechend. Der verwendete Schichtaufbau war Glas/F:SnO₂/TiO₂ (kompakt)/TiO₂ (nanoporös)/Perowskit-Absorber (CH₃NH₃PbI₃)/Spiro-OMeTAD/Gold. Er ist in Abb. 1 zu sehen.

In Zukunft wollen wir diesen Ansatz weiterentwickeln, die Qualität der Perowskit-Absorberschicht erhöhen und den organischen Lochleiter Spiro-OMeTAD durch alternative Materialien in Kombination mit einem Metallgitter als Top-Elektrode ersetzen. Darüber hinaus soll die Bandlücke des Perowskit-Absorbers noch erhöht werden, um möglichst nahe an den für eine Kombination mit kristallinem Silicium optimalen Wert von 1.75 eV zu kommen.

Ein weiterer Punkt ist die Reduktion der durch Ionen- bzw. Ionenfehlstellenmigration hervorgerufenen Hysterese der Strom-Spannungs-Charakteristik. Dazu wählen wir einen kombinierten Ansatz aus Experimenten zur Realisierung hochselektiver Kontakte, deren detaillierter Charakterisierung und numerischer Simulationen, um die zugrunde liegenden Prinzipien noch besser zu verstehen und quantitativ beschreiben zu können.

1 Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme (Querschnitt) einer bei niedrigen Temperaturen (<150 °C) prozessierten Perowskitsolarzelle.

Kontakt

Dr. Uli Würfel

+49 761 4588-4796

emergingpv@ise.fraunhofer.de



**PHOTOVOLTAISCHE MODULE
UND KRAFTWERKE**



Dr. Harry Wirth

✉ harry.wirth@ise.fraunhofer.de



Mitarbeiter gesamt	104
Zeitschriften- und Buchbeiträge	9
Vorträge und Konferenzbeiträge	14
Erteilte Patente	8

www.ise.fraunhofer.de/photovoltaische-module-und-kraftwerke

Modultechnologie verwandelt Solarzellen in ein beständiges Produkt für den sicheren Betrieb in PV-Kraftwerken. Das Fraunhofer ISE unterstützt die Entwicklung von PV-Modulen aus Solarzellen im Hinblick auf optimale Wirkungsgrade, reduzierte Kosten, höchste Zuverlässigkeit und spezielle Anwendungen wie der Gebäudeintegration. Wir charakterisieren Module auf höchstem Präzisionsniveau, prüfen sie umfassend und analysieren ihre Gebrauchsdauer. Von der Planung bis zum dauerhaften Betrieb bieten wir Leistungen zur Qualitätssicherung und Performanceoptimierung von PV-Kraftwerken.

Im Photovoltaik Modul-Technologiecenter (Module-TEC) steht eine große Bandbreite an modernen Prozess- und Analyseplattformen für die Verschaltung und Lamination von Solarzellen bereit, besonders zur Materialerprobung sowie zur Produkt- und Prozessentwicklung. Über Messungen und Simulationen analysieren wir Zelle-zu-Modul-Bilanzen (CTM), stellen Modulprototypen her und überführen Laborentwicklungen auf direktem Weg in relevante Modulstückzahlen und -formate. Für spezielle Anwendungen (Fassaden-, Fahrzeug-, Geräteintegration) entwickeln wir maßgeschneiderte Solarmodule.

Lebensdauer und Degradationsverhalten der Komponenten sind entscheidend für die Rentabilität eines PV-Kraftwerks. Mit selbst entwickelter Ausrüstung überwachen wir PV-Module in verschiedenen Klimaten. Degradationsmonitoring und Schadensanalytik helfen uns bei der frühzeitigen Erkennung und systematischen Aufklärung von Alterungsprozessen. Wir entwickeln Simulationsmodelle und beschleunigte Prüfverfahren zur Untersuchung des Alterungsverhaltens, besonders zur Qualifizierung neuer Materialien und Komponenten. Für die Prüfung stehen uns neben den Einrichtungen unseres seit 2006 akkreditierten TestLab PV Modules zudem spezielle, zum Teil selbst entwickelte Prüfanlagen zur Verfügung, mit denen wir auch kombinierte und verstärkte Belastungen simulieren

können. Höchste Präzision bietet auch unser akkreditiertes Kalibrierlabor CalLab PV Modules, das mit einer Messunsicherheit von 1,6 % bei kristallinen Modulen zu den führenden Labors weltweit zählt. Mit den fünf Phasen des Fraunhofer ISE Qualitätszirkels – Development, Engineering, Procurement, Commissioning und Operation – gewährleisten wir eine umfassende Qualitätssicherung für PV-Kraftwerksprojekte. Wir berücksichtigen Standort- und Klimafaktoren, um präzise Ertragsprognosen zu erstellen und beraten bei der projektspezifischen Auswahl hochwertiger Komponenten. Umfangreiche Qualitätsprüfungen nach der Inbetriebnahme des PV-Kraftwerks liefern u. a. eine unabhängige Performance-Bewertung. Unsere Verfahren sind international erprobt und bei Banken, Versicherungen und Investoren anerkannt. Für die Leistungsprognose von PV-Anlagen entwickeln wir zuverlässige, probabilistische Methoden.

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.

Detailaufnahme eines Solarmoduls mit Drahtverschaltung von kristallinen Siliciumsolarzellen. Diese Verschaltungstechnologie ermöglicht einen reduzierten Silberverbrauch, geringere Widerstandsverluste und eine verbesserte optische Lichtausbeute im Modul.

ANSPRECHPARTNER

Koordination Geschäftsfeldthema

Dr. Harry Wirth

☎ +49 761 4588-5858

✉ pvmod@ise.fraunhofer.de

Modultechnologie

Dr.-Ing. Ulrich Eitner

☎ +49 761 4588-5825

✉ pvmod.tech@ise.fraunhofer.de

Modulcharakterisierung

Dipl.-Ing. (FH) Klaus Kiefer

☎ +49 761 4588-5218

✉ pvmod.callab@ise.fraunhofer.de

Gebrauchsdauer und Schadensanalyse

Dipl.-Ing. (FH) Daniel Philipp

☎ +49 761 4588-5414

✉ pvmod.testlab@ise.fraunhofer.de

Photovoltaische Kraftwerke

Dipl.-Ing. (FH) Klaus Kiefer

☎ +49 761 4588-5218

✉ pvmod.powerplant@ise.fraunhofer.de

Bauwerksintegrierte Photovoltaik

Dr. Tilmann Kuhn

☎ +49 761 4588-5297

✉ pvmod.bipv@ise.fraunhofer.de

Solare Einstrahlungs- und Leistungsprognosen

Dr. Elke Lorenz

☎ +49 761 4588-5015

✉ pvmod.forecast@ise.fraunhofer.de

AUSGEWÄHLTE PROJEKTE 2016

-  Mosaikmodule als photovoltaische Designelemente für solare Fassaden
-  BIPV-Fassade an einem Laborgebäude
-  Steigerung der Modulleistung durch Analyse der Zelle-zu-Modul-Verluste mit SmartCalc.CTM
-  Globales Belastungs-Klassifikationssystem für solartechnische Materialien
-  Methodenentwicklung zur Modul- und Systemcharakterisierung für bifaziale PV-Technologie
-  Auslegung einer BIPV-Anlage für ein Jugendstilgebäude

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

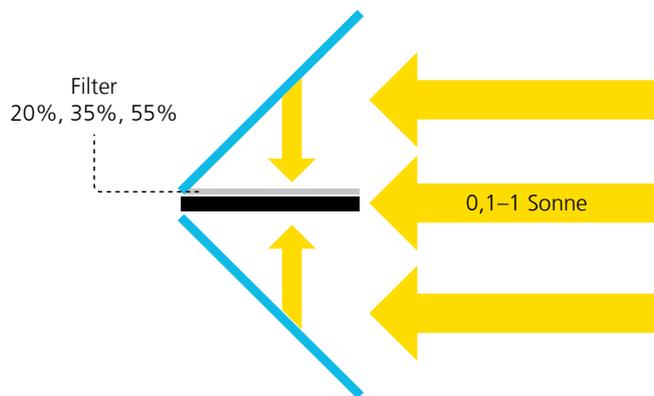
-  *Prototyp / Kleinserie*
-  *Software / Anwendung*
-  *Messtechnische Analyse / Qualitätssicherung*
-  *Beratung / Planung / Studie*



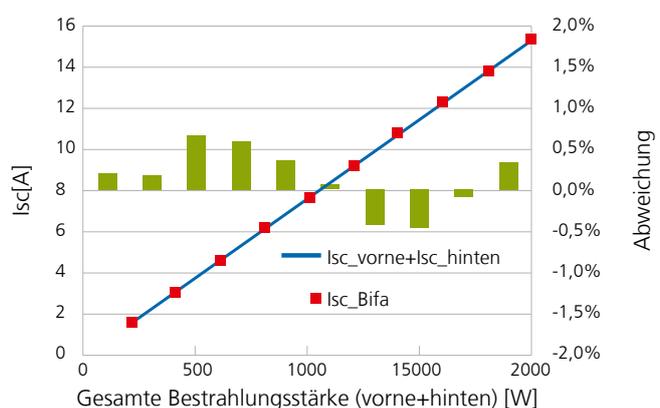


NEUER TESTSTAND ZUR CHARAKTERISIERUNG BIFAZIALER PV-MODULE

Bifaziale PV-Module können einfallendes Licht auf Vorder- und Rückseite zur Stromerzeugung nutzen und haben daher großes Potenzial, um den Ertrag von PV-Kraftwerken zu steigern. Der Mehrertrag von 5–20% im Vergleich zu herkömmlichen Modulen hängt dabei von der rückseitigen Einstrahlung und Effizienz ab. Bifaziale Module stellen allerdings neue Anforderungen an die Messprozeduren im Labor. Zur Kalibrierung bifazialer Module bei beidseitiger Bestrahlung haben wir im CallLab PV Modules einen Messplatz entwickelt und aufgebaut, der eine beidseitige Beleuchtung des Moduls mit verschiedenen Bestrahlungsstärken und -verhältnissen ermöglicht. Das Licht des präzisen Blitzlichtsimulators wird dabei über zwei Spiegel im 45° Winkel simultan auf Vorder- und Rückseite des bifazialen PV-Moduls gelenkt. Durch die regelbare Lampenleistung und den Einsatz von Abschwächgittern an der Rückseite der Module können unterschiedliche Einstrahlungsniveaus generiert werden. Typische Einstrahlungsverhältnisse, die bei verschiedenen Installationsgeometrien zu erwarten sind, können so nachgestellt werden. Damit erzielen wir ein bifaziales Power-Rating, dessen Resultate in Ertragsberechnungen und Simulationen eingehen können. Mit dem neu entwickelten Teststand des CallLab PV Modules können bifaziale PV-Module bis zu einer Größe von 1 m × 2 m erstmals unter definierter beidseitiger Bestrahlung kalibriert werden. Mit unseren Werkzeugen zur Modulcharakterisierung und Systemsimulation können wir zukünftige bifaziale PV-Kraftwerke vom einzelnen Modul über das Montagesystem bis hin zur Installationsgeometrie präzise bewerten und optimieren. Durch die umfassende Charakterisierung und Kalibrierung der bifazialen Module im neuen Teststand können diese Referenzmodule in der Produktionslinie zum präzisen Rating der bifazialen Module eingesetzt und damit die Messunsicherheit für diese Technologie erheblich reduziert werden. Die Neuentwicklung des Fraunhofer ISE zur Kalibrierung für bifaziale PV-Module übertrifft die Anforderungen der Klasse AAA für Sonnensimulatoren gemäß dem Standard IEC60904-9.



Messaufbau mit zwei Spiegeln im 45° Winkel, variabler Lichtintensität und Intensitätsverhältnis.



Gemessene Ströme (Isc) bei symmetrisch-bifazialer Bestrahlung und Summe der Ströme bei einseitiger Bestrahlung, aufgetragen über die gesamte Bestrahlungsstärke.

- 1 Bifaziales Modul im neuen Teststand.
- 2 Rahmenloses bifaziales Modul.

Kontakt

Alexandra Schmid
 +49 761 4588-5066
 modules@calllab.de

SOLARTHERMIE





Prof. Dr. Werner Platzer

✉ werner.platzer@ise.fraunhofer.de



Mitarbeiter gesamt	85
Zeitschriften- und Buchbeiträge	15
Vorträge und Konferenzbeiträge	16
Erteilte Patente	1

www.ise.fraunhofer.de/solarthermie

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 von der Kostenentwicklung in Produktion und Vertrieb ab. Forschung und Entwicklung können ihren Anteil dazu beitragen, indem kostengünstigere Materialien, Produktionsverfahren und optimierte Gesamtsysteme entwickelt werden. Dabei spielen neben der Investitionshöhe auch die jährlichen Betriebskosten eine nicht unerhebliche Rolle.

Im Geschäftsfeld »Solarthermie« beschäftigen wir uns mit Optik und Oberflächentechnik, um die Solarstrahlung je nach Anforderung besser transmittieren, reflektieren, absorbieren, umzulenken oder konzentrieren zu können. In der Solarthermie werden Technologien umfassend weiterentwickelt, sowohl Komponenten als auch die Systemtechnik: 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 Kollektoren mit kombinierter photovoltaischer Stromerzeugung wichtig. Die Fassadenintegration mithilfe neuer Flächen-Heatpipes schafft Flexibilität in der Gestaltung. Mit linearer Konzentration können Betriebstemperaturen von 150°C bis zu 550°C erreicht werden. Neben dem Einsatz in Großkraftwerken für die solarthermische Stromversorgung kommen auch einfachere und kostengünstigere Varianten für die Erzeugung von Prozesswärme, Prozessdampf und Antriebswärme von Absorptionskältemaschinen in Frage.

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 mithilfe 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 in den Bereichen Materialwissenschaft, Komponentendesign, Charakterisierungs- und Prüfverfahren, theoretische Modellierung und Simulation, Anlagenregelung sowie Systemtechnik bei den verschiedenen Anwendungen.

Unter Mitarbeit des Fraunhofer ISE entwickelter Prototyp eines Linearen Fresnel Kollektors der Fa. Soltigua für solare Prozesswärme bis 250°C. An dieser Installation auf einem unserer Dächer haben wir unsere Methode zur Leistungsvermessung unter dynamischen Testbedingungen demonstriert.

ANSPRECHPARTNER

Koordination Geschäftsfeld Solarthermie

Prof. Dr. Werner Platzer

☎ +49 761 4588-5983

✉ soltherm@ise.fraunhofer.de

Materialforschung und Optik

Prof. Dr. Werner Platzer

☎ +49 761 4588-5983

✉ soltherm.materials@ise.fraunhofer.de

Thermische Kollektoren und Komponenten

Dr.-Ing. Wolfgang Kramer

☎ +49 761 4588-5096

✉ soltherm.collectors@ise.fraunhofer.de

Thermische Anlagentechnik

Dr. Peter Nitz

☎ +49 761 4588-5410

✉ soltherm.systems@ise.fraunhofer.de

Thermische Speicher für Kraftwerke und Industrie

Dr.-Ing. Wolfgang Kramer

☎ +49 761 4588-5096

✉ soltherm.storage@ise.fraunhofer.de

Wasseraufbereitung

Dr.-Ing. Joachim Koschikowski

☎ +49 761 4588-5294

✉ soltherm.water@ise.fraunhofer.de

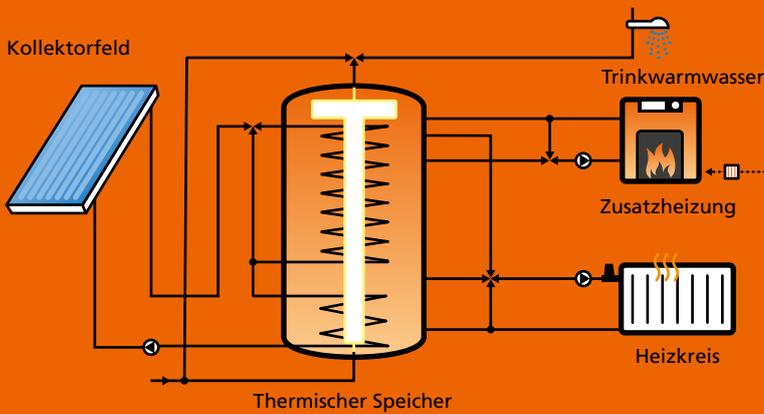
AUSGEWÄHLTE PROJEKTE 2016

-  Entwicklung neuartiger Technologien für solarthermische Turmkraftwerke
-  Salzbasierter Latentwärmespeicher für solare Dampferzeugung und Abwärmenutzung
-  Optimierte PVT-Kollektoren für die kombinierte Strom- und Wärmeerzeugung
-  Entwicklung und Vermessung neuartiger Solarluftkollektoren sowie Untersuchung geeigneter Energienutzungskonzepte
-  Entwicklung von architektonisch hoch integrierten Fassadenkollektoren mit Heat-Pipes
-  Gebrauchsdauerabschätzung für solarthermische Kollektoren und deren Komponenten
-  Modellbasierte Messdatenanalyse von SolarAktivHäusern
-  Technisch-wirtschaftliche Optimierung von solarthermischen Kombianlagen
-  Verbreitung innovativer solarthermischer Anwendungen in der tunesischen Industrie
-  Erstellung von Richtlinien zur Ertragsberechnung von solarthermischen Kraftwerken
-  Betriebsstrategien zur bedarfsgerechten Stromerzeugung mit solarthermischen Kraftwerken im kleinen Leistungsbereich

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

-  *Neues Material / Verfahren*
-  *Prototyp / Kleinserie*
-  *Messtechnische Analyse / Qualitätssicherung*
-  *Beratung / Planung / Studie*





ZUKUNFT DES SOLAREN HEIZENS

Die Technologien zur Nutzung solarer Strahlungsenergie für die Erwärmung von Trinkwasser und Gebäudebeheizung sind verlässlich und etabliert. Die Vorteile liegen auf der Hand: Nutzung einer kostenlosen Energiequelle und nahezu emissionsfreie Bereitstellung von Wärme. Dennoch steckt die europäische Solarthermiebranche in einer Krise. Wesentliche Gründe für diese Situation sind zum einen die stark gesunkenen Energiepreise und das damit verbundene, nachlassende Interesse von Öffentlichkeit und Politik. Darüber hinaus stehen derzeit andere dominierende Themen auf der politischen Tagesordnung, die die Dringlichkeit des Umbaus unserer Energieversorgung verdecken.

Dennoch ist zu erwarten, dass solares Heizen in Zukunft wieder eine größere Rolle spielen wird. Heutige fossile Brennstoffe werden zur Neige gehen, wenn auch der genaue Zeitpunkt schwer vorhersagbar ist. Dies wird zwangsläufig zu stark steigenden Preisen führen und den erneuerbaren Energien wieder Auftrieb verleihen. Entscheidend dafür, welche erneuerbaren Technologien sich in diesem Kontext durchsetzen werden, ist neben dem Aspekt der betriebswirtschaftlichen Wettbewerbsfähigkeit, die volkswirtschaftliche Kostenbetrachtung sowie die gesellschaftliche Akzeptanz und der politische Wille, bestimmte Technologieoptionen zu fördern.

Wesentlich für den Erfolg von solarthermischen Heizungssystemen ist, die Kosten der Anlagen für die Nutzer zu senken. Bei der Betrachtung der gesamten Prozesskette fällt auf, dass wesentliche Kosten außerhalb des eigentlichen Fertigungsprozesses der Komponenten entstehen. Daher sind Ansätze wichtig, die nicht nur die Kostenoptimierung der Komponenten berücksichtigen. Das Fraunhofer ISE engagiert sich im Projekt »TEWISOL« an der Entwicklung einer Methodik zur Analyse der gesamten Prozesskette. Die Wertschöpfung von der Produktentwicklung über die Fertigungsprozesse bei Herstellern von Komponenten und Systemen, die Installation

sowie die Inbetriebnahme der Anlagen durch Handwerksbetriebe soll damit untersucht und optimiert werden können. Daraus ergeben sich Hinweise, welche technische Vereinfachung und Standardisierung von Komponenten und Systemen, welche Änderungen der Prozesskette und welche Produktkomplexität den Markterwartungen entsprechen und gleichzeitig maximale Kostenvorteile bieten.

Einen wesentlichen Beitrag zum Erfolg der Energiewende können solare Heizungssysteme leisten, die den überwiegenden Teil der notwendigen Wärme zur Beheizung von Gebäuden und zur Erwärmung von Trinkwasser bereitstellen. Derartige Heizungssysteme hat das Fraunhofer ISE erfolgreich im Projekt »HEIZSOLAR« untersucht. Sie stellen eine wesentliche Möglichkeit dar, die für die Zukunft geforderten Nahe-Null-Energieanforderungen an Gebäude, wie sie durch die EPBD (Energy Performance of Buildings Directive) der EU definiert werden, zu erfüllen. Im Vergleich zu strombasierten Heizungssystemen entlasten solche Konzepte die elektrischen Netze. Das kann das Problem der fehlenden Akzeptanz für den notwendigen, beschleunigten Ausbau des Stromnetzes entschärfen.

1 *Systemschema einer solarthermischen Anlage zur Gebäudebeheizung und Trinkwassererwärmung.*

Kontakt

Dr.-Ing. Wolfgang Kramer

+49 761 4588-5096

soltherm.collectors@ise.fraunhofer.de

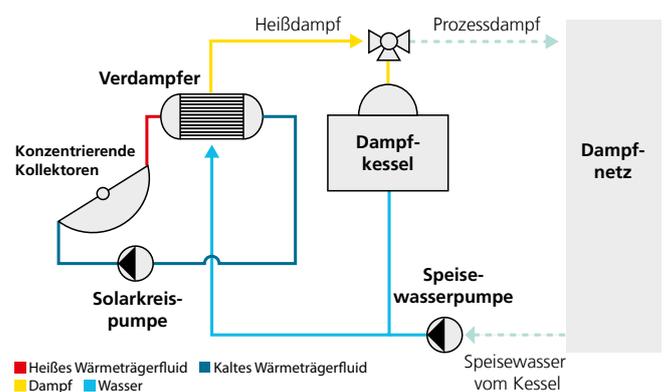


WÄRMEINTEGRATION IN DER LEBENSMITTELINDUSTRIE

Ein Großteil der Endenergie weltweit wird für Wärme in industriellen Prozessen verbraucht. Wohngebäude und Transport sind ähnlich verbrauchsintensiv und übertreffen den Endenergieverbrauch für die Stromversorgung um 20 %. Wenn solarthermische Technologien zur Deckung des Wärmebedarfs in der Industrie genutzt werden sollen, ist der Zusammenhang zwischen Prozesstemperatur und Kolleorteknologie wichtig. Prozesse in nicht energieintensiven Industriesektoren – die 48 % des Endenergieverbrauchs in der Industrie ausmachen – können mit kommerziell verfügbaren Nieder- und Mitteltemperatur-Kollektoren, wie stationären oder linienfokussierenden Kollektoren, bedient werden. In diesem Bereich ist vor allem die Lebensmittelindustrie relevant, mit typischen Prozesstemperaturen zwischen 20 °C und 220 °C. Das Fraunhofer ISE untersucht daher die Nutzung von solarer Wärme besonders am Beispiel dieser Branche.

Die Lebensmittelindustrie erbringt in Tunesien rund 22 % der gesamten nationalen Industrieproduktion. Zudem ist Tunesien ein Land mit hoher solarer Einstrahlung. Aufgrund dieser für die wirtschaftliche Nutzung solarer Wärme vorteilhaften Bedingungen, führt das Fraunhofer ISE dort im Auftrag der GIZ eine Studie zur Integration solarer Wärme in der Lebensmittelindustrie durch. Am Beispiel eines Hefeherstellers, einer Molkerei und einer Brauerei haben wir zunächst mögliche Strategien und die Potenziale von Wärmerückgewinnung und anderen Energieeffizienzmaßnahmen untersucht. Als Energieeffizienzmaßnahmen wurden z. B. Kesselspeisewasser-Vorwärmung durch Kesselabgase, Vorheizung der Verbrennungsluft mit Kompressorabluft oder Luftvorwärmung in Trocknungsanlagen mittels Abluft betrachtet. Sowohl auf der Prozess- als auch auf der Versorgungsebene haben wir Möglichkeiten zur Integration von Solarwärme untersucht. Eine detailliertere Betrachtung zur Nutzung von direkt oder indirekt solar erzeugtem Dampf auf der Versorgungsebene schloss sich der Analyse an. Die technische Umsetzbarkeit war in den allermeisten Fällen ge-

ben. Allerdings stellte bei den derzeitigen tunesischen Marktbedingungen die Wirtschaftlichkeit eine große Herausforderung dar. Energieeffizienzmaßnahmen können Amortisationszeiten von ein bis drei Jahren bieten, aber solare Prozesswärme konnte nur mit Unterstützung von staatlichen Anreizprogrammen Amortisationszeiten von etwa fünf Jahren erreichen. Mit den absehbaren Kostensteigerungen konventioneller, fossiler Energie ist zu erwarten, dass sich die Rahmenbedingungen zugunsten der Solarwärme verbessern werden. Mit Angeboten zur techno-ökonomischen Analyse und Optimierung kann das Fraunhofer ISE die Integration von Solarwärme in industriellen Prozessen in zukünftigen Anwendungen unterstützen.



Hydraulisches Schema für die Integration von indirekt solar erzeugtem Dampf auf der Versorgungsebene.

1 Messungen zur Analyse thermischer Prozesse bei der Hefeherstellung in Tunesien.

Kontakt

Dr. Pedro Horta

+49 761 4588-2126

soltherm.systems@ise.fraunhofer.de



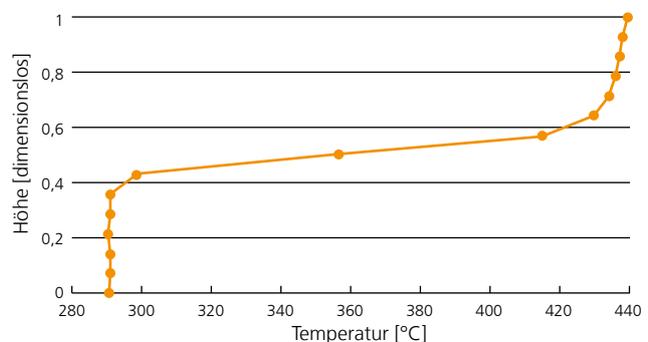
PROTOTYP EINES EIN-TANK-SALZSCHMELZESPEICHERS

Hochtemperatur-Speicher in solarthermischen Kraftwerken ermöglichen eine Entkopplung von solarer Einstrahlung und Stromerzeugung und damit eine bedarfsgerechte Stromversorgung. Das ist ein entscheidender Vorteil gegenüber Wind- und Photovoltaiksystemen und ein wichtiger Aspekt in Übertragungsnetzen mit einem hohen Anteil an erneuerbaren Energien. In bestehenden solarthermischen Kraftwerken werden dafür Zwei-Tank-Salzsammelzspeichersysteme eingesetzt. In Spanien ist eine Speicherkapazität von mehr als 8 GWh_{el} mit dieser Technologie realisiert worden. Die größte Einzelanlage in den USA besitzt eine Speicherkapazität von 1,6 GWh_{el}.

Als Alternative zum bewährten Zwei-Tank-System wurde am Fraunhofer ISE ein Ein-Tank-Salzsammelzspeichersystem entwickelt. Gegenüber dem aktuellen Stand der Technik sind damit Kosten- und Platzeinsparungen möglich. Besonders die räumlichen Einsparungen sind auch für die Abwärmespeicherung in Industrieprozessen interessant. Während Ein-Tank-Speicher im Warmwasserbereich für Haushalts- oder Fernwärmeeanwendungen sehr verbreitet und eingehend erforscht sind, beschränken sich die Untersuchungen im Salzsammelzspeichersbereich hauptsächlich auf theoretische Arbeiten bzw. numerische Simulationen.

Der Prototyp am Fraunhofer ISE ermöglicht nun die Untersuchung des Schichtungsverhaltens sowie unterschiedlicher Einflussfaktoren. Dazu gehört z. B. der Dichteunterschied zwischen heißem und kaltem Medium. Ein großer Dichteunterschied fördert die Trennung von heißen und kalten Fluidschichten. Der relative Dichteunterschied ist bei Salzsammelzspeichersystemen deutlich höher als bei Warmwassersystemen. Das kann zu einem guten Speicherverhalten führen. Ein weiterer Faktor sind Wärmeverluste, die Konvektionsströmungen verursachen und die Qualität der Schichtung beeinflussen können. Die bisher erzielten Ergebnisse sind äußerst vielversprechend, da eine sehr gute Trennung von heißem und kaltem Medium

erzielt werden konnte. Die vertikale Temperaturverteilung wird mithilfe von Mantelthermoelementen ermittelt. Dabei wurde ein Temperaturgradient von mehr als 120 K innerhalb von 8 cm gemessen. Die Kombination von experimentellen und analytischen Ergebnissen ermöglicht uns, das System sowie die Vorbereitung von Systemen im Demonstrationsmaßstab weiterzuentwickeln. Ziel von Folgevorhaben wird sein, einen Großteil des Salzsammelzspeichersvolumens durch kostengünstige Füllkörper zu ersetzen und dadurch Kosteneinsparungen von mehr als 30 % zu erreichen.



Höhenaufgelöstes Temperaturprofil im Speicher während eines Beladevorgangs.

- 1 Salzsammelzspeichersanlage mit Begleitheizungskabeln beim Aufbau.
- 2 Fertiggestellte Anlage.

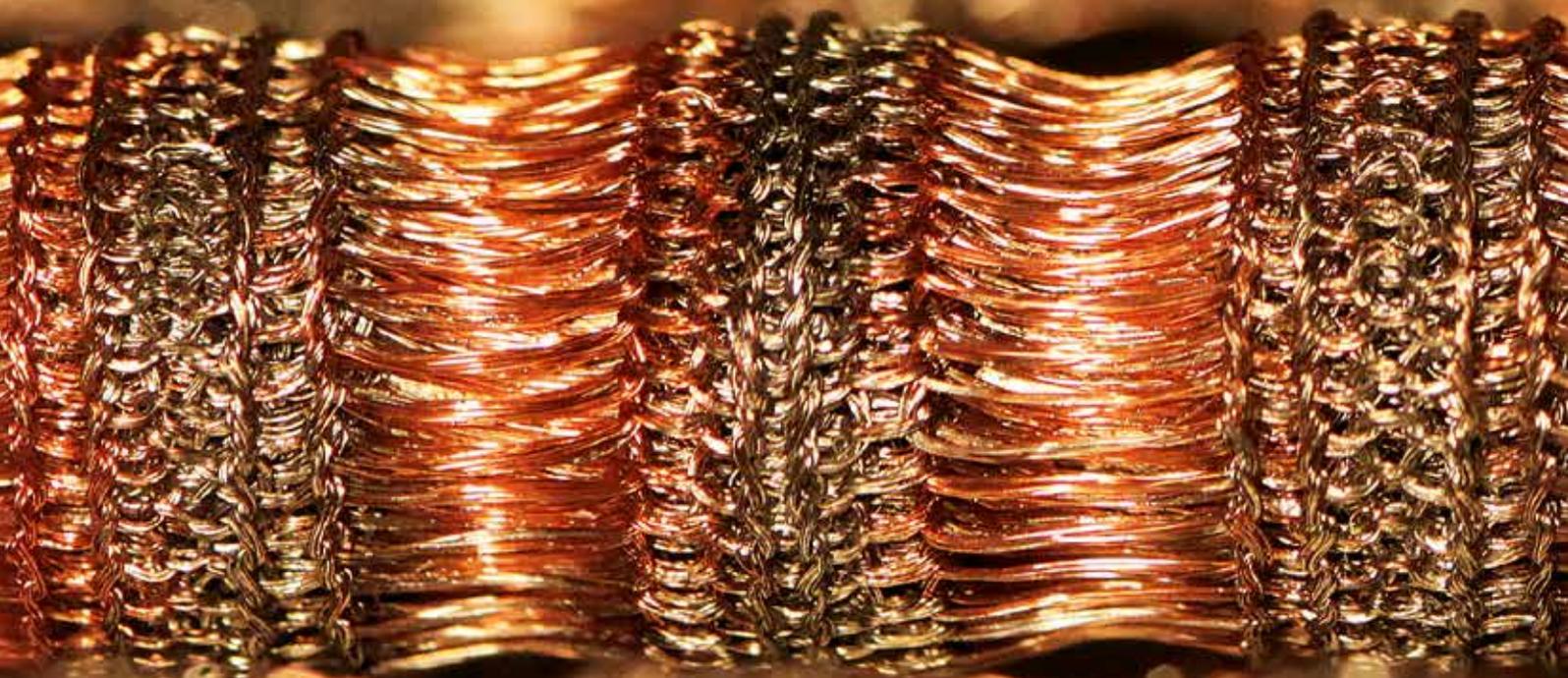
Kontakt

Dr. Thomas Fluri

+49 761 4588-5994

soltherm.storage@ise.fraunhofer.de

GEBÄUDEENERGIETECHNIK





Prof. Dr. Hans-Martin Henning

✉ hans-martin.henning@ise.fraunhofer.de

Mitarbeiter gesamt	170
Zeitschriften- und Buchbeiträge	41
Vorträge und Konferenzbeiträge	52
Erteilte Patente	4

www.ise.fraunhofer.de/gebäudeenergietechnik

Über 40 % des Endenergiebedarfs in Deutschland entfällt auf den Gebäudesektor. Ähnliche Werte gelten in Europa und in den meisten industrialisierten Ländern. Dem Gebäudesektor kommt insofern eine zentrale Rolle bei der Erreichung von Klimaschutzziele zu. Unser Ziel ist es, den Einsatz fossiler Energien für den Betrieb von Gebäuden kontinuierlich abzusenken und langfristig vollständig zu vermeiden.

Hierfür spielen zwei grundsätzliche Lösungsansätze die entscheidende Rolle: Einerseits geht es darum, den Energiebedarf zu reduzieren und andererseits, den verbleibenden Bedarf möglichst vollständig mit erneuerbaren Energien zu decken. Beispiele für unsere Forschungs- und Entwicklungsarbeiten zur Reduktion des Raumwärmebedarfs umfassen neue Verglasungen, die durch eine Evakuierung des Scheibenzwischenraums sehr geringe Wärmeverluste aufweisen, ebenso wie neue Systeme zur Wärmedämmung, bei denen haustechnische Funktionen wie Lüftung oder Heizungsverteilung in die Dämmebene integriert werden. Letztgenannte sind besonders für die energetische Sanierung von großer Bedeutung, da hier eine Minimierung des Eingriffs in den Wohnraum der Bewohner möglich ist. Andere Konzepte nutzen die Gebäudehülle auch für die Energiegewinnung, z. B. mit gebäudeintegrierter Photovoltaik. Hierfür haben wir leistungsfähige Werkzeuge entwickelt, die zur bau- und elektrotechnischen Planung derartiger Anlagen auch bei Gebäuden mit komplexer Geometrie der Außenhülle zum Einsatz kommen können.

Für die Wärmeversorgung von Gebäuden werden zukünftig Wärmepumpen eine immer wichtigere Rolle spielen. Wärmepumpen sind eine Technologie, bei der wir von der Komponentenentwicklung im Kältekreis über die Geräte- und Anlagenentwicklung bis hin zur Qualitätssicherung im praktischen Betrieb die gesamte Wertschöpfungskette abdecken. Dies gilt

sowohl für elektrische Wärmepumpen mit mechanischem Verdichter als auch für Gas-Wärmepumpen. Bei Letztgenannten arbeiten wir an neuen Adsorptionsverfahren, die sowohl eine effiziente Ausnutzung der eingesetzten Antriebsenergie, in der Regel Brennstoffe, als auch eine hohe Leistungsdichte erreichen.

Gesamtenergiekonzepte und deren Planung mit digitalen Methoden werden immer wichtiger, gerade wenn es um die betriebswirtschaftliche Optimierung unter Einsatz erneuerbarer Energien geht. So können z. B. durch das Zusammenspiel von Photovoltaik, elektrischen und thermischen Speichern und Wärmepumpen hohe Anteile eigenverbrauchten Stroms erreicht werden. Derartige Anlagen benötigen jedoch ein leistungsfähiges Energiemanagementsystem, um – gegebenenfalls unter Einbeziehung vorhersagebasierter Verbrauchs- und Erzeugungsprognosen – betriebsicher und stabil zu arbeiten. Betriebsführungskonzepte und Fehleranalyseverfahren sowie deren hard- und softwaretechnische Umsetzung sind deshalb weitere wichtige Arbeitsfelder des Fraunhofer ISE im Bereich der Gebäudeenergietechnik.

Kupferrundrohr auf dessen Oberfläche aus Kupferdraht bestehende Gewebe- und Gestrickstrukturen verlötet wurden. Die Fertigungstechnik textiler Metallstrukturen ermöglicht eine gezielte Anpassung der Oberflächenvergrößerung an die Anforderungen, so können z. B. gerichtete Strukturen oder Bereiche unterschiedlicher Dichte erzeugt werden. Die abgebildete Struktur ermöglicht für die subatmosphärische Verdampfung von Wasser eine deutliche Verbesserung zum aktuellen Stand der Technik.

ANSPRECHPARTNER

Koordination Geschäftsfeld Gebäudeenergie-technik

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

Gebäudehülle

Dr. Tilmann Kuhn
☎ +49 761 4588-5297
✉ building.envelope@ise.fraunhofer.de

Wärme- und Kälteversorgung

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

Betriebsführung und Gesamtenergiekonzepte

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

Thermische Speicher für Gebäude

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

Materialien und Komponenten für Wärmetransformation

Dr. Stefan Henninger, Dr. Lena Schnabel
☎ +49 761 4588-5104
✉ building.heattransfer-materials-components@ise.fraunhofer.de

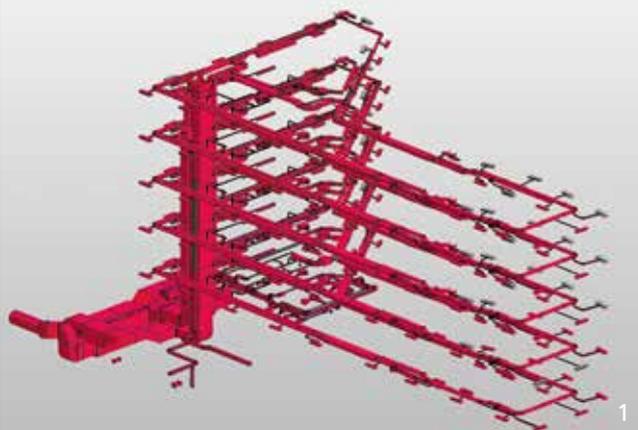
AUSGEWÄHLTE PROJEKTE 2016

-  Gasadsorptionswärmepumpe mit einem aufkristallisierten Zeolithwärmeübertrager
-  Systemischer Ansatz für die Nachrüstung von Bestandsgebäuden
-  Direkt in thermische Flachkollektoren integriertes Sorptions-Kältesystem
-  Mosaikmodule als PV-Designelement für solare Fassaden
-  BIPV-Fassade an Laborgebäude
-  Netzdienliche Betriebsführungsstrategien für eine energieeffiziente Wärme- und Kälteversorgung von Gebäuden im GHD-Sektor
-  Gebäudekontroll-Plattform zur Verringerung der »Performance Gap«
-  Unterkühlung in mikro-kompartierten organischen PCM
-  Elektrisch erprobte BIPV-Schindeln für Fassade oder Dach
-  Auslegung einer BIPV-Anlage für ein Jugendstilgebäude
-  Ganzheitliche Integration energetisch-aktiver Fassadenkomponenten in Bauprozesse
-  Tageslichtnutzung in Gebäuden – energetische und ergonomische Optimierung neuer Beleuchtungssysteme
-  Abbildung und Analyse gegenwärtiger und künftiger Brennstoffverwendung für die Wärme / Kälteversorgung

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

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





BIM FÜR EINE INTEGRALE GEBÄUDE- UND ANLAGENPLANUNG

Im Zeitalter von Smartphones und Cloud Computing ist es nicht mehr zeitgemäß, CAD-Pläne auszudrucken und auf der Baustelle handschriftlich Änderungen einzuzichnen, die unter Umständen nie elektronisch eingepflegt werden. Darüber hinaus führen fehlende Aktualisierungen von Plänen und mangelnder Datenaustausch zwischen den einzelnen Gewerken zu unnötigen Verzögerungen und Fehlern im Bauablauf und bei der Inbetriebnahme eines Gebäudes. Abhilfe soll hier die Methodik des Building Information Modeling (BIM) schaffen: Reale und digitale Welt werden durch wissensbasierte intelligente Systeme so miteinander verbunden, dass allen Beteiligten die für sie relevanten Informationen zu einem Gebäude oder Bauprozessschritt immer aktualisiert zur Verfügung stehen.

BIM bedeutet einen Kulturwandel, da Architekten, Fachplaner, Bauherren, Bauleiter, Bauunternehmer und andere am Bauprozess Beteiligte auf eine zentrale Datenhaltung zugreifen, welche auf einem gemeinsamen, standardisierten Datenaustauschformat basiert. Dabei unterscheidet man zwischen »open BIM«, das sich dem international anerkannten Standard IFC (Industry Foundation Classes) als universellem Austauschformat bedient, und dem sogenannten »closed BIM«, das proprietäre und herstellerspezifische Lösungen nutzt.

Der BIM-Ansatz kommt im Rohbau, beispielsweise zur Kollisionsprüfung, bereits vielfach zum Einsatz. Auch geometrische (3D) und technische Informationen über die Haustechnik lassen sich in einem digitalen Gebäudemodell integrieren und mit Termin- und Kostenplanung verknüpfen – man spricht dann von 5D. Bisher fehlt jedoch eine integrale Abbildung von innovativen und energieeffizienten Gebäudehüllkomponenten ebenso wie eine Beschreibung der funktionalen Zusammenhänge der Haustechnik in BIM. Um moderne, hocheffiziente Gebäude zu planen und die hohen Anforderungen an Komfort und Energieeffizienz auch im Betrieb zu gewährleisten ist daher eine Erweiterung von BIM notwendig.

Das Fraunhofer ISE beteiligt sich im Rahmen von verschiedenen Projekten aktiv an der Einführung und Weiterentwicklung von BIM. Ziel des vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) geförderten Projekts »SolConPro« ist es beispielsweise, solar aktive Fassaden (gebäudeintegrierte PV und gebäudeintegrierte Solarthermie) mit BIM ganzheitlich in den Planungsprozess zu integrieren. Dabei ist besonders die Schnittstelle zwischen den Gewerken Fassade und Technische Gebäudeausrüstung (TGA) zu berücksichtigen. Ein weiteres vom BMWi gefördertes Projekt, »EnEff-BIM«, hat zum Ziel, einen durchgängigen Datenaustausch zwischen CAD-Programmen und der Modellierungssprache »Modelica« zu ermöglichen. Die hierzu entwickelte Schnittstelle bietet eine Grundlage für Lebenszykluskostenanalysen sowie die energetische Nachweisführung und Nachhaltigkeitszertifizierung von Gebäuden. Im Projekt »Rng-Opt« steht die Entwicklung eines BIM-gestützten Facility Managements im Vordergrund.

1, 2 *Digitale Modelle der 3-D Geometrie von Gebäuden und der Gebäudetechnik sind ein wichtiger Bestandteil des Building Information Modeling. Über die Geometrie hinaus werden die Modelle mit zahlreichen weiteren Informationen angereichert und diese durch intelligente Systeme in Planung, Bau und Betrieb des Gebäudes genutzt. Dadurch kann insbesondere die Integration komplexer Bauelemente – z. B. bauwerksintegrierter Photovoltaik oder Solarthermie – vorangetrieben werden.*

Kontakt

Dr. Tilmann Kuhn

☎ +49 761 4588-5297

✉ building.envelope@ise.fraunhofer.de



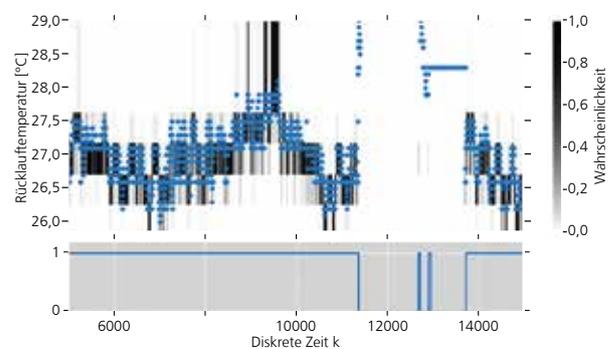
ALGORITHMEN ZUR ÜBERWACHUNG DES GEBÄUEBETRIEBS

Durch die erhöhten Anforderungen an Gebäude hinsichtlich Energieeffizienz, Komfort und Sicherheit haben sich Gebäudeautomationssysteme (GA-Systeme) zu gewerkeübergreifenden Kommunikationssystemen entwickelt, die eine Vielzahl von Aktoren, Sensoren und Funktionen integrieren. Mit der kontinuierlichen Erweiterung des »Internet der Dinge« steigt die Komplexität der GA-Systeme weiter an und die Datenmengen, die in solchen Systemen anfallen, nehmen stetig zu. Während der Betriebsphase von Gebäuden rücken aber oft prioritäre Ziele wie die Sicherstellung des thermischen Komforts oder einer hohen Energieeffizienz in den Hintergrund, weil Gebäudebetreiber nicht über geeignete Werkzeuge verfügen, um die großen Datenmengen kontinuierlich zu analysieren und Anomalien rechtzeitig und systematisch zu identifizieren. Nach aktuellen Einschätzungen lassen sich durch eine systematische Überwachung und Optimierung des Gebäudebetriebs in vielen Fällen zwischen 5 % und 30 % Energieeinsparung erreichen.

Im Rahmen verschiedener Projekte entwickelt das Fraunhofer ISE neuartige Algorithmen zur automatischen Fehlererkennung und -diagnose, die auf Data-Mining und Modell-basierten Methoden beruhen. In unseren Arbeiten konzentrieren wir uns dabei besonders auf Verfahren des »überwachten Lernens«, die den Anlagenbetrieb selbstständig erlernen und wenig Vorwissen über das System und die implementierte Regelung benötigen. Vielversprechende Methoden des »überwachten Lernens« für den Gebäudebereich sind z. B. Entscheidungs-bäume, Clustering und qualitative Modelle.

Das vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) geförderte Projekt »OBSERVE« untersucht die Anwendung von qualitativen Modellen für die Fehlererkennung und Diagnose in gebäudetechnischen Anlagen. Dabei wurde eine Funktionsbibliothek entwickelt mit dem Ziel, die Methode in realen GA-Systemen zu integrieren. Im Projekt »HIT2GAP«, das im europäischen Forschungsprogramm Horizon 2020

gefördert wird, entwickelt das Fraunhofer ISE Module zur automatischen Fehlererkennung und -diagnose (FED), die in ein neuartiges, Smartphone-ähnliches Gebäudemanagementsystem integriert werden. Im Projekt des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi) »RngOpt« und im europäischen Projekt »TOPAs« werden Methoden zur Fehlererkennung mit Bauwerkinformationsmodellen (BIM) gekoppelt, um den Gebäudebetreibern kontextuelle Informationen wie z. B. technische Daten oder die Position eines defekten Geräts bereitzustellen und somit Wartungsaufgaben zu optimieren.



Qualitative Zustandstrajektorie der Rücklauftemperatur einer Betonkernaktivierung. Wenn das Signal in der unteren Grafik den Wert »0« annimmt, deutet dies auf einen Fehler hin.

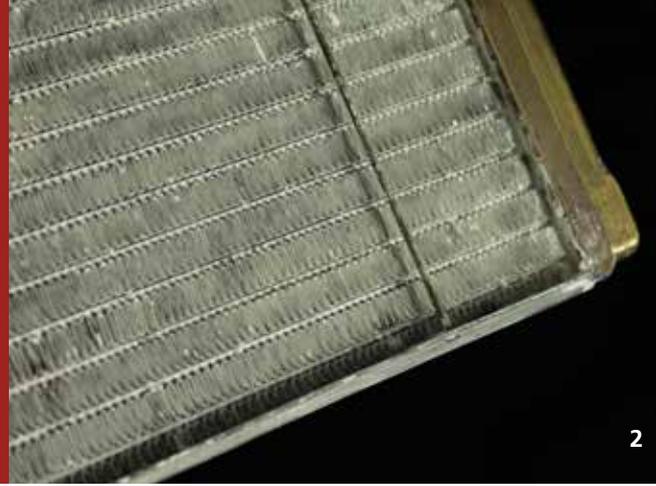
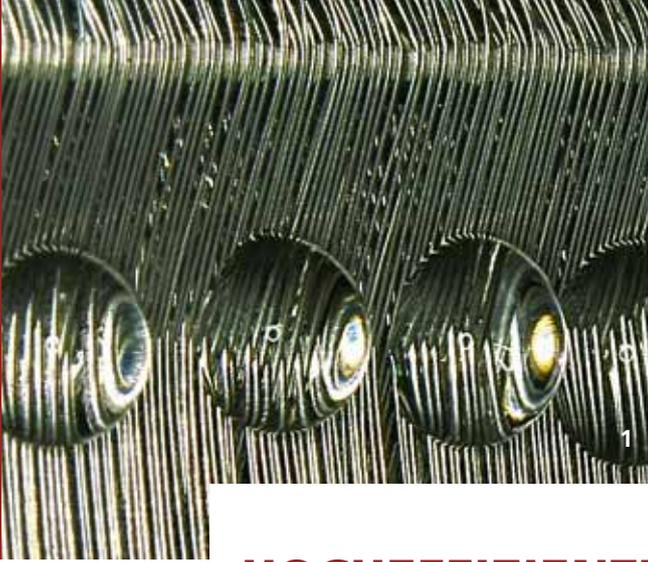
1 Gebäude der Kreispolizeibehörde Mettmann: Die Büroarbeitsplätze werden durch thermoaktive Bauteilsysteme (TABS) wie Betonkernaktivierung und Randstreifenelemente konditioniert. Die Messdaten der Betonkernaktivierung werden durch qualitative Modelle überwacht.

Kontakt

Dipl.-Ing. Nicolas Réhault

+49 761 4588-5352

building.concepts@ise.fraunhofer.de



HOCHEFFIZIENTE ADSORPTIONS-VERBUND-SYSTEME FÜR DIE ENERGIETECHNIK

Thermisch betriebene Adsorptionswärmepumpen und Kälteanlagen ermöglichen eine energieeffiziente Bereitstellung von Wärme und / oder Kälte in Gebäuden. Auch in der Mobilität oder beim Feuchtmanagement in Haushaltsgeräten gibt es attraktive Anwendungsmöglichkeiten für diese Technologie.

Zentrales Forschungs- und Entwicklungsziel am Fraunhofer ISE sind dabei Adsorptionsmodule, die gleichzeitig über eine hohe Leistungsdichte und eine hohe Effizienz verfügen. Dies erreichen wir durch das Zusammenspiel von geeignetem Sorptionsmaterial, der Kontaktierung mit einem optimalen Wärmeübertrager (binderbasierte Beschichtung oder Direktaufkristallisation) sowie der Abstimmung von Adsorber- und Sekundärkomponenten (Verdampfer/Kondensator, Hülle).

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 von der Material- und Komponentenauswahl sowie deren Bewertung bis zur Normvermessung von Geräten (z. B. nach VDI 4650-2 oder EN12309) und der Systembewertung im Feld.

Im vergangenen Jahr konnten im Bereich der Entwicklung von neuen Materialien und Beschichtungen gleich mehrere Erfolge erzielt werden. So haben wir neue metallorganische Gerüstmaterialien (MOFs) synthetisiert und erfolgreich auf Anwendungsmaßstab hochskaliert. Zudem haben wir stabile, binderbasierte Beschichtungen entwickelt und sie für verschiedene Adsorbentien angepasst. Sie wurden daraufhin auf unterschiedliche 2D- und 3D-Strukturen im Wärmeübertragermaßstab aufgetragen. Des Weiteren konnten wir die Direktaufkristallisation von MOFs erfolgreich auf verschiedene Geometrien und Strukturen übertragen.

Im Bereich der Adsorbenskomposite und der gezielten Wärmeübertragerentwicklung hat das Fraunhofer ISE ebenfalls mehrere wichtige Meilensteine erreicht. Unter anderem haben wir die zielgerichtete Identifikation von Struktur-/ Materialkombinationen in Abhängigkeit von Material, Beschichtung und Systemanforderungen methodisch weiter erschlossen. Zudem konnten wir neue Potenziale für Materialeinsparung und COP-Erhöhung (Coefficient of Performance) bei ausgerichteten 3D-Strukturen (Fasern, Drähte, Gewebe) identifizieren.

Das Fraunhofer ISE hat im vergangenen Jahr darüber hinaus neuartige Verdampfer auf Basis von Geweben/Drähten mit hoher Verdampfungsleistung entwickelt, im Labormaßstab gefertigt und vermessen. Dabei gelang es uns, die volumenspezifische Leistung gegenüber herkömmlichen Verdampfern zu verdreifachen.

- 1 *Drahtbasierter Wärmeübertrager zur Nutzung als Verdampfer und Kondensator.*
- 2 *Mit Sorbens beschichteter Lamellenwärmeübertrager für geschlossene Sorptionssysteme.*

Kontakt

Dr.-Ing. Peter Schossig

☎ +49 761 4588-5130

✉ building.heating-cooling@ise.fraunhofer.de



WÄRMEPUMPEN – KOMPONENTEN, GERÄTE, MONITORING

Wärmepumpen sind eine Schlüsseltechnologie für die zukünftige Wärmeversorgung von Gebäuden. In Verbindung mit steigenden Anteilen erneuerbarer Energien in der Stromerzeugung können Wärmepumpen wesentlich zu einer klimaverträglichen Versorgung des Gebäudesektors beitragen. Das Fraunhofer ISE unterstützt die Entwicklung und Verbreitung von Wärmepumpen auf vielen Ebenen.

In dem von der EU geförderten Projekt »GreenHP« wurden neue Komponenten für Luft/Wasser-Wärmepumpen großer Leistung entwickelt, getestet und als Wärmepumpenanlage in Betrieb genommen. Das Fraunhofer ISE hat für die Entwicklung effizienter Verdampfer Kältemittelverteiler miteinander verglichen und auf ihre Verwendbarkeit bei unterschiedlichen Lastzuständen getestet. Die Verteilungsqualität ist dabei ein wichtiger Parameter zur Bewertung der Qualität eines Verdampfers. Sie liefert einen wichtigen Anhaltspunkt dafür, ob ein Verdampfer das nutzbare Energiepotenzial einer Wärmequelle gut oder weniger gut erschließen kann. Die Vorteile des von uns verfolgten Konzepts eines bionischen Verteilers liegen einerseits im geringen inneren Volumen und korrespondierend geringen Füllmengen an Kältemittel und andererseits in der guten Integrierbarkeit der Herstellung in den Fertigungsprozess gelöteter Aluminium-Wärmeübertrager.

Seit über zehn Jahren führt das Fraunhofer ISE umfangreiche Monitoringprojekte mit Wärmepumpen durch. Wir bestimmen die Effizienz von Wärmepumpenanlagen und identifizieren optimale Lösungen für Bestandsgebäude. Die Themen »Smart Grid« und »Hybride WP« stehen im Fokus des neusten Vorhabens »WPsmart im Bestand«. 2016 wurden ca. 70 WP-Anlagen mit Messtechnik ausgestattet, die ersten Ergebnisse sind 2017 zu erwarten. Parallel zu empirischen Untersuchungen laufen Simulationsarbeiten, um den netzdienlichen Betrieb von Wärmepumpen und das Pooling von Anlagen zur Bereitstellung von Regelenergie zu optimieren.

Wir führen zudem Projekte mit verschiedenen Herstellern zur Entwicklung von Geräten speziell für das in Deutschland wichtige Segment der Renovierung von Mehrfamilienhäusern durch. Diese setzen einen Schwerpunkt auf der Bereitstellung von hohen Vorlauftemperaturen und großen Warmwasseranteilen und sollen in den kommenden Jahren in einem Verbundprojekt mit dem KIT in Karlsruhe und mehreren Wohnbaugesellschaften in Demonstrationsgebäuden getestet werden.

Im neuen Prüf- und Entwicklungszentrum für Wärmepumpen und Kältemaschinen arbeiten wir – zusammen mit Partnern aus der Industrie – an der Entwicklung einer Reihe von innovativen Systemkonzepten zur Heizung und Kälteerzeugung. Die Innovationen umfassen thermisch und elektrisch angetriebene Wärmepumpenanlagen sowie fortschrittliche Lüftungskonzepte. Im Rahmen einer internationalen Kooperation wurden die geltenden Normen für die Vermessung und Leistungsbewertung von Gaswärmepumpen in einem Ringversuch untersucht. Die Vermessung lieferte wertvolle Informationen zur Verbesserung der Bewertungsverfahren, die auch für das Energy Label relevant sind. Das Labor des Zentrums hat mit dem Akkreditierungsprozess nach ISO 17025 für eine Reihe von Normen, die für Wärmepumpen relevant sind, begonnen. Die Ausstellung des Akkreditierungszertifikats ist für 2017 geplant.

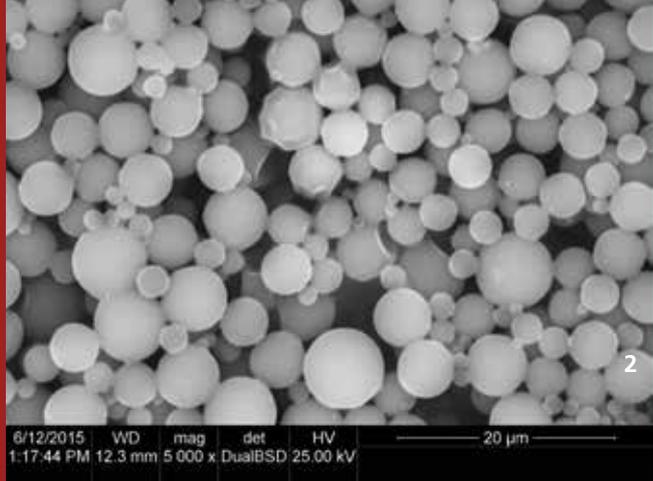
- 1 *Demonstrator einer propanbetriebenen Luft/Wasser-Wärmepumpe großer Leistung im Projekt »GreenHP«.*
- 2 *Ausschnitt des montierten Tischverdampfers mit patentiertem Kältemittelverteiler.*

Kontakt

Dr.-Ing. Marek Miara

+49 761 4588-5529

building.heating-cooling@ise.fraunhofer.de



PCM-DISPERSIONEN ÜBER 20 000 ZYKLEN STABIL

Bei der Kühlung von Geräten oder Prozessen besteht oftmals die Anforderung, große Wärmemengen bei einer geringen Temperaturspreizung des Wärmeträgermediums abzuführen. Ein Lösungsansatz sind Dispersionen aus einem Phasenwechselmaterial (PCM: Phase Change Material) und Wasser. Wir entwickeln Dispersionen aus Paraffin als PCM und Wasser als Trägermedium, die in einem engen Temperaturbereich rund um die Schmelztemperatur des PCM deutlich höhere Speicherdichten aufweisen als reines Wasser. Bei Temperaturdifferenzen von weniger als 10 K erreichen die von uns entwickelten Dispersionen bis zu 3mal höhere Speicherdichten als reines Wasser. Dabei entsteht eine PCM-Wärmeträgerflüssigkeit, die unabhängig vom Aggregatzustand des PCM flüssig bleibt und gepumpt werden kann. Zur Stabilisierung der PCM-Dispersionen werden Tenside eingesetzt. Dabei müssen die Tenside aufgrund des Phasenwechsels sowohl die flüssige als auch die feste Phase des PCM stabilisieren. Zudem unterliegen die PCM-Dispersionen bei der Anwendung hohen Scherbelastungen, die besonders in Kreiselpumpen und Wärmeübertragern auftreten.

Um zu überprüfen, ob die PCM-Dispersionen gegenüber den Scherbelastungen stabil sind, testen wir sie anwendungsnah mithilfe von Hydraulik-Testständen. Diese Teststände sind mit Standardkomponenten wie Kreiselpumpen, Plattenwärmeübertragern, Membranausgleichsgefäßen und Ventilen ausgestattet. Zur thermischen Zyklierung werden die PCM-Dispersionen zwischen zwei Plattenwärmeübertragern zirkuliert und dabei das PCM bei jedem Umlauf einmal kristallisiert und wieder aufgeschmolzen.

Mithilfe dieser Teststände haben wir eine bei uns entwickelte PCM-Dispersion mit 35 Gewichtsprozent Paraffin mehr als 20 000-mal erfolgreich thermisch zyklert und gleichzeitig den in den Komponenten auftretenden hohen Scherbelastungen ausgesetzt. Damit ist es uns gelungen, PCM-Wärmeträgerflüssigkeiten zu entwickeln, die eine hohe Stabilität aufweisen.

Es zeigt sich, dass das dispergierte PCM durch die beim Dispergieren auftretende Separation der vorhandenen heterogenen Kristallisationskeime stark unterkühlt. Um diesem Effekt entgegenzuwirken, haben wir in einem ausgedehnten Screening nach Materialien gesucht, die eine gute Keimwirkung aufweisen und gleichzeitig auch bei Phasenwechsel stabil in den PCM-Partikeln bzw. Tröpfchen der Dispersion verbleiben. Es ist uns gelungen, Materialien zu finden, die die Unterkühlung auch bei sehr hohen Zyklenzahlen deutlich und zuverlässig reduzieren.

Somit stehen nun PCM-Dispersionen für die experimentelle Untersuchung in verschiedenen Anwendungen zur Verfügung, die von der Nutzung zur Gebäudekühlung z. B. in Kühldecken und Kältespeichern bis hin zur Kühlung von Batterien im stationären und mobilen Bereich reichen.

1 *Emulsion im Speichertank.*

2 *Mikroskopische Aufnahme einer PCM-Dispersion.*

Kontakt

Dipl.-Biol. Stefan Gschwander

+49 761 4588-5494

building.thermal-storage@ise.fraunhofer.de

A close-up photograph of a catalytic converter stack. The central focus is a honeycomb monolith, which is a rectangular metal frame containing a grid of small, square cells. The monolith is mounted on a blue-painted metal frame. The background shows the textured, metallic surfaces of the surrounding engine components.

WASSERSTOFFTECHNOLOGIEN

*CATVAP (Catalytic Evaporation Process) in
Stackbauweise für die Emissionsreduzierung und
Effizienzsteigerung in Verbrennungsmotoren.*



Gespräch mit

Dr. Christopher Hebling

✉ christopher.hebling@ise.fraunhofer.de



Mitarbeiter gesamt	72
Zeitschriften- und Buchbeiträge	4
Vorträge und Konferenzbeiträge	18
Erteilte Patente	3

www.ise.fraunhofer.de/wasserstofftechnologien

Wie muss Wasserstofftechnologie für eine erfolgreiche Energiewende eingesetzt werden?

Die Stärke des Wasserstoffs liegt in seinen vielfältigen Nutzungsmöglichkeiten als speicher- und transportierbarer Energieträger. Durch Wasserelektrolyse kann Wasserstoff mit regenerativ erzeugtem Strom hergestellt werden. Er lässt sich dann als Sekundärenergieträger intersektoral in verschiedenen Anwendungen bedarfsgerecht einsetzen, sei es in einer nachhaltigen Mobilität auf Basis von Brennstoffzellenfahrzeugen, in der chemischen Industrie als Ausgangsstoff oder aber zur Nutzung in der Energiewirtschaft.

Was muss getan werden, um der Nutzung von Wasserstoff zur Speicherung von Energie für die Stromversorgung zum Durchbruch zu verhelfen?

Hier kommt es darauf an, vor allem die passenden rechtlichen Rahmenbedingungen zu setzen. Elektrolyseure werden heutzutage energiewirtschaftlich wie Endverbraucher behandelt, unabhängig von ihrem Einsatzzweck. Dadurch ergeben sich sehr hohe Wasserstoffgestehungskosten, die (noch) nicht wettbewerbsfähig mit herkömmlich erzeugtem Wasserstoff sind.

Vor welchen Herausforderungen steht die Elektrolyse-Technik derzeit und wie sehen Ihre Forschungsansätze dazu aus?

Vor allem die PEM-Elektrolyse birgt noch ein großes Kostensenkungspotenzial. Unsere Kostenmodelle zeigen eindrucksvoll, wie sich durch eine Hochskalierung der Zellfläche die Kosten dramatisch senken lassen. Auch eine Erhöhung der Stromdichte ermöglicht erhebliche Kostenreduktionen. Unsere Arbeiten konzentrieren sich aber vor allem darauf, die Alterungsmechanismen auf Zellebene besser zu verstehen, um damit die Lebensdauer von Elektrolyseuren zu erhöhen.

Warum sieht sich das Fraunhofer ISE für die Weiterentwicklung der Wasserstofftechnologie gut aufgestellt?

Das Fraunhofer ISE leistet mit seinen Entwicklungen zur effizienten Erzeugung von Wasserstoff mittels Wasserelektrolyse, der Nutzung von Wasserstoff in Brennstoffzellensystemen

sowie dessen Umwandlung in flüssige Kraftstoffe und Chemikalien unter Verwendung von CO₂ (Power-to-Liquid, PtL) entscheidende Beiträge zum Markteintritt dieser Technologien.

Die Bundesregierung fördert seit einiger Zeit den Kauf von Elektroautos. Welches Potenzial hat die Brennstoffzellenmobilität und wie sollte sie gefördert werden?

Die Brennstoffzellenmobilität ermöglicht Reichweiten und Tankzeiten, die vergleichbar zu heutigen Verbrennungsmotoren sind. Gleichzeitig kann Wasserstoff regenerativ erzeugt werden, sodass Brennstoffzellen-Fahrzeuge eine lokal und global emissionsfreie Mobilität versprechen. Entscheidend für die Markteinführung ist eine ausreichende Infrastruktur, deren Aufbau derzeit in Form der Industriinitiative »H₂Mobility« mit öffentlicher Unterstützung vorangetrieben wird.

Wo steht die Forschung für Brennstoffzellentechnologie aktuell?

Die Forschung unterstützt die Entwicklung der kommenden Fahrzeuggenerationen nach 2023. Die wichtigste Herausforderung ist die weitergehende Kostensenkung und besonders die Minimierung der Edelmetallbeladung. Außerdem sind wissenschaftliche Fragestellungen zur Langzeitbeständigkeit und Empfindlichkeit gegenüber Kontaminationen zu beantworten.

Zu Ihrem Geschäftsfeld gehören thermochemische Prozessierungsverfahren. Welches sind hier die wichtigsten Aufgabengebiete?

Ziel ist es, durch unsere Technologien die Emissionen besonders im Verkehrssektor zu reduzieren. Dazu haben wir zwei Lösungen: Ein am Fraunhofer ISE entwickelter Verdampfungsprozess für flüssige Kraftstoffe ermöglicht eine maßgeschneiderte Anpassung an die in der jeweiligen Anwendung (Motor, Brenner, etc.) erforderlichen Verbrennungseigenschaften, wodurch die Emissionen von NO_x und Ruß drastisch reduziert und der Wirkungsgrad erhöht werden kann. Kombiniert man damit unsere Synthese von PtL-Kraftstoffen wie z. B. Oxymethylenethern (OMEs) aus nachhaltig produziertem Wasserstoff und CO₂ reduziert man gleichzeitig auch signifikant die CO₂-Emissionen.

ANSPRECHPARTNER

Koordination Geschäftsfeld Wasserstofftechnologien

Dr. Christopher Hebling

☎ +49 761 4588-5195

✉ h2fc.hydrogen@ise.fraunhofer.de

Thermochemische Prozesse

Dr.-Ing. Achim Schaadt

☎ +49 761 4588-5428

✉ h2fc.thermoprocess@ise.fraunhofer.de

Wasserstoffherzeugung durch Elektrolyse

Dr. Tom Smolinka

☎ +49 761 4588-5212

✉ h2fc.electrolysis@ise.fraunhofer.de

Brennstoffzellensysteme

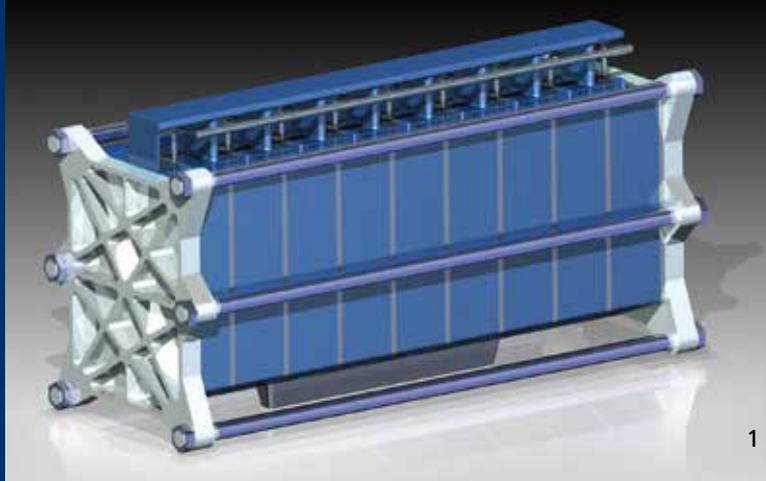
Dipl.-Ing. Ulf Groos

☎ +49 761 45 88-5202

✉ h2fc.systems@ise.fraunhofer.de

Informationen zu Projekten des Geschäftsfelds
Wasserstofftechnologien:
www.ise.fraunhofer.de/de/forschungsprojekte/4-00





1

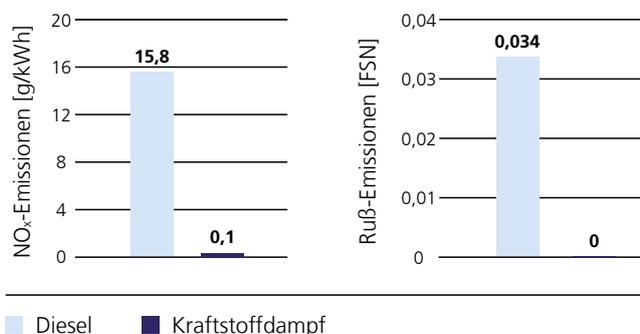
NEUES VERFAHREN SENKT EMISSIONEN IN VERBRENNUNGSMOTOREN

Die Automobilindustrie steht vor einer gewaltigen Aufgabe. Der Gesetzgeber schreibt immer strengere Grenzwerte für Stickoxide (NO_x) sowie Rußpartikel fest. Zugleich soll auch der Ausstoß des Treibhausgases Kohlendioxid drastisch reduziert werden. Bislang werden die Rußpartikel- und NO_x-Emissionen durch Abgasnachbehandlungssysteme wie Rußpartikelfilter, SCR-Technik (Selective Catalytic Reduction) und/oder NO_x-Speicherkatalysatoren in Verbindung mit innermotorischen Maßnahmen (gekühlte Abgasrückführung und Ladeluft) reduziert. Abgasnachbehandlungssysteme sind aufgrund hoher Edelmetallbeladungen teuer und erhöhen das Gewicht und somit auch den Kraftstoffverbrauch.

Hier setzt die am Fraunhofer ISE entwickelte CATVAP-Technologie an. CATVAP (Catalytic Evaporation Process) ist ein Verfahren zur Optimierung von Verbrennungsprozessen, das für eine Vielzahl von Kraftstoffen eingesetzt werden kann und Emissionen reduziert.

Das Verfahren basiert auf einem katalytischen Prozess, mit dem Kraftstoffe wie z. B. Diesel, Benzin und Biodiesel rückstandsfrei verdampft werden können. Der CATVAP ist skalierbar und kann auch für große Verbrennungsmotoren aus dem Heavy-Duty-Bereich eingesetzt werden. Durch eine planare Bauweise können erstmals hohe Verdampferleistungen sehr kompakt dargestellt und an die Leistung der jeweiligen Anwendung angepasst werden. Der Kraftstoffdampf wird in das Saugrohr des Motors geleitet und kann sich dort homogen mit der Verbrennungsluft vermischen. Dadurch können Ruß und NO_x-Emissionen bereits innermotorisch im Vergleich zur konventionellen Verbrennung drastisch reduziert werden. Der Kraftstoffdampf besitzt andere Kraftstoffeigenschaften und somit andere Zündeigenschaften als der Eingangskraftstoff. Dadurch kann die Verbrennung gesteuert und optimiert werden. Dies konnte bereits erfolgreich an einem 1-Zylinder Testmotor mit Diesel demonstriert werden. Durch die Änderung

der Kraftstoffeigenschaft konnte der Verbrennungsschwerpunkt auch bei höheren Lastpunkten im Motorkennfeld kontrolliert werden. Die NO_x-Emissionen konnten im getesteten Bereich des Motorkennfelds so weit reduziert werden, dass der Grenzwert für die Euro 6 Norm ohne zusätzliche Abgasnachbehandlung erreicht wurde. Die Rußemissionen lagen dabei weit unterhalb der konventionellen Dieserverbrennung, und das bei einem sehr niedrigen Kraftstoffverbrauch. Zudem haben wir gezeigt, dass durch die chemische Veränderung des Kraftstoffs im Verdampfer die Klopfestigkeit von Benzin erhöht werden kann. Dadurch kann die Effizienz von Benzinmotoren erhöht und somit CO₂-Emissionen reduziert werden.



Durch die CATVAP-Technologie können NO_x- und Rußemissionen im Vergleich zur konventionellen Dieserverbrennung deutlich reduziert werden.

1 3D-Design der CATVAP-Technologie in Stackbauweise mit einer thermischen Eigenleistung bis zu 150 kW und einem Gesamtvolumen von lediglich 1 l.

Kontakt

Robert Szolak

+49 761 4588-5319

h2fc.thermoprocess@ise.fraunhofer.de

www.catvap.de



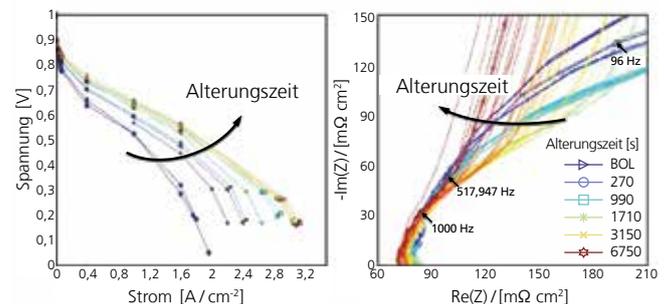
MEMBRANELEKTRODENEINHEITEN FÜR PEM-BRENNSTOFFZELLEN

Bei größeren Stückzahlen ist die mit Edelmetallkatalysatoren ausgerüstete Katalysatorschicht die kostenbestimmende Komponente eines Brennstoffzellenfahrzeugs. Die Leistungsfähigkeit der Katalysatorschicht wird durch ihre Struktur bestimmt, also dem Zusammenspiel zwischen Katalysatormaterial (i.d.R. Platinlegierungen), Katalysatorträger (Elektronenleitung) und Ionomer (Protonenleitung). Die Diffusion der Reaktionsgase Sauerstoff und Wasserstoff sowie der Abtransport des Produktwassers werden durch eine hochporöse Struktur der Elektrode ermöglicht.

Am Fraunhofer ISE wurde ein reproduzierbarer Prozess zur kostengünstigen Herstellung von Membran-Elektroden-Einheiten entwickelt. Nach Einstellung der Paste aus Katalysator, Katalysatorsupport, Ionomer und Lösemittel erfolgt die Beschichtung durch verschiedene Druckverfahren. Zur Optimierung der Schichten haben wir ein neuartiges Impedanz-Modell zum Verständnis der elektrochemischen Prozesse in den Katalysatorschichten entwickelt. Die Langzeitstabilität wird über verschiedene beschleunigte Alterungsverfahren untersucht.

In einer Studie wurde eine maximale Zelleistung bei einem Ionomer-Gehalt am Begin-of-Life (BoL) zwischen 30 und 35 Gewichtsprozent festgestellt. Durch Zuhilfenahme des Impedanz-Modells haben wir die nicht ausreichende protonische Anbindung an die Membran als Hauptgrund für die Leistungsminderung bei niedrigerem Ionomergehalt erkannt. Entgegen den Erwartungen zeigten allerdings Schnellalterungstests der Schichten mit niedrigem Ionomergehalt eine deutliche Leistungsverbesserung. Bei 1,2 V Alterungsspannung glich sich die Leistung bereits nach kurzer Zeit der bei höherem Ionomergehalt an. Durch das Impedanz-Modell konnte als Ursache für die Leistungszunahme eine wachsende protonische Leitfähigkeit der Katalysatorschicht, sowie eine sich verbessernde Anbindung an die Membran ausgemacht werden. Diese sich positiv auswirkenden Effekte übertreffen die negativen Effekte

der Katalysatorträgerauflösung zu Beginn der Alterung deutlich. Die gewonnenen Erkenntnisse ermöglichen die Entwicklung von Katalysatorschichten mit deutlich niedrigerem Ionomergehalt und damit verbesserten Sauerstoff-Transporteigenschaften. Zudem zeigen die Ergebnisse, dass es wichtig ist, die Struktur der Katalysatorschicht immer unter Berücksichtigung von veränderlichen Eigenschaften zu optimieren.



Verbesserung der Strom-/Spannungskennlinie (links) und Veränderung der Impedanzspektren (rechts) einer Katalysatorschicht mit 15 Gewichtsprozent Ionomergehalt während 6750 s Alterung bei 1,2 V.

1 Brennstoffzellenlabor am Fraunhofer ISE.

Kontakt

Dr. Robert Alink

+49 761 4588-5184

h2fc.systems@ise.fraunhofer.de



ANALYSE PORÖSER TRANSPORTSCHICHTEN IN PEM-ELEKTROLYSEZELLEN

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 später bedarfsgerecht in verschiedenen Anwendungen der Energie-wirtschaft, Verkehr oder chemischen Industrie zum Einsatz kommt.

Vor allem die PEM-Elektrolyse (Proton Exchange Membrane), bei der eine Protonen-Austausch-Membran zum Einsatz kommt, eignet sich zur Kopplung mit erneuerbaren Energien, da dieses Verfahren sehr gute Wirkungsgrade bei hohen Stromdichten ermöglicht und gleichzeitig ein sehr dynamisches, transientes Verhalten zeigt.

Die Kernkomponente jedes PEM-Elektrolyse-Systems ist die elektrochemische Einheit, der Elektrolyse-Stack. Dieser zerlegt Wasser in seine Bestandteile Wasserstoff und Sauerstoff. Eine der Kernkomponenten des Stacks ist die sogenannte PTL (Porous Transport Layer), die sowohl fluidische, elektrische als auch mechanische Aufgaben übernimmt. Zum einen muss durch diese Schicht das Reaktionsedukt Wasser zur elektro-katalytisch aktiven Schicht (der Elektrode) transportiert werden, zum anderen müssen gleichzeitig die Reaktionsprodukte in Form von Gas von der Elektrode abtransportiert werden. Die PTL schließt darüber hinaus den elektrischen Stromkreis zwischen externem Stromanschluss und der Elektrode. Daher muss die PTL eine möglichst hohe elektrische Leitfähigkeit besitzen. Die mechanische Komprimierbarkeit ist ein weiterer wichtiger Materialparameter, da er maßgeblich die Kontakt-widerstände zwischen PTL und Elektrode beeinflusst. Für die Anodenseite der Elektrolysezelle kommen aufgrund des niedri-gen pH-Wertes, der hohen elektrischen Potenziale, der hohen Temperaturen bei gleichzeitiger Produktion von Sauerstoff stark oxidative Bedingungen hinzu.

Um diese Anforderungen zu erfüllen, forscht das Fraunhofer ISE an porösen Strukturen auf Basis von Titan aus verschiedenen Herstellungsprozessen und mit unterschied-lichen Beschichtungen. Zur Charakterisierung der PTL kommen verschiedene in situ und ex situ Methoden zum Einsatz, wie z. B. die Strom-Spannungs-Charakteristik und das Verhalten bei Durchströmung mit Gas-Wasser-Gemischen (fluidische Per-meabilität). Auf Basis solcher Daten können neuartige Struktu-ren und Materialien entwickelt und auf ihre Eignung als PTL in PEM-Elektrolysezellen getestet werden.

1 *REM-Aufnahmen von verschiedenen PTL-Strukturen.*

Links: Ti-Pulver-Sinter. Mitte und rechts: Ti-Hybrid aus Fasersinter und Mesh.

Kontakt

Thomas Lickert

☎ +49 761 4588-2028

✉ h2fc@ise.fraunhofer.de

ENERGIESYSTEMTECHNIK





Prof. Dr. Bruno Burger

✉ bruno.burger@ise.fraunhofer.de



Mitarbeiter gesamt	159
Zeitschriften- und Buchbeiträge	15
Vorträge und Konferenzbeiträge	20
Erteilte Patente	2

www.ise.fraunhofer.de/energiesystemtechnik

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 können 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 auf dem Erreichen höchster Energieeffizienz.

Am 18.09.2016 wurde in einem Pilotprojekt die größte Agrophotovoltaik (APV)-Forschungsanlage in Deutschland eingeweiht. Bei diesem Anlass wurde auch die Auszeichnung als »Ort im Land der Ideen« überreicht. Das Fraunhofer ISE hat mit Partnern die APV-Pilotanlage auf dem Gelände der Demeter-Hofgemeinschaft in Heggelbach erstellt. Die installierte Leistung der APV-Anlage von 194 kWp kann den Strombedarf von rund 62 Haushalten decken.

ANSPRECHPARTNER

Koordination Geschäftsfeld Energiesystemtechnik

Prof. Dr. Bruno Burger (kommissarisch)

☎ +49 761 4588-0

✉ energysystem@ise.fraunhofer.de

Leistungselektronik

Dr.-Ing. Olivier Stalter

☎ +49 761 4588-5467

✉ energysystem.power@ise.fraunhofer.de

IKT für Energiesysteme

Prof. Dr.-Ing. Christof Wittwer

☎ +49 761 4588-5115

✉ energysystem.ict@ise.fraunhofer.de

Systemintegration – Strom, Wärme, Gas

Dipl.-Ing. Sebastian Herkel

☎ +49 761 4588-5117

✉ energysystem.integration@ise.fraunhofer.de

Batteriesysteme für stationäre und mobile Anwendungen

Dr. Matthias Vetter

☎ +49 761 4588-5600

✉ energysystem.batteries@ise.fraunhofer.de

Energiesystemanalyse

Dr. Thomas Schlegl

☎ +49 761 4588-5473

✉ energysystem.analysis@ise.fraunhofer.de

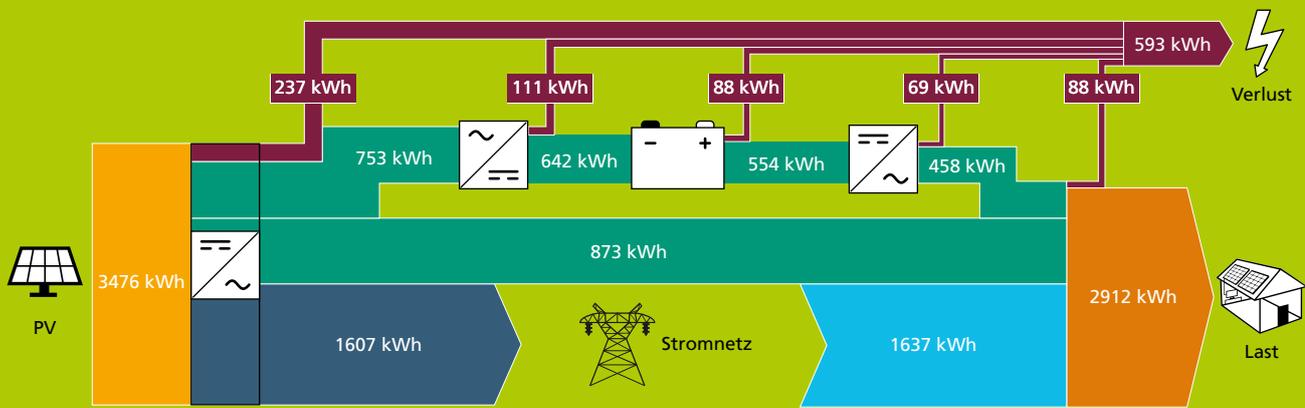
AUSGEWÄHLTE PROJEKTE 2016

-  Effiziente, hochkompakte Hochfrequenz-Leistungselektronik mit GaN-Transistoren
-  Bidirektionale, induktive und konduktive Ladesysteme
-  Energieeffizienz und Ökonomie für smarte Kommunen durch integrierte Multi-Speichertechnologie
-  Optimiertes Eigenverbrauchssystem für Gewerbe und Industrie
-  Innovative Lösungen für neue hochintegrierte PV-Wechselrichter im Leistungsbereich von 30–70 kW
-  iURBAN-Werkzeug: Intelligent iURBAn eNergy tool
-  Entwicklung eines kostengünstigen Smart-Grid-Kommunikationssystems mit Rundsteuertechnologie
-  Teststand zur Entwicklung und Prüfung von »fuel saver«-Geräten und Strategien in PV-Diesel-Netzen
-  Weiter- und Fremdverwendung von Lithium-Ionen-Traktionsbatterien in mobilen und stationären Anwendungen
-  Komplementäre Nutzung verschiedener Energieversorgungskonzepte als Motor gesellschaftlicher Akzeptanz und individueller Partizipation

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

-  *Neues Material / Verfahren*
-  *Prototyp / Kleinserie*
-  *Software*
-  *Messtechnische Analyse / Qualitätssicherung*
-  *Beratung / Planung / Studie*

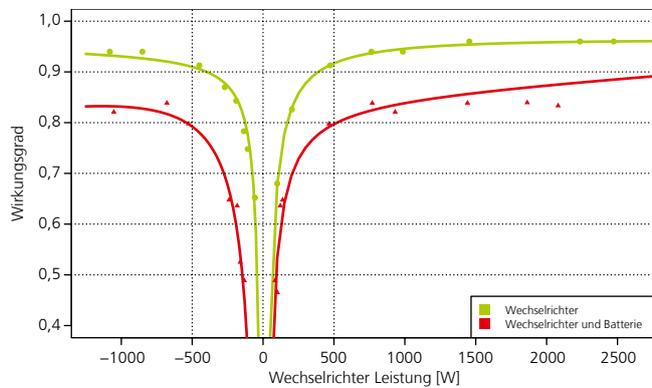




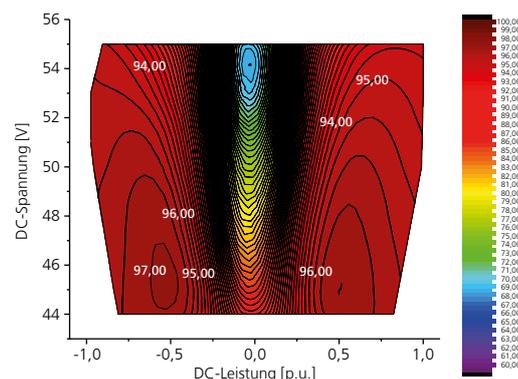
EFFIZIENZ VON BATTERIESYSTEMEN

Je weiter der Preis für hocheffiziente Speichersysteme fällt, desto mehr steigt ihre Verbreitung in stationären Anwendungen. Weitere Innovationen sind aber bei ihrer Wirtschaftlichkeit, Langzeitstabilität und Effizienz erforderlich. Letztere wird besonders vom Wirkungsgrad der Leistungselektronik im Wechselrichter bestimmt. Dabei steht der Teillastwirkungsgrad im Fokus, durch den eine Auspeisung aus der Batterie bei geringer Last ineffizient wird. Wir arbeiten daher an der Regengenauigkeit und Dynamik der Leistungsumrichter und an der Schaltungstopologie. Effizient sind DC-Hochvoltssysteme, die in der Regel eine Integration von PV-Anlage und Hochvoltbatterie erfordern. Für den Markt sind aber auch AC-gekoppelte Varianten der Batterie wichtig. Marktüblich sind hier Systeme mit Niederspannungsniveau von 48 V für die Batterie, die einen zusätzlichen DC/DC-Wandler erfordern, was sich negativ auf den Wirkungsgrad des Systems auswirkt. Eine Herausforderung ist auch die Senkung des Eigenverbrauchs der Mess- und Regelungstechnik, um die hohen Standby-Verluste vieler Produkte zu senken. Wir entwickeln und optimieren u. a. Betriebsführungssysteme für den Standby- und Wake-Up-Vorgang, die eine Abschaltung des Batteriesystems ermöglichen, wenn die Leistungsübertragung zu gering wird. Zudem arbeiten wir an Konzepten, das Energiemanagement und die Regelungstechnik im Leistungsumrichter für einen effizienten Betrieb zu integrieren.

In unserem akkreditierten TestLab Power Electronics charakterisieren wir hochgenau Leistungselektronik-Komponenten bezüglich ihrer Effizienz und Regeleigenschaften. Des Weiteren verfügen wir über ein Labor zur dynamischen Vermessung von Batterien und Batteriesystemen im operativen Betrieb. In unserem ServiceLab SmartEnergy können wir Komplettsysteme unter typischen Nutzungsbedingungen vermessen. System-simulationsmodelle nutzen wir, um Systemeigenschaften dynamisch darzustellen und Aussagen zum effektiven Nutzungs- und Wirkungsgrad über ein gesamtes Jahr zu treffen.



Effizienz eines 48 V-DC Batteriewechselrichters für die Entladung (positive Leistung) und Beladung (negative Leistung) bezogen auf die DC-Seite.



Wirkungsgrad eines Batteriewechselrichters in Abhängigkeit von der DC-Leistung und DC-Spannung.

- 1 Sankey Diagramm eines marktverfügbaren PV-Batteriesystems, das hohe Verluste bei der Be- und Entladung des Akkus aufweist.

Kontakt

Prof. Dr.-Ing. Christof Wittwer

+49 761 4588-5115

energysystem.ict@ise.fraunhofer.de



LEBENSDAUER VON BATTERIESYSTEMEN – PROGNOSE UND OPTIMIERUNG

Das Fraunhofer ISE beschäftigt sich umfassend mit der Lebensdauer von Batterien. So analysieren wir die Alterung von Lithium-Ionen-Batteriezellen unter Berücksichtigung ihres anwendungsspezifischen Nutzungsprofils. Wir wollen so Betriebsbedingungen und Betriebsführungsstrategien identifizieren, die die Lebensdauer positiv beeinflussen. In post mortem Untersuchungen öffnen wir gealterte Batteriezellen und untersuchen sie mit dem Ziel, die physikalisch-chemischen Prozesse zu ermitteln, die zur Degradation der Zellen geführt haben. Daraus entwickeln wir Methoden, diese Prozesse zu verzögern bzw. weitestgehend zu unterbinden. Für gealterte Lithium-Ionen-Zellen aus der Elektromobilität untersuchen wir Zweitverwertungen, z. B. in stationären Anwendungen. Wir erstellen hierzu nutzungsabhängige Lebensdauerprognose- und Restwertmodelle. Mit ihnen kann prognostiziert werden, ob eine Second-Life-Anwendung wirtschaftlich sinnvoll ist. Zudem arbeiten wir an Verbesserungen im thermischen Management. Auf Basis von System simulationsmodellen untersuchen wir Strategien für eine bedarfsgerechte Kühlung und Heizung. Hierzu entwickeln wir Steuerungsalgorithmen, die anschließend in ein Batteriemanagementsystem implementiert werden. Ferner befassen wir uns auch mit der Nutzung von Batteriespeichern als Flexibilitätsoptionen im Stromnetz. Ziel ist, ein modellbasiertes Verfahren zur Online-Diagnose und applikationsspezifischer in situ Alterungsvorhersage zu entwickeln und auf einer Management-Hardware zu implementieren, die für Großspeichersysteme verfügbar ist.

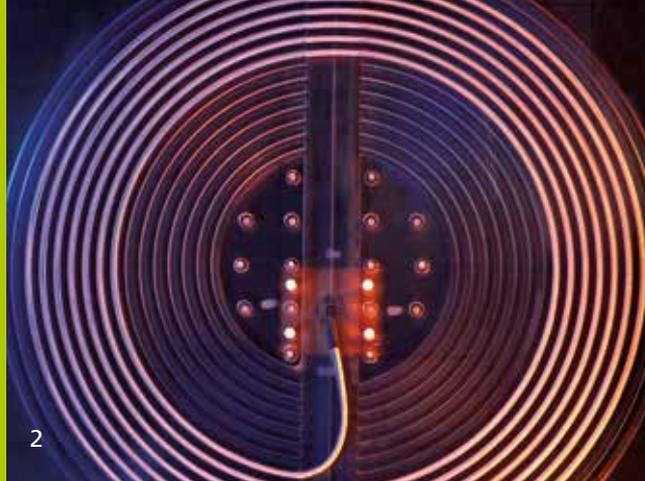
1 REM-Aufnahme einer Graphit-Anode von einer Lithium-Ionen Batteriezelle im gealterten nicht-linearen Zustand.

Kontakt

Dr. Matthias Vetter

☎ +49 761 4588-5600

✉ energysystem.batteries@ise.fraunhofer.de



INNOVATIVE LADEINFRASTRUKTUR FÜR ELEKTROFAHRZEUGE

Rund 18 % der CO₂-Emissionen in Deutschland entstehen im Verkehrssektor. Elektrofahrzeuge sind daher ein zentrales Element der Energiewende. Wir arbeiten seit vielen Jahren an einer intelligenten Integration der Ladesysteme in das Stromnetz. Dazu gehört, flexibel auf fluktuierende Erzeugung zu reagieren, aber auch, die Belastung der Verteilnetze in Spitzenzeiten zu vermeiden. Neben den technischen Aspekten ist die entscheidende Frage, welche Dienstleistung wie viel wert ist und ob sie im regulierten Bereich oder im freien Markt stattfinden sollte.

Ein aktuelles Thema ist die Untersuchung der spezifischen Mehrwerte einer bi-direktionalen, induktiven Ladeinfrastruktur. Abgesehen von gesteigertem Komfort liegt der Vorteil der kabellosen Technik vor allem darin, dass ein Teil der Leistungselektronik permanent mit dem Stromnetz verbunden ist. Bestimmte Netzdienstleistungen können so genutzt werden, auch wenn gerade kein Fahrzeug da ist. So kann die Bereitstellung von Blindleistung zur Spannungshaltung oder zur Kompensation von Oberschwingungen an Firmenstandorten eine wirtschaftlich interessante Alternative zu herkömmlichen Technologien sein. Am Smart Home erlaubt eine prognosebasierte Ladesteuerung die optimale Nutzung des selbst erzeugten PV-Stroms. In verschiedenen Forschungsprojekten konnte gezeigt werden, dass dies nicht nur dem Nutzer ökologische und ökonomische Vorteile bietet, sondern auch Erzeugungs- und Lastspitzen am Hausanschluss reduziert.

2 Spule zur kontaktlosen Energieübertragung zwischen Ladestation und Elektrofahrzeug.

Kontakt

Dr. Robert Kohrs

☎ +49 761 4588-5708

✉ energysystem.ict@ise.fraunhofer.de



KOMPAKTE UND EFFIZIENTE LEISTUNGSELEKTRONIK MIT GaN- UND SiC-HALBLEITERN

Effizienz ist nicht nur mit dem elektrischen Wirkungsgrad leistungselektronischer Systeme verknüpft, sondern kann im Falle mobiler Systeme auch durch Gewichtsreduktion gesteigert werden. Durch die Einsparung an Gewicht und der damit verbundenen Einsparung an Treibstoff gewinnt z. B. das Gesamtsystem Flugzeug an Effizienz und der besonders in großer Höhe schädliche Ausstoß von Abgasen kann reduziert werden. So können sowohl direkte ökonomische Einsparungen erreicht, als auch ökologische Einflüsse reduziert werden. Hochmoderne Leistungshalbleiter auf Basis von Galliumnitrid (GaN) und Siliciumkarbid (SiC) ermöglichen es, leistungselektronische Schaltungen mit wesentlich höheren Schaltfrequenzen zu betreiben als mit herkömmlichen, auf Silicium (Si) basierenden Transistoren. Dadurch können die volumen- und gewichtsbezogene Leistungsdichte gesteigert und die Materialkosten auf Systemebene reduziert werden. Diese Vorteile kommen besonders in mobilen Anwendungen zur Geltung. So haben wir im Forschungsprojekt »GaN-resonant« einen Gleichspannungswandler für die Luftfahrt mit einer Leistungsdichte von mehr als $3,8 \text{ kW/dm}^3$ entwickelt. Im Projekt »GaNPV« wurde ein 2-kW-PV-Wechselrichter mit einer Taktfrequenz von 250 kHz realisiert. Dadurch konnte die Leistungsdichte gegenüber herkömmlichen Produkten etwa um den Faktor 5 bei gleichzeitig hohem Wirkungsgrad verbessert werden. Diese guten Ergebnisse lassen sich auch auf weitere Anwendungsgebiete wie z. B. klassische Netzteile übertragen.

³ *Technologiedemonstrator eines 1,5 kW Resonanzwandlers mit 2,5 MHz Schaltfrequenz.*

Kontakt

Prof. Dr. Bruno Burger

☎ +49 761 4588-5237

✉ energysystem.power@ise.fraunhofer.de



STROMSPEICHER WIRTSCHAFTLICH BETREIBEN

Zur Integration erneuerbarer Energien ins zukünftige Energiesystem sind Stromspeicher langfristig notwendig. Aktuell gibt es allerdings für Investoren noch kaum Anreize aktiv zu werden: Die deutschen Pumpspeicherkraftwerke können sich derzeit nur schwer refinanzieren. Der Markt für Batteriespeicher ist in den letzten Jahren zwar erheblich gewachsen, ist allerdings trotz stark gesunkener Kosten derzeit noch maßgeblich von Förderungen abhängig. Eine möglichst frühzeitige Entwicklung des Markts durch wirtschaftliche Betreibermodelle ist von besonderer Bedeutung.

Das Fraunhofer ISE hat Modelle und Methoden entwickelt, mit denen die Wirtschaftlichkeit von Energiespeichern unter verschiedenen Bedingungen abgeschätzt werden kann. Mit dem Modell »ENTIGRIS Unit« kann die Wirtschaftlichkeit von Technologien wie z. B. Stromspeichern in unterschiedlichen Einsatzgebieten untersucht werden. Sinkende Speicherpreise, unterschiedliche Entwicklungen des Strommarkts, steigende Strompreise für Haushalte und Industrie, neue Preisstrukturen und veränderte regulatorische Rahmenbedingungen beeinflussen die Wirtschaftlichkeit von Stromspeichern und werden im Modell abgebildet. Auf Basis der Ergebnisse können spezifische Handlungsempfehlungen für Betreiber von Energiespeichern, für Investoren und die Politik abgeleitet werden.

⁴ *Batteriespeicher und PV-Anlage im Einfamilienhaus – ein populäres Geschäftsmodell in Deutschland.*

Kontakt

Verena Jülch

☎ +49 761 4588-5076

✉ energysys.tech-econ@ise.fraunhofer.de



CALLAB PV CELLS
 GESCHÄFTSFELD PHOTOVOLTAIK
 AKKREDITIERTES LABOR

Das CallLab PV Cells des Fraunhofer ISE bietet die Kalibrierung/Messung von Solarzellen verschiedener 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 Wafer-Solarzellen sowie neue Materialkombinationen der Absorber, wie bei Perowskitesolarzellen, 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 Konzentratoranwendungen. 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.



Kontakt
Silicium-, Dünnschicht-, Organische Solarzellen
 Dr. Wilhelm Warta
 ☎ +49 761 4588-5192
 Wendy Schneider
 ☎ +49 761 4588-5146

Mehrfach- und Konzentratorzellen
 Dr. Gerald Siefer
 ☎ +49 761 4588-5433

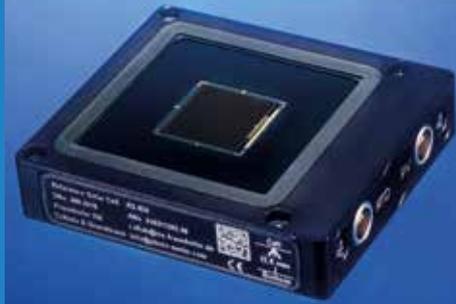
✉ cells@callab.de

- Konstant- und Blitzlicht-Sonnensimulatoren mit höchsten Anforderungen an Spektralreue 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.*



1



2



CALLAB PV MODULES

GESCHÄFTSFELD PHOTOVOLTAIK

AKKREDITIERTES LABOR

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. Das CallLab PV Modules entwickelt und vertreibt kundenspezifische Referenzzellen (WPVS Standard und LARC) für verschiedene Indoor- und Outdoor-Anwendungen. Ein neuer Zelltyp auf Basis von negativ leitendem Siliciummaterial (n-Typ) mit erweiterter Empfindlichkeit im IR-Bereich wurde erfolgreich integriert und gleichzeitig der Aufbau der Referenzzelle optimiert. Damit stehen unseren Kunden erstmals angepasste Referenzzellen für neue Zelltechnologien (z. B. PERC) zur Verfügung. Für eine präzise Langzeitcharakterisierung von PV-Modulen im Außenbetrieb (outdoor operation) bietet das CallLab PV Modules eine neu entwickelte Datenerfassung an. Das Messsystem ist modular aufgebaut und erfasst hochaufgelöste DC-Messdaten (I-U-Kurven) von Einzelmodulen. Das ermöglicht die Verifizierung von Labormessungen und ergänzt die umfassende Charakterisierung der Module hinsichtlich ihrer Ertrageigenschaften für neue Technologien wie bifaziale Module. Diese neue Dienstleistung bietet das CallLab PV Modules weltweit an. Die Datenauswertung durch das Fraunhofer ISE kann kundenspezifisch angepasst werden, sodass alle relevanten Parameter unseren Kunden mit höchster Präzision zur Verfügung stehen. 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

Dipl.-Ing. (FH) Frank Neuberger

+49 761 4588-5280

+49 170 9247193

modules@callab.de

- 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
- Aufbau, Betrieb und Datenauswertung von Modulmonitoringsystemen weltweit
- Bewertung von CPV-Modulen bei CSOC und CSTC

1 *Vom Fraunhofer ISE entwickelter Teststand für die Kalibrierung bifazialer PV-Module.*

2 *Neue WPVS-Referenzzelle (n-Typ) mit erweiterter Empfindlichkeit im IR-Bereich.*



1

TESTLAB PV MODULES

GESCHÄFTSFELD PHOTOVOLTAIK

AKKREDITIERTES LABOR

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

Mithilfe innovativer und modernster Analysemethoden untersuchen wir Fehlerbilder wie Schneckenspuren und Potenzialinduzierte 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 61215-1/-2:2016, IEC 61730-1/-2:2016) durch.

Qualitätsprüfungen für das Zertifikat »VDE Quality Tested«

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.

TestLab
PV Modules



Kontakt

Dipl.-Ing. (FH) Daniel Philipp

☎ +49 761 4588-5414

✉ tlpv@ise.fraunhofer.de

www.testlab-pv-modules.de

- Akkreditiertes Prüflabor gemäß 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
- Sandabrasionstests
- Salznebeltest IEC 61701

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



TestLab
Solar Thermal
Systems



TESTLAB SOLAR THERMAL SYSTEMS

GESCHÄFTSFELD SOLARTHERMIE

AKKREDITIERTES LABOR

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 auf die Anforderungen des DIBt abgestimmt. Für PVT-Kollektoren bieten wir mit dem TestLab PV Modules des Fraunhofer ISE eine komplette Zertifizierungsmessung (IEC u. ISO) an. Wir verfügen zudem über einen etablierten Teststand für Solarluftkollektoren. Auf Basis unserer technischen Charakterisierung haben wir bereits viele Solar Keymark Zertifizierungen für Solarluftkollektoren durchgeführt.

Weitere Vermessungen können in unserem System- und Speicherlabor vorgenommen werden. Hier werden auch die notwendigen Kennzahlen zur Bewertung von Speichern nach dem Energy Label (ErP) der EU ermittelt. Unser Solarsimulator liefert eine hohe Wiederholgenauigkeit, was den Teststand besonders auch im Entwicklungskontext sehr attraktiv macht. Mit der Weiterentwicklung von in situ Charakterisierung, ergeben sich im TestLab Solar Thermal Systems im Kontext der verbreiteten Kollektorzertifizierung neue Anwendungsmöglichkeiten. Wir prüfen grundsätzlich nach der aktualisierten EN ISO 9806:2014 und begleiten aktiv die neue Revision der Kollektorprüfnorm. Diese kann direkt für alle in den Anwendungsbereich aufgenommenen Technologien sowie die Änderungen in den Testmethoden innerhalb unseres Akkreditierungsumfangs angeboten werden. Das ist weltweit einzigartig.

Kontakt

in situ Vermessung

Dr. Korbinian S. Kramer

☎ +49 761 4588-5139

Kollektoren

Dipl.-Ing. (FH) Stefan Mehnert

☎ +49 761 4588-5354

Speicher, Systeme

Dipl.-Ing. (FH) Konstantin Geimer

☎ +49 761 4588-5354

✉ testlab-sts@ise.fraunhofer.de

www.kollektortest.de

- Messungen für die Vergabe des Energy Label nach ErP
- Mechanische Lastprüfungen (z. B. DIBt)
- Zertifizierungsmessungen für
 - Luftkollektoren
 - PVT-Hybridkollektoren
 - Konzentrierende Kollektoren
 - Flach- und Vakuumröhrenkollektoren auf Anfrage in Prüfzeiträumen von unter 1,5 Monaten
 - Thermische Speicher
 - Vorgefertigte Systeme
- Feldmessungen, Monitoring und in situ Zertifizierung
- Optimierungsbegleitende Hochpräzisionsmessungen (z. B. Solarsimulator)

¹ Wärmespeicher im Test für das EU Energy Label (ErP) im TestLab Solar Thermal Systems.



TESTLAB SOLAR FAÇADES

GESCHÄFTSFELD GEBÄUDEENERGIETECHNIK
AKKREDITIERTES LABOR

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 Prüfmethode oft nur unzureichend charakterisiert werden können, wie z. B. Bauteilen mit winkelabhängigem Verhalten, lichtstreuenden Materialien oder strukturierten und lichtlenkenden Elementen. Die Dienstleistungen des TestLab Solar Façades werden auch für Bereiche genutzt, die keinen Bezug zu Fassaden haben (z. B. Bestimmung des »Solar Reflectance Index-SRI« für Dach- und Bodenbeläge).

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.

TestLab
Solar Façades



Kontakt

g-Wert Prüfung, U-Wert Prüfung

Dipl.-Ing. (FH) Ulrich Amann

☎ +49 761 4588-5142

BIPV, Sonnenschutz

Dr. Tilmann Kuhn

☎ +49 761 4588-5297

Solarthermische Fassaden

Dr.-Ing. Christoph Maurer

☎ +49 761 4588-5667

*Spektrometrie, Goniometrie,
SRI und Farbmessung*

Dr. Helen Rose Wilson

☎ +49 761 4588-5149

Tageslichtmessräume

Dr.-Ing. Bruno Bueno

☎ +49 761 4588-5377

✉ testlab-solarfacades@ise.fraunhofer.de

- 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 *Transmissionsprüfung an strukturierten Bauteilen und Elementen (hier: teiltransparenter Fassadenkollektor).*



TestLab
Power Electronics



TESTLAB POWER ELECTRONICS

GESCHÄFTSFELD ENERGIESYSTEMTECHNIK

AKKREDITIERTES LABOR

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 AC-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 (Low Voltage Ride Through (LVRT) und High Voltage Ride Through (HVRT)).

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 TR4 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

Roland Singer M. Eng.

☎ +49 761 4588-5948

✉ testlab-pe@ise.fraunhofer.de

LaboraAusstattung

- 1,4 MW DC-Quellen bis 1000 V / 1760 A oder 2000 V / 880 A
- LVRT-Prüfeinrichtung bis 1 MVA
- Einstellbare Transformatoren (255–790 V / 1,25 MVA)
- 30 kW Dreiphasiger Netzsimulator

Testfeldausstattung

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

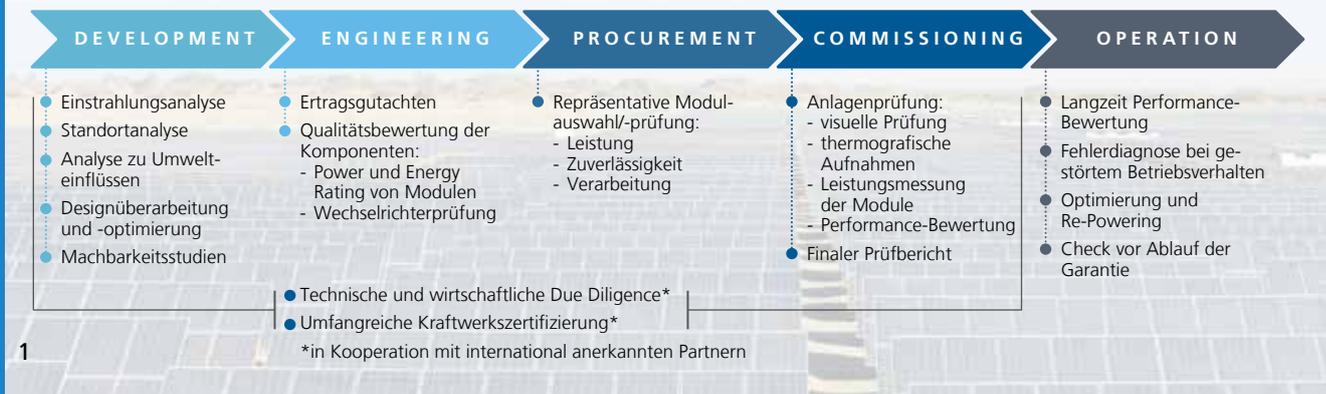
Messausstattung

- Hochpräzise Leistungsmessgeräte
- 60–5000 A Stromwandler

Simulationssoftware

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

- 1 *Hochstromschienen (2500 A).*
- 2 *Das TestLab Power Electronics ermöglicht die hochpräzise Charakterisierung von netzgekoppelten Umrichtern hinsichtlich ihres Verhaltens am Netz.*



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 beim Systemdesign. Dabei werden die unterschiedlichen Klimabedingungen am jeweiligen Standort berücksichtigt. Die Ergebnisse fließen auch in unsere international anerkannten Ertragsgutachten ein. Mithilfe selbst entwickelter 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 Vorfeld 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 dem Betreiber, rechtzeitig notwendige Korrekturmaßnahmen einzuleiten.

Kontakt

Dipl.-Ing. (BA) Boris Farnung

☎ +49 761 4588-5471

☎ +49 173 8929221

Anlagenprüfung

Dipl.-Ing. Andreas Steinhüser

☎ +49 761 4588-5225

✉ service.pvpowerplants@ise.fraunhofer.de

- »One-stop-shop« für Qualitätssicherung
- Zahlreiche Referenzprojekte weltweit
- Beratung und Machbarkeitsstudien vor Projektstart
- Präzise und unabhängige Ertragsgutachten
- Qualitätsbewertung und Auswahl projektspezifischer Komponenten
- Technische Prüfung und Optimierung des Gesamtsystems nach Inbetriebnahme
- Fehlerdiagnose bei gestörtem Betriebsverhalten
- Unabhängige Leistungs- und Performance-Bewertung
- Optimierung und Re-Powering für bestehende Kraftwerke
- Degradationsanalyse

1 *Qualitätssicherung für alle Phasen eines PV-Kraftwerk-Projekts.*



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 kommen 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

Dipl.-Ing. Stephan Lux

☎ +49 761 4588-5419

✉ service.batteries@ise.fraunhofer.de

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

1 *Teststand zur Prüfung von Photovoltaik-Heimspeichern im Dauertest.*



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 sekunden genauer 3-phasiger Profile sowie ein PV-Simulator zur Bereitstellung einer sekundlich aufgelösten Strom-Spannungs-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 mithilfe 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

Dr.-Ing. Bernhard Wille-Haußmann

☎ +49 761 4588-5443

✉ service.smartenergy@ise.fraunhofer.de

- 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 umfangreiches Monitoring

1 *Innenansicht des ServiceLab Smart Energy.*



SERVICELAB LIGHTING AND DC APPLIANCES

GESCHÄFTSFELD ENERGIESYSTEMTECHNIK

Wir testen, prüfen und zertifizieren für Hersteller, Systemintegratoren und Anwender Leuchtmittel, Beleuchtungssysteme und gleichstromversorgte (DC) Verbraucher aller gängigen Technologien und Ausführungen. Unsere Ausrüstung ist speziell auf die Anforderungen netzunabhängiger Stromversorgung und auf LED-Beleuchtungssysteme kleiner und mittlerer Leistung ausgelegt. Netzversorgte Standard-Leuchtmittel und Leuchten können wir ebenfalls vermessen. Im Vordergrund steht dabei immer das System, also die Stromversorgung inkl. Solargenerator, elektrischer Speicher, Elektronik und elektrische Verbraucher wie Leuchten, Fernseher und Radios.

Charakterisierung

Wir führen präzise Messungen lichttechnischer und elektrischer Größen an DC-Beleuchtungs- und Stromversorgungssystemen und deren Komponenten durch. Darunter fallen die Messung des Lichtstroms, der Lichtausbeute und der Beleuchtungsstärkeverteilung mithilfe goniometrischer Messverfahren sowie Untersuchungen des lichttechnischen und elektrischen 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. Mithilfe eines automatisierten Teststands messen wir die erreichbare Beleuchtungsdauer (Autonomiezeit) von batterieversorgten Leuchten und Kleinsystemen.

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 für Solar Home System Kits. Ein spezieller Teststand für Laderegler erlaubt die Charakterisierung von Laderegler bis zu 80 A und 150 V nach IEC 62509.

Kontakt

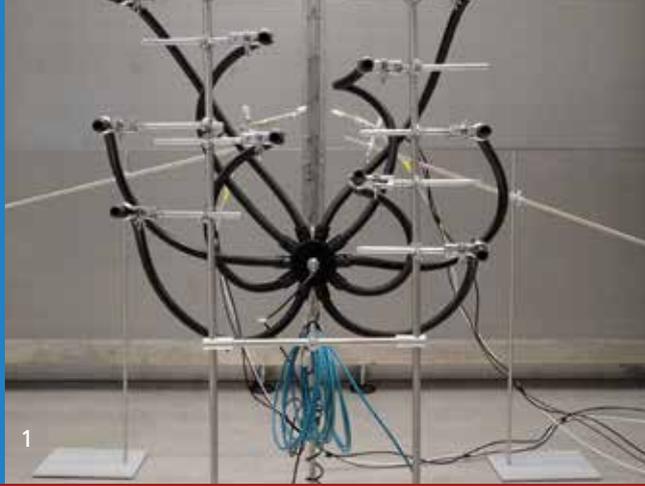
Dipl.-Ing. (FH) Norbert Pfanner

☎ +49 761 4588-5224

✉ service.lighting@ise.fraunhofer.de

- Softwaregesteuerter Lichtmessstand 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
- Langzeitteststände für die Erfassung der L70 oder L50 Lebensdauer von LEDs und Batterielebensdauern
- Breitbandige, präzise Leistungsmessgeräte, 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 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 50 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 75 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, inkl. »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, Scanning Vibrometer).

Kontakt

Dipl.-Ing. Ivan Malenković

☎ +49 761 4588-5533

☎ +49 162 205 3924

✉ service.heatpumps@ise.fraunhofer.de

- 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 2017 geplant

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



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 oder 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 Membranelektrodeneinheiten 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 mithilfe eines 3-Elektroden-Aufbaus oder mit Auslagerungsversuchen.

Kontakt

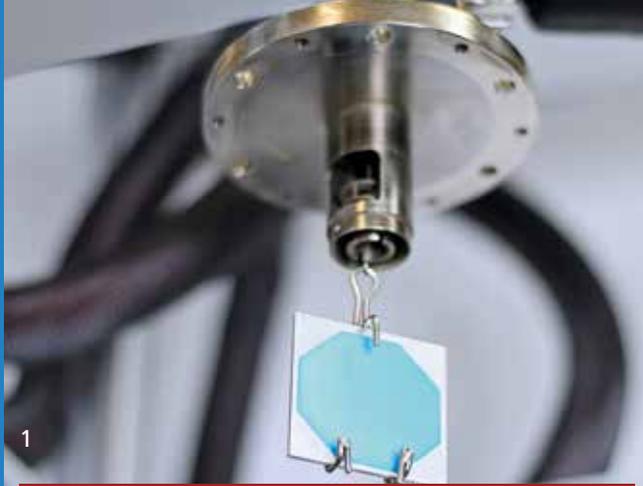
Dipl.-Ing. (FH) Thomas Jungmann

☎ +49 761 4588-5213

✉ service.fuelcells@ise.fraunhofer.de

- Teststände für Brennstoffzellen-Stacks bis 20 kW_{el} bzw. 1000 ADC
- Teststände für Einzelzellen und Zellkomponenten
- On-line-Einzelzellmonitoring mit EIS, HFR und CV von Stack
- Isolations- und Kurzschlussprüfungen für Stack bis 5000 ADC
- Leckage-Tests von Stack
- 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 l 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
- Kontaktwiderstandsanalyse von Materialien – in-plane und through-plane

¹ Klimakammer für Temperaturen von -40 °C bis +80 °C sowie Brennstoffzellenteststand für Leistungen bis 20 kW_{el} mit angeschlossenen Einzelzellmonitoring mithilfe der elektrochemischen Impedanzspektroskopie.



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 (N_2 , CO_2 , Ethanol, Methanol, H_2O) 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

Dr. Stefan Henninger

☎ +49 761 4588-5104

✉ service.thermolab@ise.fraunhofer.de



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 Zyklierung unterschiedlichster Proben.*

Kontakt

Dipl.-Ing. (FH) Thomas Haussmann

☎ +49 761 4588-5351

✉ service.pcm@ise.fraunhofer.de



3

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

3 Eine der drei Luftkonditionierungsstrecken im ServiceLab
 Air Handling Units

Kontakt

Dr.-Ing. Alexander Morgenstern
 ☎ +49 761 4588-5107
 ✉ service.airhandling@ise.fraunhofer.de



4

SERVICELAB
HEAT EXCHANGERS
 GESCHÄFTSFELD
 GEBÄUDEENERGIETECHNIK

Das ServiceLab bietet die Infrastruktur und das wissenschaftlich-technische Know-how zur Charakterisierung und Bewertung von Wärmeübertragern für energietechnische Anwendungen im kleineren Leistungsbereich (<20 kW). Ziel ist, Potenziale zur Effizienzsteigerung an Wärmeübertragern zu identifizieren und in gebäudetechnischen Anwendungen, wie z. B. elektrisch oder thermisch angetriebenen Wärmepumpen, Rückkühlern oder Lüftungsgeräten nutzbar zu machen. Hierfür stehen verschiedene Prüfstände zur Verfügung, mit denen sowohl komplette Wärmeübertrager als auch Detailausschnitte hinsichtlich ihrer Übertragungscharakteristik (Wärmedurchgang, Druckverlust) oder ihrer detaillierter Strömungsanalytik untersucht werden können. Für die genaue Analyse des Wärmetransports und der Wärmetransportlimitierungen setzen wir unterstützend 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
- Vermessung der dynamischen/stationären Siede- und Adsorptionscharakteristik von Wasser im Niederdruck an Strukturausschnitten und Wärmeübertragern
- Hochaufgelöste, optische Strömungsanalysen
- Auslegung und Musterbau von Wärmeübertragern
- Simulationswerkzeuge (CFD/FEM/Wärmeübertrager-Auslegungstools/Systemsimulationsoftware)

4 Charakterisierung von Druckverlust und Wärmeübergang an
 Strukturausschnitten von luftbasierten Wärmeübertragern.

Kontakt

Dr.-Ing. Lena Schnabel
 ☎ +49 761 4588-5412
 ✉ service.heatexchangers@ise.fraunhofer.de



28 PROJEKTE IM »FRAUNHOFER-ZAYED-PROGRAMM«

Im Januar 2014 erhielt das Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE in Abu Dhabi den »Zayed Future Energy Prize«, der jährlich für zukunftsweisende Leistungen auf dem Gebiet der erneuerbaren Energien und der Nachhaltigkeit vergeben wird. Auf Vorschlag von Institutsleiter Prof. Dr. Eicke Weber wurden die 1,5 Mio US-Dollar Preisgeld für ein Förderprogramm genutzt, um Fraunhofer-Projektideen auf dem Gebiet der nachhaltigen Energieversorgung im Ausland zu unterstützen. Häufig scheitern Initiativen zu internationalen Projekten daran, dass keine Mittel zur Anbahnung von Kontakten, für erste Besuche oder für den administrativen Aufwand bei der Antrags- bzw. Angebotserstellung zur Verfügung stehen. Das Förderprogramm soll hierfür Unterstützung bieten. Der Vorstand der Fraunhofer-Gesellschaft ergänzte das Preisgeld in gleicher Höhe, sodass ein Programm mit einem Fördervolumen von insgesamt 1,978 Mio Euro entstand.

Mittlerweile hat im Rahmen des »Fraunhofer-Zayed-Programms« bereits die siebte Antragsrunde stattgefunden. Die bisher insgesamt 28 geförderten Projekte haben inkl. benötigter Eigenmittel Forschungsgelder in Höhe von rund 1,75 Mio Euro bereitgestellt. Bislang haben die Fraunhofer-Institute ICT, IFF, IKTS, IOSB, ISE, ISI, IWES und UMSICHT sowie die Fraunhofer Allianz Energie von den Projekten aus dem »Fraunhofer-Zayed Programm« profitiert.

Alle unterstützten Programme dienen der Vorbereitung und Akquisition von internationalen Projekten auf dem Gebiet der Energieversorgung, der Energieumwandlung oder der Energienutzung. Zu den Kriterien für die Auswahl der in diesem Rahmen geförderten Projekte zählen u. a. anderem Wissensgewinn (z. B. durch Adaption oder Entwicklung neuer Technologien), Entwicklung (im Sinne z. B. der Millennium-Entwicklungsziele der Vereinten Nationen) sowie Nachhaltigkeit. Nur Projekte mit hoher Wahrscheinlichkeit, dass durch die Anbahnungs-Unterstützung auch tatsächlich Forschungsprojekte entstehen, wurden in das Programm aufgenommen.

Der Schwerpunkt der Aktivitäten lag in Asien. Dort wurden 20 Projekte, insbesondere in Indien, aus dem Zayed-Programm unterstützt. Jeweils sechs (Teil-)Projekte wurden in Ländern Süd- und Mittelamerikas (Brasilien, Kolumbien, Chile, Haiti) sowie in der MENA-Region gefördert. In der Mehrzahl der bisherigen Zayed-Projekte ging es darum, ein besseres Verständnis für die Strukturen und Anforderungen der lokalen Energiemärkte zu gewinnen, Kontakte herzustellen und Finanzierungsmöglichkeiten für konkrete FuE-Projekte zu ermitteln.

¹ *Im Rahmen des »Fraunhofer-Zayed-Programms« wurde u. a. die Anbahnung von Projekten zur Qualitätssicherung von solarthermischen Anlagen in Indien gefördert.*



PREISE UND AUSZEICHNUNGEN

Johannes Mayer

für Ausgründungsprojekt »Blue Inductive«, Aufnahme im Club »30 under 30« in der Kategorie »Industry«, Forbes Magazine, Februar 2016

Heinrich Berg mit Min Hsian Saw und Daniel Philipp

für Poster »Die parasitäre Kapazität eines PV-Moduls als Ursache für einen erhöhten Ableitstrom und Indikator für den Feuchteintrag im Verkapselungsmaterial«, 2. Preis bei der Posterprämierung 2016 auf dem 31. Symposium »Photovoltaische Solarenergie« vom 8.–11. März 2016, Kloster Banz, Bad Staffelstein

Friedemann Heinz, Dr. Wilhelm Warta, Dr. Martin Schubert

»SiliconPV Award« auf der SiliconPV 2016 am 9. März 2016 in Chambéry, Frankreich

Team aus der Abteilung Leistungselektronik um Prof. Dr. Bruno Burger und Cornelius Armbruster

für die Entwicklung eines hochkompakten und -effizienten Wechselrichters für die unterbrechungsfreie Stromversorgung (USV) von elektrischen Geräten, 2. Preis der »Stiftung Ewald Marquardt« für zukunftsweisende Entwicklung in der Leistungselektronik, März 2016 in Rietheim-Weilheim

Dr.-Ing. Ralf Preu und Dr. Jan Nekarda

für Arbeiten zu Laser-basiertem Fertigungsprozess für hocheffiziente Solarzellen, »Joseph-von-Fraunhofer-Preis 2016« auf der Jahrestagung der Fraunhofer-Gesellschaft am 10. Mai 2016 in Essen

Monika Bosilj

Preis für Poster »Synthesis and Characterisation of Biomass-derived Carbons based on Hydrothermal Carbonisation«, im Rahmen des 7. International Symposium on Carbon for Catalysis – CarboCat VII vom 12.–16. Juni 2016 in Straßburg, Frankreich

Dr. Frank Feldmann

für Arbeiten zu passivierten Kontakten, die eine beträchtliche Wirkungsgradsteigerung für Siliciumsolarzellen ermöglichen, »SolarWorld Junior Einstein Award« im Rahmen der Intersolar Europe am 22. Juni 2016 in München

Prof. Dr. Eicke R. Weber

für Verdienste aus dem Bereich der Materialforschung mit Defekten in Silicium und III-V-Halbleitern, »Rudolf-Jaeckel-Preis 2016« der Deutschen Vakuum-Gesellschaft, im Rahmen der 19. Arbeitstagung Angewandte Oberflächenanalytik unter dem Titel »Surface meets Light«, 6. September 2016 in Soest

Thomas Lickert

2. Preis für die beste mündliche Präsentation zum Thema Wasserstoff und Brennstoffzellen beim 4. International Symposium on Innovative Materials for Processes in Energy Systems vom 23.–26. Oktober 2016 in Taormina, Italien

- 1 *Um hocheffiziente PERC-Solarzellen in Serie herzustellen, entwickelten Dr. Jan Nekarda und Dr.-Ing. Ralf Preu (v. l. n. r.) den Laser Fired Contact-Prozess, für den sie 2016 den Joseph-von-Fraunhofer-Preis erhielten.*
- 2 *SolarWorld Junior Einstein Award 2016: (v. l. n. r.) Frank Asbeck, Vorstandsvorsitzender SolarWorld AG, die Preisträger Dr. Frank Feldmann und Dr. Udo Römer und der Jury-Vorsitzende Dr. Holger Neuhaus.*



NACHWUCHSFÖRDERUNG UND ALUMNI-ARBEIT

Qualifikationen für Forschung und Industrie

Mit seinen Aktivitäten in der Nachwuchsförderung sowie für seine ehemaligen Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter wird das Fraunhofer ISE seiner gesellschaftlichen Verantwortung als Europas größtes Solarforschungsinstitut gerecht. Ziel ist es, die Ausbildung und Qualifikation für Tätigkeiten auf dem Feld der erneuerbaren Energien zu stärken und zur Vernetzung der Branche beizutragen. Nicht nur zahlreiche Bachelor- und Masterarbeiten sowie Dissertationen werden jedes Jahr am Fraunhofer ISE angefertigt, auch für den jüngeren Nachwuchs engagiert sich das Institut. So beteiligt sich das Fraunhofer ISE bereits seit 15 Jahren am jährlich in Deutschland stattfindenden Girls' Day. Beim Mädchenzukunftstag können Schülerinnen ab der 5. Klasse Ausbildungsberufe und Studiengänge aus IT, Handwerk, Naturwissenschaften und Technik kennenlernen. Im April 2016 besuchten 16 Mädchen das Solarforschungsinstitut, um mit Wissenschaftlerinnen über ihren Werdegang und Tätigkeiten zu sprechen und diverse Experimente selbst durchzuführen.

Sehr beliebt sind auch die BOGY-Praktika, die das Fraunhofer ISE jährlich anbietet. Im vergangenen Jahr fanden sechs dieser Berufs- und Studienorientierungs-Praktika für Gymnasiastinnen und Gymnasiasten statt. Zudem bieten wir immer wieder Führungen für Besuchergruppen von Universitäten, Fachhochschulen, Berufsschulen und Schulen am Fraunhofer ISE an, meist im Rahmen konkreter Forschungs- und Lehrprojekte der Schüler und Studenten.

Ein bewährtes Projekt in Zusammenarbeit mit dem Verein Solare Zukunft e.V. ist die Aktion »Forscher zu Gast in der Schule«. Dabei gehen Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen des Instituts als Gäste in Schulklassen, führen mit den Schülerinnen und Schülern Experimente durch und berichten über ihren Werdegang sowie ihren Forschungsalltag.

Netzwerk in Industrie und Forschung

»Fraunhofer ISE ALUMNI – Vernetzt für eine Solare Zukunft« – unter diesem Motto hatte das Institut im Sommer 2014 eine Internet-Plattform für ehemalige Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter gegründet und lädt seitdem regelmäßig zu Alumni-Treffen ein. Mehr als 30 Jahre Instituts Geschichte mit rund 300 Doktorarbeiten und rund 20 Firmenausgründungen bieten die Grundlage für fruchtbare Alumni-Aktivitäten, und jedes Jahr kommen neue Absolventinnen und Absolventen sowie ehemalige Beschäftigte dazu. Mittlerweile sind nahezu 150 Personen auf der Internet-Plattform aktiv und werden so nicht nur mit Neuigkeiten aus dem Institut und der Branche versorgt, sondern können sich auch untereinander vernetzen.

Auch alle anderen der rund 1200 in der Fraunhofer ISE ALUMNI-Adressdatenbank registrierten ehemaligen Kolleginnen und Kollegen profitieren von Informationen und erhalten Einladungen zu den mittlerweile etablierten Alumni-Treffen. So boten im vergangenen Jahr Alumni-Veranstaltungen sowohl im Rahmen der Energy Storage in Düsseldorf als auch der Intersolar Europe und EU PVSEC in München Gelegenheit zur (Wieder-) Begegnung und Vernetzung. Zudem gab es die Möglichkeit, sich im Rahmen eines Ehemaligen-Treffens der Fraunhofer-Gesellschaft in Berlin auch über Institutsgrenzen hinaus auszutauschen. Weitere Interessenten an den Aktivitäten des Alumni-Netzwerks sind herzlich willkommen!

- 1 *Am Girls' Day 2016 konnten die jungen Besucherinnen in den Labors selbst Experimente durchführen und lernten so technische Arbeitsfelder besser kennen.*
- 2 *Auf der Intersolar Europe im Juni 2016 in München waren die Fraunhofer ISE Alumni Ehrengäste der Jubiläumsveranstaltung »30 Jahre CalLab PV Cells« am Messestand des Fraunhofer ISE.*

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

LEHRVERANSTALTUNGEN



PROFESSUREN UND PROMOTIONEN

PROFESSUR

Prof. Dr. Werner Platzer

Honorarprofessor
Fakultät für Umwelt und natürliche Ressourcen
Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, ernannt im März 2016

PROMOTIONEN

Andreas Bachmaier

»Techno-ökonomische Strukturoptimierung von thermischen und elektrischen Energiespeichern in urbanen Energieversorgungsanlagen auf Basis von Geoinformationen«
KIT Karlsruher Institut für Technologie, 2016

Sebastian Binder

»Aerosol Jet Printing – Contactless Deposition Technique for Solar Cell Metallization«
Technische Universität Ilmenau, 2016

Martin Bivour

»Silicon Heterojunction Solar Cells Analysis and Basic Understanding«
Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, 2016

Matthias Demant

»Quality Rating of Silicon Wafers – A Pattern Recognition Approach«
Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, 2016

Jan-Bleicke Eggers

»Das kommunale Energiesystemmodell ›KomMod««
Technische Universität Berlin, 2016

Fabian Fertig

»UMG Silicon and BOSCO Solar Cells«
Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, 2016

Sebastian Gölz

»Feedback Seeking as an Active, Goal-Oriented Behavior – A Psychological Reframing of Energy Consumption Feedback«
Philipps-Universität Marburg, 2016

Stefan Heckelmann

»Analyse zur Eignung von $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ als aktives Material in III-V Mehrfachsolarzellen«
Universität Konstanz, 2016

Friedemann Heinz

»Microscopic Photoluminescence Spectroscopy on Silicon«
Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, 2016

Max Hendrichs

»Industrielle Metallisierungskonzepte für siliziumbasierte Rückkontaktsolarzellen«
Technische Universität Berlin, 2016

Hannes Höffler

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

Mathias Kamp

»Electrochemical Processes for Metallization of Novel Silicon Solar Cells«
Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, 2016

Tilmann E. Kuhn

»Design, Development and Testing of Innovative Solar-Control Facade Systems«
National and Kapodistrian University of Athens, Athen, Griechenland, 2016

Julia Kumm

»Entwicklung eines PVD-Metallisierungskonzeptes für industrielle Rückseitenpassivierte und -kontaktierte Siliciumsolarzellen«
Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, 2016

Nena Milenkovic

»Kerfless Wafering: Porous Silicon Reorganization and Epitaxial Silicon Growth«

Universität Konstanz, 2016

Anamaria Moldovan

»Ozonbasierte Reinigungs- und Konditionierungsverfahren für die Herstellung hocheffizienter Silizium Solarzellen«

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, 2016

Ralph Müller

»Ion Implantation for High-Efficiency Silicon Solar Cells«

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, 2016

Markus Mundus

»Ultrashort Laser Pulses for Electrical Characterization of Solar Cells«

Universität Konstanz, 2016

Andreas Palzer

»Sektorübergreifende Modellierung und Optimierung eines zukünftigen deutschen Energiesystems unter Berücksichtigung von Energieeffizienzmaßnahmen im Gebäudesektor«

KIT Karlsruher Institut für Technologie, 2016

Thibault Pflug

»Evaluation of Façade Technologies with Switchable Thermal Properties«

INSA Straßburg, Frankreich, 2016

David Pocza

»Fluiddynamische Grundlagenmodellierung von Silizium-CVD-Anlagen«

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, 2016

Christoph Rapp

»Charakterisierung und Weiterentwicklung eines Sonnensimulators für Konzentratormodule«

Universität Konstanz, 2016

Patrick Reinecke

»Herstellung und Untersuchung gesputterter transparenter Silberelektroden für organische Solarzellen«

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, 2016

Yvonne Jeneke Reinhardt

»Imaging and Thin-Film Optics of Organic Solar Cells«

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, 2016

Maxi Richter

»Einseitige saure Ätzprozesse zur Herstellung von kristallinen Siliziumsolarzellen«

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, 2016

Claudia Schmid

»Numerische Simulation und Optimierung der gerichteten Erstarrung von multikristallinem Silicium für die Photovoltaik«

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, 2016

Tobias Schmid-Schirling

»Kombinierte Betrachtung von Optiken und Solarzelle für die konzentrierende Photovoltaik am Beispiel eines Parabolspiegels und einer Dreifachsolarzelle«

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, 2016

Martin Seßler

»Selektive Fensterschichten in Organischen Tandemsolarzellen«

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, 2016

Johannes Tritschler

»Schaltungs- und Regelungskonzept eines induktiven Ladesystems hoher Leistung für die Elektromobilität«

Technische Universität Darmstadt, 2016

Nico Tucher

»Analysis of Photonic Structures for Silicon Solar Cells«

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, 2016

Nico Wöhrle

»Simulation und Verlustanalyse von lokal rückseitenkontaktierten Silicium-Solarzellen«

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, 2016

Dominik Wystrcil

»Ein Beitrag zur thermo-hydraulischen Optimierung niedrigexergetischer Wärme- und Kälteversorgungssysteme«

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, 2016

Verena Zipf

»Untersuchung von Schneckenwärmeübertragern in Latentwärmespeichern und Bewertung deren Einsatz in solarthermischen Energieerzeugungsanlagen«

Technische Universität Braunschweig, 2016

INTERNATIONALE VERNETZUNG

USA

- Fraunhofer Center for Sustainable Energy Systems CSE, Boston (Massachusetts)
- 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)
- National Renewable Energy Laboratory NREL, Golden (Colorado)
- University of New Mexico, Albuquerque (New Mexico)

Chile

- Center for Solar Energy Technology (CSET), Santiago
- Fraunhofer Chile Research, Santiago
- Energy International Centers of Excellence, Santiago

Brasilien

- SENAI – DRVRN – Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial
- Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC
- Universidade Federal Fluminense, Rio de Janeiro

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

www.ise.fraunhofer.de/de/ueber-uns/internationale-vernetzung

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
- Hochschule Offenburg, Offenburg

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)

Belgien

- Imec, Interuniversity Micro Electronics Centre, Leuven

Frankreich

- CEA Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives/ INES, Le Bourget du Lac
- Institut National des Sciences Appliquées de Strasbourg INSA, Straßburg
- Institut National des Sciences Appliquées de Strasbourg INSA, Straßburg

Finnland

- Academy of Finland, Helsinki

Großbritannien

- University of Oxford, Oxford

Irland

- The National Microelectronics Research Centre, Cork

Italien

- Ca' Foscari University of Venice, Venedig
- Universität Bologna, Bologna
- Ca' Foscari University of Venice, Venedig
- University of Naples »Federico II«, Neapel
- CNR-ITAE, Messina
- Politecnico di Torino, Turin

Kroatien

- University of Split, Split
- Vallis Solaris, Zagreb

Niederlande

- The Netherlands Energy Research Foundation (ECN), Petten
- TU Delft, Delft

Polen

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

Spanien

- Universidad Pública de Navarra, Pamplona

Türkei

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

Ägypten

- Sohag University, Sohag
- University of Menoufia, Shobrabas

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
- University of Wollongong, Wollongong

China

- China Electric Power Research Institute (CEPRI), Nanjing
- Nanjing Institute of Astronomical Optics & Technology, Chinese Academy of Science, Nanjing

Indien

- University of Hyderabad
- Ministry of New and Renewable Energy MNRE, New Delhi

Japan

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

Malaysia

- Universiti Kebangsaan Malaysia, Bangi

Mongolei

- National Renewable Energy Centre, Ulan Bator

Singapur

- VDE-Fraunhofer ISE Pte. Ltd.

Saudi Arabien

- Energy, K.A.CARE, Riad

Südkorea

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

Tunesien

- ESIAT Universität, Tunis

Vereinigte Arabische Emirate

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

IMPRESSUM BILDNACHWEISE

Redaktion

Christina Lotz, Karin Schneider (verantwortlich)

Anschrift der Redaktion

Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE
Presse und Public Relations
Heidenhofstraße 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, 2017

Hier halten wir Sie auf dem Laufenden:

-  www.ise.fraunhofer.de
-  blog.innovation4e.de
-  Twitter: [FraunhoferISE](https://twitter.com/FraunhoferISE)
-  Facebook: [FraunhoferISE](https://www.facebook.com/FraunhoferISE)

Gestaltung

WEBERSUPIRAN Kommunikationsgestaltung, Berlin
www.webersupiran.berlin

Druck

trigger.medien.gmbH, Berlin
www.triggermedien.de

Bildnachweise

- Fraunhofer-Gesellschaft
Seite 12, Abb. 1
- Angelini Innovation Center
Seite 14, Abb. 1
- Fraunhofer THM
Seite 14, Abb. 2
- ModQS
Seite 48
- AIT/Ilgner
Seite 50, Abb. 1 u. 2
- istock.com / schmidt-z
Seite 63, Abb. 4
- BSW Solar
Seite 66, Abb. 1
- Fraunhofer-Gesellschaft/Dirk Mahler
Seite 79, Abb. 1
- Solar World AG/Milton Arias
Seite 79, Abb. 2

Fotografen

- Auslöser Fotodesign Kai-Uwe Wuttke
Seite 27, 31, 35, 39, 45, 53
- Phillip Bendix
Seite 49, Abb. 1 u. 2
- Michael Eckmann
Seite 37, 65
- Joscha Feuerstein
Titelbild; Seite 10/11; Seite 52/53
- Guido Kirsch
Seite 15
- Timo Sigurdsson
Seite 8, 19, 38/39; Seite 43, Abb. 1
Seite 73, Abb. 1; Seite 76, Abb. 1 u. 2

VERANSTALTUNGEN MIT BETEILIGUNG DES FRAUNHOFER ISE – AUSBLICK 2017

BAU München
16. – 18.01.2017

**Zukünftige Stromnetze
für Erneuerbare Energien**
OTTI, Berlin
31.01. – 01.02.2017

**8th International
Rechargeable Battery Expo**
Tokyo, Japan
01. – 03.03.2017

BIPV Symposium
Kloster Banz, Bad Staffelstein
07.03.2017

**Fachforum »Brandschutz
und Wartung von PV-
Anlagen«**
Kloster Banz, Bad Staffelstein
07.03.2017

**Fachforum »PV-Diesel-
Hybrid-Systeme«**
Kloster Banz, Bad Staffelstein
07.03.2017

**33. Symposium Photo-
voltaische Solarenergie**
Kloster Banz, Bad Staffelstein
08. – 10.03.2017

**Energy Storage /
11. Internationale
Konferenz zur Speicherung
Erneuerbarer Energien
(IRES)**
Düsseldorf
14. – 16.03.2017

**11. Entwicklerforum
Akkutechnologien**
Battery University,
Aschaffenburg
14. – 16.03.2017

ISH Frankfurt
14. – 18.03.2017

**LOPEC International
Exhibition and Conference
for the Printed Electronics
Industry**
München
29. – 30.03.2017

**7th PV Performance
Modeling and Monitoring
Workshop**
Lugano, Schweiz
30.03.2017

**Silicon PV, 7th International
Conference on Crystalline
Silicon Photovoltaics und
PV Workshop**
Freiburg
03. – 05.04.2017

nPV Workshop
Freiburg
05. – 06.04.2017

**SOLAREX – Solar Energy
and Technologies Fair**
Istanbul, Türkei
06. – 08.04.2017

**11th SNEC PV POWER EXPO
2016**
Shanghai, China,
19. – 21.04.2017

Hannover Messe Industrie
Hannover
24. – 28.04.2017

**13th International
Conference on Concentrator
Photovoltaics (CPV – 13)**
Ottawa, Kanada
01. – 03.05.2017

Berliner Energietage
03. – 04.05.2017

**27. Symposium
Thermische Solarenergie**
Kloster Banz, Bad Staffelstein
10. – 12.05.2017

Heat Pump Forum 2017
Brüssel, Belgien
10. – 12.05.2017

**12th IEA Heat Pump
Conference 2017**
Rotterdam, Niederlande
15. – 18.05.2017

PCIM Europe
Nürnberg
16. – 18.05.2017

**Power Electronics for
Photovoltaics**
München
29. – 30.05.2017

**Intersolar Europe /
Electrical Energy Storage**
München
31.05. – 02.06.2017

**KONGRESS – Forum
ElektroMobilität**
Berlin
01. – 02.06.2017

**44th IEEE Photovoltaic
Specialists Conference**
Portland, Oregon, USA
25. – 30.06.2017

The Battery Show
Novi, Michigan, USA
12. – 14.09.2017

**33rd European Photovoltaic
Solar Energy Conference
and Exhibition (EU PVSEC)**
Amsterdam, Niederlande
25. – 29.09.2017

23. SolarPACES Conference
Santiago de Chile, Chile
26. – 29.09.2017

**7th International
Conference on Solar
Air-Conditioning –
PV Driven/Solar
Thermal**
Tarragona, Spanien
28. – 29.09.2017

**13. SiliconFOREST
Workshop**
Feldberg – Falkau
08. – 11.10.2017

**World of Energy Solutions
2017 / f – cell 2017**
Stuttgart, 09. – 11.10.2017

9. eCarTec
München
17. – 19.10.2017

**SHC 2017 Conference &
ISES Solar World Congress**
Abu Dhabi,
Vereinigte Arabische Emirate
29.10. – 02.11.2017

Solar – TEC
Kairo, Ägypten
04. – 06.12.2017