

JAHRESBERICHT

ANNUAL REPORT

2018



An-Institut der

Leitbild

Erkenntnis. Das niedersächsische Institut für Solarenergieforschung (ISFH) leistet angewandte Forschung und Entwicklung für die Solarenergie. Mit wissenschaftlicher Erkenntnis und Innovationen tragen wir zum Ausbau der Solarenergie bei und leisten einen wichtigen Beitrag zur Energiewende. Es ist unser Anspruch, exzellente Leistung auf international anerkanntem Niveau zu erbringen.

Wirtschaftsförderung. Mit Entwicklungsarbeit und forschungsaktuellen Dienstleistungen auf höchstem Niveau fördern wir die Wirtschaft. Gemeinsam mit unseren Partnern lösen wir Entwicklungsfragen, welche die Kosten der Solarenergienutzung weiter senken.

Ausbildung. Wir geben Studierenden, TechnikerInnen, IngenieurInnen und WissenschaftlerInnen die Chance zur Aus- und Weiterbildung in einer hervorragenden Forschungsinfrastruktur. So geben wir dem Wandel zu einer nachhaltigen Energieversorgung ein solides wissenschaftliches Fundament.

Zusammenarbeit. Wir fördern den Austausch der MitarbeiterInnen untereinander und schaffen Raum für Kreativität und neue Lösungen. Wir gestalten unsere Zusammenarbeit kooperativ, respektvoll und offen, sowohl intern als auch im Umgang mit unseren Kunden und Partnern.

Mission statement

Knowledge. The Lower Saxony Institute for Solar Energy Research (ISFH) conducts applied research and development for solar energy. We help to expand solar energy with scientific knowledge and innovation and thus make an important contribution to the energy transition. We strive to provide excellent performance on an internationally recognised level.

Economic development. We support the economy with development work and research-oriented services at the highest level. In collaboration with our partners, we solve development issues to further reduce the costs of using solar energy.

Training. We give students, technicians, engineers, and academics the opportunity to take part in basic and advanced training in excellent research infrastructure. We thereby provide a solid scientific foundation for the transition to a sustainable energy supply.

Collaboration. We promote the exchange of ideas among employees and create space for creativity and new solutions. We strive to collaborate in a cooperative, respectful and open manner, both internally and with our customers and partners.

Innovation with impact

Hinweise zu den Umschlagbildern/About the cover images:

A: Das *SolarTeC*-Gebäude.
The SolarTeC building.

B: Probenkammer für die Messung des thermischen Emissionsgrades eines thermochromen Solarabsorbers bis zu 250 °C.
Sample chamber for measuring the thermal emissivity of a thermochrome solar absorber up to 250 °C.

C: Massenspektrometrie mit induktiv gekoppeltem Plasma (ICP-MS) zur empfindlichen Bestimmung von Metallen.
Mass spectrometry with inductively coupled plasma (ICP-MS) for the sensitive determination of metals.

D: Co-Sputter-Anlage zur Entwicklung thermochromer Schichten auf Metallen.
Co-sputtering system for the development of thermochrome layers on metals.

E: Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Nebel, Wissenschaftlicher Vizepräsident der *Zuse-Gemeinschaft* bei einem Rundgang durch die Labore des ISFH.
Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Nebel, Scientific Vice-President of the Zuse community on a tour through the laboratories at the ISFH.



A

B

C

D

E

JAHRESBERICHT 2018

ANNUAL REPORT



Hydraulikmodule zur Emulation von Quellen und Senken des Wärmepumpenprüfstandes.
Hydraulic modules for the emulation of sources and sinks of the heat pump testing stand.

Associated with



Abbildung/Figure 2:

Dr. Niepelt, Professor Nebel (OFFIS) und Professor Brendel bei der Besichtigung des *SolarTeC* anlässlich der Aufnahme des ISFH in die *Zuse-Gemeinschaft*.
Dr. Niepelt, Professor Nebel (OFFIS) and Professor Brendel visiting the *SolarTeC* building on the occasion of ISFH's admission to the *Zuse community*.

Abbildung/Figure 3:

Professor Nebel und Professor Brendel bei einem Institutsrundgang in dem Gebäude der Integrierten Solaren Systeme (*ISS*).
Professor Nebel and Professor Brendel on a tour of the Institute in the Integrated Solar Systems (*ISS*) building.

Abbildung/Figure 4:

Professor Brendel dankt Professor Parisi (rechts) für viele Jahre konstruktiver Mitgliedschaft im Aufsichtsrat.
Professor Brendel thanks Professor Parisi (right) for many years of constructive membership in the Advisory Board.

Abbildung/Figure 5:

Die *Nacht, die Wissen schafft* – an der Leibniz Universität Hannover. Das ISFH beteiligte sich mit verschiedenen Aufbauten aus der Lernwerkstatt NILS. Unter anderem stand diese Rennbahn für Solarautos im Mittelpunkt des Interesses vieler Kinder und Jugendlicher.
The night when science attracted families to the institutes of the Leibniz University Hanover, at a late hour. ISFH participated with various pieces of apparatus from the NILS learning workshop. Amongst other things, this race track for solar cars took center stage for many children and young people.

Abbildung/Figure 6:

„Solar + Power Award 2018“ in der Kategorie *Forschung & Entwicklung*, mit dem das ISFH für die Entwicklung der POLO-Kontakte ausgezeichnet wurde.
“Solar + Power Award 2018” in the category *Research & Development*, which was awarded to ISFH for the development of POLO contacts.

Abbildung/Figure 7:

Die Sonne meinte es gut mit den Studierenden der Leibniz Universität Hannover: Bei strahlend blauem Himmel fand das Sommerfest auf dem Campus statt, eine gute Mischung aus Wissenschaft und Party. Das ISFH demonstrierte Experimente und Geräte aus der Lernwerkstatt NILS.
The sun meant well for the students of the Leibniz University, Hanover: the summer party took place at the campus under a bright blue sky, a good mixture of science and party. ISFH demonstrated experiments and equipment from the NILS learning workshop.

Streiflichter ♦ At a glance	2
Inhalt ♦ Contents	4
Vorwort ♦ Preface	6
1 Institut für Solarenergieforschung	8
Kurzportrait ♦ Brief portrait	8
Organisation ♦ Organization	10
Abteilung Photovoltaik ♦ Photovoltaics department	10
Abteilung Solare Systeme ♦ Solar systems department	14
Calibration & Test Center (CaTeC)	18
Zentrale Dienste ♦ Central services	19
Aufsichtsrat ♦ Supervisory Board	20
Wissenschaftlicher Beirat ♦ Scientific Advisory Board	21
Gesellschaft zur Förderung des Instituts für Solarenergieforschung e.V. (Förderverein)	23
Society for the Promotion of the Institute for Solar Energy Research (Friends of the ISFH)	
Zuse-Gemeinschaft ♦ Zuse community	26
Das Institut in Zahlen ♦ Statistics of the Institute	27
2 Forschungsabteilungen ♦ Research departments	30
Abteilung Photovoltaik ♦ Photovoltaics department	30
Forschungsthemen ♦ Research topics	30
Dienstleistungen ♦ Services	30
Apparative Ausstattung ♦ Equipment & facilities	30
Glanzlichter ♦ Highlights	31
Abteilung Solare Systeme ♦ Solar systems department	32
Forschungsthemen ♦ Research topics	32
Dienstleistungen ♦ Services	32
Apparative Ausstattung ♦ Equipment & facilities	32
Glanzlichter ♦ Highlights	33
3 Wissenschaftliche Ergebnisse ♦ Scientific results	34
Abteilung Photovoltaik ♦ Photovoltaic department	34
26,1 % Rekordwirkungsgrad für kristalline p-Typ Silizium-Solarzellen	34
26.1 % record efficiency for crystalline p-type silicon solar cells	
Titanoxid-basierte elektronenselektive Kontakte für Siliziumsolarzellen	38
Titanium oxide-based electron-selective contacts for silicon solar cells	
Dichteste Packung für Solarzellen – 21,8 % effizientes PV-Modul mit neuer Laminationstechnologie	41
Tightest packing for solar cells – 21.8 % efficient PV module with new lamination technology	
Technologieentwicklung für Perowskit/Siliziumtandemsolarzellen	44
Technology development for perovskite/silicon tandem solar cells	
PERC+ Solarzellen ohne licht-induzierte Degradation	48
PERC+ solar cells free of light-induced degradation	

Abteilung Solare Systeme ♦ Solar systems department	52
Mieterstrom Tool – Modell zur ökonomischen und ökologischen Bewertung von Gebäudeversorgungsverfahren	52
Landlord-to-tenant electricity supply tool – Model for the economic and ecological assessment of building supply systems	
Kostengünstige und zuverlässige solarthermische Anlagen mit neuartigen Wärmerohr-Kollektoren	56
Cost-effective and reliable solar-thermal systems with innovative heat pipe collectors	
4 Weiterbildung ♦ Education	60
Akademische Ausbildung ♦ Academic education	60
NILS – Die Lernwerkstatt ♦ NILS – The workshop	65
5 Dokumentation ♦ Documentation	70
Partner aus Universitäten & Forschungseinrichtungen ♦ Partners from universities & research facilities	72
Inland ♦ National	72
Ausland ♦ International	73
Partner aus Industrie, Planung & Entwicklung ♦ Partners from industry, planning & development	74
Inland ♦ National	74
Ausland ♦ International	76
Institutsmitgliedschaften ♦ Institute memberships	76
Institutskolloquien ♦ Institute colloquia	78
Mitarbeit in Fachgremien ♦ Membership in professional bodies	79
Ausstellungen & Fachtagungen ♦ Fairs & congresses	81
Veröffentlichungen in referierten Zeitschriften ♦ Peer-reviewed publications	82
Andere Veröffentlichungen ♦ Other publications	83
Vorträge ♦ Presentations	87
Poster ♦ Posters	90
Studien- & Bachelorarbeiten ♦ Seminar & bachelor papers	93
Diplom- & Masterarbeiten ♦ Diploma theses & masters	93
Doktorarbeiten ♦ Ph.D.-theses	93
Lehrveranstaltungen ♦ Lectures	94
Preise & Auszeichnungen ♦ Awards	95
6 Presse ♦ Press	96
7 Autoren ♦ Authors	100
8 Impressum ♦ Impress	101
Streiflichter ♦ At a glance	102
Notizen ♦ Notes	104

Der Jugend gehört die Zukunft. Verhalten wir uns entsprechend?

In unserer Landeshauptstadt Hannover protestieren tausende Schülerinnen und Schüler für einen effektiveren Klimaschutz. Ihr berechtigtes und wissenschaftlich begründetes Anliegen ist ein beherzteres Handeln für die Energiewende, denn wir bleiben derzeit deutlich hinter unseren Plänen zur Reduktion von Emissionen zurück.

Deutschland emittiert derzeit etwa 2 % der weltweiten, die Zukunft der Menschheit gefährdenden CO₂-Emissionen. Damit liegen wir in der weltweiten Rangliste der größten CO₂-Emittenten auf Platz 6. Als hoch entwickeltes Industrieland kommt uns eine Schlüsselrolle zu: Wenn wir erfolgreich demonstrieren, dass eine CO₂-arme Industriegesellschaft wettbewerbsfähig ist, werden viele folgen und die kaum handhabbaren, äußerst negativen Folgen eines zu starken Klimawandels könnten unserer Jugend in Zukunft vielleicht doch noch erspart bleiben.

An unserem niedersächsischen Institut für Solarenergieforschung in Hameln/Emmerthal (ISFH) arbeiten wir seit über 30 Jahren konsequent an Lösungen für die solaren Beiträge zur Energiewende. Die 30 Jahre Arbeit haben sich gelohnt, denn wir haben wesentlich dazu beitragen können, dass heute kostengünstige solare Systemkonfigurationen angeboten werden, dass die Solarstromerzeugung heute um mehr als einen Faktor 100 kostengünstiger ist als zu Zeiten der ersten Ölkrise, dass heute weltweit 500 GW_p PV-Kapazität installiert sind und dass es in wenigen Jahren 1000 GW_p sein werden.

Ja, Solarenergie ist auch „im Norden“ zu Hause. So heißt es im Bericht der Wissenschaftlichen Kommission Niedersachsen (WKN), die unser Institut für Solarenergieforschung vor kurzem turnusmäßig evaluiert hat: „Das national und international sehr gut sichtbare ISFH ist von wirtschaftlicher und struktureller Bedeutung für die Region Weserbergland. Die Sichtbarkeit des ISFH erzeugt auch eine Sichtbarkeit des Landes Niedersachsen, das unter geographischen Aspekten (Flächenland) und unter wissenschaftspolitischen Aspekten (seit längerem hoher Stellenwert und Förderung von Forschung und Entwicklung im Energiebereich) ein besonders geeigneter Standort für die Solarenergieforschung ist.“ „Es [das ISFH] ist von großer wirtschaftlicher und wissenschaftlicher Bedeutung ... für die nationale und europäische Solarenergieindustrie“.

Trotz des rasanten technologischen Fortschritts gibt es noch eine Menge Hürden zu überwinden. Unser ISFH ist dafür laut Evaluationsbericht gut vorbereitet: „Das ISFH ist ein sehr gut aufgestelltes



Prof. Dr.-Ing. Rolf Brendel, Wissenschaftlicher Leiter und Geschäftsführer der Institut für Solarenergieforschung GmbH in Hameln.

Prof. Dr.-Ing. Rolf Brendel, Scientific Director and Chief Executive of the Institute for Solar Energy Research in Hameln.

The future belongs to young people. Are we acting accordingly?

In our state capital, Hanover, thousands of school students are protesting for more effective climate protection. Their justified and scientifically founded concern is to act more courageously for the energy transition as we are currently lagging far behind our plans to reduce emissions.

Germany currently emits about 2% of the worldwide CO₂ emissions, which are endangering the future of mankind. This makes us no. 6 in the worldwide rankings of the greatest CO₂-emitters. As a highly-developed industrial country, we have a key role to play: if we successfully demonstrate that a low-CO₂ industrial society is competitive, many others will follow and the virtually unmanageable very negative consequences of serious climate change for our young people could perhaps still be averted in future.

At our Lower Saxon Institute for Solar Energy Research in Hameln/Emmerthal (ISFH) we have been working systematically on solutions for solar contributions to energy transition for over 30 years. The 30 years of work

have paid off as we have been able to make a significant contribution to inexpensive solar system configurations now being available, to solar electricity generation now being less expensive by a factor of more than 100 than it was at the time of the first oil crisis, to 500 GW_p of PV capacity now being installed worldwide and to this rising to 1000 GW_p in a few years.

Yes, solar energy is also at home “up north”. The report of the Lower Saxony Scientific Commission (WKN), which recently carried out its regular evaluation of our Institute for Solar Energy Research states: “The ISFH, which is very clearly visible both nationally and internationally, is of economic and structural significance for the Weser Hills region. The visibility of the ISFH also creates a visibility for the State of Lower Saxony, which geographically (as a large area state) and economically (due to the long-standing high priority and support given to research and development in the energy sector) is a particularly suitable location for solar energy research”. “It [the ISFH] is of great economic and scientific importance ... for the national and European solar energy industry.”

Despite rapid technological progress there are still a number of hurdles to overcome. According to the evaluation report, our ISFH is well equipped for this: “The ISFH is a very well-placed institute which conducts research at a very high overall level on socially relevant topics.” “The studies of the Solar systems department on thermal components are at the international forefront.”

Institut, das zu gesellschaftlich relevanten Themen auf einem insgesamt sehr hohen Niveau forscht.“ „Die Untersuchungen der Abteilung (Systemtechnik) zu thermischen Komponenten zählen zur internationalen Spitze.“ Und zur PV-Forschung heißt es: „Die Forschungen im Bereich kristalliner Silizium-Solarzellen zählen zur internationalen Spitze, nach Ansicht der Gutachtenden gehört das ISFH hier zu den fünf besten Einrichtungen weltweit.“

Diese positiven Bewertungen sind uns ein Ansporn für die Zukunft und wir hoffen, dass sie auch ein Anlass für eine beherzte Weiterentwicklung und Stärkung des Instituts sein werden, in einer Zeit, in der wir Forschungsergebnisse zur weiteren Reduktion der Kosten von erneuerbaren Energiesystemen dringender brauchen denn je.

Die Jugend und junge Forscherinnen und Forscher können am ISFH ihre eigene Zukunft mit in die Hand nehmen. Die Kommission stellt fest: „Einen hervorragenden Know-How-Transfer in die Industrie und die Wissenschaft leistet das ISFH über die Ausbildung von jungen Menschen im wissenschaftlich-technischen Bereich.“

Es gibt für die Forschung noch viel zu tun: Wir können die erneuerbare Energieversorgung durch anders hergestellte Materialien noch billiger machen, wir können den Wirkungsgrad von Komponenten durch Kombination von Materialien wesentlich steigern (S. 44), wir können die PV-Module vielfältiger herstellen (S. 41), so dass sie zukünftig auch neue Anwendungen z. B. in Elektroautos finden.

Eine Energiewende ohne den Wärmebereich (S. 56), ohne die Kopplung von Strom und Wärme (S. 52), ohne die Langzeitspeicherung von Energie und ohne digitale Vernetzung wird es nicht geben können. Also muss hier intensiv entwickelt werden. Und alle diese Themen bergen auch große wirtschaftliche Chancen für den Erfolg unseres Industriestandortes.

Mein herzlicher Dank für ein wieder einmal aufregendes hinter uns liegendes Jahr geht an die engagierten Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter sowie an alle Partner und Kunden aus Forschung und Industrie. Ganz besonders danke ich dem Land Niedersachsen für die institutionelle Förderung des ISFH, ebenso dem Bundesministerium für Wirtschaft und der Europäischen Union für zahlreiche Projektförderungen.

Ich wünsche Ihnen eine interessante Lektüre dieses ISFH-Jahresberichtes 2018. Sprechen Sie uns an, wenn Sie mit uns forschend für die Zukunft unserer Jugend arbeiten wollen.



Prof. Dr.-Ing. habil. Rolf Brendel, 27.2.2019

Wissenschaftlicher Leiter und Geschäftsführer/Chief Executive and Scientific Director

And on PV research it says: “The researches in the crystalline silicon solar cell area are at the international forefront, in the opinion of experts the ISFH, in this respect, ranks amongst the five best facilities worldwide.”

These positive assessments are an incentive for us for the future and we hope they will also be a reason for a determined further development and strengthening of the Institute at a time when we need the results of research more urgently than ever to further reduce the costs of renewable energy systems.

Young people and young researchers can take their future into their own hands at the ISFH. The commission observes: “ISFH achieves an outstanding transfer of know-how to industry and science through the training of young people in the science and technology sector.”

There is still a lot to be done: we can make the supply of renewable energy even cheaper through the use of differently manufactured materials, we can significantly increase the efficiency of components through the combination of materials (p. 44), we can produce PV modules in many more ways (p. 41) so that they can, in future, find new applications e. g. in electric cars.

An energy transition without the heating sector (p. 56), without the interlinking of electricity and heating (p. 52), without the long-term storage of energy and without digital networking will not be possible. This therefore has to be intensively developed. And all these topics offer great economic opportunities for the success of our industrial base.

My sincere thanks for another exciting past year go to our dedicated staff and all our partners and customers from research and industry. In particular I thank the State of Lower Saxony for the institutional support of ISFH, as well as the Federal Ministry for Economic Affairs and Energy and the European Union for financing numerous projects.

I wish you an interesting reading of this Annual Report 2018. Just speak to us if you want to work with us in conducting research for the future of our young people.

Kurzportrait

Am Institut für Solarenergieforschung GmbH Hameln/Emmerthal (ISFH) werden innovative Komponenten und Systeme für die photovoltaische und solarthermische Nutzung der Sonnenenergie entwickelt. Dabei stehen das physikalische Verständnis und verallgemeinerbare technologische Erkenntnisse sowie die Entwicklung von kostengünstigen Prozessen im Vordergrund. Die am ISFH hergestellten Komponenten werden in Energiesystemen getestet, denn erst das Verhalten im System entscheidet über den Erfolg einer Entwicklung. Das System selbst ist dabei ein besonders wichtiger Teil der Forschungsarbeit. Gemeinsam mit unseren Industriepartnern und unseren Studierenden, die am ISFH Studien-, Bachelor-, Master- oder Doktorarbeiten anfertigen, fördern wir die Nutzung von Solarenergie durch Forschung und Innovation.

Das ISFH ist als außeruniversitäres Forschungsinstitut des Landes Niedersachsen in der Rechtsform einer gemeinnützigen GmbH organisiert. Es ist An-Institut der *Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover* und unterhält Kooperationen mit anderen Universitäten und Fachhochschulen. Geschäftsführer des ISFH ist Prof. Dr.-Ing. habil. Rolf Brendel, der gleichzeitig auch Universitätsprofessor an der Fakultät für Mathematik und Physik der Leibniz Universität Hannover ist. Professor Brendel leitet am Institut für Festkörperphysik die Abteilung Solarenergie.

Das ISFH besteht aus den beiden Abteilungen *Photovoltaik* und *Solare Systeme* sowie der unabhängigen Prüfstelle *ISFH CalTeC*. In der Photovoltaikforschung gehören grundlegende Materialuntersuchungen ebenso zu den Aufgaben, wie die Entwicklung von Prozessen und Anlagen für die Herstellung von Solarzellen. Das Hauptinteresse gilt der Entwicklung neuer Siliziumsolarzellen mit der zugehörigen Modultechnologie für Zellen-Wirkungsgrade über 22%, den hocheffizienten Solarzellen. Übergeordnetes Ziel ist das Senken der Produktionskosten von Solarzellen und -modulen.

Die Abteilung *Solare Systeme* stellt die integrierte Gesamtenergieversorgung für Strom und Wärme von dezentralen Einheiten wie Gebäuden und Siedlungen in den Mittelpunkt. Zielsetzung ist eine kostengünstige und CO₂-arme Energieversorgung in qualitativ hochwertigen Systemen. Dazu werden am ISFH u. a. thermische Sonnenkollektoren, neuartige Beschichtungsverfahren, Speicherkonzepte sowie für Energiesysteme neue Anwendungen und Kombinationen entwickelt, bewertet und optimiert.

Das Institut ist Mitglied im *ForschungsVerbund Erneuerbare Energien* (FVEE), einem Zusammenschluss außeruniversitärer deutscher Forschungsinstitute, der seine Forschungstätigkeiten auf nationaler Ebene im Bereich der regenerativen Energien koordiniert. Außerdem ist es Mitglied im *Laboratorium für Nano- und Quantenengineering* (LNQE), im *Leibniz Forschungszentrum Energie 2050* (LiFE 2050) und unterstützt die Arbeit des *Energieforschungszentrums Niedersachsen* (efzn). Seit 2018 ist es zudem Mitglied in der *Zuse-Gemeinschaft* (s. S. 26).

Brief portrait

Innovative components for the photovoltaic and solar thermal utilization of solar energy are developed at the Institute for Solar Energy Research Hamelin (ISFH). Physical understanding and generalizable technological knowledge as well as the development of cost-saving processes have priority. The components manufactured at ISFH are tested in energy systems, as only their behavior within a system decides whether a development is successful. The system itself is in this an extremely important part of research work. Together with our industrial partners and our students, working on seminar papers, bachelor, masters or Ph.D. theses, we encourage solar energy utilization through research and innovation.

The ISFH is a non-university research institute of the state of Lower Saxony with the legal status of a non-profit organization. It is an affiliated institute of the *Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover* and undertakes also joint projects with other universities and technical colleges. The director of ISFH is Prof. Dr.-Ing. habil. Rolf Brendel, who is also a university professor in the Faculty of Mathematics and Physics at the Leibniz Universität Hannover. Professor Brendel heads the Solar Energy Department at the Institute for Solid State Physics.

ISFH is made up of the *Photovoltaics* and *Solar systems* departments as well as the independent test center *ISFH CalTeC*. Photovoltaic research includes the basic study of material properties as well as the development of processes and equipment for manufacturing solar cells. The most important aim of photovoltaic research is the development of high-efficiency silicon solar cells with the accompanying module technology for efficiencies of above 22%. Above all, the aim is to reduce production costs for solar cells and modules.

The main focus of the *Solar systems department* is the integrated total energy supply for heat and electricity in local units like buildings and urban settlements. The objective is a cost-efficient and CO₂-reduced energy supply in high quality systems. For this purpose ISFH develops, evaluates and optimizes amongst others new solar thermal collectors, functional coatings and heat storage concepts as well as new applications and combinations of energy systems.

The Institute is a member of the *Renewable Energy Research Association* (FVEE), an association of German non-university research institutes coordinating regenerative energy research activities at a national level. Moreover it is a member of the *Laboratory for Nano and Quantum Engineering* (LNQE), the *Leibniz Research Center Energy 2050* (LiFE 2050) and supports the work of the *Energy Research Center of Lower Saxony* (efzn). Since 2018 it is also member of the *Zuse community* (see p. 26).



Der Bürotrakt auf dem Dach des ISFH-SolarTeC Gebäudes.
The office wing on top of the ISFH-SolarTeC building.

Organisation

Abteilung Photovoltaik

Leitung: Dr. Karsten Bothe (VERTRÄGE & IP MANAGEMENT)

Dr. Thorsten Dullweber (INFRASTRUKTUR)

Prof. Dr. Jan Schmidt (PERSONALANGELEGENHEITEN)

Im Labor erreichbare Wirkungsgrade von Solarzellen sind gegenwärtig schon sehr beachtlich. Nach wie vor besteht jedoch Bedarf an neuen Technologien, mit denen höchsteffiziente Solarzellen industriell, noch kostengünstiger und rascher hergestellt werden können. Die sechs Arbeitsgruppen der Abteilung Photovoltaik beschäftigen sich mit unterschiedlichen Aspekten der industriellen Umsetzung unserer Laborentwicklungen und in zunehmendem Maße mit Fragen nach künftigen Optionen für die Photovoltaik.

Organization

Photovoltaics department

Heads: Dr. Karsten Bothe (CONTRACTS & IP MANAGEMENT)

Dr. Thorsten Dullweber (INFRASTRUCTURE)

Prof. Dr. Jan Schmidt (HUMAN RESOURCES)

Solar cell efficiencies achieved in the laboratory are already remarkably high. There is still, however, a demand of industrially applicable technology to enable mass production of high-efficiency solar cells even more rapidly produced at a lower price. The six research groups in the Photovoltaics department are committed to different aspects of the industrial application of our laboratory developments and increasingly with issues of future options for photovoltaics.

Photovoltaik-Materialforschung/Photovoltaics materials research

Leitung/Head: Prof. Dr. Jan Schmidt

Ziel dieser Gruppe ist es, ein umfassendes Verständnis der Auswirkung von Defekten und Defektreaktionen in unterschiedlichen Siliziummaterialien auf Solarzeleigenschaften zu entwickeln. Mit Hilfe eines gezielten „Defect Engineering“ wird die Materialqualität der heute in der Photovoltaik eingesetzten mono- und multikristallinen Siliziumwafer verbessert. Weitere Schwerpunkte sind neue Ansätze zur Oberflächenpassivierung, sowie neue Materialien für ladungsträgerselektive Kontakte in hocheffizienten Siliziumsolarzellen.

The aim of this group is to gain a comprehensive understanding of the impact of defects and defect reactions in different silicon materials on solar cell characteristics. Defect engineering techniques are being developed to improve the material quality of today's photovoltaic mono- and multicrystalline silicon wafers significantly. Other foci are on the evaluation of new surface passivation techniques as well as on novel carrier selective contact materials for the application to high-efficiency silicon solar cells.

Solarzellencharakterisierung & Simulation/Solar cell characterization & simulation

Leitung/Head: Dr. Karsten Bothe

Die Aufgabe der Arbeitsgruppe ist es, neue Messverfahren zu entwickeln und Messsysteme aufzubauen, die notwendig sind, um in Kombination mit Bauelementsimulationen ein umfassendes Verständnis der am ISFH entwickelten Siliziumsolarzellen zu erlangen. Um auf aktuelle Veränderungen im Zeldesign zu reagieren, werden die bestehenden physikalischen Modelle für die numerische Simulation von Solarzellen und Modulen kontinuierlich angepasst und optimiert. Auf Basis elektrischer und optischer Bauteilsimulationen werden außerdem Verbesserungspotenziale aufgezeigt und Strategien für weitere Wirkungsgradsteigerungen von Zellen und Modulen festgelegt. Die Gruppe bietet der Photovoltaikindustrie ihre Analyseverfahren sowie ihr Simulations-Know-how als Serviceleistung an.

The objective of the group is the development of new measurement and evaluation techniques which are required to gain, supported by device simulations, a comprehensive knowledge about the solar cells developed at ISFH. In order to support the most recent solar cell designs, we continuously adapt and optimize our physical models used for the device simulation of solar cells and modules. Based on electrical and optical simulations we demonstrate potential optimization rules and define strategies for further energy conversion efficiency improvements of cells and modules. The team offers its facilities, experience and simulation know-how as a service to the photovoltaic industry.



Vorbereitung eines Silizium-Wafers zur Oxid-Beschichtung.
Preparation of a silicon wafer for an oxide coating.

Industrielle Solarzellen/Industrial solar cells

Leitung/Head: Dr. Thorsten Dullweber

Diese Arbeitsgruppe entwickelt Verbesserungen von Silizium-solarzellen mit einem industrietypischen Herstellungsprozess hinsichtlich Wirkungsgradsteigerung und Kostenreduktion. Im Fokus gegenwärtiger Forschungsaktivitäten mit Industriepartnern stehen dabei industrielle, rückseitenpassivierte PERC- (Passivated Emitter and Rear Cell) Solarzellen sowie bifaciale PERC+-Solarzellen mit Aluminium-Finger-Grid. Zudem ist die Optimierung der Siebdruckkontakte hinsichtlich Feinliniendruck und Reduzierung des Silberverbrauchs durch busbarlose Grid-Designs ein weiterer Schwerpunkt für die Kooperation mit Firmen aus der Photovoltaik-Industrie.

This group develops improvements to silicon solar cells produced in an industrial way with respect to increasing efficiencies and reducing costs. The focus of the activities is on industrial PERC (Passivated Emitter and Rear Cells) solar cells as well as bifacial PERC+ solar cells with aluminum finger grids. In addition, the optimization of screen-printed contacts with respect to fine-line screen printing and the reduction of silver consumption through busbar-less grid designs are a focus for cooperation with firms from the photovoltaic industry.

Emergente Solarzellentechnologien/Emerging solar cell technologies

Leitung/Head: Prof. Dr. Robby Peibst

Diese Arbeitsgruppe beschäftigt sich mit der Entwicklung neuer Verfahren zur Herstellung kostengünstiger hocheffizienter Silizium-solarzellen. Einen Schwerpunkt stellen „ladungsträgerselektive Kontakte“ auf Basis von polykristallinem Silizium dar, die eine deutliche Erhöhung der Leerlaufspannung, des Füllfaktors und damit des Wirkungsgrades ermöglichen. Die untersuchten Anwendungsfelder sind zum einen beidseitig kontaktierte, industrienahe Zellen und zum anderen rückseitenkontaktierte Zellen mit noch höherem Wirkungsgradpotenzial. Des Weiteren wird die Anwendung dieser ladungsträgerselektiven Kontakte für Silizium-basierte Tandemsolarzellen untersucht.

This group concentrates on the development of enabling techniques for production of high-efficiency silicon solar cells. One focus are “carrier-selective junctions” based on polycrystalline silicon, which enables a significant increase of the open-circuit voltage, of the fill factor, and therefore of the energy conversion efficiency. These junctions are implemented in industrial, double-side contacted cells, as well as in rear-side contacted cells with even higher efficiency potential. Furthermore, the application of these carrier-selective junctions in silicon-based tandem solar cells is investigated.

Zukunftstechnologien Photovoltaik/Future technologies photovoltaics

Leitung/Head: Dr. Sarah Kajari-Schröder

Die Arbeitsgruppe entwickelt Methoden und Technologien, die neue Optionen für die Photovoltaik erschließen sollen. Ein Schwerpunkt ist die sägefreie Herstellung von monokristallinen Siliziumwafern. Dabei werden Technologien eingesetzt, mit denen äußerst material- und energiesparend monokristalline Siliziumschichten mit Standarddicken sowie mit Dicken weit unter 50µm hergestellt werden können. Ein weiterer Schwerpunkt ist die Entwicklung von kostengünstigen Tandemsolarzellen auf Silizium, mit denen noch höhere Wirkungsgrade als mit reinen Silizium-solarzellen erreicht werden können.

The group develops methods and technologies enabling new options for photovoltaics. One focus of the group is kerfless manufacturing of monocrystalline silicon wafers. For this we apply technologies that enable the material- and energy-efficient production of monocrystalline silicon wafers with standard thicknesses as well as thicknesses well below 50µm. Another focus is the development of cost-efficient tandem solar cells on silicon. These can reach an even higher efficiency than pure silicon solar cells.

Modultechnologien/Module technologies

Leitung/Head: Dr. Marc Köntges

Die Arbeitsgruppe entwickelt neue Verbindungstechniken für Photovoltaikmodule und optimiert das Lichtmanagement im Modul, um Moduleffizienzen zu steigern. Es werden Solarzellen für neue Anwendungen als Lichtsensoren integriert und Sondermodule für Fahrzeuge oder gebäude-integrierte Anwendungen entwickelt. Die Gruppe konzipiert Methoden für das Auffinden von Schäden in Solarmodulen. Schwerpunkt sind bildgebende Verfahren, wie beispielsweise die kamerabasierte Erfassung der UV-Fluoreszenz von Molekülen im Modullaminat. Daneben werden Auftragsarbeiten zur Fehleranalyse von Modulen mit beschleunigten Alterungstests und Standardprüfungen gemäß der Norm IEC 61215-2 durchgeführt.

The group is engaged in developing new connection techniques for photovoltaic modules and optimizing light management in the module to increase module efficiency. Solar cells are integrated as light sensors for new applications and special modules are being developed for applications integrated in vehicles or buildings. The group is developing methods of finding damage to solar modules. Here emphasis is placed on imaging techniques such as, for example, the camera-based detection of the UV fluorescence of molecules in the module laminate. In addition, commissioned work with accelerated aging tests is being undertaken to analyze the failure of modules and standard tests are being carried out in accordance with IEC 61215-2.



Kalibrierte Flächenbestimmung einer Solarzelle.
Calibrated measurement of the area of a solar cell.

Abteilung Solare Systeme*Leitung: Prof. Dr.-Ing. Oliver Kastner*

Die Forschungsaktivitäten der Abteilung *Solare Systeme* umfassen die Integration solar erzeugter Energie in kostengünstige und zuverlässige Energiesysteme zur Versorgung von Gebäuden und Quartieren. Dazu werden Arbeiten zu neuen Konzepten sowohl für Komponenten mit verbesserten Eigenschaften als auch für neue Systemkombinationen entwickelt. Diese Konzepte werden gemeinsam mit Partnern aus der Wirtschaft erprobt und umgesetzt. Die Sicherstellung der erwarteten Qualität unter Berücksichtigung der Schnittstellen zum Gebäude und der „konventionellen“ Systemkomponenten in Simulation, im Labor und im Feld ist eine wesentliche Aufgabe. Außerdem werden entwicklungsunterstützende und zertifizierende Auftragsprüfungen angeboten.

Solar systems department*Head: Prof. Dr.-Ing. Oliver Kastner*

The research activities of the *Solar systems* department incorporate the integration of solar energy in cost-efficient and reliable energy systems for buildings and quarters. In detail, research is carried out with regard to both new components with improved characteristics and new system combinations. These concepts are proved and implemented in cooperation with our project partners. Assuring of the expected quality concerning the interfaces to the building and to the “conventional” system components with simulation methods, laboratory experiments and field investigations is essential. Furthermore, the department offers development support and certification tests to our industrial partners.

Solarthermische Materialien/Solar thermal materials*Leitung/Head: Dr. Rolf Reineke-Koch*

Die Arbeitsgruppe evaluiert neue Konzepte für Wärmeschutzverglasungen und selektive Beschichtungen von Absorbern in Kollektoren. Die Entwicklung von Beschichtungen in eigenen Anlagen, die Unterstützung des Transfers in die Industrie, die Prüfung der Alterungs- und Korrosionsbeständigkeit sowie die materialwissenschaftliche und optische Charakterisierung einschließlich spektraler Ellipsometrie vom UV- bis mittleren Infrarot-Bereich sind Arbeitsschwerpunkte. In aktuellen Projekten stehen temperaturinduziert schaltende Absorberschichten im Mittelpunkt.

The group is evaluating new concepts for thermally insulating glazings and for selective coatings on absorbers for use in thermal collectors. The main focus is on the development of coatings, supporting their transfer to industry, the testing of their aging and corrosion behavior, as well as their scientific and optical material characterization including spectral ellipsometry from UV to the mid-infrared range. Absorber layers with temperature depending properties are a major topic in current projects.

Kollektoren/Collectors*Leitung/Head: Dr.-Ing. Federico Giovannetti*

Im Zentrum der Forschung stehen der Sonnenkollektor und der Kollektorkreis, wobei in der Arbeit ein systemorientierter Ansatz verfolgt wird. Kostenreduktion, Betriebssicherheit, Gebäudeintegration sowie Kollektoren für neue Einsatzbereiche sind die wesentlichen Aufgaben der Gruppe. Aktuelle Themen sind schaltbare Kollektoren für stagnationssichere Solaranlagen, photovoltaisch-thermische Kollektoren, hocheffiziente Flachkollektoren für die Unterstützung von industriellen Prozessen oder Wärmenetzen und neue Lösungen für die solare Aktivierung der Gebäudehülle.

The research activities of this group focus on the solar collector and on the collector loop, using a systemic approach. Cost reduction, operational reliability, building integration as well as collectors for new applications are the main tasks. Current topics are smart collectors for stagnation-safe system operation, photovoltaic thermal collectors, highly efficient flat plate collectors for solar assistance of industrial processes or district heating networks and new solutions for the solar activation of the building envelope.



Messung im Solarstrom-Wärme-Gebäudesystem-Emulator.
Measurement in the solar power heating building emulator.

Systemkomponenten/System components

Leitung/Head: Dipl.-Ing. Carsten Lampe

Im Fokus dieser Arbeitsgruppe stehen die experimentelle Bewertung und Modellierung nichtsolare Systemkomponenten wie z.B. Frischwasser- und Wohnungsstationen, Wärmepumpen, Brennwertkessel und Subsystemen wie z.B. Energiezentralen von Mehrfamilienhäusern. Besonders hervorzuheben sind die Entwicklung und Optimierung von Warmwasserspeichern und die Vermeidung von Einrohrzirkulation an den Speicheranschlüssen.

The focus of this group is directed to the experimental evaluation and modeling of non-solar system components such as hot water modules, dwelling stations, heat pumps, condensing boilers and subsystems like central heat generation and distribution facilities in multifamily buildings. One main topic is the development and optimization of hot water storage tanks and the avoidance of tube internal recirculation in the storage connections.

Elektrische Energiesysteme/Electrical energy systems

Leitung/Head: Dr. Tobias Ohrdes

Forschungsschwerpunkte der Arbeitsgruppe bilden thermisch-elektrische Energieversorgungssysteme von Gebäuden und Quartieren unter Nutzung regenerativer Energien. Hierbei spielt insbesondere die Interaktion von Komponenten wie Photovoltaik-Batteriespeichern, Wärmepumpen und thermischen Speichern eine wichtige Rolle. Für einen optimalen Betrieb werden intelligente, modellbasierte Steuerungsstrategien und Fehlererkennungsverfahren entwickelt, um auf Gebäude- und Quartiersebene eine erhöhte Nutzung erneuerbarer Energien zu ermöglichen. Ziel ist die dauerhafte Sicherstellung eines energie-effizienten und ökonomischen Betriebs solcher Systeme. Die Erprobung und Bewertung erfolgt dabei sowohl mittels Simulationen als auch in Laboruntersuchungen bis hin zu Feldtests unter realen Bedingungen. Die Arbeitsgruppe verfügt hierzu über Hardware-in-the-Loop Laboreinrichtungen zur Abbildung von Energieversorgungssystemen von Ein- und Mehrfamilienhäusern sowie Expertise im energetischen Monitoring von Gebäuden und Quartieren.

The research focus of the group concentrates primarily on thermal-electrical energy supply systems for buildings and urban districts using renewable energies. In particular, the interaction of components such as photovoltaic battery storage systems, heat pumps and thermal storage systems plays an important role. For optimal operation, intelligent, model-based control strategies and fault detection methods are being developed to enable increased use of renewable energies at building and district level. The aim is to permanently ensure the energy-efficient and economical operation of such systems. The testing and evaluation is carried out by means of simulations as well as laboratory tests up to field tests under real conditions. The group operates hardware-in-the-loop laboratory facilities for emulation of energy supply systems of detached and multi-family houses and has built up expertise in the energetic monitoring of buildings and urban districts.



Gerät zur Messung des thermischen Emissionsgrades für thermochrome Solarabsorber bis zu 250 °C.
Device for measuring the thermal emissivity for thermochromic solar absorbers up to 250 °C.



Einblick in die Klimakammer des Wärmepumpenprüfstandes.
View into the climate chamber of the heat pump testing stand.

Thermische Energiesysteme/Thermal energy systems

Leitung/Head: Dipl.-Ing. Peter Pärisch

Die Entwicklung und Bewertung von effizienten thermischen Systemen zur Gebäude- und Quartiersversorgung stehen im Mittelpunkt der Arbeiten dieser Gruppe. Dies umfasst neue Systemschaltungen wie z. B. die Einbindung von Gebäudemasse als Wärmespeicher, die Anwendung neuer Komponenten wie photovoltaisch-thermische Kollektoren und die Kopplung mit konventionellen Wärmeerzeugern und den Versorgungskreisläufen. Die Kombination von Sonnenenergie mit Wärmepumpen ist ein zentraler F&E-Schwerpunkt. Übergeordnet ist das Ziel, durch systemtechnische Maßnahmen End- und Primärenergie einzusparen. Systemsimulation und messtechnische Analyse im Labor sowie im Feld, einschließlich automatisierter Kontrollverfahren, sind wesentliche Methoden.

The development and evaluation of efficient heat supply systems for buildings and districts are in focus of the work of this group. That incorporates new system set-ups like e.g. the activation of building mass as thermal storage, the application of new components such as photovoltaic thermal collectors and the coupling of solar loops with conventional heat generators and supply circuits. Particularly, the combination of solar energy with heat pumps is currently a key aspect of the R&D work. The superior aim is to save primary and end energy using system optimization techniques. System simulation and experimental analyses in laboratory and field investigations including automatic yield control procedures are important tools.

Calibration & Test Center (CalTeC)

Leitung/Head: Dipl.-Ing. Carsten Lampe

Die nach DIN EN ISO/IEC 17025^[1] akkreditierten, extern angebotenen Dienstleistungen sind im Kalibrier- und Testzentrum (*CalTeC*) des ISFH zusammengefasst. Es gliedert sich in drei Fachbereiche:

The externally offered services, which are accredited according to DIN EN ISO/IEC 17025^[1], run as the Calibration and Test Center (*CalTeC*) of ISFH. It is divided into three competence areas:

CalTeC – Thermal applications

Leitung/Head: Dipl.-Ing. Carsten Lampe

Der Bereich *Thermal applications* des *CalTeC* bietet mit der Flexibilisierung des Akkreditierungsbereichs in 2018 allgemein die Prüfungen von thermischen Energiewandlern, Energiespeichern und -systemen sowie Komponenten zum thermischen Energietransport an. Dabei hat der Bereich als eine der großen europäischen Prüfstellen einen Fundus an Erfahrungen in allen Bereichen des thermischen Solarkollektors und der Solaranlage mit normgerechten Prüfungen nach den europäischen Standards EN 12975^[2], EN 12976^[3] und EN 12977^[4], sowie dem internationalen Standard ISO 9806^[5] und arbeitet in diesem Bereich aktiv in Normungsgremien mit. Darüber hinaus werden entwicklungsbegleitende Untersuchungen durchgeführt sowie Prüfverfahren weiterentwickelt.

With the flexibilization of the accreditation scope in 2018, the *Thermal applications* division of *CalTeC* offers general testing of thermal energy converters, energy storage and systems as well as components for thermal energy transport. As one of the major testing facilities in Europe there is a wide range of different tests and much expertise with thermal solar collectors and solar thermal systems in accordance with the European standards of EN 12975^[2], EN 12976^[3] und EN 12977^[4] and the international standard of ISO 9806^[5]. In these sectors there is an active collaboration with standardization organizations. Furthermore we provide our knowledge for accompanying product development as well as develop and improve test procedures.

CalTeC – Solar cells & sensors

Leitung/Head: Dr. Karsten Bothe

Der Bereich *Solar cells & sensors* bietet sowohl die Kalibrierung von Solarzellen, inklusive der Bestimmung der charakteristischen elektrischen Kenngrößen von kristallinen Siliziumsolarzellen, als auch die Prüfung von Spektrometern bezüglich der korrekten Bestimmung der spektralen Bestrahlungsstärke an. Die Bestimmung der elektrischen Kenngrößen erfolgt unter Standardtestbedingungen und ist konform mit den IEC 60904^[6] Normen. Die Prüfung von Spektrometern erfolgt unter Einhaltung der Empfehlung der Commission Internationale de l'Eclairage (CIE) in einer von der Deutschen Akkreditierungsstelle (DAkKS) gemäß ISO 17025^[1] zertifizierten Prozedur.

The unit *Solar cells & sensors* offers the calibration of solar cells including the determination of the characteristic electrical parameters of crystalline silicon solar cells as well as the testing of the correct measurement of the spectral irradiance of spectroradiometers. The determination of the electric parameters is performed under standard testing conditions and in accordance with the IEC 60904^[6] standards. The testing of the spectroradiometers is carried out in accordance with the recommendations of the International Commission on Illumination (CIE) in an ISO 17025^[1] certified procedure.

Probenkammer für die Messung des thermischen Emissionsgrades eines thermochromen Solarabsorbers bis zu 250 °C.
Sample holder for measuring the thermal emissivity of a thermochromic solar absorber up to 250 °C.

CalTeC – Optics

Leitung/Head: Dr. Rolf Reineke-Koch

Der Bereich *Optics* des *CalTeC* bietet mit der flexibilisierten Akkreditierung allgemein die Messung strahlungsphysikalischer Eigenschaften von Beschichtungen und Oberflächen an. Der Bereich ist akkreditiert für Messungen der hemisphärischen Reflexion, der gerichteten Transmission und Reflexion jeweils vom UV-Bereich bis hin zu 50.000 nm, darüber hinaus für die Bestimmung des Brechungsindex und des Extinktionskoeffizienten mittels spektraler Ellipsometrie im Wellenlängenbereich von 240 nm bis 33.000 nm. Es werden Prüfungen der Alterungsbeständigkeit von Absorberschichten gemäß dem internationalen Standard ISO 22975-3^[7] angeboten.

- [1] Allgemeine Anforderungen an die Kompetenz von Prüf- und Kalibrierlaboratorien
- [2] Thermische Solaranlagen und ihre Bauteile – Kollektoren
- [3] Thermische Solaranlagen und ihre Bauteile – Vorgefertigte Anlagen
- [4] Thermische Solaranlagen und ihre Bauteile – Kundenspezifisch gefertigte Anlagen
- [5] Solarenergie – Thermische Sonnenkollektoren – Prüfverfahren
- [6] Photovoltaische Einrichtungen
- [7] Solarenergie – Kollektorbauteile und Materialien

In general, the *Optics* section of *CalTeC*, with its flexibilized accreditation, offers the measurement of the radiometric properties of coatings and surfaces. The section is accredited for measurements of hemispheric reflection and directed transmission and reflection, in each case from the UV range to 50,000 nm, and also for determining the refractive index and the extinction coefficient by means of spectral ellipsometry in the wavelength range of 240 nm to 33,000 nm. Tests of the aging resistance of absorber layers are offered in accordance with the international standard ISO 22975-3^[7].

- [1] General requirements for the competence of testing and calibration laboratories
- [2] Thermal solar systems and components – Solar collectors
- [3] Thermal solar systems and components – Factory made systems
- [4] Thermal solar systems and components – Custom built systems
- [5] Solar energy – Solar thermal collectors – Test methods
- [6] Photovoltaic devices
- [7] Solar energy – Collector components and materials

Zentrale Dienste

Leitung: Dipl.-Oec. Wolfgang Gaßdorf

Die *Zentralen Dienste* stützen die Infrastruktur des Institutes. Sie bestehen aus einem technischen Bereich mit einer Mechanikwerkstatt sowie EDV-Support und einem administrativen Bereich, dem die Sekretariate, das Rechnungswesen und die Öffentlichkeitsarbeit zugeordnet sind. Die zentralen Dienste werden von Dipl.-Oec. Wolfgang Gaßdorf geleitet, der gleichzeitig Prokurist und stellvertretender Institutsleiter ist.

Central services

Head: Dipl.-Oec. Wolfgang Gaßdorf

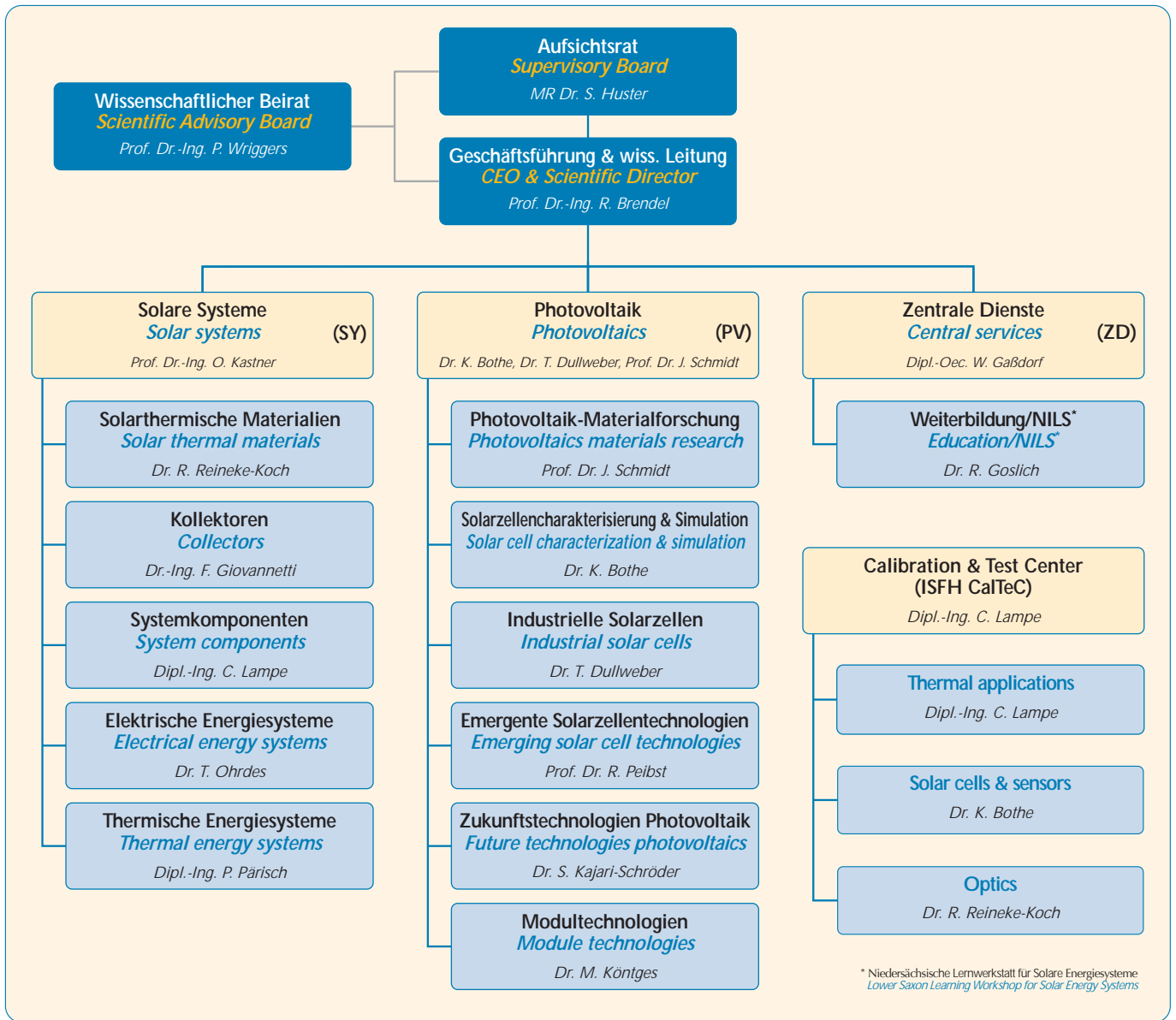
The *Central services* department sustains the infrastructure of the Institute. It comprises a technical section with a mechanical workshop and data-processing support as well as an administrative section consisting of secretarial services, accounts, and public relations work. Central services is headed by Dipl.-Oec. Wolfgang Gaßdorf, who is also registered manager and Deputy Director of ISFH.

Weiterbildung & NILS/Education & NILS

Leitung/Head: Dr. Roland Goslich

Eines der ersten Schülerlabore an einem wissenschaftlichen Forschungsinstitut ist die bereits 1998 am ISFH gegründete *Niedersächsische Lernwerkstatt für solare Energiesysteme* (NILS). Die Lernwerkstatt ist eine bundesweit vorbildhafte Bildungsinitiative, die vom Kultusministerium des Landes Niedersachsen unterstützt wird. Ziel der Einrichtung ist die Heranführung von Kindern und Jugendlichen an den Themenbereich Energieerzeugung und Energienutzung insbesondere im Hinblick auf Verfügbarkeit, Nachhaltigkeit, Wirtschaftlichkeit und Klimaschutz (s. auch S. 65ff).

One of the first school laboratories at a scientific institute was the *Lower Saxon Learning Workshop for Solar Energy Systems* (NILS) founded at ISFH as early as 1998. This workshop is an educational initiative exemplary for the whole country which is supported by the Ministry of Education of the State of Lower Saxony. The aim of the workshop is to introduce children and young people to the topic of energy production and energy use, in particular with respect to its availability, sustainability, economic viability and climate protection (see also p. 65pp).



Das Organigramm des ISFH, Stand 12/2018.

The organization of ISFH, effective 12/2018.

Aufsichtsrat

Der Aufsichtsrat bestellt, überwacht und berät die Geschäftsführung. Er besteht gemäß dem Gesellschaftervertrag aus bis zu neun Mitgliedern. Ein Teil der Mitglieder wird vom Land Niedersachsen direkt entsandt, die übrigen werden von der Gesellschafterversammlung gewählt. Der Aufsichtsrat lädt zu seinen Sitzungen regelmäßig Gäste ein, die beratende Funktion ausüben. Der Aufsichtsrat tagte am 25. Juni und am 26. November 2018.

Supervisory Board

The Supervisory Board appoints, monitors and advises the executive office. In accordance with the Institute's statutes, it comprises up to nine members. Some of the members are directly appointed by the State of Lower Saxony, the rest are elected by a shareholders' general meeting. The Supervisory Board also regularly invites guests to its meetings who perform an advisory function. The Board's general meetings were held on 25 June and on 26 November 2018.

Die Geschäftsführung des ISFH dankt Dr. Anke Grieße, die im Laufe des Jahres 2018 den Aufsichtsrat verließ, für deren tatkräftiges Engagement. Zum Ende des Jahres verließ Prof. Jürgen Parisi den Aufsichtsrat nach rund 21 Jahren Zugehörigkeit. Seinem langjährigen und stets konstruktiven Engagement gilt unser besonderer Dank.

Die Mitglieder dieses Gremiums waren:

The management of ISFH thanks Dr. Anke Grieße, who retired from the Supervisory Board during 2018, for her energetic support. At the end of the year Prof. Jürgen Parisi left the Board after about 21 years of membership. We would particularly like to thank him for this longstanding and always constructive commitment.

The members of the Board were:

Mitglieder/Members

Stand/Effective: 31.12.2018

- Ministerialrat Dr. Sebastian Huster
Vorsitzender des Aufsichtsrates/
[Head of the Supervisory Board](#)
Niedersächsisches Ministerium für Wissenschaft und Kultur
Hannover
- Regierungsdirektorin Dr. Nina Eidam
Stellv. Vorsitzende des Aufsichtsrates/
[Deputy head of the Supervisory Board](#)
Niedersächsisches Finanzministerium
Hannover
- Landrat Tjark Bartels
Landkreis Hameln-Pyrmont
- Prof. Dr. Rolf Haug
Institut für Festkörperphysik
Leibniz Universität Hannover
- Prof. Dr. Jürgen Parisi
Fachbereich Physik
Carl von Ossietzky Universität Oldenburg
- Physikoberrat Dr. Heiko Stanzick
Niedersächsisches Umweltministerium
Hannover
- Dr. Ulrich Stiebel
Stiebel Eltron GmbH & Co. KG
Holzminden
- Dr. Peter Wohlfahrt
SINGULUS Technologies AG
Kahl am Main

Wissenschaftlicher Beirat

Der wissenschaftliche Beirat berät den Aufsichtsrat und die wissenschaftliche Geschäftsführung des ISFH in allen wissenschaftlichen, technischen und organisatorischen Fragen. Die Beiratsmitglieder werden durch den niedersächsischen Minister für Wissenschaft und Kultur ernannt.

Die Mitglieder des Beirates sind anerkannte Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus Forschung und Industrie sowie Persönlichkeiten, die aus ihrer Berufserfahrung besondere Kenntnisse in den Arbeitsfeldern des ISFH haben. Zum Ende des Jahres 2018 verließen Prof. Dr. Silke Christiansen, Dipl.-Ing. Martin Denz, Dr. Elimar Frank, Dr. Holger Neuhaus, Prof. Dr. Hans-Jörg Osten, Dr. Eric Sauar, Dr. Peter Wohlfahrt und Dr. Marc Vermeersch den Beirat. Wir bedanken uns an dieser Stelle für deren engagierte Arbeit in diesem Gremium.

Der Beirat hielt seine jährliche Sitzung am 30. November 2018 im ISFH ab. Die Mitglieder des wissenschaftlichen Beirates waren:

Scientific Advisory Board

The Scientific Advisory Board advises the Supervisory Board and the Scientific Director of ISFH on all scientific, technical and organizational issues. Board members were nominated by the Lower Saxon Minister for Science and Culture of Lower Saxony.

The Board members are respected scientists from research and industry as well as other personalities who, through their professional experience, are familiar with the research topics of ISFH. At the end of the year 2018 Prof. Dr. Silke Christiansen, Dipl.-Ing. Martin Denz, Dr. Elimar Frank, Dr. Holger Neuhaus, Prof. Dr. Hans-Jörg Osten, Dr. Eric Sauar, Dr. Peter Wohlfahrt and Dr. Marc Vermeersch leave the Advisory Board. We take this opportunity to thank them for their dedicated work on this body.

This year's general meeting of the Board was held at ISFH on 30 November 2018. The members of the Scientific Advisory Board were:

Mitglieder/Members

Stand/Effective: 31.12.2018

- Prof. Dr.-Ing. habil. Dr. h.c. mult. Dr.-Ing. E.h. Peter Wriggers
Vorsitzender des Beirates/
[Head of the Scientific Advisory Board](#)
Vize-Präsident für Forschung
Leibniz Universität Hannover
- Prof. Dr. Günter Bräuer
Stellvertretender Vorsitzender des Beirates/
[Deputy Head of the Scientific Advisory Board](#)
Fraunhofer-Institut für Schicht- und Oberflächentechnik
Braunschweig
- Prof. Dr. Hans-Jörg Osten
Stellvertretender Vorsitzender des Beirates/
[Deputy Head of the Scientific Advisory Board](#)
Institut für Materialien und Bauelemente der Elektronik
Leibniz Universität Hannover
- Prof. Dr. Silke Christiansen
Helmholtz-Zentrum Berlin
- Dipl.-Ing. Martin Denz
REG•LAS Ingenieurbüro
Lehrte
- Dr. Elimar Frank
Forma Futura Invest AG
Zürich, Schweiz
- Dr. Bernd Hafner
Viessmann Werke GmbH & Co. KG
Allendorf
- Dipl.-Ing. Helmut Jäger
SOLVIS GmbH & Co. KG
Braunschweig
- Prof. Dr. Stephan Kabelac
Institut für Thermodynamik
Leibniz Universität Hannover
- Dr. Holger Neuhaus
SolarWorld Industries GmbH
Freiberg
- Dr. Erik Sauar
Differ Group
Oslo, Norwegen
- Dr. Kai Schiefelbein
Stiebel Eltron GmbH & Co. KG
Holzminden
- Prof. Dr. Frithjof Staiß
Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung
Baden-Württemberg (ZSW)
Stuttgart
- Dr. Marc Vermeersch
Qatar Environment and Energy Research Institute (QEERI),
Hamad Bin Khalifa Universität, Katar
- Dr. Peter Wohlfart
SINGULUS Technologies AG
Kahl am Main



Die Mitglieder des Wissenschaftlichen Beirates in einer Sitzungspause: Dr. Bernd Hafner, Prof. Dr.-Ing. Rolf Brendel, Dr. Kai Schiefelbein, Dr. Eric Sauar, Prof. Dr. Hans-Jörg Osten, Prof. Dr.-Ing. Peter Wriggers, Prof. Dr. Stephan Kabelac, Prof. Dr. Günter Bräuer, Prof. Dr. Frithjof Staiß (v.l.n.r).

The members of the Scientific Advisory Board during a session break: Dr. Bernd Hafner, Prof. Dr.-Ing. Rolf Brendel, Dr. Kai Schiefelbein, Dr. Eric Sauar, Prof. Dr. Hans-Jörg Osten, Prof. Dr.-Ing. Peter Wriggers, Prof. Dr. Stephan Kabelac, Prof. Dr. Günter Bräuer, Prof. Dr. Frithjof Staiß (f.l.t.r).

Gesellschaft zur Förderung des Instituts für Solarenergieforschung e.V. (Förderverein)

Anliegen des Fördervereins^[8] ist die Unterstützung des Instituts für Solarenergieforschung (ISFH) in Hameln. Das umfasst sowohl finanzielle Förderung, als auch die Kontaktpflege zwischen ISFH und Wirtschaft.

Die Herausforderungen an die Forschung definieren die Aufgaben für den Verein:

- Vermitteln der eigenen Sichtweisen von Teilmärkten an das ISFH zur Gewährleistung einer ganzheitlichen Marktwahrnehmung, z. B. im Blick auf beobachtete Engpassfaktoren
- Vermittlung der Forschungsleistung des ISFH in die eigenen politischen und wirtschaftlichen Netzwerke der Vereinsmitglieder
- Nutzung der eigenen Möglichkeiten (Ressourcen und Netzwerke), um das Institut in die Region besser einzubinden

Am 12. September 2018 fand am ISFH die jährliche Mitgliederversammlung des Fördervereins statt. Auf Einladung des Vereins trug im Anschluss daran Professor Dr. Martin Hundhausen, außerplanmäßiger Professor am Lehrstuhl für Laserphysik im Institut

Society for the Promotion of the Institute for Solar Energy Research (Friends of the ISFH)

The aim of the “Friends”^[8] is the support of the Institute for Solar Energy Research (ISFH) in Hamelin. This includes both financial support and assistance with the maintenance of contacts between ISFH and industry.

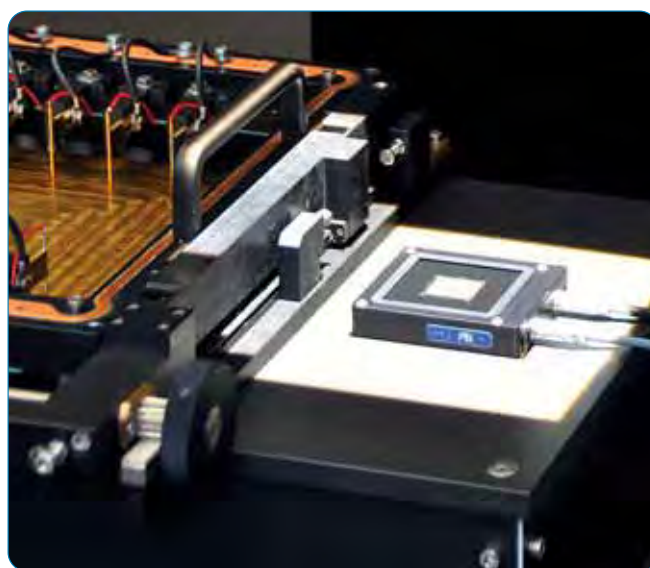
The challenges to research define the tasks for the Friends:

- To communicate the particular points of view of market sectors to ISFH to ensure awareness of the whole market e.g. in respect of perceived bottleneck factors
- Communication of the research achievements of ISFH through Society members’ own political and economic networks
- Use of its own facilities (resources and networks) to integrate the Institute better into the region

The annual general meeting of the Friends of the ISFH took place on 12 September, 2018. At the Friends’ invitation Dr. Martin Hundhausen, adjunct professor of laser physics at the Institute of Condensed Matter Physics of the Friedrich Alexander University, Erlangen-Nuremberg, gave a presentation on the topic “How the public can participate in shaping the energy

Abbildung/Figure 18: UV-empfindliche WPVS-Solarzelle als Referenzsensor zur normgerechten Einstellung der Lichtintensität eines Messplatzes zur spektralen Bestrahlungsstärkeempfindlichkeit.

UV-sensitive WPVS-solar cell as a reference sensor for the standardized tuning of the light intensity of a measurement setup for the spectral irradiance.



[8] Gesellschaft zur Förderung des Instituts für Solarenergieforschung e.V., c/o Ingenieurbüro Mencke & Tegmeyer GmbH, Dipl.-Ing. Detlef Mencke, Vorsitzender/Chairman, Schwarzer Weg 43a, 31789 Hameln, Telefon 05151/403 699 - 0, Email: mencke@ib-mut.de

für Physik der Kondensierten Materie der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg zum Thema „Wie Bürger die Energiewende mitgestalten können: Erfolge des Vereins Sonnenenergie Erlangen e.V.“ vor. Dabei ging es um die Gründung und Entwicklung eines Solarvereins in Erlangen, der letztlich zu einer breiten Akzeptanz von Solarenergienutzung bei den Bürgern und in der Verwaltung führte.

Im Jahr 2018 hat der Verein das ISFH in der Anschaffung von Komponenten für das optische Kalibrierlabor (Abbildung 18) mit einer Zuwendung von rund 11.000 € unterstützt.

Die Vereinsmitglieder sind:

transition: Successes of the Erlangen Solar Energy club.” This recounted the story of the foundation and development of a solar club in Erlangen which ultimately led to a broad acceptance of the use of solar energy by the public and local authorities.

In the year 2018 the Friends assisted ISFH in the acquisition of components for the optical calibration laboratory (Figure 18) with a donation of approx. € 11,000.

The members of the Friends are:

Mitglieder/Members

Stand/Effective: 31.12.2018

- BHW Bausparkasse AG, Hameln
- C.W. Niemeyer GmbH & Co. KG, Hameln
- Dr. Paul Lohmann GmbH KG, Emmerthal
- elektroma GmbH, Hameln
- Gemeinde Emmerthal, Emmerthal
- GWS Stadtwerke Hameln GmbH, Hameln
- Hochschule Weserbergland (HSW), Hameln
- Ingenieurbüro Mencke & Tegtmeyer GmbH, Hameln
- Innung SHK Hameln (Sanitär/Heizung), Hameln
- Klimaschutzagentur Weserbergland, Hameln
- Kreishandwerkerschaft Hameln-Pyrmont, Hameln
- KSG Kreissiedlungsgesellschaft mbH des Landkreises Hameln-Pyrmont, Hameln
- NWDH Holding AG, Hameln
- PAW GmbH & Co. KG, Hameln
- proKlima – Der energy-Fonds, Hannover
- pv-tools GmbH, Hameln
- riha WeserGold Getränkeindustrie GmbH & Co. KG, Rinteln
- Sparkasse Hameln-Weserbergland, Hameln
- Specht + Partner, Hameln
- Stadt Hameln, Hameln
- Stadtwerke Bad Pyrmont GmbH, Bad Pyrmont
- Stadtwerke Rinteln GmbH, Rinteln
- Steinmann BAU GmbH, Emmerthal
- Stiebel Eltron GmbH & Co. KG, Holzminden
- Ute Buff Steuerkanzlei, Emmerthal
- Viega Technology GmbH & Co.KG, Attendorn
- Westfalen Weser Netz GmbH, Paderborn
- Zacharias Gebäudetechnik GmbH, Hameln

Professor Dr. Martin Hundhausen bei seinem Vortrag über die Mitgestaltungsmöglichkeiten von Bürgern an der Energiewende.

Professor Dr. Martin Hundhausen at his lecture on the opportunities for citizens to help shape the energy transition.





Der Förderverein des ISFH nach der Jahresversammlung am 12.9.2018, v.l.n.r./The Friends after the annual general meeting on 12.9.2018, from left to right: H. Niemeyer (CW Niemeyer & Co. KG), Dr. W. Eiler (STIEBEL ELTRON GmbH & Co. KG), Prof. Dr.-Ing. R. Brendel (ISFH), L. Reimann (elektroma GmbH), S. Treptow (GWS Stadtwerke Hameln), D. Mencke (Ingenieurbüro Mencke & Tegtmeyer), A. Grossmann (Bürgermeister/City Mayor Gemeinde Emmerthal), B. Hölscher (Sparkasse Weserbergland), H. Böhning (PAW GmbH & Co KG), R. Tepe (proKlima).

Zuse-Gemeinschaft

Forschung, die ankommt! – ISFH wird Mitglied der Zuse-Gemeinschaft

Die Deutsche Industrieforschungsgemeinschaft Konrad Zuse e.V., oder kurz *Zuse-Gemeinschaft*, vertritt die Interessen unabhängiger, privatwirtschaftlich organisierter Forschungseinrichtungen. Dem technologie- und branchenoffenen Verband gehören bundesweit über 70 Institute an. Die Mitgliedsinstitute verstehen sich als praxisnahe und kreative Ideengeber des deutschen Mittelstandes und übersetzen die Erkenntnisse der Wissenschaft in anwendbare Technologien. Auf diese Weise bereiten sie den Boden für Innovationen, die den deutschen Mittelstand weltweit erfolgreich machen. Seit dem 15. März 2018 ist auch das ISFH Mitglied der *Zuse-Gemeinschaft*.

Professor Brendel zeigte sich hocheifrig über die Aufnahme des ISFH in die Industrieforschungsgemeinschaft: „Als außer-universitäres unabhängiges Forschungsinstitut betreiben wir wichtige zukunftsichernde Forschung zur Unterstützung der Energiewende. Über die Mitgliedschaft in der Zuse-Gemeinschaft freue ich mich sehr, weil sie einerseits helfen wird, neue spannende Forschungspartner zu gewinnen, und weil sie andererseits helfen wird, die Stärke der vielen kleinen und unabhängig organisierten Forschungseinrichtungen in Deutschland sichtbar zu machen und ihnen eine Stimme zu geben.“

Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Nebel, Wissenschaftlicher Vizepräsident der *Zuse-Gemeinschaft* und Vorstandsvorsitzender des Informatikforschungsinstituts OFFIS, sagte bei der Übergabe der Mitgliedsurkunde der *Zuse-Gemeinschaft* am ISFH: „Mit dem Institut für Solarenergieforschung gewinnen wir für die Zuse-Gemeinschaft eine renommierte Forschungseinrichtung mit einem exzellenten Ruf als gefragter Forschungs- und Entwicklungspartner für die Solarenergieforschung. Ganz besonders freue ich mich, dass ein weiteres Industrieforschungsinstitut aus Niedersachsen in die Zuse-Gemeinschaft eintritt.“

Willkommen im Club. Das ISFH ist seit Mitte März 2018 Mitglied in der *Zuse-Gemeinschaft*. Hier überreicht Prof. Dr.-Ing. Nebel die Mitgliedsurkunde an Prof. Dr.-Ing. Rolf Brendel, Institutsleiter des ISFH.

Welcome to the club. ISFH has been a member of the *Zuse community* since mid-March 2018. Here Prof. Dr.-Ing. Nebel is presenting Prof. Dr.-Ing. Rolf Brendel, Director of ISFH, with the membership certificate.

Zuse Community

ISFH becomes a member of the Zuse community

The German industrial research community of Konrad Zuse e.V., or for short *Zuse community*, represents the interests of independent privately-organized research facilities. Over 70 institutes throughout the country belong to the association, which is technologically and sectorally open. The member institutes see themselves as practical and creative generators of ideas for small and medium-sized German businesses and translate the results of scientific research into applicable technology. In this way they prepare the ground for innovations which make small and medium-sized German businesses successful worldwide. Since 15 March, 2018, ISFH has also been a member of the *Zuse community*.

Professor Brendel was delighted by the admission of ISFH to the industrial research community: “As a non-university independent research institute, we conduct important research to secure the future and support the energy transition. I am very happy to join the Zuse community, because it will help us, on the one hand, to gain exciting new research partners and because it will help, on the other hand, to increase the visibility of the impact that the many small, independently-organized research facilities in Germany make and to give them a voice.”

Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Nebel, Scientific Vice-President of the *Zuse community* and Chairman of the Board of the OFFIS institute of computer science, said at the presentation of the Zuse community membership certificate at ISFH: “With the Institute for Solar Energy Research we are gaining a renowned research institution for the Zuse community with an excellent reputation as a desirable research and development partner for solar energy research. I am particularly pleased that another industrial research institute from Lower Saxony is joining the Zuse community.”



Die Zuse-Institute sind als Bindeglied zwischen Wirtschaft und Wissenschaft rechtlich und wirtschaftlich unabhängig und gehören weder Unternehmen noch den institutionell gemeinsam durch den Bund und die Länder geförderten Großforschungsverbänden an, mit denen sie teilweise im wissenschaftlichen Wettbewerb stehen. Viele wichtige technologische Innovationen, von der Carbonsäge über Netzhaut-Implantate und Anti-Milben-Matratzen bis – neuerdings – hin zur Weltrekordsolarzelle, werden in diesen Forschungseinrichtungen erdacht und umgesetzt.

The Zuse institutes act as a link between business and science, are legally and financially independent and belong neither to private companies nor to the major research groups institutionally jointly supported by the Federal and State governments, with which they are, to some extent, in scientific competition. Many important technological innovations, from the carbon fiber violin to retinal implants to anti-mite mattresses – and recently – to world-record solar cells are devised and implemented in these research facilities.

Raphael Niepelt

Das Institut in Zahlen

Haushalt & Personal

Das Institut für Solarenergieforschung Hameln/Emmerthal (ISFH) ist eine gemeinnützige Gesellschaft, deren alleiniger Gesellschafter das Land Niedersachsen ist. Die institutionelle Förderung erfolgt aus dem Haushalt des Ministeriums für Wissenschaft und Kultur und deckt im Berichtsjahr 29,74 % des Gesamtsatz (Einnahmen im Jahr 2018) von 12,13 Millionen Euro ab.

Neben dieser institutionellen Förderung durch das Land Niedersachsen erzielt das Institut Drittmittel aus öffentlicher Forschungsförderung des Bundes, des Landes Niedersachsen und der Europäischen Union (EU). Die Einnahmen aus der öffentlichen Projektforschung betragen im Berichtsjahr 7,8 Millionen Euro, davon ist der größte Teil Verbundforschung mit der Industrie. Hinzu kommen direkte industrielle Drittmittel aus Dienstleistungen und Auftragsforschung in Höhe von 0,7 Millionen Euro.

Zum Ende des Jahres 2018 waren 155 Personen am ISFH beschäftigt. Bei der Mehrzahl der Beschäftigten handelt es sich um wissenschaftliches und technisches Personal sowie im Rahmen von Forschungsprojekten zeitlich befristet angestellte Promovierende. In der Gruppe der Studierenden sind alle Personen zusammengefasst, die ein Praktikum absolvieren oder eine Studien-, Bachelor- bzw. Masterarbeit an Universitäten oder Fachhochschulen anfertigen und im Rahmen ihrer wissenschaftlichen Ausbildung am ISFH beschäftigt werden.

Das Gelände der Institut für Solarenergieforschung GmbH am Ohrberg umfasst insgesamt eine Fläche von 32.000 m². Darauf stehen aktuell vier Forschungsgebäude mit einer Gesamtnutzfläche von 7.500 m². Zusätzlich gibt es auf dem Freigelände bzw. auf den Dachflächen die Möglichkeit, Außenversuche auf 2.000 m² Testfläche durchzuführen.

Statistics of the Institute

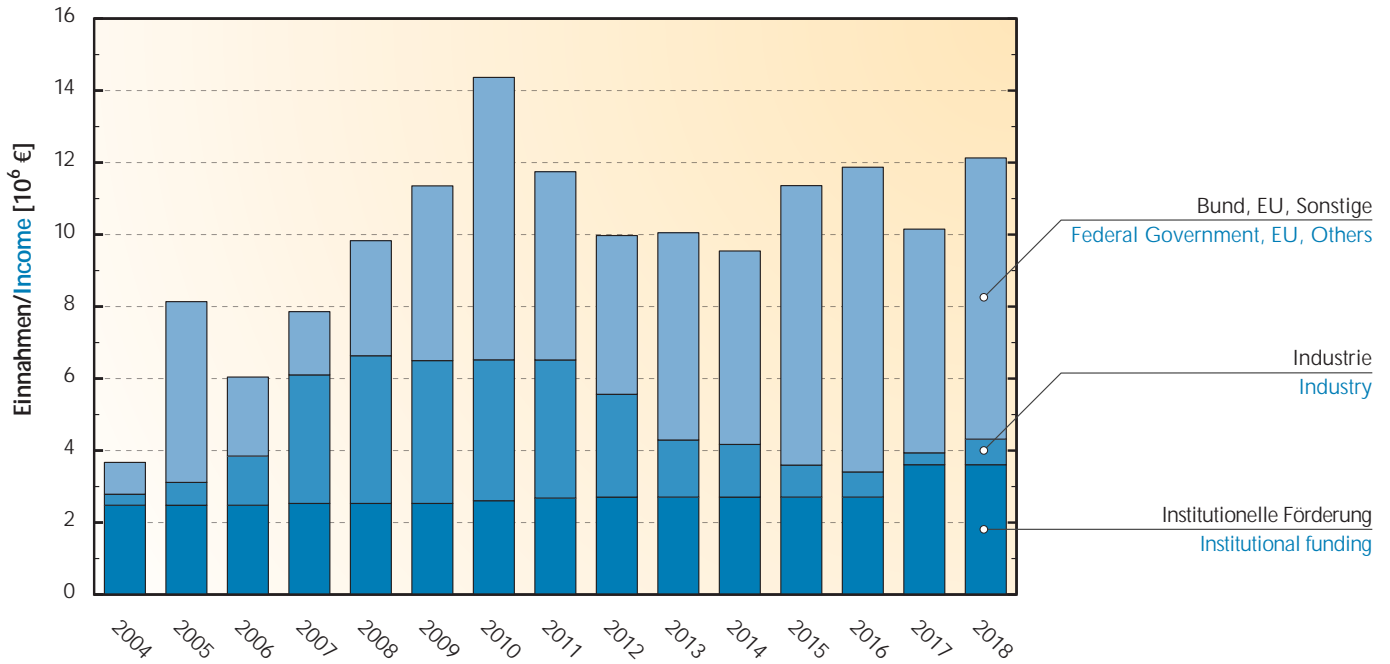
Budget & personnel

The Institute for Solar Energy Research Hamelin (ISFH) is a non-profit organization whose sole proprietor is the state of Lower Saxony. Institutional funding comes from the budget of the Ministry for Science and Culture and makes up 29.74 % of the total budget (income in 2018) of €12.13 million for the reporting year.

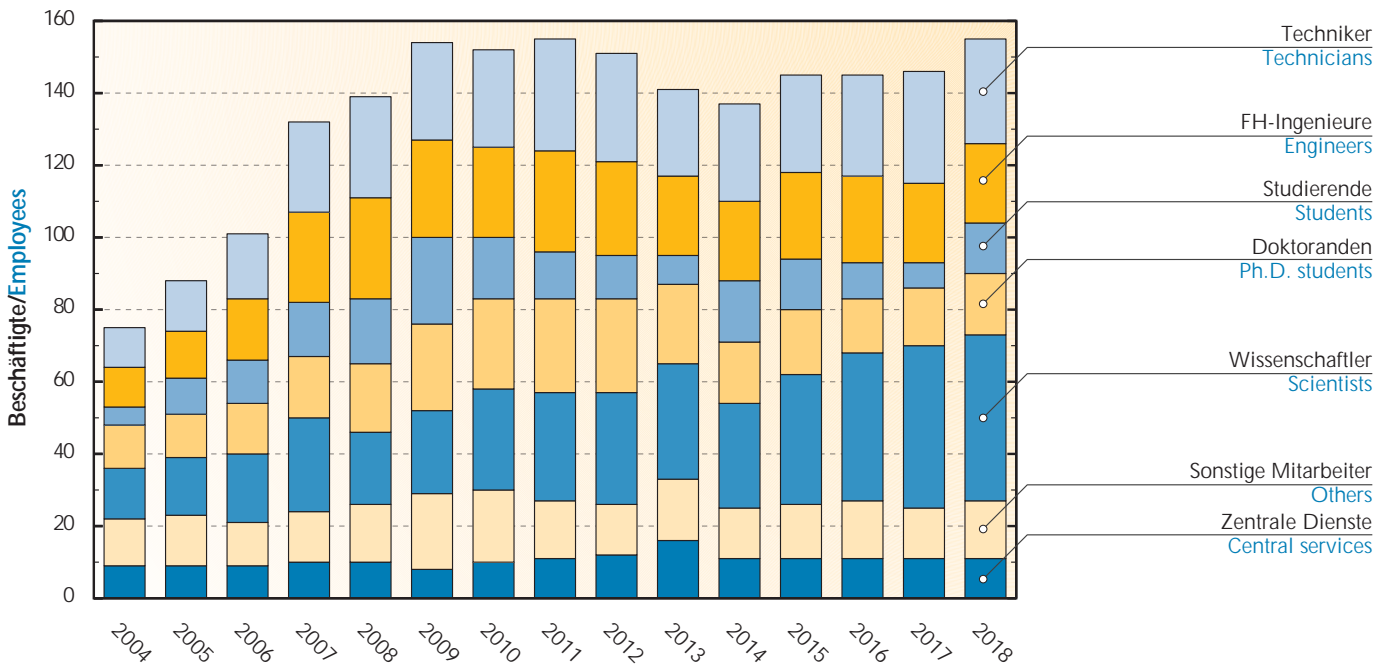
In addition to this institutional support from the State Government of Lower Saxony, the Institute receives so-called third-party funding from public research sponsors such as the Federal Government, the State Government of Lower Saxony or the European Union (EU). The income from public research projects was €7.8 million in the reporting year, the majority of which was joint research with the solar industry. In addition, direct industrial third-party funding also comes from services and contract research amounting to €0.7 million.

At the end of 2018 ISFH had 155 employees. The majority of the staff consists of scientific and technical personnel and Ph.D. students employed on a temporary basis to undertake research projects. The students comprise undergraduates from universities or technical colleges employed at ISFH as part of their scientific training.

The Institute for Solar Energy Research site at the Ohrberg comprises an area of 32,000 m². Currently there are four research buildings on it with a total floor space of 7,500 m². In addition, in the open-air areas or on the roofs there is the possibility to carry out outdoor tests on currently 2,000 m² of test area.



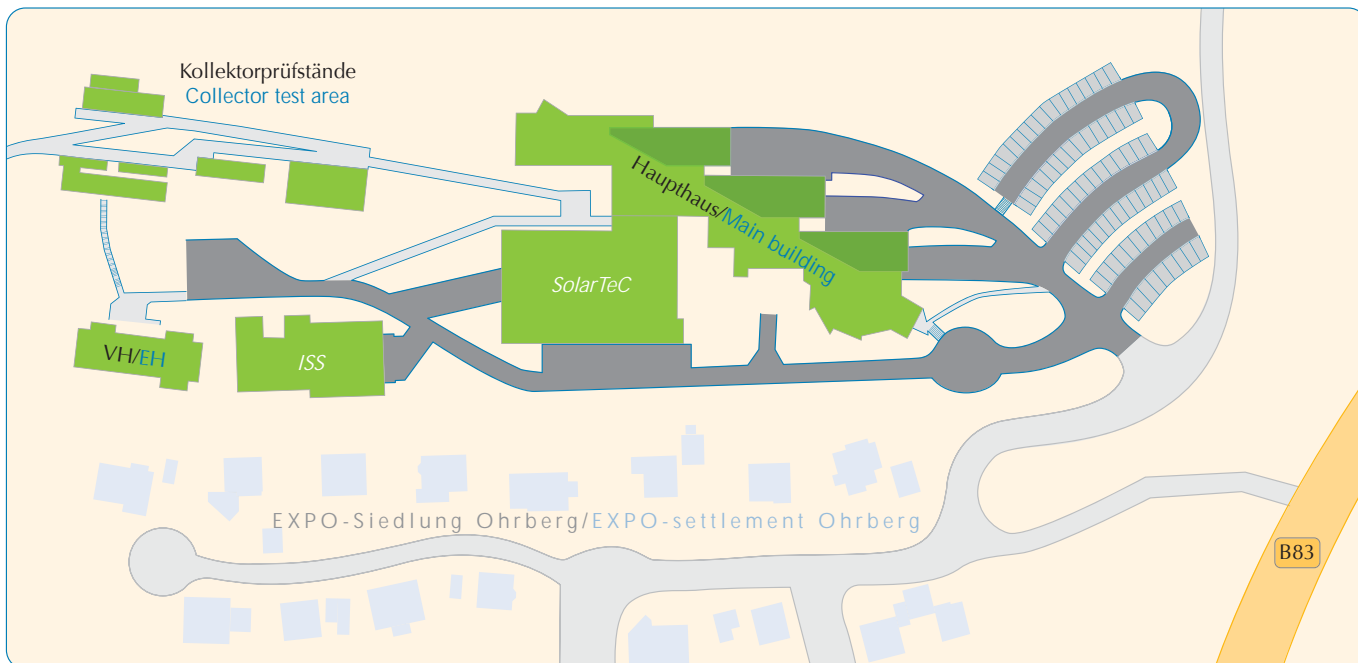
Der Haushalt des ISFH nach Einnahmequellen aufgeschlüsselt. The ISFH budget broken down into funding sources.



Die Personalstruktur und Beschäftigtenzahlen am ISFH. The structure of personnel and number of employees at ISFH.

	Fläche Area [m ²]
Grundstück Property	31.812
Hauptgebäude Main building	4.358
Technogehalle <i>SolarTeC</i> Technology hall <i>SolarTeC</i>	1.957
Laborgebäude <i>ISS</i> Laboratory building <i>ISS</i>	623
Versuchshäuser (VH) Experimental houses (EH)	510
Versuchsaufbauten im Außengelände Outdoor test sites	557
Versuchsflächen auf dem Hauptgebäude Experimental areas on the main building	654
Versuchsflächen auf dem <i>SolarTeC</i> Experimental areas on <i>SolarTeC</i>	316

Verteilung der Flächen auf die Gebäude am ISFH.
Distribution of areas over the buildings at ISFH.



Das Gelände der Institut für Solarenergieforschung GmbH am Ohrberg.
The area of the Institute for Solar Energy Research at the Ohrberg.

2 Forschungsabteilungen

Research departments

Abteilung Photovoltaik

Photovoltaics department

Forschungsthemen

- Verlust- und Sensitivitätsanalysen von Solarzellen auf Basis von Solarzellensimulationen und präzise gemessenen Eingangsparametern
- Schlüsseltechnologien zur kostengünstigen Herstellung von Hocheffizienz-Solarzellen
- Oberflächenpassivierung von Siliziumsolarzellen (SiO_2 , SiN_x , Al_2O_3 , a-Si, poly-Si)
- Hocheffiziente PERC- und bifaziale PERC+-Siebdrucksolarzellen
- Heterojunction-Solarzellen (Polymer/c-Si)
- Hocheffiziente Zellen mit poly-Si-on-Oxide (POLO)-Kontakten
- Hocheffiziente Tandemsolarzellen auf Basis kristalliner Siliziumzellen
- Industriennahe Technologie- und Prozessentwicklung
- Sägeverlustfreie Methoden zur Herstellung ultradünner Si-Wafer
- Neue kamerabasierte Charakterisierungsverfahren für Silizium-Materialien, Solarzellen und PV-Module
- Analyse von Defekten in Silizium und ihren Auswirkungen auf Solarzellen- und Moduleigenschaften
- Neuartige Verbindungstechniken für PV-Module
- Langzeitstabilität von Solarzellen und PV-Modulen
- Mechanische Eigenschaften von PV-Modulen
- Bauelement- und Prozesssimulation

Dienstleistungen

- Kalibrierung von Solarzellen
- Prüfung von Spektraleradiometern
- Charakterisierung von Solarzellen und -modulen
- Sondermodulbau

Apparative Ausstattung

- 800 m²-Solar-Technikum (*SolarTeC*) für die Prozessierung von Solarzellen auf industrienahen Anlagen
- Ionenimplanter (gemeinsame Nutzung mit dem MBE-Institut der LUH und anderen Nutzern des LNQE)
- Reinraumlabore für 6"-Siliziumtechnologie (nasschemische Reinigung, Ofenprozesse, Plasmaprozesse)
- Oxidations- und Diffusionsöfen
- Remote- und Direkt-Plasmabeschichtungsanlagen (PECVD)
- Industrielle SiN_x -Beschichtungsanlage nach dem ICP-Verfahren

Research topics

- Loss and sensitivity analysis of solar cells on the basis of solar cell modeling using precisely measured input parameters
- Key technologies for the inexpensive production of high-efficiency solar cells
- Surface passivation of silicon solar cells (SiO_2 , SiN_x , Al_2O_3 , a-Si, poly-Si)
- High-efficiency screen-printed PERC and bifacial PERC+ solar cells
- Heterojunction solar cells (polymer/c-Si)
- High-efficiency cells with poly-Si-on-oxide (POLO)-contacts
- High-efficiency crystalline silicon-based tandem solar cells
- Industry-related technology and process development
- Kerfless methods for the fabrication of ultra-thin silicon wafers
- Novel camera-based characterization techniques for silicon materials, solar cells and PV modules
- Analysis of defects in silicon and their impact on solar cell and module properties
- Innovative interconnection techniques for PV modules
- Long-term stability of solar cells and PV modules
- Mechanical properties of PV modules
- Device and process simulation

Services

- Calibration of solar cells
- Testing of spectral radiometers
- Characterization of solar cells and modules
- Fabrication of customized modules

Equipment & facilities

- 800 m² solar technology center (*SolarTeC*) for the processing of solar cells using industrial equipment
- Ion implanter (together with the MBE Institute of the LUH and other users of the LNQE)
- Clean room laboratories for 6" silicon technology (wet-chemical cleaning, furnace and plasma processes)
- Oxidation and diffusion furnaces
- Remote and direct plasma deposition systems (PECVD)
- Industrial SiN_x deposition tool based on the ICP technique
- Thermal and plasma-assisted atomic layer deposition (ALD)

- Thermische und plasmaunterstützte Atomlagenabscheidung (ALD)
- Ultraschnelle ALD-Abscheidung
- Cluster-PECVD-Tool für Abscheidung dotierter amorpher Silizium-Schichten
- Industrielle Siebdrucker und Feueröfen für die Zellmetallisierung
- Integrierte Hochraten-Durchlauf-Aufdampf- und Sputteranlage
- Laserlabor mit fünf Laser-Materialbearbeitungssystemen
- Verbindungs- und Modultechnologie: Löttechnik, Stringer, Laminator
- Klimakammern sowie UV- und Halogenlampen-Bestrahlungsplätze
- Transportsimulation von PV-Modulen (Shaker)
- Modulflasher, Elektrolumineszenz-, Thermographie- und Fluoreszenzmessplatz für PV-Module
- Sonnensimulatoren und spektrale Empfindlichkeitsmessung für 6"-Solarzellen
- Vollautomatisiertes integriertes Solarzellen-Charakterisierungstool
- Kamerabasierte Elektro- und Photolumineszenz für Solarzellen und Wafer
- Quasistatische Messung der Photoleitung (QSSPC)
- Mikrowellen-detektiertes Photoleitungsabklingen (MW-PCD)
- Temperatur- und injektionsabhängige Lebensdauerspektroskopie (TIDLS)
- Kapazitäts-Spannungs-Messungen (CV)
- Dotierprofilmessung mit ECV-Profilier
- Licht- und Rasterelektronenmikroskopie
- Energiedispersive Röntgenanalyse und Röntgenbeugung (EDX und XRD)
- Ramanspektrometer and Röntgendiffraktometer
- 4-Linienbiegeversuch für mechanische Belastungstests von PV-Modulen
- Ultra-fast ALD tool
- Cluster PECVD tool for the deposition of doped amorphous silicon layers
- Industrial screen printers and firing furnaces for the solar cell metallization
- Integrated high-rate inline deposition and sputtering system
- Laser laboratory with five laser material processing systems
- Interconnection and module technology: soldering equipment, stringer, laminator
- Climate chambers as well as UV- and halogen-lamp irradiation chambers
- Transport simulation for PV modules (Shaker)
- Module flasher, electroluminescence, thermography and fluorescence set-ups for PV module characterization
- Solar simulators and spectral response set-ups for 6"-solar cells
- Fully-automated integrated solar cell characterization tool
- Camera-based electro- and photoluminescence equipment for solar cells and wafers
- Quasi-steady-state photoconductance (QSSPC)
- Microwave-detected photoconductive decay (MW-PCD)
- Temperature- and injection-dependent lifetime spectroscopy (TIDLS)
- Capacitance-voltage measurements (CV)
- Doping profile measurement by ECV method
- Light and scanning electron microscopy
- Energy-dispersive X-ray analysis and diffraction (EDX and XRD)
- Raman spectrometer and X-Ray diffractometer
- 4-line bending set-up for mechanical load tests of PV modules

Glanzlichter

- 26,1 % Rekordwirkungsgrad für p-Typ kristalline Si-Solarzellen
- 21,8 % effizientes PV-Modul mit neuer Laminationstechnologie
- Perovskit-Solarzellen mit ko-verdampftem Absorber und 15 % Wirkungsgrad
- 20,3 %-effiziente Siliziumsolarzellen mit Titandioxid-basierten elektronenselektiven Kontakten
- PERC+ Solarzellen ohne licht-induzierte Degradation
- ISFH CalTeC akkreditiert für die Kalibrierung von Solarstrahlungssensoren

Highlights

- 26.1% record efficiency for crystalline p-type silicon solar cells
- 21.8% efficient PV module with new lamination technology
- Perovskite solar cells with co-evaporated absorber and 15% efficiency
- 20.3% efficient silicon solar cells with titanium dioxide-based electron-selective contacts
- PERC+ solar cells free of light-induced degradation
- ISFH CalTeC accredited for the calibration of solar irradiance sensors

Abteilung Solare Systeme

Forschungsthemen

- Sonnenkollektoren für neue Anwendungsgebiete (Wärmenetze, Prozesswärme, PV-T)
- Solarthermische Aktivierung von Komponenten der Gebäudehülle
- Entwicklung von innovativen Absorber- und Glasbeschichtungen
- Betriebssicherheit von Sonnenkollektorfeldern mit Fokus auf Stagnation
- Verfahren zur Effizienz- bzw. Ertragskontrolle von Wärmeerzeugern und -zentralen
- Neu- und Weiterentwicklung von experimentellen Prüf- und Bewertungsverfahren für Komponenten und Systeme (Hardware-in-the-loop)
- Wärmepumpensysteme
- Innovative Trinkwarmwassersysteme
- Regenerative Versorgungskonzepte für Ein- und Mehrfamilienhäuser und Quartiere
- Entwicklung von Simulationsmodellen für Komponenten und Subsysteme von dezentralen Gebäude-Energieanlagen
- Analyse und Optimierung strombasierter lokaler Energieversorgungssysteme

Dienstleistungen

- Norm-Prüfungen an thermischen Energiewandlern, Energiespeichern und Systemen sowie Komponenten zum thermischen Energietransport in unserem nach EN ISO/IEC 17025 akkreditierten Prüfzentrum, Durchführung vollständiger Prüfungen sowie Begehungen nach den SolarKeymark-Regeln
- Norm-Prüfungen der strahlungsphysikalischen Eigenschaften von Beschichtungen und Oberflächen in unserem nach EN ISO/IEC 17025 akkreditierten Prüfzentrum
- Charakterisierung von Dämmungen, Wärmerohren, Speicheranschlüssen, Wärmepumpen, Brenn- und Heizwertkesseln, Frischwasserstationen etc.
- Wissenschaftliche Begleitung industrieller Entwicklungen mit experimentellen Methoden und Simulationen sowie Feldtests
- Energiesystemmodellierung und -monitoring
- Wärmeversorgungskonzepte für Quartiere

Apparative Ausstattung

- Innenprüfstände mit zwei Sonnensimulatoren für Leistungs- und Gebrauchstauglichkeitstests, bis 1.200 W/m^2
- Prüfanlagen für Druck-, Sog- und Schubprüfungen an Solarmodulen

Solar systems department

Research topics

- Solar thermal collectors for new applications (solar district heating, industrial process, PV-T)
- Solar thermal activation of components of the building envelope
- Development of innovative coatings for absorbers and glazings
- Operational safety of solar collector fields, with focus on stagnation
- Methods for automatic efficiency or yield control of heat generators or stations
- New and further development of testing and evaluation procedures for components and systems (hardware-in-the-loop)
- Heat pump systems
- Innovative domestic hot water supply systems
- Renewable energy supply concepts for individual buildings and neighborhoods
- Development of simulation models for components and sub-systems of decentralized energy systems in buildings
- Analysis and optimization of electricity-based local energy supply systems

Services

- Standard tests on thermal energy converters, thermal storages and systems as well as systems and components for transfer of thermal energy in an EN ISO/IEC 17025-accredited test laboratory, implementation of complete tests and inspections in accordance with the SolarKeymark rules
- Standard tests of optical properties of coatings and surfaces in an EN ISO/IEC 17025-accredited test laboratory
- Characterization of insulation materials, heat pipes, storage tank connections, heat pumps, (condensing) boilers, domestic hot water modules etc.
- Scientific support of industrial developments using experimental methods and simulation studies as well as field tests
- Energy system modeling and -monitoring
- Heat supply concepts for quarters

Equipment & facilities

- Indoor test facilities with two sun simulators for performance and reliability tests, up to $1,200 \text{ W/m}^2$
- Testing facilities for pressure, suction and thrust loads on solar modules

- Testdächer mit 400 m² Nutzfläche für Gebrauchstauglichkeitstests an Sonnenkollektoren und Systemen sowie Leistungstests an Kollektoren bis 180 °C
- Prüfstand für Luft/Wasser- und Sole/Wasser-Wärmepumpen im dynamischen Betrieb
- Zwei nachführbare Außenprüfstände mit 20 m² Nutzfläche
- Teststand für Systemtests an Solaranlagen nach EN G34 12976
- Prüfstände für Wärmespeicher, Reglerprüfstand nach EN 12977
- Bewertung von Wärmetauscher-Einzelrohren und Rohrwendeln
- Begehbare Klimakammern (75 m³ und 180 m³)
- Vakuum-Beschichtungsanlagen (Sputtern, PECVD)
- Optisches Labor für Transmissions- und Reflexionsmessungen spektral aufgelöst (UV-VIS-NIR-MIR), spektrale Ellipsometrie (0,24 bis 33 µm) mit Proben temperierung, zweiachsiges Photogoniometer für streuende und lichtlenkende Verglasungen
- Testanlagen für Alterungsuntersuchungen an Glas- und Absorber-Oberflächen (Kondensat, Temperatur, korrosive Medien)
- Prüfstände für Verglasungen und Fassadenelemente zur Ermittlung des Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Wert) und des Gesamtenergiedurchlassgrades (g-Wert) sowie zu Langzeitbelastungen
- Leistungs- und Gebrauchstauglichkeitsuntersuchungen an Wärmerohren
- Prüfstände für Dämmstoffe (Gebrauchstauglichkeit, Wärmeleitfähigkeit)
- Hardware-in-the-Loop-Experimentalanlagen regenerativer Strom/Wärmesysteme
- Prüfstand zur Bewertung von Wärmeübergabestationen
- 400 m² test roofs for reliability tests on collectors and systems as well as performance tests on solar collectors up to 180 °C
- Test facility for air/water- und sole/water-heat-pumps in dynamic operation
- Two outdoor solar-tracking test stands with an effective area of 20 m²
- Test facility for solar systems in accordance with EN 12976
- Test facilities for thermal storage tanks, control test facility (EN 12977)
- Evaluation of heat exchanger single tubes and coiled tubes
- Walk-in climate chambers (75 m³ and 180 m³)
- Vacuum coating facilities (sputtering and PECVD)
- Optical laboratory for spectrally-resolved transmission and reflection measurements (UV-VIS-NIR-MIR), spectral ellipsometry (0.24 to 33 µm) including temperature control of samples, biaxial photo-goniometer for scattering or light-directing glazing systems
- Facilities for aging tests for glass and absorber surfaces (condensation, temperature, corrosive media)
- Test facilities for glazing and façade elements, determination of thermal transmission coefficient (U-value) and the total energy transmittance (g-value) as well as long-term stress
- Performance and reliability tests on heat pipes
- Test facilities for insulation materials (reliability, thermal conductivity)
- Hardware-in-the-loop-experimental facilities for renewable heat/power systems
- Test facility for heat transfer stations

Glanzlichter

- Veröffentlichung eines Planungstools zur Berechnung von „Mieterstrom“-Versorgungsangeboten.
- Auslegungsempfehlungen von Erdkollektoren unter Berücksichtigung solarthermischer Regenerationswärme
- Umsetzung eines Feldmonitoring-Konzepts für ein dezentrales Wärmepumpenquartier (ca. 40 EFH, Kaltwärmenetz, Stromversorgung)
- Demonstrationsanlage zur Langzeitprüfung eines photovoltaisch-thermischen Systems basierend auf einem innovativen Hybridkollektor
- Stagnationssichere Flach- und Vakuumröhrenkollektoren mit neuartigen Wärmerohren für hocheffiziente Solaranlagen mit Temperaturbegrenzung auf unter 125 °C
- Experimentelle Felduntersuchung zu Leistungsfähigkeit und Stagnationsverhalten von Solaranlagen mit thermochromen Flachkollektoren

Highlights

- Publication of a planning tool useful for the assessment of “landlord-to-tenant” electricity supply concepts
- Recommendations for the design of horizontal heat exchangers regarding solar heat for thermal regeneration
- Implementation of a field monitoring concept for a neighborhood supplied by decentralized heat pumps (ca. 40 SFH, low-ex heat grid, electricity supply)
- Demonstration site for long-term testing of a photovoltaic-thermal system based on an innovative hybrid collector
- Stagnation-proof flat and vacuum tube collectors with innovative heat pipes for highly efficient solar systems with temperature limitation below 125 °C
- Experimental field investigation on the performance and stagnation behavior of solar thermal systems with thermochromic flat-plate collectors

Abteilung Photovoltaik

26,1 % Rekordwirkungsgrad für kristalline p-Typ Silizium-Solarzellen

Das ISFH und das Institut für Materialien und Bauelemente der Elektronik der Leibniz Universität Hannover haben gemeinsam im Februar 2018 einen Silizium-Solarzellen-Rekordwirkungsgrad von 26,1% erreicht. Dies ist der aktuelle Weltrekord für p-Typ-Silizium-Material sowie der aktuelle europäische Rekord für kristallines Silizium. Mit diesem Ergebnis führt das ISFH derzeit die Kategorie „non-concentrator crystalline silicon single junction cells“ der weltweit referenzierten „Efficiency Charts“ des *National Renewable Energy Laboratory* an und wurde in die „Efficiency Tables“ der weltbesten Solarzellenwirkungsgrade in der Fachzeitschrift *Progress in Photovoltaics* aufgenommen. Voraussetzung für die weltweite Anerkennung der Messergebnisse ist die im Januar 2018 erfolgte Aufnahme des DAkkS-akkreditierten *ISFH Calibration and Test Center (CalTeC)* in die Liste der „designated test centers“ als eine von sieben Institutionen weltweit.

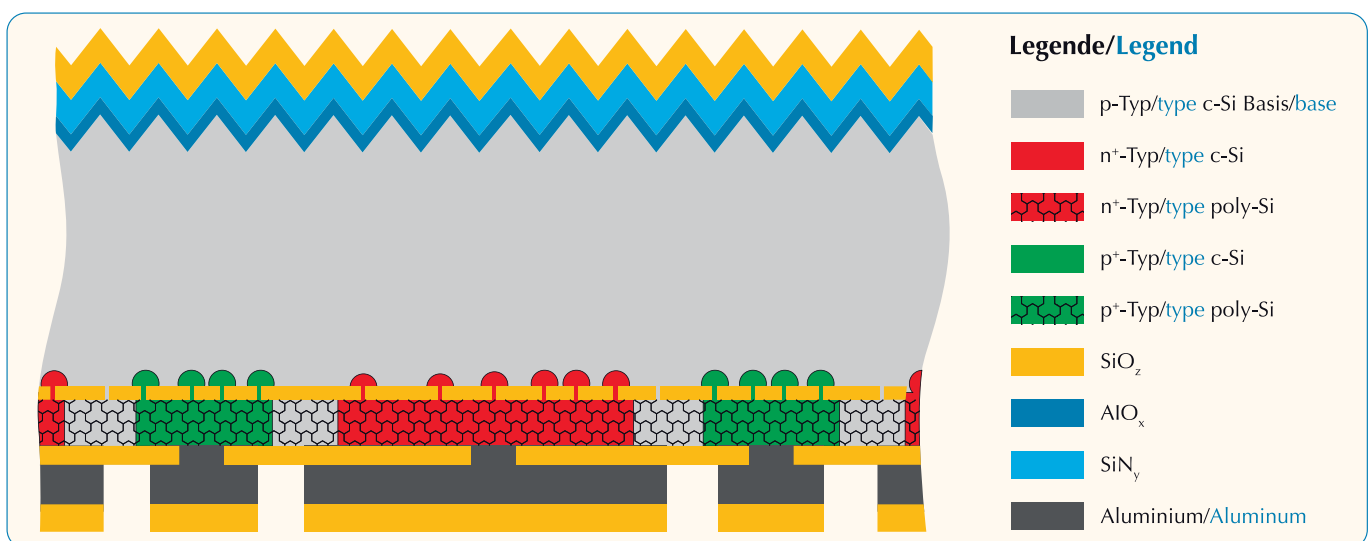
Wirkungsgrade über 25% wurden bisher nur auf n-Typ-Silizium erreicht. Allerdings werden gegenwärtig rund 90% des Photovoltaik-Weltmarktes mit p-Typ-Silizium-Material bedient. Daher liegt die Bedeutung unseres Ergebnisses unter anderem in dem experimentellen Nachweis, dass auch mit diesem Material allerhöchste Wirkungsgrade möglich sind. Das Team vom ISFH und dem MBE ist erst das zweite weltweit, welches Silizium-Solarzellenwirkungsgrade über 26% demonstriert. Zuvor gelang dies nur der japanischen Firma Kaneka, deren aktueller Rekord

Photovoltaics department

26.1% record efficiency for crystalline p-type silicon solar cells

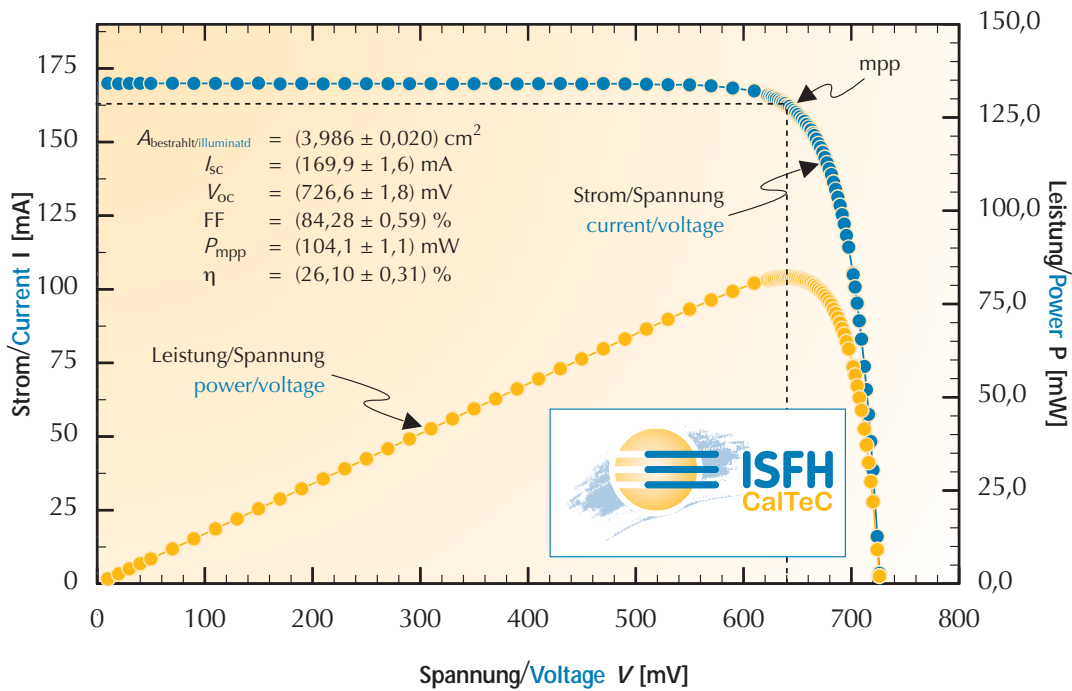
In February 2018 ISFH and the Institute of Electronic Materials and Devices at the Leibniz University Hanover jointly achieved a record energy conversion efficiency for a silicon solar cell of 26.1%. This is the current world record for p-type silicon material and the current European record for crystalline silicon. With this result ISFH currently leads the category of “non-concentrator crystalline silicon single junction cells” of the globally referenced “Efficiency Charts” of the *National Renewable Energy Laboratory* and was included in the “Efficiency Tables” of the world’s best solar cell efficiencies in the specialist journal *Progress in Photovoltaics*. A prerequisite for the worldwide recognition of the measurement results is the inclusion of the DAkkS-accredited *ISFH Calibration and Test Center (CalTeC)* in January 2018 in the list of “designated test centers” as one of seven institutions worldwide.

Efficiencies above 25% have so far only been achieved on n-type silicon. However, around 90% of the global photovoltaic market is currently produced with p-type silicon material. For this reason, the significance of our result lies, among other things, in the experimental proof that the very highest efficiencies are possible even with this material. The ISFH and MBE team is only the second in the world to achieve silicon solar cell efficiencies above 26%. Previously, only the Japanese company Kaneka managed this, whose current record of 26.7% was achieved with passivating hetero-contacts based on



Abbildung/Figure 27: Schema der Struktur einer IBC-Solarzelle mit n⁺- und p⁺-Typ-poly-Si-Kontaktfingern, die durch einen intrinsischen poly-Si-Bereich getrennt werden.

Schematic structure of an interdigitated back contact (IBC) solar cell with n⁺- and p⁺-type polysilicon contact fingers separated by an intrinsic polysilicon region.



Abbildung/Figure 28: Hellkennlinie (Strom/Spannung und Leistung/Spannung) in Abhängigkeit von der Spannung einer POLO-IBC^[9]-Solarzelle gemessen vom ISO 17025-akkreditierten Kalibrierlabor ISFH CalTeC. Die Effizienz der POLO-IBC-Solarzelle beträgt (26,10 ± 0,31) %.

Illuminated characteristics (current/voltage and power/voltage) as a function of the voltage of a POLO-IBC^[9] solar cell measured by the ISO 17025-accredited calibration laboratory ISFH CalTeC. The efficiency of the POLO-IBC solar cell is (26.10 ± 0.31)%.

von 26,7 % mit passivierenden Hetero-Kontakten auf Basis von wasserstoffreichem amorphem Silizium erreicht wurde. Wir haben in unserer Arbeit eine andere, aber ebenfalls hochselektive Art von passivierenden Kontakten verwendet. Diese bestehen aus einer dotierten polykristallinen Schicht aus Silizium, welches auf einem dünnen Oxid abgeschieden wurde (polysilicon on oxide, POLO).

Gegenüber amorphem Silizium sind die POLO-Kontakte temperaturstabiler und somit potenziell mit der heute industriell üblichen Hochtemperatur-Siebdruckmetallisierung vereinbar.

Ein Schlüssel zum Erfolg war die Entwicklung eines Laser-Prozesses zur lokalen Öffnung von dielektrischen Siliziumoxidschichten auf der Zellrückseite. Letztere verbessern als Rückseitenspiegel die Optik der Solarzelle, werden aber ganzflächig abgeschieden und müssen zur Kontaktierung der Solarzelle daher lokal entfernt werden. Durch den entwickelten industrie-kompatiblen Kontaktöffnungs-Prozess wird perspektivisch die Kontaktierung des poly-Siliziums mit Siebdruckpasten möglich, die selbst nicht durch die Dielektrika hindurchlegieren bzw. durchfeuern müssen. Da durchfeuernde Siebdruckpasten bisher das poly-Silizium beschädigen und dessen Passivierqualität beeinträchtigen, ist die Laserkontaktöffnung ein wichtiger Schritt

hydrogen-rich amorphous silicon. In our work we have used a different, but also highly selective type of passivating contacts. These consist of a doped polycrystalline layer of silicon deposited on a thin oxide (polysilicon on oxide, POLO).

Compared to amorphous silicon, the POLO contacts are more temperature-stable and thus potentially compatible with the high-temperature screen-printing metallization commonly used in industry today.

A key to success was the development of a laser process for the local opening of a dielectric silicon oxide layer on the rear side of the cell. The latter improves the optics of the solar cell as a rear-side mirror, but is deposited over the entire surface and must therefore be locally removed in order to contact the solar cell. This more industrially compatible contact-opening process makes it possible to contact the polysilicon with screen-printing pastes, which do not have to alloy or fire through the dielectrics themselves. Since firing through screen-printing pastes damage the polysilicon and impair its passivation quality, the laser contact opening is an important step towards the integration of POLO contacts into industrial cell processes. However, it is not trivial to split off a dielectric locally with a laser on the only 150 nm-thick

[9] POLO – polysilicon on oxide, IBC – interdigitated back contact

[9] POLO – polysilicon on oxide, IBC – interdigitated back contact

in Richtung Integration der POLO-Kontakte in industrielle Zellprozesse. Allerdings ist es alles andere als trivial, auf den nur 150 nm dünnen poly-Silizium-Schichten mit einem Laser lokal ein Dielektrikum abzusprengen, ohne die poly-Silizium-Schicht dabei selbst zu zerstören. Gelungen ist die Entwicklung eines derart schädigungsarmen Laserprozesses durch die richtige Wahl der Laserparameter wie Wellenlänge (355 nm), Pulslänge (9 ps) und Energieflussdichte. Somit werden nur die oberen 60 nm des poly-Siliziums gezielt verdampft, während noch genügend passivierendes poly-Silizium auf der Probe verbleibt (Abbildung 29). Die auch nach dem Laser-Kontaktöffnungsprozess vorhandene exzellente Passivierungsqualität der POLO-Kontakte wird durch die hohe Leerlaufspannung der Solarzelle von 726,6 mV klar bestätigt. Neben der Sanftheit des Laserprozesses ist ein weiteres Qualitätsmerkmal eine gute Kontaktierung des poly-Siliziums durch das Metall (hier noch aufgedampftes Aluminium) in den Kontaktöffnungen. Der hohe Füllfaktor von 84,28% und der entsprechend niedrige Gesamt-Serienwiderstand von $0,1 \Omega\text{cm}^2$ zeigen, dass dies sehr gut gelungen ist.

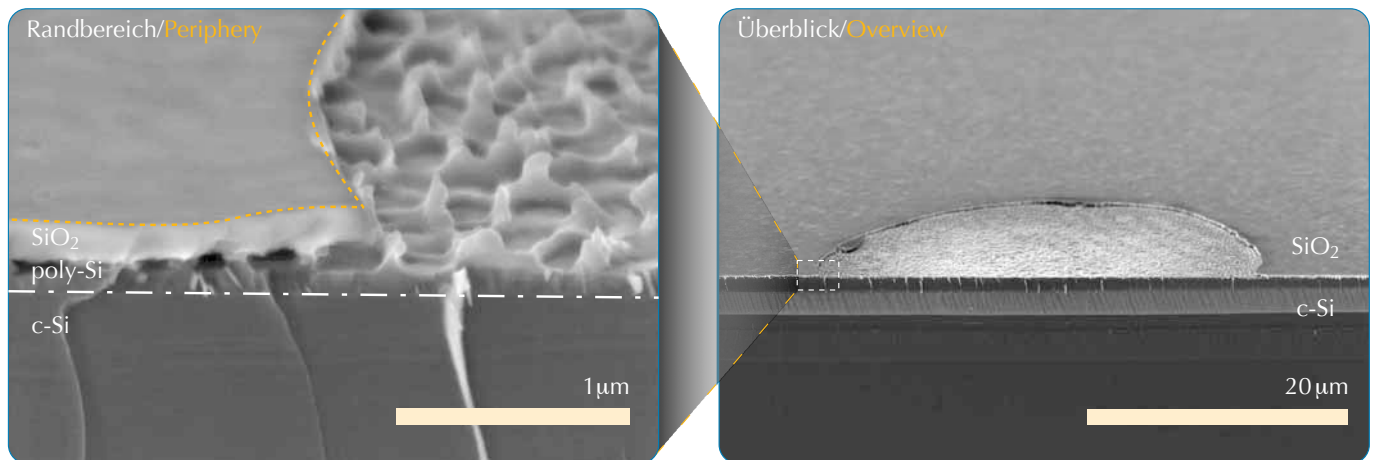
Wie jede Solarzelle hat auch unsere Bereiche, in denen Elektronen selektiv extrahiert werden (hier im n-dotierten poly-Silizium), und Bereiche, in denen Löcher selektiv extrahiert werden (hier im p-dotierten poly-Silizium). Beide Bereiche sind bei unserer Zelle in einer ineinandergreifenden Fingerstruktur auf der Rückseite lokalisiert, um parasitäre Absorption im poly-Silizium zu minimieren. Dabei hat sich gezeigt, dass sich n- und p-dotiertes poly-Silizium keinesfalls direkt berühren dürfen. Der Grund dafür ist eine hohe Defektdichte durch Korngrenzen im poly-Silizium, wodurch sich bei einem direkten Kontakt von stark n- und

polysilicon layers without destroying the polysilicon layer itself in the process. The development of such a low-damage laser process has been successful due to the correct choice of laser parameters such as the wavelength (355 nm), the pulse length (9 ps) and the energy flux density. Thus, only the upper 60 nm of the polysilicon are deliberately vaporized, while sufficient passivating polysilicon remains on the sample (Figure 29). The excellent passivation quality of the POLO contacts, even after the laser contact opening process, is clearly confirmed by the high solar cell open-circuit voltage of 726.6 mV. In addition to the gentleness of the laser process, a further quality feature is the good contacting of the polysilicon by the metal (here yet evaporated aluminum) in the contact openings. The high fill factor of 84.28% and the correspondingly low total series resistance of $0.1 \Omega\text{cm}^2$ show that this was very successful.

Like every solar cell, our cell has areas where electrons are selectively extracted (n-doped polysilicon) and areas where holes are selectively extracted (p-doped polysilicon). In our cell, both regions are located in an interdigitated finger structure on the rear-side to minimize parasitic absorption in the polysilicon. It has been shown that the n- and p-doped polysilicon must not touch each other directly. The reason for this is a high defect density due to grain boundaries in the polysilicon, which would result in very high recombination losses in the event of direct contact between strongly n- and p-doped polysilicon. Therefore, another innovation of our 26.1% cell is the way in which the two doped regions in the polysilicon are electrically separated from each other. This was done by inserting an undoped polysilicon region, nominally $30 \mu\text{m}$ wide,

Strom-Spannungs (<i>J-V</i>)-Kenndaten gemessen am ISFH <i>CalTeC</i> Current-voltage (<i>J-V</i>) parameters measured by ISFH <i>CalTeC</i>	Einheit Unit	Wert Value
Effizienz/Efficiency η	[%]	$26,10 \pm 0,31$
Leerlaufspannung/Open-circuit voltage V_{OC}	[mV]	$726,6 \pm 1,8$
Kurzschlussstromdichte/Short-circuit current density J_{SC}	[mA/cm ²]	$42,62 \pm 0,4$
Füllfaktor/Fill factor FF	[%]	$84,28 \pm 0,59$
Fitparameter des Zwei-Dioden-Modells Fit parameters of the two-diode model		
Sättigungsstromdichte der ersten Diode J_{01} Saturation current density of the first diode J_{01}	[fA/cm ²]	21
Sättigungsstromdichte der zweiten Diode J_{02} Saturation current density of the second diode J_{02}	[nA/cm ²]	0,5
Serienwiderstand/Series resistance R_S	[Ωcm^2]	0,1
Shunt-Widerstand/Shunt resistance R_{Sh}	[k Ωcm^2]	700

Tabelle/Table 2: Strom-Spannungs-Kenndaten und Fitparameter des Zwei-Dioden-Modells der POLO-IBC-Solarzelle.
Current-voltage characteristics and fit parameters of the two-diode model of the POLO-IBC solar cell.



Abbildung/Figure 29: Rasterelektronenmikroskopieaufnahmen der Laseröffnungen im Siliziumoxid.

Scanning electron microscope images of the laser openings in silicon oxide.

p-dotiertem poly-Silizium sehr hohe Rekombinationsverluste ergeben würden. Daher ist eine weitere Innovation unserer 26,1%-Zelle die Art und Weise, wie die beiden Dotierbereiche im poly-Silizium voneinander elektrisch getrennt wurden. Dies geschah dadurch, dass zwischen den n- und p-dotierten Bereichen ein nominell 30 µm breiter undotierter poly-Silizium-Bereich eingefügt wurde. Dessen physikalische Funktionsweise wurde auf Basis von speziellen Experimenten sowie Finite-Elemente-Simulation untersucht. Durch einen Vergleich der simulierten und gemessenen Strom-Spannungs-Parameter der Solarzelle konnte z. B. die Oberflächenrekombinationsgeschwindigkeit in diesem Bereich zu 20 cm/s quantifiziert werden.

Die erreichte Effizienz von 26,1% ist zwar bemerkenswert, stellt aber noch längst nicht die obere Grenze des mit den POLO-Kontakten erreichbaren Wirkungsgrades dar. Ein Grund dafür, dass wir das volle Potenzial der POLO-Kontakte noch nicht ausschöpfen konnten, liegt an einer gewissen Degradation der (Vorderseiten-) Passivierung während des Solarzellenherstellungsprozesses. Obwohl diese fortlaufend minimiert wird, ist sie wohl in gewissem Maße unvermeidlich – insbesondere, wenn man an eine industrielle Massenproduktion denkt. Durch Simulationen konnte gezeigt werden, dass Solarzellen mit hoch dotiertem Basismaterial (1,3 Ω cm) weniger empfindlich auf eine Degradation der Oberflächenpassivierungsqualität reagieren als Zellen mit niedriger dotierten Basismaterialien (80 Ω cm). Somit zeigt sich, dass hoch dotiertes Basismaterial besonders für einen robusten Herstellungsprozess geeignet ist – obwohl unter idealen Bedingungen gering dotiertes Basismaterial leichte Wirkungsgradvorteile hätte.

between the n- and p-doped regions. Its physical working principle was investigated on the basis of special experiments and finite element simulation. Comparing the simulated and measured current-voltage parameters of the solar cell, the surface recombination velocity in this area could for example be quantified to 20 cm/s.

The achieved efficiency of 26.1% is remarkable, but by no means represents the upper limit of the efficiency achievable with POLO contacts. One reason why we have not yet been able to exploit the full potential of the POLO contacts is a certain degradation of the (front-side) passivation during the solar cell manufacturing process. Although this degradation is progressively being minimized, it is probably to a certain extent unavoidable – especially if one thinks of industrial mass production. Simulations have shown that solar cells with highly doped base material (1.3 Ω cm) are less sensitive to a degradation of surface passivation quality than cells with less doped base materials (80 Ω cm). This shows that highly doped base material is particularly suitable for a robust manufacturing process – although under ideal conditions low-doped base material would have slight efficiency advantages.

Christina Hollemann, Felix Haase, Robby Peibst

Titanoxid-basierte elektronenselektive Kontakte für Siliziumsolarzellen

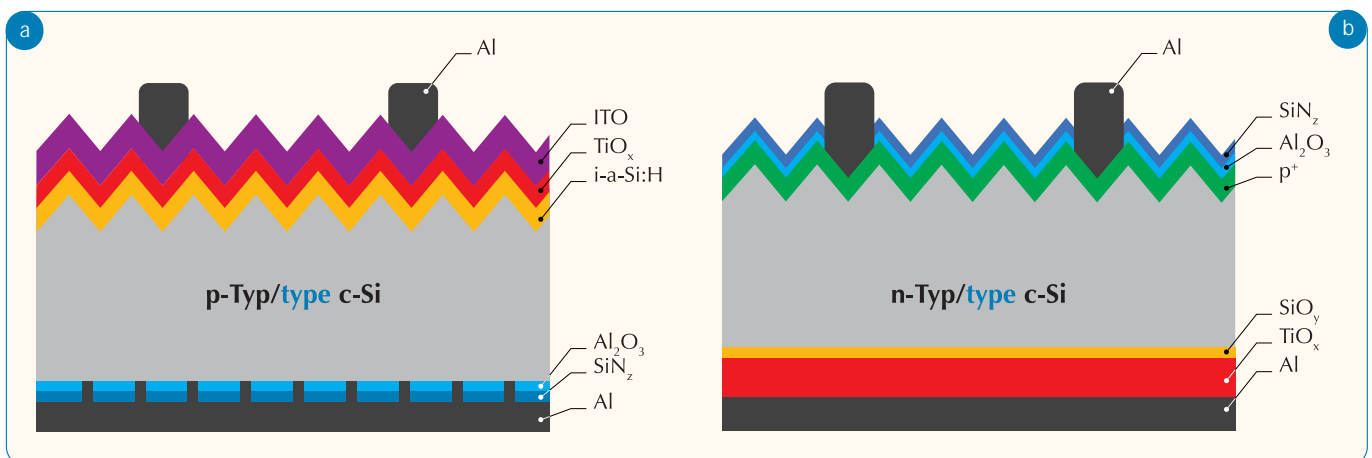
Im Vergleich zur Implementierung von dotierstoffdiffundierten n^+ - und p^+ -Gebieten, die in den meisten der heutigen Industriesolarzellen eingesetzt werden, gibt es verschiedene alternative Materialien, die eine verbesserte Passivierung der Siliziumoberfläche zusammen mit niedrigen Kontaktwiderständen für Majoritätsladungsträger bieten. Diese ladungsträgerselektiven Schichten unterdrücken weitgehend die Kontaktrekombination und ermöglichen gleichzeitig einen effektiven Transport der Majoritätsträger zu den Metallkontakten. In den letzten Jahren hat sich Titanoxid (TiO_x) als elektronenselektives Kontaktmaterial für kristallines Silizium (c-Si) als interessant erwiesen. An Testproben wurden sehr niedrige Oberflächenrekombinationsgeschwindigkeiten in Kombination mit niedrigen Kontaktwiderständen berichtet, was zu einem berechneten Effizienzpotenzial von über 26% führt. Dies macht den Einsatz von TiO_x als elektronenselektives Kontaktmaterial für die nächste Generation von hoch-effizienten Siliziumsolarzellen potenziell relevant.

In dieser Studie untersuchen wir die Implementierung von mittels Atomlagenabscheidung hergestelltem TiO_x in Siliziumsolarzellen. Zwei Zellkonzepte werden untersucht: Im ersten Konzept werden die Elektronen durch die TiO_x -Schicht an der Solarzellenvorderseite (siehe Abbildung 30 (a)) eingesammelt, im anderen an der Zellrückseite (siehe Abbildung 30 (b)). Um eine gute laterale Leitfähigkeit der Elektronen hin zu den Vorderseitenkontakten zu gewährleisten, wird Indiumzinnoxid (ITO) auf die TiO_x -Vorderseite aufgebracht. Eine ultradünne, intrinsische amorphe Siliziumschicht (i-a-Si:H) wird zwischen der c-Si-Oberfläche und der TiO_x -Schicht zur Verbesserung der Grenzflächenpassivierung implementiert. Im zweiten Zellenkonzept scheidet wir Aluminium (Al) direkt auf der rückseitigen TiO_x -Schicht ab

Titanium oxide-based electron-selective contacts for silicon solar cells

Compared to the implementation of dopant-diffused n^+ - and p^+ -regions used in most of today's industrial solar cells, there are several alternative materials that offer improved passivation of the silicon surface together with low contact resistances for majority charge carriers. These charge carrier-selective layers largely suppress contact recombination and, at the same time, allow an effective transport of majority carriers to the metal contacts. In recent years, the application of titanium oxide (TiO_x) as electron-selective contact material to crystalline silicon (c-Si) has attracted increasing attention. In particular, on test samples, very low surface recombination velocities have been reported in combination with low contact resistances, leading to a calculated efficiency potential exceeding 26%. This makes the application of TiO_x as an electron-selective contact material potentially interesting for the next generation of high-efficiency silicon solar cells.

In this study, we examine the implementation of atomic-layer-deposited TiO_x into silicon solar cells. Two cell concepts are examined: in the first concept, the electrons are collected by the TiO_x layer on the front side of the cell (see Figure 30 (a)), in the other they are collected on the rear side of the cell (see Figure 30 (b)). In order to provide a good lateral conductance for the electrons to the front contacts, indium tin oxide (ITO) is deposited on top of the TiO_x front layer. An ultrathin intrinsic amorphous silicon (i-a-Si:H) layer is used between the c-Si surface and the TiO_x layer to improve interface passivation. In the second cell concept, we deposit aluminium (Al) directly on top of the TiO_x rear layer and use an ultrathin silicon oxide (SiO_y) layer between the c-Si surface and the TiO_x for improved interface passivation.



Abbildung/Figure 30: Schema der beiden realisierten Zellstrukturen (a) auf p-Typ Silizium mit einem vollflächigen elektronenselektiven i-a-Si:H/ TiO_x /ITO-Frontkontakt und (b) auf n-Typ Silizium mit einem elektronenselektiven SiO_y / TiO_x /Al-Rückkontakt.

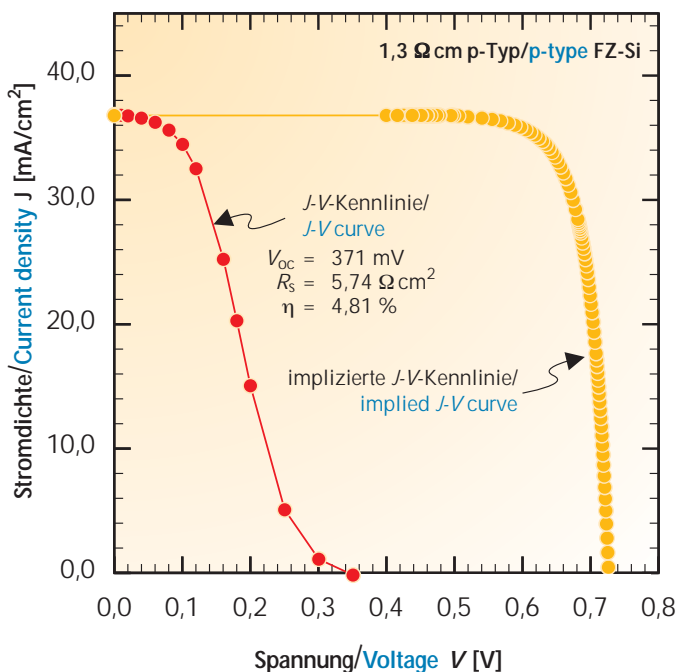
Diagram of the two realized cell structures (a) on p-type silicon with a full-area electron-selective i-a-Si:H/ TiO_x /ITO front contact and (b) on n-type silicon with a full-area electron-selective SiO_y / TiO_x /Al rear contact.

Wissenschaftliche Ergebnisse

und implementieren eine ultradünne Siliziumoxid (SiO_2)-Schicht zwischen der c-Si-Oberfläche und dem TiO_x für eine verbesserte Grenzflächenpassivierung.

Abbildung 31 zeigt Ergebnisse des in Abbildung 30 (a) dargestellten Zellendesigns mit i-a-Si/ TiO_x -Frontkontakt in Kombination mit ITO (●). Zum Vergleich ist auch die implizierte Strom-Spannungskennlinie (●) gezeigt, die an symmetrischen Ladungsträgerlebensdauerproben mit nur i-a-Si/ TiO_x (ohne ITO) auf beiden Waferoberflächen gemessen wurde. Die implizierte Strom-Spannungskennlinie zeigt die an der Ladungsträgerlebensdauerprobe gemessene Leerlaufspannung V_{oc} von 726 mV. Enttäuschend ist, dass wir an den realisierten Solarzellen nur eine maximale Leerlaufspannung (V_{oc}) von 371 mV messen. Die Strom-Spannungskennlinie dieses Zellentyps wird durch eine entgegengesetzt geschaltete Diode negativ beeinflusst, die bei der Kontaktierung durch ITO auftreten kann. Unsere Experimente zeigen, dass die hohe Austrittsarbeit von ITO nicht für die Elektronensammlung mit TiO_x -passivierter Kontaktschicht geeignet ist.

Figure 31 shows results of the cell design depicted in Figure 30 (a) with i-a-Si/ TiO_x front contact in combination with ITO (●). For comparison, the implied current-voltage characteristic (●) measured on symmetrical carrier lifetime samples with only i-a-Si/ TiO_x but no ITO on both wafer surfaces is shown. The implied current-voltage characteristic shows the V_{oc} (open-circuit voltage) potential of 726 mV measured on the lifetime sample. It is therefore disappointing that we only measure a maximum V_{oc} of 371 mV on the actual solar cells. The current-voltage characteristic of this cell type is negatively affected by a reverse diode resulting from contacting by ITO. Our experiments indicate that the high work function of ITO is not suitable for electron collection with a TiO_x passivating contact layer.



Abbildung/Figure 31: Implizierte Strom-Spannungskurve, gemessen an symmetrischen Ladungsträgerlebensdauerproben (●), und bei einer Sonne gemessene Strom-Spannungskurve (●) der besten realisierten Solarzelle mit i-a-Si:H/ TiO_x /ITO-Frontkontakt.

Implied current-voltage characteristic deduced from symmetrical charge carrier lifetime samples (●) and measured one-sun current-voltage characteristic (●) of the best solar cell with i-a-Si:H/ TiO_x /ITO front contact.

Abbildung 32 zeigt die bei einer Sonne gemessene Strom-Spannungs-Kennlinie unserer besten Solarzelle (•) des in Abbildung 30 (b) dargestellten Zelltyps. Zum Vergleich ist in Abbildung 32 auch die implizierte Strom-Spannungs-Kennlinie (•) aus symmetrischen Ladungsträgerlebensdauererprobungen mit $\text{SiO}_y/\text{TiO}_x$ auf beiden Oberflächen (aber ohne Aluminium-Metallisierung) gezeigt. Die implizierte Strom-Spannungskennlinie zeigt eine Leerlaufspannung von 694 mV. Auf der besten realisierten Solarzelle wird eine Leerlaufspannung (V_{oc}) von 661 mV und ein Wirkungsgrad von 20,3% gemessen. Der Unterschied Δ zwischen implizierter und realisierter Leerlaufspannung ist um eine Größenordnung geringer ($\Delta = 33\text{ mV}$) im Vergleich zum ersten Zelldesign ($\Delta = 355\text{ mV}$ in Abbildung 31). Der große Unterschied für die beiden verschiedenen Zelldesigns liegt darin, dass die ITO-Schicht eine viel höhere Austrittsarbeit ($\sim 0,3\text{ eV}$) hat als die Aluminium-Schicht. Die Verwendung eines Metalls mit einer geringeren Austrittsarbeit als Aluminium könnte daher ein Weg sein, um in zukünftigen Solarzellen mit elektronenselektiven Kontakten auf TiO_x -Basis noch höhere Leerlaufspannungswerte und niedrigere Serienwiderstände zu erreichen.

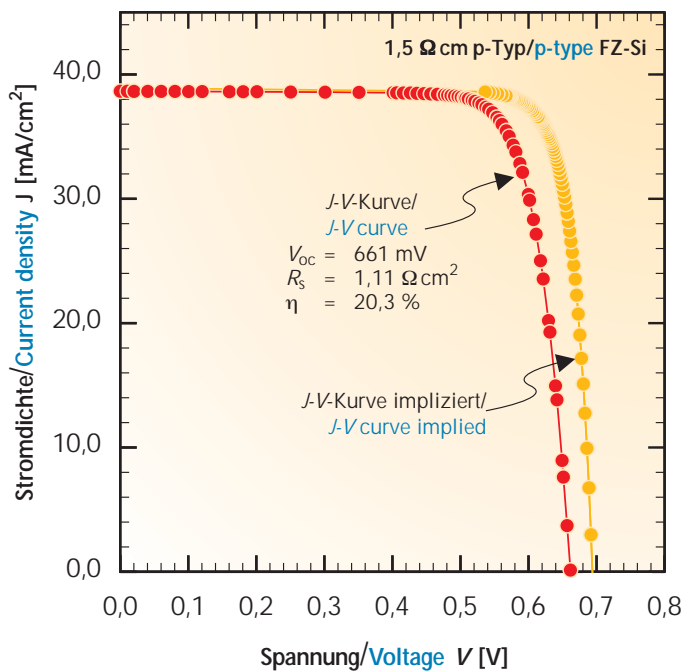


Figure 32 shows the measured one-sun current-voltage characteristic of our best solar cell (•) of the cell type shown in Figure 30 (b). For comparison, the implied current-voltage characteristic (•) from symmetrical lifetime test structures with $\text{SiO}_y/\text{TiO}_x$ on both surfaces (but no aluminium metallization) is also included in Figure 32. The implied current-voltage characteristic shows a V_{oc} potential of 694 mV. On the best actual solar cell, an open-circuit voltage (V_{oc}) of 661 mV and an efficiency of 20.3% are measured. The difference Δ between implied and actual open-circuit voltage is one order of magnitude lower ($\Delta = 33\text{ mV}$) compared to the first design incorporating ITO ($\Delta = 355\text{ mV}$ in Figure 31). The large difference for the two different cell designs is due to the fact that the ITO layer has a much higher work function ($\sim 0.3\text{ eV}$) than the aluminium layer. Using a metal with a lower work function than aluminium could therefore be a way of achieving even higher open-circuit voltage values and lower series resistance values in future solar cells with TiO_x -based electron-selective contacts.

Abbildung/Figure 32: Implizierte Strom-Spannungskurve, gemessen an symmetrischen Ladungsträgerlebensdauerproben (•), und Strom-Spannungskurve (•) der besten realisierten Solarzelle mit $\text{SiO}_y/\text{TiO}_x/\text{Al}$ -Rückkontakt.

Implied current-voltage characteristic deduced from symmetrical charge carrier lifetime samples (•) and current-voltage characteristic (•) of the best solar cell with the $\text{SiO}_y/\text{TiO}_x/\text{Al}$ rear contact.

Wissenschaftliche Ergebnisse

Dichteste Packung für Solarzellen – 21,8% effizientes PV-Modul mit neuer Laminations-technologie

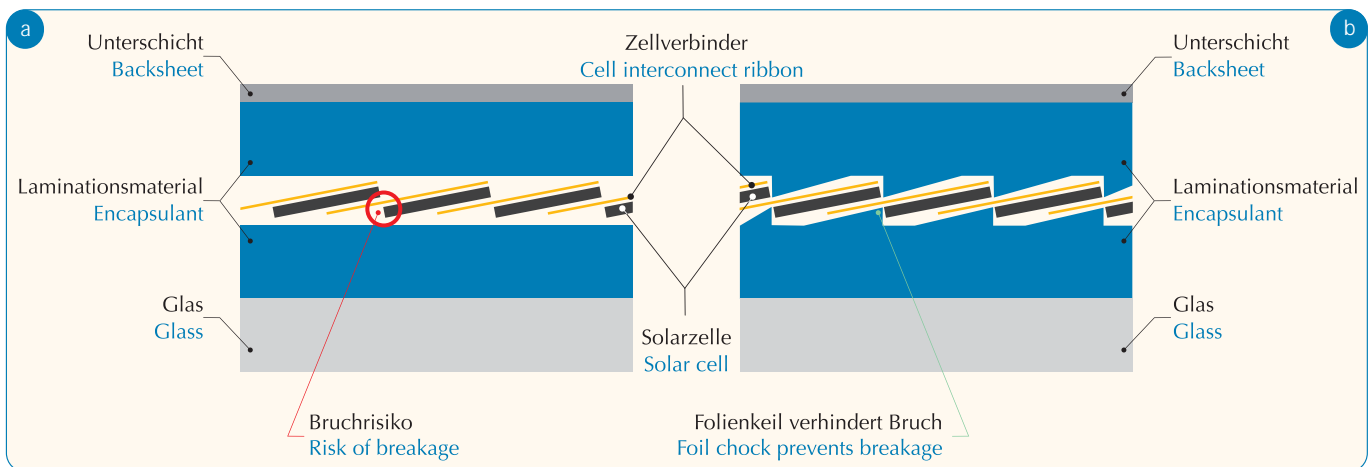
Tightest packing for solar cells – 21.8% efficient PV module with new lamination technology

Hocheffiziente Module werden immer wichtiger in der Photovoltaik, da neue Anwendungen geringen Flächenbedarf ermöglichen. Dies ist beispielsweise insbesondere für Vehikel-integrierte PV-Anwendungen der Fall. Bisher war es nur möglich, Solarzellen im Modul mit einem Abstand von mindestens zwei Millimetern anzuordnen. Ein neuer, am ISFH entwickelter Herstellungsprozess ermöglicht eine spaltfreie Verbindung von kristallinen Silizium-Solarzellen mittels lotbasierter Verbindungstechnik mit konventionellen Verbindern oder vielen Runddrähten. Dies führt zu einer Steigerung der Moduleffizienz durch Reduzierung der passiven Modulfläche, d.h. der Lücken zwischen den Zellen. Im Gegensatz zu bisher bekannten geschindelten Solarzellen in Modulen wird der Strom in Verbindungsrichtung nicht durch die Zellmetallisierung, sondern durch die üblichen Zellverbindungen transportiert. Dies reduziert den Silberverbrauch auf der Solarzelle gegenüber Schindelanwendungen deutlich – eine Teilung der Solarzellen ist für das Verfahren nicht notwendig. All dies spart Kosten gegenüber der auf dem Markt vorhandenen Schindeltechnologie.

Highly efficient modules are becoming more and more important in photovoltaics, as new applications enable low space requirement. This is, for example, especially the case for vehicle-integrated PV applications. Until now, it was only possible to arrange solar cells in the module with a separation of at least two millimeters. A new manufacturing process developed at ISFH enables a gap-free connection of crystalline silicon solar cells using solder-based connection technology with conventional ribbons or many round wires. This enables an increase in module efficiency by reducing the passive module area, i.e. the gaps between the cells. In contrast to familiar shingled solar cells in modules, the current in the connection direction is not transported through the cell metallization but through the usual cell interconnect ribbon. This significantly reduces silver consumption on the solar cell compared to shingle applications and cell cutting is not necessary for the process. All this saves costs compared to the shingle technology available on the market.

Der Abstand zwischen den Solarzellen in einem Strang ist erforderlich, um mechanische Spannungen zu reduzieren, die zu Rissbildungen in den Solarzellen führen können. Die Risse oder Eigenspannungen in den Solarzellen entstehen hauptsächlich während der Laminationsphase, in der die Solarzellen in das PV-Modul eingebettet werden. Bei diesem Schritt werden diese zwischen zwei Folien verpresst. Dies führt zu lokaler Beanspruchung, insbesondere der Kanten, die die Solarzellen lokal verbiegt, z. B. neben der Verbindungsstelle zwischen zwei Solarzellen. Die Wahrscheinlichkeit eines Bruches der Solarzellen steigt mit dem Materialdickenunterschied im Laminat an den

The gap between the solar cells in a string is necessary to reduce mechanical stresses that can lead to cracking in the solar cells. The cracks or internal stress in the solar cells occur mainly during the lamination phase in which the solar cells are embedded in the PV module. In this step they are pressed between two foils. This leads to local stress, especially at the edges, which leads to local bending of the solar cells, e.g. next to the joint between two solar cells. The probability of solar cells breaking increases with the difference in material thickness in the laminate at the joints. Figure 33 (a) shows cells that are connected to each other without a cell gap. At the cell edge (marked with a red circle) there is a material thickness difference of more than 400µm (cell interconnect ribbon and



Abbildung/Figure 33: Schema der Materialanordnung im Laminator, (a) ohne und (b) mit strukturierten Verkapselungsfolien.

Diagram of the material layout in the laminator, (a) without and (b) with structured encapsulation foils.

Verbindungsstellen. Abbildung 33 (a) zeigt Zellen, die ohne Zell-lücke miteinander verbunden sind. An der Zellkante (mit einem roten Kreis markiert) besteht ein Materialdickenunterschied von mehr als $400\ \mu\text{m}$ (Zellverbinder und Zelldicke). Dies birgt ein hohes Bruchrisiko, was auch experimentell in Abbildung 34 (b) und (c) beobachtet wird. Mit der neuen Laminationstechnologie wurde ein Testmodul hergestellt und für 200 Temperaturzyklen entsprechend der Norm IEC6125 geprüft. Das Modul ist auch nach der Prüfung frei von Zellrissen und zeigt keine Verbindungsrisse.

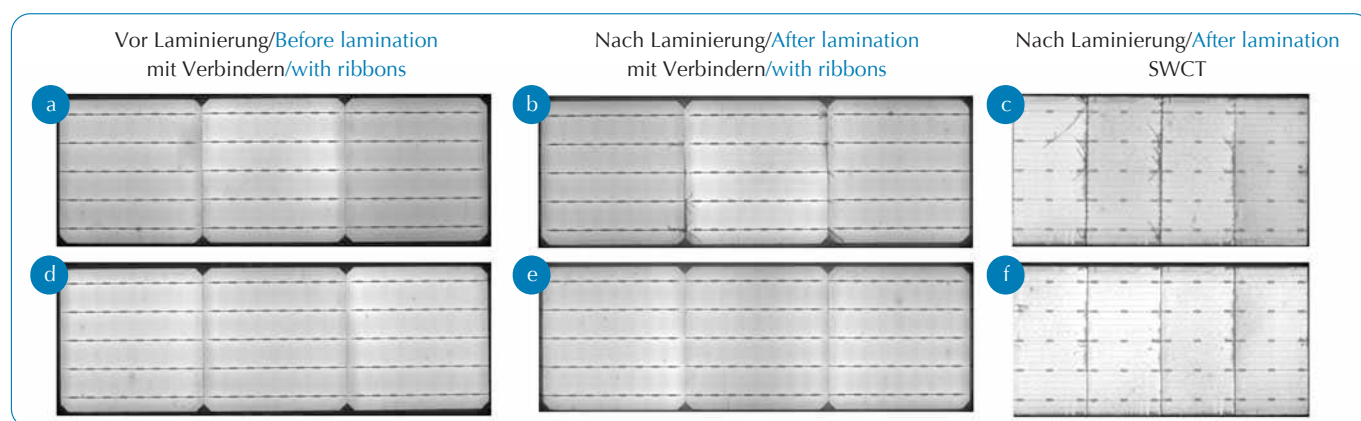
Das in dieser Arbeit vorgestellte Verfahren reduziert die Materialhöhenunterschiede und damit die mechanische Belastung am Zellenrand durch den Einsatz von strukturierten Laminationsfolien, wie in Abbildung 33 (b) dargestellt. Abbildung 34 (e) und (f) zeigen, dass es dadurch möglich ist, Solarzellen mit Hilfe von klassischen Verbindungstechnologien mit Verbinderbändchen oder Runddrähten ohne Zellabstand rissfrei zu verbinden. Mit Ausnahme der strukturierten Verkapselungsfolien sind die Laminationsparameter für Stränge in Abbildung 34 (b), (c), (e) und (f) identisch. Ein Patent für das Verfahren wird derzeit angemeldet.

Als „Proof of Concept“ fertigen wir ein Modul mit 30 halbgroßen Heterojunction-Solarzellen der Firma Meyer Burger (Deutschland). Die Solarzellen haben vor dem Zusammenschalten einen Wirkungsgrad von 22,7%. Im Modul überlappen sich die Zellen geringfügig ($<0,5\ \text{mm}$), um ein lückenfreies Erscheinungsbild zu gewährleisten. Die mittels SMARTWIRE-Verbindungs-Technologie (SWCT) verschalteten Solarzellen werden auf eine strukturierte Laminationsfolie und ein entspiegeltes Glas mit einem Reihenabstand von einem Millimeter aufgebracht. Das Modul wird anschließend mit einer zweiten strukturierten Laminationsfolie und einer weißen Rückseitenfolie versiegelt, siehe Abbildung 33 (b).

cell thickness). This is associated with a high risk of cracking, which is also observed experimentally in Figures 34 (b) and (c). With the new lamination technology a test module is produced and tested for 200 temperature cycles in accordance with the IEC6125 standard. The module is free of cell cracks even after the test and does not show any connection cracks.

The method presented in this paper reduces the difference in material thickness and thus the mechanical stress at the cell edge by using structured lamination foils, as shown in Figure 33 (b). Figures 34 (e) and (f) show that it is thus possible to connect solar cells without cracking using classical interconnection techniques with ribbons or round wires without cell spacing. With the exception of structured encapsulation foils, the lamination parameters for strings in Figures 34 (b), (c), (e) and (f) are identical. A patent for the process is currently being applied for.

As “proof of concept”, we have manufactured a module with 30 half-sized heterojunction solar cells from Meyer Burger Germany. Prior to interconnection, the solar cells have an efficiency of 22.7%. In the module, the cells slightly overlap ($<0.5\ \text{mm}$) to ensure a gap-free appearance. The solar cells interconnected using SMARTWIRE Connection Technology (SWCT) are applied to a structured lamination foil and antireflection-coated glass with a row spacing of one millimeter. The module is then sealed with a second structured lamination foil and a white back sheet, see Figure 33 (b). Figure 35 shows the finished PV module. The module has an overall efficiency of 21.8%. The efficiency was independently measured and confirmed by TÜV Rheinland. The module still has potential for improvement, as no design optimization has yet been carried out.



Abbildung/Figure 34: Die obere Reihe zeigt Elektrolumineszenzbilder von lückenlos verbundenen Solarzellen ohne bzw. die untere Reihe mit strukturierten Verkapselungsmitteln; (a) und (d) zeigen Elektrolumineszenzbilder von Zellen nach der Verbindung mit Zellverbindern und vor dem Laminieren; (b) und (e) nach dem Laminieren. In (c) und (f) werden Elektrolumineszenzbilder von halbierten Solarzellen mit SWCT dargestellt; in (c) ohne bzw. in (f) mit strukturierter Laminationsfolie.

The upper row shows electroluminescence images of gap-free interconnected solar cells without or in the lower row with structured encapsulants; (a) and (d) show electroluminescence images of cells after interconnection with cell interconnect ribbons and before lamination; (b) and (e) after lamination. In (c) and (f), electroluminescence images of halved solar cells with SWCT are displayed, (c) without, (f) with structured lamination foil respectively.

Abbildung 35 zeigt das fertige PV-Modul. Das Modul hat einen Gesamtwirkungsgrad von 21,8%. Der Wirkungsgrad wurde unabhängig vom TÜV Rheinland gemessen und bestätigt. Das Verbesserungspotenzial für das Modul erscheint hoch, denn eine Designoptimierung steht noch aus.



Abbildung/Figure 35: Fotografie des „Proof-of-Concept“-Moduls mit 30 halbgroßen Zellen mit einem Gesamtwirkungsgrad von 21,8%.

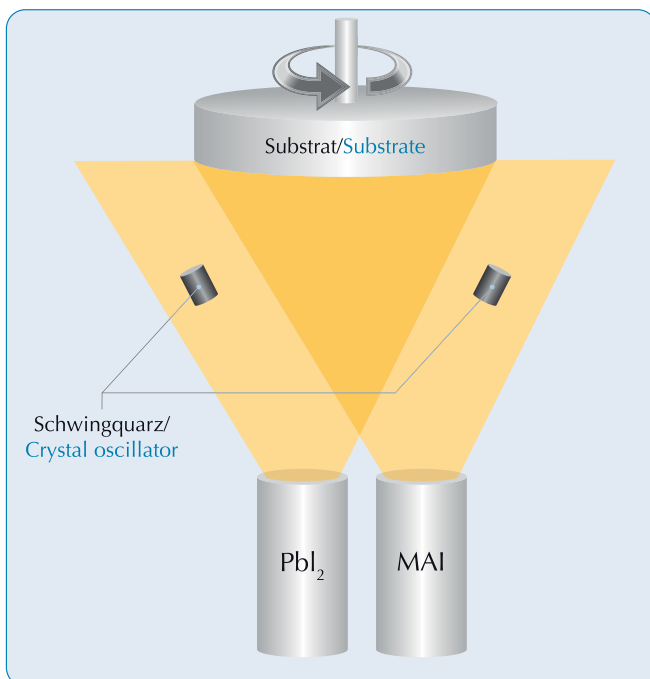
Photograph of the “proof-of-concept”-module with 30 half-sized cells with an overall efficiency of 21.8%.

Marc Köntges, Henning Schulte-Huxel, Susanne Blankemeyer

Technologieentwicklung für Perowskit/Silizium-tandemsolarzellen

Die rasante Entwicklung von hybrid-organischen Metallhalogenid-Perowskiten für Solarzellen der nächsten Generation führte in nicht einmal einem Jahrzehnt zu einem Wirkungsgrad von 23,3%. Das ist vergleichbar mit den besten etablierten Dünnschichttechnologien auf Basis von Cadmiumtellurid (CdTe) oder Kupferindiumgallium-Diselenid (CIGS). Besonders reizvoll ist dabei, dass Perowskite aus kostengünstigen Ausgangsstoffen mit preiswerten Verfahren hergestellt werden können. In Kombination mit der etablierten Siliziumtechnologie sind sogenannte Tandemsolarzellen, bei denen eine Perowskitzelle (Topzelle) auf einer Siliziumzelle (Bottomzelle) angeordnet wird, eine verlockende Alternative zu teuren III/V-Verbindungs-halbleitern, wenn es darum geht, den Wirkungsgrad über die theoretische Grenze von 29,6% für Siliziumeinfachsolarzellen hinaus zu steigern. Die meistgenutzte Methode für die Herstellung von Perowskitschichten ist die Rotationsbeschichtung. Sie bietet kurze Prozesszeiten und eine große Flexibilität, ist allerdings auf Zellflächen von wenigen Quadratzentimetern und glatte Oberflächen beschränkt.

Daher befasst sich das ISFH mit dem thermischen Ko-Aufdampfen von Perowskiten. Dieses Verfahren erlaubt prinzipiell die gleichmäßige Beschichtung großflächiger Substrate – bis hin zu einigen Quadratmetern – bei sehr genauer Kontrolle über Zusammensetzung und Schichtdicke. Als Modellsystem wurde Methylammoniumbleitriiodid (MAPbI₃) gewählt, weil es eine für Perowskit/Siliziumtandemsolarzellen geeignete Bandlücke



Technology development for perovskite/silicon tandem solar cells

The rapid development of hybrid organic-metal halide perovskites for next-generation solar cells led to a power conversion efficiency of 23.3% in less than a decade. This is comparable to the best conventional thin-film technologies based on cadmium telluride (CdTe) or copper indium gallium diselenide (CIGS). Perovskites are particularly appealing because they can be produced from cheap source materials by inexpensive processes. The combination of a perovskite top cell and a bottom cell based on established silicon technology in a so-called tandem solar cell is an intriguing alternative to expensive III/V-compound semiconductor materials, when trying to increase power conversion efficiency above 29.6%, the theoretical limit for silicon single-junction solar cells. The most widespread method for producing perovskite layers is spin coating. It offers short process times and great flexibility, but is limited to small cells with an area of a few square centimeters and a smooth surface.

Therefore, ISFH is investigating the thermal vapor co-evaporation of perovskites. This method, in principle, permits the uniform deposition of large-area substrates (up to several square meters) and very precise control over layer composition and thickness. Methylammonium lead triiodide (MAPbI₃) was chosen as a model system because its band gap is suitable for perovskite/silicon tandem solar cells. In addition, it can be produced with only two source materials, methylammonium iodide (MAI) and lead iodide (PbI₂). The single components are thermally evaporated

Abbildung/Figure 36: Illustration des MAPbI₃-Ko-Aufdampfens. Separate Schwingquarze für PbI₂ bzw. MAI sichern eine sehr gute Kontrolle über die Zusammensetzung der MAPbI₃-Schicht.

Illustration of the MAPbI₃ co-evaporation. Separate crystal oscillators for PbI₂ and MAI provide excellent control over the MAPbI₃ layer composition.

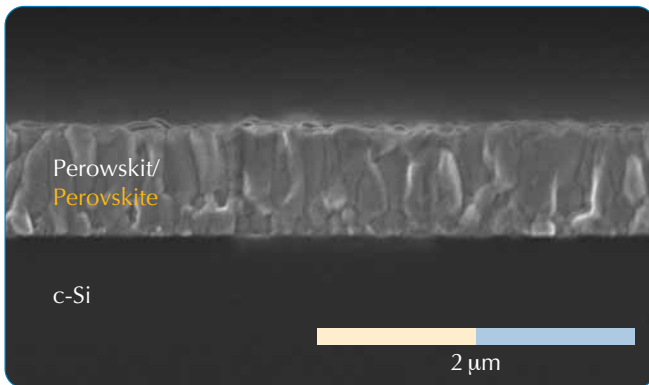


Abbildung/Figure 37: Blick in die Aufdampfkammer der Beschichtungsanlage am ISFH.

View into ISFH's deposition chamber.

hat und aus nur zwei Ausgangsmaterialien, Methylammoniumiodid (MAI) und Bleiiodid (PbI_2), hergestellt werden kann. Die Einzelkomponenten werden parallel aus verschiedenen Quellen in einer Vakuumkammer thermisch verdampft und reagieren miteinander auf dem Substrat, um die gewünschte Perowskitverbindung zu bilden (s. Abbildung 36 und 37). Eine besondere Herausforderung ist dabei die Kontrolle der Aufdampfrate der organischen Komponente, weil die für eine direkte Messung mit einem Schwingquarz erforderlichen materialspezifischen Parameter, die Dichte und das akustische Impedanzverhältnis, nicht genau bekannt sind. In der Regel behilft man sich in Unkenntnis der Parameter mit der indirekten Steuerung über andere Prozessvariablen, die aber nicht auf andere Anlagen übertragbar ist. Am ISFH wurden dagegen die Dichte und das Impedanzverhältnis für MAI bestimmt und so ein allgemein anwendbarer Weg zur genauen, direkten Ratenkontrolle bei der Ko-Aufdampfung von Perowskiten aufgezeigt. Die resultierenden MAPbI_3 -Schichten sind glatt und geschlossen (s. Abbildung 38). Sie weisen die gewünschte Stöchiometrie auf und zeigen in Photolumineszenzmessungen eine optische Bandlücke von 1,61eV.

in parallel from different sources in a vacuum chamber. On the substrate surface, they react with one another to form the desired perovskite (see Figures 36 and 37). The control over the deposition rate of the organic material is a particular challenge, because the material parameters required for a direct control, density and acoustic impedance ratio, are not precisely known. The usual answer to the problem is establishing indirect control using other process variables. Such methods are, however, specific to a certain deposition system, which makes process transfer a challenge. In contrast, at ISFH the density and impedance ratio for MAI were determined and so a universally applicable method for controlling the deposition rates in perovskite co-deposition directly and precisely was revealed. The resulting MAPbI_3 layers are smooth and unbroken (see Figure 38). They have the desired stoichiometry and display an optical band gap of 1.61 eV in photoluminescence measurements.



Abbildung/Figure 38: REM-Querschnittsbild einer ko-aufgedampften MAPbI₃-Schicht. Die Schicht besteht aus großen, säulenförmigen Kristalliten und hat eine glatte Oberfläche.

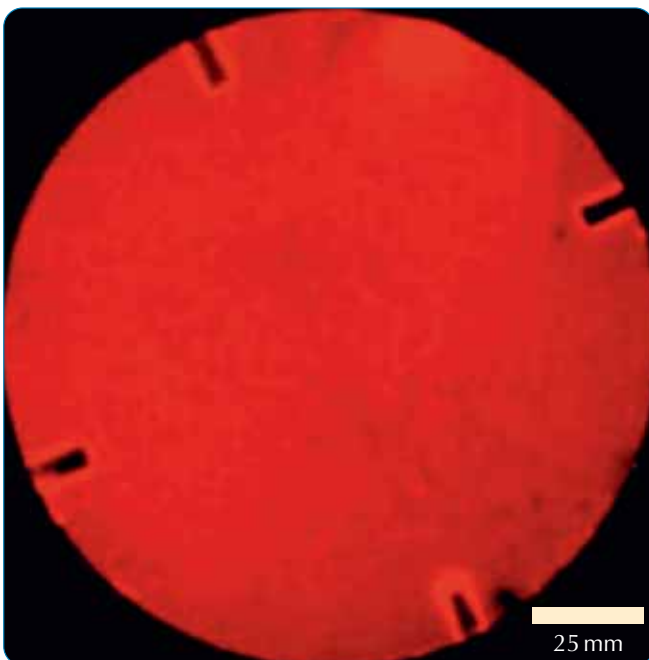
SEM cross-section image of a co-evaporated MAPbI₃ film. The layer consists of large columnar crystallites and has a smooth surface.

Während Perowskitsolarzellen derzeit Flächen von einigen Quadratmillimetern bis hin zu wenigen Quadratzentimetern haben, sind typische Siliziumsolarzellen 156×156 mm² groß. Eine Stärke des Ko-Aufdampfens ist das Beschichten großer Flächen. Die Aufdampfanlage des ISFH erlaubt Substratgrößen bis 150 mm Durchmesser. Abbildung 39 zeigt die Lumineszenzaufnahme einer solchen Perowskitschicht. Die Messung zeigt eine gleichförmige Intensität und eine gute spektrale Uniformität, was auf gleichmäßig gute Schichteigenschaften hinweist – beste Voraussetzungen für großflächige Solarzellen!

Um die hohe technologische Reife der Siliziumtechnologie bestmöglich in Tandemsolarzellen auszunutzen, sollten die Siliziumbottomzellen auf der Vorderseite texturiert sein. Die Topzelle kann dann entweder mit einer geeigneten Methode aufgeklebt werden oder muss mit einem konformen Beschichtungsverfahren, wie dem Ko-Aufdampfen, aufgebracht werden.

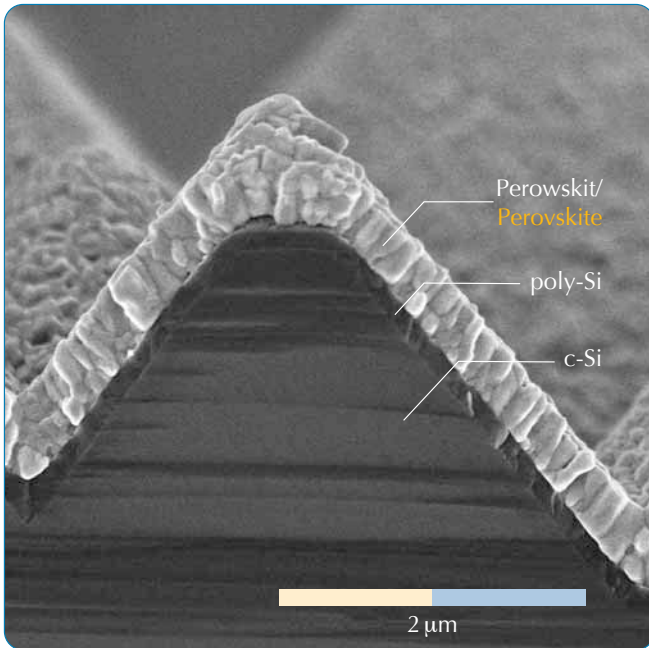
While perovskite solar cells currently have areas of between a few square millimeters and a few square centimeters, standard silicon solar cells are 156×156 square millimeters. One advantage of co-deposition is the coating of large areas. The vapor deposition system at ISFH can handle substrates with sizes up to 150 mm in diameter. Figure 39 depicts the luminescence image of such a perovskite layer. The measurement displays a uniform intensity and a good spectral homogeneity. This indicates uniform layer properties – best conditions for large-area solar cells!

In order to make the best use of the high maturity of silicon technology in tandem solar cells, silicon bottom cells should have a textured front side. Either the top cell can then be glued in an appropriate way or it has to be produced with a conformal coating process such as co-deposition. Figure 40 shows a textured silicon substrate after MAPbI₃ deposition at ISFH. The



Abbildung/Figure 39: Die Lumineszenzaufnahme einer ko-aufgedampften MAPbI₃-Schicht zeigt eine gleichförmige Intensität über ein 150 mm Substrat.

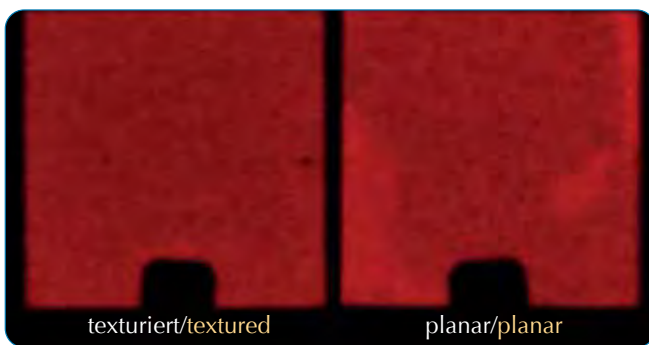
The luminescence image of a co-evaporated MAPbI₃-layer shows a uniform intensity across a 150 mm substrate.



Abbildung/Figure 40: REM-Querschnittsbild einer ko-aufgedampften MAPbI₃-Schicht auf einem mit polykristallinem Silizium bedeckten texturierten Siliziumsubstrat. Die Perowskitschicht bedeckt auch die Spitzen und Täler der Pyramiden gleichmäßig. SEM cross-section image of a co-evaporated MAPbI₃-layer on a textured silicon substrate, which is covered with a poly-crystalline silicon film. The perovskite layer evenly covers the pyramid's tops and valleys.

Abbildung 40 zeigt ein texturiertes Siliziumsubstrat, das am ISFH mit MAPbI₃ beschichtet wurde. Die Schicht bedeckt die Oberfläche gleichmäßig und zeigt weder Löcher an den Pyramiden-
spitzen, noch Materialansammlungen in den -tälern. Lumineszenzaufnahmen von Perowskitschichten auf texturierten und planaren Proben zeigen vergleichbare Intensitäten und gute spektrale Uniformität (s. Abbildung 41). Damit ist gezeigt, dass dieses Verfahren für die Prozessierung von Tandemsolarzellen geeignet ist.

layer uniformly covers the surface and displays neither holes at the pyramid tops nor accumulations of material in the valleys. Luminescence images of perovskite layers on textured and planar samples display comparable intensities and a good spectral uniformity (see Figure 41). These results prove that this process is suitable for processing tandem solar cells.



Abbildung/Figure 41: Ko-aufgedampfte MAPbI₃-Schichten zeigen sowohl auf texturierten als auch auf planaren Oberflächen eine gleichförmige Lumineszenz mit vergleichbarer Intensität. Co-evaporated MAPbI₃-layers show uniform luminescence with comparable intensity on textured and planar surfaces.

PERC+ Solarzellen ohne licht-induzierte Degradation

Die Umstellung auf die PERC- bzw. PERC+-Technologie in der Massenproduktion schreitet immer weiter voran. Die führenden Hersteller berichten von durchschnittlichen Wirkungsgraden von 21,5% bis 22,0%. Diese sehr guten Wirkungsgrade sind nur mit hochqualitativem Silizium-Ausgangsmaterial möglich.

Industrielles monokristallines Silizium enthält relativ große Mengen an Sauerstoff. Dieser bildet zusammen mit der Bor-Dotierung Defekte, welche unter Lichteinwirkung zu einer Verschlechterung der Materialqualität und somit auch der Solarzellenwirkungsgrade führen.

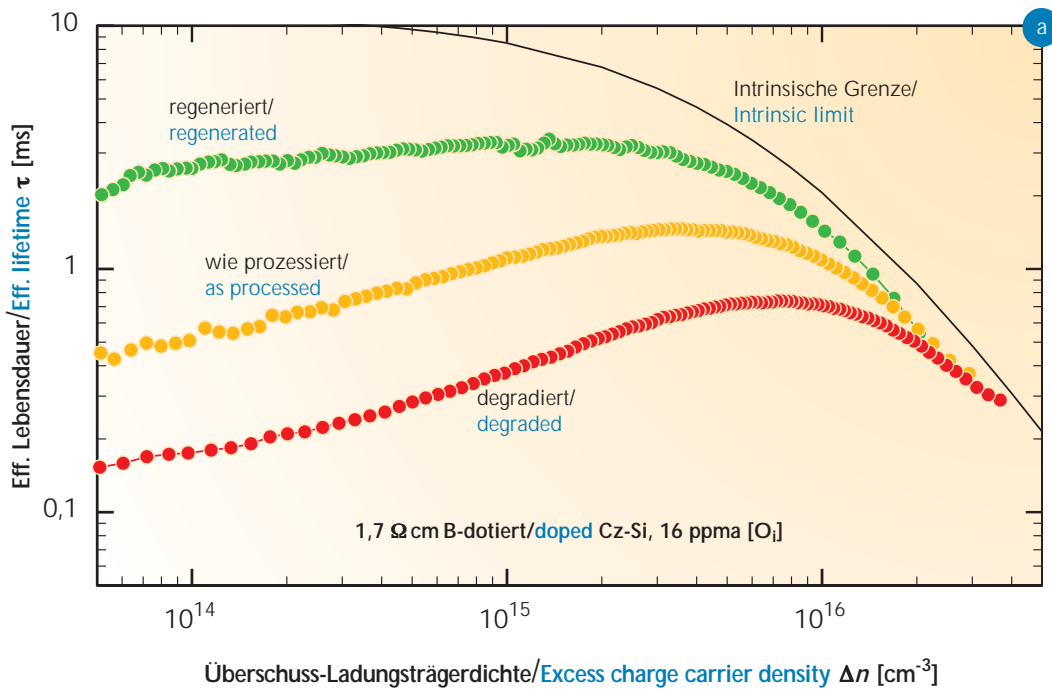
Diese sogenannte licht-induzierte Degradation kann vermieden werden, indem der Sauerstoffgehalt in Silizium deutlich gesenkt wird, oder indem man einen anderen Dotierstoff wie zum Beispiel Gallium verwendet. Zudem kann die Degradation durch eine Nachbehandlung umgekehrt werden.

PERC+ solar cells free of light-induced degradation

The conversion to PERC or PERC+ technology in mass production is continuing to progress steadily. The leading manufacturers report average efficiencies of 21.5% to 22.0%. These very good efficiencies are only possible with high-quality silicon base material.

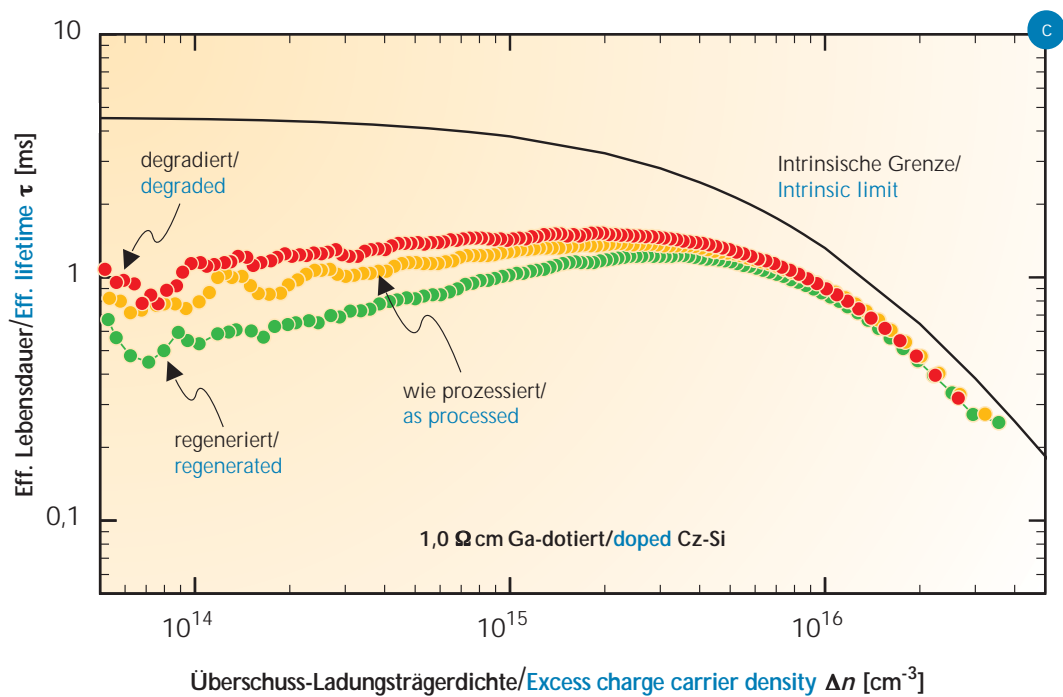
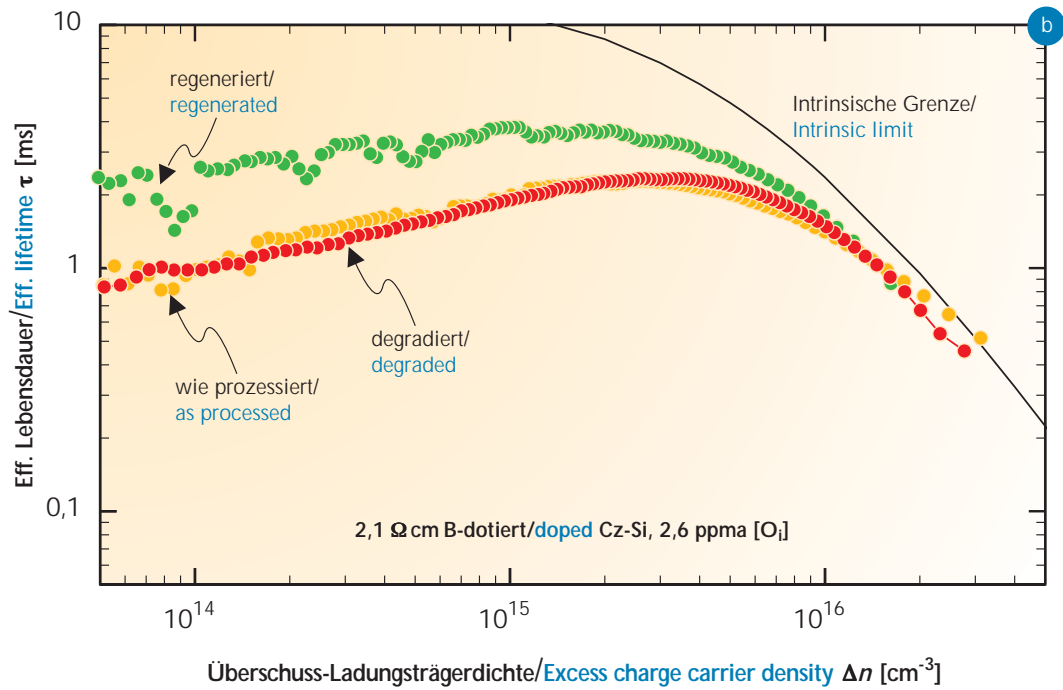
Industrial monocrystalline silicon contains relatively high amounts of oxygen. Together with the boron doping, the oxygen forms defects which, under exposure to light, lead to a deterioration of the material quality and thus also of solar cell efficiencies.

This so-called light-induced degradation can be avoided by significantly reducing the oxygen content in the silicon or by using another dopant such as gallium. In addition, the degradation can be reversed by after-treatment.



Abbildung/Figure 42: Ladungsträgerlebensdauer als Funktion der Überschussladungsträgerdichte in drei verschiedenen Silizium-Materialien: (a) industrietypisches Material, (b) Bor-dotiertes Silizium mit extrem wenig Sauerstoff und (c) Gallium-dotiertes Silizium. Die Proben wurden in jeweils drei verschiedenen Zuständen vermessen: vor Beleuchtung (•), nach Beleuchtung für 24 Stunden bei Raumtemperatur (•) und nach der Behandlung zur permanenten Deaktivierung der Bor-Sauerstoff-Defekte (•). Die durchgezogene schwarze Linie zeigt zum Vergleich das obere intrinsische Limit an.

Charge carrier lifetime as a function of excess charge carrier density in three different silicon materials: (a) industrial-grade material, (b) boron-doped silicon with extremely low oxygen content, and (c) gallium-doped silicon. The samples were measured in three different states: before illumination (•), after illumination for 24 hours at room temperature (•) and after treatment for permanent deactivation of the boron-oxygen defects (•). The solid black line shows the upper intrinsic limit for comparison.



Die sogenannte permanente Deaktivierung der Bor-Sauerstoff-Defekte erfolgt bei Temperaturen zwischen 120 °C und 200 °C und gleichzeitiger Beleuchtung. Sie funktioniert sowohl auf Solarzellen als auch auf Teststrukturen, an denen man direkt die Ladungsträgerlebensdauer messen kann.

Vergleicht man die drei Vermeidungsmechanismen miteinander, so erscheinen sie auf den ersten Blick ähnlich effektiv. So sieht man in Abbildung 42 die Ladungsträgerlebensdauer in drei verschiedenen Silizium-Materialien, gemessen auf speziellen Teststrukturen.

Material a ist ein aktuelles, industrietypisches Material, was so in der Solarzellenproduktion eingesetzt werden könnte. Material b und c dagegen werden noch für die industrielle Fertigung entwickelt. Material b enthält extrem wenig Sauerstoff, während Material c mit Gallium statt Bor dotiert ist.

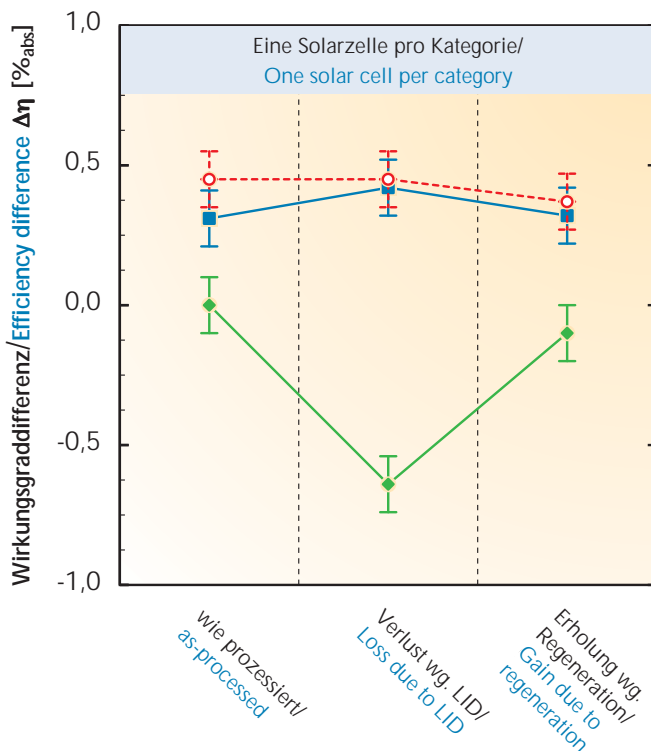
Für jedes Material wurde die Ladungsträgerlebensdauer in drei unterschiedlichen Zuständen gemessen. Wie oben erwähnt, bilden sich Bor-Sauerstoff-Defekte durch Beleuchtung. Wir messen die Ladungsträgerlebensdauer daher einmal vor Beleuchtung (•), einmal nach Beleuchtung (•) und zuletzt nach der Behandlung zur permanenten Deaktivierung der Bor-Sauerstoff-Defekte (•). Dies ermöglicht uns zu beurteilen, wie stark die verschiedenen Materialien von der Degradation betroffen sind bzw. wie gut die Qualität nach Deaktivierung ist.

The so-called permanent deactivation of boron-oxygen defects occurs at temperatures between 120 °C and 200 °C with simultaneous illumination. This works both on solar cells and on test structures, on which the lifetime of charge carriers can directly be measured.

If one compares the three avoidance methods with each other, they appear, at first sight, to be equally effective. Figure 42 shows the charge carrier lifetime in three different silicon materials, measured on special test structures.

Material a is a current, conventional industrial material that could be used in solar cell production. Materials b and c, on the other hand, are still being developed for industrial production. Material b contains extremely little oxygen, while material c is doped with gallium instead of boron.

For each material the charge carrier lifetime was measured in three different states. As mentioned above, boron-oxygen defects are formed by illumination. We therefore measure the charge carrier lifetime once before illumination (•), once after illumination (•) and finally after the permanent deactivation treatment of the boron-oxygen defects (•). This enables us to assess the extent to which the different materials are affected by the degradation and how good the quality is after deactivation.



Abbildung/Figure 43: Unterschiede im Wirkungsgrad von PERC+-Solarzellen, die aus den drei verschiedenen Materialien hergestellt wurden. Als Vergleichsniveau wurde der Wirkungsgrad des industrietypischen Materials direkt nach Fertigstellung gewählt. Die Veränderungen durch Beleuchtung bei Raumtemperatur sowie durch Beleuchtung bei erhöhter Temperatur sind jeweils mit Bezug zum Ausgangswert aufgetragen.

Differences in the efficiency of PERC+ solar cells manufactured from the three different materials. As a baseline, the efficiency of the conventional industrial material after manufacture was chosen. The changes due to illumination at room temperature and illumination at an elevated temperature are plotted with reference to the initial value.

Das industrietypische Material zeigt eine sehr starke Verschlechterung der Ladungsträgerlebensdauer durch Beleuchtung (Unterschied zwischen ● und ●). Die Nachbehandlung zur Deaktivierung der Defekte erhöht die Ladungsträgerlebensdauer jedoch ebenfalls sehr stark, so dass diese am Ende sogar höher liegt als die ursprünglich gemessene Ladungsträgerlebensdauer.

Die Ladungsträgerlebensdauer im sauerstoffarmen, Bor-dotierten Material ändert sich dagegen sehr wenig, was auf eine sehr geringe Konzentration an Bor-Sauerstoff-Defekten schließen lässt. Gleiches gilt für das Gallium-dotierte Material. Vergleicht man die Absolutwerte der Ladungsträgerlebensdauer für die verschiedenen Materialien, sieht man, dass das industrietypische Material nach Deaktivierung auf demselben Niveau liegt wie das sauerstoffarme Material. Die Materialqualität ist also vergleichbar gut.

Solarzellen, die aus den drei verschiedenen Silizium-Materialien hergestellt wurden, zeigen ein ähnliches Verhalten (siehe Abbildung 43). Der Wirkungsgrad für das sauerstoffarme und das Gallium-dotierte Material ändert sich durch die Beleuchtung und die Nachbehandlung nur innerhalb der Messgenauigkeit. Die Solarzelle aus dem industrietypischen Material wird dagegen durch Beleuchtung deutlich schlechter. Die Nachbehandlung zur Deaktivierung der Bor-Sauerstoff-Defekte führt zu einer Erholung auf das Ausgangsniveau vor Beleuchtung.

Alle drei Vermeidungsstrategien sind somit erfolgreich: Entweder tritt die licht-induzierte Degradation tatsächlich nicht auf, oder sie kann vollständig umgekehrt werden.

Ein Ergebnis der Untersuchung ist allerdings überraschend: Wie oben erwähnt, weisen die speziellen Teststrukturen des industrietypischen Materials und des sauerstoffarmen Materials eine fast identische Qualität auf. Dennoch unterscheiden sich die Wirkungsgrade der PERC+-Solarzellen um 0,3 %_{abs}. Es gibt verschiedene Hypothesen, woher dieser Unterschied rührt. Experimente zur Überprüfung dieser Hypothesen sind derzeit in Arbeit.

The conventional industrial material displays a very severe deterioration of its charge carrier lifetime due to illumination (difference between ● and ●). However, the after-treatment to deactivate the defects also greatly increases charge carrier lifetime, so that in the end it is even higher than the originally charge carrier lifetime.

The charge carrier lifetime in low-oxygen, boron-doped material, on the other hand, changes very little, which indicates a very low concentration of boron-oxygen defects. The same applies to the gallium-doped material. If one compares the absolute charge carrier lifetime values for the different materials, one sees that the conventional industrial material after deactivation is at the same level as the low-oxygen material. The material quality is therefore comparably good.

Solar cells made of the three different silicon materials display similar behavior (see Figure 43). The efficiency of the low-oxygen and gallium-doped material changes after illumination and after-treatment only within the measurement accuracy. The solar cell made of the conventional industrial material, on the other hand, becomes significantly worse as a result of illumination. The post-treatment to deactivate the boron-oxygen defects leads to a recovery to the original level before illumination.

All three avoidance strategies are therefore successful: either the light-induced degradation does not occur at all, or it can be completely reversed.

One result of the tests is, however, surprising: as mentioned above, the special test structures with the conventional industrial material and the low-oxygen material are shown to have an almost identical quality. Nevertheless, the efficiencies of the PERC+ solar cells differ by 0.3 %_{abs}. There are different hypotheses about where this difference comes from. Experiments to test these hypotheses are currently underway.

Abteilung Solare Systeme

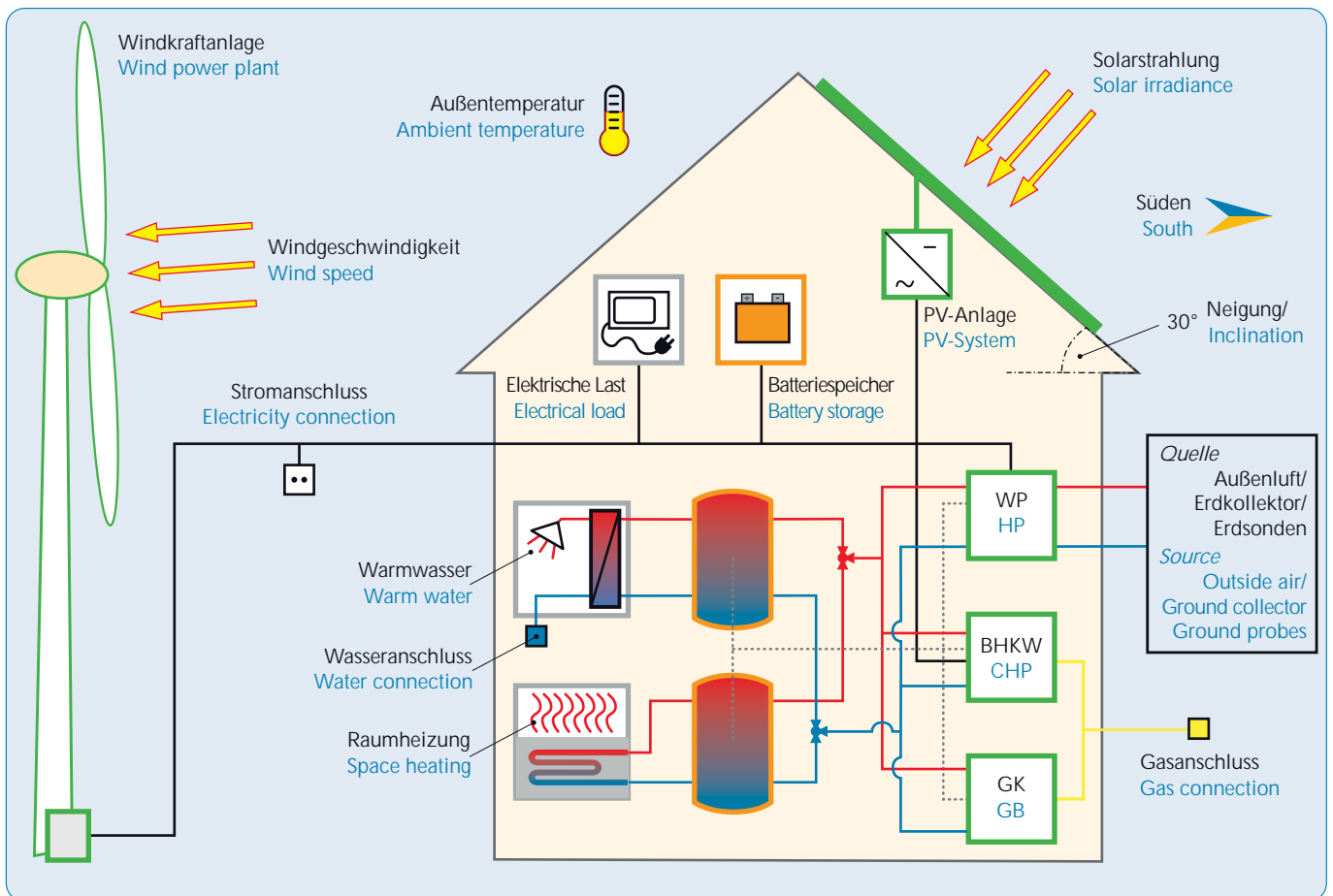
Mieterstrom Tool – Modell zur ökonomischen und ökologischen Bewertung von Gebäudeversorgungsverfahren

Der Zubau an Photovoltaik (PV)-Anlagen blieb 2017 im dritten Jahr in Folge hinter den Zielsetzungen des Gesetzgebers von 2,5 GW_p/a neu installierter Leistung zurück. Um dieser Entwicklung entgegen zu wirken, und den Zubau in Ballungszentren mit hohem Stromverbrauch zu stärken, hat die Bundesregierung ein Mieterstrom (MS)-Gesetz erarbeitet und in das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) 2017 aufgenommen. Allerdings ist der entstandene Fördermechanismus sehr komplex. Regional unterschiedliche Strompreise und Witterungsbedingungen machen pauschale Aussagen zur Wirtschaftlichkeit von

Solar systems department

Landlord-to-tenant electricity supply tool – Model for the economic and ecological assessment of building supply systems

For the third year in succession, the increase in photovoltaic (PV) systems in 2017 missed the legislator's target of 2.5 GW_p/a of newly-installed capacity. In order to counteract this development and bolster the expansion in urban areas with high electricity consumption, the federal government has drawn up legislation to support landlord-to-tenant electricity supply (LTES) and included it in the Renewable Energy Sources Act (EEG) 2017. However, the resulting subsidy mechanism is very complex and regionally different electricity prices and weather conditions make it almost impossible to give general



Abbildung/Figure 44: Schematische Darstellung der vom Modell abbildbaren Gebäudeversorgung – die Versorgungskomponenten (grün), Speicher (orange) und Verbräuche (grau) können nach Belieben gewählt und parametrisiert werden; verschiedene Eingangsprofile (rot/gelb) ermöglichen eine individuelle, standortspezifische Betrachtung.

Schematic representation of the building supply that can be illustrated by the model – the supply components (green), storage facilities (orange) and consumption areas (grey) can be selected and parameterized as desired; different input profiles (red/yellow) enable an individual, site-specific assessment.

neuen Versorgungskonzepten nahezu unmöglich. Um die Auslegung von Mieterstrommodellen zu vereinfachen, haben wir ein Modell entwickelt, das die elektrischen und thermischen Energieflüsse von Gebäuden bilanziert und auf dieser Basis verschiedene Versorgungskonzepte ökonomisch und ökologisch bewertet. Das Modell wurde in einer Tabellenkalkulationssoftware abgebildet und wird vom ISFH zur kostenfreien Nutzung als Excel[®]-Tabelle unter <https://isfh.de/tools/mieterstrom> zur Verfügung gestellt. Es kann nach eigenen Anforderungen parametrisiert werden und bietet somit jedem interessierten Planer von Mieterstromprojekten eine solide Grundlage für Investitionsentscheidungen.

Das Modell deckt die folgenden Versorgungskomponenten in beliebiger Größe und Kombination ab (siehe Abbildung 44):

- PV-Anlagen
- kleine Windkraftanlagen (WKA)
- Batteriespeicher
- Blockheizkraftwerke (BHKW)
- Wärmepumpen (WP)
- Gaskessel (GK)
- Warmwasserspeicher

Jahresstromverbräuche, Jahresheizwärmebedarfe und tägliche Warmwasserbedarfe im betrachteten Gebäude können pro Wohneinheit individuell hinterlegt werden. Mit Hilfe meteorologischer Testreferenzjahre und repräsentativen elektrischen Jahreslastprofilen werden auf Jahresbasis für jede Stunde die Leistungen aller elektrischen und thermischen Verbraucher sowie Erzeuger berechnet (Abbildung 45). Dies ermöglicht unter Berücksichtigung der Quote der an der Mieterstromversorgung teilnehmenden Mieter die Berechnung des vor Ort erzeugten und direkt verbrauchten Stromes. Dieser Stromverbrauch, das gewählte Messkonzept und die im Modell hinterlegten versorgungsspezifischen Konditionen (Abbildung 46), bilden die Grundlage für die Ermittlung der Einnahmen für einen Investor und der möglichen Kosteneinsparungen für Mieter. Im Falle einer Strom-Wärme-gekoppelten Gebäudeversorgung werden die auf die Bewohner umlegbaren jährlichen Nebenkosten anhand einer Referenzwärmeversorgung (Gaskessel) berechnet. So kann vom Modell berücksichtigt werden, dass innovative Konzepte mit Wärmepumpen (WP) oder Blockheizkraftwerken (BHKW) die Einnahmen des Stromverkaufs und gleichzeitig die Kosten der Wärmeversorgung beeinflussen.

Im Rahmen von Parameterstudien mit dem Modell zeigt sich, dass Mieterstrom-Versorgungskonzepte mit PV-Anlagen unter den derzeitigen Rahmenbedingungen in Deutschland wirtschaftlich betrieben werden können. So amortisiert sich beispielsweise für ein Gebäude mit 20 Wohneinheiten, das einen deutschlandtypischen Verbrauch und eine Mieter-Teilnehmerquote von 70% aufweist, die Investition in eine Mieterstromversorgung mit 20kW_p PV-Anlage (26.000€) bereits nach 10 Jahren. Unter der Annahme, dass der Verkaufspreis des PV-Stroms an die Mieter 10% günstiger als der Grundversorgertarif ist, kann der Investor nach 20-jährigem Betrieb mit einem Gewinn von

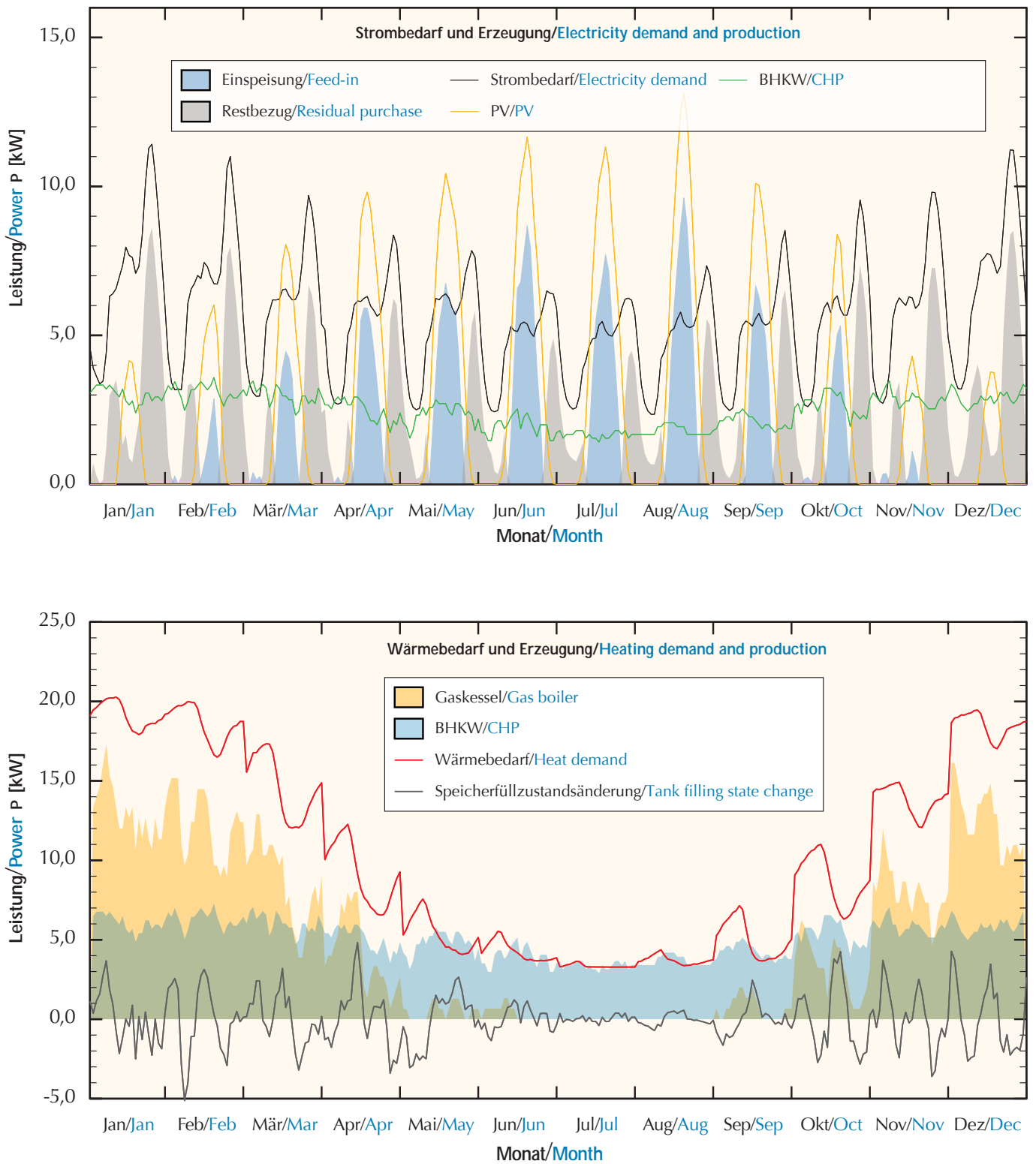
statements about the cost effectiveness of new supply concepts. In order to simplify the design of landlord-to-tenant electricity supply projects, we have developed a model that balances the electrical and thermal energy flows of buildings and on this basis provides an economic and ecological evaluation of various supply concepts. The model was translated into a spreadsheet program and is provided by ISFH free of charge use as an Excel[™] spreadsheet at <https://isfh.de/tools/mieterstrom>. It can be individually parameterized according to one's own requirements and offers each interested planner of landlord-to-tenant electricity supply projects a solid basis for investment decisions.

The model covers the following supply components in any size and combination (see Figure 44):

- PV systems
- small wind power plants (WPP)
- battery storages
- combined heat and power units (CHP)
- heat pumps (HP)
- gas boilers (GB)
- hot water storage tanks

Annual electricity consumption, annual heating requirements and daily hot water requirements can be recorded individually for each residential unit in the building. Using meteorological test reference years and representative annual electrical load profiles, the hourly performance of every electrical and thermal consumer and generator is calculated on an annual basis (Figure 45). This enables the calculation of the locally generated and directly consumed electricity, taking into account the quota of tenants participating in the landlord-to-tenant electricity supply. This electricity consumption, the selected measurement concept and the supply-specific conditions recorded in the model (Figure 46) form the basis for determining the income for an investor and the possible cost savings for tenants. In the case of a combined heat and power supply for buildings, the annual service charges, which can be apportioned to the residents, are calculated on the basis of a reference heating supply (gas boiler). Thus, the model can take into account the fact that innovative concepts with heat pumps (HP) or combined heat and power unit (CHP) affect the income from electricity sales and at the same time the cost of heat supply.

Parameter studies using the model show that landlord-to-tenant electricity supply concepts with PV systems can be operated economically in Germany in present circumstances. For example, for a building with 20 residential units, which has a typical German consumption and a tenant participation rate of 70%, the investment in a landlord-to-tenant electricity supply system with a 20kW_p PV system (€26,000) pays for itself after only 10 years. Assuming that the sales price of the PV electricity to the tenants is 10% cheaper than the basic supply tariff, the investor can expect a profit of €28,000 after 20 years of operation. Of this, €9,000 are attributable to the subsidies from the new legislation. The annual savings per participating rental unit are between €25 and €30. The model predicts that battery storage

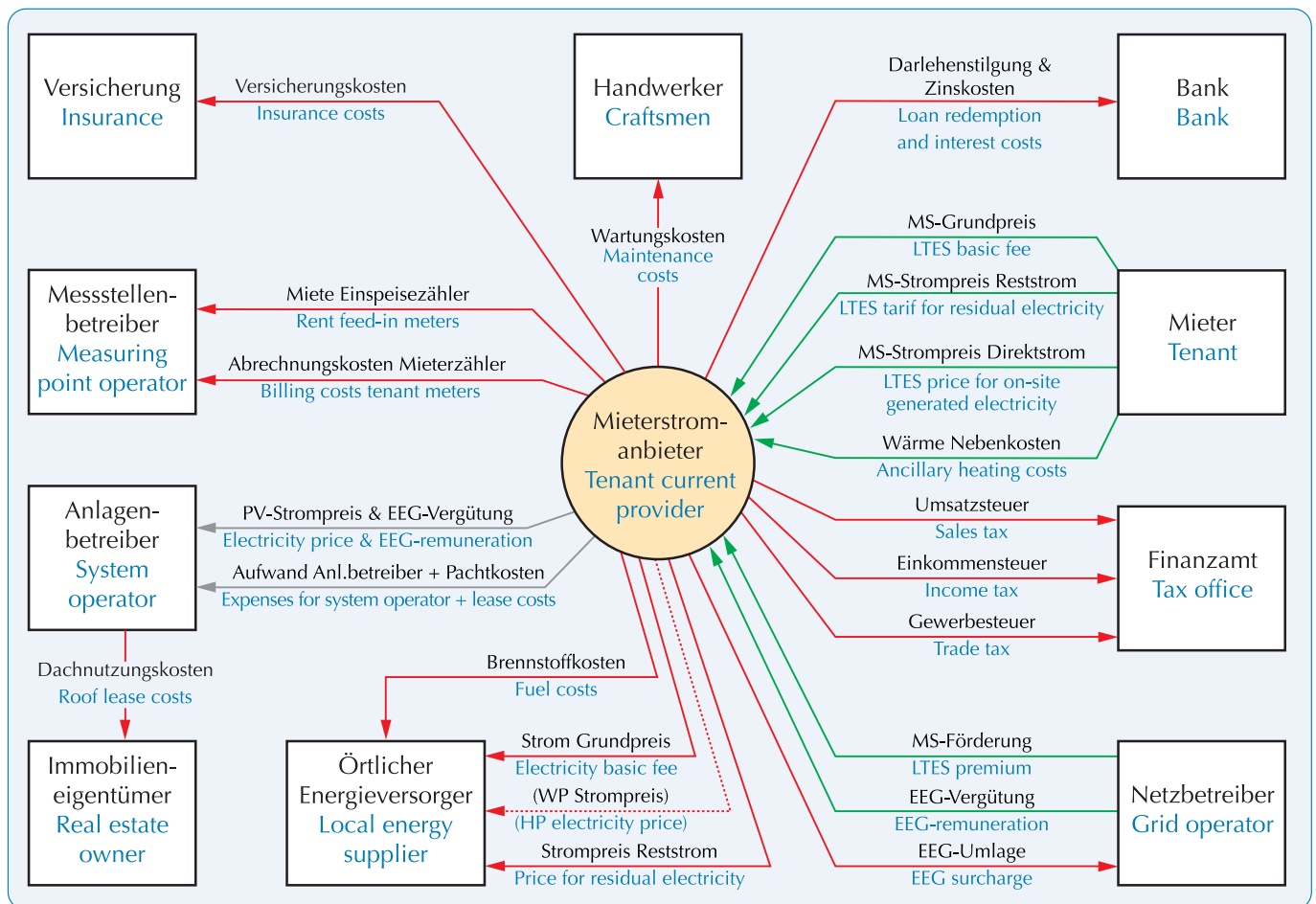


Abbildung/Figure 45: Elektrische und thermische Leistungsverläufe (über jeden Monat aggregierte Tagesverläufe) für eine Gebäudeversorgung mit 20 Wohneinheiten durch eine 20 kW_p PV-Anlage, ein 4 kW_{el} Blockheizkraftwerk und einen 20 kW_{th} Gaskessel am Standort Dresden.

Electrical and thermal performance patterns (daily patterns aggregated over each month) for a building supply with 20 residential units supplied with a 20 kW_p PV system, a 4 kW_{el} combined heat and power unit and a 20 kW_{th} gas boiler at the Dresden site.

28.000€ rechnen. Davon entfallen 9.000€ auf die Zuschüsse der neuen Mieterstromvergütung. Die jährlichen Einsparungen pro teilnehmender Mieteinheit liegen zwischen 25€ und 30€. Das Modell prognostiziert, dass Batteriespeicher in MS-Konzepten nicht wirtschaftlich betrieben werden können. Und die Errichtung kleiner WKA zur Ko-Versorgung ist nur an Standorten mit hohen Windgeschwindigkeiten, d.h. mit mehr als durchschnittlich 5 m/s auf Generatorhöhe empfehlenswert. Besonders interessant ist die Strom-Wärme-gekoppelte Versorgung durch BHKW und PV-Anlage. Für das obige Beispiel mit einem zusätzlichen wärmegeführten BHKW (4 kW_{el}) amortisiert sich die Gesamtinvestition bereits nach 8 Jahren. Die Gewinne nach 20-jährigem Betrieb liegen dann bei 41.000€ und auf Grund des wesentlich höheren Autarkiegrades der elektrischen Gebäudeversorgung verdoppeln sich die jährlichen Einsparungen pro Mieteinheit auf 50€ bis 60€.

systems in landlord-to-tenant electricity supply concepts cannot be operated economically and that the installation of small wind turbines for co-supply is only advisable at locations with high wind speeds (i.e. above an average of 5 m/s at generator height). The combined heat and power supply is of particular interest through the use of CHP and PV systems. For the above example with an additional heat-regulated CHP (4 kW_{el}), the total investment already pays for itself after 8 years. The net profit after 20 years of operation is €41,000 and due to the substantially higher degree of self-sufficiency of the electricity supply of the building the annual savings per rental unit double to between €50 and €60.



Abbildung/Figure 46: Vertragsbeziehungen und jährliche Zahlungsströme für den Mieterstromanbieter (grün: Einnahmen, rot: Ausgaben, grau: im Modell nicht berücksichtigt, weil der Mieterstromanbieter Anlagenbetreiber ist).

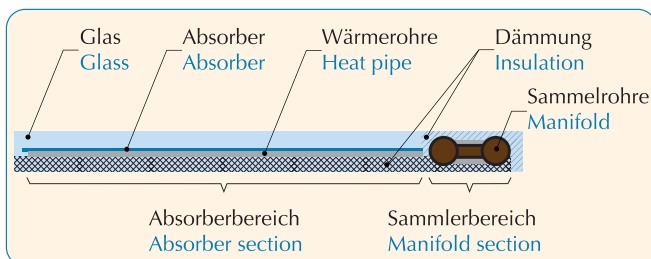
Contractual relationships and annual cash flows for the landlord supplying electricity to his tenants (green: earnings, red: expenses, grey: not included in the model, because the electricity supplier is also the system operator).

Michael Knoop

Kostengünstige und zuverlässige solarthermische Anlagen mit neuartigen Wärmerohr-Kollektoren

Wärmerohre in Sonnenkollektoren transportieren die absorbierte Wärmeenergie zum Solarkreisfluid und werden insbesondere wegen ihrer Vorteile in Bezug auf die Hydraulik seit langem in Vakuumröhrenkollektoren (VRK) eingesetzt. Zudem lässt sich der Wärmerohr-Kreisprozess unter Ausnutzung der sog. Austrocknungsgrenze bei hohen Temperaturen gezielt einschränken und der Solarkreis im Stagnationsfall vor Überhitzung schützen. Neben dem Anstieg der allgemeinen Betriebssicherheit für derartige Anlagen lassen sich kostengünstigere Komponenten einsetzen; außerdem ist der Wartungsaufwand deutlich kleiner.

Im Vergleich zu direkt durchströmten Kollektoren entspricht das Wärmerohr einem zusätzlichen Widerstand im Nutzwärme-Strompfad. Um dennoch hohe Wirkungsgrade zu erreichen, kommt der Qualität der thermischen Anbindung, insbesondere im Flachkollektor (FK) wegen höherer Wärmeverluste im Vergleich zum VRK, ein großer Stellenwert zu. Schwerpunkte der Arbeiten am ISFH sind die Optimierung des Wärmerohr-Kreisprozesses, die geeignete Integration in FK sowie die Evaluation möglicher Kosteneinsparpotenziale in solarthermischen Anlagen.



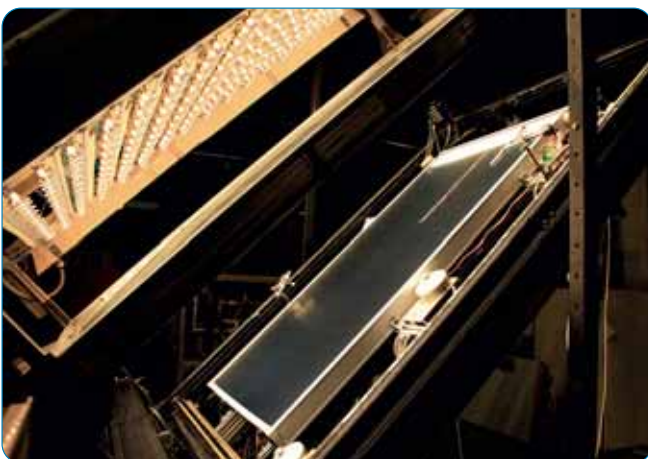
Cost-effective and reliable solar-thermal systems with innovative heat pipe collectors

Heat pipes in solar collectors transport the absorbed heat energy to the solar circuit fluid and have been used for a long time in evacuated tube collectors (ETC), particularly because of their advantages in terms of the hydraulics. Furthermore, the heat pipe cycle can be deliberately reduced at high temperatures and the solar circuit can be protected from overheating by using the so-called dry-out limit. In addition to the increase in operational reliability, less expensive components can be used for such systems; and furthermore maintenance costs are significantly reduced.

In comparison to direct flow collectors, the heat pipe represents an additional resistance in the useful heat flux path. In order, however, to be able to achieve high efficiencies, the quality of the thermal coupling, especially in the flat-plate collector is of great importance because of higher heat losses in comparison to the ETC. The focus of work at ISFH is the optimization of the heat pipe cycle, the appropriate integration into the flat-plate collector and the evaluation of the possible potential for cost savings in solar-thermal systems.

Abbildung/Figure 47: Schematische Darstellung des Prototypkollektors im Längsschnitt.

Schematic longitudinal section of the prototype collector.

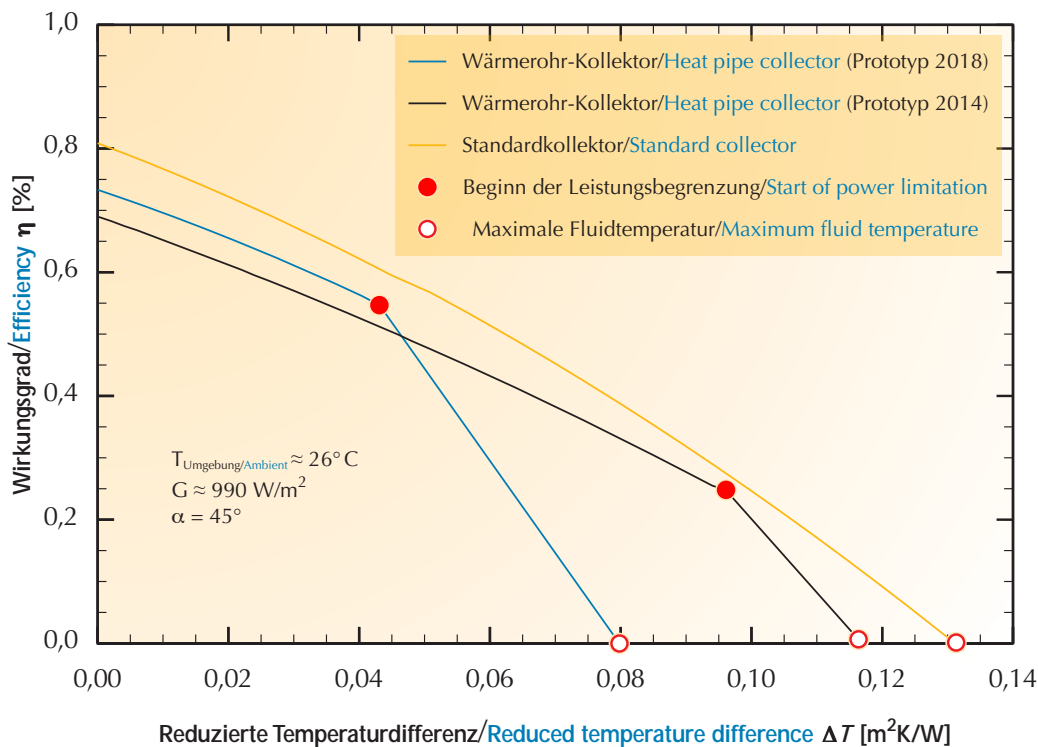


Abbildung/Figure 48: Neu entwickelter Wärmerohr-Kollektor während Leistungsmessungen nach ISO 9806 im Sonnensimulator am ISFH.

Newly-developed heat pipe collector during performance measurements in accordance with ISO 9806 in the solar simulator at ISFH.

In Kooperation mit der Fa. KBB Kollektorbau wurde ein FK-Konzept (s. Abbildung 47) in Form eines Prototyp-Kollektors realisiert. Anhand von Leistungsmessungen im Sonnensimulator wurden die Güte der thermischen Anbindung sowie das Verhalten im Stagnationsfall bewertet (s. Abbildung 48). Entsprechend Abbildung 49 erreicht der Prototyp einen Konversionsfaktor ($\Delta T = 0$) von 73,3 %, was im Vergleich zu einer früheren ISFH-Entwicklung eine Steigerung um 4,3 %-Punkte bedeutet. Der Wirkungsgrad kann beispielsweise durch den Einsatz innenberippter Wärmerohre weiter optimiert werden, sodass die Zielmarke von 75 % erreicht werden kann. Der Konversionsfaktor eines Standard-FK liegt dagegen bei etwa 80 %, was bei gleicher Bauweise (Verglasung, Absorber, etc.) aus der direkten Durchströmung des Kollektors resultiert. Allerdings ergeben sich dadurch hohe Stagnationstemperaturen von 180 - 200 °C. Durch die Temperaturbegrenzung im aktuellen FK-Prototyp kann hingegen die maximale Solarkreistemperatur auf unter 130 °C reduziert werden. Je nach Ausführung der Sammlerkonstruktion konnten an den Kollektoranschlüssen im Stagnationsfall sogar nur Temperaturen von 80 - 100 °C gemessen werden. Mit den entwickelten Wärmerohr-Kollektoren lässt sich die Verdampfung des Wärmeträgers bei üblichen Anlagendrücken komplett vermeiden.

A flat-plate collector concept in the form of a prototype collector has been implemented in cooperation with the company KBB Kollektorbau (s. Figure 47). The quality of the thermal coupling and the behavior in the event of stagnation were evaluated using performance measurements in the solar simulator (s. Figure 48). According to Figure 49, the prototype achieves a conversion factor ($\Delta T = 0$) of 73.3 %, which, compared to a previous ISFH development, represents an increase of 4.3 %_{abs}. The efficiency can be further optimized, for example, by using heat pipes with internal grooves, so that the target of 75 % can be achieved. The conversion factor of a standard flat-plate collector is by comparison approx. 80 %, which, if similarly constructed (glazing, absorber, etc.), results from the direct flow through the collector. High stagnation temperatures of 180 - 200 °C, however, arise from it. By limiting the temperature in the current flat-plate prototype, the maximum solar circuit temperature can, however, be reduced to under 130 °C. Depending on the design of the manifold, even in the event of stagnation, temperatures of only 80 - 100 °C were measured at the collector connections. With the developed heat pipe collectors, evaporation of the solar circuit fluid can be completely avoided at normal system pressures.

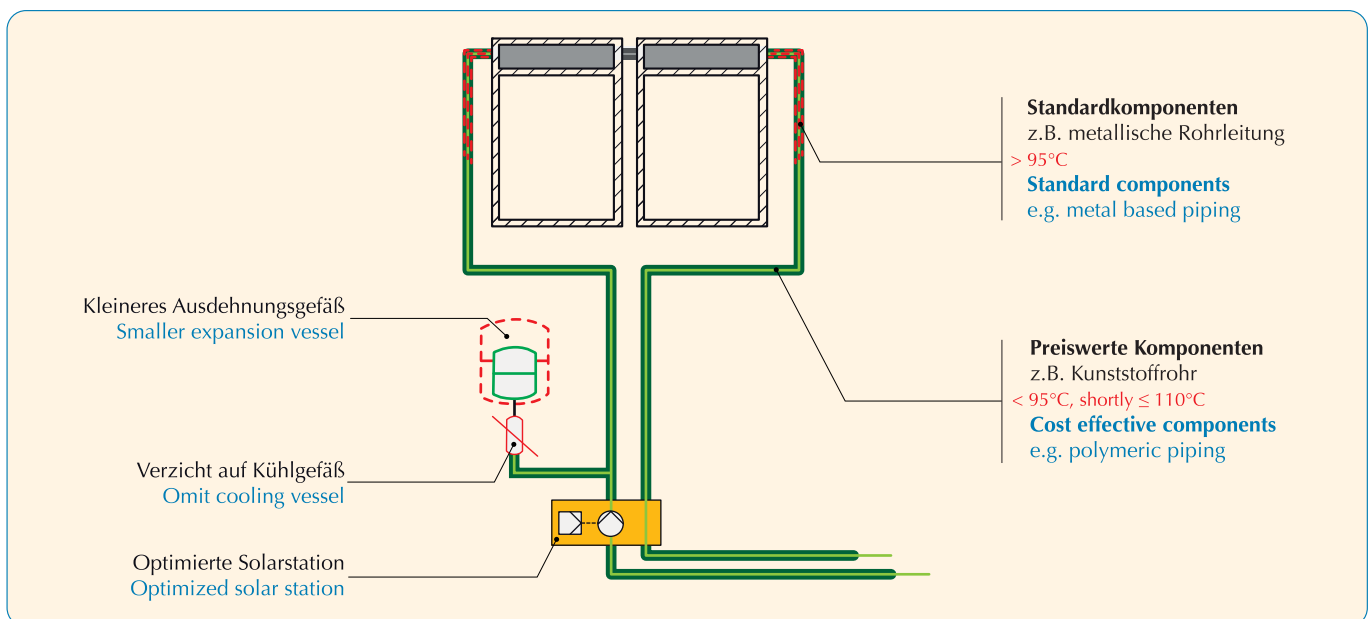


Abbildung/Figure 49: Wirkungsgradkennlinie des neu entwickelten Wärmerohr-Kollektors im Vergleich zu einem früheren ISFH-Prototyp sowie einem sonst baugleichen Standardkollektor über der mittleren Temperaturdifferenz.

Efficiency characteristics of the newly-developed heat pipe collector in comparison to an earlier ISFH prototype as well as an otherwise similarly constructed standard collector over the average temperature difference.

Zur ganzheitlichen Bewertung sind die möglichen Einsparpotenziale der zu erreichenden Systemleistungsfähigkeit des Wärmerohr-Kollektors gegenüber zu stellen. Dazu dienen die solaren Wärmegestehungskosten (LCoHsol) nach dem in der IEA SHC TASK 54 definierten und international anerkannten Berechnungsverfahren^[10]. Das betrachtete Referenzsystem stellt mit 5 m² Kollektorfläche und 300l Speichervolumen eine typische solare Trinkwarmwasseranlage in Deutschland dar. Infolge der oben beschriebenen Begrenzung der Maximaltemperatur im Stagnationsfall können Solarkreis-Komponenten, wie Membranausdehnungsgefäß, Kühlgefäß und Rohrleitungen kleiner dimensioniert, bzw. aus einfacheren Materialien, wie kostengünstigen Kunststoffen, ausgeführt werden (s. Abbildung 50). Zusätzlich resultieren Vorteile durch eine einfachere Anlageninstallation, z. B. bei Rohrmontage und Befüllen des Solarkreises. Im Vergleich zum Referenzsystem mit Standardkollektor kann eine Reduzierung der Investitionskosten um bis zu 19% erreicht werden.

For a comprehensive evaluation, the possible saving potential has to be set against the achievable system performance of the heat pipe collector. For this purpose, the Levelized Cost of Solar Heat (LCoHsol) calculated^[10] in accordance with the procedure defined and internationally recognized in IEA SHC TASK 54 is used. The reference system used, with a 5 m² collector surface and 300l storage tank volume, represents a typical solar domestic hot water system in Germany. As a result of the limitation of the maximum temperature in the event of stagnation described above, solar circuit components such as the diaphragm expansion vessel, the cooling vessel and piping can be downsized or made from simpler materials such as inexpensive plastics (s. Figure 50). In addition, advantages occur through simpler installation of the system, e.g. pipe assembly and filling the solar circuit. In comparison to the reference system with a standard collector, a reduction of investment costs of up to 19% can be achieved.



Abbildung/Figure 50: Darstellung möglicher Vereinfachungen in Solaranlagen mit Temperaturbegrenzung.

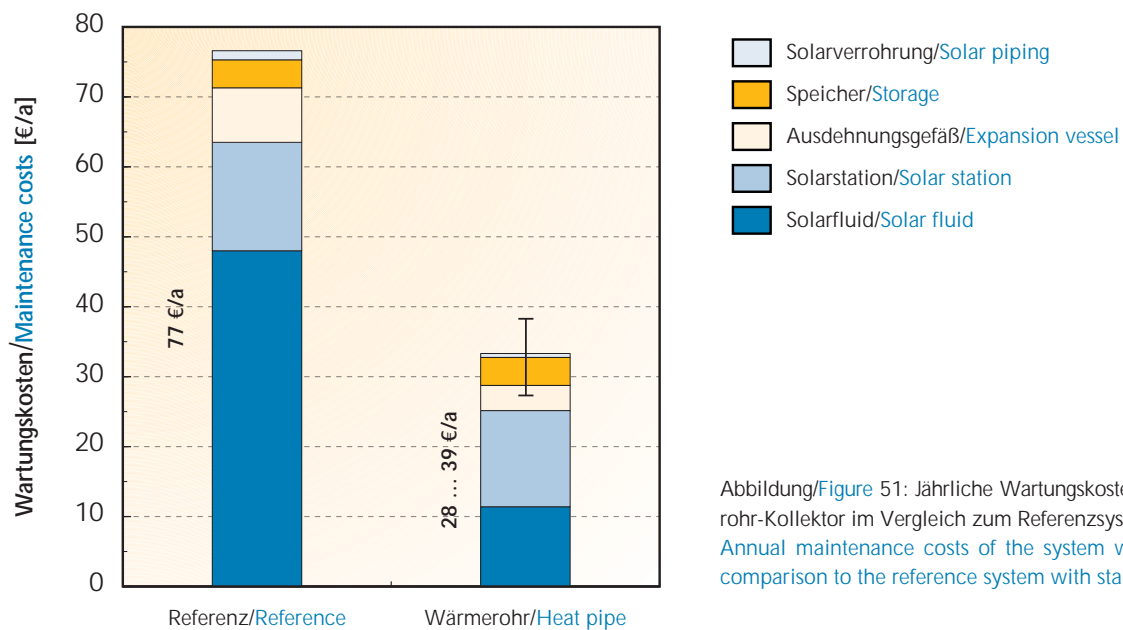
Representation of possible simplifications in solar circuits with temperature limitation.

Aus der geringeren thermomechanischen Belastung des Systems resultieren eine allgemein höhere Betriebssicherheit sowie eine Vergrößerung von Wartungsintervallen. Im Besonderen kann die Lebensdauer des Solarkreisfluids deutlich erhöht werden. Im Betrachtungszeitraum einer Anlage, der bei 25 Jahren liegt, muss es in der Regel drei Mal erneuert werden. In Systemen mit Wärmerohr-Kollektor ist das Wasser/Glykol-Gemisch im gleichen Zeitraum dagegen nur einmal zu erneuern, was den Wartungsaufwand erheblich reduziert (s. Abbildung 51). Die jährlichen Kosten für Wartung und Instandhaltung lassen sich

The lower thermomechanical stress on the system leads to a generally higher level of operational reliability as well as an extension of maintenance intervals. In particular, the durability of the solar circuit fluid is significantly increased. In a 25-year period for this system, it would normally need to be replaced three times. In systems with a heat pipe collector, the water-glycol mixture would, in contrast, only need to be replaced once in the same period, which greatly reduces maintenance costs (see Figure 51). The annual costs for maintenance and servicing can be reduced from 77 €/a with a standard collector

[10] Louvet, Y. et al.: Guideline for levelized cost of heat (LCoH) calculations for solar thermal applications. IEA TASK 54 Info Sheet A01, 10.4.2018

[10] Louvet, Y. et al.: Guideline for levelized cost of heat (LCoH) calculations for solar thermal applications. IEA TASK 54 Info Sheet A01, 10.4.2018



Abbildung/Figure 51: Jährliche Wartungskosten des Systems mit Wärmerohr-Kollektor im Vergleich zum Referenzsystem mit Standardkollektor. Annual maintenance costs of the system with heat pipe collector in comparison to the reference system with standard collector.

von 77 €/a mit Standardkollektor auf 28 €/a mit Wärmerohr-Kollektor reduzieren. Unter Berücksichtigung der gesamten Kosten sowie der jeweils simulierten Solarerträge können die solaren Wärmegehungskosten für das System mit Wärmerohr-Kollektor nach aktuellen Berechnungen von 10,3 auf 7,6 ct/kWh gesenkt werden, was einem Einsparpotenzial von 26 % entspricht.

to 28 €/a with a heat pipe collector. Bearing in mind the total costs as well as the respective simulated solar yield, the LCoHsol for the system with the heat pipe collector can be reduced from 10.3 to 7.6 c/kWh, which represents a potential saving of 26 %.

Akademische Ausbildung

Den Forschungseinrichtungen und den Universitäten kommt die gemeinsame Aufgabe zu, ausreichend Nachwuchs für die Forschung auszubilden.

Im Jahr 2018 wurden vom ISFH eine Reihe von Lehrveranstaltungen an der Leibniz Universität Hannover und niedersächsischen Fachhochschulen durchgeführt:

→ Vorlesung „Physik der Solarzelle“

*Dozent: Prof. Dr.-Ing. Rolf Brendel, 2 SWS^[11].
Fakultät für Mathematik und Physik,
Leibniz Universität Hannover.*

Diese Vorlesung behandelt die Grundlagen der Halbleiterphysik und alle physikalischen Prozesse, die für die Funktion einer Solarzelle wichtig sind. Dabei wird insbesondere auf die optischen Eigenschaften des Halbleiters, die Licht-einkopplung in die Solarzelle, den Transport von Elektronen und Löchern, sowie auf die Rekombination von Ladungsträgern eingegangen. Die Vorlesung gibt eine Einführung in das Herstellen und experimentelle Charakterisieren von Solarzellen. Die physikalischen Grenzen des Wirkungsgrades von Solarzellen werden berechnet. Die Vorlesung richtet sich an Studierende aus der Physik und aus den Ingenieurwissenschaften ab dem fünften Semester.

→ Übung zu „Physik der Solarzelle“

*Dozent: Dr. Carsten Schinke, 2 SWS.
Fakultät für Mathematik und Physik,
Leibniz Universität Hannover.*

→ Vorlesung „Defekte in Halbleitern“

*Dozent: Prof. Dr. Jan Schmidt, 2 SWS.
Fakultät für Mathematik und Physik,
Leibniz Universität Hannover.*

Die elektronischen und optischen Eigenschaften von Halbleitern werden vielfach von Defekten bestimmt, die unabsichtlich (z. B. durch Kristallzucht und Prozessierung) oder auch absichtlich (z. B. als Dotierung) eingebracht werden. Diese Lehrveranstaltung behandelt die Thermodynamik, Kinetik und Struktur solcher Defekte unter besonderer Berücksichtigung halbleiterspezifischer Probleme, Konzepte und Methoden. Neben grundlegender Behandlung der relevanten Ansätze werden Querverbindungen zu technologischen Anwendungen in der Photovoltaik, Mikro- und Optoelektronik besprochen.

Academic education

Research institutions and universities have the joint task of training sufficient young people to undertake research.

In 2018 a number of teaching events were held at the Leibniz Universität Hannover and Lower Saxon' technical colleges by ISFH:

→ Course “Physics of solar cells”

*Lecturer: Prof. Dr.-Ing. Rolf Brendel, 2 SCH^[11].
Faculty of Mathematics and Physics,
Leibniz Universität Hannover.*

This course deals with the basics of semi-conductor physics and all physical processes which are important to the function of a solar cell. At the same time, in particular, the optical characteristics of the semi-conductor, the trapping of light in the solar cell, the transport of electrons and holes as well as the recombination of charge carriers are considered. The course gives an introduction into the production and experimental characterization of solar cells. The physical limits of the efficiency levels of solar cells are calculated. The course is aimed at students of physics and engineering science from the fifth semester onwards.

→ Exercise to “Physics of solar cells”

*Lecturer: Dr. Carsten Schinke, 2 SCH.
Faculty of Mathematics and Physics,
Leibniz Universität Hannover.*

→ Course “Defects in semiconductors”

*Lecturer: Prof. Dr. Jan Schmidt, 2 SCH.
Faculty of Mathematics and Physics,
Leibniz Universität Hannover.*

The electronic and optical properties of semiconductors are often determined by defects that are introduced unintentionally (e.g. by crystal growth and processing) or intentionally (e.g. as doping). This course deals with thermodynamics, kinetics and structure of such defects with special emphasis on semiconductor-specific problems, concepts and methods. In addition to the fundamental treatment of the relevant approaches, cross-links to technological applications in photovoltaics, microelectronics and optoelectronics are discussed.

[11] SWS – Semesterwochenstunden

[11] SCH – Semester credit hours

- **ISFH-Kolloquium „Solarenergieforschung“**
*Verschiedene externe Dozenten, 2 SWS.
 Organisation: Dr. Rolf Reineke-Koch
 Institut für Solarenergieforschung Hameln.*
 Externe Referenten berichten über aktuelle Forschungsergebnisse aus den Bereichen Photovoltaik, Solarthermie und Energiesysteme. Die behandelten Themen und die Termine werden jeweils in der Rubrik „Infothek/Termine“ auf den Internetseiten des ISFH (www.isfh.de) veröffentlicht.

- **Vorlesung „Wirkungsweise und Technologie von Solarzellen“**
*Dozent: Prof. Dr. Robby Peibst, 2 SWS.
 Fakultät für Elektrotechnik und Informatik (MBE),
 Leibniz Universität Hannover.*
 Die Studierenden erlangen vertieftes grundlegendes Verständnis der Funktionsweise von Silizium-Solarzellen und deren Herstellungstechnologie, Verständnis von Wirkungsgrenzen und real auftretenden Verlustmechanismen in Solarzellen sowie grundlegende Kenntnisse der Bauteil- und Prozesscharakterisierung.

- **Übung „Wirkungsweise und Technologie von Solarzellen“**
*Dozent: Jan Krügener, 2 SWS.
 Fakultät für Elektrotechnik und Informatik (MBE),
 Leibniz Universität Hannover.*

- **Vorlesung „Einführung in die elektronische Messdatenerfassung und -verarbeitung mit LabView“**
*Dozent: Dr. Carsten Schinke, 2 SWS.
 Fakultät für Mathematik und Physik,
 Leibniz Universität Hannover.*
 Die Lehrveranstaltung führt in die Grundlagen der elektronischen Messdatenerfassung und -verarbeitung mit der in Forschung und Industrie häufig eingesetzten grafischen Programmierumgebung LabView ein. Der Fokus liegt auf der Erfassung von Messdaten mit Datenerfassungskarten im Rahmen von kleinen Experimenten, die am PC durchgeführt werden, und der anschließenden Weiterverarbeitung dieser Daten mit dem PC. Darüber hinaus werden die physikalischen Grundlagen der Funktionsweise der verwendeten Sensoren sowie die Grundlagen der systematischen Betrachtung von Messunsicherheiten vermittelt.

- **Fortgeschrittenenpraktikum: „Analyse von Solarzellen“**
*Dozent: Dr. Carsten Schinke, 2 SWS.
 Fakultät für Mathematik und Physik,
 Leibniz Universität Hannover.*
 Diese Lehrveranstaltung vermittelt praktische Erfahrungen anhand von Experimentalaufbauten zur Aufnahme von Strom-Spannungs-Kennlinien an Solarzellen und zur Untersuchung der Lumineszenzemission von Solarzellen. Die Studierenden führen unter Anleitung eigene Versuche durch und werten die Ergebnisse aus. Dabei erwerben sie Kenntnisse im Umgang mit moderner elektronischer Messtechnik und üben die kritische Bewertung und Diskussion sowie Präsentation der eigenen Ergebnisse.

- **ISFH colloquium “Solar energy research”**
*Various external lecturers, 2 SCH.
 Organization: Dr. Rolf Reineke-Koch
 Institute for Solar Energy Research Hamelin.*
 External speakers report on the latest research results from the areas of photovoltaics, solar heating and energy systems. The subjects covered as well as the terms can be found in the category “Media/Events” on the ISFH web-site (www.isfh.de).

- **Course “Operating principle and technology of solar cells”**
*Lecturer: Prof. Dr. Robby Peibst, 2 SCH.
 Faculty of Electrical Engineering and Computer Science (MBE),
 Leibniz Universität Hannover.*
 Participants receive detailed basic knowledge of the functionality of silicon solar cells and their manufacturing technology, an understanding of the efficiency limits and loss phenomena actually occurring in solar cells as well as basic knowledge of component and process characterization.

- **Exercise “Operating principle and technology of solar cells”**
*Lecturer: Jan Krügener, 2 SCH.
 Faculty of Electrical Engineering and Computer Science (MBE),
 Leibniz Universität Hannover.*

- **Course “Introduction to Electronic Measurement Data Acquisition and Processing with LabView”**
*Lecturer: Dr. Carsten Schinke, 2 SCH.
 Faculty of Mathematics and Physics,
 Leibniz Universität Hannover.*
 The course gives an introduction to the principles of electronic measurement data acquisition and processing with the LabView graphical programming environment often used in research and industry. The focus is on the compilation of measurement data with data acquisition cards as part of small experiments carried out on the PC and the subsequent further processing of this data with the PC. In addition, the physical principles of the functioning of the sensors used and the principles of the systematic consideration of measurement uncertainties are also considered.

- **Advanced practical: “Analysis of Solar Cells”**
*Lecture: Dr. Carsten Schinke, 2 SCH.
 Faculty of Mathematics and Physics,
 Leibniz Universität Hannover.*
 This course gives practical experience with the help of experimental apparatus for the recording of current-voltage characteristics of solar cells and studying the luminescence emission of solar cells. Students carry out their own experiments under supervision and evaluate the results. In this way knowledge of handling modern electrical measuring equipment is acquired and critical evaluation and discussion and presentation of their own results is practiced.

→ **Vorlesung und Übung „Solarenergie-Systeme I: Thermodynamische Grundlagen“**

*Dozent: Prof. Dr.-Ing. Oliver Kastner, Gedik A., Park S., 3 SWS.
Fakultät für Maschinenbau,
Leibniz Universität Hannover.*

Die Veranstaltung behandelt die naturwissenschaftlich-technischen Grundlagen für die Bewertung thermischer Solaranlagen und ihrer Integration in Energieversorgungsstrukturen. Im Zentrum stehen die thermo- und fluiddynamischen Methoden, die zur Abbildung und Auswertung solarthermischer Anlagen benötigt werden: Die Bilanzen der Thermo- und Fluidodynamik, der Impuls- und Energietransport in solarthermischen Systemen, die Strahlungsthermodynamik, das solare Strahlungspotenzial auf der Erde, der Strahlungs- und Wärmetransport in thermischen Solarkollektoren.

→ **Vorlesung und Übung „Solarenergie II: Von der Komponente zum System“**

*Dozent: Prof. Dr.-Ing. Oliver Kastner und Beiträge durch Referenten des ISFH und der KEAN, 3 SWS.
Fakultät für Maschinenbau,
Leibniz Universität Hannover.*

Aufbauend auf der Veranstaltung „Solarenergie I“ gibt die Veranstaltung einen Überblick über den aktuellen Stand technischer Lösungsansätze und ihrer Integration in das Energiesystem. Sie wird in Kooperation zwischen dem Institut für Thermodynamik der Universität Hannover, der Abteilung *Solare Systeme* am ISFH und dem Fernwärme Forschungsinstitut Hannover durchgeführt.

Inhalte der Veranstaltung: Niedertemperatur-Solarkollektortechnik, Optische Beschichtungstechnologie, Gebäudeintegration, solarthermische Prozesswärme, Qualitätssicherung: Prüfen und Bewerten solarer Komponenten und Systeme, solarthermische Heizzentralen, Oberflächen-nahe Geothermie & Solarthermie, Quartiers-Wärmeversorgung durch Nah- oder Fernwärme, Geo-gestützte Saisonspeicher, PV-basierte Wärmekonzepte, Big Data: Monitoring komplexer Wärmeversorgungssysteme.

→ **Vorlesung „Aktuelle Forschungsfragen der Photovoltaik“**

*Dozenten: Dr. Carsten Schinke, Prof. Dr.-Ing. Rolf Brendel, 2 SWS.
Fakultät für Mathematik und Physik,
Leibniz Universität Hannover.*

Die Studierenden werden angeleitet, gute wissenschaftliche Fachvorträge zu halten. Die Betreuer stellen Fachliteratur zur Verfügung, die aktuelle Forschungsergebnisse aus der Photovoltaik beschreibt. Durch das Studium dieser Literatur sowie selbst gesuchter Literaturquellen erwerben die Studierenden vertiefte Fachkenntnisse. Nach einer Einführung in das wissenschaftliche Präsentieren werden zunächst Probenvorträge gehalten. Schließlich tragen die Studierenden einander vor und diskutieren die Stärken und Schwächen ihrer Fachvorträge.

→ **Course and Exercise “Solar Energy Systems I: Thermodynamic principles”**

*Lecturer: Prof. Dr.-Ing. Oliver Kastner, Gedik A., Park S., 3 SCH.
Faculty of Mechanical Engineering,
Leibniz Universität Hannover.*

The course considers the scientific-technical principles for the evaluation of thermal solar systems and their integration into energy supply structures. We concentrate on the thermal- and fluid-dynamic methods required for the depiction and analysis of solar-thermal systems: the balances of thermal and fluid dynamics, impulse and energy transport in solar-thermal systems, irradiation thermodynamics, the solar irradiation potential of the Earth and the transport of radiation and heat in thermal solar collectors.

→ **Course and Exercise “Solar energy II: From components to systems”**

*Lecturer: Prof. Dr.-Ing. Oliver Kastner and contributions of lecturers of ISFH and KEAN, 3 SCH.
Faculty of Mechanical Engineering,
Leibniz Universität Hannover.*

Building on the “Solar Energy I” course, this course gives a summary of the current position with technical solutions to problems and their integration into the energy system. It is undertaken in a collaboration between the Institute for Thermodynamics of Hanover University, the *Solar Systems* department of the ISFH and the District Heating Research Institute, Hanover.

Contents of the course: Low-temperature solar collector technology, optical coating technology, building integration, solar-thermal central heating, near-surface geothermics and solarthermics, district heating through local heating and district heating, geo-supported seasonal storage, PV-based heating concepts, Big Data: monitoring of complex heating supply systems.

→ **Course “Current research topics in photovoltaics”**

*Lecturers: Dr. Carsten Schinke, Prof. Dr.-Ing. Rolf Brendel, 2 SCH.
Faculty of Mathematics and Physics,
Leibniz Universität Hannover.*

Students are trained to give good scientific technical presentations. The supervisors make specialist literature available describing current research results from photovoltaics. By studying this literature and literature sources they have found themselves, students acquire in-depth subject knowledge. Following an introduction to scientific presentation, test lectures are then given. Finally the students give each other presentations and discuss the strengths and weaknesses of their technical lectures.

→ **Proseminar „Physik präsentieren – Physik der Energiekonversion“**

*Dozenten: Dr. Henning Schulte-Huxel,
Prof. Dr.-Ing. Rolf Brendel, 2 SWS.
Fakultät für Mathematik und Physik,
Leibniz Universität Hannover.*

In dieser Lehrveranstaltung erlernen und vertiefen die Studierenden anhand des Themas der Energiekonversion aus erneuerbaren und konventionellen Quellen Präsentations-techniken und Literaturrecherche. Inhaltlich liegt der Schwerpunkt auf den physikalischen Grundlagen und Prozessen zur Bereitstellung elektrischer Leistung mit erneuerbaren und konventionellen Techniken. Dies beinhaltet im Bereich der erneuerbaren Energien Wind-, Wasser-, und Sonnenenergie. Zudem wollen wir den Aufbau, die Komponenten und die Funktionsweisen thermischer Kraftwerke aus physikalischer Sicht betrachten. Unterschiedliche Quellen für thermische Energie werden behandelt, wie beispielsweise Verbrennung fossiler Rohstoffe und erneuerbare Wärmequellen.

→ **Vorlesung „MOS-Transistoren und Speicher“**

*Dozent: Prof. Dr.-Ing. Tobias Wietler, 2 SWS.
Fakultät für Elektrotechnik und Informatik,
Leibniz Universität Hannover.*

Die Vorlesung behandelt die grundlegenden physikalischen Prinzipien des MOS-Systems, den MOS-Kondensator und den MOSFET von einfachen Modellen bis zu Skalierungsproblemen moderner MOSFET-Technologiegenerationen. Weiterhin werden MOS-basierte Speicher wie SRAM, DRAM und Flash-Speicher diskutiert. In begleitenden Laborversuchen wenden die Studierenden das Erlernete auf die Auswertung der Charakteristika von MOS-Kondensatoren und MOSFETs an.

→ **Vorlesung „Bipolarbauelemente“**

*Dozent: Prof. Dr.-Ing. Tobias Wietler, 2 SWS.
Fakultät für Elektrotechnik und Informatik,
Leibniz Universität Hannover.*

Die Vorlesung behandelt zunächst die physikalischen Grundlagen der Halbleiterelektronik wie Ladungsträger im Halbleiter, Stromtransportmechanismen, Generations- und Rekombinationsprozesse. Darauf aufbauend folgt die Betrachtung des statischen und dynamischen Verhaltens von pn-Übergängen, Metall-Halbleiterübergängen und Halbleiter-Heteroübergängen mit einer kurzen Einführung in optoelektronische Bauelemente. In einem begleitenden Posterworkshop zeigen die Studierenden selbst erarbeitete Präsentationen zu verschiedenen Diodentypen und ihren Anwendungen. Den Abschluss bildet die Diskussion des Bipolartransistors von den grundlegenden Prinzipien bis zum dynamischen Verhalten und schließlich Heterobipolartransistoren.

→ **Course “Present physics – Physics of energy conversion”**

*Lecturers: Dr. Henning Schulte-Huxel,
Prof. Dr.-Ing. Rolf Brendel, 2 SCH.
Faculty of Mathematics and Physics,
Leibniz Universität Hannover.*

In this course students learn and deepen presentation techniques and literature research based on the issue of energy conversion from renewable and conventional sources. The focus lies on the physical fundamentals and processes for providing electrical power using renewable and conventional techniques. In the field of renewable energies, this includes wind, water and solar energy. In addition, we look at the structure, components and functionality of thermal power plants from a physical point of view. Different sources of thermal energy, such as combustion of fossil raw materials and renewable heat sources, will also be dealt with.

→ **Course “MOS transistors and memory devices”**

*Lecturer: Prof. Dr.-Ing. Tobias Wietler, 2 SCH.
Faculty of Electrical Engineering and Computer
Science,
Leibniz Universität Hannover.*

This lecture course covers the basic principles of MOS-systems, the MOS capacitor and MOSFETs device physics from simple models to scaling issues of modern MOS technology generations. MOS-based memories like SRAM, DRAM, CCD and flash-memories are also discussed. In a laboratory workshop, students examine the characteristics of MOS capacitors and MOSFETs.

→ **Course “Bipolar devices”**

*Lecturer: Prof. Dr.-Ing. Tobias Wietler, 2 SCH.
Faculty of Electrical Engineering and Computer
Science,
Leibniz Universität Hannover.*

This lecture course looks into basic semiconductor physics including charge carriers in semiconducting materials, current transport mechanisms and generation and recombination processes. This forms the base for the discussion the static and dynamic characteristics of pn-junctions, metall-semiconductor junctions and semiconductor heterojunctions including a brief introduction to optoelectronic devices. In a special workshop, students give short presentations on different types of diodes and their application. Bipolar junction transistors from basic principles to dynamics and hetero bipolar transistors are also covered.

→ **Vorlesung „Physik der Technologie integrierter Schaltkreise“**

*Dozent: Prof. Dr.-Ing. Tobias Wietler, 1,5 SWS.
Institut für Physik, Nanotechnologie und Telekom-
munikation,
Polytechnische Peter-der-Große-Universität Sankt
Petersburg.*

Diese Blockveranstaltung behandelt die physikalischen Grundlagen der Silizium-basierten Halbleiterprozesstechnologie, insbesondere auch Dünnschichttechnologien, vom nackten Siliziumsubstrat bis zu den Metallisierungsebenen im Hinblick auf die Herstellung hochintegrierter Schaltungen.

→ **Course “Physics of Integrated Circuit Technology”**

*Lecturer: Prof. Dr.-Ing. Tobias Wietler, 1.5 SCH.
Institute of Physics, Nanotechnology and Telecom-
munications
Peter-the-Great St. Petersburg Polytechnic Univer-
sity.*

This course covers the physical principles of silicon-based semiconductor technology, in particular thin film processes. Starting from the bare silicon substrate to multi-level metalization systems all aspects of integrated device technology are discussed.

NILS – Die solare Lernwerkstatt am ISFH

NILS, die Niedersächsische Lernwerkstatt für solare Energiesysteme, wurde 2001 gegründet. Sie basiert auf einem Kooperationsvertrag zwischen dem Niedersächsischen Kultusministerium (MK) und dem ISFH.

Die Lernwerkstatt am ISFH hat als zentrales Thema die Solarenergie mit einem naturwissenschaftlich-technischen Schwerpunkt und gehört damit auch zu den MINT-Fächern. Weitere Schwerpunkte sind die erneuerbaren Energien, Energiewende, Nachhaltigkeit, „Bildung für nachhaltige Entwicklung“ (BNE) und globales Lernen. Zielgruppen sind Schülerinnen und Schüler, Lehrkräfte, Eltern, Schulen von der Grundschule bis zum Abitur, alle Schulformen, allgemeinbildende Schulen und berufsbildende Schulen.

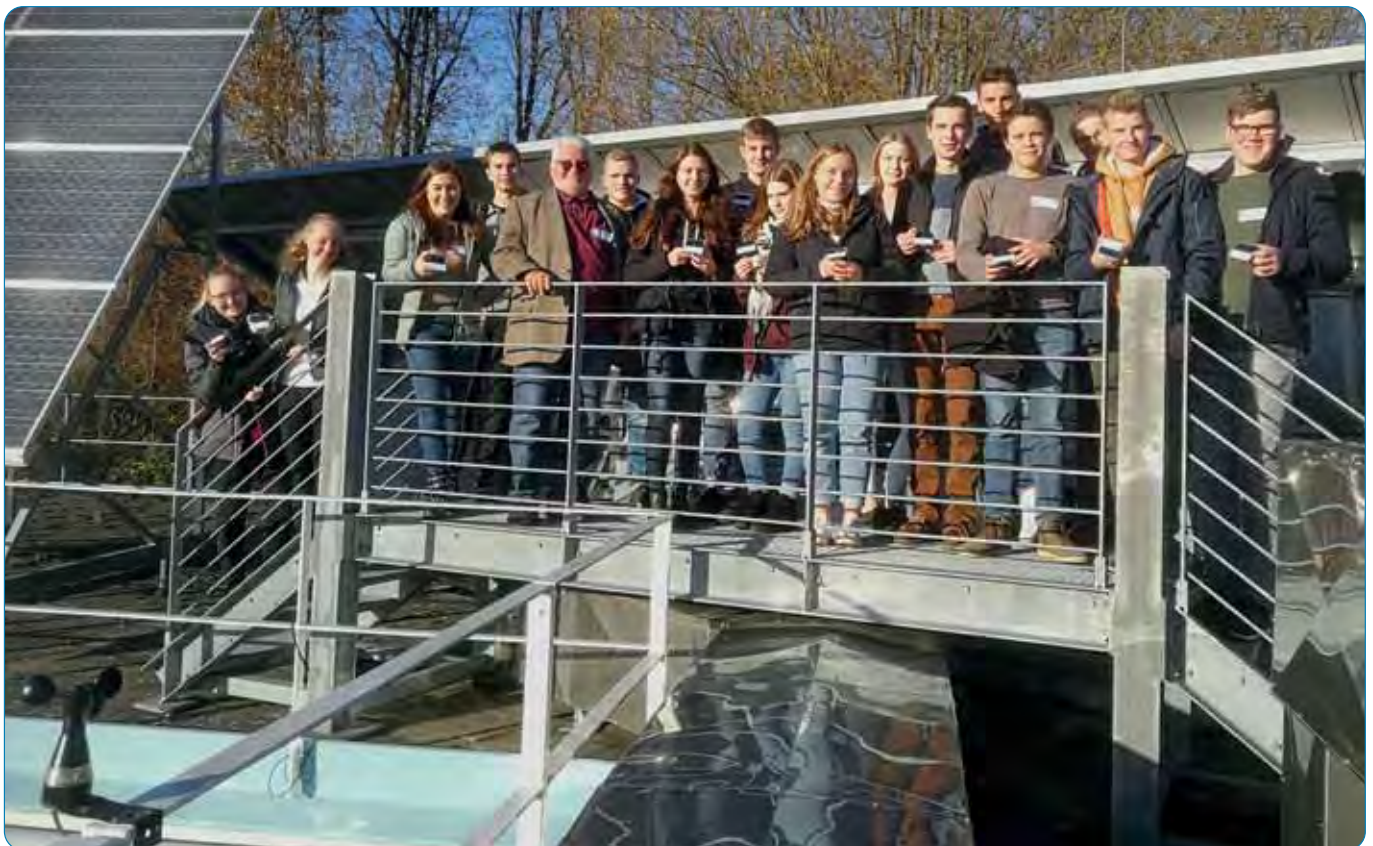
Das Kultusministerium stellt drei Lehrkräfte an einem Wochentag vom Unterricht frei, sie sind an diesem Tag mit fünf Stunden Unterrichtsverpflichtung an das ISFH abgeordnet. Weiterhin wird dem ISFH vom MK ein Etat zur Verfügung gestellt.

NILS – The solar workshop at ISFH

NILS, the Lower Saxon Learning Workshop for Solar Energy Systems was founded in 2001. It is based on a cooperation contract between the Lower Saxon Ministry of Education (MK) and ISFH.

NILS-ISFH has, as its central theme, solar energy with a scientific-technical emphasis (STEM). Further focal points are renewable energy, energy transition, sustainability, Education for Sustainable Development (BNE) and global learning. Target groups are school students, teachers, parents, schools from primary school to school-leavers, all types of school, mainstream schools and vocational colleges.

The Ministry of Education releases three teachers from their schools for one day a week to teach five lessons at ISFH and in addition, a budget is made available by the MK.



SchülerInnen eines Leistungskurses Physik bei einer Führung auf dem Dach des ISFH.

School students from an advanced physics course on a tour on the roof of ISFH.



Zwei Grundschüler bei Experimenten zur solaren Elektromobilität.
Two primary school students experimenting on solar electromobility.

Das ISFH stellt die komplette Infrastruktur für NILS, ein großes Schüler-Lehrer-Experimentallabor mit sämtlichen Materialien, die Nutzung der notwendigen Institutseinrichtungen, sowie Personal zur Verfügung. Dazu gehört ein pensionierter Physiklehrer in Teilzeit und als NILS-Leiter der Leiter der Öffentlichkeitsarbeit des ISFH. Somit besteht das NILS-Personal aus fünf Personen, einem Wissenschaftler, drei gymnasialen Physiklehrern und einer Grundschullehrerin.

NILS ist ein zertifizierter anerkannter außerschulischer Lernort des MK und gehört organisatorisch zum BNE-Verbund der außerschulischen Lernorte Niedersachsens, die von der Niedersächsischen Landesschulbehörde (NLSCHB) und vom MK organisiert werden.

Im BNE-Verbund finden regelmäßig Fortbildungsveranstaltungen für das Personal an den außerschulischen Lernorten statt.

Eine Schülerin beim Experimentieren am NILS-Stand zur solaren Elektromobilität bei der langen Nacht, die Wissen schafft an der Leibniz Universität Hannover.

A female school student experimenting on solar electromobility at the NILS stand at the Long Night of Science at the Leibniz University, Hanover.

ISFH provides the complete infrastructure for NILS, a large fully-equipped student-teacher experimentation laboratory, use of the necessary Institute facilities and staff. This includes a retired physics teacher working part-time and as head of NILS the head of the Public Relations of ISFH. Therefore the NILS staff comprises five people, one scientist, three grammar school physics teachers and a primary school teacher.

NILS is a certified, recognized, extracurricular place of learning of the MK and belongs organizationally to the BNE association of extracurricular places of learning in Lower Saxony organized by the Lower Saxon State school authority (NLSCHB) and the MK.

The BNE association regularly organizes training sessions for staff at the extracurricular places of learning.





SchülerInnen beim Selbstbau eines Solarmoduls.
School students producing do-it-yourself solar modules.

Neben der Durchführung von Kursen und Seminaren für die Zielgruppen ist die Entwicklung von solaren Experimentiergeräten und dazugehörigen Experimenten mit Anleitungen – passend zu den Unterrichtscurricula – ein wichtiger Tätigkeitsbereich bei NILS.

Die zentralen Themen sind Solarstrahlung und Solarenergie, Photovoltaik mit Halbleiterphysik, Solarthermie, Brennstoffzelle, solare Elektromobilität mit Speicherbausteinen, Energiewende, lokaler und globaler Klimawandel und Nachhaltigkeit.

Das NILS-Team empfängt wöchentlich Schulklassen, Projektgruppen und Lehrkräftegruppen zu Seminaren am ISFH. Diese Seminare werden im Vorfeld mit dem Antragssteller geplant und inhaltlich und methodisch passgenau umgesetzt. Es kommen Grundschulklassen mit ihren Lehrkräften, Klassen und Projektgruppen der Sekundarstufe I, Kurse und Projektgruppen der Sekundarstufe II. Darüberhinaus organisiert das NILS-Team Lehrerfortbildungskurse und Beratungsangebote für Schulen.

NILS ist auch an lokalen, regionalen und bundesweiten Wissenschafts- und Umweltveranstaltungen beteiligt sowie Mitglied im Verbund der deutschen Schülerlabore *LeLa*.

In addition to holding courses and seminars for the target groups, the development of solar experimentation equipment and associated experiments with instructions – appropriate to teaching curricula – is an important area of activity for NILS.

The central themes are solar radiation and solar energy, photovoltaics with semi-conductor physics, solar thermal energy, fuel cells, solar electromobility with microchips, energy transition, local and global climate change and sustainability.

The NILS team receives school classes, project groups and groups of teaching staff at ISFH for seminars every week. These seminars are planned in advance with the group organizers and the content and methods are precisely adapted to each group. Primary school classes come with their teachers and classes and project groups come from all levels of secondary schools. In addition, the NILS team organizes training courses for teachers and advisory sessions for schools.

NILS also participates in local, regional and nationwide scientific and environmental events and is a member of the association of German school laboratories (*LeLa*).

Schüler eines Leistungskurses Physik beim Selbstbau eines analogen Bestrahlungsstärkemessgerätes.

School students from an advanced physics course producing a do-it-yourself analog irradiance measurement device.



So veranstaltet das ISFH regelmäßig den Schüler-Zukunftstag. NILS und die mechanische Werkstatt des ISFH sorgen für ein spannendes Programm, so dass diese Veranstaltung bereits Monate vorher ausgebucht ist. Auch an der Leibniz-Universität Hannover ist NILS regelmäßig bei Sonderveranstaltungen mit Solarexperimenten dabei, beispielsweise bei der *Nacht, die Wissenschaft* oder beim Sommerfest der LUH.

For example, ISFH regularly holds a Future Day for school students. NILS and the mechanical workshop of ISFH provide an exciting program so that this event is already fully booked months in advance. NILS also regularly contributes to special events at the Leibniz University Hanover with solar experiments, for example at the Long Night of Science or the University Summer Festival.

Kooperationen gibt es daneben mit weiteren Schülerlaboren, z. B. mit dem *DLR-School Lab* in Göttingen oder mit dem Schülerlabor KONSOLE am *International Solar Energy Research Center Konstanz e.V. (ISC)* in Konstanz.

There are also collaborations with other school student laboratories, e.g. with the *DLR-School Lab* in Göttingen or with the KONSOLE school student laboratory at the *International Solar Energy Research Center Konstanz e.V. (ISC)* in Constance.

Die Solar-Experimentiergeräte von NILS sind deutschland- und europaweit stark nachgefragt, sie werden an zahlreichen Schulen in nahezu allen Bundesländern eingesetzt.

There is great demand for NILS solar experimentation equipment both nationwide and throughout Europe. It is used in numerous schools in virtually all German states.

Das NILS-Personal ist nicht nur am ISFH tätig, sondern mit Seminarangeboten und Beratungen auch außerhalb an Schulen, Bildungs-, Ausbildungs-, und Umwelteinrichtungen.

NILS staff work not only at ISFH, but also give seminars and advice sessions elsewhere at schools, educational, training and environmental establishments.



Eine Schülerin eines Leistungskurses Physik beim Kalibrieren des analogen Bestrahlungsstärkemessgerätes.

A female school student from an advanced physics course calibrating the analog irradiance measurement device.



Lötarbeitsplätze im NILS-Labor.
Soldering workstations in the NILS-laboratory.

In vielen Schulen sind die Kooperationen mit NILS fest in die Schulcurricula eingebunden, so dass regelmäßig in jedem Jahr komplette Jahrgänge oder Projektgruppen die Lernwerkstatt NILS besuchen; das ist eine nachhaltige solare Zusammenarbeit!

Wenn Schulklassen NILS besuchen, werden die Lerngruppen aufgeteilt. Eine Halbklassse stellt im NILS-Labor ein Solar-Experimentiergerät her und experimentiert damit, während die andere Halbgruppe an Grundlagen der Solarenergie und der Energiewende arbeitet und bei einem Rundgang durch das ISFH einschließlich des Hauptgebäudedaches mit den Solar-Generatoren und Messeinrichtungen die wissenschaftliche Praxis erfährt. Abgesehen von den Materialkosten für Selbstbauprojekte sind die NILS-Veranstaltungen kostenlos.

Bilanz 2018

Im Jahr 2018 nahmen weit über 2000 Schülerinnen, Schüler, Lehrkräfte und Eltern an solaren NILS-Veranstaltungen im ISFH oder außerhalb bei unseren Bildungs- und Umweltveranstaltungen teil.

In der Region bestehen viele enge Kooperationen mit zahlreichen Schulen. Die Veranstaltungen im NILS-Labor haben sich im Lauf von nunmehr rund 20 Jahren zu einem verlässlichen Programm entwickelt.

In many schools collaborations with NILS are a firm fixture in the school curricula so that each year complete year groups or project groups visit the NILS learning workshop; that is sustainable solar collaboration!

When school classes visit NILS, they are split into groups. While one half of the class produces a solar experimentation device in the NILS laboratory and subsequently experiments with it, the other half work on the basics of solar energy and energy transition and learn about scientific practice on a tour of ISFH including the roof of the main building with the solar generators and measuring equipment. Apart from the cost of materials for do-it-yourself projects, NILS events are free of charge.

2018 Balance

In 2018, well over 2000 school students, teachers and parents attended NILS solar events either at ISFH or at our educational or environmental events elsewhere.

In the region there is close cooperation with many schools. The events in the NILS-laboratory have developed to a reliable program during the last 20 years.

Wolf-Rüdiger Schanz, Roland Goslich

Das Institutsgelände aus der Vogelperspektive: Oben rechts das Hauptgebäude mit *SolarTeC*, unten rechts die Integrierte Solare Systemtechnik (*ISS*) und links unten die Testdächer.

A bird's eye view of the Institute site: the main building with *SolarTeC* at the top right, at the bottom right the Integrated Solar Systems Technology building (*ISS*) and at the bottom left the outdoor test roofs.





Partner aus Universitäten & Forschungseinrichtungen/ Partners from universities & research facilities

Inland/National

Energie-Forschungszentrum Niedersachsen; Goslar	Leibniz Universität Hannover, Institut für Elektrische Energiesysteme (IfES); Hannover
Fachhochschule Dortmund, Fachbereich Architektur; Dortmund	Leibniz Universität Hannover, Institut für Festkörperphysik (FKP); Hannover
Fachhochschule Nordhausen; Nordhausen	Leibniz Universität Hannover, Institut für Materialien und Bauelemente der Elektronik (MBE); Hannover
Forschungszentrum Jülich GmbH, Projektträger Jülich (PtJ); Jülich	Leibniz Universität Hannover, Institut für Thermodynamik (IfT); Hannover
Fraunhofer-Center für Silizium-Photovoltaik (CSP); Halle	Leibniz Universität Hannover, Institut für Wirtschaftsinformatik (iwi); Hannover
Fraunhofer-Institut für Bauphysik (IBP); Stuttgart	Max Planck Institut für Mikrostrukturphysik; Halle
Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme (ISE); Freiburg	NEXT ENERGY – EWE Forschungszentrum für Energietechnologie e.V.; Oldenburg
Georg-August-Universität Göttingen, IV. Physikalisches Institut; Göttingen	Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB); Braunschweig
Geowissenschaftliches Zentrum der Universität Göttingen; Göttingen	Technische Universität Chemnitz, Institut für Physik Optik und Photonik kondensierter Materie (OPKM); Chemnitz
Helmholtz Zentrum Potsdam, Deutsches GeoForschungszentrum (GFZ); Potsdam	TU Bergakademie Freiberg, Institut für Wärmetechnik und Thermodynamik; Freiberg
Helmholtz-Zentrum Berlin für Materialien und Energie GmbH; Berlin	TU Clausthal, Institut für Elektrische Energietechnik und Energiesysteme; Clausthal-Zellerfeld
Hochschule Düsseldorf, Zentrum für Innovative Energiesysteme; Düsseldorf	Universität Kassel, Institut für Thermische Energietechnik, Fachgebiet Solar- und Anlagentechnik; Kassel
Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg (HAW); Hamburg	Universität Kiel, Technische Fakultät, Lehrstuhl für Allgemeine Materialwissenschaft; Kiel
Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin (HTW); Berlin	Universität Konstanz, Fachbereich Physik; Konstanz
Hochschule Weserbergland (HSW); Hameln	Universität Stuttgart, Institut für Maschinenelemente (IMA); Stuttgart
Industrie- und Handelskammer Hannover (IHK); Hannover	Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie gGmbH; Wuppertal
Institut für Gebäudeenergetik, Thermotechnik und Energiespeicherung (IGTE); Stuttgart	
Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG); Hannover	
Leibniz Universität Hannover, Arbeitsgruppe Physikdidaktik; Hannover	
Leibniz Universität Hannover, Institut für Antriebssysteme und Leistungselektronik (IAL); Hannover	

Partner aus Universitäten & Forschungseinrichtungen/
Partners from universities & research facilities

Ausland/International

Arbeitsgemeinschaft Erneuerbare Energie (AEE); Gleisdorf, Österreich

Australian National University (ANU); Canberra, Australien

Austria Solar Innovation Center (ASiC), Fachhochschule Campus Wels; Wels, Österreich

Austrian Institute of Technology (AIT); Wien, Österreich

Ben Gurion University of the Negev, Department of Materials Engineering; Beer-Sheva, Israel

Canary Islands Institute of Technology (ITC); Santa Lucía, Gran Canaria, Spanien

Case Western Reserve University; Cleveland, USA

Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB); Sophia Antipolis, Frankreich

École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL); Lausanne, Schweiz

École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL), Institute of Microengineering (IMT); Neuchatel, Schweiz

European Academy of Bozen/Bolzano (EURAC); Bozen, Italien

Institut für Solartechnik Prüfung Forschung (SPF); Rapperswil, Schweiz

Institut Jean Lamour, Université de Lorraine; Nancy Cedex, Frankreich

Institut National de l'Énergie Solaire (CEA INES); Le Bourget-du-Lac, Frankreich

Institut Photovoltaïque d'Île de France (IPVF); Antony, Frankreich

Institute for Energy Technology (IFE); Kjeller, Norwegen

Interuniversity Microelectronics Centre (IMEC); Leuven, Belgien

Joint Research Centre (JRC), European Solar Test Installation (ESTI); Ispra, Italien

Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG); Lissabon, Portugal

National Renewable Energy Centre (CENER); Sarriguren, Spanien

National Renewable Energy Laboratory (NREL); Golden, USA

NCSR Demokritos – Institute of Informatics and Telecommunications; Ag. Paraskevi Attikis, Griechenland

Netherlands Organisation for Applied Scientific Research (TNO); Den Haag, Niederlande

Polymer Competence Center Leoben (PCCL) GmbH; Leoben, Österreich

Sandia National Laboratories; Albuquerque, USA

Scuola universitaria professionale della Svizzera italiana (SUPSI); Canobbio, Schweiz

SINTEF; Trondheim, Norwegen

Technical Research Institute of Sweden (SP); Boras, Schweden

University of Warwick, School of Engineering; Coventry, Großbritannien

Partner aus Industrie, Planung & Entwicklung/ Partners from industry, planning & development

Inland/National

3M Deutschland GmbH; Neuss	Energy Glas Glasbeschichtungsgesellschaft mbH & Co. KG; Wolfhagen
a2 – solar Advanced and Automotive Solar Systems GmbH; Erfurt	Evonik Industries AG; Essen
Aescusoft GmbH; Freiburg	Flachglas Sachsen GmbH; Grimma
AkoTec Produktionsgesellschaft mbH; Angermünde	FOSTA-Forschungsvereinigung Stahlanwendung e.V.; Düsseldorf
ANTEC Solar GmbH; Arnstadt	Franz-Kühnemann Stiftung; Hannover
ArcelorMittal Construction Deutschland GmbH; Sanderdorf-Brehna	Gebr. Tuxhorn GmbH & Co. KG; 33659
Architektenkammer Niedersachsen; Hannover	Gemeinnützige Wohnungsbaugenossenschaft Hannover-Ost eG; Hannover
Architektur- und TGA-Planungsbüro Carsten Grobe Passivhaus; Hannover	GeoEn Energy Technologies GmbH; Berlin
Arcon-Sunmark GmbH; Regensburg	GEWO - Gesellschaft für Wohnen und Bauen mbH; Nordhorn
ATHE-Therm Heizungstechnik GmbH; Emmerthal	Goldbeck GmbH; Hirschberg
Bosch Thermotechnik GmbH; Wettingen	Gundlach Bau und Immobilien GmbH & Co. KG; Hannover
Bundesverband Flächenheizung u. -kühlung e.V.; Neuenkirchen-Vörden	h.a.l.m. elektronik gmbh; Frankfurt am Main
Bundesverband Wärmepumpe; Berlin	hanova WOHNEN GmbH; Hannover
centrotherm international AG; Blaubeuren	Hanwha Q CELLS GmbH; Bitterfeld-Wolfen
Consolar Solare Energiesysteme GmbH; Lörrach	Heimkehr Wohnungsgenossenschaft eG; Hannover
Corona Solar GmbH; Hannover	HELMA Eigenheimbau AG; Lehrte
CS Wismar GmbH; Wismar	Heraeus Deutschland GmbH & Co. KG; Leverkusen
DIN CERTCO Gesellschaft für Konformitätsbewertung mbH; Berlin	Hero-Glas Veredelungs GmbH; Dersum
edevis GmbH; Stuttgart	Ingenieurbüro Mencke & Tegtmeyer GmbH; Hameln
Eilenburger Fenstertechnik GmbH & Co. KG; Eilenburg	janßen energieplanung; Hannover
Elodrive GmbH; Rösrath	juwi AG; Wörrstadt
Energieservice Westfalen-Weser GmbH; Kirchlingern	Kälte Klima GmbH; Hameln
	KBB Kollektorbau GmbH; Berlin

Partner aus Industrie, Planung & Entwicklung/
Partners from industry, planning & development

Klimaschutz- und Energieagentur Niedersachsen GmbH (KEAN); Hannover

Klimaschutzagentur Weserbergland; Hameln

KOENEN GmbH; Ottobrunn-Riemerling

Konvortec GmbH; Schermbeck

KSG Kreissiedlungs GmbH des Landkreises Hameln-Pyrmont; Hameln

LiSEC Deutschland GmbH; Kassel

Losser Chemie GmbH; Zwickau

MBJ Services GmbH; Hamburg

meravis Wohnungsbau & Immobilien GmbH; Hannover

Meyer Burger AG; Hohenstein-Ernstthal

Narva Lichtquellen GmbH + Co. KG; Brand-Erbisdorf

neonsee GmbH; Konstanz

Parabel Energiesysteme GmbH; Potsdam

PAW GmbH & Co. KG; Hameln

pro Klima GbR bei der Stadtwerke Hannover AG; Hannover

pv-tools GmbH; Hameln

RESOL – Elektronische Regelungen GmbH; Hattingen

Ritter XL Solar; Dettenhausen

Roth Werke GmbH; Dautphetal-Buchenau

Schlenk Metallfolien GmbH & Co. KG; Roth-Barnsdorf

Schmöle GmbH; Menden

Schüco International KG; Bielefeld

Sika Deutschland GmbH; Bad Urach

SINGULUS TECHNOLOGIES AG; Kahl am Main

SolMetall GmbH; Spenge

Solvis GmbH; Braunschweig

SpaceTech GmbH; Immenstaad

Spar- und Bauverein eG; Hannover

Stiebel Eltron GmbH & Co. KG; Holzminden

StreetScooter GmbH; Aachen

SUNOVATION Produktion GmbH; Elsenfeld

tec5 AG; Oberursel

TÜV Rheinland Energie und Umwelt GmbH; Köln

Vaillant Deutschland GmbH; Remscheid

VEKA AG; Sendenhorst

Viega Technology GmbH & Co. KG; Attendorn

Viessmann Werke GmbH & Co. KG; Allendorf

Wacker Chemie AG; Burghausen

Wagner Solar GmbH; Kirchhain

Wohnungsgenossenschaft Hameln – WGH eG; Hameln

Partner aus Industrie, Planung & Entwicklung/ Partners from industry, planning & development

Ausland/International

Apollon Solar; Saint-Priest, Frankreich

Arcon-Sunmark GmbH; Regensburg, Dänemark

CGA Technologies S.p.A.; Cividale del Friuli (Udine), Italien

Eternal Sun B.V.; BK Den Haag, Niederlande

Flisom AG; Niederhasli, Schweiz

GCS-Global Certification Services Pty Ltd; Two Rocks, Australien

Heraeus Precious Metals NA Conshohocken; Yardle, USA

Kingspan Environmental Ltd.; Portadown, Nordirland

Kiwa Cermet Italia; Cormano (MI), Italien

Meyer Burger AG; Thun, Schweiz

Pasan SA; Neuchâtel, Schweiz

Protech; Vilnius, Litauen

Savosolar Oy; Mikkeli, Finnland

Sinton Instruments; Boulder, USA

Solar Rating & Certification Corporation (ICC-SRCC); Washington, USA

SoLayTec B.V.; Eindhoven, Niederlande

SoliTek Cells JSC; Vilnius, Litauen

SOLTILES SAS; Ramonville-St-Agne, Frankreich

TECNAN - NANOMAT; Los Arcos, Spanien

Ulbrich of Austria GmbH; Müllendorf, Österreich

Viessmann France SAS; Faulquemont, Frankreich

Institutsmitgliedschaften/Institute memberships

Arbeitsgemeinschaft Erneuerbare Energie (AEE); Gleisdorf, Österreich

Bundesverband Solarwirtschaft e.V. (BSW); Berlin

Deutsche Industrieforschungsgemeinschaft Konrad Zuse e.V.; Berlin

ForschungsVerbund Erneuerbare Energien (FVEE); Berlin

Informationsdienst Wissenschaft e.V. (idw); Bochum

Innovationsnetzwerk Niedersachsen; Hannover

International Solar Energy Society (ISES); Freiburg

Klimaschutzagentur Weserbergland; Hameln

Laboratorium für Nano- und Quantenengineering (LNQE); Hannover

Leibniz Forschungszentrum Energie 2050 (LiFE 2050); Hannover

Weserbergland AG; Hameln



Typische Arbeitsumgebung im NILS-Labor.
Typical working environment in the NILS-laboratory.

Institutskolloquien/*Institute colloquia*

Altermatt P.: *PV Massenproduktion in China: Wie können Universitäten und Institute beitragen?* Trina Solar, Changzhou, China. (Instituts-Kolloquium), ISFH, Emmerthal, 13.11.2018

Bernhard W.: *Power Management Integrated Circuits*. Institut für Mikroelektronische Systeme, Hannover. (Forschungsseminar), ISFH, Emmerthal, 12.11.2018

Bockelmann F.: *Wärmequellen und -übertrager für Wärmepumpen – Rundumblick von der Dimensionierung bis zum Monitoring*. Institut für Gebäude- und Solartechnik (IGS), TU Braunschweig, Braunschweig. (Instituts-Kolloquium), ISFH, Emmerthal, 30.10.2018

Breitenstein O.: *Ortsaufgelöste Lumineszenz-Charakterisierung von Siliziumsolarzellen*. Max-Planck Institut (MPI) für Mikrostrukturphysik, Halle. (Instituts-Kolloquium), ISFH, Emmerthal, 28.8.2018

Dott R.: *Wärmepumpen in dynamischen Energiesystemen – Anforderungen und Qualitätssicherung seitens der Schweizer Fachvereinigung Wärmepumpen*. Fachhochschule Nordwestschweiz/Fachvereinigung Wärmepumpe Schweiz, Muttenz, Schweiz. (Instituts-Kolloquium), ISFH, Emmerthal, 21.11.2018

Eismann R.: *Die Thermohydraulische Methode in der Gebäudetechnik*. Fachhochschule Nordwestschweiz, Hochschule für Architektur, Bau und Geomatik, Institut für Energie am Bau, Muttenz, Schweiz. (Instituts-Kolloquium), ISFH, Emmerthal, 29.5.2018

Louvet Y.: *Drainback Solaranlagen: Stand des Wissens*. Institut für Thermische Energietechnik, Universität Kassel, Kassel. (Instituts-Kolloquium), ISFH, Emmerthal, 26.6.2018

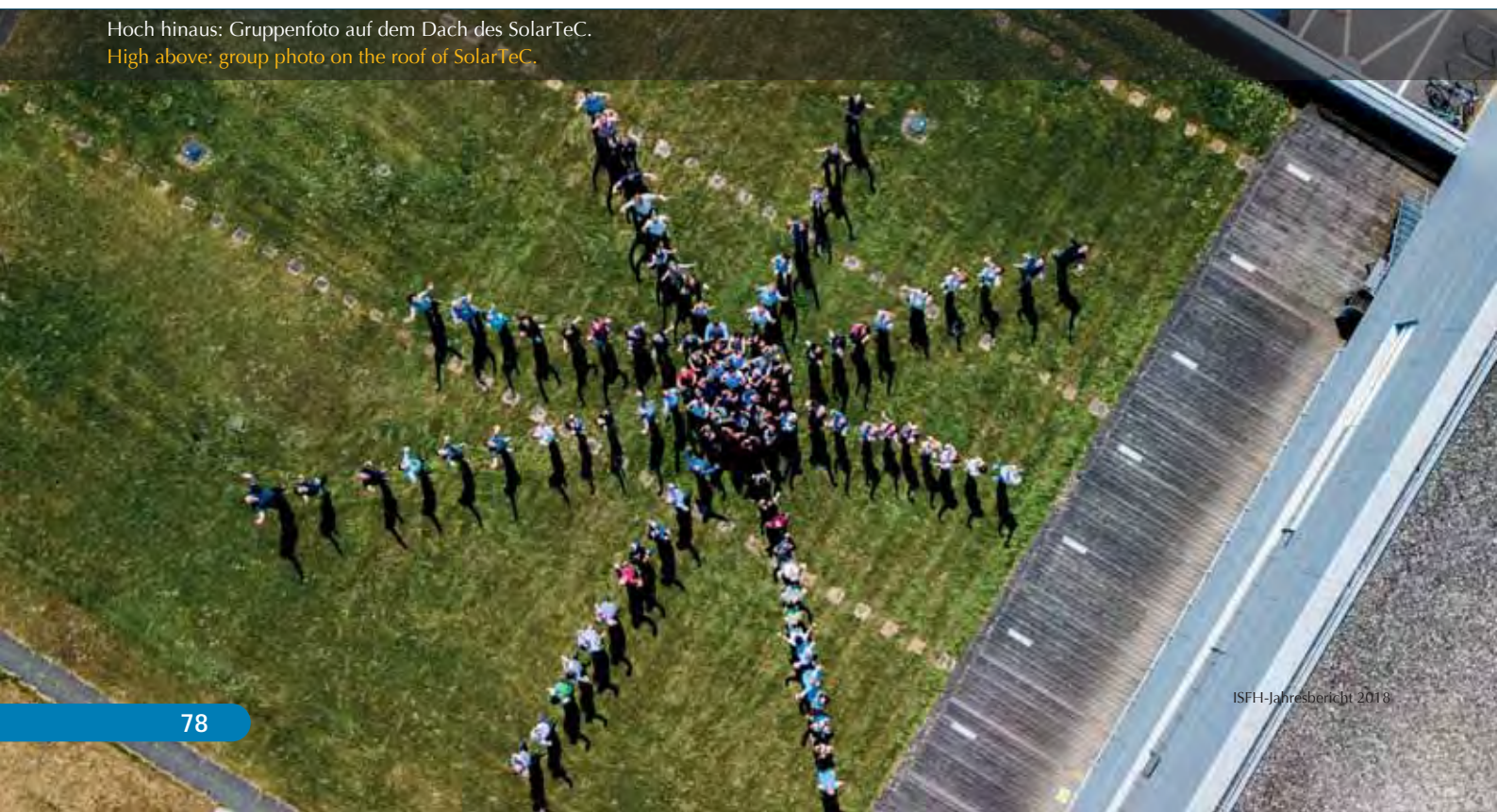
Pesch R.: *Agrothermie – Kalte Nahwärme und -kälte aus landwirtschaftlich genutzten Flächen am Beispiel der Plusenergiesiedlung Vordere Viehweide in Wüstenrot*. Hochschule für Technik Stuttgart HFT Forschung, Zentrum für Nachhaltige Energietechnik (zafh.net), Stuttgart. (Instituts-Kolloquium), ISFH, Emmerthal, 6.11.2018

Saliba M.: *Design Principles to Achieve Highly Efficient, Phase and Temperature Stable Perovskite Semiconductors*. Laboratory of Photonics and Interfaces (LPI), École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL), Lausanne, Schweiz. (Instituts-Kolloquium), ISFH, Emmerthal, 6.3.2018

Seelecke S.: *Elastokalorik – Innovative festkörperbasierte Kühl- und Heizprozesse mit Formgedächtnislegierungen*. Lehrstuhl für Intelligente Material Systeme, Universität des Saarlandes c/o ZeMA – Zentrum für Mechatronik und Automatisierungstechnik gGmbH, Saarbrücken. (Instituts-Kolloquium), ISFH, Emmerthal, 12.6.2018

Wicht B.: *Power Management Integrated Circuits*. Institut für Mikroelektronische Systeme (IMS), Leibniz Universität Hannover, Hannover. (Instituts-Kolloquium), ISFH, Emmerthal, 12.11.2018

Hoch hinaus: Gruppenfoto auf dem Dach des SolarTeC.
High above: group photo on the roof of SolarTeC.



Mitarbeit in Fachgremien/Membership in professional bodies

Bothe K.: Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik (DKE) - AK 373.0.10 „Solarzellen, Wafer und Module“; Mitglied

Bothe K.: Globales Komitee für Silizium Wafer; Technisches Mitglied

Bothe K.: Globales Komitee für Standards in der Photovoltaik; Technisches Mitglied

Brendel R.: European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition; Mitglied des Scientific Committee

Brendel R.: European Technology & Innovation Platform Photovoltaics (ETIP PV); Member of the Steering Committee

Brendel R.: Forschungsnetzwerk Erneuerbare Energien des BMWi; Mentor (AG Kristallines Si – Neue Ansätze für Hochleistungsmodule)

Brendel R.: ForschungsVerbund Erneuerbare Energien, Berlin; Mitglied des Direktoriums

Brendel R.: Institut für Festkörperphysik, Fakultät für Mathematik und Physik, Leibniz Universität Hannover; Vorstand

Brendel R.: International Conference on Crystalline Silicon Photovoltaics (SiliconPV); Member of the Executive Committee

Brendel R.: Laboratorium für Nano- und Quantenengineering der Leibniz Universität Hannover (LNQE); Mitglied

Brendel R.: Leibniz Forschungszentrum Energie 2050, Leibniz Universität Hannover (LiFE); Vorstand

Brendel R.: Progress in Photovoltaics, Wiley and Publishers; Member of the Editorial Board

Brendel R.: Solar-Rapid Research Letters, Wiley-VCH; Member of the Editorial Board

Dullweber T.: European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition; Mitglied des Scientific Committee

Dullweber T.: Photovoltaics International; Mitglied des Editorial Advisory Boards

Dullweber T.: SNEC International Photovoltaic Power Generation and Smart Energy Exhibition & Conference; Mitglied des Scientific Committee

Gruppenfoto des Steering Committee Meeting der *Photovoltaic European Technology & Innovation Platform (ETIP)* im September 2018 am ISFH.
Group photo of the Steering Committee Meeting of the *Photovoltaic European Technology & Innovation Platform (ETIP)* at ISFH in September 2018.



Mitarbeit in Fachgremien/Membership in professional bodies

Eggert D.: Erfahrungsaustauschkreis der Prüflaboratorien „Thermische Solaranlagen und ihre Bauteile der Inspektoren“ (EK-TSuB-I), unter Leitung von DIN CERTCO Gesellschaft für Konformitätsbewertung mbH; Mitglied

Eggert D.: Erfahrungsaustauschkreis der Prüflaboratorien „Thermische Solaranlagen und ihre Bauteile“ (EK-TSuB), unter Leitung von DIN CERTCO Gesellschaft für Konformitätsbewertung mbH; Mitglied

Giovanetti F.: Arbeitsgruppe Energieversorgung Region Hannover; Mitglied

Giovanetti F.: BSW, Fachgruppe Markt und Wirtschaftlichkeit und Fachgruppe Prozesswärme; Gast

Giovanetti F.: Deutsche Solarthermie-Technologieplattform (DSTTP); Mitglied des Beirats

Giovanetti F.: IEA SHC TASK 54 „Price Reduction of Solar Thermal Systems“; Mitglied

Giovanetti F.: International Conference on Solar Energy in Buildings and Industry; Mitglied des Scientific Committee

Goslich R.: Energy Award, Westfalen Weser Energie GmbH & Co. KG, Paderborn; Jurymitglied

Kastner O.: Continuum Mechanics and Thermodynamics (Springer); Editor

Kastner O.: Leibniz Forschungszentrum Energie2050 (LiFE2050), Universität Hannover; Mitglied

Kastner O.: Symposium Thermische Solarenergie (OTTI), Bad Staffelstein; Mitglied des Tagungsbeirats

Kastner O.: The 16th International Symposium on District Heating and Cooling, September 9-12, 2018, Hamburg, Germany; Mitglied des Scientific Committee

Köntges M.: IEA TASK 13 „Performance and Reliability of Photovoltaic Systems“; Mitglied

Köntges M.: PV Module Technology & Applications Forum 2018; Mitglied des Tagungsbeirates

Köntges M.: Symposium Photovoltaische Solarenergie (OTTI), Bad Staffelstein; Mitglied des Tagungsbeirates

Lampe C.: Arbeitsausschuss NA 041-01-45 (Wassereerwärmer) im DIN/NHRS, zugleich nationaler Spiegelausschuss zu CEN/TC 164/WG10; Mitglied

Lampe C.: Arbeitsausschuss NA 041-01-56 (Thermische Solaranlagen) im DIN/NHRS, zugleich nationaler Spiegelausschuss zu CEN/TC 312 und ISO/TC180; Mitglied

Lampe C.: CEN/TC 312/WG1 „Thermal solar systems and components – Solar collectors“; Mitglied

Lampe C.: Erfahrungsaustauschkreis der Prüflaboratorien „Thermische Solaranlagen und ihre Bauteile der Inspektoren“ (EK-TSuB-I), unter Leitung von DIN CERTCO Gesellschaft für Konformitätsbewertung mbH; Mitglied

Lampe C.: Erfahrungsaustauschkreis der Prüflaboratorien „Thermische Solaranlagen und ihre Bauteile“ (EK-TSuB), unter Leitung von DIN CERTCO Gesellschaft für Konformitätsbewertung mbH; Mitglied

Lampe C.: Global Solar Certification Network; Mitglied

Lampe C.: ISO/TC 180/WG3 „Solar energy – Collector components and materials“; Mitglied

Lampe C.: Solar Keymark Network (SKN); Mitglied

Napp V.: „Jugend-forscht“, Regionalwettbewerb Hildesheim; Jurymitglied

Peibst R.: IEA Task 17 „PV for Transport“; Mitglied

Schiebler B.: IEA SHC TASK 54 „Price Reduction of Solar Thermal Systems“; Mitglied

Schmidt J.: European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition; Mitglied des Scientific Committee

Schmidt J.: IEEE Journal of Photovoltaics; Editor

Schmidt J.: International Workshop on Crystalline Silicon Solar Cells (CSSC); Member International Advisory Committee

Schmidt J.: npv workshop; Mitglied im Organisationskomitee

Schmidt J.: SiliconFOREST (Fortschritte in der Entwicklung von Solarzellen-Strukturen und -Technologien), Doktoranden- und Diplomanden-Workshop; Mitglied des Programmkomitees

Ausstellungen & Fachtagungen/Fairs & congresses

Die Nacht, die Wissen schafft, Hannover, 10.11.2018; Aussteller

EWE University Colloquium, Brüssel (Belgien), 20.3.2018; Mitorganisator

Gebäudeintegrierte Photovoltaik (Workshop), Hannover, 24.5.2018; Mitorganisator

Hannover Industriemesse 2018, Hannover, 23.-27.4.2018; Mitaussteller

International Conference on Crystalline Silicon Photovoltaics (SiliconPV), Lausanne (Schweiz), 19.-22.3.2018; Mitorganisator

Intersolar 2018, München, 20.-22.6.2018; Aussteller

Niedersächsische Solarenergietage, Hannover, 6.-7.9.2018; Initiator und Mitorganisator

Parlamentarischer Abend der Industrieforschungsgemeinschaft *Konrad Zuse e.V.* in der Niedersächsischen Landesvertretung, Berlin, 14.6.2018; Mitorganisator

PV Enerate, Projekttreffen, Emmerthal, 3.-5.12.2018; Veranstalter

Regionaltagung der außerschulischen Lernorte im Bereich Bildung für Nachhaltige Entwicklung, Emmerthal, 21.2.2018; Mitorganisator

Solar Assisted Heat Units in Multi-Family Houses (Workshop), Düsseldorf, 27.2.2018; Mitorganisator

Solar Thermal and Ground Heat Exchangers (Workshop), Offenburg, 28.2.2018; Mitorganisator

Solarpraktikum für Schülerinnen, Emmerthal, 29.8.2018; Veranstalter

Sommerfest Leibniz Universität Hannover, Hannover, 5.7.2018; Mitveranstalter

Sommeruniversität Rinteln & Stadthagen, Stadthagen, 25.6.2018; Mitveranstalter

Tag der Energieforschung 2018, Hannover, 15.5.2018; Mitaussteller

Thementag: Sonnenhaus ohne große Speicher – Solarthermische Raumheizung mit Bauteilaktivierung, Wärmepumpe und solar regenerierenden Erdwärmekollektoren, Hameln, 2.2.2018; Veranstalter und Organisator

UV Fluorescence Measurement for Damage Assessment of PV Modules (International Workshop), Emmerthal, 12.10.2018; Veranstalter und Organisator

Zukunftstag für Mädchen und Jungen, Emmerthal, 26.4.2018; Veranstalter



Das ISFH war im Juni 2018 auf der Intersolar in München mit einem Ausstellungsstand vertreten, an dem das neu entwickelte Fluoreszenz-Outdoor-Inspektionssystem (FLOIS) präsentiert wird (rechts im Bild). ISFH was represented with an exhibition stand at the Intersolar in Munich in June 2018, at which the newly-developed fluorescence outdoor inspection system (FLOIS) was presented (on the right in the picture).

Veröffentlichungen in referierten Zeitschriften/Peer-reviewed publications

Bothe K., Hinken D., Min B., Schinke C.: *Accuracy of simplifications for spectral responsivity measurements of solar cells*. IEEE Journal of Photovoltaics, 8 (2), 611, (2018)

Bredemeier D., Walter D.C., Schmidt J.: *Possible candidates for impurities in mc-Si wafers responsible for light-induced lifetime degradation and regeneration*. Solar RRL, 2, 1700159, (2018)

Brötje S., Kirchner M., Giovannetti F.: *Performance and heat transfer analysis of uncovered photovoltaic-thermal collectors with detachable compound*. Solar Energy, 170, 406-418, DOI: 10.1016/j.solener.2018.05.030, (08/2018)

Dullweber T., Schulte-Huxel H., Blankemeyer S., Hannebauer H., Schimanke S., Baumann U., Witteck R., Peibst R., Köntges M., Brendel R., Yao Y.: *Present status and future perspectives of bifacial PERC+ solar cells and modules*. Japanese Journal of Applied Physics, 57, 08RA01, (2018)

Folchert N., Rienäcker M., Yeo A.A., Min B., Peibst R., Brendel R.: *Temperature-dependent contact resistance of carrier selective poly-Si on oxide junctions*. Solar Energy Materials & Solar Cells, 185, 425, (2018)

Gemmel C., Hensen J., David L., Kajari-Schröder S., Brendel R.: *Kerfless epitaxial silicon wafers with 7 ms carrier lifetimes and a wide lift-off process window*. Japanese Journal of Applied Physics, 57, 041301, (2018)

Haase F., Hollemann C., Schäfer S., Merkle A., Rienäcker M., Krügener J., Brendel R., Peibst R.: *Laser contact openings for local poly-Si-metal contacts enabling 26.1%-efficient POLO-IBC solar cells*. Solar Energy Materials & Solar Cells, 186, 184, (2018)

Haase F., Käsewieter J., Nabavi S.R., Jansen E., Rolfes R., Köntges M.: *Fracture probability, crack patterns, and crack widths of multicrystalline silicon solar cells in PV modules during mechanical loading*. IEEE Journal of Photovoltaics, 8 (6), 1510, (2018)

Haase F., Lim B., Merkle A., Dullweber T., Brendel R., Günther C., Holthausen M.H., Mader C., Wunnicke O., Peibst R.: *Printable liquid silicon for local doping of solar cells*. Solar Energy Materials & Solar Cells, 179, 129, (2018)

Haase F., Schäfer S., Klamt C., Kiefer F., Krügener J., Brendel R., Peibst R.: *Perimeter recombination in 25 %-efficient IBC solar cells with passivating POLO contacts for both polarities*. IEEE Journal of Photovoltaics, 8 (1), 23, (2018)

Helmich L., Walter D.C., Bredemeier D., Falster R., Voronkov V.V., Schmidt J.: *In-situ characterization of electron-assisted re-generation of Cz-Si solar cells*. Solar Energy Materials & Solar Cells, 185, 283, (2018)

Köntges M., Schulte-Huxel H., Blankemeyer S., Vogt M.R., Holst H., Reineke-Koch R.: *Measuring the light recovery factor of backsheets in photovoltaic modules*. Solar Energy Materials & Solar Cells, 186, 175, (2018)

Kröger I., Friedrich D., Winter S., Salis E., Müllejans H., Pavanello D., Hohl-Ebinger J., Bothe K., Hinken D., Dittmann S., Friesen G., Bliss M., Betts T., Gottschalg R., Rimmelpacher L., Stang J., Herrmann W., Dubard J.: *Results of the round robin calibration of reference solar cells within the PhotoClass project*. International Journal of Metrology and Quality Engineering, 9 (8), (2018)

Kruse C.N., Bothe K., Brendel R.: *Comparison of free energy loss analysis and synergistic efficiency gain analysis for PERC solar cells*. IEEE Journal of Photovoltaics, 8 (3), 683, (2018)

Pazidis A., Reineke-Koch R.: *Magnetron sputtered TiO_x layers: structural, electrical, optical and thermochromic aspects*. Thin Solid Films, Elsevier, 649, 43-50, DOI: 10.1016/j.tsf.2017.12.019, ISSN: 0040-6090, (03/2018)

Peibst R., Larionova Y., Reiter S., Wietler T.F., Orłowski N., Schäfer S., Min B., Stratmann M., Tetzlaff D., Krügener J., Höhne U., Kähler J.D., Mehlich H., Frigge S., Brendel R.: *Building blocks for industrial, screen-printed double-side contacted POLO cells with highly transparent ZnO: Al layers*. IEEE Journal of Photovoltaics, 8 (3), 719, (2018)

Schäfer S., Brendel R.: *Accurate calculation of the absorptance enhances efficiency limit of crystalline silicon solar cells with Lambertian light trapping*. IEEE Journal of Photovoltaics, 8 (4), 1156, (2018)

Schiebler B., Jack S., Dieckmann H., Giovannetti F.: *Experimental and theoretical investigations on temperature limitation in solar thermal collectors with heat pipes: Effect of superheating on the maximum temperature*. Solar Energy, 171, 271-278, DOI: 10.1016/j.solener.2018.06.036, (09/2018)

Schmidt J., Peibst R., Brendel R.: *Surface passivation of crystalline silicon solar cells, Present and future*. Solar Energy Materials & Solar Cells, 187, 39, (2018)

Schnabel M., Rienäcker M., Warren E.L., Geisz J.F., Peibst R., Stradins P., Tamboli A.C.: *Equivalent Performance in Three-Terminal and Four-Terminal Tandem Solar Cells*. IEEE Journal of Photovoltaics, 8 (6), 1584-1589, DOI: 10.1109/JPHOTOV.2018.2865175, ISSN: 2156-3381, (2018)

Steinweg J., Helbig S.: *Neues Sonnenhauskonzept mit Bauteilaktivierung statt großem Speicher*. GI Gebäudetechnik in Wissenschaft und Praxis, ITM InnoTech Medien GmbH, 139, 210-220, ISSN: 2195-643X, (03/2018)

Veröffentlichungen in referierten Zeitschriften/Peer-reviewed publications

Titova V., Schmidt J.: *Implementation of full-area-deposited electron-selective TiO_x layers into silicon solar cells*. AIP Advances, 8 (12), (2018)

Veith-Wolf B.A., Schäfer S., Brendel R., Schmidt J.: *Reassessment of intrinsic lifetime limit in n-type crystalline silicon and implication on maximum solar cell efficiency*. Solar Energy Materials & Solar Cells, 186, 194, (2018)

Veith-Wolf B.A., Witteck R., Morlier A., Schulte-Huxel H., Vogt M.R., Schmidt J.: *Spectra-Dependent stability of the passivation quality of $Al_2O_3/c-Si$ interfaces*. IEEE Journal of Photovoltaics, 8 (1), 96, (2018)

Warren E.L., Deceglie M.G., Rienacker M., Peibst R., Tamboli A.C., Stradins P.: *Maximizing tandem solar cell power extraction using a three-terminal design*. Sustainable Energy Fuels, Royal Society of Chemistry, 2 (6), 1141-1147, DOI: 10.1039/C8SE00133B, ISSN: 2398-4902, (2018)

Wolter S. J., Steckenreiter V., Tatarzyn M.C., Wietler T., Niepelt R., Kajari-Schröder S.: *Determination and influence evaluation of the acoustic impedance ratio for thermal co-evaporation*. Applied Physics Letters, 113 (1), 013301, DOI: 10.1063/1.5037403, ISSN: 0003-6951, (2018)

Zielke D., Gogolin R., Halbich M.-U., Marquardt C., Lövenich W., Sauer R., Schmidt J.: *Large-area PEDOT:PSS/c-Si heterojunction solar cells with screen-printed metal contacts*. Solar RRL, 2, 1700191, DOI: 10.1002/solr.201700191, (2018)

Andere Veröffentlichungen/Other publications

Bett A., Glunz S., Wirth H., Schlatmann R., Stannowski B., Brendel R., Lim B., Ding K.: *Forschung und Entwicklung in der Silizium-Photovoltaik: Heute und morgen*. FVEE Themen, „Innovationen für die Energiewende“, FVEE, 67-73, ISSN 0939-7582, Berlin, (4/2018)

Bothe K., Hinken D., Gandy T., Ahrens I., Schinke C.: *Approximating the determination of the spectral responsivity of solar cells*. Proc. 7th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion (WCPEC-7), IEEE, 381-385, Waikoloa, HI, USA, (07/2018)

Bredemeier D., Walter D.C., Schmidt J.: *Lifetime degradation in multicrystalline silicon under illumination at elevated temperature, Indications for the involvement of hydrogen*. SiliconPV 2018, Conference Proceedings, AIP, 1999, 130001, Lausanne, Schweiz, (2018)

Bredemeier D., Walter D.C., Schmidt J.: *Production compatible remedy against LeTID in high-performance multicrystalline silicon solar cells*. Proc. 35th European Photovoltaic Solar Energy Conference, WIP Renewable Energy, 406, Brüssel, Belgien, (2018)

Brendel R., Kruse C.: *Screening carrier selective contact combinations for novel crystalline Si cell structures*. Proc. 28th NREL Workshop on Crystalline Silicon Solar Cells & Modules: Materials and Processes, WIP Renewable Energy, 58-65, Winterpark, CO, USA, (2018)

Brendel R., Kruse C., Merkle A., Schulte-Huxel H., Haase F., Peibst R.: *Screening Carrier Selective Contact Combinations for Novel Crystalline Si Cell Structures*. Proc. 35th European Photovoltaic Solar Energy Conference, WIP Renewable Energy, DOI: 10.4229/35thEUPVSEC20182018-1AO.2.6, Brüssel, Belgien, (2018)

Brötje S., Busche L., Grodtke Z., Tränkel N., Kirchner M., Kunze I., Witteck R., Schabbach T., Giovannetti F.: *Optimierung und Evaluation eines nicht abgedeckten, modularen photovoltaischen thermischen Kollektors basierend auf einem Montagesystem mit Integralbauweise*. Tagungsband Symposium Solarthermie 2018 – Technik für die Wärmewende, Conexio GmbH, 234-252, Bad Staffelstein, (06/2018)

Andere Veröffentlichungen/Other publications

Brötje S., Kirchner M., Schabbach T., Giovannetti F.: *Performance assessment of a photovoltaic-thermal roof with modular heat exchanger*. Proc. 12th International Conference on Solar Energy for Buildings and Industry (EuroSun 2018), International Solar Energy Society (ISES), 743-754, Rapperswil, Schweiz, (2018)

Dullweber T.: *p-PERC+ solar cells*. Bifacial Photovoltaics: Technology, Applications and Economics, IET, Kapitel 2.5.4, ISBN 978-1785612749, UK, (2018)

Dullweber T., Schmidt J.: *Surface passivation of industrial PERC solar cells*. Surface Passivation of Industrial Crystalline Silicon Solar Cells, IET, Kapitel 8, DOI: 10.1049/PBPO106E_ch8, e-ISBN: 9781785612473, UK, (2018)

Francke H., Kastner O., Meixner J., Shao H.: *Effizienter Strom-einsatz zur Bereitstellung geothermischer Wärme*. Tagungsband FVEE Jahrestagung 2018, FVEE, Berlin, (2018)

Gemmel C., Hensen J., Folchert N., Haase F., Peibst R., Kajari-Schröder S., Brendel R.: *9 ms carrier lifetime in kerfless epitaxial wafers by n-type POLO gettering*. SiliconPV 2018, Conference Proceedings, AIP, 1999, 130005, Lausanne, Schweiz, (2018)

Gewohn T., Blankemeyer S., Vogt M.R., Schulte-Huxel H., Köntges M., Lim B., Schinke C., Brendel R.: *Laminated textiles enabling custom appearance of building integrated photovoltaic modules*. Proc. 35th European Photovoltaic Solar Energy Conference, WIP Renewable Energy, 1842, Brüssel, Belgien, (2018)

Giovannetti F., Kastner O., Lampe C., Reineke-Koch R., Park S., Steinweg J.: *Technologiebericht 1.4: Solare Wärme und Kälte*. Technologien für die Energiewende, Wuppertal Institut, ISI, IZES, 1, ISSN 1862-1953, Wuppertal, (04/2018)

Giovannetti F., Schlatmann R., Cordes T., Kramer W., Riepl M., Proell M., Staudacher L.: *Solare Wärme und Kälte*. FVEE-Themen „Innovationen für die Energiewende“, FVEE, 81-87, ISSN 0939-7582, Berlin, (04/2018)

Halbich M.-U., Zielke D., Gogolin R., Sauer R., Lövenich W., Schmidt J.: *Reduction of parasitic absorption in PEDOT:PSS at the rear of c-Si solar cells*. SiliconPV 2018, Conference Proceedings, AIP, 1999, 040008, Lausanne, Schweiz, (2018)

Helbig S., Eggert D., Adam M.: *Einfluss von Speicheranschluss-höhen und geschichteter Speicherbe- und -entladung auf die Effizienz solarer Kombisysteme im Mehrfamilienhaus*. Tagungsband Symposium Solarthermie 2018 – Technik für die Wärmewende, Conexio GmbH, 512-523, Bad Staffelstein, (06/2018)

Helbig S., Kirchner M., Giovannetti F., Lampe C., Littwin M., Kastner O.: *PVT-Kollektoren als bisolare Wärmepumpenquelle – Ein Simulationsvergleich zwischen Polysun und TRNSYS*. Tagungsband Symposium Solarthermie 2018 – Technik für die Wärmewende, Conexio GmbH, 376-388, Bad Staffelstein, (06/2018)

Hüsing F.: *Welche Wärmequellen sind optimal für Wärmepumpen?* BINE-Projektinfo 06/2018, BINE Informationsdienst, ISSN 0937-8367, Eggenstein-Leopoldshafen, (06/2018)

Hüsing F., Mercker O.: *Energieversorgung im Einfamilienhaus mittels Wärmepumpe, horizontalen Erdwärmekollektoren und photovoltaisch/thermischen Solarkollektoren*. Tagungsband 1. Regenerative Energietechnik-Konferenz (RET.Con), in.RET, 1, 121-128, ISBN 978-3-940820-13-6, Nordhausen, (02/2018)

Jahn U., Herz M., Köntges M., Parlevliet D., Paggi M., Tsanakas I., Stein J.S., Berger K.A., Ranta S., French R.H., Richter M., Tanahashi T.: *Review on Infrared and Electroluminescence Imaging for PV Field Applications*. Photovoltaic Power Systems Programme (PVPS), International Energy Agency (IEA), T13-10, (2018)

Knoop M., Littwin M., Kesting M., Ohrdes T.: *Modell zur ökonomischen und ökologischen Bewertung von Gebäudeversorgungs-verfahren im Rahmen des Mieterstromgesetzes*. PV-Symposium 2018, Conexio GmbH, 498-519, Bad Staffelstein, (2018)

Köhl M., Saile S., Weiß K.-A., Fischer S., Meir M., Wallner G., Louvet Y., Giovannetti F., Veynandt F., Mugnier D., Philippen D., Thür A.: *Price reduction of solar thermal system – Results of IEA SHC Task 54*. Proceedings 1st International Sustainable Energy Conference (ISEC), AEE, 1, 429, Graz, Österreich, (2018)

Kruse C.N., Bothe K., Lim B., Dullweber T., Brendel R.: *Synergistic Efficiency Gain Analyses (SEGA) for the photovoltaic community: An easy to use SEGA simulation tool for silicon solar cells*. Proc. 35th European Photovoltaic Solar Energy Conference, WIP Renewable Energy, 249, Brüssel, Belgien, (2018)

Lim B., Merkle A., Peibst R., Dullweber T., Wang Y., Zhou R.: *LID-free PERC+ solar cells with stable efficiencies up to 22.1 %*. Proc. 35th European Photovoltaic Solar Energy Conference, WIP Renewable Energy, 359, Brüssel, Belgien, (2018)

Merkle A., Min B., Brendel R., Peibst R., Seren S., Knauss H., Nissler R., Steffens J., Terheiden B.: *Atmospheric pressure chemical vapor deposition of in-situ doped amorphous silicon layers for passivating contacts*. Proc. 35th European Photovoltaic Solar Energy Conference, WIP Renewable Energy, 785, Brüssel, Belgien, (2018)

Andere Veröffentlichungen/Other publications

Min B., Vogt M.R., Wietler T., Reineke-Koch R., Wolpensinger B., Köhnen E., Tetzlaff D., Schinke C., Brendel R., Peibst R.: *Increasing the photo-generated current in solar cells with passivating contacts by reducing the poly-Si deposition temperature*. SiliconPV 2018, Conference Proceedings, AIP, 1999, 040015, Lausanne, Schweiz, (2018)

Min B., Wietler T., Bordihn S., Peibst R., Desrues T., Carroy P., Jourdan J., Hermle M., Feldmann F., Bartsch J., Allebé C., Ding L., Horzel J., Lachowicz A., Ingenito A., Haug F.-J., Schneiderlöchner E., Linss V., Lüdemann K., Campa A., Bokalic M., Topic M., Zwegers M., Hartlin B., Field B., Bénédicte B., Adam Z., Penaud J., Filonovich S., Marcon E., Chupin J., Tamini F.: *Status of the EU H2020 Disc Project: European Collaboration in Research and Development of High Efficient Double Side Contacted Cells with Innovative Carrier-Selective Contacts*. Proc. 35th European Photovoltaic Solar Energy Conference, WIP Renewable Energy, 229, Brüssel, Belgien, (2018)

Morales-Vilches A.B., Larionova Y., Wietler T., Cruz A., Korte L., Peibst R., Brendel R., Schlattmann R., Stannowski B.: *ZnO: Al/a-SiO_x front contact for polycrystalline-silicon-on-oxide (POLO) solar cells*. SiliconPV 2018, Conference Proceedings, AIP, 1999, 040016, Lausanne, Schweiz, (2018)

Morlier A., Siebert M., Kunze I., Blankemeyer S., Köntges M.: *Influence of environmental conditions on UV fluorescence imaging in the field*. Proc. 7th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion (WCPEC-7), IEEE, 1309-1312, Waikoloa, HI, USA, (07/2018)

Morlier A., Siebert M., Kunze I., Blankemeyer S., Köntges M.: *Ultraviolet fluorescence of ethylene-vinyl acetate in photovoltaic modules as estimation tool for yellowing and power loss*. Proc. 7th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion (WCPEC-7), IEEE, 1597-1602, Waikoloa, HI, USA, (07/2018)

Müller S., Dittrich A., Reineke-Koch R., Giovannetti F., Hafner B.: *Thermochrome Absorberbeschichtungen für solarthermische Kollektoren – Stand der Technik, Schichtentwicklung, Systembewertung*. Tagungsband 1. Regenerative Energietechnik-Konferenz (RET.Con), in:RET, 1, 15-26, ISBN 978-3-940820-13-6, Nordhausen, (02/2018)

Müller S., Reineke-Koch R., Giovannetti F., Hafner B.: *Experimental Investigations on the Stagnation Behavior of Thermochromic Flat Plate Collectors*. Proc. 12th International Conference on Solar Energy for Buildings and Industry (EuroSun 2018), International Solar Energy Society (ISES), 12, 1032-1042, Rapperswil, Schweiz, (2018)

Müller S., Reineke-Koch R., Giovannetti F., Hafner B.: *Experimentelle Untersuchung der Stagnationsbelastungen in einer Trinkwarmwasseranlage mit thermochromen Flachkollektoren*. Tagungsband Symposium Solarthermie 2018 – Technik für die Wärmewende, Conexio GmbH, 281-296, Bad Staffelstein, (06/2018)

Niepelt R., Wolter S. J., Tatarzyn M., Diederich M., Steckenreiter V., Wietler T., Peibst R., Kajari-Schröder S.: *Application of Experimentally Determined Acoustic Impedance Ratio for Homogeneous Co-Evaporation of Perovskite Absorbers*. Proc. 7th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion (WCPEC-7), IEEE, 508-511, Waikoloa, HI, USA, (07/2018)

Ohrdes T., Büchner T., Zobel M., Rehault N., Xhonneux A., Wagner A., Büttner B.: *Smarte Gebäude im Energiesystem*. Tagungsband FVEE Jahrestagung 2018, FVEE, Berlin, (2018)

Pazidis A., Reineke-Koch R.: *Magnetron sputtered TiO_x layers, structural, electrical, optical and thermochromic aspects*. Abstract-Book, 10th Workshop Ellipsometry, TU Chemnitz, 42, Chemnitz, (03/2018)

Peibst R., Rienäcker M., Min B., Klamt C., Niepelt R., Wietler T., Dullweber T., Sauter E., Hübner J., Oestreich M., Brendel R.: *p⁺/n⁺ polysilicon-on-oxide tunneling junctions as an interface of p-type PERC cells for tandem applications*. Proc. 7th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion (WCPEC-7), IEEE, 2635-2637, Waikoloa, HI, USA, (07/2018)

Schiebler B., Giovannetti F., Fischer S.: *Levelized cost of for solar thermal systems with overheating prevention*, International Energy Agency/Solar heating & Cooling Program TASK 54. Solar Heating & Cooling Programme (SHC), International Energy Agency (IEA), Info Sheet B05, (10/2018)

Schiebler B., Giovannetti F., Fischer S.: *Reduction of maintenance costs by preventing overheating*, International Energy Agency/Solar heating & Cooling Program TASK 54. Solar Heating & Cooling Programme (SHC), International Energy Agency (IEA), Info Sheet B03, (10/2018)

Schiebler B., Weiland F., Giovannetti F.: *Experimentelle Bewertung von stagnationssicheren Sonnenkollektoren mit Wärmerohren zur solaren Trinkwarmwasserbereitung in Thermosiphonsystemen*. Tagungsband Symposium Solarthermie 2018 – Technik für die Wärmewende, Conexio GmbH, 306-322, Bad Staffelstein, (06/2018)

Andere Veröffentlichungen/Other publications

Schiebler B., Weiland F., Giovannetti F., Jack S.: *Entwicklung und Bewertung von Flachkollektoren mit Wärmerohren zur Begrenzung der Stagnationstemperatur in Solarkreisen*. Tagungsband Symposium Solarthermie 2018 – Technik für die Wärmewende, Conexio GmbH, 50-69, Bad Staffelstein, (06/2018)

Schinke C., Vogt M.R., Bothe K.: *Optical Modeling of Photovoltaic Modules with Ray Tracing Simulations*. Photovoltaic Modeling Handbook, Wiley-Blackwell, Kapitel 3, DOI: 10.1002/9781119364214.ch3, (2018)

Schinke C., Vogt M.R., Bothe K.: *Optical Modeling of Photovoltaic Modules with Ray Tracing Simulations*. Photovoltaic Modeling Handbook, Wiley Scrivener/Freunek M. (Ed.), 27-92, ISBN 978-1-119-36352, Beverly, MA, USA, (2018)

Schulte-Huxel H., Silverman T. J., Friedman D.J., Deceglie M. G., Rienäcker M., Schnabel M., Warren E.L., Niepelt R., Vogt M.R., Stradins P., Peibst R., Tamboli A.C.: *Yield analysis and comparison of GaInP/Si and GaInP/GaAs multi-terminal tandem solar cells*. SiliconPV 2018, Conference Proceedings, AIP, 1999 (1), 120002, DOI: 10.1063/1.5049319, Lausanne, Schweiz, (04/2018)

Titova V., Startsev D., Schmidt J.: *Electron-selective atomic-layer-deposited TiO_x layers, Impact of post-deposition annealing and implementation into n-type silicon solar cells*. SiliconPV 2018, Conference Proceedings, AIP, 1999, 040022, Lausanne, Schweiz, (2018)

Tsanakas J.A., Jahn U., Herz M., Köntges M., Parlevliet D., Paggi M., Stein J.S., Berger K.A., Ranta S., French R., Richter M., Tanahashi T.: *Infrared and electroluminescence imaging for PV field applications*. Proc. 35th European Photovoltaic Solar Energy Conference, WIP Renewable Energy, 13, 1440-1447, Brüssel, Belgien, (2018)

Ulbikas J., Ulbikaite V., Denafas J., Witteck R., Köntges M., Topic M., Frontini F., Bonomo P., Macé P., Bolt P.J., Ulyashin A.G., Haarberg T., Palitzsch W., Terheiden B., Weiss I.: *Introducing the Super PV Project – Cost Reduction and Enhanced Performance of PV Systems*. Proc. 35th European Photovoltaic Solar Energy Conference, WIP Renewable Energy, 2164, Brüssel, Belgien, (2018)

VanSant K., Schnabel M., Simon J., Geisz J., Ptak A., Young M., Guiling D., Olavarria W., Rienaecker M., Schulte-Huxel H., Niepelt R., Kajari-Schroeder S., Brendel R., Peibst R., Tamboli A.: *HVPE vs. MOCVD: A Comparison of GaAs//Si Tandem Device Performance*. Proc. 7th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion (WCPEC-7), IEEE, 2776-2778, Waikoloa, HI, USA, (07/2018)

Vogt M.R., Gewohn T., Bothe K., Brendel R.: *Impact of using spectrally resolved ground albedo data for performance simulations of bifacial modules*. Proc. 35th European Photovoltaic Solar Energy Conference, WIP Renewable Energy, 1011, Brüssel, Belgien, (2018)

Walter D.C., Helmich L., Bredemeier D., Falster R., Voronkov V.V., Schmidt J.: *Lifetime evolution during regeneration in boron-doped Czochralski-silicon*. Proc. 35th European Photovoltaic Solar Energy Conference, WIP Renewable Energy, 522, Brüssel, Belgien, (2018)

Warren E.L., Rienaecker M., Deceglie M.G., Schnabel M., Peibst R., Tamboli A.C., Stradins P.: *Operating principles of three-terminal solar cells*. Proc. 7th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion (WCPEC-7), IEEE, 2648-2650, Waikoloa, HI, USA, (07/2018)

Vorträge/Presentations

Bredemeier D.: *Production compatible remedy against LeTID in high-performance multicrystalline silicon solar cells*. 35th European Photovoltaic Solar Energy Conference (EUPVSEC), 24.-28.9.2018, WIP Renewable Energies, Brüssel, Belgien, 26.9.2018

Brendel R.: *Aus der Forschung in die Welt: Photovoltaik, von den Grundlagen bis zum Weltrekord*. Vortragsreihe „Technologieorientiertes Management“, TU Braunschweig, Braunschweig, 30.5.2018

Brendel R.: *Screening carrier-selective contact combinations for novel crystalline Si cell structures*. 28th NREL Silicon Workshop, 12.-15.8.2018, Sinton Instruments & NREL, Winterpark, CO, USA, 14.8.2018

Brendel R.: *Screening selective contact material combinations for novel crystalline Si cell structures*. 35th European Photovoltaic Solar Energy Conference (EUPVSEC), 24.-28.9.2018, WIP Renewable Energies, Brüssel, Belgien, 24.9.2018

Brendel R.: *Selektive Kontakte – „next Gen“ der c-Si-Zelle*. BMWi Strategieggespräch zu F&E im Bereich Photovoltaik, BMWi, Berlin, 24.10.2018

Brendel R.: *Selektive Kontakte: Fundament und Zukunft der kristallinen Siliziumphotovoltaik*. Herbsttagung VDMA Fachverband EMINT, 11.-12.9.2018, Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e.V., Berlin, 12.9.2018

Brendel R.: *Silicon cell concepts – trends in research*. PV Module Technology & Applications Forum 2018, 29.-30.1.2018, TÜV Rheinland, Köln, 29.1.2018

Brendel R.: *Solarenergie für Niedersachsen*. Niedersächsische Solarenergietage, 6.-7.9.2018, ISFH & EFZN, Hannover, 6.9.2018

Brendel R.: *Solarenergie, bewährt seit 4 Mrd. Jahren!* Tag der Energieforschung 2018 des Leibniz Forschungszentrum Energie 2050 (LiFE 2050), Leibniz Universität Hannover (LUH), Hannover, 15.5.2018

Eggemann J.: *Das neue Sonnenhaus im Praxistest*. Umweltschonendes Bauen und Sanieren – Nutzung erneuerbarer Energien im Neubau und in der Bestandssanierung, Behörde für Umwelt und Energie Hamburg, Hamburg, 17.5.2018

Folchert N.: *Temperature-Dependent Contact Resistance Measurements on Carrier-Selective Poly-Si on Oxide Junctions*. 8th International Conference on Crystalline Silicon Photovoltaics (SiliconPV 2018), 19.-21.3.2018, PSE Conferences & Consulting GmbH, Lausanne, Schweiz, 21.3.2018

Giovannetti F.: *Cost reduction in solar thermal systems with temperature limitation*. 6th IEA SHC TASK 54 Meeting, 24.-26.5.2018, International Energy Agency/SHC Program, Sophia Antipolis, Frankreich, 25.5.2018

Giovannetti F.: *Development of uncovered PVT collectors*. International workshop on the status of PVT systems/IEA SHC TASK 60, International Energy Agency/SHC Program, Freiburg, 16.5.2018

Giovannetti F.: *Improvements developed during the IEA SHC Task 54 – Technical improvements*. EuroSun 2018 – 12th International Conference on Solar Energy for Building and Industry, 10.-13.9.2018, ISES, Rapperswil, Schweiz, 13.9.2018

Giovannetti F.: *Maintenance costs for German solar thermal reference systems*. 6th IEA SHC TASK 54 Meeting, 24.-26.5.2018, International Energy Agency/SHC Program, Sophia Antipolis, Frankreich, 26.5.2018

Giovannetti F.: *Optimierte Solarthermiesysteme in Mehrfamilienhäusern und Quartieren*. Berliner Energietage, 7.-8.5.2018, EUMB Pöschk GmbH & Co. KG, Berlin, 8.5.2018

Giovannetti F.: *Performance assessment of a photovoltaic-thermal roof with modular heat exchanger*. EuroSun 2018 – 12th International Conference on Solar Energy for Building and Industry, 10.-13.9.2018, ISES, Rapperswil, Schweiz, 11.9.2018

Goslich R.: *Solartechnik*. AMEV-Fachtechnikseminar für Referendare und Anwarter, 19.-23.11.2018, Oberfinanzdirektion Hannover, Hannover, 23.11.2018

Haase F.: *Laser Contact Openings for Local Poly-Si-Metal Contacts*. 8th International Conference on Crystalline Silicon Photovoltaics (SiliconPV 2018), 19.-21.3.2018, PSE Conferences & Consulting GmbH, Lausanne, Schweiz, 19.3.2018

Helmich L.: *In-situ characterization of electron-assisted regeneration of Cz-Si solar cells*. 8th International Conference on Crystalline Silicon Photovoltaics (SiliconPV 2018), 19.-21.3.2018, PSE Conferences & Consulting GmbH, Lausanne, Schweiz, 20.3.2018

Hinken D.: *Calculation of U(MM) using the Monte-Carlo method*. Spectral Mismatch Uncertainty Workshop, 3.-4.12.2018, ISFH, Hameln, 3.12.2018

Hinken D.: *Certified measurements of industrial solar cells at ISFH CalTeC*. Intersolar Europe 2018, 18.-22.5.2018, Solar Promotion GmbH, München, 19.5.2018

Vorträge/Presentations

Hüsing F.: *Erdwärmekollektoren und Sonnenkollektoren als optimierte bivalente Quelle für hocheffiziente Wärmepumpensysteme*. Gemeinsamer Abschlussworkshop Terra-Solar-Quelle und future:heatpump, BWP, tewag, ISFH, IGS, Offenburg, 28.2.2018

Hüsing F.: *Hardware in the loop testing of heat pumps – enabling evaluation of quality including control*. 5. Internationale Konferenz Niedertemperatur- und Abwärmennutzung in kommunalen und industriellen Energieversorgungssystemen (LTHU), Hochschule Bremen, Bremen, 25.10.2018

Hüsing F.: *PV-Strom für die Wärmenutzung: theoretische Potenziale*. 10. Effizienztagung Bauen + Modernisieren, 9.11.2018, Energie- und Umweltzentrum am Deister e. V. (euz), Hannover, 10.11.2018

Hüsing F.: *Sonnenhaus ohne großen Speicher*. DGS-Thementag, Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie e.V. (DGS), ISFH, Emmerthal, 5.2.2018

Kastner O.: *Effizienter Stromeinsatz zur Bereitstellung geothermischer Wärme*. FVEE Jahrestagung 2018, 17.-18.11.2018, FVEE, Berlin, 18.11.2018

Kastner O.: *Heizen mit Solarenergie und Wärmepumpe*. Tag der Energieforschung 2018 des Leibniz Forschungszentrum Energie 2050 (LiFE 2050), Leibniz Universität Hannover (LUH), Hannover, 15.5.2018

Kastner O.: *Integration of shallow geothermal and solar systems: Research results at ISFH*. Niederländisch – Niedersächsischer Fachaustausch zum Thema Erdwärme, Wärmeversorgung und Untergrund, Generalkonsulat des Königreichs der Niederlande, Düsseldorf, Groningen, Niederlande, 19.9.2018

Kastner O.: *Power-to-Heat concepts viewed from heat supply*. DFG SPP 1599, „Ferroic Cooling“ Focus Meeting C: Elastocalorics, 13.3.2018, Universität Sarrbrücken, Saarbrücken, 13.3.2018

Kastner O.: *Power-to-Heat Konzepte aus Sicht der Wärmewende*. Clean Energy Package – Chancen und Risiken für eine zukünftige Wärmeversorgung, EWE, Brüssel, Belgien, 20.3.2018

Kastner O.: *Solare Systemtechnik für die Quartiersversorgung von morgen*. Antrittsvorlesung, Leibniz Universität Hannover (LUH), Hannover, 25.4.2018

Klamt C.: *Intrinsic Poly-Crystalline Silicon Region in between the p^+ and n^+ POLO Contacts of an 26.1%-Efficient IBC Solar Cell*. 35th European Photovoltaic Solar Energy Conference (EUPVSEC), 24.-28.9.2018, WIP Renewable Energies, Brüssel, Belgien, 26.9.2018

Köntges M.: *22% Efficient Bifacial PERC+ Solar Cells with High Energy Yield*. Intersolar Europe 2018, 18.-22.5.2018, Solar Promotion GmbH, München, 20.5.2018

Köntges M.: *Statistics of Photovoltaic Module Failure*. Quality and Sustainability of PV systems, ETIP PV, Brüssel, Belgien, 3.5.2018

Köntges M.: *Status and perspective of photovoltaic modules from PERC+ solar cells*. Renewable Energy Solution Forum – Photovoltaic 2018, 29.-30.3.2018, Messe Frankfurt (Shanghai) Co., Ltd, Shanghai, China, 29.3.2018

Köntges M.: *Ultraviolet Fluorescence for Failure Analysis in Large PV Systems*. Intersolar Europe 2018, 18.-22.5.2018, Solar Promotion GmbH, München, 19.5.2018

Kruse C.N.: *Synergistic efficiency gain analyses: An easy to use SEGA simulation tool for silicon solar cells*. 35th European Photovoltaic Solar Energy Conference (EUPVSEC), 24.-28.9.2018, WIP Renewable Energies, Brüssel, Belgien, 24.9.2018

Lim B.: *LID-free PERC+ solar cells with stable efficiencies up to 22.1%*. 35th European Photovoltaic Solar Energy Conference (EUPVSEC), 24.-28.9.2018, WIP Renewable Energies, Brüssel, Belgien, 25.9.2018

Lim B.: *Sonnige Aussichten: Neue Entwicklungen und Technologieoptionen für die Solarenergienutzung*. Niedersächsische Solarenergietage, 6.-7.9.2018, ISFH & EFZN, Hannover, 6.9.2018

Mercker O.: *Erdwärmekollektoren und Sonnenkollektoren als optimierte bivalente Quelle für hocheffiziente Wärmepumpensysteme*. Gemeinsamer Abschlussworkshop Terra-Solar-Quelle und future:heatpump, BWP, tewag, ISFH, IGS, Offenburg, 28.2.2018

Min B.: *Increasing the Photo-generated Current in Solar Cells with Passivating Contacts by Reducing the Poly-Si Deposition Temperature*. 8th International Conference on Crystalline Silicon Photovoltaics (SiliconPV 2018), 19.-21.3.2018, PSE Conferences & Consulting GmbH, Lausanne, Schweiz, 21.3.2018

Min B.: *Status of the EU H2020 DISC project: European collaboration in research and development of high efficient double side contacted cells with innovative carrier-selective contacts*. 35th European Photovoltaic Solar Energy Conference (EUPVSEC), 24.-28.9.2018, WIP Renewable Energies, Brüssel, Belgien, 25.9.2018

Morlier A.: *Basics of UV fluorescence*. Workshop: UV Fluorescence Measurement for Damage Assessment of PV Modules, ISFH, Emmerthal, 12.10.2018

Vorträge/Presentations

Morlier A.: *Ultraviolet Fluorescence Of Ethylene-Vinyl Acetate In Photovoltaic Modules As Estimation Tool For Yellowing And Power Loss*. 7th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion (WCPEC-7), 10.-15.6.2018, IEEE, Waikoloa, HI, USA, 12.10.2018

Müller S.: *Thermochrome Absorberbeschichtungen für solarthermische Kollektoren – Stand der Technik, Schichtentwicklung, Systembewertung*. 1. Regenerative Energietechnik-Konferenz (RET.Con), 8.-9.2.2018, in.RET, Nordhausen, 8.2.2018

Niepelt R.: *Die Rolle der Solarenergie in einem gekoppeltem Energiesystem*. Ringvorlesung „Transformation des Energiesystems“, Leibniz Universität Hannover (LUH), Hannover, 16.5.2018

Niepelt R.: *Energiewende and the future role of solar in a renewable energy system in Lower Saxony*. Gäste der Anna University Chennai, Indien, Leibniz Universität Hannover (LUH), Hannover, 20.6.2018

Niepelt R.: *INSIDE: Integration von Solarenergie in die niedersächsische Energielandschaft*. Ausschuss für Erneuerbare Energien, Bauernverbände Landvolk und WLV, Borken, 6.11.2018

Niepelt R.: *Solarenergie – eine neue Kraft im Wettbewerb*. Hanseraumkonferenz (HAKO), Wirtschaftsjuvenoren Hameln, Hameln, 11.5.2018

Niepelt R.: *Solarenergie – Energie der Zukunft. Die Nacht, die Wissen schafft*, Leibniz Universität Hannover (LUH), Hannover, 10.11.2018

Ohrdes T.: *Da geht noch mehr – Einsatzmöglichkeiten von PV-Anlagen, Praxisbeispiele*. Fachforum-Solar, Industrie- und Handelskammer Hannover (IHK), Hannover, 29.5.2018

Ohrdes T.: *Partizipative Methoden im Forschungsprojekt Wind-Solar-Wärmepumpen-Quartier*. 4. Projektleitertreffen ENERGIEWENDEBAUEN, 24.-25.4.2018, Projektträger Jülich, Begleitforschung Energiewendebauen, Essen, 24.5.2018

Ohrdes T.: *Smarte Gebäude im Energiesystem*. FVEE Jahrestagung 2018, 17.-18.11.2018, FVEE, Berlin, 18.11.2018

Peibst R.: *In-depth study of poly-Si / oxide / c-Si junctions and p⁺ poly-Si / n⁺ poly-Si tunneling junctions for applications in Si single junction and Si-based tandem cells*. 2018 MRS Fall Meeting & Exhibit , 25.-30.11.2018, Materials Research Society (MRS), Boston, USA, 26.11.2018

Peibst R.: *Physics of passivating contacts and high temperature processes: how to get a maximum voltage from your cells*. Tutorial, SiliconPV 2018, 18.3.2018, L'Ecole polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL), Lausanne, Schweiz, 18.3.2018

Peibst R.: *p⁺/n⁺ polysilicon-on-oxide tunneling junctions as an interface of p-type PERC cells for tandem applications*. 7th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion (WCPEC-7), 10.-15.6.2018, IEEE, Waikoloa, HI, USA, 13.6.2018

Reineke-Koch R.: *Magnetron sputtered TiO_x Layers: Structural, electrical, optical and thermochromic aspects*. 10th Workshop Ellipsometry, 19.-21.3.2018, Arbeitskreis Ellipsometrie (AKE) – Drude e.V., Chemnitz, 19.3.2018

Schiebler B.: *Cost reduction by temperature limitation*. IEA TASK 54 Webinar: Price Reduction of Solar Thermal Systems, International Energy Agency/SHC Program, Freiburg, 14.3.2018

Schiebler B.: *Entwicklung und Bewertung von Flachkollektoren mit Wärmerohren zur Begrenzung der Stagnationstemperatur in Solarkreisen*. Symposium Solarthermie 2018 – Technik für die Wärmewende, 13.-15.6.2018, Conexio GmbH, Bad Staffelstein, 14.6.2018

Schinke C.: *Synergistic efficiency gain analyses: An easy to use SEGA simulation tool for silicon solar cells*. Projekttreffen GENESIS, InnoLas Solutions, München, 22.11.2018

Schinke C.: *Uncertainty and wavelength correlations of spectral irradiance measurements for sun simulators*. Spectral Mismatch Uncertainty Workshop, 3.-4.12.2018, ISFH, Hameln, 3.12.2018

Schmidt J.: *Advanced materials and solar cell concepts for future silicon-based photovoltaic devices*. 2nd FRIMS International Symposium on Frontier Materials, 1.-2.2.2018, Nagoya Institute of Technology (NIT), Nagoya, Japan, 2.2.2018

Schmidt J.: *Advanced materials for future silicon-based solar cells*. Festkörpertag Südniedersachsen, Leibniz Universität Hannover (LUH), Hannover, 20.6.2018

Schmidt J.: *Advanced materials for future silicon-based solar cells*. International Conference on Functional Nanomaterials and Nanodevices (NANOMAT) 2018, 3.-5.9.2018, European Nanoscience and Nanotechnology Association (ENNA) and Vienna University of Technology, Wien, Österreich, 3.9.2018

Schmidt J.: *Overview of photovoltaic research at ISFH*. Seminar, Nagoya University, Japan, Nagoya, Japan, 30.1.2018

Schmidt J.: *Understanding and controlling 'lifetime killers' in p-type and n-type silicon wafers*. Tutorial, SiliconPV 2018, 18.3.2018, L'Ecole polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL), Lausanne, Schweiz, 18.3.2018

Schulte-Huxel H.: *Photovoltaik: Aktueller Stand der Zell- und Modulproduktion und nächste technologische Entwicklungen*. Fachschaftstagung Physik des Cusanuswerkes, 1.-4.11.2018, Cusanuswerk, Plankstetten, 1.11.2018

Siebert M.: *Temperature effect on UV fluorescence*. Workshop: UV Fluorescence Measurement for Damage Assessment of PV Modules, ISFH, Emmerthal, 12.10.2018

Titova V.: *Implementation of full-area-deposited electron-selective TiO_x layers into silicon solar cells*. 35th European Photovoltaic Solar Energy Conference (EUPVSEC), 24.-28.9.2018, WIP Renewable Energies, Brüssel, Belgien, 26.9.2018

Veith-Wolf B.: *Reassessment of intrinsic lifetime limit in n-type crystalline silicon and implication on maximum solar cell efficiency*. 8th International Conference on Crystalline Silicon Photovoltaics (SiliconPV 2018), 19.-21.3.2018, PSE Conferences & Consulting GmbH, Lausanne, Schweiz, 21.3.2018

Veith-Wolf B.: *Spectra-Dependent Stability of Surface Passivation on p- vs. n-Type Silicon Solar Cells*. 8th International Conference on Crystalline Silicon Photovoltaics (SiliconPV 2018), 19.-21.3.2018, PSE Conferences & Consulting GmbH, Lausanne, Schweiz, 21.3.2018

Vogt M.R.: *Impact of using spectrally resolved ground albedo data for performance simulations of bifacial modules*. 35th European Photovoltaic Solar Energy Conference (EUPVSEC), 24.-28.9.2018, WIP Renewable Energies, Brüssel, Belgien, 25.9.2018

Wietler T.: *Formation of a Resistive SiO_x Layer at the Interface of Poly-Si to Aluminium-Doped Zinc Oxide*. 8th International Conference on Crystalline Silicon Photovoltaics (SiliconPV 2018), 19.-21.3.2018, PSE Conferences & Consulting GmbH, Lausanne, Schweiz, 21.3.2018

Poster/Posters

Bothe K.: *Approximating the determination of the spectral responsivity of solar cells*. 7th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion (WCPEC-7), IEEE, Waikoloa, HI, USA, (10.-15.6.2018)

Bredemeier D.: *Lifetime Degradation in Multicrystalline Silicon Under Illumination at Elevated Temperature: The Role of Hydrogen*. Tag der Energieforschung, Leibniz Universität Hannover (LUH), Hannover, (15.5.2018)

Bredemeier D., Walter D. C., Schmidt J.: *Lifetime degradation in multicrystalline silicon under illumination at elevated temperature: The role of hydrogen*. 8th International Conference on Crystalline Silicon Photovoltaics (SiliconPV 2018), PSE Conferences & Consulting GmbH, Lausanne, Schweiz, (19.-21.3.2018)

Brötje S.: *Modular, roof-integrated photovoltaic thermal hybrid collector*. Tag der Energieforschung, Leibniz Universität Hannover (LUH), Hannover, (15.5.2018)

Brötje S., Busche L., Grodtke Z., Tränkel N., Kirchner M., Kunze I., Witteck R., Schabbach T., Giovannetti F.: *Optimierung und Evaluation eines nicht abgedeckten, modularen photovoltaisch-thermischen Kollektors basierend auf einem Montagesystem mit Integralbauweise*. Symposium Solarthermie 2018 – Technik für die Wärmewende, Conexio GmbH, Bad Staffelstein, (13.-15.6.2018)

Gemmel C.: *8 ms Carrier Lifetime in Kerfless Epitaxial Wafers by n-Type POLO Gettering*. Tag der Energieforschung, Leibniz Universität Hannover (LUH), Hannover, (15.5.2018)

Gemmel C.: *8 ms Carrier Lifetime in Kerfless Epitaxial Wafers by n-Type POLO Gettering*. 8th International Conference on Crystalline Silicon Photovoltaics (SiliconPV 2018), PSE Conferences & Consulting GmbH, Lausanne, Schweiz, (19.-21.3.2018)

Gewohn T.: *Investigation of laminated textiles enabling a customary and cost-efficient design of BIPV modules*. 35th European Photovoltaic Solar Energy Conference (EUPVSEC), WIP Renewable Energies, Brüssel, Belgien, (24.-28.9.2018)

Gewohn T.: *Optical simulation of vertical façades using the in-house ray tracing framework Daidalos*. Tag der Energieforschung, Leibniz Universität Hannover (LUH), Hannover, (15.5.2018)

Haase F.: *26,1 %-efficient back contacted solar cells with passivating POLO contacts*. Tag der Energieforschung, Leibniz Universität Hannover (LUH), Hannover, (15.5.2018)

Halbich M., Zielke D., Gogolin R., Sauer R., Lövenich W., Schmidt J.: *Reduction of parasitic absorption in PEDOT:PSS at the rear of c-Si solar cells*. 8th International Conference on Crystalline Silicon Photovoltaics (SiliconPV 2018), PSE Conferences & Consulting GmbH, Lausanne, Schweiz, (19.-21.3.2018)

Poster/Posters

Halbich M., Zielke D., Gogolin R., Sauer R., Lövenich W., Schmidt J.: *Reduction of parasitic absorption in PEDOT:PSS at the rear of c-Si solar cells*. NanoDay 2018, LNQE, Leibniz Universität Hannover, Hannover, (27.9.2018)

Heinemeyer F., Dittrich A., Xu Ch., Müller S., Reineke-Koch R.: *Doping of VO₂ selective coatings for solar thermal collectors*. 16th International Conference on Plasma Surface Engineering, Europäische Forschungsgesellschaft Dünne Schichten e.V., Garmisch-Partenkirchen, (17.-21.9.2018)

Helbig S., Eggert D., Adam M.: *Einfluss von Speicheranschlüssen und geschichteter Speicherbe- und -entladung auf die Effizienz solarer Kombisysteme im Mehrfamilienhaus*. Symposium Solarthermie 2018 – Technik für die Wärmewende, Conexio GmbH, Bad Staffelstein, (13.-15.6.2018)

Helbig S., Kirchner M., Giovannetti F., Lampe C., Littwin M., Kastner O.: *PVT-Kollektoren als bisolare Wärmepumpenquelle – Ein Simulationsvergleich zwischen Polysun und TRNSYS*. Symposium Solarthermie 2018 – Technik für die Wärmewende, Conexio GmbH, Bad Staffelstein, (13.-15.6.2018)

Kirchner M.: *Solar-activated glass façade – heat and power generation*. Tag der Energieforschung, Leibniz Universität Hannover (LUH), Hannover, (15.5.2018)

Knoop M., Littwin M., Kesting M., Ohrdes T.: *Modell zur ökonomischen und ökologischen Bewertung von Gebäudeversorgungsverfahren im Rahmen des Mieterstromgesetzes*. PV-Symposium 2018, Conexio GmbH, Bad Staffelstein, (25.-27.4.2018)

Merkle A.: *Atmospheric Pressure Chemical Vapor Deposition of in-situ doped amorphous silicon layers for passivating contacts*. 35th European Photovoltaic Solar Energy Conference (EUPVSEC), WIP Renewable Energies, Brüssel, Belgien, (24.-28.9.2018)

Min B.: *Increasing the Photo-Generated Current in Solar Cells with Passivating Contacts by Reducing the Poly-Si Deposition Temperature*. 8th International Conference on Crystalline Silicon Photovoltaics (SiliconPV 2018), PSE Conferences & Consulting GmbH, Lausanne, Schweiz, (19.-21.3.2018)

Morlier A., Siebert M., Kunze I., Blankemeyer S., Köntges M.: *Influence Of Environmental Conditions On UV Fluorescence Imaging In The Field*. 7th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion (WCPEC-7), IEEE, Waikoloa, HI, USA, (10.-15.6.2018)

Müller S.: *Experimental investigations on the stagnation behaviour of thermochromic flat plate collectors*. EuroSun 2018 – 12th International Conference on Solar Energy for Building and Industry, ISES, Rapperswil, Schweiz, (10.-13.9.2018)

Müller S.: *Experimentelle Untersuchung der Stagnationsbelastungen in einer Trinkwarmwasseranlage mit thermochromen Flachkollektoren*. Symposium Solarthermie 2018 – Technik für die Wärmewende, Conexio GmbH, Bad Staffelstein, (13.-15.6.2018)

Niepelt R.: *Fassadensimulationen aus dem Masterplan-Hannover-Projekt*. Tag der Energieforschung, Leibniz Universität Hannover (LUH), Hannover, (15.5.2018)

Niepelt R., Wolter S.J., Tatarzyn M., Diederich M., Steckenreiter V., Wietler T., Peibst R., Kajari-Schröder S.: *Application of Experimentally Determined Acoustic Impedance Ratio for Homogeneous Co-Evaporation of Perovskite Absorbers*. 7th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion (WCPEC-7), IEEE, Waikoloa, HI, USA, (10.-15.6.2018)

Ohrdes T., Knoop M., Schneider E., Spielmann V., Bast O., Behnisch J.: *EnEff:Stadt Verbundvorhaben: Wind-Solar-Wärmepumpen-Quartier – Erneuerbar betriebene Wärmepumpen zur Minimierung des Primärenergiebedarfs*. 4. Dialogplattform Power-to-Heat – Sektorenkopplung von Strom, Wärme und Kälte, EFZN, VDE, ETG, Berlin, (11.-12.6.2018)

Schiebler B., Weiland F., Giovannetti F.: *Experimentelle Bewertung von stagnationssicheren Sonnenkollektoren mit Wärmerohren zur solaren Trinkwarmwasserbereitung in Thermosiphonsystemen*. Symposium Solarthermie 2018 – Technik für die Wärmewende, Conexio GmbH, Bad Staffelstein, (13.-15.6.2018)

Schulte-Huxel H., Silverman T.J., Friedman D.J., Deceglie M.G., Rienäcker M., Schnabel M., Warren E.L., Niepelt R., Vogt M.R., Stradins P., Peibst R., Tamboli A.C.: *Yield analysis and comparison of GaInP/Si and GaInP/GaAs multi-terminal tandem solar cells*. 8th International Conference on Crystalline Silicon Photovoltaics (SiliconPV 2018), PSE Conferences & Consulting GmbH, Lausanne, Schweiz, (19.-21.3.2018)

Titova V., Startsev D., Schmidt J.: *Electron-selective atomic-layer-deposited TiO_x layers: Impact of post-deposition annealing and implementation into n-type silicon solar cells*. 8th International Conference on Crystalline Silicon Photovoltaics (SiliconPV 2018), PSE Conferences & Consulting GmbH, Lausanne, Schweiz, (19.-21.3.2018)

Ulbikas J., Ulbikaite V., Denafas J., Witteck R., Köntges M., Topic M., Frontini F., Bonomo P., Macé P., Bolt P.J., Ulyashin A.G., Haarberg T., Palitzsch W., Terheiden B., Weiss I.: *Introducing the Super PV Project – Cost Reduction and Enhanced Performance of PV Systems*. 35th European Photovoltaic Solar Energy Conference (EUPVSEC), WIP Renewable Energies, Brüssel, Belgien, (9.-13.9.2018)

Poster/Posters

Walter D.C., Helmich L., Bredemeier D., Voronkov V.V., Falster R., Schmidt J.: *Lifetime evolution during regeneration in boron-doped Czochralski-silicon*. 35th European Photovoltaic Solar Energy Conference (EUPVSEC), WIP Renewable Energies, Brüssel, Belgien, (24.-28.9.2018)

Xu Ch., Dittrich A., Reineke-Koch R.: *In-situ spectroscopic ellipsometry applied for thermochromic selective absorber development*. E-MRS, Fall Meeting 2018, European Materials Research Society (E-MRS), Warschau, Polen, (17.-20.9.2018)



Die Nacht, die Wissen schafft – an der Leibniz Universität Hannover. Hier gibt ein Doktorand vom ISFH Auskunft zum Thema „Solarzellen durchleuchten“.

The night when science attracted families to the institutes of the Leibniz University, Hanover at a late hour. Here a graduate student of ISFH is giving information on the topic “X-raying solar cells”.

Studien- & Bachelorarbeiten/Seminar & bachelor papers

Distelhoff M.: *Wirtschaftlichkeitsberechnungen zu Energiesystemen mit PVT-Kollektoren in Ein- und Mehrfamilienhäusern*, (Bachelorarbeit), Fachbereich Management, Information, Technologie, Jade Hochschule, Wilhelmshaven, Mai 2018

Jagau L.S.: *Optische Charakterisierung sauerstoffhaltiger polykristalliner Siliziumschichten*, (Bachelorarbeit), Fakultät für Mathematik und Physik, Studiengang Physik, Leibniz Universität Hannover, Hannover, April 2018

Kreye M.: *Untersuchung des Betriebsverhaltens einer leistungsgeregelten Wärmepumpe*, (Bachelorarbeit), Fakultät für Maschinenbau und Bioverfahrenstechnik, Hochschule Hannover, Hannover, April 2018

Neumann J.: *Technische Untersuchung zur Einbindung von Solarthermie in die Nahwärmeversorgung des Ortes Hürup*, (Bachelorarbeit), Energie- und Umweltmanagement, Hochschule Flensburg, Flensburg, März 2018

Reifenrath M.: *Entwicklung einer LabVIEW-Steuerung für temperaturabhängige Messungen der elektrischen Leitfähigkeit im Bereich von 80 K bis 500 K und Untersuchung thermochromer Absorberschichten*, (Bachelorarbeit), Fakultät für Maschinenbau, Leibniz Universität Hannover, Hannover, April 2018

Schädlich S.: *Umbau und Optimierung eines Messplatzes zur Bestimmung der externen Quanteneffizienz von Solarzellen für das physikalische Fortgeschrittenenpraktikum*, (Studienarbeit), Energietechnik, Leibniz Universität Hannover, Hannover, Juni 2018

Diplom- & Masterarbeiten/Diploma theses & masters

Kochanski P.: *Oberflächenpassivierung von Si-Solarzellen: Einfluss von atomlagenabgeschiedenem AlO_x auf n^+ -Emitttern*, (Masterarbeit), Fakultät für Mathematik und Physik, Studiengang Physik, Leibniz Universität Hannover, Hannover, Oktober 2018

Mujhtaba A.: *System Optimization For An Efficient Operation Of PVT-Collectors as Heat & Power Source For Heat Pump Heating Systems*, (Masterarbeit), Faculty for Environment and Natural Resources, Universität Freiburg, Freiburg, Dezember 2018

Syring A.: *Strukturelle und elektrische Eigenschaften sauerstoffhaltiger polykristalliner Siliziumschichten für Silizium-solarzellen*, (Masterarbeit), Studiengang Nanotechnologie, Leibniz Universität Hannover, Hannover, Mai 2018

Doktorarbeiten/Ph.D.-theses

Veith-Wolf B.A.: *Crystalline silicon surface passivation using aluminum oxide: Fundamental understanding and application to solar cells*. Physik, Leibniz Universität Hannover, 9.2.2018

Schäfer S.: *Development and analysis of novel light trapping schemes for silicon solar cells*. Physik, Leibniz Universität Hannover, 4.9.2018

Lehrveranstaltungen/Lectures

Brendel R.: *Physik der Solarzelle*. Vorlesung, Fachbereich Physik, Leibniz Universität Hannover (SS 2018)

Brendel R., Schinke C.: *Aktuelle Forschungsfragen der Photovoltaik*. Seminar, Fachbereich Physik, Leibniz Universität Hannover (WS 2017/18)

Brendel R., Schinke C.: *Aktuelle Forschungsfragen der Photovoltaik*. Seminar, Fachbereich Physik, Leibniz Universität Hannover (WS 2018/19)

Brendel R., Schulte-Huxel H.: *Physik präsentieren – Physik der Energiekonversion*. Proseminar, Fachbereich Physik, Leibniz Universität Hannover (10/2018-02/2019)

Brendel R., Schulte-Huxel H.: *Physik präsentieren – Physik der Energiekonversion*. Proseminar, Fachbereich Physik, Leibniz Universität Hannover (WS 2018/19)

Kastner O.: *Solarenergie I: Thermodynamische Grundlagen*. Vorlesung, Studiengänge Maschinenbau und Energietechnik, Leibniz Universität Hannover (10/2017-02/2018)

Kastner O.: *Solarenergie I: Thermodynamische Grundlagen*. Vorlesung, Studiengänge Maschinenbau und Energietechnik, Leibniz Universität Hannover (10/2018-02/2019)

Kastner O.: *Solarenergie II: Von der Komponente zum System*. Vorlesung, Studiengänge Maschinenbau und Energietechnik, Leibniz Universität Hannover (04/2018-07/2018)

Kastner O., Gedik A. (IFT): *Solarenergie I: Thermodynamische Grundlagen*. Übung, Studiengänge Maschinenbau und Energietechnik, Leibniz Universität Hannover (10/2018-02/2019)

Kastner O., Park S.: *Solarenergie I: Thermodynamische Grundlagen*. Übung, Studiengänge Maschinenbau und Energietechnik, Leibniz Universität Hannover (10/2017-02/2018)

Kastner O., Park S.: *Solarenergie II: Von der Komponente zum System*. Übung, Studiengänge Maschinenbau und Energietechnik, Leibniz Universität Hannover (04/2018-07/2018)

Peibst R.: *Wirkungsweise und Technologie von Solarzellen*. Vorlesung, Fakultät für Elektrotechnik und Informatik, Leibniz Universität Hannover (10/2018-02/2019)

Peibst R., Hermle M.: *Physics of passivating contacts and high temperature processes: how to get a maximum voltage from your cells*. Tutorial, École polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL), Lausanne, Schweiz (18.3.2018)

Schinke C.: *Einführung in die elektronische Messdatenerfassung und -verarbeitung mit LabView*. Vorlesung, Fachbereich Physik, Leibniz Universität Hannover (04/2018-10/2018)

Schinke C.: *Physik der Solarzelle*. Übung, Fachbereich Physik, Leibniz Universität Hannover (04/2018-10/2018)

Schmidt J.: *Defekte in Halbleitern*. Vorlesung, Fachbereich Physik, Leibniz Universität Hannover (15.10.2018-28.1.2019)

Wietler T.: *Bipolarbauelemente*. Vorlesung, Fakultät für Elektrotechnik und Informatik, Leibniz Universität Hannover (10/2017-02/2018)

Wietler T.: *MOS-Transistoren und Speicher*. Vorlesung, Fakultät für Elektrotechnik und Informatik, Leibniz Universität Hannover (04/2018-07/2018)

Wietler T.: *Physics of Integrated Circuit Technology*. Vorlesung, St. Petersburger Polytechnische Universität „Peter der Große“, St. Petersburg/Russland (04/2018)

Preise & Auszeichnungen/Awards

Folchert N., Rienäcker M., Yeo A.A., Min B., Peibst R., Brendel R., Auszeichnung des Abstracts, The SiliconPV Award 2018, 8th International Conference on Crystalline Silicon Photovoltaics, für *Temperature-Dependent Contact Resistance Measurements on Carrier-Selective poly-Si on Oxide Junctions*. Lausanne, Schweiz, 22.3.2018

Gruppe „Emergente Solarzellen-Technologien“ am ISFH, Forschungspreis, Solar + Power Award, Kategorie R&D (Research & Development), für *Entwicklung der POLO (poly-Si-on-oxide)-Technologie*. Brüssel, Belgien, 26.9.2018

Haase F., Hollemann C., Schäfer S., Merkle A., Rienäcker M., Krügener J., Brendel R., Peibst R., Auszeichnung des Abstracts, The SiliconPV Award 2018, 8th International Conference on Crystalline Silicon Photovoltaics, für *Laser contact openings for local poly-Si-metal contacts enabling 26.1%-efficient POLO-IBC solar cells*. Lausanne, Schweiz, 22.3.2018

Klamt C., Krause V., Rienäcker M., Haase F., Krügener J., Folchert N., Brendel R., Peibst R., Auszeichnung des Abstracts, Student Award 2018, 35th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition (EU PVSEC), für *Intrinsic poly-crystalline silicon region in between the p⁺- and n⁺-POLO contacts of an 26.1%-efficient IBC solar cell*. Brüssel, Belgien, 28.9.2018

Knoop M., Littwin M., Kesting M., Ohrdes T., Posterpreis, Poster-Award des 33. PV-Symposiums, für *Modell zur ökonomischen und ökologischen Bewertung von Gebäudeversorgungsverfahren im Rahmen des Mieterstromgesetzes*. Bad Staffelstein, 27.4.2018

Schiebler B., Weiland F., Giovannetti F., Posterpreis, Beste Posterbeiträge des Symposiums Solarthermie 2018, für *Experimentelle Bewertung von stagnationssicheren Sonnenkollektoren mit Wärmerohren zur solaren Trinkwarmwasserbereitung in Thermosiphonsystemen*. Bad Staffelstein, 14.6.2018



Christina Klamt, Doktorandin am ISFH, wurde auf der *European Photovoltaic Solar Energy Conference (EU PVSEC) 2018* mit einem „Student Award“ ausgezeichnet. Sie überzeugte das wissenschaftliche Komitee mit ihren Arbeiten zum „intrinsischen polykristallinen Siliziumbereich zwischen den p⁺- und n⁺-POLO-Kontakten einer 26,1% effizienten Rückkontakt-Solarzelle“.

Christina Klamt, a Ph.D student at ISFH, was decorated with a “Student Award” at the *European Photovoltaic Solar Energy Conference (EU PVSEC) 2018*. She convinced the Scientific Committee with her paper on the “intrinsic polycrystalline silicon area between the p⁺- and n⁺-POLO contacts on a 26.1%-efficient rear-contact solar cell.”

DEWEZET 3.4.2018

DEWEZET 24.5.2018

Neue Offerte für Mieter

ISFH stellt Gratis-Tool für Regenativstrom in Mehrfamilienhäusern vor

DEWEZET. Das Institut für Solarenergieforschung (ISFH) hat ein neues digitales Tool entwickelt. Es soll Hausbesitzern ein kostenloses Online-Tool zur Abschätzung der Umstellung und potentieller Kosten für Regenativstrom (Photovoltaik) ermöglichen. Das Konzept ist ein kostenloser Online-Rechner, der die Kosten für die Umstellung eines Mehrfamilienhauses in ein solches, das Regenativstrom aus Solarzellen speist, mit dem Hausbesitzer teilen kann. Die Kosten für die Umstellung sind in der Regel höher als bei einem Einfamilienhaus, da die Kosten für die Installation von Solarzellen auf dem Dach höher sind. Das neue Tool ist ein kostenloses Online-Tool, das die Kosten für die Umstellung eines Mehrfamilienhauses in ein solches, das Regenativstrom aus Solarzellen speist, mit dem Hausbesitzer teilen kann. Die Kosten für die Umstellung sind in der Regel höher als bei einem Einfamilienhaus, da die Kosten für die Installation von Solarzellen auf dem Dach höher sind.



Das Institut für Solarenergieforschung (ISFH) hat ein neues Programm zur Abschätzung der Umstellung eines Mehrfamilienhauses in ein solches, das Regenativstrom aus Solarzellen speist, mit dem Hausbesitzer teilen kann.

Das hat Vorteile
Sobald die Energie und der Verbrauch von Strom und Wasser.

Das Institut für Solarenergieforschung (ISFH) hat ein neues Programm zur Abschätzung der Umstellung eines Mehrfamilienhauses in ein solches, das Regenativstrom aus Solarzellen speist, mit dem Hausbesitzer teilen kann. Die Kosten für die Umstellung sind in der Regel höher als bei einem Einfamilienhaus, da die Kosten für die Installation von Solarzellen auf dem Dach höher sind.

„In der internationalen Spitze vertreten“

Solarforschungsinstitut stellt Jahresbericht mit herausragenden Ergebnissen vor

DEWEZET. Beim 10. Jahrestag der Solarenergieforschung (ISFH) hat das Solarforschungsinstitut seinen Jahresbericht mit herausragenden Ergebnissen vorgestellt. Der Bericht zeigt die Fortschritte der Forschung im Bereich der Solarenergie in Deutschland und weltweit. Die ISFH hat in den letzten Jahren erhebliche Fortschritte bei der Entwicklung von Solarzellen gemacht, die die Effizienz der Energieerzeugung erhöhen können. Die ISFH hat auch die Entwicklung von Solarzellen für den Einsatz in der Raumfahrt vorangetrieben. Die ISFH hat die Entwicklung von Solarzellen für den Einsatz in der Raumfahrt vorangetrieben.

Die ISFH hat die Entwicklung von Solarzellen für den Einsatz in der Raumfahrt vorangetrieben. Die ISFH hat die Entwicklung von Solarzellen für den Einsatz in der Raumfahrt vorangetrieben.

Die ISFH hat die Entwicklung von Solarzellen für den Einsatz in der Raumfahrt vorangetrieben. Die ISFH hat die Entwicklung von Solarzellen für den Einsatz in der Raumfahrt vorangetrieben.

Die ISFH hat die Entwicklung von Solarzellen für den Einsatz in der Raumfahrt vorangetrieben. Die ISFH hat die Entwicklung von Solarzellen für den Einsatz in der Raumfahrt vorangetrieben.

Die ISFH hat die Entwicklung von Solarzellen für den Einsatz in der Raumfahrt vorangetrieben. Die ISFH hat die Entwicklung von Solarzellen für den Einsatz in der Raumfahrt vorangetrieben.



145 Beschäftigte im Institut für Solarenergieforschung in Emmerthal.

Technology Review 01/2018

SOLARTECHNIK Ganzjährig mit der Kraft der Sonne heizen

Wer in unseren Breiten sein Einfamilienhaus ganzjährig mit Sonnenwärme heizen will, greift meist zu einem zentral installierten klobigen Wasserspeicher mit etwa zehn Kubikmetern Volumen. Deutlich weniger Raum benötigt ein um etwa ein Drittel günstigeres Sonnenhaus-Konzept, das nun zwei Jahre lang vom Hamelner Institut für Solarenergieforschung ISFH in Hannover getestet wurde. Das Haus kommt mit einem nur einen Kubikmeter großen Wasserspeicher aus und nutzt stattdessen Bodenplatte und Betondecke als Wärmespeicher.

Solarkollektoren auf dem Dach heizen das Wasser auf, Rohrschlangen ähnlich wie bei einer Fußbodenheizung leiteten es zu den Betonflächen und dem kleinen Wasserspeicher. Die auf diese Weise gespeicherte Wärme – insgesamt etwa 3000 Kilowattstunden pro Jahr – deckte rund 40 Prozent des Heizbedarfs im Jahresdurchschnitt.

Das neue Konzept erzielte ein Fünftel mehr Wärme als ein klassisches Solarhaus mit großem Wassertank. Gekoppelt mit einer Erdwärmepumpe braucht es für die gesamte Wärmeversorgung nur knapp acht Kilowattstunden zusätzlicher Energie pro Quadratmeter.

JAN OLIVER LÖFKEN



Durch Rohrschlangen werden die Betonflächen des Hauses zum Wärmespeicher.

DEWEZET 17.9.2018

Sonne satt

Super-Sommer sorgt für gute Strom-Ernte / Doch auf Hamelns Dächern gibt es kaum neue Photovoltaikanlagen

VON G. ERDCL. HEISEL-ÖZTANAL

Das einen Fruchtboden des anderen Land: Während die Landwirtschaft in der arbeitsreichen Hitze stöhnt, überfließen die Besitzer von Photovoltaikanlagen über den Super-Sommer mit heilem Jahren-Ertrag geblüht haben. Allerdings zeigt sich auch, dass auf Hamelns Dächern in letzter Zeit kaum neue Anlagen installiert worden sind.

Rund 1,6 Millionen Photovoltaikanlagen sind auf deutschen Dächern installiert. Die Stromerzeugung aus diesen Anlagen erreichte nach Angaben des Instituts für Energieeffizienz (IFE) im ersten Halbjahr 2018 rund 21,4 Milliarden Kilowattstunden und damit 7,5 Prozent mehr als im Vergleichszeitraum 2017 (19,9 Milliarden kWh). Auch Hameln hat dank des Ausmaßes-Sommers seine Solarstrom-Bilanz deutlich verbessert. Nach Angaben der Stadtwerke war der Juli der bisherige Rekordmonat. In diesem Zeitraum wurden rund 972.302 Kilowattstunden in das heimische Stromnetz eingespeist. Zum Vergleich: Spitzenreiter im vergangenen Jahr war der Mai mit 811.822 Kilowattstunden. Alle Anlagen in Hameln zusammen produzierten bis Ende Juni dieses Jahres rund 3,3 Millionen Kilowattstunden Strom. Damit scheint sich ab, dass das Ergebnis am Jahresende deutlich höher liegen wird im Vergleich zum vergangenen Jahr mit seinen 5,5 Millionen Kilowattstunden.



Auch die Stadtwerke Hameln betreiben mehrere Photovoltaikanlagen – unter anderem auf dem Betriebsgebäude an der Halberstraße.

„In diesem Sommer hatten wir viele Tage mit wolkenfreiem Himmel. Das hat den Ertrag der Photovoltaikanlagen um zehn Prozent gegenüber dem Jahresmittel der Sommer 2008 bis 2017 in der Hamelner Region in die Höhe schnellen lassen“, so Dr. Marc Köpcke, Gruppenleiter für Modultechnologie am Institut für Solarstromforschung (ISFH) in Emmerthal.

10 In diesem Sommer hatten wir viele Tage mit wolkenfreiem Himmel. Das hat den Ertrag der Photovoltaikanlagen in der Hamelner Region in die Höhe schnellen lassen.

Dr. Marc Köpcke, Gruppenleiter für Modultechnologie am Institut für Solarstromforschung (ISFH) in Emmerthal

Hat die wahren wasserreichen Sommer zu einem verstärkten Interesse für das heimische Kraftwerk auf dem Dach geführt kommen haben aus im Vergleich zu den beiden vergangenen Jahren mehr Photovoltaikanlagen verkauft. So Karl-Friedrich Schrage, Geschäftsführer bei EKS Elektroanlagen. „Ob das wirklich mit dem Rückgang-Sommer zusammenhängt, ist mir nicht ganz eindeutig klar“, sagt Schrage, der als Oberbürgermeister in Emmerthal auch die Gemeindeführung von August hat. Die Rechnung, den meisten Strom im Netz zu speisen, ist sich vom guten Jahre Geld über die Einsparungsleistungen, gibt nicht mehr dem wahren aus. Die Vergütung nicht Monat für Monat, sondern auf staatliche Fördermittel reduziert werden. An

Industrien ist es derzeit, den steigenden Solarstrom selbst zu verbrauchen, erklärt Schrage. Das ursprüngliche Solarstromspeicher und der Bau von Batterien, ist überwiegen bei der Stromerzeugung aufzuwachen, heißt es in der Studie. „In diesem Sommer ist ein weiterer Anstieg“, ist im Feld führen. „Prüfen wurde das gesamte Dachfläche mit Modulen bestückt. Jetzt geht der Trend dahin, so viele Module zu installieren, wie für den eigenen Stromverbrauch notwendig sind. Es geht also nicht mehr primär um Erzeugung und Forderung.“

Auf den Hamelner Dächern gibt es – Stand September 2018 – 687 private Photovoltaikanlagen. Zum Vergleich: im 2017 waren es 678, im Jahr davor 638. Die Zahlen machen jedoch deutlich: Von einem Boom kann keine Rede sein. Der im Vergleich zu den Vorjahren gezielte Zuwachs an Anlagen kann auch Einschätzung der Stadtwerke Hameln als Notizenbuch mit dem gesunkenen Einspeisepreis im Jahr 2017 hat nach dem Rekordjahres die Vorwegnahme der Photovoltaik-Vergütung im Erneuerbare-Energien-Gesetz Wirkung entfallen, sodass der Zubau an Photovoltaik-Leistung in Deutschland insgesamt gegenüber dem Vorjahr schon in 2013 um mehr als die Hälfte auf 300 Megawatt zurückging“, teilt die Stadtwerke auf. „Aber die Entwicklung, die von Gesetzgeber durch den Sub-

ventionen mit der Vorzeichen-gekehrte Neubesetzung und dem Klimaschutz- und Energieeffizienz-Modellierung zum Thema Solarstrom auf dem Weg gebracht und dabei lassen sich – so Tim – der „Super-Sommer als weiterer Anstieg“, ist im Feld führen. „Prüfen wurde das gesamte Dachfläche mit Modulen bestückt. Jetzt geht der Trend dahin, so viele Module zu installieren, wie für den eigenen Stromverbrauch notwendig sind. Es geht also nicht mehr primär um Erzeugung und Forderung.“

Auf den Hamelner Dächern gibt es – Stand September 2018 – 687 private Photovoltaikanlagen. Zum Vergleich: im 2017 waren es 678, im Jahr davor 638. Die Zahlen machen jedoch deutlich: Von einem Boom kann keine Rede sein. Der im Vergleich zu den Vorjahren gezielte Zuwachs an Anlagen kann auch Einschätzung der Stadtwerke Hameln als Notizenbuch mit dem gesunkenen Einspeisepreis im Jahr 2017 hat nach dem Rekordjahres die Vorwegnahme der Photovoltaik-Vergütung im Erneuerbare-Energien-Gesetz Wirkung entfallen, sodass der Zubau an Photovoltaik-Leistung in Deutschland insgesamt gegenüber dem Vorjahr schon in 2013 um mehr als die Hälfte auf 300 Megawatt zurückging“, teilt die Stadtwerke auf. „Aber die Entwicklung, die von Gesetzgeber durch den Sub-

ventionen mit der Vorzeichen-gekehrte Neubesetzung und dem Klimaschutz- und Energieeffizienz-Modellierung zum Thema Solarstrom auf dem Weg gebracht und dabei lassen sich – so Tim – der „Super-Sommer als weiterer Anstieg“, ist im Feld führen. „Prüfen wurde das gesamte Dachfläche mit Modulen bestückt. Jetzt geht der Trend dahin, so viele Module zu installieren, wie für den eigenen Stromverbrauch notwendig sind. Es geht also nicht mehr primär um Erzeugung und Forderung.“

10 In diesem Jahr wurden in Hameln nur neun neue Photovoltaikanlagen installiert.

Für Hamelns Stadtwerke-Geschäftsführer – Susanne Treppner steht der: Eine Photovoltaikanlage lohnt sich „und oben Geld – es ist wichtig, dass möglichst viel Sonnenstrom in den eigenen Verbrauch verwendet wird“. Solche Anlagen lassen sich „vorratlich wirtschaftlich betreiben“. Wichtig sei jedoch, das optimale Verhältnis zwischen der Anlagegröße und dem jeweiligen Heizungsprofil zu nutzen. Die Stadtwerke selbst betreiben bereits 15 eigene Anlagen, die unter anderem an der Balkenbrücke der Epe-Häuser am Bahnhof, an der Gesundheitspark am Bahnhof oder auf dem Dach des Wasserwerks Tinsdamer steht. Hameln (1997) ist als

von der ersten Straße landesweit mit einem Solarladestation im Stadt. Für diese Daten wurden 48.884 Dachflächen ausgewertet und in drei Kategorien unterteilt, die zeigen, wie gut sie für die Installation von Photovoltaikanlagen oder Solarthermie geeignet sind. Das Ranking hat sich nach Einschätzung von Stadtwerken Thomas Walmsley, „Inzwischen ist das Solarladestation um zwei Stufen, wenn eine Kombination in Bereich Klimaschutz anstreben möchte. Die Anzahl der Bereiche zeigt ja auch ein großes Interesse an diesem Thema.“

Die Zahl der Aufträge schloss in der ersten Hälfte des Jahres. Im gesamten Jahr 2017 waren es 11.950 und 2016 rund 11.200. Daraus wird nach Auskunft der Stadt, die selbst Photovoltaikanlagen am Betriebsplatz und auf der Müllverbrennung als einen Bereich des Solarladestationen gutheißt. „Der Wirkungsgrad von Solarzellen nimmt übrigens mit zunehmender Hitze ab. Er sinkt pro Grad Temperaturerhöhung um etwa 0,8 Prozent, erklärt Dr. Marc Köpcke. Wenn demnach sehr hohe Temperaturen herrschen, wie dies in der Wärme, dann kann die Anlage mit der Zeit nachlässiger von ihrer Leistung sein.“ „Das ist vergleichbar mit einem Computer, der heiß läuft und dadurch eine geringere Lebenserwartung hat“, so die Experten. Doch von sol-

chen Temperaturen) so wie in unseren Breitengraden“ wird kritisiert.

STANDPUNKT

Vergleichen sich Hameln als „Solarstadt der Nordsee“ zu anderen (vermeint). Auch eine Magnetwirkung wie die Solarstrahlung „Sonne“ gehört dazu der Vergangenheit an. Und die heute hat sich keine Solarfabrik in der Region verankert. So mancher Wind sich nach in die Anlage des ersten Photovoltaik-Pioniers für Solarstrom in Hameln eine Photovoltaik-Anlage errichten wollte, taumelten in die Stadt den richtigen Weg gegangen, als sie ein Solarpanel errichtete und damit den Solarstrom selbst ein wichtiges Instrument an die Hand gab. Doch der große Boom scheint in diesem Bereich vorbei zu sein. In Hameln wurden deutlich weniger Anlagen in Betrieb genommen, als dies auch in den vergangenen Jahren der Fall gewesen ist.



G. ERDCL. HEISEL-ÖZTANAL, LEHRREDAKTION

DEWEZET 12.9.2018

Wie ein Solarprojekt Schule macht

Physiker und Vorsitzender eines Bürgervereins stellt am ISFH Initiative in Erlangen vor

EMMERTHAL. Dieses Projekt erregte bundesweit Aufmerksamkeit: In einer gemeinsamen Initiative wurde im Jahr 2000 in Erlangen ein Solarverein gegründet, der mit einer Bürgersolaranlage demonstrierte, dass es möglich ist, die Hälfte des Strombedarfs eines großen Gymnasiums mit Solarenergie auf dem Schuldach zu produzieren. Viele weitere Anlagen folgten. „Wie Bürger die Energiewende mitgestalten können“ lautet das Thema eines öffentlichen Vortrages von Prof. Martin Hundhausen aus Erlangen am Mittwoch, 12. September, im Institut für Solarenergieforschung (ISFH) in Emmerthal.

Hundhausen lehrt nicht nur an der Fakultät für Physik der Universität Erlangen, sondern engagiert sich gleichzeitig in

dem Solarverein als Vorsitzender. Nach dem erfolgreichen Start der ersten Anlage gaben die Politiker alle Schuldächer frei, um sie für die Photovolta-

ik zu nutzen, auch die Wohnungsbaugesellschaft der Stadt stellte alle geeigneten Dächer für die Nutzung zur Verfügung. „Heute erlebt daher je-

der Erlanger Schüler die Solarenergie als etwas Selbstverständliches – vermittelt durch Großdisplays und Solarportal im Internet“, heißt es zu dem Projekt. Dass selbst Kindern in dem Fernsehmagazin „Die Sendung mit der Maus“ deutschlandweit vermittelt wurde, wie sich aus „Sand und Sonne Strom machen“ lässt, daran wirkten die Erlanger ebenfalls mit. Der Vortrag beginnt um 18 Uhr im Seminarraum des ISFH auf Einladung der Gesellschaft zur Förderung des Instituts für Solarenergieforschung e. V. Der Verein, dem Unternehmen, Energieversorger, Kommunen, aber auch die Kreishandwerkerschaft angehören, fördert finanziell die Forschung am Institut, pflegt gleichzeitig Kontakte zwischen ISFH und Wirtschaft. *cb*



An der Grundschule Amelgatzen sorgte die Genossenschaft „Bürger-Energie Hummetal“ für eine Solaranlage. Im großen Stil errichtet in Erlangen ein Bürgerverein Photovoltaikanlagen. ARCHIV: LL

DEWEZET 13.8.2018

Nächtlicher Großeinsatz in Ohr

Gasmelder schlägt Alarm - Sirenen heulen / Spezialkräfte rücken an

VON ULRICH BEHMANN

OHR. Ein piepender Gasmelder im Solarforschungsinstitut in Ohr hat am frühen Sonntagmorgen gegen 2.30 Uhr einen Großeinsatz ausgelöst. Freiwillige – darunter Spezialisten von nah und fern – rückten an. In Ohr und Grohnde heulten die Sirenen, in mehreren anderen Orten wurden Feuerwehrleute zusätzlich über Pieper alarmiert. Der in Kirchhohen stationierte Gefahrgutzug und Einheiten des ABC-Dienstes aus Marienau, die Hamelner Polizei und der Rettungsdienst der DRK-Wache Emmerthal machten sich auf den Weg zum Ohrberg. Nach Angaben von Einsatzleiter Kay Leinemann hatte ein Melder

im Gaslagerraum des Instituts Alarm geschlagen. Ein Trupp rüstete sich mit schwerem Atemschutz aus, um ein mögliches Leck aufspüren zu können. Parallel dazu wurde vor dem Gebäude alles für eine Erkundung unter Chemikalien-Schutzanzügen vorbereitet. „Der Atemschutz-Trupp hat festgestellt, dass die Messfühler in dem besagten Raum keine erhöhte Konzentration von Schadstoffen anzeigten“, berichtet der stellvertretende Kreisbrandmeister.

Nach knapp einer Stunde stand fest: Gase waren nicht ausgetreten. Der Großeinsatz, an dem mehr als 40 Frauen und Männer mit 16 Fahrzeugen teilgenommen hatten, konnte beendet werden.



Chemikalien-Vollschutzanzüge liegen bereit. FOTO: ÜBE



Einsatz vor dem Solarforschungsinstitut in Ohr. Feuerwehr, Rettungsdienst und Polizei sind mit 16 Fahrzeugen angerückt. FOTO: ÜBE

Tagesspiegel Background 3.1.2018

Solarthemen (500) 15.2.2018



Neue Solartechnik Perowskite auf dem Sprung

Tandemzellen aus beschichtetem Silizium sind eine hoffnungsvolle Neuentwicklung der Solarindustrie. Eine Materialgruppe ist dabei besonders gefragt: Perowskite. Zusammen mit Silizium könnten sie den Wirkungsgrad von Solarzellen in neue Höhen treiben. Noch aber gibt es Probleme, was die Haltbarkeit der Perowskit-Schicht angeht.

Bei der Photovoltaik gibt es trotz großer technologischer Fortschritte noch viel Luft nach oben. Experten sind sich einig, dass weitere Kostensenkungen möglich sind. „Wir stehen am Anfang einer rasanten Entwicklung“, sagte Rolf Brendel vom Institut für Festkörperphysik an der Universität Hannover vergangenes Jahr bei der Jahresagung des Forschungsverbundes Erneuerbare Energien.

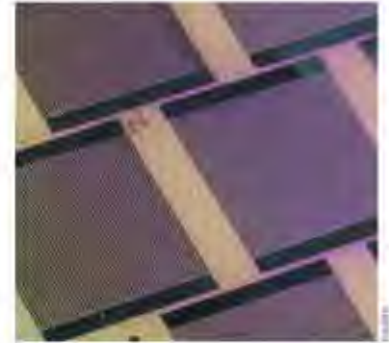
Eine der kommenden Technologien sind Tandemzellen. Sie bestehen wie Dünnschichtzellen aus mehreren Lagen von Materialien, die unterschiedliche Wellenlängen des Sonnenlichts absorbieren. „Zusammen können sie die physikalische Grenze von 29 Prozent Energieausbeute von reinen Siliziumzellen auf bis zu 35 Prozent steigern“, sagte Brendel. Nicht alle zurzeit erforschten Tandemzellen arbeiten mit Perowskiten - aber sehr viele.

Perowskit ist Calciumtitanat (CaTiO₃). Der Berliner Gustav Rose entdeckte es 1835 im Ural und benannte es nach dem russischen Mineralogen Lev Perowski. Heute bezeichnet man alle Stoffe mit der gleichen würfelförmigen Kristallstruktur als Perowskite. Für darin auftretende Defekte haben Forscher des Massachusetts Institute of Technology kürzlich eine Möglichkeit der Glättung mit sehr hellem Licht entwickelt.

Noch in Arbeit ist ein zweites Problem der Perowskite: Sie sind längst nicht so haltbar wie Silizium. Hitze und Feuchtigkeit machen ihnen zu schaffen. Forschern der Universität von Lausanne ist hier jüngst ein großer Fortschritt gelungen, indem sie die Perowskit-Schicht mit einer Gold- und einer Graphenschicht stabilisierten. Wissenschaftler derselben Hochschule haben diese Woche im Magazin „Nature Energy“ eine Untersuchung vorgelegt, wie genau Perowskite altern.

Doch noch ein drittes Problem gibt es: Viele Solarzellen aus Perowskit enthalten Blei. Aber auch hier gibt es Lösungen für andere Materialien wie Zinn als Ersatz.

Bisher kann man serienmäßig noch keine Solarmodule mit Perowskit-Beschichtung kaufen. Der Vorreiter Oxford PV, eine Ausgründung der Universität Oxford, will nach eigener Ankündigung aber in diesem Jahr eine Pilotlinie aufbauen. Sie soll in



Kristalline Solarzelle mit 26,1 Prozent Effizienz

Das Institut für Solarenergieforschung Hameln (ISFH) und die Leibniz Universität Hannover haben eine kristalline Silizium-Solarzelle mit einem Wirkungsgrad von 26,10 (+/- 0,31) % entwickelt.

Nach Aussage von Prof. Rolf Brendel, dem Geschäftsführer des ISFH, ist dies ein Weltrekord für p-Typ-Si-Material, welches derzeit rund 90 Prozent des Photovoltaik-Weltmarkts abdeckt. Es sei die hohe Selektivität der Übergänge, so Brendel, die die hohen Wirkungsgrade ermöglichen. Bislang seien Wirkungsgrade über 25 Prozent nur auf n-Typ-Silizium und in Kombination mit Bordiffusionen oder Hetero-Junctions aus amorphem Silizium erreicht worden, so Brendel: „Unser Ergebnis zeigt, dass weder n-Typ-Silizium noch Bordiffusionen oder amorphes Silizium ein Muss für ultrahohe Wirkungsgrade sind.“

Ziel der weiteren Forschungsarbeiten sei die Integration der POLO-Übergänge in die aktuelle Mainstream-Technologie mit einem deutlichen Effizienzvorteil, erklärt Arbeitsgruppenleiter Prof. Robby Peibst. +1

DEWEZET 29.8.2018

Emmerthaler Forscher organisieren Solarenergietage

ISFH-Leiter und Umweltminister eröffnen Tagung in Hannover / Wirtschaft und Wissenschaft sollen stärker vernetzt werden

EMMERTHAL. Das Institut für Solarenergieforschung Hameln (ISFH) und das Energie-Forschungszentrum Niedersachsen (EFZN) tragen gemeinsam am 6. und 7. September die „Niedersächsischen Solarenergietage“ in Hannover aus.

Angesichts der großen zur Verfügung stehenden Flächen könnte Niedersachsen im Ländervergleich in der Solarenergie eine führende Rolle spielen, denn die Vorteile sind vielfältig. 2700 Mitgliedsunternehmen der Industrie- und Handelskammer Hannover und viele Privathaushalte nutzen bereits selbst den erzeugten Sonnenstrom. Dass auch Haushalte ohne eigenes Dach im Rahmen von Mieterstrommodellen diese Energielösung nutzen können, wissen viele gar nicht. Sollten sie aber?

Die „Niedersächsischen Solarenergietage“ beleuchten zentrale Themen rund um den Sonnenstrom, sollen die Diskussion mit Fachinformationen und Praxisbeispielen in die Öffentlichkeit tragen. Welche Chancen bietet die Solarenergie für Niedersachsen und seine Bürger? Welche Potenziale für Solarenergienutzung in Niedersachsen werden bislang zu wenig genutzt? Welche Hemmnisse gibt es für den weiteren Ausbau der Solarenergie und wie können sie beseitigt werden? Wie kann die Nutzung in Niedersachsen weiter vorangebracht werden und was kann die Forschung hier leisten? Fragen wie diese stehen am 6. und 7. September im Mittelpunkt der „Niedersächsischen Solarenergietage“. Die Vortragenden stellen innovative Möglichkeiten der Solarenergienutzung vor, zeigen Möglichkeiten zur Verknüpfung von Forschung und Wirtschaft auf und rücken das Zusammenwirken in den Fokus. „Hier sieht sich das ISFH in der Rolle des aktiven Vernetzers von Wissenschaft und Wirtschaft“, erklärt Prof. Rolf Brendel, Leiter des ISFH.

In den Beiträgen und Diskussionen geht es um wegweisende Themen: Neue Technologien ermöglichen eine kostengünstige solare Energieversorgung von Wohngebäuden und Gewerbebetrieben, auch in Verbindung mit Elektri-

romobilität. In dem Zusammenhang werden klimaneutrale Wohnquartiere vorgestellt. Eröffnet wird die Veranstaltung von Prof. Rolf Brendel, Leiter des ISFH, und über Einführung durch Niedersächsischen Umweltminister Olaf Lies. Eine Anmeldung für die Tagung ist noch bis zum 31. August über die Homepage des EFZN (www.efzn.de) möglich.

red

red

red

Blankemeyer, Susanne, Technikerin, Abteilung Photovoltaik,
☎ 05151-999-429, s.blankemeyer@isfh.de

Bothe, Karsten, Dr., Diplom-Physiker, Abteilungsleiter,
☎ 05151-999-425, k.bothe@isfh.de

Brendel, Rolf, Prof. Dr.-Ing., Diplom-Physiker, Institutsleiter,
☎ 05151-999-100, r.brendel@isfh.de

Dullweber, Thorsten, Dr., Diplom-Physiker, Abteilung Photo-
voltaik, ☎ 05151-999-638, t.dullweber@isfh.de

Gaßdorf, Wolfgang, Diplom-Ökonom, Stv. Institutsleiter,
☎ 05151-999-405, w.gassdorf@isfh.de

Giovannetti, Federico, Dr.-Ing., Diplom-Ingenieur, Abteilung
Solare Systeme, ☎ 05151-999-501, f.giovannetti@isfh.de

Goslich, Roland, Dr., Diplom-Chemiker, Öffentlichkeitsarbeit,
☎ 05151-999-302, r.goslich@isfh.de

Haase, Felix, Dr., Diplom-Physiker, Abteilung Photovoltaik,
☎ 05151-999-313, f.haase@isfh.de

Hollemann, Christina, M.Sc., Abteilung Photovoltaik,
☎ 05151-999-632, c.hollemann@isfh.de

Kajari-Schröder, Sarah, Dr., Diplom-Physikerin, Abteilung
Photovoltaik, ☎ 05151-999-414, s.kajari-schroeder@isfh.de

Kastner, Oliver, Prof. Dr.-Ing., Diplom-Ingenieur, Abteilung
Solare Systeme, ☎ 05151-999-525, o.kastner@isfh.de

Knoop, Michael, M.Sc., Abteilung Solare Systeme,
☎ 05151-999-505, m.knoop@isfh.de

Köntges, Marc, Dr., Diplom-Physiker, Abteilung Photovoltaik,
☎ 05151-999-432, m.koentges@isfh.de

Lampe, Carsten, Diplom-Ingenieur, Abteilung Solare Systeme,
☎ 05151-999-522, c.lampe@isfh.de

Lim, Bianca, Dr., Diplom-Physikerin, Abteilung Photovoltaik,
☎ 05151-999-403, b.lim@isfh.de

Niepelt, Raphael, Dr., Diplom-Physiker, Abteilung Photovoltaik,
☎ 05151-999-403, r.niepelt@isfh.de

Ohrdes, Tobias, Dr., Diplom-Physiker, Abteilung Solare Systeme,
☎ 05151-999-505, t.ohrdes@isfh.de

Pärisch, Peter, Diplom-Ingenieur, Abteilung Solare Systeme,
☎ 05151-999-645, p.paerisch@isfh.de

Peibst, Robby, Dr., Diplom-Ingenieur, Abteilung Photovoltaik,
☎ 05151-999-313, r.peibst@isfh.de

Reineke-Koch, Rolf, Dr., Diplom-Physiker, Abteilung Solare
Systeme, ☎ 05151-999-431, r.reineke-koch@isfh.de

Schanz, Wolf-Rüdiger, Oberstudienrat, Lehrerfortbildung,
☎ 05151-999-100, nils@isfh.de

Schiebler, Bert, Diplom-Ingenieur (FH), Abteilung Solare Systeme,
☎ 05151-999-524, b.schiebler@isfh.de

Schinke, Carsten, Dr., Diplom-Physiker, Abteilung Photovoltaik,
☎ 05151-999-632, c.schinke@isfh.de

Schmidt, Jan, Prof. Dr., Diplom-Physiker, Abteilung Photovoltaik,
☎ 05151-999-425, j.schmidt@isfh.de

Schulte-Huxel, Henning, Dr., M.Sc., Abteilung Photovoltaik,
☎ 05151-999-414, h.schulte-huxel@isfh.de

Titova, Valeriya, M.Eng., Abteilung Photovoltaik,
☎ 05151-999-635, v.titova@isfh.de

Wietler, Tobias, Prof. Dr.-Ing., Diplom-Physiker, Abteilung Photo-
voltaik, ☎ 05151-999-644, t.wietler@isfh.de

Impressum

Gestaltung/Design

Dipl. Grafik-Designerin Catharina Zeropa-Stangenberg, caze • werbung & kommunikation, Hameln, www.caze.de
Dr. Roland Goslich, ISFH Öffentlichkeitsarbeit

Redaktionsadresse/Editorial office address

Institut für Solarenergieforschung Hameln
– Öffentlichkeitsarbeit –
Am Ohrberg 1
D-31860 Emmerthal

Telefon (0 49) 05151-999-302
Telefax (0 49) 05151-999-400
eMail info@isfh.de
Internet <http://www.isfh.de>

Publikationskennung/International Standard Serial Number

ISSN 1613-5970

Redaktionsschluss/Editorial deadline

28.2.2019

Druck/Print

Wanderer Werbedruck GmbH, Ronnenberg, www.wanderer-druck.de

Papier/Paper

Der Jahresbericht wurde auf chlorfrei gebleichtem Papier gedruckt. Umschlag: Chlorfrei gebleicht, glänzend gestrichen.
[The annual report was printed on chlorine-free bleached paper. Cover: chlorine-free bleached, glossy coated.](#)

Bildquellen/Origin of photo material

Bild A, Seite 9, Seite 32/33: Fotodesign/BFF Andreas Braun, Hameln. Bilder B, C, D, 1, 8, Seite 11, 11, Seite 15, 13, 14, 15, Seiten 30/31, 35, 37, Seite 105: Salzmann PhotoDesign, Bad Münde. Bilder E, 2, 3, 21, Seiten 70/71, 61, 66: Jan Blachura, Hannover. Bilder 27, 30, 33, 34, 36, 44, 46, 47, 50: Gestaltung und Überarbeitung durch caze • werbung & kommunikation, Hameln. Bild 65: Pressefoto 35th European Photovoltaic Solar Energy Conference, (EUPVSEC-35). Bild 68: Dominik Dörrie, www.klimapilgern.de. Alle übrigen Bilder: ISFH.

Image A, page 9, pages 32/33: Fotodesign/BFF Andreas Braun, Hamelin. Images B, C, D, 1, 8, page 11, 11, pages 15, 13, 14, 15, pages 30/31, 35, 37, page 105: Salzmann PhotoDesign, Bad Münde. Images E, 2, 3, 21, pages 70/71, 61, 66: Jan Blachura, Hanover. Images 27, 30, 33, 34, 36, 44, 46, 47, 50: design and revision by caze • werbung & kommunikation, Hamelin. Image 65: press photograph 35th European Photovoltaic Solar Energy Conference, (EUPVSEC-35). Image 68: Dominik Dörrie, www.klimapilgern.de. All other images: ISFH.

Urheberrecht/Copyright

Vervielfältigung oder Abdruck von Teilen dieses Berichtes grundsätzlich nur mit vorheriger schriftlicher Einwilligung der Redaktion.
[Duplication or reproduction even of parts of this report only with previous written consent of the editorial office.](#)

Danksagung/Acknowledgment

Allen Mitarbeitern, die zum aktuellen Jahresbericht beigetragen haben, sei an dieser Stelle herzlich gedankt. Ein besonderer Dank geht an Nicholas Moon aus Hameln für seine freundliche und professionelle Unterstützung.

[Thank to all colleagues, who have contributed to this annual report. Our particular gratitude goes to Nicholas Moon from Hamelin for his kind and professional support.](#)

Abbildung/Figure 66:

Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Nebel, Wissenschaftlicher Vizepräsident der *Zuse-Gemeinschaft* im Gespräch mit Prof. Dr.-Ing. Rolf Brendel, Institutsleiter und einem Mitarbeiter aus der Abteilung Photovoltaik.

Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Nebel, Scientific Vice-President of the *Zuse community* in conversation with Prof. Dr.-Ing. Rolf Brendel, Head of the Institute and a member of the Photovoltaic Department staff.

Abbildung/Figure 67:

Der Stand des ISFH am *Tag der Energieforschung* auf dem Campus der Leibniz Universität in Hannover.

The ISFH stand at the *Energy Research Day* at the Leibniz Universität campus in Hanover.

Abbildung/Figure 68:

Eine Gruppe von Pilgerinnen und Pilgern auf dem *Ökumenischen Pilgerweg für Klimagerechtigkeit* besucht im September 2018 auf ihrem Weg von Bonn ins polnische Katowice den „Kraftort ISFH“.

A group of pilgrims on the *Ecumenical Pilgrimage for Climate Justice* visits the “Place of Power ISFH” on their way from Bonn to Katowice in Poland in September 2018.

Abbildung/Figure 69:

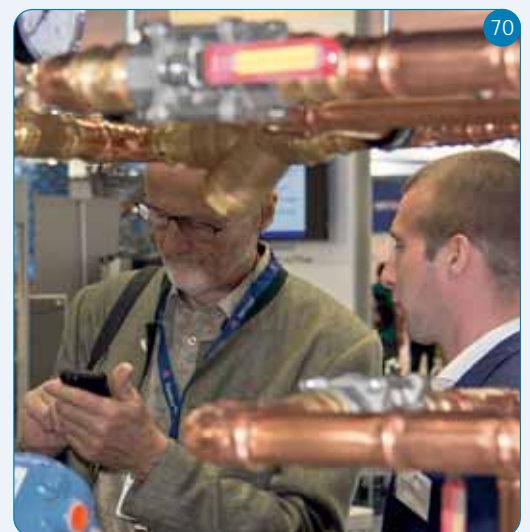
Die Ausstellungsfläche des ISFH auf dem Gemeinschaftsstand des Landes Niedersachsen im Rahmen der Hannover Messe 2018. In der Mitte ein Thermostatmodul des Wärmepumpenprüfstands.

The ISFH exhibition area at the joint Lower Saxon stand at the Hanover Fair 2018. In the middle a thermostat module from the heat pump testing stand.

Abbildung/Figure 70:

Der Wärmepumpenprüfstand wird auf der Hannover Messe 2018 erstmalig vorgestellt.

The heat pump testing stand is presented for the first time at the Hanover Fair 2018.





Innovation with impact

Blick in das SolarTeC.
View into SolarTeC.



Innovation with impact

**Institut für
Solarenergieforschung
Hameln**

2 0 1 8

Am Ohrberg 1
D-31860 Emmerthal

Telefon +049 (0) 5151-999-100

Telefax +049 (0) 5151-999-400

eMail info@isfh.de

Internet www.isfh.de



ISSN 1613-5970