

30 Jahre



ISFH

Innovationwithimpact

JAHRESBERICHT

ANNUAL REPORT

2017



An-Institut der

Institut für Solarenergieforschung Hameln



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: Haupteingang des ISFH.
Main entrance of the ISFH.
- B: Teststand für Wärmepumpen mit kombinierter Quelle aus Solarthermie und Erdwärmekollektoren.
Test stand for heat pumps with combined solar thermal and geothermal heat sources.
- C: Justierender Feinlinien-Siebdruck für Aluminium-Pasten.
Aligning fine line screen printing for aluminum pastes.
- D: Fotolithographieplatz im SolarTeC-Gebäude.
Photolithography equipment in the SolarTeC building.
- E: Stephan Weil, Ministerpräsident des Landes Niedersachsen, zu Besuch am ISFH im März 2017.
Stephan Weil, Prime Minister of Lower Saxony, visiting the ISFH in March 2017.



30 Jahre



ISFH

Innovationwithimpact

JAHRESBERICHT 2017

ANNUAL REPORT

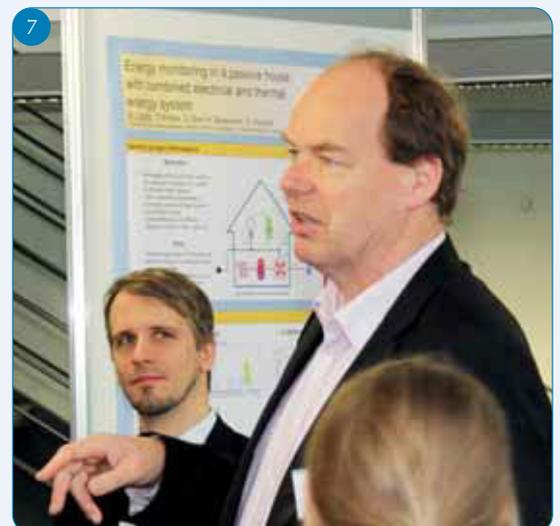
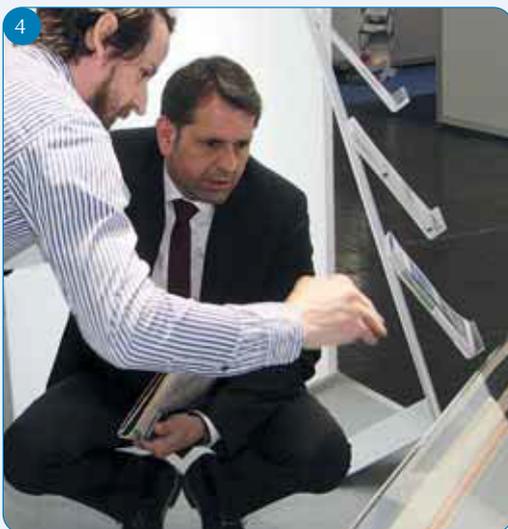
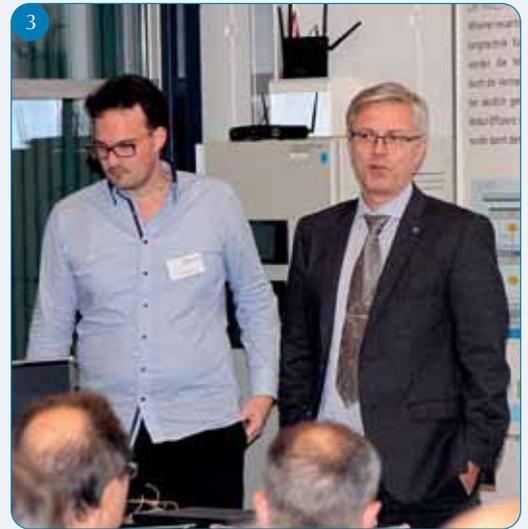


Probenpräparation für neuartige Perowskit-Solarzellen.
Preparation of newly-developed perovskite solar cells.

Associated with

Institut für Solarenergieforschung Hameln





Abbildung/Figure 2:

Regierungsdelegation am ISFH: Sonja Helbig im Gespräch mit Stephan Weil, dem Niedersächsischen Ministerpräsidenten, und Ulrich Watermann (MdL), dem stellvertretenden Fraktionsvorsitzenden der SPD im Niedersächsischen Landtag.

Government delegation at the ISFH: Sonja Helbig in conversation with Stephan Weil, the Lower Saxon Prime Minister, and Ulrich Watermann (Member of Lower Saxon State Parliament), deputy leader of the SPD group in the Lower Saxon State Parliament.

Abbildung/Figure 3:

Dr. Tobias Ohrdes und Prof. Rolf Brendel begrüßen die Bewohner der Ohrberg-Siedlung im Hörsaal des ISFH zu einem vom ISFH initiierten Informationsabend über das Forschungsprojekt „Wind-Solar-Wärmepumpen-Quartier“.

Dr. Tobias Ohrdes and Prof. Rolf Brendel welcoming the residents of the Ohrberg settlement in the ISFH lecture hall to an information evening initiated by the ISFH about the research project “Wind-Solar-Heat-Pump-Quarter”.

Abbildung/Figure 4:

Olaf Lies, Wirtschaftsminister des Landes Niedersachsen, lässt sich am Ausstellungsstand des ISFH die Funktionsweise einer am Institut entwickelten Solarfassade erläutern.

Olaf Lies, Economics Minister of the State of Lower Saxony, at the ISFH exhibition stand finding out about the functioning of a solar façade developed at the Institute.

Abbildung/Figure 5:

Die Bundesministerin für Bildung und Forschung, Prof. Johanna Wanka, zu Besuch am ISFH, hier im Gespräch mit dem Institutsleiter, Prof. Rolf Brendel.

The Federal Minister for Education and Research, Prof. Johanna Wanka, visiting the ISFH, here in conversation with the Director of the Institute, Prof. Rolf Brendel.

Abbildung/Figure 6:

Anja Piel (MdL), Fraktionsvorsitzende B90/Die Grünen, beim Rundgang auf dem Institutsgelände.

Anja Piel (Member of Lower Saxon State Parliament), Parliamentary Leader B90/The Greens, during the tour of the Institute site.

Abbildung/Figure 7:

Prof. Klaus Vajen (Universität Kassel) informiert sich über die Forschungsprojekte am ISFH.

Prof. Klaus Vajen (University of Kassel) finding out about research projects at the ISFH.

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)	22
Society for the Promotion of the Institute for Solar Energy Research (Friends of the ISFH)	
Das Institut in Zahlen ♦ Statistics of the Institute	25
30 Jahre ISFH ♦ 30th anniversary celebration	28
2 Forschungsabteilungen ♦ Research departments	34
Abteilung Photovoltaik ♦ Photovoltaics department	34
Forschungsthemen ♦ Research topics	34
Dienstleistungen ♦ Services	34
Apparative Ausstattung ♦ Equipment & facilities	34
Glanzlichter ♦ Highlights	35
Abteilung Solare Systeme ♦ Solar systems department	36
Forschungsthemen ♦ Research topics	36
Dienstleistungen ♦ Services	36
Apparative Ausstattung ♦ Equipment & facilities	37
Glanzlichter ♦ Highlights	37
3 Wissenschaftliche Ergebnisse ♦ Scientific results	38
Abteilung Photovoltaik ♦ Photovoltaic department	38
Hocheffizientes bifaziales PV-Modul in SmartWire-Connection-Technologie	38
Highly efficient bifacial PV module in SmartWire connection technology	
Verbesserte Wirkungsgrad-Obergrenze für Solarzellen aus <i>n</i> -Typ-Silizium	41
Improved upper efficiency limit for solar cells on n-type silicon	
Tandemzelle aus Gallium-Indium-Phosphid/Gallium-Arsenid-Solarzelle und Silizium-Solarzelle mit einer Effizienz von 35,4 %	44
Tandem device of gallium indium phosphide/gallium arsenide solar cell and silicon solar cell with an efficiency of 35.4 %	
Industrielle bifaziale PERC+-Solarzellen mit Wirkungsgraden bis 22,1 %	48
Industrial bifacial PERC+ solar cells with conversion efficiencies of up to 22.1 %	
Einfluss der Ausrichtung lichtlenkender Strukturen auf den Ertrag von Solarmodulen	50
Impact of the alignment of light-guiding structures on the yield of solar modules	

Abteilung Solare Systeme ♦ Solar systems department	54
Geologische Langzeitspeicherung von Solarwärme in Aquiferen	54
Geological long-term storage of solar heat in aquifers	
Wärmepumpenbasierte und Photovoltaik-Strom-unterstützte Energieversorgung im Einfamilienhaus	58
Heat-pump-based and photovoltaic electricity supplement energy supply in detached house	
Solaraktivierte Glaspaneele für die Gebäudeintegration	62
Solaractivated glass panels for the building integration	
4 Weiterbildung ♦ Education	66
Akademische Ausbildung ♦ Academic education	66
NILS – Die solare Lernwerkstatt ♦ NILS – The solar workshop	70
5 Kooperationen ♦ Cooperations	78
Partner aus Universitäten & Forschungseinrichtungen ♦ Partners from universities & research facilities	78
Inland ♦ National	78
Ausland ♦ International	79
Partner aus Industrie, Planung & Entwicklung ♦ Partners from industry, planning & development	80
Inland ♦ National	80
Ausland ♦ International	81
Institutsmitgliedschaften ♦ Institute memberships	81
6 Dokumentation ♦ Documentation	82
Institutskolloquien ♦ Institute colloquia	82
Mitarbeit in Fachgremien ♦ Membership in professional bodies	82
Ausstellungen & Fachtagungen ♦ Fairs & congresses	84
Veröffentlichungen in referierten Zeitschriften ♦ Peer-reviewed publications	84
Andere Veröffentlichungen ♦ Other publications	86
Vorträge ♦ Presentations	89
Poster ♦ Posters	92
Studien- & Bachelorarbeiten ♦ Seminar & bachelor papers	93
Diplom- & Masterarbeiten ♦ Diploma theses & masters	93
Doktorarbeiten ♦ Ph.D.-theses	93
Lehrveranstaltungen ♦ Lectures	94
Preise & Auszeichnungen ♦ Awards	95
7 Presse ♦ Press	96
8 Autoren ♦ Authors	104
9 Impressum ♦ Impress	105
Streiflichter ♦ At a glance	106
Notizen ♦ Notes	108

Unser Klima verändert sich durch die global weiter steigenden CO₂-Emissionen. Als Küstenland ist Niedersachsen vom Klimawandel besonders betroffen. Folglich müssen wir den Umbau des Energiesystems beherzt angehen. Mit dem starken Ausbau der Windenergie hat Niedersachsen schon beachtliche Erfolge vorzuweisen. Die Solarenergienutzung bleibt aber bisher hinter den Möglichkeiten zurück.

Niedersachsen hat einen jährlichen Endenergiebedarf von etwa 250 TWh/a. Mit einem Prozent der Landesfläche könnten wir bilanziell etwa ein Drittel unseres Endenergiebedarfs mit Solarenergie decken. Das zeigt das riesige Potenzial der Solarenergie im Flächenland Niedersachsen. Dieses Potenzial der Erneuerbaren Energien zu nutzen, ist eine sehr große und komplexe gesamtgesellschaftliche Herausforderung, denn dafür muss unser Energiesystem stark umgebaut werden.

Solarstrom ist schon heute mit 6 bis 12 ct/kWh für viele Anwendungen wirtschaftlich attraktiv und wird durch Forschung und Entwicklung künftig noch günstiger werden. Auf dem Weg dahin demonstrierte das ISFH im vergangenen Jahr ein industrietaugliches Herstellkonzept für beidseitig lichtempfindliche Siebdrucksolarzellen und erreichte damit einen beachtlichen Wirkungsgrad von 22,1%. Durch die rückseitige Lichtempfindlichkeit ist bei diesen neuen Solarzellen ein zusätzlicher Ertrag in Freiflächenanlagen möglich (s. Seite 48).

Mit neuen ladungsträgerselektiven Beschichtungen erreichten wir einen Weltrekordwirkungsgrad von 26,1% für *p*-Typ Silizium. Maschinen für solche Beschichtungen werden jetzt von europäischen Maschinenbauern angeboten, die mit neuen Produktionsanlagen im schnell wachsenden Weltmarkt punkten können.

Weiter in die Zukunft schauen unsere Entwicklungsarbeiten an Tandemsolarzellen, welche das Sonnenspektrum effizienter ausnutzen. Gemeinsam mit dem US-amerikanischen nationalen Labor für erneuerbare Energien (NREL) demonstrierten wir eine Tandemsolarzelle, die einen Wirkungsgrad von 35,4% erreichte (s. Seite 44). Wenn solche Technologien produktionsstauglich würden, dann bräuchten wir viel weniger Landesfläche für die zukünftige Solarenergienutzung!

Es gibt weitere lange Hebel für große Effizienzsteigerungen und für Kostensenkungen. Einer davon ist die durch Sonnenenergie und Windstrom unterstützte Wärmepumpenheizung. Mit Partnern aus der Region untersuchten wir verschiedene Systemkonfigurationen in unterschiedlichen Gebäudetypen, um Regelstrategien für jeweils maximale Emissionsreduktionen zu finden (s. Seite 58).



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

Prof. Dr.-Ing. Rolf Brendel, CEO and Scientific Director of the Institute for Solar Energy Research in Hamelin.

Our climate is changing due to further increasing global CO₂ emissions. As a coastal area, Lower Saxony is particularly affected by climate change. As a consequence, we must be determined in tackling the transformation of the energy system. Lower Saxony has already demonstrated considerable successes in the massive expansion of wind energy. Solar energy use, however, hitherto lags behind what is possible.

Lower Saxony has an annual overall energy consumption of about 250 TWh/a. Using one percent of the state's area we could cover about a third of our overall energy consumption with solar energy. This shows the enormous potential of solar energy in the territorial state of Lower Saxony. This potential to use renewable energy sources is a very great and complex challenge for society as a whole as it requires our energy system to be radically transformed.

Solar electricity is already economically attractive today for many applications at 6 to 12 ct/kWh and will in the future become even less expensive through research and development. As part of that process the ISFH has demonstrated in the past year an industrially-applicable production concept for bifacial light-sensitive screen-printed solar cells and thereby achieved a remarkable efficiency of 22.1%. The rear-side light sensitivity of these new solar cells makes an additional yield possible in free-standing systems (s. page 48).

With new charge-carrier-selective coatings we have achieved a world-record efficiency for *p*-type silicon of 26.1%. Machines for such coatings are now being supplied by European machine builders, who are able to achieve success with new production systems in the rapidly growing world market.

Our development work on tandem solar cells, which use the solar spectrum more efficiently, is looking further into the future. Together with the US-American National Renewable Energy Laboratory (NREL) we have demonstrated a tandem solar cell which achieved an efficiency of 35.4% (s. page 44) If the mass production of such technology became feasible, we would need much less land area for future solar energy use.

There are further effective tools for achieving greater efficiency increases and cost savings. One of these is heat pump heating assisted by solar and wind energy. We have studied various system configurations in different types of buildings with partners from the region in order to find control strategies to achieve maximum respective emission reductions (s. page 58).

Beim Umbau des Energiesystems geht es aber nicht nur um Technik, sondern auch um die Gestaltung unseres zukünftigen Lebensraums, in dem Solarenergie integraler Bestandteil sein wird. Das ISFH beschäftigt sich daher mit neuen Verfahren für die Integration von Solarenergienutzung in die Gebäudehülle (s. Seite 62).

Im August 2017 wurde das ISFH 30 Jahre alt. Die Institutsgründungen der 80er Jahre halfen der Solarenergie aus den Kinderschuhen und hatten Vorbildcharakter. Seither wurden und werden auf der ganzen Welt ähnliche Forschungseinrichtungen geschaffen. Unser Jubiläum war ein geeigneter Anlass, gemeinsam mit Partnern und Wegbegleitern auf drei Jahrzehnte erfolgreicher Forschungsarbeit in Niedersachsen und auf die Entwicklung der Solarenergie zurückzublicken. Die Solarenergie gewinnt derzeit weltweit rasant an Bedeutung. Das ISFH ist dabei in der internationalen Spitze vertreten, wie auch die Redebeiträge aus Industrie und Wissenschaft zu unserem Jubiläum zeigten.

Unser Rückgrat sind und waren immer die Innovationskraft und das Engagement der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, die vertrauensvolle Zusammenarbeit mit hervorragenden Firmen, die gute Zusammenarbeit mit der Leibniz Universität und der politische Wille, die Energiewende durch angewandte Forschung auch in der Praxis voranzubringen. Die 2017 erstmals erhöhte institutionelle Förderung des Landes unterstreicht diesen politischen Willen überzeugend. Wir gehen gestärkt und zuversichtlich in die nächsten 30 Jahre, das Erwachsenenalter der Solarenergie. Wir danken dem Bund, insbesondere dem Bundeswirtschaftsministerium, dem Land und der Europäischen Union für zahlreiche Forschungsförderungen und werden diese Gelder auch weiterhin sehr effizient für eine erfolgreiche Energiewende bei uns und in der Welt einsetzen. Immer nach dem Motto „planet first“ – wir haben nur diesen einen!

Ich wünsche Ihnen eine interessante Lektüre dieses Jahresberichtes 2017. Sprechen Sie uns einfach an, wenn Sie gemeinsam mit uns forschend für die Energiewende arbeiten wollen.



Prof. Dr.-Ing. habil. Rolf Brendel, 31.12.2017

Institutsleiter und Geschäftsführer
Director and Chief Executive

In transforming the energy system, it is not just a question of technology, but also of designing our future living space, of which solar energy will be an integral part. The ISFH is therefore also considering the procedures for integrating solar energy use into the building envelope (s. page 62).

In August 2017 the ISFH had its 30th birthday. The institute foundations in the 1980s helped solar energy to leave its infancy behind and were a role model. Since then, similar research facilities have been and are being created throughout the world. Our birthday was a suitable occasion to look back together with our partners and companions on three decades of successful research work in Lower Saxony and the development of solar energy. Solar energy is currently rapidly gaining in importance worldwide. In this the ISFH is in the international vanguard as the speeches at our birthday celebrations from industry and business showed.

Our backbone is and always has been our innovative energy and the commitment of our staff, trusting collaboration with outstanding companies, good cooperation with the Leibniz University and the political will to promote energy change through applied research and practice in the field. The institutional support from the State of Lower Saxony, increased for the first time in 2017, convincingly underlines this political will. We are entering the next 30 years, the adulthood of solar energy, invigorated and confident. We thank the Federal Government, especially the Federal Ministry of Economic Affairs and Energy, the State of Lower Saxony and the European Union for numerous research fundings and will continue to use these moneys very efficiently for successful energy change here at home and throughout the world. Always according to the motto “planet first” – we only have this one!

I wish you interesting reading of this Annual Report 2017. Just speak to us if you want to work together with us in conducting research for energy change.

Kurzportrait

Am Institut für Solarenergieforschung GmbH Hameln (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 Systemverhalten selbst ist dabei ein besonders wichtiger Teil der Forschungsarbeit. Gemeinsam mit unseren Industriepartnern und unseren Studierenden, die am ISFH ihre 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 Abteilungen *Photovoltaik*, *Solare Systeme* und der unabhängigen Prüfstelle *ISFH CalTeC* (s. Seite 18). 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 Gebäude 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)*.

Brief portrait

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

The ISFH is made up of the *Photovoltaics* and *Solar systems* departments as well as the independent test center *ISFH CalTeC* (s. page 18).

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 silicon solar cells with the accompanying module technology for efficiencies of above 22 % called “high-efficiency” solar cells. 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 Centre of Lower Saxony (efzn)*.



*SolarTeC und Hauptgebäude.
SolarTeC and main building.*

Organisation

Abteilung Photovoltaik

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

Dr. Thorsten Dullweber (INFRASTRUKTUR)

Prof. Dr. Jan Schmidt (PERSONALPLANUNG)

Im Labor erreichbare Wirkungsgrade von Solarzellen sind gegenwärtig schon sehr beachtlich. Nach wie vor mangelt es jedoch an Technologien, mit denen höchsteffiziente Solarzellen ($\eta > 22\%$) industriell, d. h. kostengünstig und rasch 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 (PERSONNEL PLANNING)

Solar cell efficiencies achieved in the laboratory are already remarkably high. There is still, however, a lack of industrially applicable technology to enable mass production of high-efficiency solar cells ($\eta > 22\%$), i. e. which can be rapidly produced at a reasonable price. The six research groups in the Photovoltaics Department are committed with 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 neuartige Heteroübergänge für hocheffiziente Silizium-Solarzellen.

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 heterojunctions for the application to high-efficiency silicon solar cells.

Solarzellen Charakterisierung & Simulation/Solar cell characterization & simulation

Leitung/Head: Dr. Karsten Bothe

Die Aufgabe der Arbeitsgruppe *Solarzellen Charakterisierung und Simulation* ist es, neue Messverfahren zu entwickeln und Messsysteme aufzubauen, die notwendig sind, um in Kombination mit Bauelementsimulationen ein umfassendes Verständnis der am ISFH entwickelten Silizium-Solarzellen zu erlangen. Um auf aktuelle Veränderungen im Zelldesign 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 *solar cell characterization & simulation* 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.



Automatisiertes Pikosekundenlasersystem zur Kontaktöffnung und Strukturierung von Siliziumwafern.
Automated picosecond laser system for contact opening and structuring of silicon wafers.

Industrielle Solarzellen/Industrial solar cells

Leitung/Head: Dr. Thorsten Dullweber

Die Arbeitsgruppe Industrielle Solarzellen entwickelt Verbesserungen von Siliziumsolarzellen 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.

The Industrial Solar Cells Research Group develops improvements to silicon solar cells produced in a conventional industrial way with respect to increasing efficiencies and reducing costs. The focus of the activities is on industrial rear-passivated 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 in respect of 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 Siliziumbasierte Tandemsolarzellen untersucht.

This group concentrates on the development of enabling techniques for production of high-efficient 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 Siliziumsolarzellen 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 *Modultechnologien* entwickelt neue Verbindungstechniken für Photovoltaikmodule und optimiert das Lichtmanagement im Modul, um Moduleffizienzen zu steigern. Dazu gehört z. B. die Verwendung vieler dünner Stromableiter im Modul, um sowohl Widerstandsverluste zu minimieren als auch die Lichteinkopplung in Solarzellen zu verbessern. Die Gruppe entwickelt Methoden für das Auffinden von Schäden in Solarmodulen. Schwerpunkt sind bildgebende Verfahren, wie z. B. 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 *Module technologies* research group is engaged in developing new connection techniques for photovoltaic modules and optimizing light management in the module to increase module efficiency. This includes, for example, the use of many thin current conductors in the module to minimize resistance losses and to optimize light coupling into solar cells. The group is developing methods of finding damage to solar modules. Here an 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 is being undertaken to analyze the failure of modules with accelerated aging tests and standard tests in accordance with IEC 61215-2.



Probenvorbereitung für die Untersuchung im Röntgendiffraktometer (XRD).
Sample preparation for examination in the X-ray diffractometer (XRD).

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

Die Forschungsaktivitäten der Abteilung Solare Systeme umfassen die Integration der solar erzeugten 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. Des Weiteren werden entwicklungsunterstützende und zertifizierende Auftragsprüfungen durch das *Calibration & Test Center (CalTeC)* 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 accredited *Calibration & Test Center (CalTeC)* offers development support and certification tests to our industrial partners.

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

Die Arbeitsgruppe *Solarthermische Materialien* 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 Fokus.

The *Solar thermal materials* 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 material scientific and optical characterization including spectral ellipsometry from UV to the mid-infrared range. Absorber layers with temperature depending properties are currently one main topic.

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. Gebäudeintegration, Kosten- und Materialeinsparung, Betriebssicherheit sowie Kollektoren für neue Einsatzbereiche sind die wesentlichen Aufgaben. Aktuelle Themen sind Kollektoren, bei denen sich im Stagnationsfall kein Dampf bildet, photovoltaisch-thermische Kollektoren, hocheffiziente Flachkollektoren für die Unterstützung von industriellen Prozessen oder Wärmenetzen und neue Lösungen für die Gebäudehülle.

The research activities of this group focus on the solar collector and on the collector loop, whereas the work has a systemic approach. Building integration, cost and material saving, operational reliability as well as collectors for new applications are the main tasks. Current topics are collectors, which do not produce vapour in case of stagnation, photovoltaic thermal collectors, highly efficient flat plate collectors for solar assistance of industrial processes or district heating networks and new solutions for the building envelope.



Prototyp der solarthermischen Glasfassade am ISFH.
Prototype of the solar thermal glass façade at ISFH.

Systemkomponenten/System components

Leitung/Head: Dipl.-Ing. Carsten Lampe

Im Fokus der Arbeitsgruppe *Systemkomponenten* stehen die experimentelle Bewertung und Modellierung nicht solarer Systemkomponenten wie z. B. Frischwasserstationen, Wärmepumpen, Brennwertkessel und Subsysteme 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 the *System components* group is directed to the experimental evaluation and modeling of non-solar system components like hot water modules, heat pumps, condensing boilers and subsystems like central heat generation and distribution facilities in multifamily buildings. One main topic is the development of new storage tanks with special emphasis on the energetic quality of tank installations (e.g. avoiding tube internal recirculation).

Elektrische Energiesysteme/Electrical energy systems

Leitung/Head: Dr. Tobias Ohrdes

Ziel der Arbeitsgruppe *Elektrische Energiesysteme* ist die wirtschaftliche und technische Bewertung sowie Optimierung von elektrischen Energieversorgungssystemen in Wohngebäuden, Siedlungen, Handel, Dienstleistung und Gewerbe. Insbesondere die Sektorkopplung durch Strom-Wärmesysteme und damit die Interaktionen zwischen elektrischen und thermischen Komponenten spielen hier eine wichtige Rolle. Arbeitsschwerpunkte sind Systemsimulationen, Dimensionierungsregeln sowie Anlagenanalysen im Labor und Feld mittels eigener Mess- und Monitoringsysteme zur Evaluierung des Übertragungsverhaltens von Komponenten oder Subsystemen. Adaptierende und vorausschauende Regelstrategien unter Einbeziehung der Schnittstelle zum Stromversorgungsnetz können, mit optimiertem Einsatz von Wärme- und Stromspeicher, einen weitgehend netzdienlichen Betrieb sicherstellen.

The objective of the *Electrical energy systems* group is the economic and technical validation as well as the optimization of decentralized power supply systems used in residential buildings and areas, commerce and industry. In particular, the "interaction of energy sectors" through combined heat and power supply systems is of special importance; therefore, the interaction between electrical and thermal components is of concern. The main topics are system simulation, design rules, transient response properties of components or subsystems, system analyses in laboratory experiments or field investigations utilizing internally developed measurement and monitoring systems. Self-adapting and predictive control strategies may, with respect to the local electric network, lead to a grid supporting operation of the building, if electric and thermal storages are used in an optimum way.

Thermische Energiesysteme/Thermal energy systems

Leitung/Head: Prof. Dr.-Ing. Oliver Kastner (komm./prov.)

Die Entwicklung und Bewertung von effizienten thermischen Systemen zur Gebäude- und Prozessversorgung stehen im Mittelpunkt der Arbeiten dieser Gruppe. Dies umfasst neue System-schaltungen 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 systems for buildings and process supplies are in the focus of the work of this group. That incorporates new system set-ups like e.g. the activation of building inertia as thermal storage, the application of new components like 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.



Das Gebäude der *Integrierten Solaren Systemtechnik (ISS)*.
The building of the *Integrated solar system technology (ISS)*.

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 als eine der großen europäischen Prüfstellen einen Fundus an Erfahrungen in allen Bereichen des thermischen Solarkollektors und der Solaranlage. Neben normgerechten Prüfungen nach den europäischen Standards EN 12975^[2], EN 12976^[3] und EN 12977^[4], sowie dem internationalen Standard ISO 9806^[5] und der Mitarbeit in Normungsgremien werden entwicklungsbegleitende Untersuchungen durchgeführt sowie Prüfverfahren weiterentwickelt.

The *Thermal applications* unit of the CalTeC as one of the major testing facilities in Europe offers a wide range of different tests and much expertise with thermal solar collectors and solar thermal systems. In addition to doing tests in accordance with the European standards of EN 12975^[2], EN 12976^[3] and EN 12977^[4] as well as the International standard of ISO 9806^[5] and collaboration with standardization organizations we provide our knowledge for accompanying product development. Furthermore, test procedure are developed and improved.

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'Éclairage (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 to the IEC 60904^[6] standards. The testing of the spectroradiometers is carried out in accordance to the recommendations of the International Commission on Illumination (CIE) in an ISO 17025^[1] certified procedure.

CalTeC – Optics

Leitung/Head: Dr. Rolf Reineke-Koch

Im Bereich *Optics* des CalTeC werden die Prüfungen der optischen Eigenschaften zusammengefasst. Der Bereich ist akkreditiert für die Prüfung der Alterungsbeständigkeit von Absorberschichten gemäß dem internationalen Standard ISO 22975-3^[7] und ist Ansprechpartner für die nationale Spiegelung dieses Standards beim Deutschen Institut für Normung (DIN). Es werden Reflexions- und Transmissions-Messungen im Spektralbereich von 220 nm bis 50.000 nm angeboten.

CalTeC summarizes all tests of optical qualities in its *Optics*-division. It is certified for testing the resistance to aging of the absorber layers in accordance with the international standard ISO 22975-3^[7]. Division *Optics* is a national counterpart for mirroring this standard into the corresponding committee of the German Institute for Standardization (DIN). The division offers reflectance and transmittance measurements in the spectral range from 220 nm through to 50,000 nm.

[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 – Kollektorbauerteile und Materialien

[1] General requirements for the competence of testing and calibration laboratories

[2] Thermal solar systems and components – Solar collectors

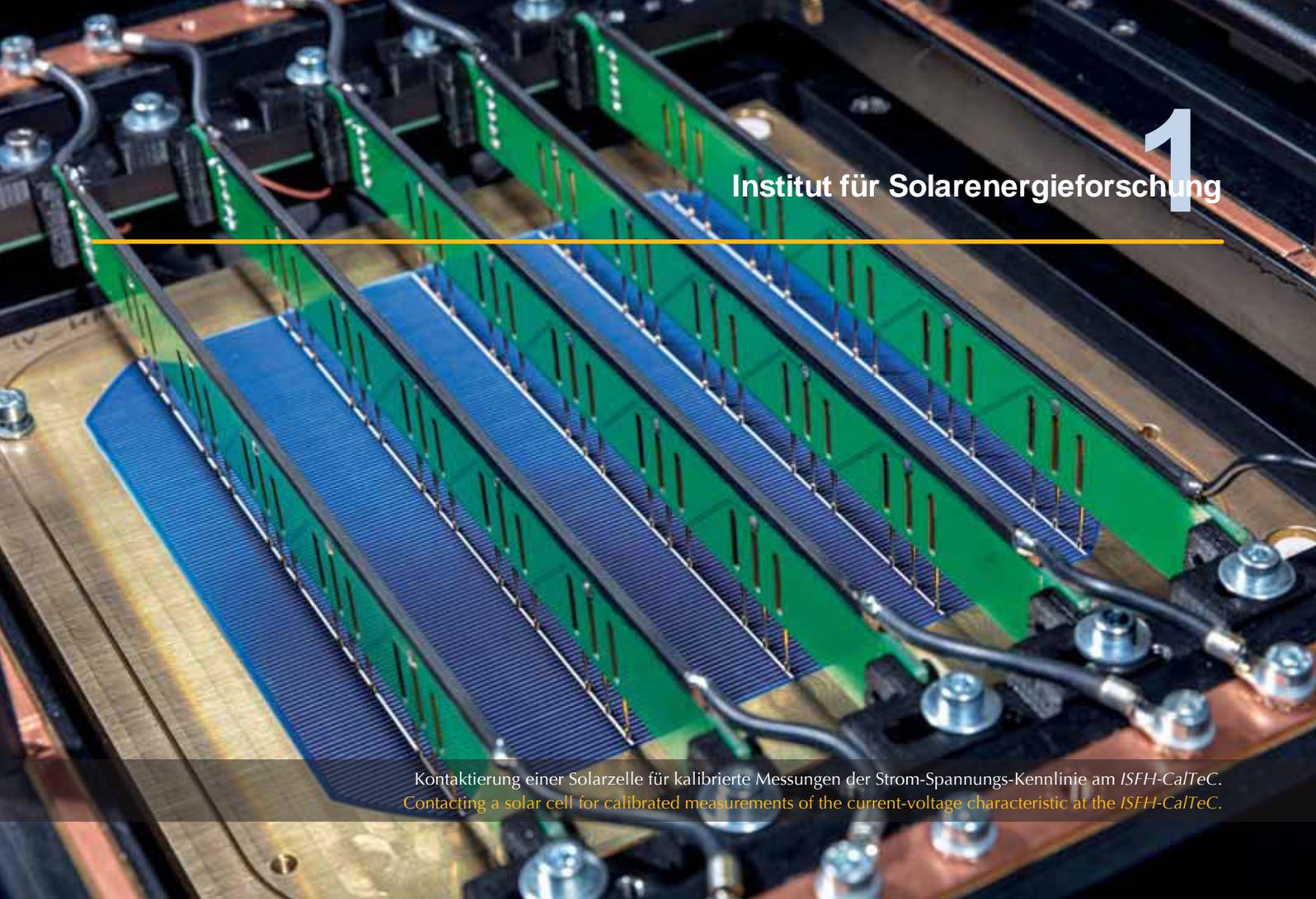
[3] Thermal solar systems and components – Factory made systems

[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



Kontaktierung einer Solarzelle für kalibrierte Messungen der Strom-Spannungs-Kennlinie am ISFH-CalTeC.
Contacting a solar cell for calibrated measurements of the current-voltage characteristic at the ISFH-CalTeC.

Zentrale Dienste

Leitung: Dipl.-Oec. Wolfgang Gaßdorf

Die zentralen Dienste stützen die Infrastruktur des Institutes. Sie bestehen aus einem technischen Bereich mit Mechanikwerkstatt, 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, data-processing support and an administrative section consisting of secretarial services, accounts, and public relations work. Central services is headed by Dipl.-Oec. Wolfgang Gaßdorf, who is also attorney and Deputy Director of the ISFH.

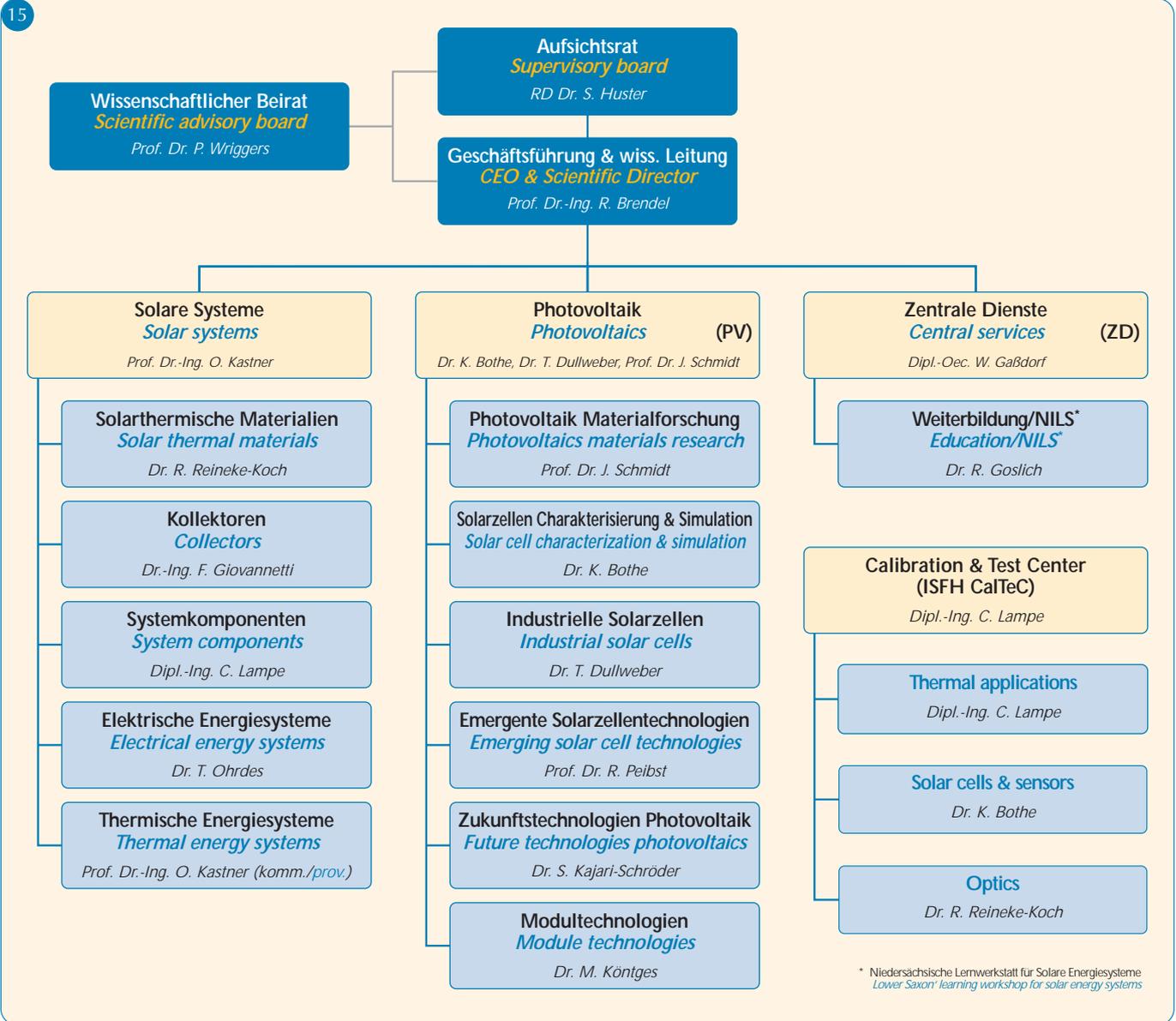
Weiterbildung & NILS/Education & NILS

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. 70ff).

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 in respect of its availability, sustainability, economic viability and climate protection (see also p. 70pp).



Das Organigramm des ISFH, Stand 12/2017.

The organization of the ISFH, effective 12/2017.

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 19. Juni und 27. November 2017. Die Mitglieder dieses Gremiums sind:

Supervisory Board

The Supervisory Board appoints, controls and advises the Managing Director. According to the Institute's statutes it consists of up to nine members. Some of the members are directly appointed by the State of Lower Saxony, the rest being 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 19 June and 27 November 2017. The members of the Board were:

Mitglieder/Members

Stand/Effective: 31.12.2017

- Regierungsdirektor Dr. Sebastian Huster
Vorsitzender des Aufsichtsrates/
[Head of the Supervisory Board](#)
Niedersächsisches Ministerium für Wissenschaft und Kultur
Hannover
- Regierungsdirektorin Dr. Katharina Schröder
Stellvertretende Vorsitzende des Aufsichtsrates/
[Deputy Head of the Supervisory Board](#)
Niedersächsisches Finanzministerium
Hannover
- Landrat Tjark Bartels
Landkreis Hameln-Pyrmont
- BD Dr.-Ing. Anke Grieße
Niedersächsisches Ministerium für Umwelt, Energie und
Klimaschutz
Hannover
- Prof. Dr. Rolf Haug
Institut für Festkörperphysik
Leibniz Universität Hannover
- Dr. Winfried Hoffmann
Applied Solar Expertise (ASE),
Hanau
- Prof. Dr. Jürgen Parisi
Fachbereich Physik
Carl von Ossietzky Universität Oldenburg
- Dr. Ulrich Stiebel
Stiebel Eltron GmbH & Co. KG
Holzminden

Wissenschaftlicher Beirat

Der wissenschaftliche Beirat berät den Aufsichtsrat und die 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 Wissenschaftler aus Forschung und Industrie sowie Persönlichkeiten, die aus ihrer Berufserfahrung besondere Kenntnisse in den Arbeitsfeldern des ISFH haben.

Der Beirat hielt seine jährliche Sitzung am 1. Dezember 2017 im ISFH ab. Die Mitglieder des wissenschaftlichen Beirates sind:

Scientific Advisory Board

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

The Board members are respected scientists from universities and industry as well as other personalities who, through their professional experience, are familiar with the research topics of the ISFH.

This year's general meeting of the Board was held at ISFH on 1 December 2017. The members of the Scientific Advisory Board were:

Mitglieder/Members

Stand/Effective: 31.12.2017

- 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. 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. Günter Bräuer
Stellvertretender Vorsitzender des Beirates/
[Deputy Head of the Scientific Advisory Board](#)
Fraunhofer-Institut für Schicht- und Oberflächentechnik
Braunschweig
- 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

Gesellschaft zur Förderung des Instituts für Solarenergie- forschung 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 stärker einzubinden

Am 7. September 2017 fand am ISFH die jährliche Mitgliederversammlung des Fördervereins statt. Auf Einladung des Vereins trug im Anschluss daran Raimund Nowak, der Geschäftsführer der Metropolregion Hannover Braunschweig Göttingen Wolfsburg zum Thema „Neue Mobilität und Ökologie – Sind Elektroautos

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 the 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 more closely into the region

The annual general meeting of the Friends of the ISFH took place on September 7, 2017. At the Friends’ invitation, Raimund Nowak, the Chief Executive Officer of the Hanover Brunswick Göttingen Wolfsburg Metropolitan Region, gave a talk on the subject “New Mobility and Ecology – are electric cars green?” This included the market development in Germany and the world, fully electric cars, buses, motorbikes and light vans, as well as

[8] Gesellschaft zur Förderung des Instituts für Solarenergieforschung e.V., Dipl.-Ing. Horst Zacharias, 1. Vorsitzender/Chairman, Zacharias Gebäudetechnik GmbH, Wehler Weg 14, 31785 Hameln, Telefon 05151/9451-0, Email: z@zacharias-gruppe.de

grün?“ vor. Dabei ging es u.a. um die Marktentwicklung in Deutschland und in der Welt, vollelektrische PKW, Busse, Zweiräder und leichte Nutzfahrzeuge, um Alternativen zum Auto und um die Bewertung politischer Trends.

Im Jahr 2017 hat der Verein das ISFH beim Aufbau eines Prüfstands für PV-T-Kollektoren (Abbildung 16 und 17) mit einer Zuwendung von rund 12.000 € unterstützt.

Die Vereinsmitglieder sind:

Mitglieder/Members

Stand/Effective: 31.12.2017

- 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
- Nasarek Architekten-Team GmbH · BDA, Hameln
- NWDH Holding AG, Hameln

- PAW GmbH & Co. KG, Hameln
- proKlima – Der enercity-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
- Westfalen Weser Netz GmbH, Paderborn
- Zacharias Gebäudetechnik GmbH, Hameln



Zweidimensionales Ultraschall-Anemometer zur Erfassung der Windgeschwindigkeit am Testdach. Es gehört zum PV-T-Prüfstand.

Two-dimensional Ultrasonic-Anemometer to record the wind speed on the test roof. It is part of the PV-T test stand.



Prüfstand für PV-T-Kollektoren: MPP-Betrieb zweier PV-Module mit elektrischer Last (im Vordergrund). Der Versuchsaufbau umfasst zwei identische PV-Module, wobei das rechte zusätzlich mit einem rückseitigen Wärmetauscher versehen ist (PV-T-Kollektor).

Test stand for PV-T collectors: MPP set-up of two PV modules connected to an electrical load (foreground). The set-up comprises two identical PV modules, the right-hand one being additionally equipped with a rear-sided heat exchanger (PV-T collector).



Der Förderverein des ISFH mit dem Referenten des Abendvortrages nach der Jahresversammlung am 7.9.2017, v.l.n.r.: Dr. Ch. Kotzerke (Westfalen Weser Netz GmbH), A. Grossmann (Bürgermeister Gemeinde Emmerthal), H. Niemeyer (CW Niemeyer & Co. KG), L. Reimann (Elektroma), S. Treptow (GWS Stadtwerke Hameln), D. Tegtmeier (Ingenieurbüro Mencke & Tegtmeier), Prof. Dr.-Ing. R. Brendel (ISFH), K.-W. Steinmann (Steinmann Bau GmbH), R. Nowak (Geschäftsführer der Metropolregion GmbH, Referent).

The Friends with the speaker at the evening lecture after the annual general meeting on 7 September 2017, from left to right: Dr. Ch. Kotzerke (Westfalen Weser Netz GmbH), A. Grossmann (Mayor of the Community of Emmerthal), H. Niemeyer (CW Niemeyer & Co KG), L. Reimann (Elektroma), S. Treptow (GWS Stadtwerke Hamelin), D. Tegtmeier (Ingenieurbüro Mencke & Tegtmeier), Prof. Dr.-Ing. R. Brendel (ISFH), K.-W. Steinmann (Steinmann Bau GmbH), R. Nowak (Chief executive Metropolregion GmbH, speaker).

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 35 % des Gesamtertrags (Einnahmen im Jahr 2017) von 10,15 Millionen Euro ab.

Neben dieser institutionellen Förderung durch das Land Niedersachsen erzielt das Institut Drittmiteinnahmen aus öffentlicher Forschungsförderung, des Bundes, des Landes Niedersachsen und der Europäischen Union (EU). Die Einnahmen aus der öffentlichen Projektforschung betragen im Berichtsjahr 6,2 Millionen Euro, davon ist der größte Teil Verbundforschung mit der Industrie. Hinzu kommen Drittmiteinnahmen aus Dienstleistungen und Auftragsforschung in Höhe von 0,33 Millionen Euro.

Zum Ende des Jahres 2017 waren 145 Personen am ISFH beschäftigt. Bei der Mehrzahl der Beschäftigten handelt es sich um im Rahmen von Forschungsprojekten zeitlich befristet angestellte Doktoranden sowie wissenschaftliches und technisches Personal. In der Gruppe der studentischen Mitarbeiter sind es Praktikanten, Studienarbeiter und Studierende, die ihre Bachelor- bzw. Masterarbeit an Universitäten oder Fachhochschulen anfertigen und im Rahmen ihrer wissenschaftlichen Ausbildung am ISFH beschäftigt werden. 43 Mitarbeiter sichern als permanent Beschäftigte die Kontinuität der wissenschaftlichen Arbeit und die Aufrechterhaltung der Infrastruktur.

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

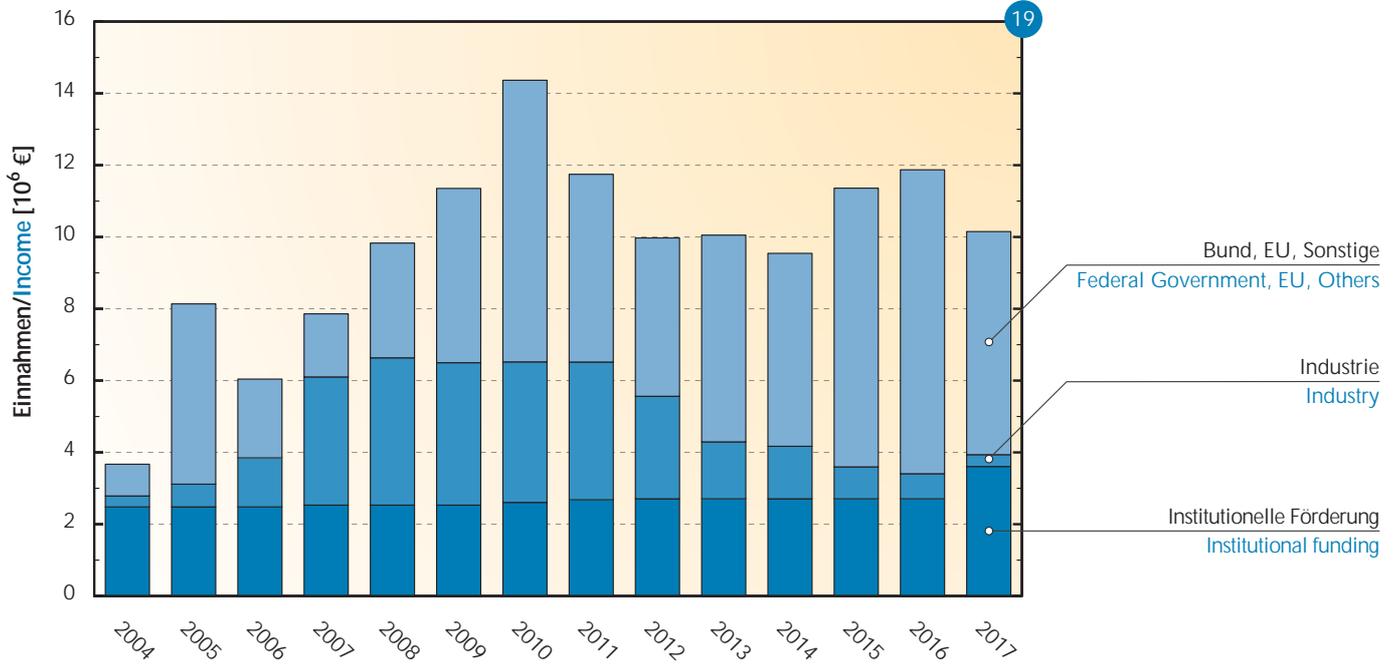
Budget & personnel

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 35 % of the total budget (income in 2017) of € 10.15 million for the reporting year.

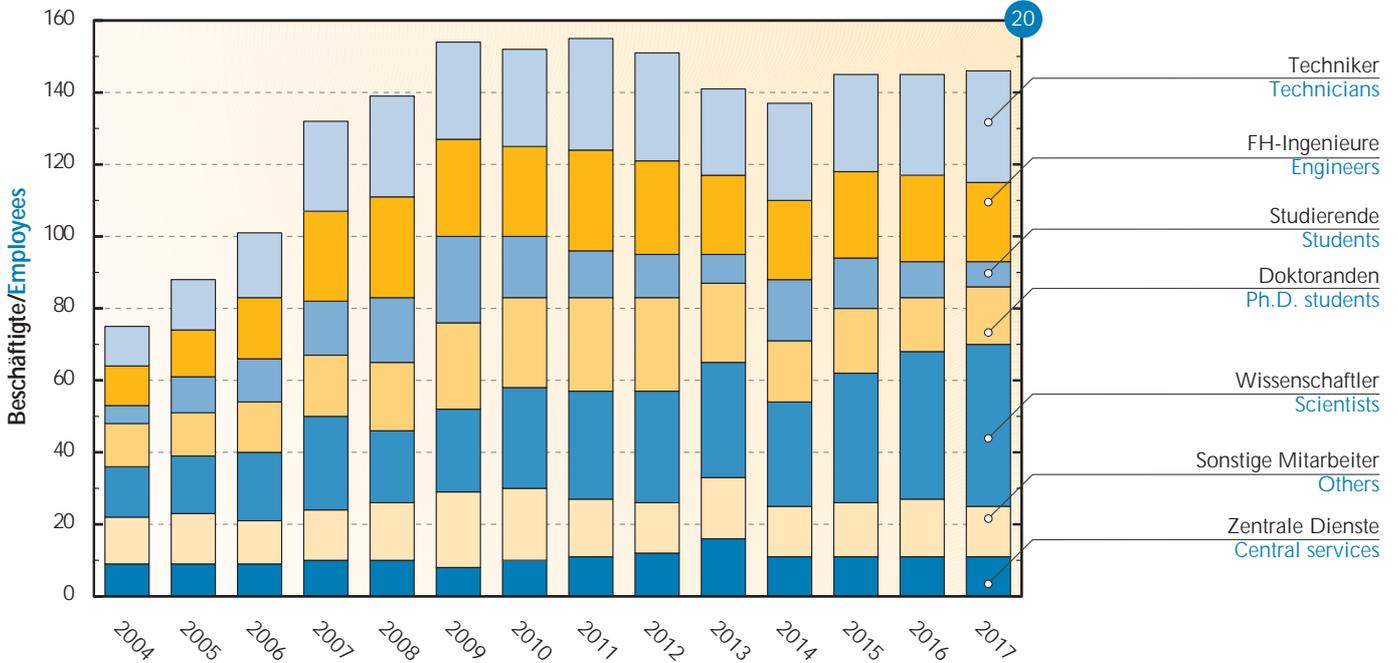
In addition to this institutional support from the State Government of Lower Saxony, the Institute receives so-called third-party funding from public research sponsors such as the Federal Government, the State Government of Lower Saxony or the European Union (EU). The income from public research projects was € 6.2 million in the reporting year, the majority of which was joint research with the solar industry. In addition, third-party funding also comes from services and contract research amounting to € 0.33 million.

At the end of 2017 the ISFH had 145 employees. The majority of the staff consist of scientific and technical personnel and Ph.D. students employed on a temporary basis to undertake research projects. The students involved comprise undergraduates from universities or technical colleges employed at the ISFH as part of their scientific training. 43 staff are permanently employed guaranteeing the continuity of the scientific work and maintenance of the infrastructure.

The Institute for Solar Energy Research GmbH site on 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 unbuilt areas or on the roofs there is the possibility to carry out outdoor tests on currently 2,000 m² of test area.



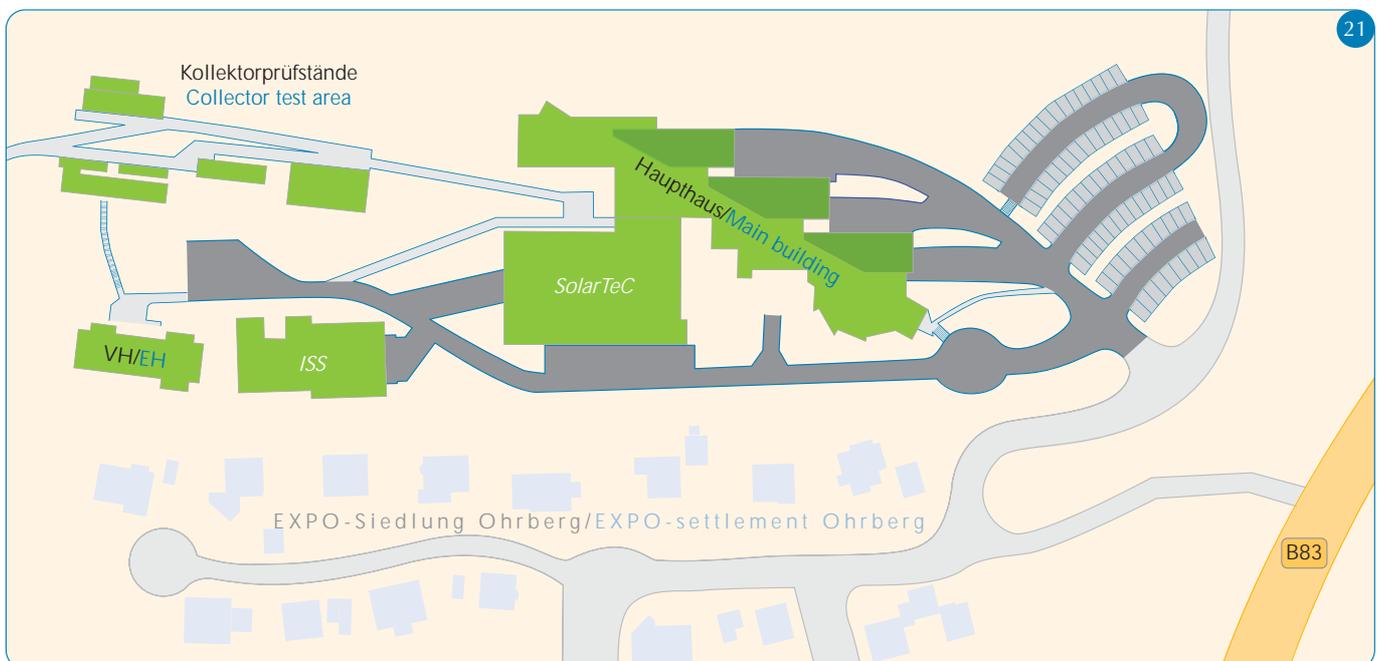
Der Haushalt des ISFH nach Einnahmequellen aufgeschlüsselt. The ISFH budget broken down into funding sources.



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
Technologiehalle <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.

30-jähriges Jubiläum

Rund 250 Gäste aus dem In- und Ausland waren dabei, als das ISFH am 31. August 2017 in feierlichem Rahmen auf drei Jahrzehnte äußerst erfolgreicher Forschungsarbeit im Weserbergland zurückblickte. „Die Forschung leistet einen elementaren Beitrag zum Gelingen der Energiewende. Hierfür ist die 30jährige Geschichte des ISFH ein besonderes Beispiel. Seine Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler erzielen innovative Lösungen in der Solarenergieforschung“, lobte die Niedersächsische Wissenschaftsministerin Dr. Gabriele Heinen-Kljajić, das Institut in ihrem Grußwort. „Die Niedersächsische Landesregierung hat die Energieforschung ins Zentrum ihrer Förderpolitik gerückt und setzt auch weiterhin auf ihren Ausbau“, so die Ministerin.

Neben der Wissenschaftsministerin sprachen bei der 30-Jahr-Feier auch Dr. Georg Menzen vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, Landrat Tjark Bartels für die Region Hameln-Pyrmont, ISFH-Aufsichtsratsmitglied Dr. Winfried Hoffmann von der ASE GmbH, Forschungspartner Professor Jef Poortmans vom imec in Belgien, der ehemalige ISFH-Abteilungsleiter Professor Armin Aberle vom SERIS in Singapur sowie Helmut Jäger von der Solvis GmbH in Braunschweig, der Mitglied des wissenschaftlichen Beirats des ISFH ist.

30th anniversary celebration

About 250 guests from home and abroad were present when the ISFH looked back in a special ceremony on three decades of extremely successful research work in the Weserbergland. „Research is making a fundamental contribution to the success of energy transition. The thirty-year history of the ISFH is a particular example of this. Its scientists achieve innovative solutions in solar energy research“, complimented the Lower Saxon Science Minister, Dr. Gabriele Heinen-Kljajić the Institute in her welcoming speech. „The Lower Saxon State Government has brought energy research into the center of its financial support policy and is continuing to focus on its expansion“, said the minister.

Apart from the science minister, other speakers at the 30th anniversary celebrations were Dr. Georg Menzen from the Federal Ministry for Economic Affairs and Energy, District Chief Executive, Tjark Bartels for the Hameln-Pyrmont District, ISFH Supervisory Board member Dr. Winfried Hoffmann from the ASE GmbH, research partner Professor Jef Poortmans from the imec in Belgium, the former ISFH department head Professor Armin Aberle of SERIS in Singapore, and Helmut Jäger of Solvis GmbH in Brunswick, who is a member of the ISFH Scientific Advisory Board.



Dr. Menzen beim Eintrag in das besondere PV-Modul-Gästebuch.
Dr. Menzen registering in the special PV-module guest book.

Die Redner betonten die wichtige Rolle des ISFH als Forschungspartner für die Wirtschaft. So hat laut Dr. Hoffmann eine Maschine, die zusammen mit dem ISFH entwickelt wurde, einem mittelständischen Maschinenbauer aus Deutschland bis heute einen Umsatz von einer Milliarde Euro ermöglicht. Helmut Jäger unterstrich die Bedeutung des Instituts gerade für die kleinen und mittleren Unternehmen in Niedersachsen. Professor Poortmans würdigte das ISFH auch als vorbildlich für andere Forschungsinstitute im europäischen Ausland.

Nach der Feierstunde präsentierten ISFH-Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter ihren Gästen aus Politik, Wirtschaft und Wissenschaft neueste Forschungsergebnisse in Form von Vorträgen und einer Posterausstellung. Interessierte Gäste wurden durch Labore des ISFH geführt und konnten so ein anschauliches Bild moderner Solarforschung gewinnen.

Besonderes Highlight im Rahmenprogramm der Feier war das „etwas andere“ Gästebuch: Alle Gäste und Mitarbeiter wurden gebeten, sich schriftlich auf dem weißen Backsheet eines PV-Moduls zu verewigen. Dieses wurde im Anschluss an die Feier zusammen mit kunstvoll angeordneten Solarzellen-Entwicklungen des ISFH aus den letzten zehn Jahren laminiert und steht nun als stete Erinnerung an diese schöne Feier im Foyer des Institutes.

The speakers emphasized the important role of the ISFH as a research partner for business. For example, according to Dr. Hoffmann, a machine developed together with the ISFH, made it possible for a medium-sized machine-builder from Germany to achieve up to now a turnover of one billion euros. Helmut Jäger underlined the importance of the Institute especially for small and medium-sized companies in Lower Saxony. Professor Poortmans paid tribute to the ISFH as a model for research institutes in other European countries.

After the ceremony ISFH staff presented their guests from the fields of politics, business and science the latest research results in the form of talks and an exhibition of posters. Interested guests received a guided tour of the ISFH laboratories and were thereby able to gain a vivid impression of modern solar research.

A particular highlight of the accompanying program of the ceremony was the “somewhat different” visitors’ book: all the guests and staff were asked to immortalize themselves in writing on the white back sheet of a PV module. After the celebrations this together with artistically-arranged ISFH solar cell developments from the last ten years was laminated and is now standing in the foyer of the Institute as a constant reminder of these pleasurable celebrations.



Umbau für die Posterausstellung im Festzelt.
Rearrangement for the poster exhibition in the marquee.

1

Institut für Solarenergieforschung



Im Angebot der 30-Jahr-Feier: Geführte Touren durch verschiedene Labore des Institutes.

On offer at the 30-years celebrations: guided tours through different labs of the Institute.



Helmut Jäger (Solvis GmbH, links) und Prof. Rudolf Hezel (ehemaliger Institutsleiter, rechts).

Helmut Jäger (Solvis GmbH, left) and Prof. Rudolf Hezel (retired Director of the Institute, right).



Gruppenbild der Grußwortredner: Dr. Winfried Hoffmann (Aufsichtsrat), Prof. Armin Aberle (Solar Energy Research Institute of Singapore (SERIS), CEO), Prof. Dr. Jef Poortmans (Interuniversity Microelectronics Centre (IMEC), Belgien), Dr. Gabriele Heinen-Kljajić (Niedersächsische Ministerin für Wissenschaft und Kultur), Prof. Dr.-Ing. Rolf Brendel (Geschäftsführer des ISFH), Landrat Tjark Bartels (Hameln-Pyrmont), Helmut Jäger (Solvis GmbH, Braunschweig) und Dr. Georg Menzen (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie).

Group picture of the opening speakers: Dr. Winfried Hoffmann (Supervisory Board), Prof. Armin Aberle (Solar Energy Research Institute of Singapore (SERIS), CEO), Prof. Dr. Jef Poortmans (Interuniversity Microelectronics Centre (IMEC), Belgium), Dr. Gabriele Heinen-Kljajić (Lower Saxon Minister for Science and Culture), Prof. Dr.-Ing. Rolf Brendel (Director of the ISFH), District Chief Executive Tjark Bartels (Hameln-Pyrmont), Helmut Jäger (Solvis GmbH, Brunswick) and Dr. Georg Menzen (Federal Ministry for Economic Affairs and Energy).

Das Handout zur 30-Jahr-Feier: Ein Schlüssel zur solaren Zukunft.
The handout at the 30-years celebrations: a key to the solar future.



28

Andreas Grossmann, Bürgermeister von Emmerthal.
Andreas Grossmann, Mayor of Emmerthal.



29

Gesprächsrunde im Festzelt: Prof. Rolf Brendel (Institutsleiter), Dr. Andreas Pflug (Fh-IST) und Prof. Günter Bräuer (Fh-IST).

Group conversation in the marquee: Prof. Rolf Brendel (Director of the Institute), Dr. Andreas Pflug (Fh-IST), and Prof. Günter Bräuer (Fh-IST).



30

Gäste aus dem In- und Ausland feierten mit dem Institut sein 30jähriges Jubiläum.
Guests from home and abroad celebrated the Institute's 30th anniversary.



Die Solarratte, ein Geschenk der Stadt Hameln zum 30. Jubiläum des ISFH.
The Solar Rat, a present from the city of Hamelin on the 30th anniversary of the ISFH.



Dr. Niepelt gab einen Ausblick auf künftige Entwicklungen in der Solar-energie in Deutschland durch seine Präsentation „Importance and future prospects of PV research in Germany“.

Dr. Niepelt gave a forecast of future developments in solar energy in Germany through his presentation: “Importance and future prospects of PV research in Germany”.



Das Festzelt auf dem Dach des SolarTeC-Gebäudes.
The marquee on top of the SolarTeC building.



Das etwas andere Gästebuch zum Jubiläum des ISFH: Die Unterschriften der Gäste wurden am Ende des Tages in ein PV-Modul einlaminiert. Das Modul steht derzeit im Foyer des ISFH als Erinnerung an die 30-Jahr-Feier.

The somewhat different guestbook at the ISFH anniversary; at the end of the day the signatures of the guests were laminated into a PV module. Currently the module is standing in the foyer of the ISFH as a memory of the 30th anniversary celebrations.



Prof. Dr. Rudolf Hezel, Direktor des ISFH bis 2004, im Gespräch mit dem Gemeindedirektor a. D. Martin Delker.

Prof. Dr. Rudolf Hezel, director of the ISFH by 2004 in conversation with the former City Mayor, Martin Delker.



Pressetermin vor dem Festzelt: Prof. Brendel beim Radiointerview.

Press schedule in front of the marquee: Prof. Brendel gives an interview.

Raphael Niepelt



Und für die akustischen Leckerbissen sorgte die Jazzband „Ellingtones“.
And the jazz band “Ellingtones” provided for acoustic treats.

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 (a-Si/c-Si, 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 Module
- Analyse von Defekten in Silizium und ihren Auswirkungen auf Solarzeleigenschaften
- Neuartige Verbindungstechniken für PV-Module
- Langzeitstabilität von Solarzellen und PV-Modulen
- Mechanische Eigenschaften von Modulen
- Bauelement- und Prozesssimulation
- Silizium-Anoden für Li-Ionen-Batterien

Dienstleistungen

- Kalibrierung von Solarzellen
- Prüfung von Spektralfotometern
- Charakterisierung von Solarzellen

Apparative Ausstattung

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

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 (a-Si/c-Si, Polymer/c-Si)
- High efficiency cells with poly-Si-on-oxide (POLO)-contacts
- High efficient crystalline silicon-based tandem solar cells
- Industry-related technology and process development
- Kerfless methods of the fabrication of ultra-thin silicon wafers
- Novel camera-based characterization techniques for silicon materials, solar cells and modules
- Analysis of defects in silicon and their impact on solar cell properties
- Innovative interconnection techniques for PV-modules
- Long-term stability of solar cells and PV-modules
- Mechanical properties of modules
- Device and process simulation
- Silicon anodes for Li-ion batteries

Services

- Calibration of solar cells
- Testing of spectral radiometers
- Characterization of solar cells

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)

Forschungsabteilungen

- 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 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 und Röntgendiffraktometer
- 4-Linienbiegeversuch für mechanische Belastungstests von PV-Modulen

Glanzlichter

- *OTTI Innovationspreis* und *pv magazine award* für das Fluoreszenz Outdoor Inspektions System (FLOIS)
- 35,4 % Wirkungsgrad für eine Verbundsolarzelle aus GaInP/GaAs und Silizium
- Ladungsträgerlebensdauern von bis zu 7 ms auf epitaktisch gewachsenen Si-Wafern
- 22,1 % Wirkungsgrad für industrielle, bifaziale PERC+-Solarzelle
- Anerkennung des *ISFH-CalTeC* als Kalibrierlabor für die Bestätigung von Solarzellen-Weltrekorden
- Neue Parametrisierung der intrinsischen Ladungsträgerlebensdauer in *n*-Typ-Silizium und Neubestimmung des maximal erreichbaren Wirkungsgrades

Highlights

- *OTTI Innovation Award* and *pv magazine award* for the Fluorescence Outdoor Inspection System (FLOIS)
- 35.4 % conversion efficiency for composite solar cell from GaInP/GaAs and silicon
- Charge carrier lifetimes of up to 7 ms on epitaxially-grown silicon wafers
- 22.1 % conversion efficiency in an industrial bifacial PERC+ solar cell
- Endorsement of the *ISFH-CalTeC* as a Calibration laboratory for the confirmation of solar cell world records
- New parametrization of the intrinsic charge carrier lifetime in *n*-type silicon and new determination of the maximum achievable efficiency

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
- (Weiter-) Entwicklung thermisch-sensibler Speicher
- Regenerative Versorgungskonzepte für Ein- und Mehrfamilienhäuser und Quartiere
- Entwicklung von Simulationsmodellen für Komponenten und Subsysteme von dezentralen Gebäude-Energieanlagen, insbesondere für TRNSYS
- Analyse und Optimierung strombasierter lokaler Energieversorgungssysteme inklusive lokaler Erzeugung, Last- und Erzeugerzeitreihen sowie Gleichzeitigkeiten

Dienstleistungen

- Norm-Prüfungen an kommerziellen Sonnenkollektoren, Absorberschichten, Speichern und solarthermischen Anlagen nach EN 12975, ISO 9806, ISO 22975-3, EN 12976 sowie EN 12977 in unserem nach EN ISO/IEC 17025 akkreditierten Prüfzentrum, Durchführung vollständiger Prüfungen sowie Begehungen nach den SolarKeymark-Regeln
- Charakterisierung optischer Eigenschaften und Belastungstests für Absorber gemäß ISO 22975-3 sowie für Gläser
- 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

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
- Development/Improvements of thermally sensitive heat storage tanks
- Renewable energy supply concepts for individual buildings and neighborhoods
- Development of simulation models for components and sub-systems of decentralized energy systems in buildings, especially for TRNSYS
- Analysis and optimization of electricity-based local energy supply systems including local power production, yield and demand time series and simultaneities

Services

- Standard tests on commercial solar collectors, absorber coatings, storages and solar thermal systems in accordance with EN 12975, ISO 9806, ISO 22975-3, EN 12976 and EN 12977 in our EN ISO/IEC 17025-accredited test laboratory, implementation of complete tests and inspections in accordance with the SolarKeymark rules
- Characterization of optical properties and reliability tests for absorbers in accordance with ISO 22975-3 and for glass panes
- 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

Apparative Ausstattung

- Innenprüfstände mit zwei Sonnensimulatoren für Leistungs- und Gebrauchstauglichkeitstests, bis 1,200 W/m²
- Prüfanlagen für Druck-, Sog- und Schubprüfungen an Solar-Modulen
- Testdächer mit 400 m² Nutzfläche für Gebrauchstauglichkeitstests an Sonnenkollektoren und Systemen sowie Leistungstests an Kollektoren bis 180 °C
- Zwei nachführbare Außenprüfstände mit 20 m² Nutzfläche
- Teststand für Systemtests an Solaranlagen nach EN 12976
- Prüfstände für Wärmespeicher, Reglerprüfstand nach EN 12977
- Bewertung von Wärmetauscher-Einzelrohren und Rohrwendeln
- Begehbare Klimakammer (75 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 Probertemperaturierung, zweiachsiges Fotogoniometer 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

Glanzlichter

- Aufbau und Betrieb eines zeitlich hochauflösenden Monitoringsystems in einem Passivhaus zur ganzheitlichen messtechnischen Evaluation einer modernen Strom-Wärme Systemlösung
- Erfolgreiche Prüfung der Leistung und langzeitigen Gebrauchstauglichkeit einer solar aktivierten, hinterlüfteten Glasfassade basierend auf einem patentierten ISFH-Konzept
- Experimenteller Nachweis der Leistungsfähigkeit einer dachintegrierten photovoltaisch-thermischen Anlage basierend auf einem neuartigen Wärmeübertrager-Konzept
- Entwicklung und Bewertung von stagnationssicheren Flach- und Vakuumröhrenkollektoren mit neuartigen Heatpipes für hocheffiziente Solaranlagen mit Temperaturbegrenzung auf unter 125 °C
- Erfolgreiche experimentelle Untersuchungen zur Leistungsfähigkeit von Trinkwarmwasseranlagen mit thermochromen Flachkollektoren

Equipment & facilities

- Indoor test facilities with two sun simulators for performance and reliability tests, up to 1.200 W/m²
- Testing facilities for pressure, suction and thrust loads on solar modules
- 400 m² test roofs for reliability tests on collectors and systems as well as performance tests on solar collectors up to 180 °C
- 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 chamber (75 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

Highlights

- Construction and operation of a monitoring system with high temporal resolution for integral metrological evaluation of a Passive House with a modern heat-power-system
- Successful testing of the performance and long-term usability of a solar-activated, ventilated glass façade based on a patented ISFH concept
- Experimental proof of the performance of a roof-integrated photovoltaic-thermal test-field based on a novel heat-exchanger concept
- Development and evaluation of stagnation-proof flat and vacuum tube collectors with innovative heat pipes for highly efficient solar systems with temperature limitation below 125 °C
- Successful experimental investigations on the performance of domestic hot water systems with thermochromic flat-plate collectors

Hocheffizientes bifaziales PV-Modul in Smart-Wire-Connection-Technologie

Hocheffiziente Module werden immer wichtiger in der Photovoltaik, da sie es ermöglichen, PV-Systeme mit geringem Flächenverbrauch und dadurch geringen Installationskosten zu errichten. Bifaziale Module nutzen Licht von der Vorder- und Rückseite und ermöglichen damit, den Flächenertrag von freistehenden PV-Anlagen weiter zu steigern im Vergleich zu Modulen, die nur von einer Seite lichtsensitiv sind. Solch ein Modul ist als kleiner Prototyp am ISFH hergestellt worden^[9], siehe Abbildung 40. Als Solarzellentyp wurde eine sogenannte PERC+-Solarzelle^[10] verwendet, die gegenüber konventionellen Solarzellen eine passivierte Zellerückseite mit Aluminiumfingern aufweist (Abbildung 41) und damit auch eine lichtempfindliche Zellerückseite aufweist.



Highly efficient bifacial PV module in Smart-Wire connection technology

Highly efficient modules are becoming increasingly important in photovoltaics, as they make it possible to build PV systems with low space consumption and thus low installation costs. Bifacial modules use light from the front and rear sides and thus enable the surface yield of free-standing PV systems to be increased further in comparison with modules that are only light-sensitive from one side. A small prototype of such a module has been manufactured at the ISFH^[9], see Figure 40. A so-called PERC+ solar cell type^[10] was used, which in contrast to conventional solar cells, has a passivated cell rear side with aluminum fingers, (see Figure 41) and thus also has a light-sensitive cell rear side.

Abbildung/Figure 40: Bifaziales PERC+-Testmodul.
Bifacial PERC+ test module.

[9] Dullweber T., Schulte-Huxel H., Kranz C., Blankemeier S., Baumann U., Witteck R., Köntges M.; 26th PVSEC, Singapore, October 26th 2016.

[10] Dullweber T., Kranz C., Peibst R., Baumann U., Hannebauer H., Fülle A., Steckemetz S., Weber T., Kutzer M., Müller M., Fischer G., Palinginis P., Neuhaus H.: PERC+: industrial PERC solar cells with rear Al grid enabling bifaciality and reduced Al paste consumption. Prog. Photovolt: Res. Appl., 24, 1487-1498. (2016) DOI: 10.1002/pip.2712.

[9] Dullweber T., Schulte-Huxel H., Kranz C., Blankemeier S., Baumann U., Witteck R., Köntges M.; 26th PVSEC, Singapore, October 26th 2016.

[10] Dullweber T., Kranz C., Peibst R., Baumann U., Hannebauer H., Fülle A., Steckemetz S., Weber T., Kutzer M., Müller M., Fischer G., Palinginis P., Neuhaus H.: PERC+: industrial PERC solar cells with rear Al grid enabling bifaciality and reduced Al paste consumption. Prog. Photovolt: Res. Appl., 24, 1487-1498. (2016) DOI: 10.1002/pip.2712.

Die optischen Verluste im Modul werden durch industriübliche Maßnahmen, wie ein Antireflexglas und UV-transparente Laminationsfolien, gering gehalten. Außerdem wird der Bereich zwischen den Solarzellen mit Licht lenkendem Material ausgestattet. Dieses strukturierte Material wirft einen großen Teil des Lichts (ca. 75%), das zwischen die Solarzellen fällt, gezielt zurück an die Vorderseitenglasscheibe und wird von dort aus durch Totalreflexion auf die Solarzelle gelenkt. Gleichzeitig werden die Abstände zwischen den verbundenen Solarzellen von üblicherweise 4 mm bis 5 mm auf 1,0 mm zwischen den Zellenreihen bzw. 1,5 mm zwischen verschalteten Solarzellen reduziert. Dies vermindert wiederum die optischen Verluste im Modul.



Standard industrial methods such as anti-reflective glass and UV-transparent lamination foils keep optical losses low in the module. In addition, the area between the solar cells is equipped with light-directing material. This structured material reflects a large part (ca. 75%) of the light, which falls between the solar cells, back onto the front glass pane and from there it is directed onto the solar cell by total reflection. At the same time, the gaps between the connected solar cells are reduced from normally 4 mm to 5 mm to 1.0 mm between the rows of cells and 1.5 mm between interconnected solar cells. This, in turn, reduces the optical losses in the module.

Abbildung/Figure 41: Rückseite des bifazialen PERC+-Testmoduls.
Rear side of the bifacial PERC+ test module.

Um die elektrischen Verluste im Modul im Vergleich zu Standardmodulen zu verringern, werden die Solarzellen nach der Produktion halbiert. Dies führt entsprechend zu einer Verdoppelung der Spannung bei einer Halbierung des Stroms und damit zu einer Reduktion der Leitungsverluste im Modul, die durch Verluste an Zellverbinderbändchen verursacht werden. Des Weiteren wurden die klassischen Zell-Verbinderbändchen gegen 18 einzelne, verzinnete Kupferdrähte mit einem Durchmesser von 200 µm ausgetauscht. Aufgrund der vielen Drähte nennt man diesen Ansatz SmartWire-Connection-Technologie. Zum einen entfallen dadurch die teuren Silber-Busbars auf der Solarzelle und zum anderen muss der Strom nur noch eine im Vergleich zu Busbarzellen kurze Strecke auf der Zelle bis zum nächsten Kupferleiter zurücklegen. Dies ermöglicht eine weitere Ersparnis von Silber auf der Solarzelle. Außerdem werden dadurch wiederum die elektrischen Verluste an Widerständen im Modul minimiert. Gegenüber herkömmlichen Verbindern führen die runden Drähte aufgrund ihrer Geometrie ebenfalls zu einer Umlenkung des Lichts wie bei den schon erwähnten Strukturen zwischen den Zellen. So kann ein Teil des Lichts (ca. 50%), das auf die Drähte trifft, auch von der Solarzelle genutzt werden.

In order to reduce the electrical losses in the module compared to standard modules, the solar cells are cut in half after production. This leads to a corresponding doubling of voltage with a halving of the current and thus to a reduction in conduction losses in the module, which are caused by losses in cell interconnector ribbons. In addition, the classic cell interconnect ribbons were replaced with 18 individual tinned copper wires with a diameter of 200 µm. Due to the large number of wires, this approach is called SmartWire connection technology. On the one hand, this eliminates the expensive silver busbars on the solar cell and on the other hand, the electric current only has to travel a short distance on the cell to the next copper conductor compared to busbar cells. This enables a further saving of silver on the solar cell. In addition, electrical losses at resistors in the module are there by minimized. Compared to conventional connectors, the round wires also lead to a deflection of the light due to their geometry, as with the aforementioned structures between the cells. Thus, the solar cell can also use part (ca. 50%) of the light that hits the wires.

Auf der Zellrückseite wurde im Gegensatz zu konventionellen Solarzellen wie auf der Vorderseite ein feines Fingermuster aus Aluminiumpaste gedruckt. Dadurch kann auch Licht von der Rückseite der Solarzelle genutzt werden. Die neue Verschaltungstechnologie ermöglicht, diese Aluminiumfinger direkt zu kontaktieren, ohne Silberlöt pads drucken zu müssen. Das wiederum vermindert den Silberanteil weiter und die Aluminiummenge wird im Vergleich zu einer konventionellen Zelle um mehr als den Faktor zehn reduziert.

Der Wirkungsgrad des bifazialen Solarmoduls beträgt auf der nutzbaren Vorderseitenfläche (Aperturfläche) 19,8% und auf der entsprechenden Rückseitenfläche 16,4%. Die Wirkungsgrade wurden unabhängig vom TÜV Rheinland bestätigt. Der Vorderseitenwirkungsgrad liegt damit knapp unter dem im Jahr 2016 von uns berichteten Weltrekordwirkungsgrad für ein einseitiges Solarmodul aus PERC-Solarzellen von 20,2%. Unter realistischen Bedingungen kann man in einem Solarpark mit aufgeständerten Modulen durch das auf die aktive Modulrückseite fallende Licht einen Mehrertrag von 5% bis 10% erwarten. Schlägt man diesen Mehrertrag rechnerisch auf den Vorderseitenwirkungsgrad auf, so erhält man einen effektiven Wirkungsgrad bezogen auf die Modulvorderseitenfläche von 20,6% bis 21,4%. Dieser Wert liegt über dem des Weltrekordmoduls von 2016.

On the rear side of the cell, unlike conventional solar cells, a fine fingerprint pattern made of aluminum paste was printed as is done on the front side. This means that light from the rear of the solar cell can also be used. The new interconnection technology makes it possible to contact these aluminum fingers directly without having to print silver soldering pads. This further reduces the silver consumption and the amount of aluminum is reduced compared to a conventional cell by more than a factor of ten.

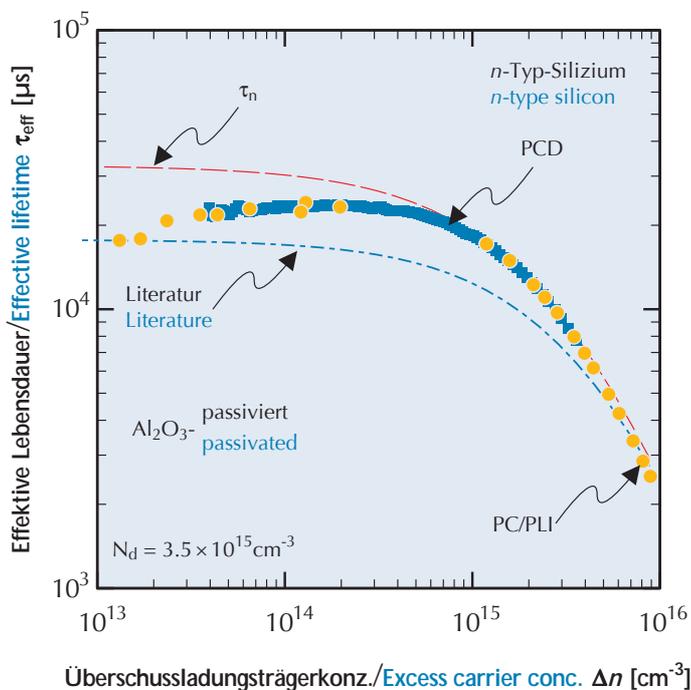
The efficiency of the bifacial solar module is 19.8% on the usable front area (aperture area) and 16.4% on the corresponding rear area. TÜV Rheinland has independently confirmed these efficiency ratings. The front side efficiency is thus slightly lower than the world-record efficiency of 20.2% for a one-sided solar module comprising PERC solar cells reported by us in 2016. Under realistic conditions, an additional yield of 5% to 10% can be expected in a solar park with elevated modules due to the light falling on the back of the active module. If this additional yield is added to the front-side efficiency, an effective efficiency of 20.6% to 21.4% is obtained in relation to the module front surface area. This figure is higher than that of the 2016 world-record module.

Verbesserte Wirkungsgrad-Obergrenze für Solarzellen aus *n*-Typ-Silizium

Die intrinsische Ladungsträgerlebensdauer in Silizium begrenzt den maximal erreichbaren Wirkungsgrad von Silizium-Solarzellen. Die Kenntnis der Ladungsträgerlebensdauer im verwendeten Siliziummaterial erlaubt es daher, die entsprechende Wirkungsgradgrenze zu berechnen. Am ISFH arbeiten wir an der Messung der maximalen Ladungsträgerlebensdauern von hoch-reinen und daher praktisch defektfreien *p*-Typ- sowie *n*-Typ-Siliziummaterialien. Für beide Materialienklassen wird die bestmögliche Oberflächenpassivierung mittels atomlagen-abgeschiedenem Aluminiumoxid (Al_2O_3) erreicht. In der Vergangenheit wurden die maximal messbaren Ladungsträgerlebensdauern in *n*-Typ-Silizium dabei jedoch limitiert durch einen Effekt, der mit der hohen negativen Ladungsdichte im Al_2O_3 zusammenhängt. Daher konnte bislang nicht das tatsächlich Wirkungsgradpotenzial von *n*-Typ-Silizium bestimmt werden. Den Einfluss dieses schädlichen Effekts konnten wir nun deutlich reduzieren durch die Verwendung von großflächigen ($12,5 \times 12,5 \text{ cm}^2$), sehr dicken ($600 \mu\text{m}$) und äußerst homogen passivierten *n*-Typ-Silizium-Wafern. Dies ermöglichte es uns erstmals, das volle Wirkungsgradpotenzial von *n*-Typ-Siliziummaterial zu bestimmen.

Improved upper efficiency limit for solar cells on *n*-type silicon

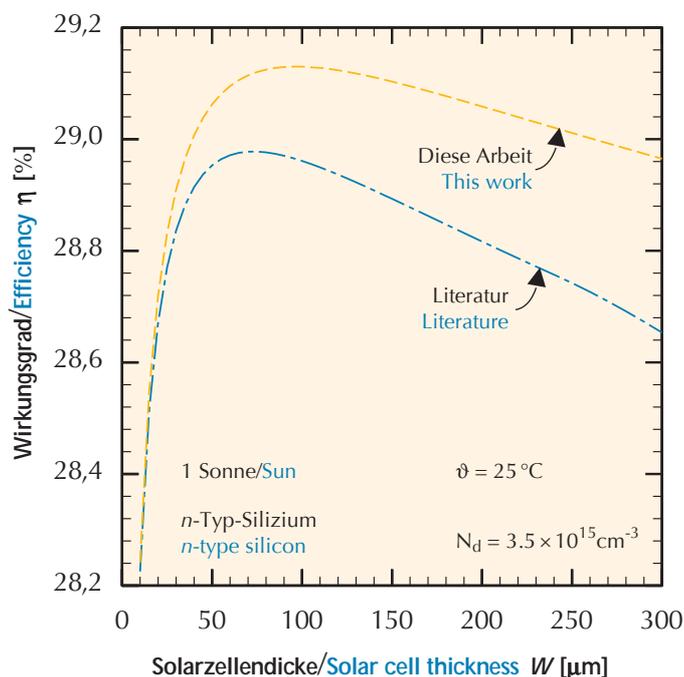
The intrinsic carrier lifetime in silicon limits the maximum achievable efficiency of silicon solar cells. Hence, the knowledge of the carrier lifetime in the silicon material used allows the calculation of the corresponding efficiency limit. At the ISFH we are working on measuring the maximum carrier lifetimes in high-purity, virtually defect-free *p*-type and *n*-type silicon materials. For both classes of materials, the best possible surface passivation is achieved using atomic-layer-deposited aluminum oxide (Al_2O_3). In the past, however, the maximum carrier lifetimes measured in *n*-type silicon were limited by an effect related to the high negative charge density in the Al_2O_3 . As a consequence, it was previously not possible to determine the true efficiency potential of *n*-type silicon. We have now been able to significantly reduce the impact of this detrimental effect by using large-area ($12.5 \times 12.5 \text{ cm}^2$), very thick ($600 \mu\text{m}$) and extremely homogeneously passivated *n*-type silicon wafers. This has enabled us for the first time to determine the full efficiency potential of *n*-type silicon material.



Abbildung/Figure 42: Effektive Lebensdauer τ_{eff} gemessen mittels PCD und PC-PLI als Funktion der Überschussladungsträgerkonzentration Δn eines $590 \mu\text{m}$ -dicken, $1,4 \Omega\text{cm}$ *n*-Typ-Silizium-Wafern passiviert mit 15 nm Al_2O_3 auf beiden Oberflächen. Ebenfalls dargestellt sind die bisherige intrinsische Ladungsträgerlebensdauerparametrisierung aus der Literatur (---) und unsere neue Parametrisierung (---).
Effective lifetime τ_{eff} measured using PCD and PC-PLI as a function of the excess charge carrier concentration Δn of a $590 \mu\text{m}$ -thick $1.4 \Omega\text{cm}$ *n*-type silicon wafer passivated with 15 nm Al_2O_3 on both surfaces. Also shown is the previous intrinsic carrier lifetime parametrization from literature (---) and our new parametrization (---).

PC-PLI^[11]-Messungen zeigen, dass die Passivierung außergewöhnlich homogen ist und nur sehr wenige Bereiche begrenzter Ausdehnung mit reduzierter Ladungsträgerlebensdauer beobachtet werden. Wir messen die höchste Lebensdauer an einem 1,4 Ωcm *n*-Typ-Silizium-Wafer mit einer maximalen Ladungsträgerlebensdauer von 24,1 ms bei einer Injektionsdichte von $\Delta n = 1,3 \times 10^{14} \text{ cm}^{-3}$, gemessen mittels PC-PLI, sowie einen Wert von 23,7 ms bei $\Delta n = 1,9 \times 10^{14} \text{ cm}^{-3}$, gemessen mittels PCD^[12], wie in Abbildung 42 zu sehen ist^[13]. Diese Ladungsträgerlebensdauer ist nach unserem Kenntnisstand die bisher höchste berichtete Ladungsträgerlebensdauer für kristallines *n*-Typ-Silizium mit einem spezifischen Widerstand im Bereich 1–2 Ωcm. Diese Ladungsträgerlebensdauer liegt weit über der üblicherweise verwendeten intrinsischen Grenze aus der Literatur^[14] von 17 ms (bei $\Delta n = 1 \times 10^{14} \text{ cm}^{-3}$). Daher ist eine Anpassung der Parametrisierung der intrinsischen Ladungsträgerlebensdauer für *n*-Typ-Silizium notwendig.

PC-PLI^[11] measurements show that the passivation is exceptionally homogeneous and only very few areas of limited expansion with reduced charge carrier lifetime can be observed. We measure the highest charge carrier lifetime on a 1.4 Ωcm *n*-type silicon wafer with a maximum charge carrier lifetime of 24.1 ms at an injection density of $\Delta n = 1.3 \times 10^{14} \text{ cm}^{-3}$, measured using PC-PLI, and a lifetime of 23.7 ms at $\Delta n = 1.9 \times 10^{14} \text{ cm}^{-3}$, measured using PCD^[12], as can be seen in Figure 42^[13]. This charge carrier lifetime is, to our knowledge, hitherto the highest reported charge carrier lifetime for crystalline *n*-type silicon with a resistivity in the range of 1-2 Ωcm. This charge carrier lifetime is well above the conventional intrinsic limit from literature^[14], of 17 ms (at $\Delta n = 1 \times 10^{14} \text{ cm}^{-3}$). Therefore, an adapted parametrization of the intrinsic charge carrier lifetime for *n*-type silicon is necessary.



Abbildung/Figure 43: Wirkungsgrad η als Funktion der Solarzellendicke W für *n*-Typ-Silizium-Solarzellen einer industrietypischen Dotierkonzentration von $N_D = 3,5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$. Der Wirkungsgrad wurde mit Hilfe der bisherigen intrinsischen Ladungsträgerlebensdauerparametrisierung aus der Literatur berechnet (blau) und unserer neuen Parametrisierung (gelb). Efficiency η as a function of the solar cell thickness W for *n*-type silicon solar cells on typical industrial doping concentration of $N_D = 3.5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$. The efficiency was calculated using the previous intrinsic charge carrier lifetime parametrization from literature (blue) and our new parametrization (yellow).

[11] Photoconductance-Calibrated Photoluminescence Lifetime Imaging

[12] Photoconductance Decay

[13] Veith-Wolf B., Schmidt J.: *Unexpectedly high minority-carrier lifetimes exceeding 20 ms measured on 1.4 Ωcm n-type silicon wafers*. Physica Status Solidi RRL, Vol. 11, pp. 1700235-1-3, (2017).

[14] Richter A., Glunz S.W., Werner F., Schmidt J., Cuevas A.: *Improved quantitative description of Auger recombination in crystalline silicon*. Physical Review B, Vol. 86, No. 16, pp. 165202-1-14, (2012).

[11] Photoconductance-Calibrated Photoluminescence Lifetime Imaging

[12] Photoconductance Decay

[13] Veith-Wolf B., Schmidt J.: *Unexpectedly high minority-carrier lifetimes exceeding 20 ms measured on 1.4 Ωcm n-type silicon wafers*. Physica Status Solidi RRL, Vol. 11, pp. 1700235-1-3, (2017).

[14] Richter A., Glunz S.W., Werner F., Schmidt J., Cuevas A.: *Improved quantitative description of Auger recombination in crystalline silicon*. Physical Review B, Vol. 86, No. 16, pp. 165202-1-14, (2012).

Wissenschaftliche Ergebnisse

Um weiterentwickelte Bauelementsimulationen zu ermöglichen und um den maximal erreichbaren Wirkungsgrad zu berechnen, haben wir eine neue Parametrisierung der gemessenen Ladungsträgerlebensdauer durchgeführt (τ_n in Sekunden und Konzentrationen in cm^{-3}):

$$\text{Gl. 1} \quad \tau_n = \frac{\Delta n}{\eta\rho(2,1 \times 10^{-27} n_0^{0,79} + 7,7 \times 10^{-28} \Delta n^{0,84} + B)}$$

Mit Hilfe dieser neuen Parametrisierung der maximal erreichbaren Ladungsträgerlebensdauer in n -Typ-Silizium können wir nun für dieses Material eine neue Wirkungsgradobergrenze berechnen. Abbildung 43 zeigt die Wirkungsgradobergrenze von n -Typ-Silizium-Solarzellen mit einer Dotierkonzentration von $N_D = 3,5 \times 10^{15} \text{cm}^{-3}$ in Abhängigkeit von der Dicke der Solarzellen. Bei der Verwendung unserer neuen Parametrisierung ergibt sich ein maximaler Wirkungsgrad von 29,13 %, während die bisherige Lebensdauerobergrenze aus der Literatur^[14] einen maximalen Wirkungsgrad von nur 28,98 % liefert. Der maximale Wirkungsgrad wurde daher bislang für Solarzellen auf n -Typ-Silizium-Wafern mit industrietypischen Dotierkonzentrationen um ~0,15 % unterschätzt.

In order to allow for advanced device simulations and to calculate the maximum achievable efficiency, we performed a new parametrization of the measured charge carrier lifetime (τ_n in seconds and concentrations in cm^{-3}):

$$\text{Eq. 1} \quad \tau_n = \frac{\Delta n}{\eta\rho(2.1 \times 10^{-27} n_0^{0.79} + 7.7 \times 10^{-28} \Delta n^{0.84} + B)}$$

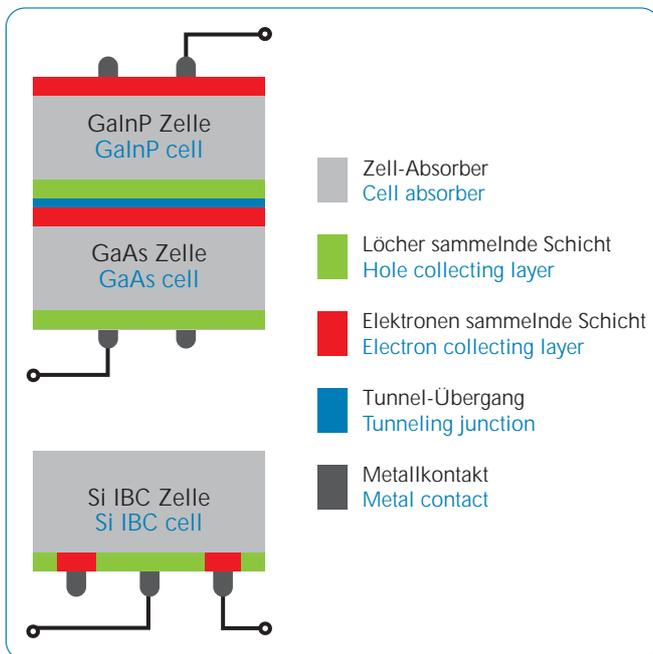
Using this new parametrization of the maximum achievable charge carrier lifetime in n -type silicon, we can now calculate a new upper efficiency limit for this material. Figure 43 shows the upper efficiency limit of n -type silicon solar cells with a doping concentration of $N_D = 3.5 \times 10^{15} \text{cm}^{-3}$ as a function of solar cell thickness. Using our new parametrization results in a maximum efficiency of 29.13 %, whereas the previous upper charge carrier lifetime limit from literature^[14] provides a maximum efficiency of only 28.98 %. Hence, the maximum efficiency for solar cells on n -type silicon wafers with industry-typical dopant concentrations has so far been underestimated by ~0.15 %.

**Tandemzelle aus Gallium-Indium-Phosphid/
Gallium-Arsenid-Solarzelle und Silizium-Solar-
zelle mit einer Effizienz von 35,4%**

Die jahrzehntelange kontinuierliche Weiterentwicklung von Silizium-Solarzellen hat zu immer höheren Zellwirkungsgraden geführt, die nicht mehr weit vom physikalischen Limit von 29,4% entfernt sind. Noch höhere Wirkungsgrade können mit Tandemzellen aus zwei oder mehr Solarzellen unterschiedlicher Materialien erreicht werden. Eine Kombination aus Silizium- und III-V-Halbleitersolarzellen eignet sich besonders gut für diese Anwendung. Die obere III-V-Halbleitersolarzelle (Topzelle) kann den hochenergetischen blauen Teil des Sonnenspektrums besonders effizient in Elektrizität umwandeln. Der rote Anteil des Sonnenlichts wird von der Topzelle hingegen nicht absorbiert und kann von einer dahinter platzierten Siliziumsolarzelle (Bottomzelle) verwertet werden, die in diesem Spektralbereich besonders effizient arbeitet. So können mit dem Tandem ein größerer Anteil des Sonnenlichts als mit einer Einzelzelle für die Stromerzeugung genutzt und zugleich Thermalisierungsverluste verringert werden. Das ISFH forscht gemeinsam mit dem National Renewable Energy Laboratory (NREL) in den USA an GaInP/GaAs/Si-Dreifachstapeln (Abbildung 44 & 45).

**Tandem device of gallium indium phosphide/
gallium arsenide solar cell and silicon solar
cell with an efficiency of 35.4%**

The decade-long continual further development of silicon solar cells has led to ever greater cell efficiencies, which are no longer very far from the physical limit of 29.4%. Even higher efficiencies can be achieved with tandem cells comprising two or more solar cells of different materials. A combination of silicon and III-V-semiconductor solar cells is particularly well suited to this purpose. The upper III-V-semiconductor solar cell (top cell) can convert the high-energy blue part of the solar spectrum into electricity particularly efficiently. The red part of sunlight is, however, not absorbed by the top cell and can be utilized by a silicon solar cell placed behind it (bottom cell), which works particularly efficiently in this spectral region. In this way, thermalization losses can be reduced with the tandem compared to a single cell and a greater proportion of sunlight can be utilized for electricity production. The ISFH together with the National Renewable Energy Laboratory (NREL) from the USA is investigating mechanically-stacked GaInP/GaAs/Si triple-junction cells (Figure 44 & 45).



Abbildung/Figure 44: Schematischer Querschnitt durch die GaInP/GaAs//Si-IBC⁺-Dreifachstapelzelle mit 35,4% Wirkungsgrad.

Diagrammatic section of the GaInP/GaAs//Si-IBC⁺ triple-junction cell with 35.4% efficiency.

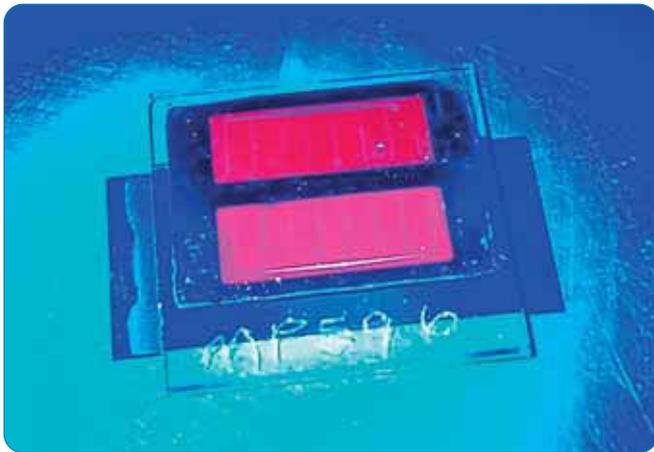
* IBC – Interdigitated Back Contact

Wir verwenden rückkontaktierte Solarzellen mit ineinandergreifenden POLY-Si-on-Oxide- (POLO) Kontaktfingern (POLO-IBC Zellen, Schema in Abbildung 44, unten). Wir verwenden sägerau und geätzte, 155 µm dicke 156 mm × 156 mm *n*-Typ-Czochralski-Siliziumwafer mit einem Basiswiderstand von 4 Ωcm. Nach dem Aufwachsen einer dünnen thermischen Siliziumdioxidschicht scheiden wir mit Niederdruck-Gasphasenabscheidung

We are using rear-contacted solar cells with interdigitated POLO-(polysilicon-on-oxide) contact fingers (POLO-interdigitated back-contact cells, diagram in Figure 44 below). We use saw-damage-etched, 155-µm-thick 156 × 156 mm *n*-type Czochralski silicon wafers with a base resistance of 4 Ωcm. After the growth of a thin thermal silicon dioxide layer we deposit undoped amorphous silicon (a-Si) using low-pressure chemical vapor

Wissenschaftliche Ergebnisse

(LPCVD, E2000-Tool von Centrotherm) beidseitig undotiertes amorphes Silizium (a-Si) ab. Die Vorderseite des Wafers erhält eine vollflächige Phosphorimplantation, die Rückseite eine maskierte Phosphorimplantation und eine flächige Borimplantation. Die maskierte Phosphorimplantation wird als Fingerstruktur ausgeführt und überkompensiert lokal das Bor, so dass ein ineinandergreifendes Fingermuster mit einer Einheitszelle von $952\ \mu\text{m}$ entsteht. Als Implantationsmaske verwenden wir eine sputterdeponierte dielektrische Schicht, die mit druckbarem Schmelzwachs (Pixdro LP50 von Meyer Burger) und anschließender nasschemischer Ätzung strukturiert wurde. Die aktive Zellfläche beträgt $7,6 \times 15\ \text{mm}$.



deposition (LPCVD, E2000-Tool from Centrotherm). The front side of the wafer receives a blanket phosphorus implantation, the rear side a masked phosphorus implantation and a blanket implantation of boron. The phosphorus implantation is applied as a finger pattern and locally overcompensates the boron so that an interdigitated finger pattern with a pitch of $952\ \mu\text{m}$ is created. A sputter-deposited dielectric layer structured with printable melting wax (Pixdro LP50 from Meyer Burger) and subsequent wet chemical etching are used as an implantation mask. The active cell area is $7.6 \times 15\ \text{mm}$.

Abbildung/Figure 45: GaInP/GaAs/Si-IBC⁺-Dreifachstapelzelle unter blauer Beleuchtung und Leerlauf-Bedingungen.

GaInP/GaAs/Si-IBC⁺ triple-layer cell under illumination with blue light and open-circuit voltage conditions.

* IBC – Interdigitated Back Contact

Nach dem Entfernen der Implantationsmaske tempern wir die POLO-Kontakte bei $1050\ ^\circ\text{C}$ im Rohrofen. Das Ausheizen führt zu einer Rekristallisation des Siliziums, einer Umverteilung und Aktivierung von Dotierstoffen sowie der Bildung von nanometergroßen Löchern innerhalb der Grenzflächen-SiO₂-Schicht, die für einen effizienten Ladungsträgertransport zwischen kristallinem Silizium (c-Si) und polykristallinem Silizium (poly-Si) sorgen. Im selben Prozess bildet sich auf der poly-Si-Schicht eine Siliziumoxidschicht. Diese Schicht können wir anschließend strukturieren und als Ätzbarriere verwenden, um die ineinandergreifenden Finger auf der Rückseite voneinander zu trennen.

After removing the implantation mask, we anneal the POLO contacts at $1050\ ^\circ\text{C}$ in the tube furnace. The annealing leads to a recrystallization of the silicon, a redistribution and activation of the dopants and the formation of nanometer-sized pinholes within the interfacial silicon dioxide layer which provides an efficient charge-carrier transport between the crystalline silicon (c-Si) and polycrystalline silicon (poly-Si). In the same process, a silicon dioxide layer forms on the polycrystalline silicon layer. This layer can then be patterned and used as an etching barrier to separate the interdigitated fingers on the rear side from one another.

Wir entfernen das SiO₂ auf der Rückseite durch HF-Ätzen und passivieren die Zellvorläufer mit einer SiN_x-Doppelschicht auf der Vorderseite. Diese Standard-Schichtfolge ist für den Lichteinfang einer Si-Zelle unter Standardtestbedingungen und nicht für die Tandem-Anwendung optimiert.

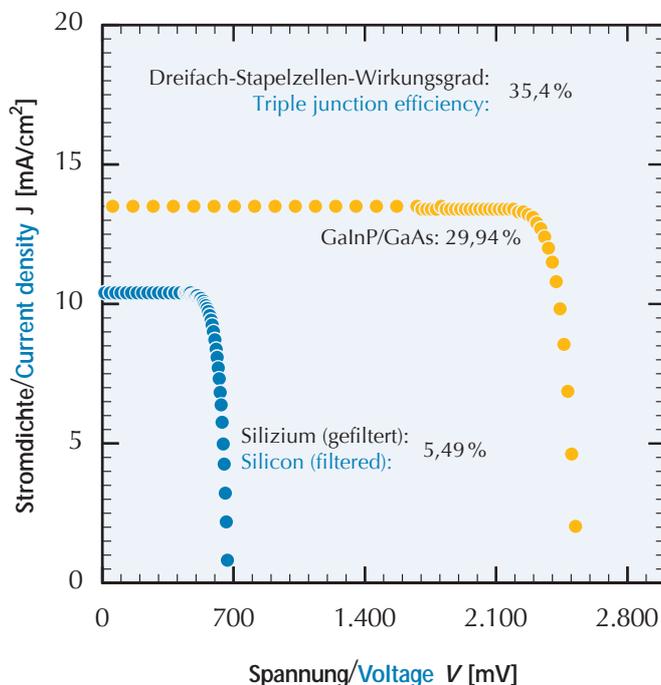
The silicon dioxide on the rear side is removed with hydrofluoric acid etching and the cell precursors are passivated with a SiN_x-double-layer on the front side. This standard layer sequence has been optimized for light collection for a silicon cell under standard testing conditions and is not optimized for the tandem approach.

Wir öffnen die vorher mit Al₂O₃/SiN_x passivierte Rückseite lokal mit einem Pikosekundenlaser, um die darunterliegende Fingerstruktur kontaktieren zu können. Die Kontaktöffnungen nehmen 4,5 % der gesamten Zellfläche ein. Wir bringen mit Vakuumverdampfung eine $10\ \mu\text{m}$ dicke Aluminiumschicht auf die geöffnete Rückseite auf und trennen die Kontakte unterschiedlicher Polarität anschließend mit einem nasschemischen Ätzverfahren.

The dielectric layers are removed locally with a picosecond laser in order to enable the finger structure beneath to be contacted. The contact openings take up 4.5% of the total cell area. A $10\ \mu\text{m}$ -thick aluminum layer is deposited on the opened rear side by means of vacuum evaporation and the contacts of different polarity are then separated with wet chemical etching.

Die Partner am NREL wachsen die GaInP/GaAs-Topzellen mit metallorganischer Gasphasenepitaxie (MOVPE) auf einem GaAs-Substrat. Das Substrat kann anschließend durch Ätzen entfernt werden. Die Topzelle wird beidseitig mit galvanisch abgeschiedenen Metallfingern kontaktiert und hat auf der Vorderseite eine MgF-ZnS-Antireflexdoppelschicht und auf der Rückseite eine ZnS-Schicht zur Entspiegelung (vereinfachtes Schema in Abbildung 44 oben). Die Verbindung der beiden unabhängig voneinander hergestellten Subzellen zum Tandem erfolgt durch ein isolierendes Epoxidharz. Abbildung 45 zeigt ein Foto eines fertig prozessierten Tandems.

Die Vermessung der Solarzellen fand am NREL-Messlabor statt. Abbildung 46 zeigt die gemessenen I/V -Kennlinien der Si-Bottomzelle und der Topzelle. Nach der Zusammenführung im Tandem hat die GaInP/GaAs-Topzelle einen Wirkungsgrad von $29,94 \pm 0,42\%$ ($V_{oc}=2,535\text{ mV}$, $J_{sc}=13,43\text{ mA/cm}^2$, $FF=87,9\%$). Die Si-Bottomzelle fügt weitere $5,49 \pm 0,08\%$ hinzu ($V_{oc}=670\text{ mV}$, $J_{sc}=10,4\text{ mA/cm}^2$, $FF=78,8\%$). Zu beachten ist hier, dass die Si-Zelle nur noch das Licht „sieht“, das von der GaInP/GaAs-Topzelle nicht absorbiert werden kann, d.h. nur Licht der Wellenlänge $\lambda \geq 871\text{ nm}$. Nur etwa ein Drittel der solaren Strahlungsenergie erreicht die Erde in diesem Wellenlängenbereich.



Our NREL partners grow the gallium indium phosphide/gallium arsenide top cells on a gallium arsenide substrate with metal organic vapor phase epitaxy (MOVPE). The substrate can then be removed by etching. The top cell is contacted on both sides with galvanically deposited metal fingers and has a magnesium fluoride/zinc sulfide anti-reflective double layer on the front side and an anti-reflective zinc sulfide layer on the rear side (simplified diagram in Figure 44 above). The stacking of the two separately-produced sub-cells in the tandem occurs through an isolating epoxy resin. Figure 45 shows a photograph of a final-processed tandem.

The measurement of the solar cells took place at the NREL certification laboratory. Figure 46 shows the measured I/V -characteristics of the silicon bottom cell and the top cell. After their combination in the tandem, the GaInP/GaAs top cell has an efficiency of $29.94 \pm 0.42\%$ ($V_{oc}=2,535\text{ mV}$, $J_{sc}=13.43\text{ mA/cm}^2$, $FF=87.9\%$). The silicon bottom cell adds a further $5.49 \pm 0.08\%$ ($V_{oc}=670\text{ mV}$, $J_{sc}=10.4\text{ mA/cm}^2$, $FF=78.8\%$). Note that the silicon cell receives only the portion of the light, which is not absorbed by the GaInP/GaAs top cell, that is to say only light of the wavelength $\lambda \geq 871\text{ nm}$. Only about a third of solar radiation energy reaches the Earth in this wavelength range.

Abbildung/Figure 46: Zertifizierte Strom-Spannungs-Kennlinie des GaInP/GaAs-Tandems bei Beleuchtung mit einer Sonne und der Silizium-Bottomzelle unter dem durch die GaInP/GaAs-Tandemsolarzelle beim Maximum Power Point (MPP) gefilterten Sonnenspektrum.

Certified current-voltage characteristics of the GaInP/GaAs tandem with one-sun illumination and the silicon bottom cell under the solar spectrum filtered through the GaInP/GaAs tandem solar cell at maximum power point (MPP).

Der Gesamtwirkungsgrad von $35,43 \pm 0,5\%$ ist der zweithöchste bisher gemessene für eine Mehrfachsolarzelle mit Si-Bottomzelle. Mit einer auf Tandemanwendungen optimierten Antireflexschicht auf der Si-Bottomzelle wäre auch der aktuelle Weltrekord von $35,9\%$ in Reichweite. Die Effizienz der POLO-Solarzelle von 25% wird durch die zusätzliche Topzelle noch einmal um 40% gesteigert.

Vor allem aber zeigt das Ergebnis, dass sich Silizium als Material für eine Bottomzelle hervorragend eignet. Der Gesamtwirkungsgrad unserer Si/III-V Tandem-Solarzelle von $35,43 \pm 0,5\%$ ist lediglich $2,5$ Prozentpunkte geringer als der von der Firma Sharp aufgestellte, aktuelle Weltrekord für 3-fach-Stapelsolarzellen, wobei letztere komplett aus III-V-Materialien bestehen. Silizium-basierte Bottomzellen haben im Vergleich dazu einen potentiellen Kostenvorteil, weil Silizium mit ca. 90% Marktanteil das Rückgrat der inzwischen sehr kostengünstig gewordenen Photovoltaik darstellt.

Auch für die Topzelle sind signifikante Kostensenkungen möglich. So arbeitet z. B. das NREL an günstigen Herstellungsprozessen für III-V-Halbleiter. Alternativ werden derzeit intensiv nicht-epitaktisch gewachsene Halbleiter mit passender Bandlücke untersucht, z. B. aus der Materialklasse der Perowskite. In der Zusammenarbeit zwischen dem NREL und dem ISFH wurde außerdem eine sogenannte 3-Terminal Bauelementstruktur entwickelt, die die Notwendigkeit der Stromanpassung zwischen Top- und Bottomzelle umgeht und so eine größere Flexibilität hinsichtlich der für die Topzelle verwendbaren Materialien bietet.

The total efficiency level of $35.43 \pm 0.5\%$ is the second highest measured hitherto for a multiple solar cell with a silicon bottom cell. With an anti-reflective layer on the silicon bottom cell optimized to tandem cell use, the current world record of 35.9% would also be in reach. The efficiency of the POLO-solar cell of 25% is increased by adding the top cell by 40% .

Above all, however, the result shows that silicon is exceedingly suitable as a material for a bottom cell. The total efficiency level of our silicon/III-V tandem solar cell of $35.43 \pm 0.5\%$ is only 2.5% lower than the current world record for triple-junction solar cells set by the Sharp company, the latter consisting entirely of III-V materials. In comparison, silicon-based bottom cells have a potential cost advantage because silicon with a market share of ca. 90% represents the lion's share of photovoltaics, which have now become very inexpensive.

Significant cost reductions are also possible for the top cell. For example, the NREL is working on inexpensive production processes for III-V semiconductors. As an alternative, non-epitaxially-grown semiconductors with an appropriate band gap are currently being intensively tested, for example made from the perovskite class of materials. In addition, a so-called three-terminal architecture has been developed in the collaboration between the NREL and ISFH which avoids the need for current-matching between the top and bottom cell and so offers a greater flexibility with regard to the materials used for the top cell.

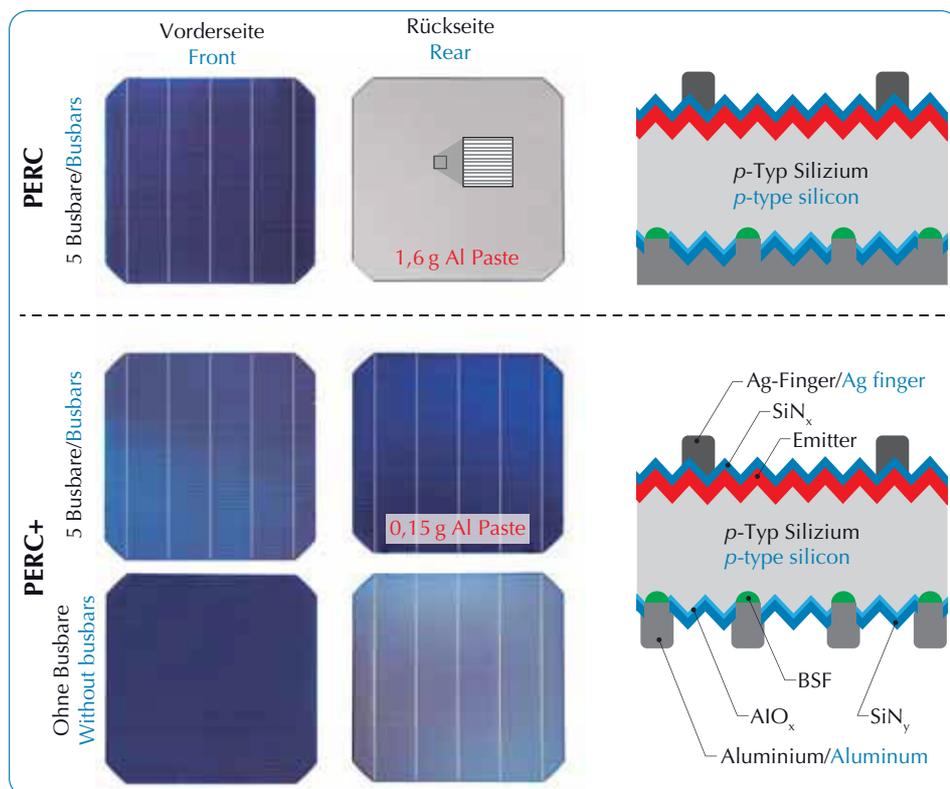
Michael Rienäcker, Raphael Niepelt

Industrielle bifaziale PERC+-Solarzellen mit Wirkungsgraden bis 22,1%

Seit seiner ersten Veröffentlichung durch ISFH und SolarWorld im Jahr 2015^[15] wurde das bifaziale PERC+-Solarzellenkonzept sehr schnell von mehreren Solarzellenherstellern wie SolarWorld, Neo Solar Power, TrinaSolar und LONGi Solar übernommen. Die schnelle Überführung in die industrielle Produktion wird durch die sehr ähnliche Prozesstechnologie der bifazialen PERC+-Zellen und der industrietypischen monofazialen PERC-Zellen ermöglicht, die derzeit einen Marktanteil von ca. 20% einnehmen. Tabelle 2^[16] fasst die veröffentlichten PERC+-Wirkungsgrade zusammen bei Beleuchtung von der Vorder- oder Rückseite. Während das ISFH im Jahr 2015 den Maßstab für hohe PERC+-Wirkungsgrade auf der Vorder- und Rückseite setzte, lagen die zuerst veröffentlichten PERC+-Wirkungsgrade der Solarzellenhersteller bei 20,3% im Jahr 2015, die sich dann kontinuierlich auf 22,0% im Jahr 2017 verbesserten mit Rückseitenwirkungsgraden bis 17,5% wie von LONGi Solar berichtet. Erste kleinformatige Outdoor-Installationen belegen eine Steigerung der Energieausbeute von bifazialen PERC+-Modulen

Industrial bifacial PERC+ solar cells with conversion efficiencies of up to 22.1%

Since its first publication by the ISFH and SolarWorld in 2015^[15], the bifacial PERC+ solar cell concept has been very rapidly adopted by several solar cell manufacturers worldwide such as SolarWorld, Neo Solar Power, TrinaSolar and LONGi Solar. The swift transfer to industrial production has been made possible by the very similar process technology of bifacial PERC+ cells and conventional monofacial PERC cells, which currently account for an approximately 20% market share. Table 2^[16] summarizes published PERC+ conversion efficiencies when illuminated from the front or rear side. Whereas the ISFH set the benchmark for high PERC+ front- and rear-side efficiencies in 2015, the solar cell manufactures, first published PERC+ conversion efficiencies were 20.3% in 2015 which then continuously improved to 22.0% in 2017 with rear side efficiencies of up to 17.5% as reported by LONGi Solar. First small scale outdoor installations verify an increase of the energy yield of bifacial PERC+ modules compared to monofacial PERC modules between 13% (white roof top) and 22%



Abbildung/Figure 47: Fotos der Vorder- und Rückseite sowie schematische Zeichnungen von industriellen PERC- und PERC+-Solarzellen. PERC+-Zellen ermöglichen bifaziale Anwendungen und reduzieren den Aluminium-Pastenverbrauch bei gleicher Prozesssequenz wie industrielle PERC-Solarzellen. Unter Verwendung eines busbar-losen Front-Silber-Grids demonstrieren wir eine PERC+-Zelle mit 22,1% Vorderseitenwirkungsgrad. Photographs of the front and rear side as well as schematic cross-section drawings of industrial PERC and PERC+ solar cells. PERC+ cells enable bifacial applications and reduce aluminum paste consumption with the same processing sequence as industrial PERC solar cells. Using a busbar-less front silver grid we demonstrate a PERC+ cell with 22.1% front-side efficiency.

[15] Dullweber T., Kranz C., Peibst R., Baumann U., Hannebauer H., Fülle A., Steckemetz S., Weber T., Kutzer M., Müller M., Fischer G., Palinginis P., Neuhaus H.: *The PERC+ cell: a 21%-efficient industrial bifacial PERC solar cell*, Proc. 31st European Photovoltaic Solar Energy Conference, (2015), p. 341.

[16] Dullweber T., Schulte-Huxel H., Blankemeyer S., Hannebauer H., Schimanke S., Baumann U., Witteck R., Peibst R., Königes M., Brendel R., Yao Y.: *Present status and future perspectives of bifacial PERC+ solar cells and modules*, Japan. Journ. Appl. Phys. (2017), eingereicht

[15] Dullweber T., Kranz C., Peibst R., Baumann U., Hannebauer H., Fülle A., Steckemetz S., Weber T., Kutzer M., Müller M., Fischer G., Palinginis P., Neuhaus H.: *The PERC+ cell: a 21%-efficient industrial bifacial PERC solar cell*, Proc. 31st European Photovoltaic Solar Energy Conference, (2015), p. 341.

[16] Dullweber T., Schulte-Huxel H., Blankemeyer S., Hannebauer H., Schimanke S., Baumann U., Witteck R., Peibst R., Königes M., Brendel R., Yao Y.: *Present status and future perspectives of bifacial PERC+ solar cells and modules*, Japan. Journ. Appl. Phys. (2017), submitted

Wissenschaftliche Ergebnisse

im Vergleich zu monofazialen PERC-Modulen zwischen 13 % (weißes Dach) und 22 % (Ein-Achsen-Tracker)^[16]. In Taiwan und China befinden sich derzeit drei große Außenanlagen mit 2 MW_p und zwei mal 20 MW_p im Bau.

Am ISFH haben wir kürzlich eine Busbar-lose PERC+-Solarzelle entwickelt, bei der im Siebdruckverfahren nur die Silber-Finger auf die Vorderseite gedruckt werden ohne die Silber-Busbars. Wie in Abbildung 47 zu sehen ist, verwendet das Aluminium-Rückseitengrid ein 5-Busbar-Layout, da das verwendete Aluminium-Finger-Sieb noch mit 5-Busbar-Konfiguration entworfen wurde. Aber wir erwarten, dass wir den gleichen Wirkungsgrad mit einem Busbar-losen Al-Fingergitter erreichen werden. Die I/V-Parameter der Busbar-losen PERC+-Solarzelle wurden am Fraunhofer ISE CaLab unabhängig gemessen. Wie in der letzten Zeile der Tabelle 2 angegeben, weist die Busbar-lose PERC+-Zelle einen unabhängig bestätigten Wirkungsgrad von 22,1 %^[16] auf, wenn sie von vorne beleuchtet wird. Die weiteren Parameter der Solarzelle sind Leerlaufspannung $V_{oc}=669\text{ mV}$, Kurzschlussstromdichte $J_{sc}=40,4\text{ mA/cm}^2$ und Füllfaktor $FF=81,5\%$. Die V_{oc} - und FF -Werte entsprechen sehr gut der 5-Busbar-Referenz PERC+-Solarzelle. Der hohe J_{sc} -Wert der Busbar-losen PERC+-Zelle erklärt sich durch die fehlende Busbar-Abschattung, die den J_{sc} um $0,6\text{ mA/cm}^2$ gegenüber der 5-Busbar-PERC+-Zelle mit 1,6 % Busbarflächenanteil erhöht. Die Busbar-losen PERC+-Solarzellen können mit der SmartWire-Connection-Technologie^[17] zu Modulen zusammengeschaltet werden, wodurch sich der Aluminium-Finger-Linienwiderstand und der Silber-Pastenverbrauch^[16] im Vergleich zu herkömmlichen PERC+-Modulen mit vier oder fünf Busbars signifikant verringern.

(one-axis-tracker)^[16]. Three large-scale outdoor installations with 2 MW_p and two with 20 MW_p are currently under construction in Taiwan and China.

At the ISFH we have recently developed a busbar-less PERC+ solar cell by screen printing only the silver fingers on the front side without printing the silver busbars. As shown in Figure 47, the aluminum rear grid still uses a 5-busbar layout as the aluminum finger screen used was still designed with a 5-busbar configuration. But we expect to obtain the same efficiency with a busbar-less aluminum finger grid. The IV parameters of the busbar-less PERC+ solar cell were independently measured at the Fraunhofer ISE CaLab. As stated in the last line of Table 2, the busbar-less PERC+ cell exhibits an independently confirmed conversion efficiency of 22.1 %^[16] when illuminated from the front side. The other solar cell parameters are open-circuit voltage $V_{oc}=669\text{ mV}$, short-circuit current density $J_{sc}=40.4\text{ mA/cm}^2$, and fill factor $FF=81.5\%$. The V_{oc} and FF values correspond very well to the 5-busbar reference PERC+ solar cell. The high J_{sc} value of the busbar-less PERC+ cell is explained by the missing busbar shadowing which increases the J_{sc} by 0.6 mA/cm^2 compared to the 5-busbar PERC+ cell with 1.6 % busbar area coverage. The busbar-less PERC+ solar cells can be interconnected to modules with SmartWire connection technology^[17] thereby significantly reducing the silver-finger grid line resistance and the silver paste consumption^[16] compared to conventional PERC+ modules with four or five busbars.

Jahr Year	Wirkungsgrad Vorder- /Rückseite [%] Efficiency front/rear [%]	Institut/Firma Source
2015	21,5 / 16,7	ISFH
2015	20,3 / n.p.	Trina Solar
2016	20,7 / 13,9	Big Sun Inc.
2017	21,5 / 16,1	JinkoSolar
2017	21,4 / n.p.	Neo Solar Power
2017	21,6 [*] / n.p.	ISFH
2017	22,0 / 17,5	LONGi Solar
2017	22,1 [*] / n.p.	ISFH

n.p. – nicht publiziert/not published

* unabhängig bestätigt/independently confirmed

Tabelle/Table 2: Veröffentlichte Wirkungsgrade^[16] industrieller PERC+-Solarzellen bei Beleuchtung von der Vorder- oder Rückseite. Mehrere führende Solarzellenhersteller wie SolarWorld und Trina Solar produzieren bifaziale PERC+-Zellen und Module, haben aber keine oder keine neuen PERC+-Zellwirkungsgrade veröffentlicht.

Published efficiencies^[16] of industrial PERC+ solar cells when illuminated from the front or from the rear side. Several leading solar cell manufacturers such as SolarWorld and Trina Solar produce bifacial PERC+ cells and modules but have not published any or any recent PERC+ cell efficiencies.

[17] Faes A., Despeisse M., Levrat J., Champlaud J., Badel N., Kiaee M., Söderström T., Yao Y., Grischke R., Gragert M., Uffheil J., Papet P., Strahm B., Cattaneo B., Cattin J., Baumgartner Y., Hessler-Wyser A., Ballif C.; Proc. 29th European Photovoltaic Solar Energy Conference, 2014, p. 2553.

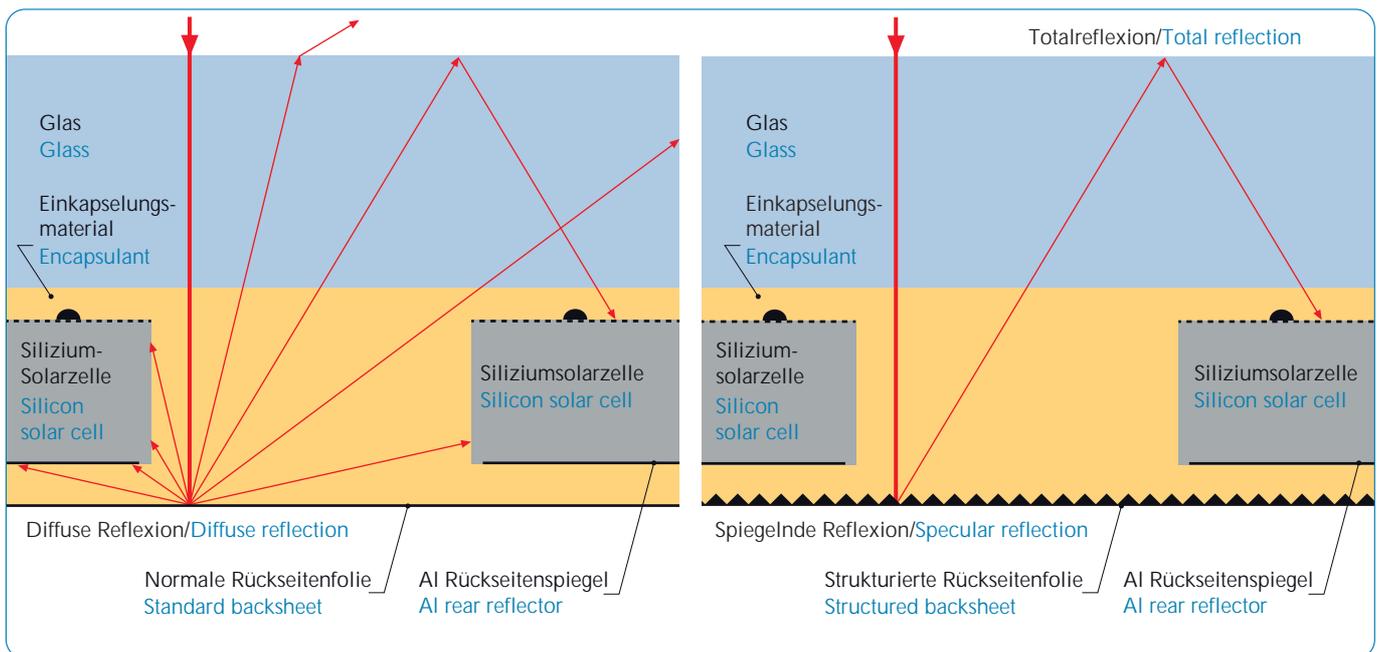
[17] Faes A., Despeisse M., Levrat J., Champlaud J., Badel N., Kiaee M., Söderström T., Yao Y., Grischke R., Gragert M., Uffheil J., Papet P., Strahm B., Cattaneo B., Cattin J., Baumgartner Y., Hessler-Wyser A., Ballif C.; Proc. 29th European Photovoltaic Solar Energy Conference, 2014, p. 2553.

Einfluss der Ausrichtung lichtlenkender Strukturen auf den Ertrag von Solarmodulen

Solarmodule bestehen üblicherweise aus 60 und mehr Solarzellen. Um Beschädigungen an den Rändern der Solarzellen zu vermeiden, werden sie üblicherweise mit einem Abstand von 2-6 mm im Modul angeordnet. Im Zellzwischenraum trifft das einfallende Licht auf die Rückseitenfolie des Moduls, die in der Regel weiß ist, um möglichst viel Licht auf die Solarzellen zu lenken, wobei Reflexion an der Glas-Luft-Grenzschicht ausgenutzt wird (siehe Abbildung 48 links). Damit auch Licht, das senkrecht auf das Modul fällt auf die Solarzellen reflektiert wird, wird üblicherweise eine diffus streuende Rückseitenfolie verwendet. Durch die streuende Reflexion werden ca. 50% des Lichtes, das auf die Rückseitenfolie trifft, tatsächlich auf die Solarzellen gelenkt. Die anderen 50% des Lichts gehen verloren, hauptsächlich durch Austritt aus dem Modul an der Vorderseite.

Impact of the alignment of light-guiding structures on the yield of solar modules

Solar modules usually consist of 60 or more solar cells. In order to avoid damage to the edges of the solar cells, they are usually placed 2-6 mm apart of each other in the module. The incident light in the intercellular space hits the back sheet of the module, which is usually white, in order to direct as much light as possible onto the solar cells, utilizing reflection at the glass-air interface (see Figure 48 left). A diffuse scattering back sheet is usually used to ensure that perpendicular incidence light is reflected onto the solar cells. In this way, about 50% of the light that hits the back sheet is actually directed onto the solar cells. The other 50% is lost, mainly by leaving the the of the module front surface.



Abbildung/Figure 48: Verschiedene mögliche Lichtstrahlenwege bei diffuser Reflexion (links) an einer Standard-Rückseitenfolie, die diffus reflektiert. Lichtlenkende Strukturen (rechts) reflektieren einfallendes Licht spiegelnd unter einem bestimmten Winkel an die Glas-Luft-Grenzschicht, sodass dort das Licht mittels Totalreflexion auf die Solarzellen reflektiert wird.

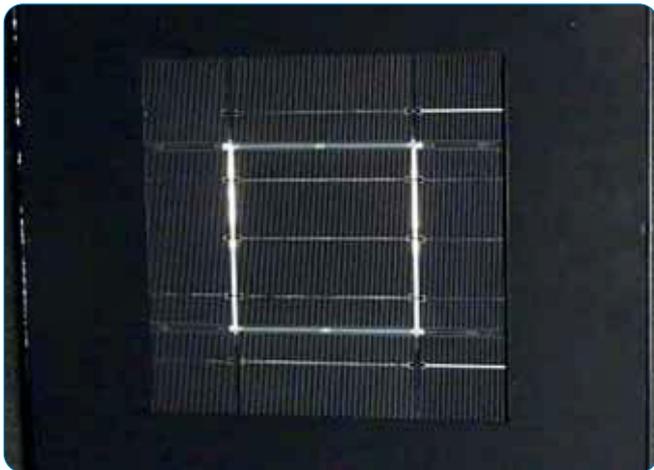
Various possible light beam paths with diffuse reflection (left) on a standard diffusely reflecting back sheet. Light-guiding structures (right) reflect incident light at a certain angle onto the glass-air interface so that the light is reflected onto the solar cells by means of total reflection.

Um diese Verluste zu reduzieren, werden in Hochleistungsmodulen lichtlenkende Strukturen im Zellzwischenraum getestet. Diese Strukturen reflektieren das einfallende Licht spiegelnd unter einem bestimmten Winkel an die Glas-Luft-Grenzschicht reflektieren, sodass dort das Licht mittels Totalreflexion auf die

In order to reduce these losses in high-performance modules, light-guiding structures in the intercellular space are being tested. These structures reflect the incident light at a certain angle onto the glass-air interface so that the light is reflected onto the solar cells by means of total reflection (see Figure 48 right).

Wissenschaftliche Ergebnisse

Solarzellen reflektiert wird (siehe Abbildung 48 rechts). Untersuchungen am ISFH mit experimentellen Testmodulen (siehe Abbildung 49) und optischen Strahlenverfolgungssimulationen mit der Software DAIDALOS haben ergeben, dass diese lichtlenkenden Strukturen das in die Zellzwischenräume einfallende Licht so auf die Solarzellen lenken, dass 80-90% dieses Lichtes in den Solarzellen absorbiert wird und damit zum generierten elektrischen Strom beiträgt.



Investigations at the ISFH with experimental test modules (see Figure 49) and optical ray-tracing simulations using the DAIDALOS software have shown that these light-guiding structures direct the incident light onto the solar cells in such a way that 80-90% of this light is absorbed in the solar cells and thus contributes to the generated electrical current.

Abbildung/Figure 49: Testmodul mit lichtlenkenden Strukturen um die mittlere Solarzelle.

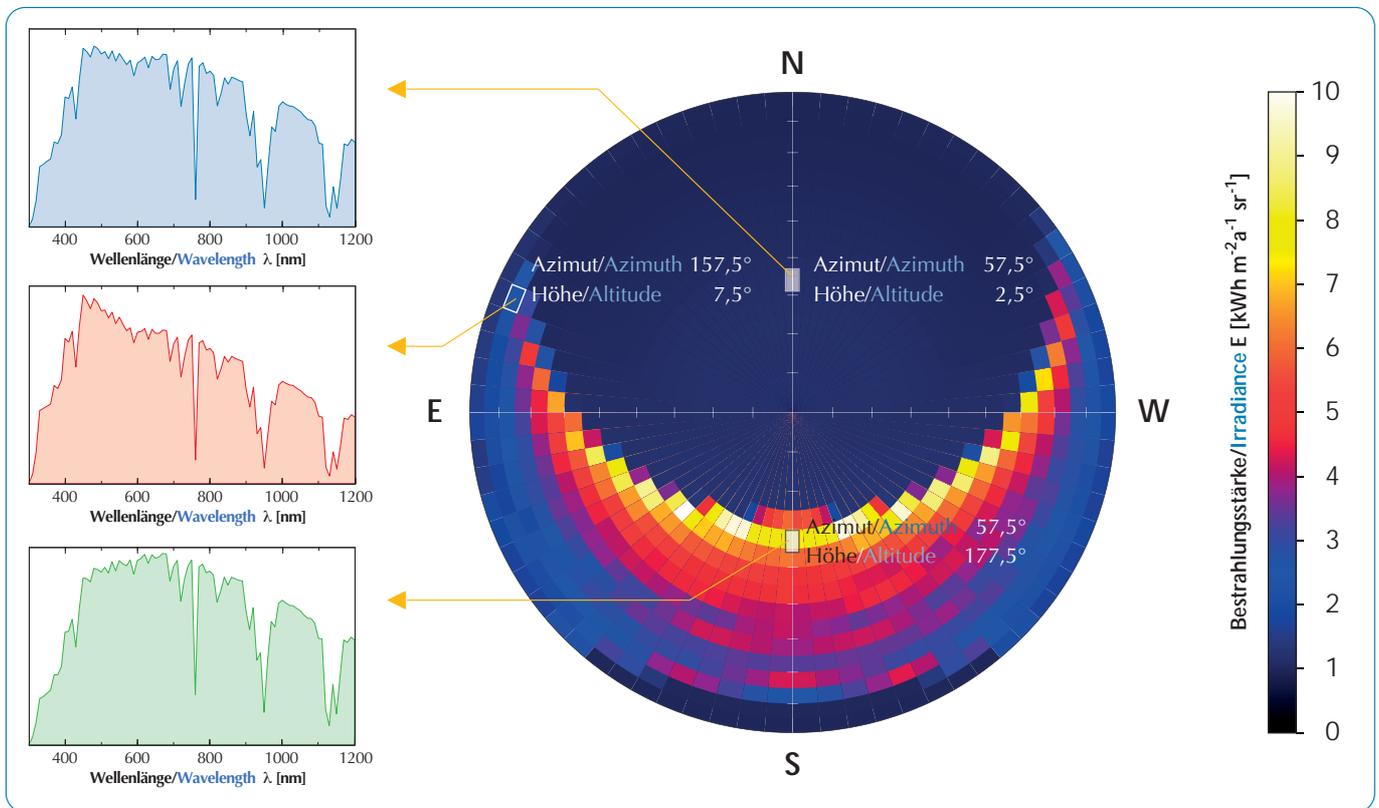
Test module with light-guiding structures around the middle solar cell.

Eine Möglichkeit zur Integration lichtlenkender Strukturen in ein Solarmodul ist die Verwendung einer Rückseiten-Metallfolie mit Rillen mit dreieckigem Querschnitt. Für optimale Ergebnisse bei senkrechtem Lichteinfall werden die Rillen parallel zu den Kanten der Solarzellen ausgerichtet („Zellkanten-Ausrichtung“, siehe Abbildung 51 rechts). Dies führt bei Standardtestbedingungen (senkrechter Lichteinfall, Norm-Spektrum AM1.5G) für ein Modul mit einem Solarzellenabstand von 4mm zu einer Steigerung des Modulstroms um 2,3% gegenüber einem Modul mit diffus reflektierender weißer Rückseitenfolie (Referenz, siehe Abbildung 52 links). Technisch einfacher herzustellen sind Rückseitenfolien, bei denen alle Rillen parallel zueinander verlaufen („Parallel-Ausrichtung“). Werden solche Folien ins Solarmodul integriert, laufen die Rillen jeweils parallel zu zwei Zellkanten und rechtwinklig zu den anderen beiden. Bei senkrechtem Lichteinfall wird dadurch in jeweils zwei Zellzwischenräumen das Licht auf die Solarzellen gelenkt, wodurch in diesen zwei Zellzwischenräumen wie oben beschrieben eine Ausbeute von 80-90% erreicht wird. In den anderen beiden Zellzwischenräumen wird das Licht von Rille zu Rille reflektiert und trifft damit nie auf eine Solarzelle. Mit solchen lichtlenkenden Strukturen wird gegenüber dem Referenzmodul mit diffus reflektierender Rückseitenfolie unter senkrechtem Lichteinfall nur eine um 0,1% höhere Ausbeute erzielt.

Im Feld werden Solarmodule nicht von einer senkrecht zur Moduloberfläche ausgerichteten Lichtquelle beleuchtet, sondern von der Sonne, deren relative Position sich im Tages- und Jahresverlauf ändert. Vom Solarmodul aus gesehen bewegt sich die

One possibility for integrating light-guiding structures into a solar module is the use on the rear side of a metal foil with grooves with a triangular cross-section. For optimum results with perpendicular incident of light, the grooves are aligned parallel to the edges of the solar cells (“cell-edge alignment”, see Figure 51 right). For a module with a solar cell spacing of 4mm under standard testing conditions (perpendicular light incidence, standard spectrum AM1.5G), this leads to an increase in module current of 2.3% compared to a diffuse reflecting white back sheet (reference, see Figure 52 left). From a technical point of view, it is easier to manufacture back sheet foils with all the grooves aligned parallel to each other (“parallel alignment”). If such foils are integrated into the solar module, the grooves are aligned parallel to two cell edges and perpendicular to the other two. With perpendicular light incidence, in two intercellular gaps the light is directed onto the solar cells with a yield of 80-90% as described above. In the other two intercellular gaps, the light is reflected from groove to groove and cannot be used by the solar cells. Compared to the reference module with a diffuse reflecting backsheets, the yield with perpendicular light is increased by only 0.1%.

In the field, solar modules are typically not illuminated by a light source perpendicular to the surface of the module, but by the sun, whose relative position changes over the course of the day and year. Seen from the solar module, the sun moves daily from east to west across the module, which is usually tilted by 35° to the south. This means that it is rarely exactly perpendicular to the module surface. The experimental analysis of the



Abbildung/Figure 50: Strahlungsverteilung einer Lichtquelle, welche die Einstrahlung eines durchschnittlichen Jahres basierend auf am ISFH gemessenen Wetterdaten simuliert.

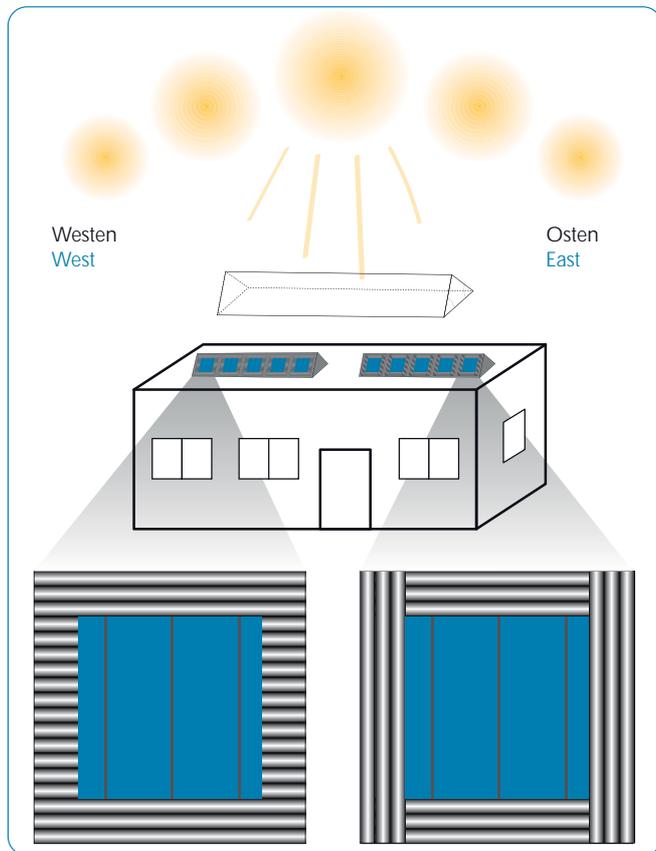
Irradiation distribution of a light source, which simulates the irradiation of an average year based on weather data measured at the ISFH.

Sonne täglich von Osten nach Westen über das Modul, das üblicherweise um 35° nach Süden gekippt ist. Damit steht sie nur sehr selten genau rechtwinklig zur Moduloberfläche. Die Analyse des Einflusses lichtlenkender Strukturen für diesen relevanten Betriebsfall ist experimentell sehr aufwändig. Daher wurde am ISFH aus gemessenen Einstrahlungsdaten, die einen Zeitraum von 14 Jahren umfassen, eine Lichtquelle für optische Strahlverfolgungssimulationen entwickelt, welche die mittlere Jahreseinstrahlung widerspiegelt. Abbildung 50 zeigt die resultierende Strahlungsverteilung. Neben der diffusen Beleuchtung aus allen Richtungen erkennt man die direkte Einstrahlung entlang der Sonnenbahn von Osten nach Westen.

impact of light-directing structures in relevant operation is very expensive. For this reason, a light source for optical ray-tracing simulations was developed at the ISFH, which reproduce the mean measured annual irradiance. For a 14-year period. Figure 50 shows the resulting radiation distribution. In addition to diffuse lighting from all directions, direct irradiation along the sun's orbit from east to west is visible.

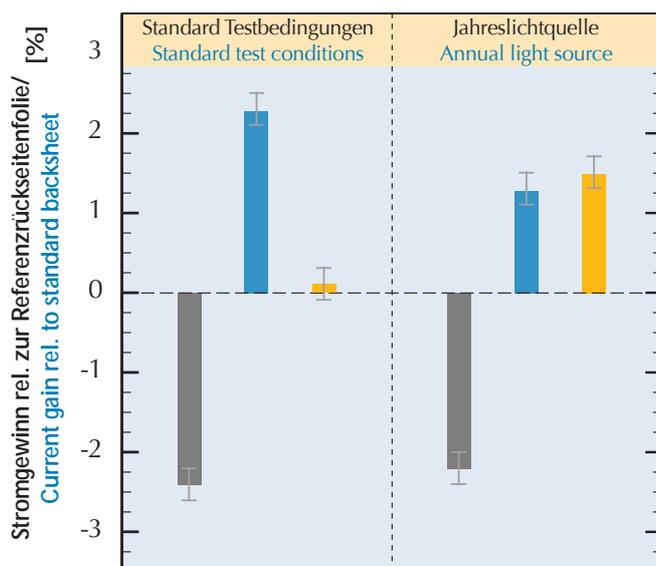
Mit dieser Lichtquelle am ISFH durchgeführte optische Simulationsrechnungen zeigen, dass lichtlenkende Strukturen in Parallel-Ausrichtung besonders viel Licht auf die Solarzellen lenken, wenn die Rillen in Ost-West-Richtung ausgerichtet sind, d. h. parallel zum Sonnenverlauf. Im Jahresmittel ist der Ertrag dann um 1,4% höher als der des Referenzmoduls mit weißer Rückseitenfolie. Damit sind lichtlenkende Strukturen mit Ost-West-Ausrichtung sogar 0,1% besser als mit Zellkanten-Ausrichtung und zudem einfacher herstellbar.

Optical simulations carried out at the ISFH with this light source show that light-directing structures in parallel orientation direct a particularly large amount of light onto the solar cells when the grooves are aligned in an east-west direction, i. e., parallel to the course of the sun. The annual average yield is then 1.4% higher than that of the reference module with the white back sheet. This means that light-guiding structures with an east-west orientation are even 0.1% better than those with cell-edge alignment and are also easier to produce.



Abbildung/Figure 51: Im Tagesverlauf zieht die Sonne von Osten nach Westen über die Module. In den Photovoltaikmodulen können die lichtlenkenden Strukturen parallel zueinander ausgerichtet sein („Parallelausrichtung“, links) oder parallel zu den Solarzellenkanten („Kantenausrichtung“, rechts).

During the course of the day, the sun traverses the modules from east to west. In the photovoltaic modules, the light-directing structures can be aligned parallel to each other (“Parallel alignment”, left) or parallel to the solar cell edges (“edge alignment”, right).



- Kantenausrichtung
Edge alignment
- Schwarze Rückseitenfolie
Black backsheet
- Parallelausrichtung in Ost-West-Richtung
Parallel alignment in east west direction

Abbildung/Figure 52: Stromgewinn eines Solarmoduls mit lichtlenkenden Strukturen relativ zum Solarmodul mit weißer Rückseitenfolie. Unter Standardtestbedingungen (links) können lichtlenkende Strukturen in Kantenausrichtung den Strom um 2,3% erhöhen. Unter der Jahreslichtquelle (rechts) können lichtlenkende Strukturen in Parallel-Ausrichtung besonders viel Licht auf die Solarzellen lenken, wenn die Rillen in Ost-West-Richtung ausgerichtet sind, d.h. parallel zum Sonnenverlauf.

Current generation gain of a solar module with light-guiding structures relative to the solar module with a white back sheet. Under standard testing conditions (left) light-guiding structures in edge alignment can increase current generation by 2.3%. Under the annual light source (right) light-guiding structures in parallel alignment can direct a particularly large amount of light onto the solar cells if the grooves are aligned in an east-west direction, i.e. parallel to the course of the sun.

Malte R. Vogt, Carsten Schinke

Abteilung Solare Systeme

Geologische Langzeitspeicherung von Solarwärme in Aquiferen

Der Aufbau einer emissionsarmen Energiewirtschaft unter Verzicht auf die Kernenergie ist eng mit einer Energiewende auch auf dem Wärmemarkt verbunden – einer „Wärmewende“. Im Bereich der Raumwärmeversorgung impliziert die jahreszeitliche Nichtkorrelation zwischen dem solaren Wärmedargebot und dem Wärmebedarf im Quartier eine Herausforderung für das Leistungsmanagement. Daher wurden bereits im Rahmen des Programmes *Solar Heating and Cooling* der Internationalen Energieagentur Task VII: „Central solar heating plants with seasonal storage“ Langzeit-Speicherlösungen untersucht^[18].

Bei der geologischen Aquiferspeicherung (*Aquifer thermal Energy Storage, ATES*) wird natürliches Grundwasser als Wärmeträgermedium genutzt, das sich in den Poren- und/oder Klufräumen eines Grundwasserleiters befindet. In der Praxis handelt es sich um Sand-, Kies-, Sandstein- oder Kalksteinschichten im Untergrund. Ein geeigneter Aquifer wird typischerweise durch separate Brunnen erschlossen, Abbildung 53^[19]. Im Einspeicherbetrieb wird durch einen Speisebrunnen (= *Kalte Bohrung*) das natürliche Grundwasser zur Oberfläche gefördert, wo es in einem Wärmeübertrager Wärme aufnimmt und anschließend in eine Speicherbohrung (*Warme Bohrung*) reinjiziert wird. Während der Einspeicherung wird das im Bereich der Speicherbohrung vorhandene kalte Grundwasser sukzessive durch warmes Wasser verdrängt, so dass sich eine erwärmte Zone im Bereich der Speicherbohrung ausbildet. Im Ausspeicherbetrieb wird der Fluidzyklus invertiert: Das erwärmte Wasser wird durch die (warme) Speicherbohrung zurück zur Oberfläche gefördert und nach Auskopplung der Wärme in die (kalte) Speisebohrung reinjiziert. Aquiferspeicher sind daher offene und behälterlose Systeme.

ATES-Systeme werden besonders in den Niederlanden seit Jahrzehnten erfolgreich implementiert; bereits im Jahr 2010 gab es mehr als 1.300 Anwendungen^[20] und ein weitreichendes Prozessverständnis wurde entwickelt^{[21][22]}. In Deutschland befindet sich die bekannteste Anwendung unter dem Berliner Reichstagsgebäude^[23]. Eine weitere realisierte Solarthermie-Aquiferspeicher-

Solar systems department

Geological long-term storage of solar heat in aquifers

The construction of a low-emission energy economy without the use of nuclear power is closely linked to a change in energy sourcing in the heating market. In the sector of space heating, the seasonal non-correlation between the solar heat supply and heat demand for residential property implies challenges for resource management. Hence, long-term storage solutions were investigated as part of the *Solar Heating and Cooling* program of the International Energy Agency's Task VII "Central solar heating plants with seasonal storage"^[18].

In the case of geological aquifer storage (*Aquifer Thermal Energy Storage, ATES*), natural ground water, which is present in the pores and fractures of an aquifer, is used as a heat transfer medium. In practice, these are sand, gravel, sandstone or limestone layers in the subsoil. A suitable aquifer is typically accessed by separate wells, Figure 53^[19]. During loading the natural ground water is pumped to the surface through a water supply well (= *Cold well*), where it absorbs heat in a heat exchanger and is then reinjected into a storage well (*Warm well*). During the storage the cold ground water around the storage well is gradually replaced by warm water so that a heated zone is formed around the storage well. During unloading the fluid cycle is reversed: the heated water is pumped back to the surface through the (warm) storage well and after extraction of the heat is reinjected into the (cold) water supply well. Aquifer storage systems are therefore open, containerless systems.

ATES systems have been successfully operated in the Netherlands for decades; by the year 2010 there were already more than 1,300 systems^[20] in use and an extensive understanding of the process had been developed^{[21][22]}. The best-known example in Germany is located under the Reichstag building in Berlin^[23].

[18] Dalenbäck J.-O.: *Central solar heating plants with seasonal storage: Status report*. Technical report, International Energy Agency, Solar Heating And Cooling Programme Task VII, (1990)

[19] Sanner B.: *Erdgekoppelte Wärmepumpen. Geschichte, Systeme, Auslegung, Installation*. Techreport, Institut für angewandte Geowissenschaften, Universität Gießen, Diezstraße 15, 6300 Gießen, (November 1992)

[20] Sommer W.T., Doornenbal P.J., Drijver B.C., van Gaans P.F.M., Leusbrock I., Grotenhuis J.T.C., Rijnaarts H.H.M.: *Thermal performance and heat transport in aquifer thermal energy storage*. *Hydrogeology Journal*, 22(1):263-279, (2014)

[21] Bonte M., Stuyfzand P.J., Hulsmann A., van Beelen P.: *Underground thermal energy storage: Environmental risks and policy developments in the Netherlands and European Union*. *Ecology And Society*, 16(1):22, (2011)

[22] Bakr M., van Oostrom N., Sommer W.: *Efficiency of and interference among multiple aquifer thermal energy storage systems; a dutch case study*. *Renewable Energy*, 60:53-62, (2013)

[23] Kranz S., Bartels J., Gehrke D., Hoffmann F., Wolfigramm M.: *Wärme- und Kältespeicherung in Aquiferen*. *Fachmagazin für Brunnen- und Leitungsbau*, 59(7-8), (2008)

[18] Dalenbäck J.-O.: *Central solar heating plants with seasonal storage: Status report*. Technical report, International Energy Agency, Solar Heating And Cooling Programme Task VII, (1990)

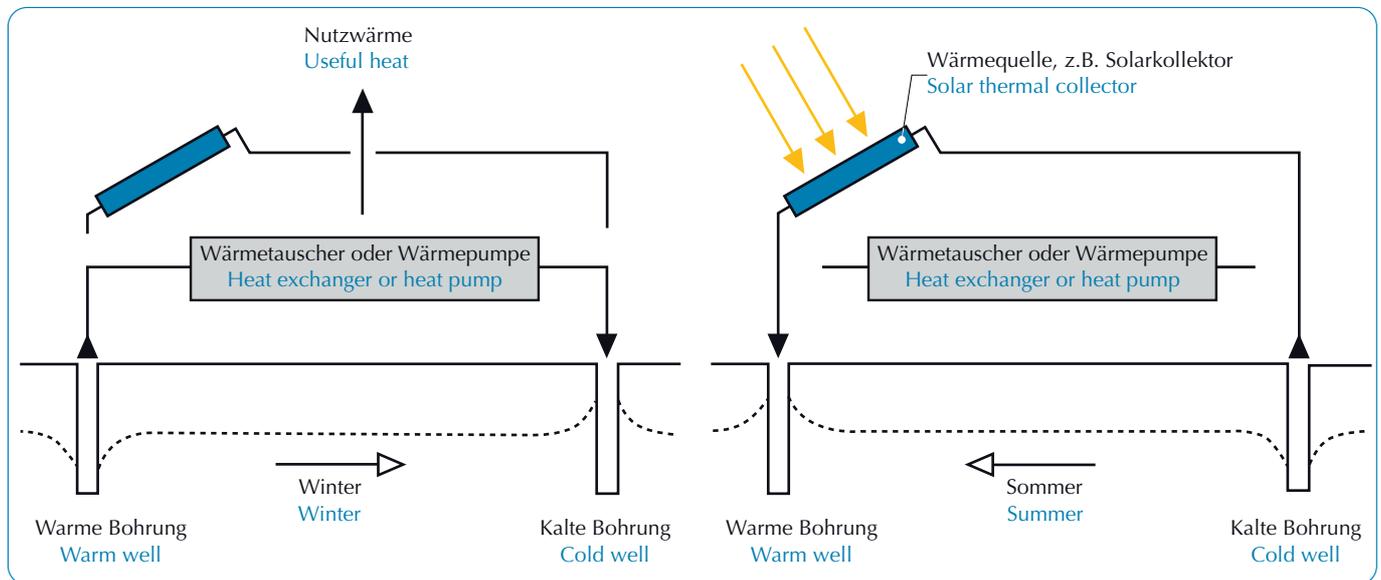
[19] Sanner B.: *Erdgekoppelte Wärmepumpen. Geschichte, Systeme, Auslegung, Installation*. Techreport, Institut für angewandte Geowissenschaften, Universität Gießen, Diezstraße 15, 6300 Gießen, (November 1992)

[20] Sommer W.T., Doornenbal P.J., Drijver B.C., van Gaans P.F.M., Leusbrock I., Grotenhuis J.T.C., Rijnaarts H.H.M.: *Thermal performance and heat transport in aquifer thermal energy storage*. *Hydrogeology Journal*, 22(1):263-279, (2014)

[21] Bonte M., Stuyfzand P.J., Hulsmann A., van Beelen P.: *Underground thermal energy storage: Environmental risks and policy developments in the Netherlands and European Union*. *Ecology And Society*, 16(1):22, (2011)

[22] Bakr M., van Oostrom N., Sommer W.: *Efficiency of and interference among multiple aquifer thermal energy storage systems; a dutch case study*. *Renewable Energy*, 60:53-62, (2013)

[23] Kranz S., Bartels J., Gehrke D., Hoffmann F., Wolfigramm M.: *Wärme- und Kältespeicherung in Aquiferen*. *Fachmagazin für Brunnen- und Leitungsbau*, 59(7-8), (2008)



Abbildung/Figure 53: Geologische Wärmespeicherung. Beispiel eines Aquifer-Wärmespeichers (ATES) im jahreszeitlichen Wechselbetrieb. Nach [19].

Geological heat storage. Example of an aquifer thermal energy storage (ATES) system used in alternate seasonal operation mode. According to [19].

anlage versorgt einen Gebäudekomplex mit 108 Wohnungen in Rostock^[24].

A further installed solar-thermal-aquifer-storage system serves a complex of buildings in Rostock^[24] with 108 apartments.

In einer Simulations-Studie hat das ISFH die thermische Leistungsfähigkeit solarthermischer Aquiferspeicherung im Quartiersmaßstab untersucht^[25]. Die Studie betrachtet die Ein- und Auspeicherung solarthermischer Wärme in wasserführende Sedimentgesteine des Jura, wie sie im Norddeutschen Becken flächendeckend vorliegen. Als Wärmequelle wurde eine Solarthermieanlage mit einer Bruttokollektorfläche von 10.000m² angenommen.

The thermal efficiency of solar-thermal aquifer storage on a residential scale was tested in a simulation study at the ISFH^[25]. The study discusses the injection and withdrawal of solar-thermal heat in aquiferous sedimentary rocks in the Jura, as extensively found in the North German Basin. A solar-thermal system with a gross collector surface area of 10,000m² was assumed as the heat source.

Abbildung 54 zeigt das Ergebnis des simulierten Speicherbetriebs. Während der Einspeicherperiode („Storage“) bildet die Arbeitskurve des Kollektorfelds eine thermische Randbedingung für den Aquiferspeicher ab: Die Temperatur des Kollektorfluids fluktuiert im betrachteten Fall entsprechend der Klimadaten etwa zwischen 30°C und 60°C und liefert in diesem Zeitraum eine mittlere thermische Leistung von 3,15MW. Die Wärme des Kollektorfluids wird an das Grundwasser übertragen und eingespeichert. Während der Einspeicherperiode akkumuliert so ein Gesamtvolumen von ca. 176.000m³ erwärmten Grundwassers. Bei einer angenommenen Porosität von 20% wird diese Flüssigkeitsmenge untertage von einem Gesteinsvolumen aufgenommen, das einem Kugelvolumen von ca. 70 Meter Radius

Figure 54 illustrates the results of the simulated storage operation. During the injection period (“storage“) the work curve of the collector array depicts a thermal constraint for aquifer storage: the temperature of the collector fluid fluctuates, in this case, roughly between 30°C and 60°C according to climate data and in this period produces an average thermal output of 3.15MW. The heat of the collector fluid is transferred to the ground water and stored. In this way, a total volume of ca. 176,000m³ of heated ground water accumulates during the injection period. At an estimated porosity of 20% this quantity of liquid is absorbed underground by a volume of rock equivalent to a spherical volume of ca. 70meters’ radius. Part of the solar heat causes a heating of the rock matrix, which increases from cycle to cycle. After many years of operation this leads to a

[24] Bodmann M., Mangold D., Nußbicker J., Raab S., Schenke A., Schmidt T.: *Solar unterstützte Nahwärme und Langzeit-Wärmespeicher*. Research Report of BMWA/BMU Project 0329607F, (2005)

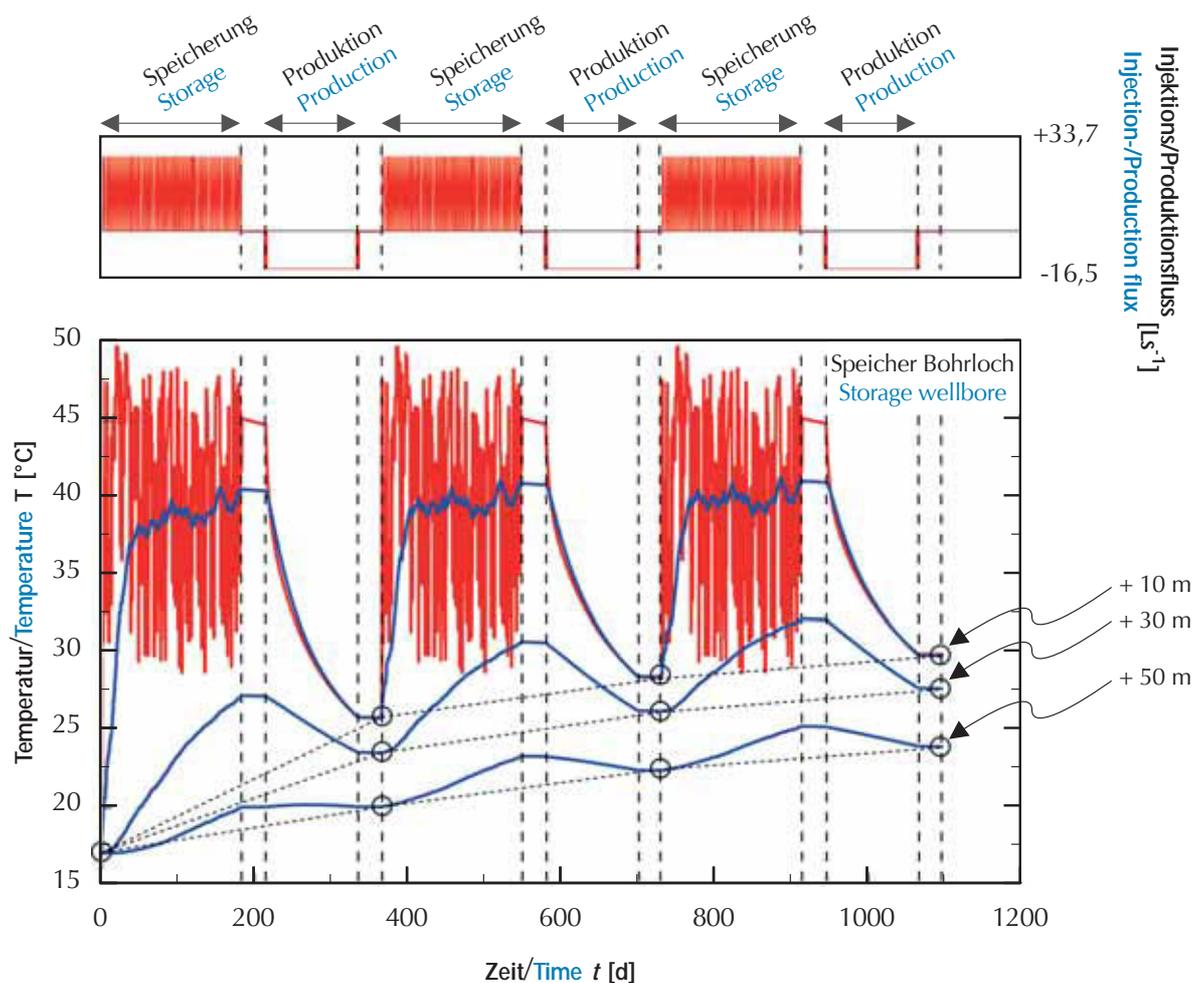
[24] Bodmann M., Mangold D., Nußbicker J., Raab S., Schenke A., Schmidt T.: *Solar unterstützte Nahwärme und Langzeit-Wärmespeicher*. Research Report of BMWA/BMU Project 0329607F, (2005)

[25] Kastner O., Norden B., Klapperer S., Park S., Urpi L., Cacace M., Blöcher G.: *Thermal solar energy storage in Jurassic aquifers in Northeastern Germany: A simulation study*. Renewable Energy, 104:290-306, (2017)

[25] Kastner O., Norden B., Klapperer S., Park S., Urpi L., Cacace M., Blöcher G.: *Thermal solar energy storage in Jurassic aquifers in Northeastern Germany: A simulation study*. Renewable Energy, 104:290-306, (2017)

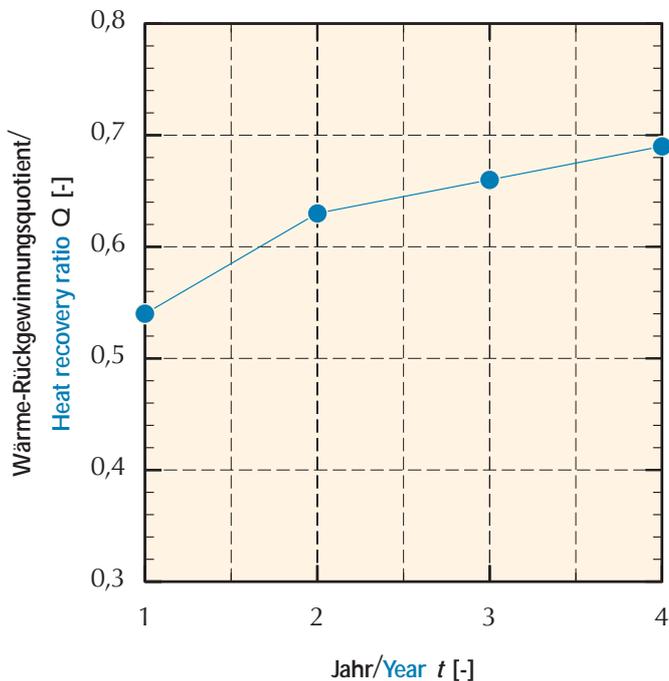
entspricht. Ein Teil der Solarwärme bewirkt eine Erwärmung der Gesteinsmatrix, die von Zyklus zu Zyklus zunimmt. Im mehrjährigen Betrieb kommt es so zu einer allmählichen Grund-erwärmung des Speichers und der bezügliche Wärmeverlust nimmt mit der Zeit ab. Nach 4-5 Jahreszyklen kann der Speicher als konditioniert betrachtet werden. Die zeitliche Entwicklung des

gradual warming of the storage site and the respective heat losses reduce with time. After 4-5 annual cycles the storage site can be regarded as conditioned. Figure 55 illustrates the chronological development of the heat recovery fraction. It is noticeable that this increases from ca. 55% in the first year to ca. 70% in the fourth year.



Abbildung/Figure 54: Ergebnis einer Finite-Elemente-Simulation der Ein- und Ausspeicherprozesse eines solar-beladenen Aquiferspeichers (ATES) im Wechselbetrieb^[25]. Volumenstrom zwischen warmer und kalter Bohrung (oben) und Temperaturverlauf im Speicherhorizont (unten) für drei aufeinanderfolgende Jahre. Während der Einspeicherperioden stellt die rote Temperaturkurve die Arbeitskurve des Kollektorfeldes dar. Während der Ausspeicherperioden (Produktion) liefern die abfallenden Kurvenäste das Temperatursignal für die nachfolgende Prozesskomponente, z.B. eine Wärmepumpe. Blaue Temperaturkurven: Temperaturentwicklungen in 10, 30 und 50 Meter Entfernung. Die Einspeicherung erfolgt über sechs Monate (April-September), die Ausspeicherung über vier Monate (November-Februar).

Result of a finite-element-method simulation of the injection and withdrawal processes of a solar aquifer storage system (ATES)^[25] in alternating operation. Volume flux between warm and cold well (top) and temperature profile in the storage horizon (bottom) for three consecutive years. During storage periods the red temperature curve represents the work curve of the collector array. During withdrawal periods (production), the decreasing curve branches provide the temperature signal for the subsequent process components, e.g. a heat pump, blue temperature curves: temperature developments 10, 30 and 50 meters away. Injection occurs for six months (April-September), withdrawal for four months (November-February).



Abbildung/Figure 55: Wärme-Rückgewinnungsquotient für vier aufeinanderfolgende Jahre. Der asymptotische Anstieg verweist auf die allmähliche Aufwärmung der Gesteinsmatrix.

Heat recovery fraction for four consecutive years. Its asymptotic increase reflects the gradual warming of the rock matrix.

Wärme-Rückgewinnungsgrad zeigt Abbildung 55. Man erkennt, dass dieser von ca. 55% im ersten Jahr auf ca. 70% im vierten Jahr ansteigt.

Besonders in Ballungsgebieten bietet die untertägige Wärmespeicherung daher eine effiziente und platzsparende Technologie für das Leistungsmanagement großer solarthermischer Anlagen an. Herausforderungen bestehen in der Frage nach der optimalen Einbindung in die vorhandenen Wärme-Versorgungssysteme. Dieser Fragestellung geht das Team Quartiersentwicklung am ISFH nach.

Underground heat storage therefore provides an efficient, space-saving technology for the performance management of large solar-thermal systems particularly in conurbations. Challenges remain concerning its optimum integration into existing heating supply systems. This issue is being pursued by the residential development team at the ISFH.

Wärmepumpenbasierte und Photovoltaik-Stromunterstützte Energieversorgung im Einfamilienhaus

Heat-pump-based and photovoltaic electricity supplement energy supply in detached house

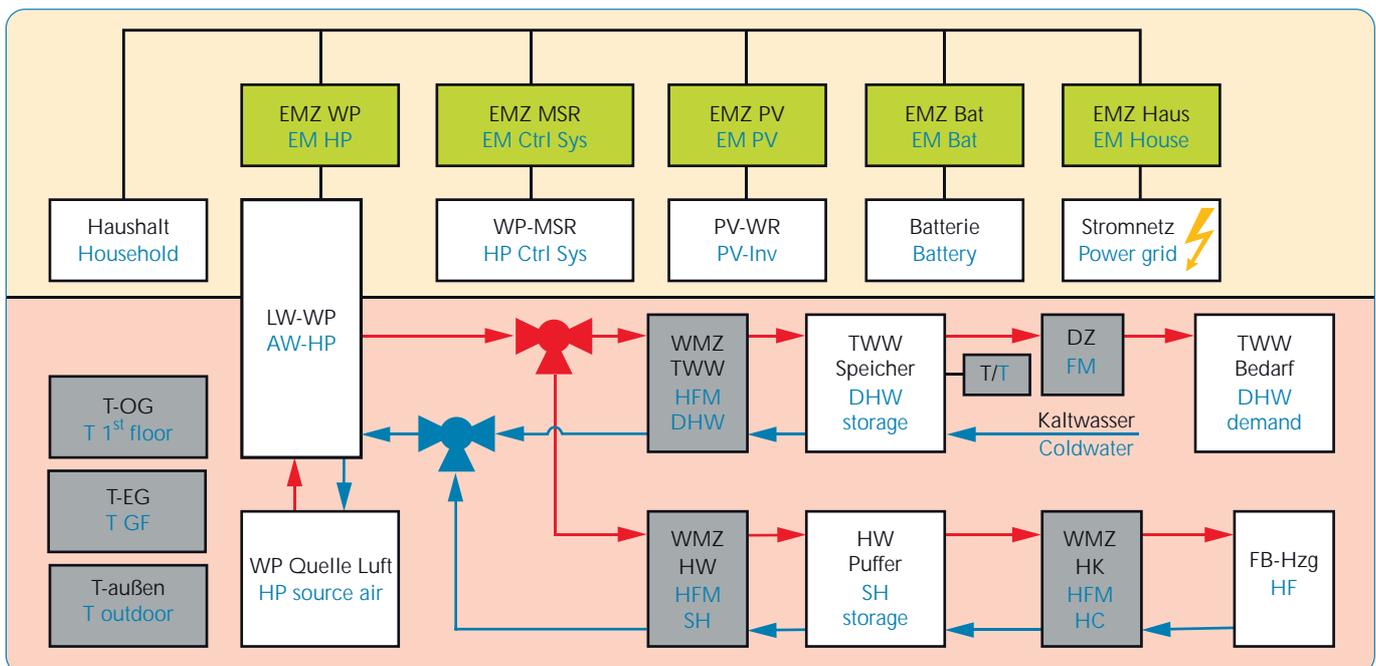
In Deutschland wurde 2016 13% des Endenergieverbrauchs zur Wärmebereitstellung aus erneuerbaren Energien gedeckt. Großes Potenzial zur Erhöhung dieses Anteils liegt in der Nutzung von Wärmepumpen mit Strom aus erneuerbaren Energien sowohl im Neubau als auch im Bestand bei entsprechender Sanierung.

In Germany renewable energy source covered 13% of final energy consumption for heat supply in 2016. There is a high potential for increasing this share through the use of heat pumps with electricity from renewable energy sources, both in new buildings and in existing buildings with appropriate refurbishment.

Im Projekt „Monitoring in einem Passivhaus mit innovativem Systemkonzept“ mit proKlima – Der Enercity-Fonds, werden das dynamische Betriebsverhalten von Photovoltaik-gestützter und Wärmepumpen-basierter Energieversorgung in einem Passivhaus

In the project “Monitoring in a Passive House with an innovative system concept” with the proKlima enercity Fund, the dynamic operating behavior of a photovoltaic-assisted and heat pump-based energy supply in a Passive House from 2015 (128m² of

Bat/Bat	Batterie	Battery	MSR/Ctrl Sys	Mess-Steuerungs- Regelungstechnik	Measurement, control & regulation technology
DZ/FM	Durchflusszähler	Flow meter	OG/1st floor	Obergeschoss	1st floor
EG/GF	Erdgeschoss	Ground floor	PV/PV	Photovoltaik	Photovoltaic
EMZ/EM	Energiemesszähler	Energy meter	SW/BW	Sole-Wasser	Brine-Water
EWK/GHX	Erdwärmekollektor	Ground heat exchanger	T/T	Temperatur	Temperature
FB-Hzg/HF	Fußbodenheizung	Heating floor	TWW/DHW	Trinkwarmwasser	Domestic hot water
Fri-Wa	Frischwasserstation	Fresh water station	Whz/LR	Wohnzimmer	Living room
HK/HC	Heizkreis	Heating circuit	WMZ/HFM	Wärmemengenzähler	Heat flow meter
HW/SH	Heizwärme	Space heating	WP/HP	Wärmepumpe	Heat pump
K1	Kondensator 1	Condenser 1	WR/Inv	Wechselrichter	Inverter
K2	Kondensator 2	Condenser 2			
LW/AW	Luft-Wasser	Air-Water			



Abbildung/Figure 56: Passivhaus-Gebäudeenergiesystem mit Messeinrichtungen.

Passive House building energy system with metering devices.

Wissenschaftliche Ergebnisse

aus 2015 (128 m² Wohnfläche, Heizwärmebedarf 11,5 kWh/m²a) und in einem sanierten Bestandsgebäude aus 1963 (220 m² Wohnfläche, Heizwärmebedarf ca. 90 kWh/m²a nach Sanierung) vermessen und analysiert.

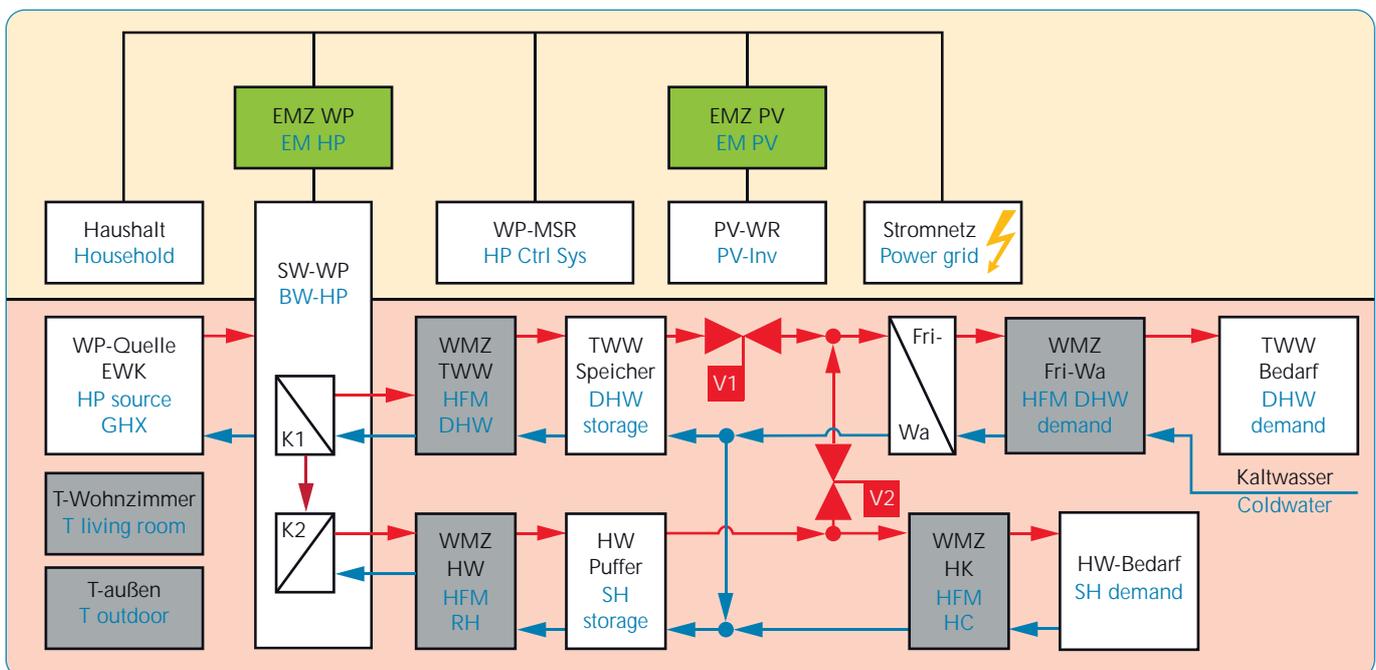
Das Heizsystem im Passivhaus besteht aus einer Luft-Wasser-Wärmepumpe (LW-WP), einem Trinkwarmwasser (TWW)-Speicher und einem Heizungs (HW)-puffer. Die Wärmeabgabe erfolgt über eine Fußbodenheizung. Es ist eine Photovoltaik-Anlage mit Batteriespeicher installiert. Im sanierten Bestandsgebäude versorgt eine Sole-Wasser-Wärmepumpe (SW-WP) über zwei Speicher auf gleichem Temperaturniveau eine Frischwasserstation und Plattenheizkörper. Erdwärmekörbe dienen als Wärmepumpen-Quelle. Es ist eine Photovoltaik-Anlage installiert.

Wärmeströme und TWW-Bedarf werden alle 15 Sekunden, elektrische Größen im sanierten Bestandsgebäude alle fünf Sekunden und im Passivhaus jede Sekunde erfasst. In Übergangszeiten und im Winter ist die Steuerung des Heizsystems im Passivhaus für einen Betrieb mit hohem solarem Deckungsanteil optimiert. Über eine Zeitsteuerung wird ab 10 Uhr überschüssige Photovoltaik-Energie in den Heizungspuffer mit einer erhöhten Speicherzieltemperatur von ca. 60 °C eingespeichert. Die hohe Speicherzieltemperatur und die niedrigeren Außen- bzw. Quellentemperaturen sowie Tag-Nacht-Schwankungen der Außentemperatur führen zu einem ineffizienten Betrieb der Wärmepumpe mit Arbeitszahl von 1,9 und weniger. Im Heizsystem resultieren hohe Speicher- und Verteilverluste: bis zu 55 % der gespeicherten thermischen Energie gehen als unregelmäßiger Wärmeeintrag an

living space, heating demand 11.5 kWh/m²a), and in a refurbished existing building from 1963 (220 m² of living space, heating demand 90 kWh/m²a after refurbishment) will be measured and analyzed.

The heating system in the Passive House consists of an air-water heat pump (AW-HP), a domestic hot water tank (DHW storage) and a space heating storage tank (SH storage). Heat is emitted by means of heating floor. A PV system with battery storage is installed. In the refurbished building, a brine-water heat pump (BW-HP) supplies a fresh-water station and panel radiators via two heat storage tanks at the same temperature level. Geothermal baskets serve as a heat pumps heat source. A PV system is installed.

We measure heat flows and DHW demand every 15 seconds, electrical parameters in the refurbished building every five seconds and in the Passive House every second. In transitional periods and in winter, control of the heating system in the Passive House is optimized for operation with a high solar fraction. Excess PV energy is stored in the heat storage tanks with an increased target storage temperature of ca. 60 °C with a time control system from 10 a.m. onwards. The high storage target temperature and the lower outdoor or source temperatures, as well as day/night fluctuations in outdoor temperature, lead to inefficient operation of the heat pump with a coefficient of performance of 1.9 or less. High storage and distribution losses in the heating system result: up to 55% of the stored thermal energy goes to the building as uncontrolled heat input.



Abbildung/Figure 57: Energiesystem des sanierten Bestandsgebäudes.
Energy system of the refurbished building with metering devices.

das Gebäude. Unter Einbeziehung des Batteriespeichers wurden so solare Deckungsanteile im Wärmepumpen-Betrieb von über 80% erreicht.

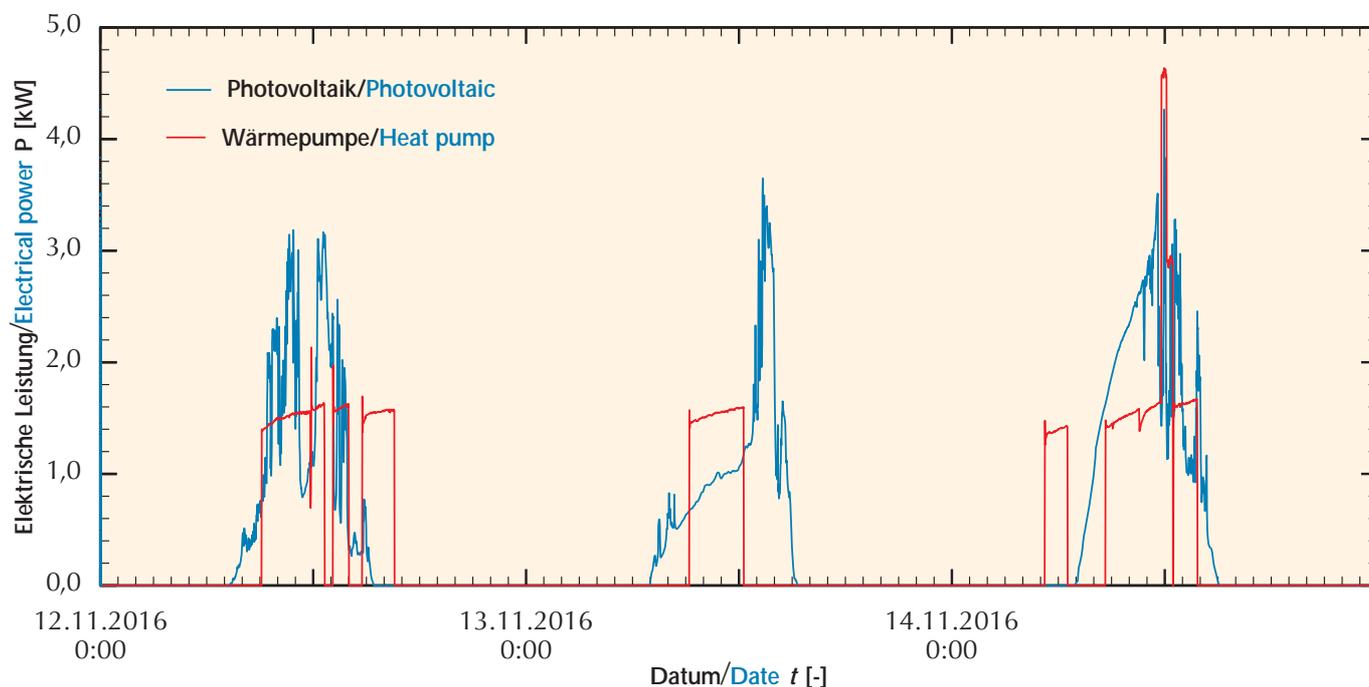
In diesen Zeiten kann die Wärmepumpe im sanierten Bestandsgebäude Arbeitszahlen von 3,7 erreichen, da einerseits die etwa konstante Sole-Vorlauftemperatur aus den Erdwärmekörpern über den Außentemperaturen liegt und andererseits die Speicherzieltemperatur bei ca. 50°C liegt. Diese wurde so gering wie möglich gewählt, um einerseits die Frischwasserstation aus beiden Speichern speisen zu können und andererseits einen effizienten Heizbetrieb zu ermöglichen. Die Speicher- und Verteilverluste bzw. der unregelmäßige Wärmeeintrag entsprechen 20% der gespeicherten thermischen Energie. Abbildung 59 zeigt, dass im Gegensatz zum Passivhaus aufgrund des höheren Wärmebedarfs und der geringen Leistung der Photovoltaik-Anlage eine Optimierung des solaren Deckungsanteils kaum möglich ist.

Im Sommerbetrieb, bei ausschließlichem TWW-Bedarf, unterscheiden sich die Effizienzen beider Heizungssysteme weniger

Taking into account the battery storage, a solar fraction of more than 80% was achieved in heat pumps operation.

During these periods, the heat pump in the refurbished building can reach a coefficient of performance of 3.7: on the one hand, the approximately constant brine-flow temperature from the geothermal baskets is above the outside temperatures and on the other hand, the target storage temperature is 50°C. This was chosen to be as low as possible in order to be able to feed the fresh water station from both heat storages on the one hand, and to enable efficient heating operation. The storage and heat distribution losses or unregulated heat input correspond to 20% of the stored thermal energy. Figure 59 shows that, in contrast to the Passive House, it is hardly possible to optimize the solar fraction due to the higher heat demand and the low output of the PV system.

In summer operation, with only DHW demand, the efficiency of both heating systems differs less markedly. Due to high source temperatures, both heat pumps achieve good coefficients of performance. However, the energy consumption of the heat



Abbildung/Figure 58: Photovoltaik-Erzeugung und Wärmepumpen-Strombezug 12. bis 14. November 2016 im Passivhaus, optimierte Steuerung für hohen solaren Deckungsanteil der Wärmeversorgung in Übergangszeiten und im Winter.

Photovoltaic generation and heat pump electricity demand November 12th to 14th 2016 in the Passive House, optimized control for high solar fraction of heat supply during transitional periods and in winter.

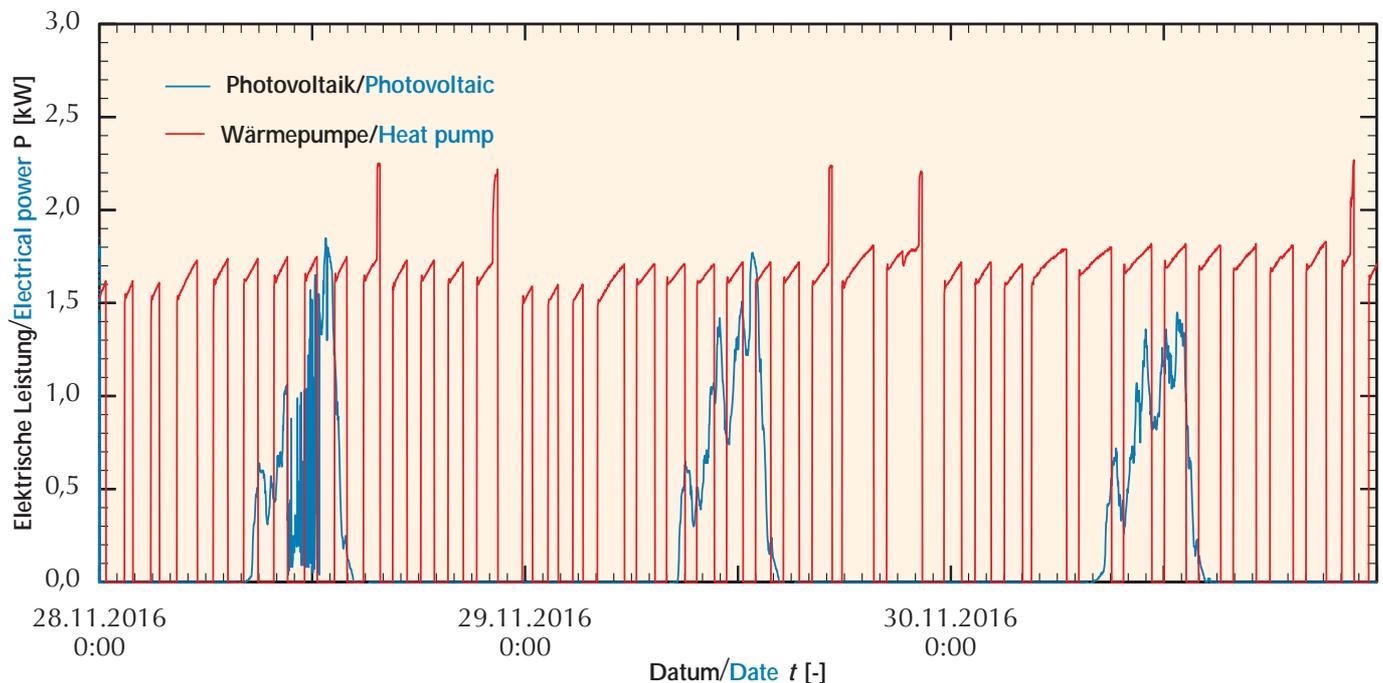
Wissenschaftliche Ergebnisse

deutlich. Aufgrund hoher Quellentemperaturen erreichen beide Wärmepumpen gute Arbeitszahlen. Allerdings macht der Energieverbrauch der Wärmepumpen-Steuerung und elektrischer Hilfsaggregate (im Passivhaus inkl. aktiver Belüftung) mit 1,5 bis 2,5 kWh pro Tag bis zu 50% der benötigten elektrischen Energie für die Wärmeversorgung in beiden Gebäuden aus. In der Übergangszeit sind es im Passivhaus 20% und im Bestandsgebäude 10%. Nicht zuletzt hat das Nutzerverhalten großen Einfluss auf den Energiebedarf des Gebäudes. Im Passivhaus werden 109 Wh/(m²·Woche) für TWW benötigt, im Bestandsgebäude sind es dagegen 186 Wh/(m²·Woche). Der Referenzwert nach EnEV beträgt 240 Wh/(m²·Woche).

Durch die zeitlich hoch aufgelösten Messungen konnte gezeigt werden, dass Arbeitszahlen im dynamischen Betrieb sehr abhängig von Randbedingungen, wie der Außentemperatur, dem Nutzerverhalten und nicht zuletzt der jeweiligen Betriebsstrategien sind. So führt im Passivhaus der auf solaren Deckungsanteil optimierte Betrieb zwar zu einem höheren Gesamtenergieverbrauch; da dieser aber zu einem höheren Anteil aus erneuerbaren Energien gedeckt wird, verringerten sich insgesamt der Primärenergiebedarf und somit die CO₂-Emission.

pump control system and auxiliary electrical power units (in the Passive House including active ventilation) is 1.5 to 2.5 kWh per day and therefore accounts for up to 50% of the electrical energy required for heat supply in both buildings. In the transitional period, this value is 20% for the Passive House and 10% for the refurbished building. Last but not least, user behavior has a major influence on the energy demand of the building. In the Passive House 109 Wh/(m²·week) are needed for DHW, in the existing building there are 186 Wh/(m²·week). The reference value according to EnEV is 240 Wh/(m²·week).

The temporally high-resolution measurements showed that the coefficient of performance in dynamic operation is highly dependent on constraints such as outdoor temperature, user behavior and not least the respective operating strategies. In the Passive House, for example, the operation optimized for solar fraction leads to a higher overall energy consumption, but since this is covered by a higher proportion of renewable energy, the primary energy demand and thus CO₂ emissions have decreased overall.



Abbildung/Figure 59: Photovoltaik-Erzeugung und Wärmepumpen-Strombezug 28. bis 30. November 2016 im sanierten Bestandsgebäude, ohne Optimierung für hohen solaren Deckungsanteil der Wärmeversorgung in Übergangszeiten und im Winter.

Photovoltaic generation and heat pump electricity demand from November 28th to 30th, 2016 in the refurbished building, without optimization for high solar fraction of heat supply in transitional periods and in winter.

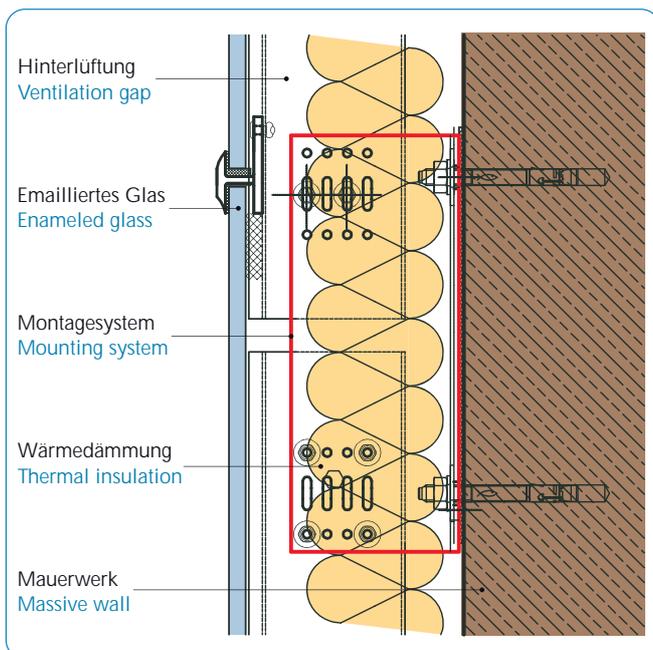
Matthias Littwin, Tobias Ohrdes

Solaraktivierte Glaspaneele für die Gebäudeintegration

Die Integration von solaren Technologien in die Gebäudehülle bzw. die solare Aktivierung von Komponenten der Gebäudehülle stellt eine anspruchsvolle, aber viel versprechende Alternative zur üblichen Aufdachinstallation dar, wobei sich nicht nur eine hoch-qualitative Architektur realisieren lässt, sondern auch Kosten für Materialien und Montage eingespart werden können.

In dem vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) geförderten Forschungsvorhaben „Solar-Glas“ (FKZ: 16KN014827), wurde dieses Konzept auf das vorgehängte, hinterlüftete Fassadensystem des Herstellers *Konvortec* in Zusammenarbeit mit der Isolierglasfirma *Energy Glas* umgesetzt. Im Rahmen des Projektes wurden verschiedene Prototypen von nicht-abgedeckten solarthermischen, als auch photovoltaisch-thermischen (PV-T) Glasmodulen entwickelt.

Basis für die Entwicklung bildete das in Abbildung 60 schematisch dargestellte Glasfassadensystem, wobei die Funktionalität der zum Schutz des Mauerwerks bzw. der Dämmung eingesetzten emaillierten Glasscheibe durch die rückseitige Applikation eines metallischen Wärmeübertragers erweitert wurde. Die vom Fassadenelement absorbierte Solarstrahlung bzw. von der Umgebung auf das Element übertragene Wärmeenergie kann somit an das Wärmeversorgungssystem des Gebäudes abgeführt werden. Das



Abbildung/Figure 60: Vertikaler Schnitt (links) und Muster (rechts) der vorgehängten, hinterlüfteten Glasfassade des Projektpartners *Konvortec*.

Solaractivated glass panels for the building integration

The integration of solar technology into the building envelope or better the solar activation of components of the building envelope represents a challenging but promising alternative to the usual rooftop installation. As a result, not only high-quality architecture can be achieved, but also costs for materials and installation can be saved.

In the project “Solar Glas”, funded by the Federal Ministry for Economic Affairs and Energy (BMWi) (reference number: 16KN014827), this concept was implemented on the rear-ventilated mounted façade system of the manufacturer *Konvortec* in cooperation with the insulating glass company *Energy Glas*. During the project we developed different prototypes of uncovered solar thermal and photovoltaic-thermal (PV-T) glass modules.

The basis for the development was the glass façade system schematically shown in Figure 60, in which the functionality of the enameled glass cladding used to protect the masonry or the insulation was supplemented by the application of a metallic heat exchanger on the rear side. The solar irradiation absorbed by the façade element or rather the heat energy transferred from the surroundings to the element can thus be provided to the heat supply system of the building.

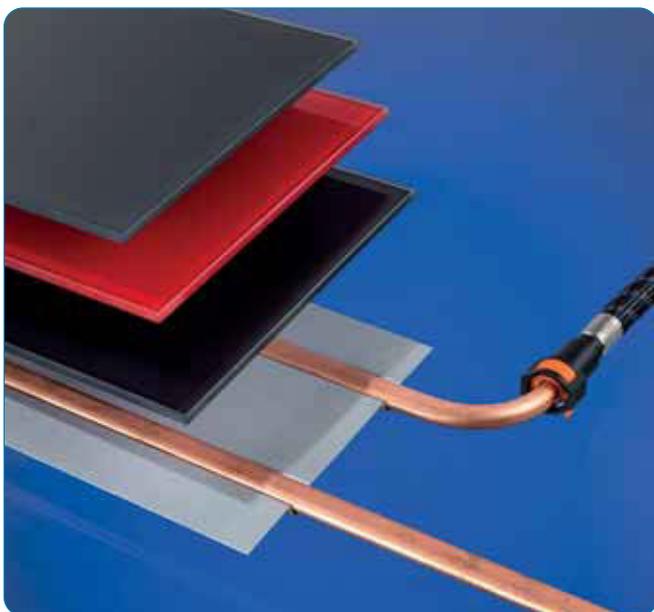


Vertical section (left) and sample (right) of the mounted rear-ventilated glass façade system of our project partner *Konvortec*.

nicht abgedeckte Solarmodul liefert Niedertemperatur-Wärme und eignet sich neben Vorerwärmung und Beheizung von Schwimmbädern vor allem als Wärmequelle in Wärmeversorgungssystemen mit Wärmepumpen. Zur Reduzierung der Strahlungsverluste kann die Glasscheibe mit einer niedrigemittierenden Beschichtung versehen werden. Dieses ermöglicht höhere Systemtemperaturen, wodurch das Modul auch zur Trinkwarmwassererwärmung einsetzbar ist. Aufgrund der hohen Witterungsbeständigkeit und Strahlungsdurchlässigkeit werden dafür Metalloxide verwendet, wie etwa Indiumoxid oder Zinnoxid.

Der Wärmeübertrager wurde so konzipiert, dass die Montage in das bestehende Fassadensystem erfolgen kann und die architektonische Gestaltungsfreiheit, d.h. die individuelle Anpassung an das Scheibenformat, erhalten bleibt. Die solar-aktivierten Module lassen sich somit in Analogie zu den nicht aktivierten emaillierten Standardscheiben installieren und sind von diesen optisch nicht unterscheidbar.

In Abbildung 61 sind der metallische Wärmetauscher und die farbliche Gestaltungsmöglichkeit der emaillierten Scheibe beispielsweise angedeutet. Die flächige Kontaktierung des Wärmetauschers mit der emaillierten Glasscheibe wird über eine Klebeschicht sichergestellt.



In ausgiebigen Gebrauchstauglichkeitstests, u.a. zyklischen Belastungen bei Frost und feuchter Wärme (-40°C bis $+85^{\circ}\text{C}$ bei 85 % rel. Feuchte), sowie langzeitigen Temperaturbelastungen bis 125°C wurde aus unterschiedlichen Klebstoffen, Metallen und Geometrien des Wärmeübertragers eine für die Anwendung, auch unter Berücksichtigung der Leistungsfähigkeit, geeignete Materialkombination identifiziert.

The uncovered solar module generates low-temperature heat and is suitable in addition to preheating and pool heating, especially as a heat source in heating supply systems with heat pumps. In order to reduce the radiation losses, the glass pane can be equipped with a low-emitting coating. This allows higher system temperatures, which means that the module may also be used for domestic hot water heating. Due to their high weather resistance and solar transmittance, metal oxides such as indium oxide or tin oxide are used for this purpose.

The heat exchanger was designed with the aim of being easily integrated into the existing façade system and of preserving architectural design freedom, i.e. individual adaptation to the pane format. The solar-activated modules can thus be installed in a similar fashion to the non-activated enameled standard panes and cannot be distinguished optically from them.

Figure 61 shows the metallic heat exchanger and gives an idea of the design options provided by the colored enameled pane. Surface contact between the heat exchanger and the enameled glass pane is ensured by an adhesive layer.

Abbildung/Figure 61: Muster des neu entwickelten Solarpanels mit exemplarischer Darstellung der Gestaltungsmöglichkeiten durch die farbigen emaillierten Glasscheiben.

Sample of the newly-developed solar panel with exemplary representation of the design options given by the colored enameled glass panes.

By means of extensive reliability tests, i.a. cyclical exposure to frost and humid heat (-40°C - $+85^{\circ}\text{C}/85\% \text{RH}$), as well as long-term temperature exposure up to 125°C we identified from different adhesives, metals and geometric configurations for the heat exchanger a combination of materials suitable for the purpose, also taking account of performance.

Anhand von Leistungsmessungen an solarthermischen sowie photovoltaisch-thermischen Einzelmodulen, in Anlehnung an die Norm EN ISO 9806, konnte die Bandbreite möglicher thermischer Wirkungsgrade in Abhängigkeit vom Modulaufbau (Wärmetauschergeometrie, Farbe und Art der Scheibe und der Beschichtung) und Art der Installation (mit oder ohne Rückseitenbelüftung) aufgezeigt werden. Für schwarz emaillierte Module wurden vielversprechende Konversionsfaktoren η_0 von 0,73 bis 0,79 und Verlustkoeffizienten $b_{1,5}$ (bei einer Windgeschwindigkeit von 1,5 m/s) zwischen 10 und 13,6 W/m²K ermittelt.

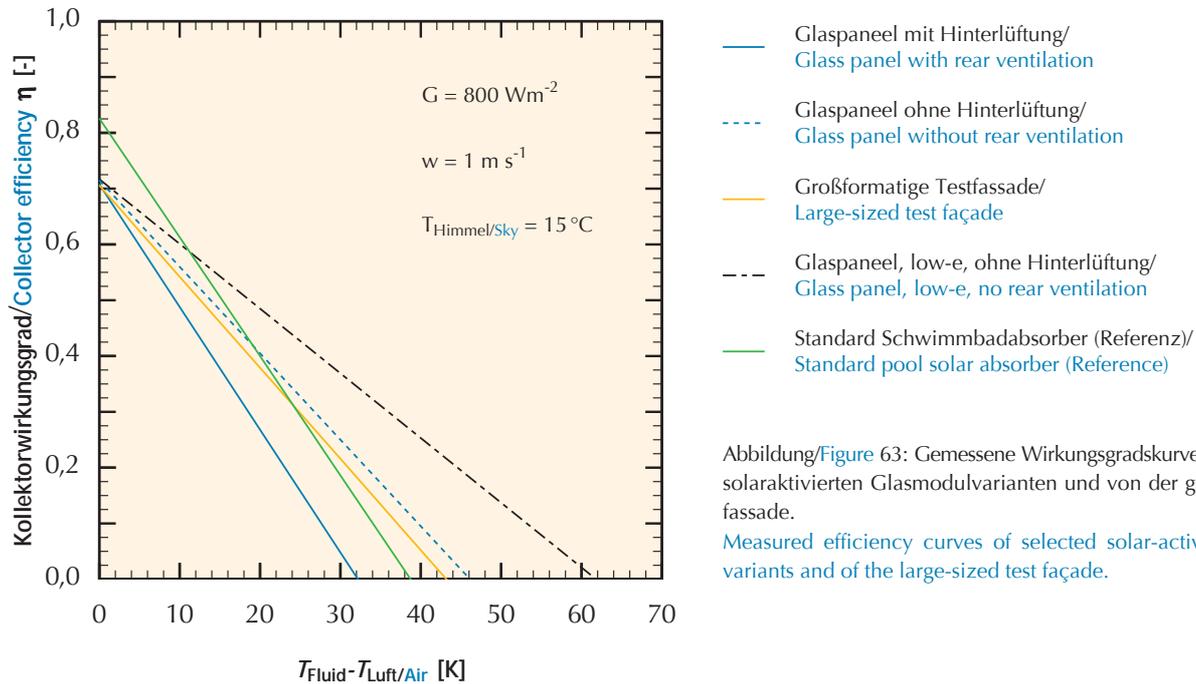
On the basis of performance measurements on individual solar-thermal and photovoltaic-thermal modules in accordance with the EN ISO 9806 standard, we were able to demonstrate the range of possible thermal efficiencies depending on the module design (heat exchanger geometry, pane color and type and, coating) and the type of installation (with/without rear-ventilation). For black enameled modules, we reported promising conversion factors η_0 from 0.73 to 0.79 and loss coefficients $b_{1,5}$ (at a wind speed of 1.5 m/s) between 10 and 13.6 W/m²K.



Abbildung/Figure 62: Großformatiger (20m²) Prototyp einer solarthermischen Glasfassade am ISFH zur Durchführung der Untersuchungen zur Leistung und Gebrauchstauglichkeit. Die Installation besteht aus 18 aktivierten und sechs nicht aktivierten schwarzen Glasmodulen.

Large-sized (20m²) solar-thermal glass façade prototype at the ISFH for performance and reliability tests. The installation consists of 18 activated and 6 non-activated black glass modules.

Wissenschaftliche Ergebnisse



Abbildung/Figure 63: Gemessene Wirkungsgradkurven von ausgewählten solaraktivierten Glasmodulvarianten und von der großformatigen Testfassade.

Measured efficiency curves of selected solar-activated glass module variants and of the large-sized test façade.

Schließlich haben wir am ISFH die in Abbildung 62 dargestellte Testfassade (20 m^2) aufgebaut, die aus 18 solarthermisch aktivierten Modulen und sechs nicht aktivierten emaillierten Glas-scheiben besteht. Im Rahmen von Langzeituntersuchungen wurden die einfache Integration in das Fassadensystem, die Leistungsfähigkeit, sowie die Gebrauchstauglichkeit der innovativen Solarmodule erfolgreich nachgewiesen.

Abbildung 63 fasst die Ergebnisse der Leistungsmessungen zusammen: Dabei wird zum einen der positive Effekt der niedrigemittierenden Beschichtung gezeigt und zum anderen der signifikante Einfluss der Einbaubedingungen auf die windabhängigen Wärmeverluste von nicht abgedeckten Solarmodulen bestätigt. Bei mittleren Windgeschwindigkeiten bis zu $1,5 \text{ m/s}$ wurden in der Hinterlüftung der Fassade maximale Strömungsgeschwindigkeiten von $0,3 \text{ m/s}$ erfasst, sodass mit den an Einzelmodulen aufgenommenen Leistungskennwerten – ohne rückseitige Bewindung – das Fassadenverhalten am besten abgebildet werden kann. Bei anderen Fassadenkonstruktionen sowie -konfigurationen ist mit unterschiedlichen Ergebnissen zu rechnen. Dieser Aspekt ist sowohl bei der Modulmessung als auch bei kennwertbasierten Simulationen oder bei der Bewertung von realen Anlagen besonders zu beachten.

Finally we constructed the test façade (20 m^2) at the ISFH shown in Figure 62, which consists of 18 solar-thermally activated modules and 6 non-activated enameled glass panes. During the long-term investigations we successfully proved the simple integration into the façade system, the efficiency and the reliability of the innovative solar modules.

Figure 63 summarizes the results of the performance measurements: It shows on the one hand the positive impact of the low-emissivity coating as well as on the other hand the significant influence of the installation conditions on the wind dependent heat losses of uncovered solar modules. At average wind speeds of up to 1.5 m/s , maximum flow velocities of 0.3 m/s were recorded in the rear ventilation gap of the façade, so that measurements on individual modules without rear ventilation can best represent the façade behavior. For other types of façade construction and configuration, different results can be expected. This aspect in particular should be taken into account in module measurement as well as in simulations based on module performance parameters or in the evaluation of real systems.

Akademische Ausbildung

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

Im Jahr 2017 wurde 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^[26].
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 Lichteinkopplung 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.

→ Vorlesung „Grundlagen der Halbleiterphysik“

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

Diese Vorlesung behandelt die elektronischen und optischen Eigenschaften von Halbleitern sowie deren Anwendung in Bauelementen. Die Vorlesung befasst sich insbesondere mit den Themen Bändertheorie, Eigen- und Störstellenleitung, Defekte in Halbleitern, Rekombinationsprozesse, Ladungsträgertransport, pn-Übergänge, Heteroübergänge, Metall-Halbleiter-Kontakte und Halbleiterbauelemente (Dioden, Transistoren, Photodioden).

→ Vorlesung „Halbleitermesstechnik für die Photovoltaik“

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

In der Vorlesung wird der Herstellungsprozess einer kristallinen Siliziumsolarzelle vom Siliziumblock bis zur Solarzelle betrachtet. Die jeweiligen Analyseverfahren zur Beurteilung der einzelnen Prozesse werden vorgestellt und erklärt. Dieses sind insbesondere Analyseverfahren zur Material-Charakterisierung (Leitfähigkeit, Ladungsträgerdichte, Ladungsträgerlebensdauer, Defekte und Kristallorientierung), zur Prozess-Charakterisierung (Dotierprofile, Textur, Schichtdicke und Brechungsindex) und

[26] SWS – Semesterwochenstunde

Academic education

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

In 2017 a number of teaching events were held at the Leibniz Universität Hannover and Lower Saxon' technical colleges:

→ Course “Physics of solar cells”

*Lecturer: Prof. Dr.-Ing. Rolf Brendel, 2 SCH^[26].
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.

→ Course “Fundamentals of semiconductor physics”

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

This course deals with the electronical and optical properties of semiconductors and their application in devices. The course includes in particular the following topics: band theory, intrinsic and extrinsic conduction, defects in semiconductors, recombination processes, carrier transport, pn-junctions, heterojunctions, metal-semiconductor junctions and semiconductor devices (diodes, transistors, photodiodes).

→ Course “Semiconductor measuring techniques for photovoltaics”

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

In this course the production process of a crystalline silicon solar cell is considered from the silicon block to the solar cell. The relevant analytical techniques for the evaluation of the individual processes are presented and explained. These are analytical techniques for material characterization (conductivity, charge carrier density, charge carrier lifetime, defects, crystal orientation) for process characterization (dopant profiles, texture, layer thickness and refraction index) and for characterization of solar cells (current-voltage characteristic,

[26] SCH – Semester credit hours

Weiterbildung

zur Solarzellen-Charakterisierung (Strom-Spannungs-Kennlinie, Quanteneffizienzen, Reflexion, Shuntanalyse und Serienwiderstand).

→ 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 „Veranstaltungen“ 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 Vorlesung vermittelt dem Studierenden ein vertieftes grundlegendes Verständnis der Funktionsweise von Solarzellen. Der Fokus liegt dabei, entsprechend der Relevanz für die weltweite Photovoltaik, auf kristallinen Silizium-Solarzellen. Dennoch sind die meisten diskutierten Aspekte allgemeingültig für alle Halbleitermaterialien. Des Weiteren sollen die wichtigsten Aspekte, Herausforderungen und aktuellen Entwicklungen bzgl. der Herstellungstechnologie von Si-Solarzellen vermittelt werden. Abgeschlossen wird die Vorlesung mit der Diskussion von prinzipiellen Wirkungsgradgrenzen sowie von Konzepten und technologischen Ansätzen jenseits der evolutionären Weiterentwicklung der aktuellen Technologie.

→ 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

quantum efficiency, reflection, shunt analysis, photo-and electroluminescence imaging).

→ ISFH colloquium “Solar energy research”

*Various external lecturers, 2 SCH.
Organization: Dr. Rolf Reineke-Koch
Institute for Solar Energy Research Hameln.*

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 “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.*

This lecture provides a well-founded understanding of the principle working mechanism of solar cells. According to their relevance for world-wide photovoltaics, the lecture is focused on crystalline Silicon solar cells. However, most of the aspects discussed are generally valid for all semiconductor materials. Moreover, the most important aspects, challenges and recent developments in Si solar cell fabrication technology are presented. The lecture closes with the discussion of fundamental limits for the energy conversion efficiency and of novel technological concepts beyond the evolutionary improvement of the current technology.

→ 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

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.

→ **Vorlesung „Einführung in die regenerative Energietechnik“**

Dozent: Dr. Roland Goslich, 2 SWS.

Hochschule Weserbergland (HSW), Hameln.

Die Vorlesung umreißt die Nutzungsmöglichkeiten der Solarenergie. Sie beginnt mit Rahmendaten zur Energieerzeugung, beschreibt die physikalischen Grundlagen der Solarstrahlung und die solarthermische Wärmegegewinnung. Schließlich werden die Grundlagen der Stromerzeugung mit Hilfe von Silizium-Solarzellen erläutert. Die Vorlesung richtet sich an Studierende im sechsten Semester des dualen Studiengangs „Energietechnik“.

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

Dozent: Prof. Dr.-Ing. Oliver Kastner, 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 Strahlungspotential 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 des FFI, 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 Wärme-Konzepte, Big Data: Monitoring komplexer Wärmeversorgungssysteme.

equipment is acquired and critical evaluation and discussion and presentation of their own results is practiced.

→ **Course “Introduction to Renewable Energy Technology”**

Lecturer: Dr. Roland Goslich, 2 SCH.

Hochschule Weserbergland (HSW), Hameln.

The course outlines the potential uses of solar energy. It begins with outline data for energy production, describes the physical principles of solar irradiation and solar-thermal heat production. Finally the principles of electricity production with the help of silicon solar cells are explained. The course is aimed at students in the sixth semester of the dual “Energy Technology” course.

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

Lecturer: Prof. Dr.-Ing. Oliver Kastner, 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 FFI, 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.

Weiterbildung

→ 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 Probevorträge gehalten. Schließlich tragen die Studierenden einander vor und diskutieren die Stärken und Schwächen ihrer Fachvorträge.

→ 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.



Teilnehmer des EWE-Hochschulkolloquiums.

Participants in the EWE university colloquium.

Roland Goslich

NILS – Die solare Lernwerkstatt

Die *Niedersächsische Lernwerkstatt für solare Energiesysteme*, kurz NILS genannt, wurde am 1. August 2001 als Kooperationsprojekt des Niedersächsischen Kultusministeriums mit dem ISFH gegründet. Sie dient gemäß der im Klimaschutzaktionsplan Niedersachsen formulierten Aufgabenstellung der Förderung des Austausches zwischen Wissenschaft und Schulen und ist dem Aufgabenbereich der Bildung für nachhaltige Entwicklung (BNE) des Kultusministeriums zugeordnet.

Die NILS ist ein anerkannter außerschulischer Lernort und steht als Lernlabor des An-Instituts der Universität Hannover im Kontext universitärer Schülerlaboratorien: Es ist Mitglied im Bundesverband der Schülerlabore *Lernort Labor* (LeLa) und unterstützt den Nachwuchs im mathematisch-naturwissenschaftlich-technischen Bereich (MINT). Durch die Vernetzung mit den Schulen im BNE-Verbund erfolgt auf regelmäßig stattfindenden Tagungen ein weitreichender Austausch von Informationen auf Bezirks- und Landesebene. Das NILS-Angebot reicht von der Grundschule über Sekundarstufe I (SEK I) und II (SEK II) bis zur beruflichen Ausbildung und Weiterbildung von Lehrern.

Die Lernwerkstatt wird von einem Team geleitet. Es besteht aus fünf Personen, die sich an je einem Tag in der Woche der Lernwerkstatt widmen können. Zu diesem Team gehören zwei ISFH-Mitarbeiter und drei abgeordnete Lehrkräfte. Nach Bedarf unterstützen ein Bundesfreiwilligendienstler und andere Wissenschaftler des Instituts unsere Arbeit.



NILS-Stand auf der IdeenExpo 2017

Unter dem Motto „Mach doch einfach“ fand vom 10.-18.6.2017 auf dem Messegelände Hannover Deutschlands größtes Jugend-Event für Naturwissenschaften und Technik statt. NILS-ISFH war mit einem größeren Stand als Aussteller mit Mitmach-Exponaten dabei, wobei das Angebot für Kinder ab dem Grundschulalter bis hin zu Versuchen für Studenten reichte.

NILS – The solar workshop

The *Lower Saxon' Learning Workshop for Solar Systems*, briefly called NILS was founded on 1 August 2001 as a cooperative project between the Lower Saxon Ministry of Education and the ISFH. It serves to encourage communication between science and schools in accordance with the terms of reference formulated in the Lower Saxon Climate Protection Action Plan and is allocated to the area of responsibility of the Education for Sustainable Development department (BNE) of the Ministry of Education.

NILS is a recognized extracurricular place of learning and serves as a learning laboratory of the affiliated institute of Hanover University in the context of university school student laboratories: it is a member of the Federal Association of School Student Laboratories *Lernort Labor* (LeLa) and support young talent in the mathematics-science-technology field (MINT). Through networking with schools in the BNE association at regular conferences, an extensive exchange of information is achieved at a district and provincial level. The range of activities extends from primary schools to vocational and teacher training.

The Learning Workshop is run by a team. It comprises five people who can each devote one day a week to the Learning Workshop. This team comprises two members of ISFH staff and three seconded teachers. In addition, a *Federal Volunteer Service* volunteer and other Institute scientists assist in our work when required.

Unsere jüngsten Solarautotester auf der IdeenExpo – gut geschützt vor starker Strahlung.

Our youngest solar car testers at the IdeenExpo, well protected from powerful radiation.

NILS Stand at the IdeenExpo 2017

Germany's largest youth event for science and technology took place at the Hanover Fairground from 10 to 18 June 2017 under the motto "Just do it!" NILS-ISFH took part as an exhibitor with one of the larger stands with interactive exhibits ranging from those for primary school children onwards to experiments for students.

Weiterbildung

Als besonders empfehlenswert und als Tagesattraktion wurde im IdeenExpo-Programm unser Workshop angekündigt, an dem die Besucher innerhalb einer Stunde selbst ein Solarmodul bauen konnten. Hier durften die Teilnehmer selbst feilen, löten, kleben, schrauben, biegen sowie Spannung als auch Stromstärke messen, was die Teilnehmer mit Konzentration und sichtlich Freude auch taten. Das ISFH unterstützte diese Aktion finanziell, so dass die jungen Teilnehmer das Modul auch behalten konnten. Zu der Solarzelle gab es passende Experimente und Anleitungen, um mit den physikalischen Grundlagen vertraut zu werden.

Wir boten diesen Workshop dreimal täglich an. Die Resonanz war überragend: Alle Workshops waren ausgebucht – wir hätten ein Vielfaches an Modulen bauen können. Darüber hinaus haben wir durchgängig Experimente als Mitmach-Angebote an mehreren Tischen mit folgenden Themen bereitgestellt:

- Erkundung der Funktion einer Solarzelle als Antrieb einer Vielzahl von Propellern
- Nutzung von Solarmodulen und Solartechnik zum Aufladen eines Smartphones
- Wirkungsgradbestimmung einer Solarzelle und Beobachtung von Spektren verschiedener Strahlungsquellen
- Vorstellung moderner, am ISFH entwickelter Solarmodule und thermischer Solarkollektoren
- Aufladung der Speicher verschiedener Modellautos mit Strom aus Solarzellen und deren Betrieb auf einer Fahrbahn

Die ganztägige Standbetreuung mit vielen Experimenten und Aktionen wurde durch die Kooperation mit dem Goethegymnasium Hildesheim und dem Gymnasium Wunstorf ermöglicht. Fast 40 Oberstufenschüler halfen beim Standaufbau und der Standbetreuung, so dass die jungen Besucher sich auch Grundkenntnisse zum Thema Solarenergie erarbeiten konnten. Auch beim Bauen halfen unsere ausgebildeten Schüler gerade den Grundschulkindern, so dass jeder Teilnehmer mit einem funktionstüchtigen Modul und einem Erfolgserlebnis nach Hause gehen konnte.

Der Modulbauworkshop des NILS-Stands auf der IdeenExpo 2017 in Hannover.
[The module construction workshop at the NILS stand at the IdeenExpo in Hannover.](#)

Our workshop was advertised in the IdeenExpo program as being particularly recommended and as an attraction where visitors could construct a solar module themselves within an hour. Here the participants were allowed to file, solder, stick, screw, bend and measure voltage as well as current themselves, which the participants also carried out with concentration and obvious enjoyment. The ISFH supported this initiative financially so that the young participants were able to retain their modules. There were also suitable experiments and instruction on the solar cells to acquaint participants with the physical principles.

We offered this workshop three times a day. The reception was phenomenal: every workshop was fully booked – we could have constructed far more modules. In addition, we continuously provided experiments as interactive activities at several tables on the following subjects:

- Researching the function of a solar cell as the means of propulsion for numerous propellers
- The use of solar modules and solar technology for charging a smartphones
- Determination of the efficiency of a solar cell and recording the spectra of various irradiation sources
- Demonstration of modern solar modules and thermal solar collectors developed at the ISFH
- Charging of the batteries of various model cars with current from solar cells and their operation on a track

The full-day manning of the stand with many experiments and activities was enabled with the cooperation of the Goethegymnasium, Hildesheim and the Gymnasium Wunstorf. Almost 40 senior students helped in the booth' set up and manning the stand so that the young visitors could also acquire basic knowledge on the subject of solar energy. Our trained school students also helped especially the primary school children with construction, so that every participant was able to go home with a functioning module and sense of achievement.



66

Es gab von jedem Tag der IdeenExpo ein „Best of“, d. h. ein kurzes Video, welches auf einem eigenen YouTube-Kanal eingestellt wurde. Im „Best of“-Clip vom 16. Juni 2017^[27] sind wir beim Modulbau zu sehen.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass viele tausend, vor allem junge Menschen unseren Stand gesehen haben und viele aktiv Experimente durchgeführt haben. Alle 300 vorbereiteten Modulbausätze wurden im Workshop erfolgreich zusammengebaut und für unsere Betreuungsschüler war es eine wichtige Erfahrung, als Experten für Solarenergie jeweils für einen Tag lang Rede und Antwort gestanden zu haben.

Zukunftstag am ISFH

Wie schon in den vergangenen Jahren erfuhr der „Zukunftstag“ große Resonanz. Diesmal lernten Mädchen und Jungen an diesem Tag, wie man Sonnenstrahlung in Schallwellen umwandelt.

Im Labor bauten die Schülerinnen und Schüler unter Anleitung ein Solarmodul mit sechs Solarzellen in Reihenschaltung. Damit führten sie anschließend Experimente im Freien durch und betrieben auch ein Radio. Außerdem wurde in der Mechanikwerkstatt des ISFH eine passende Metallhalterung für dieses Solar-Modul gebaut, um das Gerät winkelgenau zur Sonne auszurichten. Ein Bonbon: jeder Teilnehmer bekam in sein Modul den Vornamen eingraviert, als eine bleibende persönliche Erinnerung an einen Tag im Forschungsinstitut.



Anschließend fand ein ausführlicher Rundgang durch das ISFH statt, auf dem die Schülerinnen und Schüler die Arbeit von Wissenschaftlern und Technikern kennenlernten und praktische Tipps zur eigenen Berufswahl erhielten.

[27] <https://www.youtube.com/watch?v=Ov4rTihfAjo>

Every day at the IdeenExpo had a “Best of”, i. e. a short video which was uploaded onto their own YouTube channel. We appear constructing modules in the “Best of” clip of 16. June 2017^[27].

All in all it can be said that many thousands of predominantly young people saw our stand and many actively performed experiments. All 300 available module construction kits were successfully assembled in the workshop and for each of our supervising school students it was an important experience to have spent a day acting as experts on solar energy and answering questions.

Future Day at the ISFH

As in previous years, the Future Day proved very popular. This time girls and boys learned on Future Day how solar irradiation can be transformed into sound waves.

In the laboratory school students under guidance constructed a solar module with six solar cells connected in series. With it they subsequently carried out experiments outdoors and also powered a radio. In addition, a proper metal mounting for this solar module was constructed in the ISFH mechanical workshop to adjust the device exactly to the angle of the sun. A goody: every participant received a module with his first name engraved on it as a lasting personal memory of a day at the research institute.

Die Bestückung und Beschaltung des Moduls beim Zukunftstag erfordert die volle Konzentration der Mädchen.

Mounting and wiring the module at Future Day requires the girls’ full concentration.

Afterwards a detailed tour of the ISFH took place, during which the school students got to know the work of the scientists and technicians and received practical tips for their own choice of career.

[27] <https://www.youtube.com/watch?v=Ov4rTihfAjo>

Unsere jüngsten Interessenten beim Wettrennen der Solarautos.
Our youngest enthusiasts at the solar car race.



Lehrer-Fortbildungen

Am 25.4.2017 wurde ein Fortbildungskurs *Solarenergie für Grundschullehrkräfte* an der KREA-Grundschule in Berlin durchgeführt. An dieser Schule werden eine Sonnenfängerbox und ein Klassensatz PV- und Solarthermieexperimente für Grundschulen eingesetzt, die in der NILS entwickelt wurden. Ein Solar-Experte aus der Elternschaft ergänzte die Tagung durch einen Vortrag zur Notwendigkeit der Energiewende zur CO₂-Begrenzung.

Eine andere NILS-Lehrerfortbildung für die SEK I fand am 21.9.2017 im *DLR school lab* im Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) in Göttingen statt. Eine Lehrergruppe aus der Region Göttingen-Kassel führte Experimente mit NILS-ISFH-Lernstationen zur Photovoltaik und Solarthermie durch.

Am *International Solar Energy Research Center Konstanz e.V. (ISC)* wird gegenwärtig ein Schülerlabor ähnlich wie die NILS eingerichtet.

Teacher Training Courses

On 25 April 2017 a solar energy training course primary school teachers was held at the creativity primary school center (KREA) in Berlin. At this school a primary school sun catcher box and a class set with PV and solar thermal experiments for primary schools were used, which were originally developed by the NILS. A solar expert amongst the parents augmented the session with a lecture on the necessity of energy change to the limitation of CO₂.

Another NILS solar teacher training course for lower secondary school classes took place at the German Aerospace Center (DLR) school laboratory in Göttingen on 21 September 2017. A group of teachers from the Göttingen-Kassel region carried out experiments with the NILS-ISFH learning stations on photovoltaics and solar thermal energy.

A school student laboratory on solar energy similar to NILS is being created at the *International Solar Energy Research Center Konstanz e.V. (ISC)*.

Beim Zukunftstag im ISFH arbeiteten die jungen Leute im NILS-Labor praktisch und bauten ein Solarmodul, das ein Radio betreibt.

At Future Day at the ISFH young people undertook practical work in the NILS laboratory and constructed a solar module which powers a radio.



Besondere Angebote für Physik-Leistungskurschüler

Oberstufenschüler stellten selbst ein Bestrahlungsmessgerät mit einer Solarzelle als Sensor her, kalibrierten das Gerät und experimentierten damit. Das Ziel dieser Tagungen ist die Motivation und Heranführung an MINT-Berufe (Mathematik, Informatik, Naturwissenschaft, Technik). ISFH-Wissenschaftler zeigten und erläuterten den Schülerinnen und Schülern an ihrer Arbeitsstelle daher ihre Tätigkeit u.a. zu folgenden Themen:

- Kennlinienaufnahme am Flasher und Elektrolumineszenz
- Elektronenmikroskop und atomare Spektren
- Weltraumsolarzellen, besondere Entwicklungen und Anforderungen

Fortbildung zum Treibhauseffekt

Im Rahmen der Bildung für nachhaltige Entwicklung (BNE) ist der Treibhauseffekt in verschiedenen Schulfächern, beispielsweise Erdkunde, Politik oder Physik ein Unterrichtsthema. Auf einer Lehrerfortbildung am 20.9.2017 im Energie und Umweltzentrum Eldagsen boten wir einen Workshop mit folgendem Inhalt an:

Die Schüler sollen sich nicht nur theoretisch mit dem Thema auseinandersetzen, sondern durch Experimente und physikalische Erkenntnisse die naturwissenschaftliche Grundlage dieses Phänomens verstehen. Daher entwickelten wir in der NILS Modelle mit durchsichtigen, teilweise durchlöcherter Halbkugeln aus Plastik, um den Effekt im Rahmen dieser Modelle zu messen und dann auf die Erdatmosphäre zu übertragen. Als notwendige Ergänzung sollten Experimente zur Strahlungsenergie, zum Strahlungsspektrum und zur Wärmestrahlung durchgeführt werden.

Schülerinnenseminar

Auch dieses Jahr konnten wir wieder in Zusammenarbeit mit dem Arbeitsamt und der Weserbergland AG Seminare zur Berufsorientierung für Mädchen ab der 9. Klasse anbieten. Die Schülerinnen bauten ein Modul und lernten das Institut kennen. Vor allem hatten sie Gespräche mit Wissenschaftlerinnen und Mitarbeiterinnen und stellten Fragen zu den beruflichen Möglichkeiten.

Particular Offers for Students specializing in Physics

Senior school students produced an irradiation measuring device themselves with a solar cell as sensor, calibrated the device and experimented with it. The aim of the sessions is motivation for and introduction to the so-called MINT professions (mathematics, IT, natural sciences and technology). ISFH scientists therefore demonstrated and explained their work to the school students at their place of work, inter alia the following:

- Determining characteristics on the flasher and electroluminescence
- Electron microscope and atomic spectra
- Space solar cells, special developments and requirements

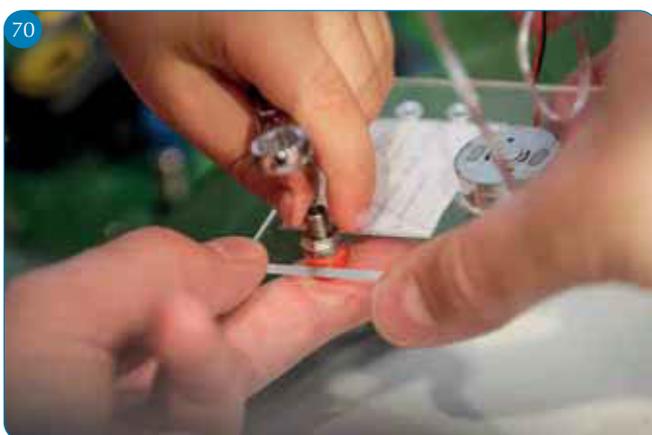
Teacher Training Courses

Under the auspices of Education for Sustainable Development (BNE), the greenhouse effect is a teaching topic in various school subjects; e.g. Geography, Politics or Physics. At a teacher training course at the Energy and Environment Center Eldagsen on 20 September 2017 we offered a workshop with the following content:

School students should not only discuss the theory of the topic, but understand the scientific basis of this phenomenon through experiments and physical experience. For this purpose we developed models at NILS with transparent, partially perforated plastic hemispheres to measure the effect on these models and then transfer it to the Earth's atmosphere. As a necessary supplement, experiments on radiation energy, the radiation spectrum and thermal radiation should be carried out.

Seminar for Female School Students

This year we were again able to offer career guidance seminars for girls from Class 9 onwards in collaboration with the Employment Office and the Weserbergland AG. The female students constructed a module and got to know the Institute. Above all they had conversations with female scientists and members of staff and asked questions about the career possibilities for girls in the environmental and technical sector. This



Ein Arbeitsschritt bei der Herstellung eines Solarmoduls.
A step in the production of a solar module.

Weiterbildung

keiten für Mädchen im Umwelt- und Technikbereich. Diese Aktion dient dazu, Schülerinnen für Ausbildungsberufe und Studiengänge im Bereich Technik und Naturwissenschaft zu motivieren und Vorbehalten gegen technische Berufe entgegenzutreten.

Physikdidaktik der Universität Hannover

Die Kooperation mit der Physik-Lehrerausbildung der Leibniz Universität Hannover wurde durch einen „Letter of Intent“ des ISFH in die Wege geleitet. Ein Promotionsstudent untersucht die Lehr- und Lernmethoden an außerschulische Lernorten und evaluiert in diesem Zusammenhang auch die Arbeit der NILS.

Facharbeiten und *Jugend-forscht*

Auch dieses Jahr betreuten wir wieder *Jugend-forscht*-Arbeiten. Oberstufenschüler untersuchten die Speicherung von Energie mit Goldcaps und Anwendungen. Eine Arbeit über solarbetriebene Modellboote der jüngeren Schüler erlangte den 2. Preis beim Regionalwettbewerb in Hildesheim.

initiative is intended to motivate female students to choose apprenticeships and university courses in the science and technology sector and counter pre-existing reservations towards technical professions.

Physics Teaching at the Leibniz Universität Hannover

The collaboration with the training of physics teachers at the Leibniz University, Hanover was arranged with a letter of intent of the ISFH. A postgraduate student is studying teaching and learning methods at out-of-school learning locations and also evaluating the work of NILS in this connection.

Term papers and *Jugend-forscht*

This year again we supervised *Jugend-forscht* (youth research) competition entries. Senior school students tested the storage of energy with goldcaps and applications. The younger school students' entry about solar-powered model boats gained the second prize in the regional competition in Hildesheim.

Unter fachkundiger Anleitung können die Mädchen ihren Namen in den Träger des Moduls gravieren.

Under expert supervision the girls can engrave their names in the supports of the module.

Facharbeiten wurden u.a. zu folgenden Themen erstellt:

- Vergleich der Effizienz von verschiedenen 12V-Reflektorlampen mit Abstrahlungswinkel von 30-50°
- Wärmestrahlung: Versuche zum Abstrahlungsgesetz
- Messung der Bestrahlungsstärke der direkten und indirekten Sonnenstrahlung in Hildesheim
- SmartGrids – Darstellung und Simulation

Das Seminarfach Solarenergie des Goethegymnasiums wird schon seit über zehn Jahren regelmäßig durchgeführt. Der Lehrgang ist eng mit der NILS über Material- und Informationsaustausch verbunden. Durch diese Ausbildung sind diese Schüler und Schülerinnen in der Lage, z. B. beim Tag der offenen Tür der Schule oder am Stand der IdeenExpo, Auskunft an Gleichaltrige weiterzugeben (peer-learning). Darüber hinaus ist das Seminarfach jahrgangsübergreifend angelegt, so dass die jüngeren Schüler von älteren lernen.



Entries were made inter alia on the following topics:

- Comparison of the efficiency of various 12V reflector lamps with beam angles of 30-50°
- Thermal radiation: experiments on Planck's radiation law
- Measurement of the strength of irradiation of direct and indirect sunlight in Hildesheim
- SmartGrids – representation and simulation

The Goethegymnasium's seminar subject of Solar Energy has been regularly taught for over ten years. The course is closely connected to NILS with an exchange of materials and information. Through this training school students are able to give their peers information at the school open day or the stand at the IdeenExpo (peer-learning). In addition, the seminar subject is structured on an inter-year basis so that the younger students learn from the older ones.



Durchführung von solartechnischen Experimenten auf einer Lehrerfortbildung.

Performance of solar technical experiments at a teacher training course.

Projekttag am Hölty-Gymnasium

Im 7. Jahrgang führten wir im Hölty-Gymnasium in Wunstorf Projekttag durch. Die Schülerinnen und Schüler wurden in den Grundlagen der Solarenergienutzung geschult, bauten Solarmodule und experimentierten mit diesen. Oberstufenkurse des Gymnasiums besuchten das ISFH, bauten ein Bestrahlungsstärkemessgerät und informierten sich über moderne Forschung. Weiterhin unterstützten Schüler des Gymnasiums den NILS-Stand auf der IdeenExpo und betreuten die Experimente zur Solarenergie.

Marion-Dönhoff Gymnasium Nienburg

NILS unterstützte aktiv die Planung, Durchführung und Logistik des Sonne-Erde-Energie Projekts im 9. Jahrgang des Marion-Dönhoff-Gymnasiums Nienburg. Wir betreuten den Bau des Solarmoduls SUSE CM318 mit zwei Solarzellen, die unterschiedlich verschaltet werden können. Mit diesen Solarzellen führten die Schüler unter Anleitung der Fachlehrer des Gymnasiums Experimente durch und eigneten sich die physikalisch-technischen Aspekte der Solarenergienutzung an.

Das Projekt ist fächerübergreifend angelegt. Mit den Erdkundelehrern wird die Solarstrahlung behandelt. Die unterschiedlichen Einstrahlungen und Erträge in verschiedenen Erdteilen werden untersucht und diskutiert. Außerdem sind Deutschlehrer eingebunden, da die Schülerinnen und Schüler lernen sollen, mit den gängigen Mitteln der EDV ihre Ergebnisse zu protokollieren und Bilder, Zitate und Quellenangaben richtig einzuarbeiten.

Die Rückmeldungen der Lehrer und Schüler waren sehr positiv. Die starke aktive Beteiligung der Schülerinnen und Schüler und die Erfolgserlebnisse beim Bau des Moduls bilden eine bleibende, positive Erfahrung für die Jugendlichen.

Project days at the Hölty-Gymnasium

We held project days with Class 7 at the Hölty-Gymnasium in Wunstorf. The school students were taught about the basics of solar energy use, constructed solar modules and experimented with them. Senior class courses visited the ISFH, constructed an irradiance measurement device and informed themselves about modern research. In addition, school students from the Gymnasium assisted on the NILS stand also at the IdeenExpo and supervised the experiments with solar energy.

Marion-Dönhoff-Gymnasium, Nienburg

NILS actively assisted the planning, implementation and logistics of the Sun-Earth-Energy Project in Class 9 of the Marion-Dönhoff-Gymnasium, Nienburg. We supervised the construction of the solar module SUSE CM318 with two solar cells which can be wired up differently. With these solar cells the school students carried out experiments under the supervision of specialist teachers at the Gymnasium and acquired the physical-technical aspects of solar energy use.

The project is structured from an interdisciplinary perspective. Solar radiation is dealt with by geography teachers. The various irradiation and yields in different parts of the world are studied and discussed. Furthermore, German teachers are also involved as the school students are intended to learn how to record their results with conventional EDP methods and properly to integrate pictures, quotations and details of sources.

The feedback from teachers and school students was very positive. The strong active participation of the school students and the sense of achievement in constructing the modules create a lasting positive experience for the young people.

Bestimmung des Wirkungsgrads einer Solarzelle auf der IdeenExpo in Hannover.
[Determining the efficiency of a solar cell at the IdeenExpo in Hanover.](#)

Albert-Einstein-Gymnasium Hameln

Als langjährige Kooperationsschule unterstützte NILS die Schüler der Schule im Rahmen ihrer Projektwoche beim Bau und Experimentieren mit einem Solarauto. Neben dem Besuch des ISFH stand auch die Präsentation der Ergebnisse in Hameln auf dem Programm.



Albert-Einstein-Gymnasium, Hameln

NILS assisted the students of the school in the construction of and experimentation with a solar car as part of their project week. In addition to visiting the ISFH, a presentation of the results in Hameln was on the program.

Volker Napp, Wolf-Rüdiger Schanz, Marie-Luise Kröger, Frank Tittel, Roland Goslich

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

Inland/National

Energieforschungszentrum Niedersachsen (efzn); Goslar

Fachhochschule Düsseldorf; Düsseldorf

Fachhochschule Nordhausen; Nordhausen

Forschungszentrum Jülich GmbH, Projektträger Jülich (PTJ); Jülich

Fraunhofer-Center für Silizium-Photovoltaik (CSP); Halle

Fraunhofer-Institut für Bauphysik (IBP); Stuttgart

Fraunhofer-Institut für Energiewirtschaft und Energiesystemtechnik (IEE); Kassel

Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme (ISE); Freiburg

Georg-August-Universität Göttingen, IV. Physikalisches Institut; Göttingen

Geowissenschaftliches Zentrum der Universität Göttingen; Göttingen

Helmholtz-Zentrum Berlin für Materialien und Energie GmbH; Berlin

Hochschule Düsseldorf, Zentrum für Innovative Energiesysteme; Düsseldorf

Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg (HAW); Hamburg

Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin (HTW); Berlin

Hochschule Weserbergland (HSW); Hameln

Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG); Hannover

Leibniz Universität Hannover, Institut für Elektrische Energiesysteme (IfES); Hannover

Leibniz Universität Hannover, Institut für Materialien und Bauelemente der Elektronik (MBE); Hannover

Leibniz Universität Hannover, Institut für Statik und Dynamik (ISD); Hannover

Leibniz Universität Hannover, Institut für Thermodynamik (IfT); Hannover

Leibniz Universität Hannover, Institut für Umweltplanung (IUP); Hannover

Max Planck Institut für Mikrostrukturphysik; Halle

NEXT ENERGY – EWE Forschungszentrum für Energietechnologie e.V.; Oldenburg

Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB); Braunschweig

Technische Universität Chemnitz, Institut für Physik Optik und Photonik kondensierter Materie (OPKM); Chemnitz

TU Bergakademie Freiberg, Institut für Wärmetechnik und Thermodynamik; Freiberg

TU Clausthal, Institut für Elektrische Energietechnik und Energiesysteme; Clausthal-Zellerfeld

Universität Kassel, Institut für Thermische Energietechnik, Fachgebiet Solar- und Anlagentechnik; Kassel

Universität Kiel, Technische Fakultät, Lehrstuhl für Allgemeine Materialwissenschaft; Kiel

Universität Konstanz, Fachbereich Physik; Konstanz

Universität Stuttgart, Institut für Thermodynamik und Wärmetechnik (ITW); Stuttgart

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

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

Centre Suisse D'electronique Et De Microtechnique Sa – Recherche Et Developpement (csem); Neuchatel, Schweiz

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

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

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

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

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

University of Warwick, School of Engineering; Coventry, Großbritannien

Univerza V Ljubljani (ul); Ljubljana, Slowenien

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

Inland/National

3M Deutschland GmbH; Neuss	h.a.l.m. elektronik gmbh; Frankfurt am Main
Aescusoft GmbH; Freiburg	Heimkehr Wohnungsgenossenschaft eG; Hannover
AkoTec Produktionsgesellschaft mbH; Angermünde	HELMA Eigenheimbau AG; Lehrte
Antec Solar; Arnstadt	Heraeus Deutschland GmbH&Co KG; Leverkusen
ArcelorMittal Construction Deutschland GmbH; Sanderdorf-Brehna	HERO-Glass Veredelungs GmbH; Dersum
Architektur- und TGA-Planungsbüro Carsten Grobe Passivhaus; Hannover	Ingenieurbüro Mencke & Tegtmeyer GmbH; Hameln
Arcon-Sunmark GmbH; Regensburg	janßen energieplanung; Hannover
ATHE-Therm Heizungstechnik GmbH; Emmerthal	Kälte Klima GmbH; Hameln
Bosch Thermotechnik GmbH; Wetztingen	KBB Kollektorbau GmbH; Berlin
Bundesverband Flächenheizung u. -kühlung e.V.; Neuenkirchen-Vörden	Klimaschutzagentur Weserbergland; Hameln
Bundesverband Wärmepumpe; Berlin	Konvortec GmbH; Schermbeck
centrotherm photovoltaics AG; Blaubeuren	LiSEC Deutschland GmbH; Kassel
CS Wismar GmbH; Wismar	MBJ Services GmbH; Hamburg
DIN CERTCO Gesellschaft für Konformitätsbewertung mbH; Berlin	Meyer Burger AG; Hohenstein-Ernstthal
edevis GmbH; Stuttgart	Narva Lichtquellen GmbH + Co. KG; Brand-Erbisdorf
Elodrive GmbH; Rösrath	neonsee GmbH; Konstanz
Energieservice Westfalen-Weser GmbH; Kirchlingern	Pommerening Armaturenwerk GmbH & Co. KG; Hameln
Energy Glas Glasbeschichtungsgesellschaft mbH & Co. KG; Wolfhagen	pro Klima GbR bei der Stadtwerke Hannover AG; Hannover
Evonik Industries AG; Essen	PV-Engineering GmbH; Iserlohn
FOSTA-Forschungsvereinigung Stahlanwendung e.V.; Düsseldorf	pv-tools GmbH; Hameln
Freiberg Instruments; Freiberg	RESOL – Elektronische Regelungen GmbH; Hattingen
GeoEn Energy Technologies GmbH; Berlin	Ritter XL Solar; Dettenhausen
Gochermann Solar Technology; Holm	Schlenk Metallfolien GmbH & Co. KG; Roth-Barnsdorf
Goldbeck GmbH; Hirschberg	Schmöle GmbH; Menden
	Sika Deutschland GmbH; Bad Urach
	SolarWorld Industries GmbH; Arnstadt

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

SolarWorld Industries GmbH; Freiberg

Solvis GmbH; Braunschweig

SpaceTech GmbH; Immenstaad

Stiebel Eltron GmbH & Co. KG; Holzminden

tec5 AG; Oberursel

TÜV Rheinland Energie und Umwelt GmbH; Köln

Vaillant Deutschland GmbH; Remscheid

VEKA AG; Sendenhorst

Viessmann Werke GmbH & Co. KG; Allendorf

Von Ardenne GmbH; DRESDEN

Wacker Chemie AG; Burghausen

Wagner Solar GmbH; Kirchhain

Ausland/International

1366 Technologies Inc.; Bedford, USA

Ayming; Asnieres Sur Seine, Frankreich

CGA Technologies spa; Cividale del Friuli (Udine), Italien

Ecosolifer Modulgyarto Fotovillamos Technologiak Korlatolt Felelossegu Tarsasag; Csorna, Ungarn

Environmental Resources Management Limited; London, Großbritannien

EVASA (HQ); A Coruña, Spanien

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

Kingspan Environmental Ltd.; Portadown, Nordirland

Kiwa Cermet Italia; Cormano (MI), Italien

Meco Equipment Engineers BV; Drunen, Niederlande

Meyer Burger AG; Thun, Schweiz

Pasan SA; Neuchâtel, Schweiz

Savosolar Oy; Mikkeli, Finnland

Sinton Instruments; Boulder, USA

SoLayTec BV; Eindhoven, Niederlande

Total Marketing Services; Puteaux, Frankreich

Viessmann S.A.S; 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 (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

Institutskolloquien/*Institute colloquia*

Eitner U.: *Themen der Modultechnologie am Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme (FhG-ISE)*. Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme (ISE), Freiburg. (Instituts-Kolloquium), ISFH, Emmerthal, 1.8.2017

Geipel T.: *Elektrisch leitfähige Klebstoffe für Photovoltaik-Module*. Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme (ISE), Freiburg. (Instituts-Kolloquium), ISFH, Emmerthal, 5.12.2017

Meyer R.: *Wenig beachtet und doch unerlässlich – Elektrische Anschlusstechnik in Solaranlagen*. Phoenix Contact GmbH & Co. KG, Blomberg. (Instituts-Kolloquium), ISFH, Emmerthal, 7.2.2017

Naumann V.: *PID-shunting and investigations on the formation of stacking faults*. Fraunhofer-Center für Silizium-Photovoltaik CSP, Gruppe Diagnostik Solarzellen, Halle. (Instituts-Kolloquium), ISFH, Emmerthal, 14.2.2017

Orozaliev J.: *Regenerative Wärmeversorgung des Neubaugebiets „Zum Feldlager“ in Kassel*. Institut für Thermische Energietechnik, Universität Kassel, Kassel. (Instituts-Kolloquium), ISFH, Emmerthal, 24.1.2017

Placke T.: *Batterietechnologien für die Elektromobilität: Aktueller Stand und Perspektiven*. Universität Münster MEET – Münster Electrochemical Energy Technology, Münster. (Instituts-Kolloquium), ISFH, Emmerthal, 11.4.2017

Schmidt T.: *Fluidmechanik, Herstellung und Anwendung von flüssigkeitsdurchströmtem Kapillarglas*. Flachglas Sachsen GmbH, Grimma. (Instituts-Kolloquium), ISFH, Emmerthal, 7.11.2017

Strodel N.: *Die saisonale Wärmespeicherung in einem Aquifer im Verbund mit der Kraft-Wärme-Kopplung und der Solarthermie – Modellierung, Anlagenkonzepte und Komponenten-Verhalten auf Gesamtsystemebene*. Leuphana Universität Lüneburg, Lüneburg. (Instituts-Kolloquium), ISFH, Emmerthal, 17.1.2017

Su L.: *Fluidmechanik, Herstellung und Anwendung von flüssigkeitsdurchströmtem Kapillarglas*. Beuth-Hochschule, Berlin, Berlin. (Instituts-Kolloquium), ISFH, Emmerthal, 7.11.2017

Tamboli A.: *Finding new PV absorber materials for terrawatt scaling*. Colorado School of Mines and National Renewable Energy Laboratory (NREL), Golden, Colorado, USA. (Instituts-Kolloquium), ISFH, Emmerthal, 30.5.2017

Van Sark W.G.: *Photovoltaics has paid its carbon debt*. Copernicus Institute of Sustainable Development, Utrecht University, Utrecht, Niederlande. (Instituts-Kolloquium), ISFH, Emmerthal, 9.5.2017

Wambach K.: *Recycling von PV Modulen – Technik, Nachhaltigkeit, Regulierung und Wirtschaftlichkeit*. bifa Umweltinstitut GmbH, Augsburg. (Instituts-Kolloquium), ISFH, Emmerthal, 27.6.2017

Wende - von Berg S.: *Verbesserung der Netzstabilität mithilfe von erneuerbaren Anlagen und Optimierungsalgorithmen in der Hochspannung*. Fraunhofer-Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik IWES, Gruppe Netzplanung und -betrieb, Kassel. (Instituts-Kolloquium), ISFH, Emmerthal, 28.3.2017

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 Standards in der Photovoltaik; Technisches Mitglied

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

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

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

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

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

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

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

Brendel R.: Auswahlgremium für das Promotions-Stipendienprogramm der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU); Mitglied

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

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

Mitarbeit in Fachgremien/Membership in professional bodies

- Brendel R.: Leibniz Forschungszentrum Energie 2050, Leibniz Universität Hannover (LiFE); Vorstand
- Brendel R.: Institut für Festkörperphysik, Fakultät für Mathematik und Physik, Leibniz Universität Hannover; Vorstand
- Dullweber T.: Photovoltaics International; Mitglied des Editorial Advisory Boards
- Dullweber T.: European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition; Mitglied des Scientific Committee
- Eggert D.: Erfahrungsaustauschkreis der Prüflaboratorien *Thermische Solaranlagen und ihre Bauteile (EK-TSuB)*, unter Leitung von DIN CERTCO Gesellschaft für Konformitätsbewertung mbH; Mitglied
- 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
- Giovanetti F.: BSW, Fachgruppe *Markt und Wirtschaftlichkeit* und Fachgruppe *Prozesswärme*; Gast
- Giovanetti F.: IEA SHC TASK 54, *Price Reduction of Solar Thermal Systems*; Mitglied
- Giovanetti F.: Arbeitsgruppe Energieversorgung Region Hannover; Mitglied
- Giovanetti F.: Deutsche Solarthermie-Technologieplattform (DSTTP); Mitglied des Beirats
- Goslich R.: Energy Award, Westfalen Weser Energie GmbH & Co. KG, Paderborn; Jurymitglied
- Kastner O.: Continuum Mechanics and Thermodynamics (Springer); Editor
- Kastner O.: Arbeitsgruppe Energieversorgung Region Hannover; Mitarbeit
- Kastner O.: Leibniz Forschungszentrum Energie2050 (LiFE2050), Universität Hannover; Mitglied
- Kastner O.: Projekt *Zwanzig20 Forum Wärmewende*, Deutsches GeoForschungszentrum Potsdam; Mitglied des Strategiekreises
- Kastner O.: Symposium Thermische Solarenergie (OTTI), Bad Staffelstein; Mitglied des Tagungsbeirats
- Köntges M.: IEA TASK 13, *Performance and Reliability of Photovoltaic Systems*; Mitglied
- Köntges M.: Symposium Photovoltaische Solarenergie (OTTI), Bad Staffelstein; Mitglied des Tagungsbeirates
- Köntges M.: PV Module Technology & Applications Forum 2018; Mitglied des Tagungsbeirates
- Lampe C.: Arbeitskreis *Normung und Technik* von BDH und BSW; Gast
- Lampe C.: Solar Keymark Network (SKN); Mitglied
- Lampe C.: ISO/TC 180/WG3, *Solar energy – Collector components and materials*; Mitglied
- Lampe C.: Global Solar Certification Network; 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.: 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.: CEN/TC 312/WG1, *Thermal solar systems and components – Solar collectors*; Mitglied
- Lampe C.: Arbeitsausschuss NA 041-01-56 (Thermische Solaranlagen) im DIN/NHRS, zugleich nationaler Spiegelausschuss zu CEN/TC 312 und ISO/TC180; Mitglied
- Napp V.: *Jugend-forscht*, Regionalwettbewerb Hildesheim; Jurymitglied
- Niepelt R.: ForschungsVerbund Erneuerbare Energien, Berlin; Mitglied des Programmkomitees zur Jahrestagung
- Schiebler B.: IEA SHC TASK 54 *Price Reduction of Solar Thermal Systems*; Mitglied
- Schmidt J.: IEEE Journal of Photovoltaics; Editor
- Schmidt J.: International Workshop on Crystalline Silicon Solar Cells (CSSC); Member International Advisory Committee
- Schmidt J.: SiliconFOREST (Fortschritte in der Entwicklung von Solarzellen-Strukturen und -Technologien), Doktoranden- und Diplomanden-Workshop; Mitglied des Programmkomitees
- Schmidt J.: European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition; Mitglied des Scientific Committee
- Schmidt J.: npv workshop; Mitglied im Organisationskomitee

Ausstellungen & Fachtagungen/Fairs & congresses

EWE Hochschul-Kolloquium *Regenerative Wärmeversorgung von Quartieren*, Emmerthal, 6.3.2017; Mitveranstalter & Mitorganisator

Hannover Industriemesse 2017, Hannover, 24.-28.4.2017; Mitaussteller

IdeenExpo 2017, Hannover, 10.-18.6.2017; Aussteller

Informationsveranstaltung *Solare Fernwärme Niedersachsen*, Hameln, 21.9.2017; Veranstalter und Organisator

Intersolar 2017, München, 31.5.-2.6.2017; Aussteller

Projektabschlussworkshop *Energieeffiziente Niedrigenergiegebäude*, Freiberg, 13.-14.9.2017; Veranstalter und Organisator

SiliconFOREST (Fortschritte in der Entwicklung von Solarzellen-Strukturen und -Technologien), Falkau, 9.-11.10.2017; Mitorganisator

Solarpraktikum für Schülerinnen, Emmerthal, 30.8.2017; Veranstalter

Sommerfest Leibniz Universität Hannover, Hannover, 6.7.2017; Mitveranstalter

Sommeruniversität Rinteln, Rinteln, 19.6.2017; Mitveranstalter

Zukunftstag für Mädchen und Jungen, Emmerthal, 27.4.2017; Veranstalter

Veröffentlichungen in referierten Zeitschriften/Peer-reviewed publications

Bredemeier D., Walter D., Schmidt J.: *Light-induced lifetime degradation in high-performance multicrystalline silicon: Detailed kinetics of the defect activation*. Solar Energy Materials & Solar Cells, Elsevier, 173, 2-5, DOI: 10.1016/j.solmat.2017.08.007, (2017)

Bredemeier D., Walter D., Schmidt J.: *Possible candidates for impurities in mc-Si wafers responsible for light-induced lifetime degradation and regeneration*. Solar RRL, DOI: 10.1002/solr.201700159, im Druck, (2017)

Dullweber T., Hannebauer H., Dorn S., Schimanke S., Merkle A., Hampe C., Brendel R.: *Emitter saturation current densities of 22 fA/cm² applied to industrial PERC solar cells approaching 22% conversion efficiency*. Progress in Photovoltaics: Research and Applications, 25 (7), 509-514, DOI: 10.1002/pip.2806, (2017)

Gemmel C., Hensen J., Kajari-Schröder S., Brendel R.: *4.5 ms Effective Carrier Lifetime in Kerfless Epitaxial Silicon Wafers From the Porous Silicon Process*. IEEE Journal of Photovoltaics, 7 (2), 430-436, DOI: 10.1109/JPHOTOV.2016.2642640, (2017)

Gogolin R., Zielke D., Descoedres A., Despeisse M., Ballif C., Schmidt J.: *Demonstrating the high V_{oc} potential of PEDOT:PSS/c-Si heterojunctions on solar cells*. Energy Procedia, 124, 593, (2017)

Haase F., Kiefer F., Schäfer S., Kruse C., Krügener J., Brendel R., Peibst R.: *Interdigitated back contact solar cells with polycrystalline silicon on oxide passivating contacts for both polarities*. Jpn. J. Appl. Phys., 08MB15, 56, (2017)

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, 23-29, DOI: 10.1109/JPHOTOV.2017.2762592, (2017)

Hirsch H., Hüsing F.: *Modellierung und Simulation von Erdwärmekollektoren in Wärmeversorgungssystemen*. GI – Gebäudetechnik in Wissenschaft & Praxis, 137 (6), 412-419, ISSN 2195-643X, Augsburg, (2016)

Kastner O., Norden B., Klapperer S., Park S., Urpi L., Cacace M., Blöcher G.: *Thermal Solar Energy Storage in Jurassic Aquifers in Northeastern Germany: A Simulation Study*. Renewable Energy, 104, 290-306, (2017)

Krügener J., Haase F., Rienäcker M., Brendel R., Peibst R.: *Improvement of the SRH bulk lifetime upon formation of n-type POLO junctions for 25%-efficient Si solar cells*. Solar Energy Materials & Solar Cells, Elsevier, 173, 85, (2017)

Kruse C.N., Wolf M., Schinke C., Hinken D., Brendel R., Bothe K.: *Impact of contacting geometries on measured fill factors*. Energy Procedia, 124, 84, (2017)

Kruse C.N., Wolf M., Schinke C., Hinken D., Brendel R., Bothe K.: *Impact of contacting geometries when measuring fill factors of solar cell current-voltage characteristics*. IEEE Journal of Photovoltaics, 7, 747, (2017)

Veröffentlichungen in referierten Zeitschriften/Peer-reviewed publications

Larionova Y., Turcu M., Reiter S., Brendel R., Tetzlaff D., Krügener J., Wietler T.F., Höhne U., Kähler J.-D., Peibst R.: *On the recombination behavior of p^+ -type polysilicon on oxide junctions deposited by different methods on textured and planar surfaces.* Phys. Status Solidi A, 214, 1700058, (2017)

Min B., Krügener J., Müller M., Bothe K., Brendel R.: *Fundamental consideration of junction formation strategies for phosphorus-doped emitters with $J_{0e} < 10 \text{ fA/cm}^2$.* Energy Procedia, 124, 126, (2017)

Min B., Kruse C., Schinke C., Wolf M., Müller M., Sträter H., Wagner M., Bothe K., Brendel R.: *Identifying the location of recombination from voltage-dependent quantum efficiency measurements.* Energy Procedia, 124, 120, (2017)

Min B., Müller M., Wagner H., Fischer G., Brendel R., Altermatt P.P., Neuhaus H.: *A Roadmap Toward 24% Efficient PERC Solar Cells in Industrial Mass Production.* IEEE Journal of Photovoltaics, 7, 1541, (2017)

Morlier A., Siebert M., Kunze I., Mathiak G., Koentges M.: *Detecting Photovoltaic Module Failures in the Field During Daytime With Ultraviolet Fluorescence Module Inspection.* IEEE Journal of Photovoltaics, 7, 1710, (2017)

Nabavi S.R., Haase F., Jansen E., Rolfes R.: *Monte-Carlo simulation of the cofiring process in polycrystalline silicon solar cells: Effects of material heterogeneity and thickness uncertainties.* Solar Energy Materials & Solar Cells, Elsevier, 170, 263, DOI: 10.1016/j.solmat.2017.06.012, (2017)

Peest C., Schinke C., Brendel R., Schmidt J., Bothe K.: *Instrumentation-related uncertainty of reflectance and transmittance measurements with a two channel spectrophotometer.* Rev. Sci. Instrum., 88, 015105, (2017)

Rienäcker M., Bossmeyer M., Merkle A., Römer U., Haase F., Krügener J., Brendel R., Peibst R.: *Junction resistivity of carrier-selective polysilicon on oxide junctions and its impact on solar cell performance.* IEEE Journal of Photovoltaics, 7, 11, (2017)

Schäfer S., Haase F., Peibst R., Brendel R.: *Silicon nanopowder as diffuse rear reflector for silicon solar cells.* J. Appl. Phys., 122, 053102, (2017)

Schulte-Huxel H., Witteck R., Holst H., Vogt M.R., Blankemeyer S., Hinken D., Brendemühl T., Dullweber T., Bothe K., Köntges M., Brendel R.: *High-Efficiency Modules With Passivated Emitter and Rear Solar Cells – An Analysis of Electrical and Optical Losses.* IEEE Journal of Photovoltaics, 7, 25, (2017)

Stang J.-C., Franssen T., Haschke J., Mews M., Merkle A., Peibst R., Rech B., Korte L.: *Optimized Metallization for Interdigitated Back Contact Silicon Heterojunction Solar Cells.* Solar RRL, 1 (3-4), 1700021, DOI: 10.1002/solr.201700021, (2017)

Stang J.-C., Hendrichs M.-S., Merkle A., Peibst R., Stannowski B., Korte L., Rech B.: *ITO-free metallization for interdigitated back contact silicon heterojunction solar cells.* Energy Procedia, 124, 379, (2017)

Steckenreiter V., Walter D., Schmidt J.: *Kinetics of the permanent deactivation of the boron-oxygen complex in crystalline silicon as a function of illumination intensity.* AIP Advances, 7, 035305, DOI: 10.1063/1.4978266, (2017)

Steckenreiter V., Walter D., Schmidt J.: *Two-stage permanent deactivation of the boron-oxygen-related recombination center in crystalline silicon.* Energy Procedia, 124, 799, (2017)

Tetzlaff D., Dzinnik M., Krügener J., Larionova Y., Reiter S., Turcu M., Peibst R., Höhne U., Kähler J.-D., Wietler T.F.: *Introducing pinhole magnification by selective etching: application to poly-Si on ultra-thin silicon oxide films.* Energy Procedia, 124, 435, (2017)

Tetzlaff D., Krügener J., Larionova Y., Reiter S., Turcu M., Haase F., Brendel R., Peibst R., Höhne U., Kähler J.-D., Wietler T.F.: *A simple method for pinhole detection in carrier selective POLO-junctions for high efficiency silicon solar cells.* Solar Energy Materials & Solar Cells, Elsevier, 173, 106, (2017)

Titova V., Veith-Wolf B., Startsev D., Schmidt J.: *Effective passivation of crystalline silicon surfaces by ultrathin atomic-layer-deposited TiO_x layers.* Energy Procedia, 124, 441, (2017)

Veith-Wolf B., Schmidt J.: *Unexpectedly high minority-carrier lifetimes exceeding 20ms measured on 1.4- Ωcm n-type silicon wafers.* Phys. Status Solidi RRL, 11, 1700235, (2017)

Vogt M.R., Holst H., Schulte-huxel H., Blankemeyer S., Witteck R., Bujard P., Kues J.-B., Schinke C., Bothe K., Köntges M., Brendel R.: *PV module current gains due to structured backsheets.* Energy Procedia, 124, 495, DOI: 10.1016/j.egypro.2017.09.286, (2017)

Vogt M.R., Schulte-Huxel H., Offer M., Blankemeyer S., Witteck R., Köntges M., Bothe K., Brendel R.: *Reduced module operating temperature and increased yield of modules with PERC instead of Al-BSF solar Cells.* IEEE Journal of Photovoltaics, 7, 44, (2017)

Walter D., Falster R., Voronkov V.V., Schmidt J.: *On the equilibrium concentration of boron-oxygen defects in crystalline silicon.* Solar Energy Materials & Solar Cells, Elsevier, 173, 33, (2017)

Veröffentlichungen in referierten Zeitschriften/Peer-reviewed publications

Wietler T.F., Tetzlaff D., Krügener J., Rienäcker M., Haase F., Larionova Y., Brendel R., Peibst R.: *Pinhole density and contact resistivity of carrier selective junctions with polycrystalline silicon on oxide*. Appl. Phys. Lett., 110, 253902, (2017)

Witteck R., Byungsul M., Schulte-Huxel H., Holst H., Veith-Wolf B., Kiefer F., Vogt M.R., Köntges M., Peibst R., Brendel R.: *UV radiation hardness of photovoltaic modules featuring crystalline Si solar cells with AlO_x/p^+ -type Si and SiN_x/n^+ -type Si interfaces*. Phys. Status Solidi RRL, 11, 1700178, (2017)

Witteck R., Veith-Wolf B., Schulte-Huxel H., Morlier A., Vogt M.R., Köntges M., Brendel R.: *UV-induced degradation of PERC solar modules with UV-transparent encapsulation materials*. Progress in Photovoltaics: Research and Applications, 25, 409, DOI: 10.1002/pip.2861, (2017)

Wolter S.J., Geisler D., Hensen J., Köntges M., Kajari-Schröder S., Bahnemann D.W., Brendel R.: *Empirical model predicting the layer thickness and porosity of p-type mesoporous silicon*. Semicond. Sci. Technol., 32 (4), 45007, DOI: 10.1088/1361-6641/aa5bb7, (2017)

Andere Veröffentlichungen/Other publications

Arnold O., Mercker O., Steinweg J., Rockendorf G.: *Efficiency Analysis of Solar Assisted Heat Supply Systems in Multi-Family Houses*. Proc. 11th ISES EuroSun Conference, ISES (International Solar Energy Society), Palma de Mallorca, Spanien, (2017)

Bröer G.: *Sonne kompensiert Verluste in Mehrfamilienhäusern*. SolarthemenPlus, Verlag Bröer & Witt GbR, 2, ISSN: 1434-1530, Löhne, (03/2017)

Brötje S., Kirchner M., Giovannetti F.: *Performance and heat transfer analysis of unglazed photovoltaic-thermal collectors with detachable compound*. Proc. 11th ISES EuroSun Conference, ISES (International Solar Energy Society), Palma de Mallorca, Spanien, (2017)

Dobson W.A., Sinton R.A., Wilterdink H., Blum A., Dinger J., Sainsbury C., Bothe K., Hinken D., Wolf M.: *Accuracy of solar simulator spectral determination using band-pass filtering method*. Proc. 44th IEEE Photovoltaic Specialists Conference, IEEE, im Druck, Washington D.C., USA, (2017)

Dullweber T., Schulte-Huxel H., Kranz C., Blankemeyer S., Baumann U., Witteck R., Peibst R., Köntges M., Brendel R., Yao Y.: *Bifacial PERC+ solar cells and modules: An overview*. Proc. 33rd European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, WIP, 649-656, DOI: 10.4229/EUPVSEC20172017-2AV.2.20, ISBN: 3-936338-47-7, Amsterdam, Niederlande, (2017)

Francke H., Saadat A., Kastner O., Park S., Ruch O., Seelig H., Acksel D.: *Aquiferspeicher-gestützte, solarthermische Wärmeversorgung von Bestandsquartieren*. Wärmewende am Beispiel Quartier: Ein Beitrag zur Energiewende, Acksel D., Huenges E., Kastner O. (Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ, Potsdam), DOI: 10.2312/GFZ.7.0.2017.001, Potsdam, (2017)

Giovannetti F., Kirchner M., Albert M.: *Design Options for Uncovered Photovoltaic-Thermal Glass-Glass Panels*. Proc. 11th ISES EuroSun Conference, ISES (International Solar Energy Society), Palma de Mallorca, Spanien, (2017)

Giovannetti F., Kirchner M., Brötje S.: *Solaraktivierte Gebäudehüllen: Von der Forschung in die Praxis*. Tagungsband 9. Effizienz-Tagung Bauen + Modernisieren, Hannover, (2017)

Giovannetti F., Kirchner M., Geissler J., Schneider E., Huesing F.: *Performance and potential analysis of solar thermal glass panels for building integration*. Proc. 33rd ISES Solar World Congress/5th SHC Conference, im Druck, Abu Dhabi, VAE, (2017)

Helbig S., Eggert D., Adam M.: *Energetic and Economic Efficiency Evaluation of Solar Assisted Heating Systems for Multi-Family Houses*. Proc. 33rd ISES Solar World Congress/5th SHC Conference, im Druck, Abu Dhabi, VAE, (2017)

Helbig S., Steinweg J., Eggert D., Herz A., Adam M.: *Gesamt-systembewertung von solar unterstützten Wärmeversorgungskonzepten in Mehrfamilienhäusern – Effizienz gegenüber Wirtschaftlichkeit*. Tagungsband 27. Symposium Thermische Solarenergie, Ostbayerisches Technologie-Transfer-Institut e.V. (OTTI), Bad Staffelstein, (05/2017)

Hüsing F., Hirsch H., Rockendorf G.: *Combination of Solar Thermal Collectors and Horizontal Ground Heat Exchangers as Optimized Source for Heat Pumps*. Proc. 11th ISES EuroSun Conference, ISES (International Solar Energy Society), Palma de Mallorca, Spanien, (2017)

Andere Veröffentlichungen/Other publications

Hüsing F., Mercker O., Hirsch H., Steinweg J.: *Solare Regeneration von Erdwärmekollektoren – Reduzierter Flächenbedarf bei hoher Effizienz*. Tagungsband 27. Symposium Thermische Solarenergie, Ostbayerisches Technologie-Transfer-Institut e.V. (OTTI), Bad Staffelstein, (05/2017)

Kajari-Schröder S., Gemmel C., Hensen J., Brendel R.: *Towards Multi Millisecond Spatially Homogeneous Carrier Lifetimes from Epitaxial Silicon Wafers Grown on Porous Silicon*. Proc. 33rd European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, WIP, 339-342, DOI: 10.4229/EUPVSEC20172017-2BO.3.5, ISBN: 3-936338-47-7, Amsterdam, Niederlande, (2017)

Kirchner M., Hüsing F., Giovannetti F.: *Solaraktivierte, hinterlüftete Glasfassade: Experimentelle Untersuchungen und Systemsimulationen*. Tagungsband 27. Symposium Thermische Solarenergie, Ostbayerisches Technologie-Transfer-Institut e.V. (OTTI), Bad Staffelstein, (05/2017)

Knoop M., Eggert D., Wagner A.: *Bewertung solarelektrischer Warmwasserbereiter*. Tagungsband 32. Symposium Photovoltaische Solarenergie, Ostbayerisches Technologie-Transfer-Institut e.V. (OTTI), Bad Staffelstein, (2017)

Knoop M., Littwin M.: *MATLAB-basiertes Simulationsmodell zur Berechnung der elektrischen Leistungsflüsse im PV-Speichersystem*. Tagungsband 32. Symposium Photovoltaische Solarenergie, Ostbayerisches Technologie-Transfer-Institut e.V. (OTTI), Bad Staffelstein, (2017)

Knoop M., Littwin M.: *Simulationsmodell für elektrische Leistungsflüsse in PV- Speichersystemen*. PLUS – Fachzeitschrift für Aufbau und Verbindungstechnik in der Elektronik, LEUZE Verlag, 6, (2017)

Knoop M., Littwin M.: *Simulationsmodell für elektrische Leistungsflüsse in PV-Speichersystemen*. PLUS Produktion von Leiterplatten und Systemen, Sylvia Leuze-Reichert, 19, 1090-1093, ISSN 1436-7505, Bad Saulgau, (06/2017)

Lampe C., Bölter M.: *Bewertung von Frischwasser- und Wohnungsstationen – ein Ansatz zur Standardisierung*. Tagungsband 27. Symposium Thermische Solarenergie, Ostbayerisches Technologie-Transfer-Institut e.V. (OTTI), Bad Staffelstein, (05/2017)

Lichner C., Fuhs M.: *Wege zur Strom- und Wärmeautarkie, Roundtable Wärmepumpe, Interview mit H. Ruf, D. Günther, M. Littwin und H. Drück*. pv magazine, pv magazine group GmbH & Co. KG, 87-95, Berlin, (06/2017)

Littwin M., Dick C., Ohrdes T., Knoop M., Tepe R., Kahle A.: *Wärmepumpenbasierte und Photovoltaik-Strom unterstützte Energieversorgung im Einfamilienhaus; ein Vergleich von Neubau und saniertem Bestandsgebäude*. Tagungsband 32. Symposium Photovoltaische Solarenergie, Ostbayerisches Technologie-Transfer-Institut e.V. (OTTI), Bad Staffelstein, (03/2017)

Louvet Y., Fischer S., Furbo S., Giovannetti F., Mauthner F., Mugnier D., Philippen D., Vajen K.: *Entwicklung eines Verfahrens für die Wirtschaftlichkeitsberechnung solarthermischer Anlagen: Die LCOH Methode*. Tagungsband 27. Symposium Thermische Solarenergie, Ostbayerisches Technologie-Transfer-Institut e.V. (OTTI), Bad Staffelstein, (2017)

Mathiak G., Pfeiffer N., Rimmelspacher L., Herrmann W., Althaus J., Reil F., Holze C., Morlier A.: *PV Module Sand Abrasion Testing*. Proc. 33rd European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, WIP, 1383-1390, DOI: 10.4229/EUPVSEC20172017-5CO.5.2, ISBN: 3-936338-47-7, Amsterdam, Niederlande, (09/2017)

Mercker O., Arnold O., Steinweg J.: *Wärmeverteilverluste im Mehrfamilienhaus – Lösungsvorschläge für ein unterschätztes Problem*. Tagungsband 27. Symposium Thermische Solarenergie, Ostbayerisches Technologie-Transfer-Institut e.V. (OTTI), Bad Staffelstein, (05/2017)

Morlier A., Köntges M., Heimberg A., Jahn U., Berger K.A.: *Degradationsraten für verschiedene Arten von Photovoltaik-Modulfehlern und Zuverlässigkeit anderer Systemkomponenten*. Proc. 32nd Symposium Photovoltaic Solar Energy, Ostbayerisches Technologie-Transfer-Institut e.V. (OTTI), Bad Staffelstein, (2017)

Müller S., Reineke-Koch R., Giovannetti F., Hafner B.: *Experimentelle Systembewertung von thermochromen Flachkollektoren zur Begrenzung der Stagnationstemperatur in einer Trinkwarmwasseranlage*. Tagungsband 27. Symposium Thermische Solarenergie, Ostbayerisches Technologie-Transfer-Institut e.V. (OTTI), Bad Staffelstein, (05/2017)

Müller S., Reineke-Koch R., Giovannetti F., Hafner B.: *Flat Plate Collectors with Thermochromic Absorber Coating under Dynamic System Tests*. Proc. 33rd ISES Solar World Congress/5th SHC Conference, im Druck, Abu Dhabi, VAE, (2017)

Peibst R., Larionova Y., Reiter S., Orłowski N., Schäfer S., Turcu M., Min B., Brendel R., Tetzlaff D., Krügener J., Wietler T., Höhne U., Kähler J.-D., Mehlich H., Frigge S.: *Industrial, Screen-Printed Double-Side Contacted Polo Cells*. Proc. 33rd European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, WIP, 451-454, DOI: 10.4229/EUPVSEC20172017-2DO.2.2, ISBN: 3-936338-47-7, Amsterdam, Niederlande, (2017)

Andere Veröffentlichungen/Other publications

Rienäcker M., Schnabel M., Warren E., Merkle A., Schulte-Huxel H., Klein T.R., Steiner M., Geisz J., Kajari-Schröder S., Niepelt R., Schmidt J., Brendel R., Stradins P., Tamboli A., Peibst R.: *Mechanically Stacked Dual-Junction and Triple-Junction III-V/Si-IBC Cells with Efficiencies of 31.5 % and 35.4 %*. Proc. 33rd European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, WIP, 1-4, DOI: 10.4229/EUPVSEC20172017-1AP.1.2, ISBN: 3-936338-47-7, Amsterdam, Niederlande, (2017)

Schiebler B., Föste S., Giovannetti F.: *Experimental and theoretical investigations on temperature limitation in solar thermal collectors with heat pipes*. Proc. 11th ISES EuroSun Conference, ISES (International Solar Energy Society), Palma de Mallorca, Spanien, (2017)

Schiebler B., Weiland F., Giovannetti F.: *Experimental evaluation of evacuated tube collectors with heat pipes to avoid stagnation loads in a domestic hot water system*. Proc. 33rd ISES Solar World Congress/5th SHC Conference, im Druck, Abu Dhabi, VAE, (2017)

Schiebler B., Weiland F., Giovannetti F.: *Experimentelle Systembewertung von Vakuumröhrenkollektoren mit Wärmerohren zur Begrenzung der Stagnationstemperatur in einer Trinkwasseranlage*. Tagungsband 27. Symposium Thermische Solarenergie, Ostbayerisches Technologie-Transfer-Institut e.V. (OTTI), Bad Staffelstein, (05/2017)

Schmidt J., Bredemeier D., Walter D.C.: *Improved understanding of light-induced degradation and regeneration in multicrystalline silicon solar cells*. 27th International Photovoltaic Science and Engineering Conference, 262, Shiga, Japan, (2017)



Prof. Jan Schmidt (2.v.r.) wurde auf der 27. Photovoltaic Science and Engineering-Konferenz, die vom 12. bis 17. November 2017 nahe Kyoto in Japan stattfand, mit dem *Best Paper Award* ausgezeichnet.

Prof. Jan Schmidt (2nd from right) received the *Best Paper Award* at the 27th Photovoltaic Science and Engineering Conference, which took place from 12-17 November 2017 near Kyoto in Japan.

Schmidt J., Zielke D., Gogolin R., Halbich M.U., Sauer R., Lövenich W.: *Progress with polymer/silicon heterojunction solar cells*. 27th International Photovoltaic Science and Engineering Conference, 173, Shiga, Japan, (2017)

Schmitt B., Ritter D., Giovannetti F.: *Solare Prozesswärme – Mit Solarthermie Abläufe in Industrie und Gewerbe unterstützen*. BINE ThemenInfo II/2017, ISSN 1610-8302, (2017)

Schnabel M., Rienäcker M., Merkle A., Klein T., Jain N., Essig S., Geisz J., Peibst R., Schmidt J., Brendel R., Stradins P., Tamboli A.: *III-V/Si tandem cells utilizing interdigitated back contact Si cells and varying terminal configurations*. Proc. 44th IEEE Photovoltaic Specialists Conference, IEEE, im Druck, Washington D.C., USA, (2017)

Schneider E., Steinweg J., Machelett L., Giovannetti F.: *Solar assisted production of expanded polystyrene with high efficiency flat plate collectors*. Proc. 11th ISES EuroSun Conference, ISES (International Solar Energy Society), Palma de Mallorca, Spanien, (2017)

Siebert M., Morlier A., Köntges M., Mathiak G.: *Tageslichttaugliche Detektion von Schäden in Photovoltaikmodulen im Feld mit Ultraviolett Fluoreszenz*. Proc. 32nd Symposium Photovoltaic Solar Energy, Ostbayerisches Technologie-Transfer-Institut e.V. (OTTI), Bad Staffelstein, (2017)

Steinweg J.: *Erstes Betriebsjahr eines neuartigen Sonnenhauskonzepts – Messergebnisse und Simulationen*. Tagungsband 27. Symposium Thermische Solarenergie, Ostbayerisches Technologie-Transfer-Institut e.V. (OTTI), Bad Staffelstein, (05/2017)

Steinweg J.: *Neues Sonnenhauskonzept – Verbrauch geht vor Speichern*. Tagungsband Effiziente Gebäude 2017, ZEBAU Zentrum für Energie, Bauen, Architektur und Umwelt GmbH, Hamburg, (10/2017)

Steinweg J., Hüsing F.: *Weniger ist manchmal mehr – Sonnenhäuser mit Bauteilaktivierung statt großem Speicher*. Tagungsband 9. EffizienzTagung Bauen + Modernisieren, Hannover, (2017)

Steinweg J., Rockendorf G.: *Annual Performance of a Solar Active House Prototype – Comparing Measurement and Simulation*. Proc. 11th ISES EuroSun Conference, ISES (International Solar Energy Society), 788-797, DOI: 10.18086/eurosun.2016.04.12, ISBN 978-3-9814659-6-9, Palma de Mallorca, Spanien, (10/2017)

Andere Veröffentlichungen/Other publications

Walter D., Steckenreiter V., Helmich L., Pernau T., Schmidt J.: *Production-Compatible Regeneration of Boron-Doped Czochralski-Silicon in a Combined Fast-Firing and Regeneration Belt-Line Furnace*. Proc. 33rd European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, WIP, 377-381, DOI: 10.4229/EUPVSEC20172017-2CO.9.4, ISBN: 3-936338-47-7, Amsterdam, Niederlande, (2017)

Wehmeier N., Nowack A., Dorn S., Kiefer F., Brendemühl T., Kajari-Schröder S.: *Optimization and application of a single-stage co-diffusion process for industrial n-type silicon solar cells*. Proc. 33rd European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, WIP, 589-594, DOI: 10.4229/EUPVSEC20172017-2AV.2.2, ISBN: 3-936338-47-7, Amsterdam, Niederlande, (2017)

Witteck R., Schulte-Huxel H., Veith-Wolf B., Vogt M.R., Kiefer F., Köntges M., Peibst R., Brendel R.: *Reducing UV induced degradation losses of solar modules with c-Si solar cells featuring dielectric passivation layers*. Proc. 44th IEEE Photovoltaic Specialists Conference, Washington, DC, USA, (06/2017)

Wolter S.J., Steckenreiter V., Tatarzyn M.C., Diederich M., Niepelt R., Kajari-Schröder S., Brendel R.: *Dual-Source Evaporation of Perovskite Absorbers and Determination of the Acoustic Impedance Ratio of the Deposited Single Precursors*. MRS Fall Meeting, Boston, USA, (2017)

Vorträge/Presentations

Bredemeier D.: *Defektphysik der Regeneration in mc-Si*. SiliconFOREST 2017, 8.-11.10.2017, PSE AG, Feldberg-Falkau, 9.10.2017

Bredemeier D.: *Light-induced lifetime degradation in high-performance multicrystalline silicon: Detailed kinetics of the defect activation*. 7th International Conference on Crystalline Silicon Photovoltaics (Silicon PV 2017), 3.-5.4.2017, PSE AG, Freiburg, 3.4.2017

Bredemeier D.: *Possible candidates for impurities in mc-Si wafers responsible for light-induced lifetime degradation and regeneration*. 33rd European Photovoltaic Solar Energy Conference (EUPVSEC), 25.-29.9.2017, WIP, Amsterdam, Niederlande, 26.9.2017

Brendel R.: *Aktueller Forschungsbedarf in der Solarenergie*. Ringvorlesung „Transformation des Energiesystems“, 14.6.2017, Fakultät für Maschinenbau, Leibniz Universität Hannover, Hannover, 14.6.2017

Brendel R.: *Breakdown of the efficiency gap to 29 % based on experimental input data and modelling*. Institutsseminar, 21.3.2017, Next Energy, Oldenburg, 21.3.2017

Brendel R.: *Crystalline Si without ties*. Festkolloquium anlässlich des 65. Geburtstags von Prof. Dr. J.-H. Werner, 7.4.2017, Fakultät für Elektrotechnik, Universität Stuttgart, Stuttgart, 7.4.2017

Brendel R.: *Das Institut für Solarenergieforschung 2012-2016*. Begehung des ISFH durch die Expertenkommission, 5.5.2017, Wissenschaftliche Kommission Niedersachsen, Emmerthal, 5.5.2017

Brendel R.: *Solarenergie für Niedersachsen*. Besuch des Ministerpräsidenten Stephan Weil am ISFH, ISFH, Emmerthal, 18.3.2017

Brendel R.: *Solarenergie für Niedersachsen – Vorstellung laufender Forschungsarbeiten*. Architektenkammer Niedersachsen, ISFH und Architektenkammer, Hannover, 15.11.2017

Brendel R.: *The world is facing a serious challenge*. 30-Jahr-Feier des ISFH, 31.8.2017, ISFH, Emmerthal, 31.8.2017

Dullweber T.: *Bifacial PERC+ solar cells: status of industrial implementation and future perspectives*. bifi PV Workshop 2017, 25.-26.10.2017, ISC Konstanz, ECN, Konstanz, 25.10.2017

Dullweber T.: *Das HELENE Verbundprojekt*. Abschlusskolloquium F&E für Photovoltaik, Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi), Berlin, 20.9.2017

Dullweber T.: *Entwicklung industrieller PERC Zellen am ISFH*. 1. Vollversammlung des Forschungsnetzwerks Erneuerbare Energien, 20.-21.2.2017, Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi), Berlin, 20.2.2017

Dullweber T.: *Present status and future perspectives of bifacial PERC+ solar cells and modules*. 27th International Photovoltaic Science and Engineering Conference (PVSEC-27), 12.-17.11.2017, Secretariat of PVSEC-27 Convention Linkage, Inc. Kyoto, 604-8162, Japan, Otsu, Shiga, Japan, 13.11.2017

Vorträge/Presentations

Giovanetti F.: *Experimental Evaluation of Evacuated Tube Collectors with Heat Pipes to avoid Stagnation Loads in a Domestic Hot Water System*. Solar World Congress 2017/SHC 2017, 29.10.-2.11.2017, ISES, Abu Dhabi, VAE, 1.11.2017

Giovanetti F.: *Flat Plate Collectors with Thermochromic Absorber Coating under Dynamic System Tests*. Solar World Congress 2017/SHC 2017, 29.10.-2.11.2017, ISES, Abu Dhabi, VAE, 1.11.2017

Giovanetti F.: *Solaraktivierte Gebäudehüllen: Von der Forschung in die Praxis*. 9. Effizienztagung Bauen+Modernisieren, 24.-25.11.2017, EUZ Energie + Umweltzentrum Springe, Hannover, 24.11.2017

Giovanetti F.: *Solare Wärme und Kälte*. FVEE Jahrestagung 2017, 8.-9.11.2017, Forschungsverbund Erneuerbare Energien (FVEE), Berlin, 9.11.2017

Haase F.: *Perimeter recombination in 25 %-efficient IBC solar cells with passivating POLO contacts for both polarities*. 44th IEEE Photovoltaic Specialists Conference, 25.-30.6.2017, IEEE, Washington, USA, 28.6.2017

Halbich M.: *Solarzellen mit Polymer/Silizium-Heteroübergang*. SiliconFOREST 2017, 8.-11.10.2017, PSE AG, Feldberg-Falkau, 9.10.2017

Helbig S.: *Energieeffiziente Wärmeversorgung von Gebäuden*. 7. EUM-Fachtagung, 30.-31.3.2017, Förderverein Energie- und Umweltmanagement e.V., Flensburg, 30.3.2017

Helbig S.: *Gesamtsystembewertung von solar unterstützten Wärmeversorgungskonzepten in Mehrfamilienhäusern – Effizienz gegenüber Wirtschaftlichkeit*. 27. Symposium Thermische Solarenergie, 10.-12.5.2017, Ostbayerisches Technologie-Transfer-Institut e.V. (OTTI), Bad Staffelstein, 10.5.2017

Hüsing F.: *Weniger ist manchmal mehr – Sonnenhäuser mit Bauteilaktivierung statt großem Speicher*. 9. Effizienztagung Bauen+Modernisieren, 24.-25.11.2017, EUZ Energie + Umweltzentrum Springe, Hannover, 24.11.2017

Kastner O.: *Power-to-Heat Konzepte aus Sicht der Wärmewende*. 10. Niedersächsische Energietage, EFZN, Hannover, 7.11.2017

Klamt C.: *Hocheffiziente IBC-Solarzellen mit POLO-Junctions*. SiliconFOREST 2017, 8.-11.10.2017, PSE AG, Feldberg-Falkau, 10.10.2017

Köntges M.: *Ultraviolet fluorescence method to detect cell cracks and safety issues of cell cracks*. 7th PV Reliability Workshop, 27.-28.2.2017, NREL, Lakewood Colorado, USA, 28.2.2017

Krügenger J.: *A simple method for pinhole detection in carrier selective POLO-junctions for high efficiency silicon solar cells*. 7th International Conference on Crystalline Silicon Photovoltaics (Silicon PV 2017), 3.-5.4.2017, PSE AG, Freiburg, 5.4.2017

Krügenger J.: *Improvement of the SRH Bulk Lifetime upon Formation of n-Type POLO Junctions for 25 % Efficient Si Solar Cells*. Nanoday 2017, LNQE, Leibniz Universität Hannover, Hannover, 28.9.2017

Kruse C.: *Impact of Contacting Geometries on Measured Fill Factors*. 7th International Conference on Crystalline Silicon Photovoltaics (Silicon PV 2017), 3.-5.4.2017, PSE AG, Freiburg, 4.4.2017

Kruse C.: *Verlustanalyse von PERC-Solarzellen*. SiliconFOREST 2017, 8.-11.10.2017, PSE AG, Feldberg-Falkau, 9.10.2017

Larionova Y.: *Screen print- and PVD based metallization schemes for POLO junctions*. Metallization Workshop Konstanz 2017, 23.-24.10.2017, Konstanz, 24.10.2017

Littwin M.: *Wärmepumpenbasierte und Photovoltaik-Strom unterstützte Energieversorgung im Einfamilienhaus; ein Vergleich von Neubau und saniertem Bestandsgebäude*. 32. Symposium Photovoltaische Solarenergie, 8.-10.3.2017, Ostbayerisches Technologie-Transfer-Institut e.V. (OTTI), Bad Staffelstein, 9.3.2017

Mercker O.: *Wärmeverteilungsverluste im Mehrfamilienhaus – Lösungsvorschläge für ein unterschätztes Problem*. 27. Symposium Thermische Solarenergie, 10.-12.5.2017, Ostbayerisches Technologie-Transfer-Institut e.V. (OTTI), Bad Staffelstein, 10.5.2017

Morlier A.: *Degradationsraten für verschiedene Arten von Photovoltaik-Modulfehlern und Zuverlässigkeit anderer Systemkomponenten*. 32. Symposium Photovoltaische Solarenergie, 8.-10.3.2017, Ostbayerisches Technologie-Transfer-Institut e.V. (OTTI), Bad Staffelstein, 10.3.2017

Niepert R.: *Die Rolle der Solarenergie in einem gekoppelten Energiesystem*. 10. Niedersächsische Energietage, 7.-8.11.2017, EFZN, Hannover, 7.11.2017

Peibst R.: *Industrial, screen-printed double-side contacted POLO cells*. 33rd European Photovoltaic Solar Energy Conference (EUPVSEC), 25.-29.9.2017, WIP, Amsterdam, Niederlande, 28.9.2017

Rienäcker M.: *Mechanically stacked dual-junction and triple-junction III-V/Si IBC cells with efficiencies of 31.5 % and 35.4 %*. 33rd European Photovoltaic Solar Energy Conference (EUPVSEC), 25.-29.9.2017, WIP, Amsterdam, Niederlande, 25.9.2017

Vorträge/Presentations

Schäfer S.: *Interdigitated back contact cells with passivating polycrystalline silicon on oxide junctions*. 8th Back Contact WORKSHOP 2017, 21.-22.11.2017, Freiburg, 21.11.2017

Schiebler B.: *Cost reduction of solar thermal systems by avoiding stagnation loads*. SHC IEA TASK 54 Experts Meeting & Industry Round Table, 5.-6.10.2017, SHC IEA TASK 54, Linz, Österreich, 5.10.2017

Schiebler B.: *Experimentelle Systembewertung von Vakuumröhrenkollektoren mit Wärmerohren zur Begrenzung der Stagnationstemperatur in einer Trinkwarmwasseranlage*. 27. Symposium Thermische Solarenergie, 10.-12.5.2017, Ostbayerisches Technologie-Transfer-Institut e.V. (OTTI), Bad Staffelstein, 10.5.2017

Schiebler B.: *Kostengünstige Solar Systeme mit Heat Pipe-Kollektoren*. Kosteneffiziente solarthermische Systeme, IEA SHC Task 54 zur Kostenreduktion durch Standardisierung und Kunststoffe, 4.10.17, Johannes Kepler Universität Linz, Linz, Österreich, 4.10.2017

Schinke C.: *Uncertainty of DSR measurements according to approximations defined in the IEC 60904-8 standard*. 7th PVP/PMC Energy Rating and Module Performance Modeling Workshop, 30.-31.3.2017, University of Applied Sciences and Arts of Southern Switzerland (SUPSI), Canobbio, Schweiz, 30.3.2017

Schmidt J.: *Crystalline silicon photovoltaics: Towards the limit and beyond*. Seminarvortrag, IPVF, Paris, Frankreich, 24.5.2017

Schmidt J.: *Improved understanding of light-induced degradation and regeneration in multicrystalline silicon solar cells*. 27th International Photovoltaic Science and Engineering Conference (PVSEC-27), 13.-17.11.2017, Otsu, Shiga, Japan, 16.11.2017

Schmidt J.: *Overview of PV research at ISFH – towards the limit and beyond*. Seminarvortrag, INES, Le Bourget-du-lac, Frankreich, 19.10.2017

Schmidt J.: *Progress with polymer/silicon heterojunction solar cells*. 27th International Photovoltaic Science and Engineering Conference (PVSEC-27), 13.-17.11.2017, Otsu, Shiga, Japan, 14.11.2017

Schnabel M.: *III-V/Si tandem cells utilizing interdigitated back contact Si cells and varying terminal configurations*. 44th IEEE Photovoltaic Specialists Conference, 25.-30.6.2017, IEEE, Washington, USA, 28.6.2017

Siebert M.: *Tageslichttaugliche Detektion von Schäden in Photovoltaikmodulen im Feld mit Ultraviolett Fluoreszenz*. 32. Symposium Photovoltaische Solarenergie, 8.-10.3.2017, Ostbayerisches Technologie-Transfer-Institut e.V. (OTTI), Bad Staffelstein, 10.03.2017

Stang J.: *Optimised Metallisation for Interdigitated Back Contact Silicon Heterojunction Solar Cells*. 7th International Conference on Crystalline Silicon Photovoltaics (Silicon PV 2017), 3.-5.4.2017, PSE AG, Freiburg, 5.4.2017

Steinweg J.: *Neues Sonnenhauskonzept – Verbrauch geht vor Speichern*. Effiziente Gebäude 2017, Zentrum für Energie, Bauen, Architektur und Umwelt GmbH (ZEBAU), Hamburg, 10.10.2017

Tetzlaff D.: *Introducing pinhole magnification by selective etching: application to poly-Si on ultra-thin silicon oxide films*. 7th International Conference on Crystalline Silicon Photovoltaics (Silicon PV 2017), 3.-5.4.2017, PSE AG, Freiburg, 5.4.2017

Vogt M.R.: *PV Module Current Gains due to Structured Backsheets*. 7th International Conference on Crystalline Silicon Photovoltaics (Silicon PV 2017), 3.-5.4.2017, PSE AG, Freiburg, 4.4.2017

Walter D.: *Aktuelle Modellvorstellung zur BO-Degradation*. SiliconFOREST 2017, 8.-11.10.2017, PSE AG, Feldberg-Falkau, 9.10.2017

Walter D.: *On the equilibrium concentration of boron-oxygen defects in crystalline silicon*. 7th International Conference on Crystalline Silicon Photovoltaics (Silicon PV 2017), 3.-5.4.2017, PSE AG, Freiburg, 3.4.2017

Walter D.: *Production-compatible regeneration of boron-doped Czochralski-silicon in a combined fast-firing and regeneration belt-line furnace*. 33rd European Photovoltaic Solar Energy Conference (EUPVSEC), 25.-29.9.2017, WIP, Amsterdam, Niederlande, 26.9.2017

Witteck R.: *Reducing UV induced degradation losses of solar modules with c-Si solar cells featuring dielectric passivation layers*. 44th IEEE Photovoltaic Specialists Conference, 25.-30.6.2017, IEEE, Washington, DC, USA, 27.6.2017

Zielke D.: *Large-area PEDOT:PSS/c-Si heterojunction solar cells with screen-printed metal contacts*. 33rd European Photovoltaic Solar Energy Conference (EUPVSEC), 25.-29.9.2017, WIP, Amsterdam, Niederlande, 26.9.2017

Poster/Posters

Gogolin R.: *Demonstrating the high V_{oc} potential of PEDOT: PSS/c-Si heterojunctions on solar cells.* 7th International Conference on Crystalline Silicon Photovoltaics (SiliconPV 2017), PSE AG, Freiburg, (3.-5.4.2017)

Haase F.: *25 %-efficient back contacted solar cells with passivating POLO contacts.* Tag der Energieforschung, Fakultät für Elektrotechnik und Informatik, Leibniz Universität Hannover, Hannover, (4.5.2017)

Helbig S., Eggert D., Adam M.: *Energetic and Economic Efficiency Evaluation of Solar Assisted Heating Systems for Multi-Family Houses.* Solar World Congress 2017/HC 2017, ISES, Abu Dhabi, VAE, (29.10-2.11.2017)

Hüsing F., Mercker O., Hirsch H., Steinweg J.: *Solare Regeneration von Erdwärmekollektoren – Reduzierter Flächenbedarf bei hoher Effizienz.* 27. Symposium Thermische Solarenergie, Ostbayerisches Technologie-Transfer-Institut e.V. (OTTI), Bad Staffelstein, (10.-12.5.2017)

Kirchner M., Geissler J., Hüsing F., Schneider E., Giovannetti F.: *Performance and potential analysis of solar thermal glass panels for building integration.* Solar World Congress 2017/HC 2017, ISES, Abu Dhabi, VAE, (29.10-2.11.2017)

Kirchner M., Hüsing F., Giovannetti F.: *Solaraktivierte, hinterlüftete Glasfassade: Experimentelle Untersuchungen und Systemsimulationen.* 27. Symposium Thermische Solarenergie, Ostbayerisches Technologie-Transfer-Institut e.V. (OTTI), Bad Staffelstein, (10.-12.5.2017)

Knoop M., Eggert D., Wagner A.: *Bewertung solarelektrischer Warmwasserbereiter.* 32. Symposium Photovoltaische Solarenergie, Ostbayerisches Technologie-Transfer-Institut e.V. (OTTI), Bad Staffelstein, (8.-10.3.2017)

Knoop M., Littwin M.: *MATLAB-basiertes Simulationsmodell zur Berechnung der elektrischen Leistungsflüsse im PV-Speichersystem.* 32. Symposium Photovoltaische Solarenergie, Ostbayerisches Technologie-Transfer-Institut e.V. (OTTI), Bad Staffelstein, (8.-10.3.2017)

Krügener J.: *Smart formation of poly/mono-crystalline Si junctions using local doping techniques.* Tag der Energieforschung, Fakultät für Elektrotechnik und Informatik, Leibniz Universität Hannover, Hannover, (4.5.2017)

Lampe C., Bölter M.: *Bewertung von Frischwasser- und Wohnungsstationen – Ein Ansatz zur Bewertung.* 27. Symposium Thermische Solarenergie, Ostbayerisches Technologie-Transfer-Institut e.V. (OTTI), Bad Staffelstein, (10.-12.5.2017)

Littwin M., Ohrdes T., Dick C., Dieckmann H., Kastner O.: *Energy monitoring in a passive house with combined electrical and thermal energy system.* Tag der Energieforschung, Leibniz Forschungszentrum Energie 2050, Hannover, (4.5.2017)

Littwin M., Ohrdes T., Dick C., Dieckmann H., Kastner O.: *Erstes Betriebsjahr eines neuartigen Sonnenhauskonzepts – Messergebnisse und Simulationen.* 27. Symposium Thermische Solarenergie, Ostbayerisches Technologie-Transfer-Institut e.V. (OTTI), Bad Staffelstein, (10.-12.5.2017)

Mercker O., Steinweg J.: *Concepts for efficient heat supply of multi-family houses.* Tag der Energieforschung, Leibniz Forschungszentrum Energie 2050, Hannover, (4.5.2017)

Min B., Kruse C., Schinke C., Wolf M., Müller M., Sträter H., Wagner M., Bothe K., Brendel R.: *Identifying the Location of Recombination from Voltage-dependent Quantum Efficiency Measurements.* 7th International Conference on Crystalline Silicon Photovoltaics (SiliconPV 2017), PSE AG, Freiburg, (3.-5.4.2017)

Min B., Müller M., Krügener J., Bothe K., Brendel R.: *Fundamental Consideration About Junction Formation Strategies for Phosphorus-doped Emitters with $J_{0e} < 10 \text{ fA/cm}^2$.* 7th International Conference on Crystalline Silicon Photovoltaics (SiliconPV 2017), PSE AG, Freiburg, (3.-5.4.2017)

Ohrdes T., Littwin M., Knoop M., Kastner O.: *Energie-Monitoring für die Strom- und Wärme-Versorgung von Gebäuden und Quartieren.* 3. Dialogplattform Power-to-Heat, EFZN, ETG (VDE), Berlin, (15.-16.5.2017)

Steckenreiter V.: *Two-stage permanent deactivation of the boron-oxygen-related recombination center in crystalline silicon.* 7th International Conference on Crystalline Silicon Photovoltaics (SiliconPV 2017), PSE AG, Freiburg, (3.-5.4.2017)

Tetzlaff D.: *Introducing pinhole magnification by selective etching: application to poly-Si on ultra-thin silicon oxide films.* 7th International Conference on Crystalline Silicon Photovoltaics (SiliconPV 2017), PSE AG, Freiburg, (3.-5.4.2017)

Titova V.: *Effective passivation of crystalline silicon surfaces by ultrathin atomic-layer-deposited TiO_x layers.* 7th International Conference on Crystalline Silicon Photovoltaics (SiliconPV 2017), PSE AG, Freiburg, (3.-5.4.2017)

Studien- & Bachelorarbeiten/Seminar & bachelor papers

Brockmann T.L.: *Optische Charakterisierung von Komponenten neuartig verschalteter Photovoltaikanlagen*, (Bachelorarbeit), Nanotechnologie, Leibniz Universität Hannover, Hannover, Dezember 2017

Busche L.: *Messtechnische und theoretische Evaluierung photovoltaisch-thermischer Solarkollektoren mit lösbarer Verbindung von PV-Modul und Wärmeübertrager*, (Bachelorarbeit), Energietechnologien, Technische Universität Clausthal, Clausthal, März 2017

Grodtko Z.: *Ermittlung der Leistungskennwerte von WISC-Solarkollektoren mithilfe des quasi-dynamischen Verfahrens nach DIN EN ISO 9806*, (Bachelorarbeit), Regenerative Energietechnik, Hochschule Nordhausen, Nordhausen, April 2017

Heine N.: *Elektrische Charakterisierung von polysiliziumbasierten Tunnelrekombinationsschichten*, (Bachelorarbeit), Fakultät für Elektrotechnik und Informatik, Leibniz Universität Hannover, Hannover, Oktober 2017

Kemmerling G.: *Ganzheitliche Bewertung von stagnationssicheren Sonnenkollektoren mit Wärmerohren zur solaren Trinkwassererwärmung in Naturumlaufsystemen*, (Bachelorarbeit), Studiengang Umwelttechnik Regenerative Energien, Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin, Berlin, Dezember 2017

Liebner L.: *Simulationsstudie zur Kombination von photovoltaisch-thermischen Kollektoren und Wärmepumpen*, (Bachelorarbeit), Studiengang Green Building, Hochschule für angewandte Wissenschaft und Kunst Holzminden, Holzminden, Dezember 2017

Müller T.: *Inbetriebnahme einer Experimentalanlage zur kombinierten PV-T-Gebäudeenergieversorgung – Nachweis und Einstellung des Regelverhaltens eines neu aufgebauten Thermostats und automatisierte Analyse des Systembetriebes*, (Studienarbeit), Maschinenbau, Leibniz Universität Hannover, Hannover, Dezember 2017

Orlowski N.: *Optische und elektrische Charakterisierung von mittels PECVD abgeschiedenen Al-dotierten Zinkoxidschichten*, (Bachelorarbeit), Nanotechnologie, Leibniz Universität Hannover, Hannover, Dezember 2017

Uhlig F.: *Experimentelle Bewertung von wärmerohrbasierten Vakuumröhrenkollektoren mit Stagnationstemperaturbegrenzung und Ableitung möglicher Kosteneinsparpotentiale im System*, (Bachelorarbeit), Energietechnik, Vertiefung: Dezentrale und Regenerative Energieanlagen, Technische Universität Bergakademie Freiberg, Freiberg, April 2017

Diplom- & Masterarbeiten/Diploma theses & masters

Franke M.: *Bestimmung einer Korrekturmatrix für spektrales Streulicht für ein Diodenarrayspektrometer*, (Masterarbeit), Fakultät für Mathematik und Physik, Studiengang Physik, Leibniz Universität Hannover, Hannover, September 2017

Herz A.: *Wirtschaftlichkeitsberechnung solarunterstützter Wärmeversorgungskonzepte im Mehrfamilienhaus*, (Masterarbeit), Fachbereich Energie Gebäude Umwelt, Fachhochschule Münster, Münster, April 2017

Startsev D.: *Charakterisierung von atomlagenabgeschiedenen TiO_x -Schichten für die Anwendung in Siliziumsolarzellen*, (Masterarbeit), Fakultät für Mathematik und Physik, Studiengang Technische Physik, Leibniz Universität Hannover, Hannover, Dezember 2017

Tränkel N.: *Charakterisierung ungedeckter, photovoltaisch-thermischer Solarkollektoren mithilfe stationärer Auswertemethoden*, (Masterarbeit), Renewable Energy Systems, Hochschule für angewandte Wissenschaften, Hamburg, August 2017

Doktorarbeiten/Ph.D.-theses

Wolter S.: *Mesoporöse Siliziumschichten als Anodenmaterial für Lithium-Ionen-Batterien: Syntheserouten und Charakterisierung*, Chemie, Leibniz Universität Hannover, 5.9.2017

Lehrveranstaltungen/Lectures

Bothe K., Brendel R.: *Halbleitertechnik für die Photovoltaik*. Vorlesung, Fachbereich Physik, Leibniz Universität Hannover (19.10.2016-1.2.2017)

Brendel R.: *Physik der Solarzelle*. Vorlesung, Fakultät für Mathematik und Physik, Leibniz Universität Hannover (SS 2017)

Brendel R., Schinke C.: *Aktuelle Forschungsfragen der Photovoltaik*. Seminar, Fakultät für Mathematik und Physik, Leibniz Universität Hannover (WS 2016/17)

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

Goslich R.: *Einführung in die regenerative Energietechnik*. Vorlesung, Hochschule Weserbergland (HSW) (8.2.2017-27.3.2017)

Kastner O.: *Solarenergie I: Thermodynamische Grundlagen*. Vorlesung, Fachbereich Maschinenbau und Energietechnik, Leibniz Universität Hannover (WS 2016/2017)

Kastner O.: *Solarenergie I: Thermodynamische Grundlagen*. Übung, Fachbereich Maschinenbau und Energietechnik, Leibniz Universität Hannover (WS 2016/2017)

Kastner O.: *Solarenergie I: Thermodynamische Grundlagen*. Vorlesung, Fachbereich Maschinenbau und Energietechnik, Leibniz Universität Hannover (WS 2017/2018)

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

Kastner O.: *Solarenergie II: Von der Komponente zum System*. Vorlesung, Fachbereich Maschinenbau und Energietechnik, Leibniz Universität Hannover (SS 2017)

Kastner O., Park S.: *Solarenergie II: Von der Komponente zum System*. Übung, Fachbereich Maschinenbau und Energietechnik, Leibniz Universität Hannover (SS 2017)

Peibst R.: *Technologie und Wirkungsweise von Solarzellen*. Vorlesung, Fakultät für Elektrotechnik und Informatik, Leibniz Universität Hannover (10/2017-02/2018)

Schinke C.: *Einführung in die elektronische Messdatenerfassung und -verarbeitung mit LabView*. Vorlesung, Fachbereich Physik, Leibniz Universität Hannover (12.4.2017-15.7.2017)

Schinke C., Brendel R.: *Aktuelle Forschungsfragen in der Photovoltaik*. Seminar, Fachbereich Physik, Leibniz Universität Hannover (18.10.2017-3.2.2018)

Schinke C., Brendel R.: *Physik der Solarzelle*. Übung, Fakultät für Mathematik und Physik, Leibniz Universität Hannover (04/2017-09/2017)

Schmidt J.: *Grundlagen der Halbleiterphysik*. Vorlesung, Fakultät für Mathematik und Physik, Leibniz Universität Hannover (16.10.2017-29.1.2018)

Preise & Auszeichnungen/Awards

Dullweber T., Forschungspreis, Preis für wissenschaftliche Arbeiten der Stiftung Industrieforschung, für Industrielle beidseitig lichtempfindliche Silizium-Solarzelle (PERC+) mit bis zu 25% gesteigertem Stromertrag. Maritim Hotel, Bonn, 28.9.2017

ISFH, Innovationspreis, OTTI Innovationspreis, für Dienstleistung mit dem Fluoreszenz Outdoor Inspektionssystem (FLOIS). 32. Symposium für Photovoltaische Solarenergie, Staffelstein, Deutschland, 9.3.2017

ISFH, Innovationspreis, PV magazine award top innovation, für Fluorescence Outdoor Inspection (FLOIS). Internet, 1.6.2017

Schmidt J., Best Paper Award, 27th International Photovoltaic Science and Engineering Conference (PVSEC-27), für Improved understanding of light-induced degradation and regeneration in multicrystalline silicon solar cells. Otsu, Shiga, Japan, 17.11.2017



Innovationspreis für FLOIS, das am ISFH entwickelte „Fluoreszenz Outdoor Inspektionssystem zur Kontrolle von PV-Modulen im Außenbereich“. Der Innovationspreis wurde auf dem 32. Symposium für Photovoltaische Solarenergie in Staffelstein verliehen. Von links nach rechts: Bernd Porzelius (OTTI), Dr. Heribert Schmidt (Fraunhofer ISE), Dr. Arnaud Morlier (ISFH, Preisträger) und Michael Siebert (ISFH, Preisträger).

Innovation award for FLOIS, the “Fluorescence outdoor inspection system” developed at the ISFH for checking outdoor PV-modules. The innovation award was presented at the 32nd Symposium for Photovoltaic Solar Energy in Staffelstein. From left to right: Bernd Porzelius (OTTI), Dr. Heribert Schmidt (Fraunhofer ISE), Dr. Arnaud Morlier (ISFH, award winner) and Michael Siebert (ISFH, award winner).

DEWEZET 21.1.2017

Sonne, Wind & Wärme, Oktober 2017

Großes Lob für das Solarinstitut

Fraktionsvorstand der Grünen in Hameln

VON WOLFHARD F. TRUCHSEB

HAMELN/OHR. „Wir sind wirklich froh, dass wir das Solarinstitut in Ohr hier in unserem Wahlkreis haben, denn die Zukunft gehört den erneuerbaren Energien.“ Anja Piel, die Fraktionsvorsitzende der Grünen im niedersächsischen Landtag, besuchte gestern mit ihrem Fraktionsvorstand das ISFH, um sich über die neuesten Forschungen und Arbeiten des Instituts zu informieren. „Das ist nicht nur ein wichtiges wissenschaftliches Institut, sondern auch ein wichtiger Arbeitgeber in der Region“, betonte Piel. „Wir haben hier 37 langfristig gesicherte Arbeitsplätze und 105 Projektstellen“, erläuterte Institutsleiter Prof. Rolf Brendel, der sich bei den Grünen ausdrücklich dafür bedankte, dass sie sich im vergangenen Jahr intensiv und vor allem erfolgreich für eine Aufstockung der Fördergelder des Landes für das ISFH eingesetzt hätten. „Das hat mir die Entscheidung wesentlich erleichtert, den Verlockungen aus Süddeutschland zu widerstehen“, betonte Brendel.

Während des Rundgangs durch das Institut konnte die Besuchergruppe erleben, wie mit neuester Technik Siliziumwafer als Grundlage für Solarzellen hauchdünn beschichtet werden, ließen sich aber auch erläutern, wie die Zusammenarbeit mit der Industrie verläuft, um beispielsweise das ineinandergreifende solargestützte Heizungssysteme für Wohngebäude zu

optimieren. Piel's Fazit nach dem Rundgang: „Die Technologien, die hier erarbeitet und verfeinert werden, werden nach dem Abschalten der Atommeiler mit Sicherheit an Bedeutung gewinnen.“

Zuvor hatte sich der Fraktionsvorstand von Landrat Tjark Bartels und Öffi-Chef Arne Behrens das neue Tarifsystem für den öffentlichen Nahverkehr des Landkreises erläutern lassen. „Das ist ein mutiger Schritt in die richtige Richtung“, betonte Anja Piel. Sie erwarte sowohl aufgrund der stark gesenkten Preise und des vereinfachten Tarifsystems eine deutliche Zunahme der Fahrgastzahlen. „Bei der S-Bahn hatten wir in den vergangenen Jahren Zuwachsraten von 20 bis 25 Prozent“, erklärte die Fraktionsvorsitzende. Sie rechne damit, dass jetzt auch die Öffis wesentlich intensiver genutzt würden und auf dem Land die eine oder andere Familie das dritte Auto abschaffen werde. Anja Piel füllte noch auf der Busfahrt nach Ohr das Formular für ein Jahresabo des Monatsstickets aus.

Behrens kündigte im Gespräch mit dem Fraktionsvorstand im Hotel Stadt Hameln an, dass die Tarifreform für ihn nur ein erster Schritt sei. So wolle er demnächst Gespräche mit großen Arbeitgebern führen, damit die Busse stärker für den Weg von der Wohnung zum Arbeitsplatz genutzt würden. Auch ein KombiTicket mit der Bahn halte er für denkbar, erklärte der Öffi-Chef.



Im Solarinstitut werden dem Fraktionsvorstand der Landtagsgrünen mit (v. r. n. l.) der Fraktionsvorsitzenden Anja Piel, Helge Limburg und Miriam Staudte, zwei ihrer Stellvertreter, gerade produzierte Siliziumwafer präsentiert; links Prof. Jan Schmidt, der Leiter der Abteilung Photovoltaik, und eine ISFH-Mitarbeiterin. FOTO: WFT

24 WÄRME BAUTEILAKTIVIERUNG



Bei diesem Einfamilienhaus in Yorauberg werden beschichtete Kupferrohre mit einer Gesamtlänge von 700 Metern in die Böden- und Deckenplatten eingearbeitet.

Bei der solarthermischen Bauteilaktivierung wird Solarwärme in massiven Böden und Zwischendecken gespeichert. Dadurch kann der Solarwärmespeicher kleiner dimensioniert werden. Allerdings reagiert das System langsamer als herkömmliche Heizungen.

Wer sein Haus überwiegend solar beheizen möchte, benötigt einen saisonalen Solarwärmespeicher. Damit wird die Solarwärme über Tage und Wochen vorgehalten. Je höher der solare Deckungsgrad sein soll, desto größer muss der Speicher dimensioniert werden. Die Speichergrößen wurden bei Einfamilien-Sonnenhäusern im Laufe der Jahre bereits verkleinert. Es gibt mittlerweile Einfamilienhäuser mit hohen solaren Deckungsgraden, die mit 3.000- oder 4.000-Liter-Speichern erreicht werden. Trotzdem wird Fläche von dem Solarpeicher beansprucht und dies meist im Wohnraum. Ganz auf einen Speicher zu verzichten, geht nicht. Allerdings gibt es einen Weg, den Speicherbedarf im Winter weiter zu reduzieren: mit der solarthermischen Bauteilaktivierung (BITA). In dem Baukonzept der Initiative Sonnenhaus Österreich spielt diese eine ganz entscheidende Rolle.

Bei der Bauteilaktivierung werden, ähnlich wie bei Fußbodenheizungen, Rohre in die massiven Bauteile eingearbeitet. Der Wärmeerzeuger, die Solarthermieanlage, wird auf kürzestem Wege mit Rohrleitungen mit den Betonböden und Zwischendecken verbunden. Nun kann die Solarflüssigkeit in die Betonplatten geleitet werden, so dass diese als Flächenheizung und Speichermedium fungieren können. Zwar lassen sich die Betonplatten wegen der direkten Nähe zum Wohnraum nicht auf vergleichbare Temperaturen wie die mit Wasser befüllten Speicher aufheizen, aber mit der großen Baumasse Beton steht ein beträchtlicher Wärmespeicher zur Verfügung. Und das verringert den Speicherplatzbedarf.

Sonnenhäuser als Einsatzfeld

Anders als in gewerblich genutzten Gebäuden ist die solarthermische Bauteilaktivierung in Wohnhäusern noch wenig verbreitet. Die Initiative Sonnenhaus Österreich will das ändern und hat die BITA zu einem Merkmal ihres Sonnenhaus-Konzepts erklärt. «Etwa 80 % der Sonnenhäuser werden zwischenzeitlich bei uns mit Bauteilaktivierung gebaut», sagt Peter Stockreiter, Geschäftsführer des 2011 gegründeten Netzwerks. «Sie ist kostengünstiger und energieeffizienter als ein großer Wasserspeicher», begründet er dies.

Kostengünstiger sei sie, weil man vorhandene Bauteile als Wärmespeicher und Wärmeabgabesystem nutzen könne. Zudem könne auf die Fußbodenheizung teilweise verzichtet werden, da die Betonplatten als Wärmeverteilsystem agieren. Dies ist laut Stockreiter ein wesentlicher Einsparposten. Darüber hinaus kann die BITA auch zur Kühlung genutzt werden, eine Eigenschaft, die vor allem bei Gewerbegebäuden schon zum Tragen kommt.

Die höhere Energieeffizienz erklärt Stockreiter damit, dass die Kollektoren im niedrigeren Temperaturbereich einen wesentlich höheren Wirkungsgrad haben. Beton wird auf maximal 32 °C erwärmt, damit es im Gebäude nicht zu warm wird. «So können auch Temperaturen von 25 bis 30 °C, die im Herbst und Winter im Kollektor entstehen, noch sehr effektiv eingesetzt werden, weil diese Temperaturen in der Bauteilaktivierung genutzt werden können.» Durch die Masse könne zudem viel Solarwärme in dem Betonplatten gespeichert werden. Bei einem

18/2017 SMART HOME

SOLAR WÄRMENÄHE

Sonne, Wind & Wärme, Oktober 2017

25

wertgehend solar beheizten Einfamilienhaus kann die Größe des Speichers für die Raumheizung und die Warmwasserbereitung so auf etwa 1.200 Liter Inhalt reduziert werden. Die genaue Größe hängt jedoch immer von dem solaren Deckungsgrad, der Größe des Kollektorfeldes, der Zuheizung und anderer Parameter ab.

Ein Beispiel für ein Sonnenhaus mit solarthermischer Bauteilaktivierung ist in dem Ort Klaus im österreichischen Vorarlberg zu finden. Die Bewohner heizen mit einer nur 15 m² großen Solarthermieanlage und einer Lehmofen-Ganzhausheizung. In dem Boden- und Deckenplatten des zweigeschossigen Gebäudes mit 147 Tonnen Baumasse Beton wurden vor dem Betonieren 700 Meter beschichtete Kupferrohre verlegt. Zusätzlich zu dem Betonspeicher ist ein Kombispeicher mit 950 Liter Fassungsvermögen für Warmwasser und Heizung installiert.

In den Wintermonaten – von Mitte November bis Mitte März – kann der Wärmebedarf zu etwa 70 % aus der Solarwärmanlage abgedeckt werden. Die Kollektoren sind weit ausgestellt. «Dadurch entsteht ein Anlagennutzungsgrad für die Wärme in Beton und Kombispeicher von 100 %», sagt Gebhard Keckels, Inhaber der Energiewerkstatt im österreichischen Birs, der das Energiekonzept geplant hat. Zum Nachheizen reichen rund zwei Raumwetter Stückholz pro Heizsaison aus. In den übrigen acht Monaten kann der ganze Energiebedarf für warmes Wasser und die Heizung komplett solar gedeckt werden.



Durch Kunststoff- oder Kupferrohre werden massive Betonsteile aktiviert, sodass sie Wärme speichern und verteilen können.

Steinweg zieht das Fazit, dass die Bauteilaktivierung bei Sonnenhäusern sinnvoll sei. Die BTA funktioniere mit Solarthermie «super gut», weil Fußbodenheizungen mit niedrigen Temperaturen betrieben werden könnten. Im Winter reiche schon eine Solartemperatur ab 21 °C. Eine Einschränkung mache er für Mehrgeschosshäuser: «Et ist nicht ganz einfach, Stockwerke zu beheizen, wenn nicht sowohl Boden und als auch Decke beheizt werden. In Einfamilienhäusern ist die oberste Geschossdecke oft eine Holzkonstruktion, die für eine thermische Aktivierung nicht taugt.» In dem Fall kann das Obergeschoss nicht mit der gleichen Leistung wie die Etage darunter, die gewöhnlich von zwei massiven Ebenen umgeben ist, beheizt werden. «Das kann man technisch in den Griff bekommen, muss aber bei der Dimensionierung beachtet werden», gibt Steinweg zu bedenken.

Während das ISFH sich aus Forschersicht mit der Bauteilaktivierung beschäftigt, zielt die Initiative Sonnenhaus Österreich mehr auf die Praktiker ab. Denn noch kennen sich nur wenige Planer und Installateure damit aus. Deshalb hat der Verband zusammen mit dem ecopius Bau.Energie.Umwelt Cluster Niederösterreich, der Donau-Universität Krems, AEE Intec sowie dem Teilnehmer eines Pilotkurses ein Weiterbildungskonzept entwickelt. Das Resultat ist das Seminar «Bauteilaktivierung für Gebäude mit hoher solarer Deckung», das in diesem Herbst zum ersten Mal an der Donau-Universität Krems stattfinden wird.

Isa Ripke

Optimale Regelung ist wichtig

Die Bauteilaktivierung hat aber auch Nachteile. Das System reagiert langsamer auf Veränderungen der Außentemperatur, und die Wärme aus den Betonplatten benötigt Stunden, um sich auszubreiten. Soll es kühler sein, kann die Temperatur nicht schnell herunter geregelt werden, wie es bei Heizkörpern der Fall ist. Sehr wichtig sind deshalb eine optimale Einstellung der Regelung und eine vorausschauende Regulierung je nach Wetterprognosen. Zudem empfiehlt Stocker: «Man sollte mit der Temperatur etwas spielen, um die Reaktionszeit kennenzulernen.»

Die Trägheit eines Systems mit Bauteilaktivierung wird jedoch von der Platensparnis durch den kleineren Speicher aufgewogen. Dies hat auch das Institut für Solarenergieforschung (ISFH) Harneln in einem Forschungsprojekt herausgefunden. Das Team von Jan Steinweg, Geopponenter Thermische Energiesysteme am ISFH, hat zusammen mit dem Bauunternehmen Helma ein Versuchshaus gebaut und vergleicht dieses in Messungen mit einem klassischen Sonnenhaus. Das Versuchshaus hat eine Solarthermieheizung, ein Radiator-System, Bauteilaktivierung und eine Wärmepumpe. Beim klassischen Sonnenhaus legen sie ein Einfamilienhaus mit großer Solarthermieanlage, großem Wärmespeicher und einer Holzheizung zum Nachheizen zugrunde.

DEWEZET 28.2.2017

Viele Projekte tragen seine Handschrift

Ehemaliger Landrat und Landtagsabgeordneter Fritz Saacke verstorben

VON CHRISTA KOCH

HARLEIN-PYRMONT. Er war ein Konservativer durch und durch und hat in verschiedenen Funktionen für das Weserbergland wichtige Weichen gestellt – im Alter von 91 Jahren ist der langjährige Landrat (1973 bis 1996) des Landkreises Harlewin-Pyrmont und Landtagsabgeordneter (bis CDU) jetzt verstorben.

Geboren im Raum Magdeburg und zum Teil aufgewachsen in Berlin, wo er auch seine ökonomische Ausbildung absolvierte, kam Saacke nach der Kriegsjahrezeit nach Kirchheim, wo er den Bauernhof seines Großvaters übernahm. Schon bald sah er dort im Gemeinderat und wun-

de Bürgermeister der Gemeinde Emmertal sowie Kreisvorsitzender der CDU. Als Mitglied des Kreisrates, vertrat er die Interessen der Bürger als Mitglied des Kreis-Ausschusses, des so wichtigen Finanz-Ausschusses und des Jugendwohlfahrtsausschusses, war außerdem Vorsitzender der Kommission, die Möglichkeiten zur Verbesserung des Schulwesens untersuchte. Nicht zuletzt ist es Saacke zu verdanken, dass mit der Europa-Beitritts-Schule eine wichtige Einrichtung zur gewerblichen Berufsausbildung geschaffen wurde. Das Ziel der Vorstöße im Dörpen für wichtiger als den Neubau eines Kirchhauses. Überhaupt



Fritz Saacke †

wurde zwar unter Saackes Ägide der Kirchhausbau erspart, geföhrt, dennoch blieben Möglichkeiten für Investitionen stets bestehen. Aber nicht nur um den Landkreis oder die Gemeinde Emmertal hat sich Saacke in

der Zeit seines politischen Engagements verdient gemacht, er hat auch entscheidende Projekte mit auf den Weg gebracht, die für das Land Niedersachsen wegweisend waren, darunter der Bau der Müllverbrennungsanlage, die auch wie vor die einzige im Land Niedersachsen ist.

Als Landtagsabgeordneter der CDU – diese Funktion hatte Saacke von 1974 bis 1996 inne – hatte der Verstorbene das Atomkraftwerk Großmarze akzeptiert, dem damaligen Ministerpräsidenten Ernst Albrecht 1987 aber auch das Solarforschungsinstitut in Othfregelbeck abgetrotzt, als erstes Institut dieser Art in Norddeutschland. Auch andere große Projekte wie die Ein-

gliederung der Emmertaler Zuckerfabrik in das Unternehmen Pfeiffer & Langen, um den heimischen Ribbenaubau zu sichern, tragen in seinen Teilen – seine Handschrift. Wenngleich auch im Umgang nicht immer einfach, war der frühere Landrat das, was man heute vielleicht einen „Macher“ nennen würde, einem, für den Kommunalpolitik immer auch Realpolitik war.

Für seine zahlreichen Meilen in der Gemeinde, im Landkreis und im Land wurde Fritz Saacke 1981 das Bundesverdienstkreuz erster Klasse verliehen, 1986 bekam er mit dem Niedersächsischen Verdienstkreuz erster Klasse, das relativ selten verliehen wird, eine weitere Auszeichnung.

DEWEZET 7.3.2017

Labor für solare Energie wird eröffnet

Emmerthaler Vorbild für Konstanz / Schülern soll Arbeit durch forschendes Lernen nahegebracht werden

EMMERTHAL/KONSTANZ. Am International Solar Energy Research Center Konstanz, kurz ISC Konstanz genannt, wird im April dieses Jahres ein Schülerlabor nach dem Vorbild der Niedersächsischen Lernwerkstatt für Solare Energiesysteme (NILS) eröffnet. Die NILS wurde am Institut für Solarenergieforschung Hameln/Emmerthal (ISFH) bereits vor 16 Jahren gegründet und ist seither ein beliebtes Ziel für Schulklassen, die sich über die Nutzung von solarer Energie informieren möchten.

Das Konzept des neuen Schülerlabors orientiert sich in weiten Teilen am Konzept der Lernwerkstatt NILS-ISFH. Die ersten Kontakte zwischen der Lernwerkstatt am ISFH und dem ISC Konstanz liegen etwas über zwei Jahre zurück. Nunmehr ist die Finanzierung für die Konstanzer Solare Lernwerkstatt Baden-Württemberg (KonSoLe) gesichert und die Verwirklichung des Projektes rückt in greifbare Nähe.

1000 Lehrerstunden für außerschulische Lernorte

Nach einer dreimonatigen Projektaufbauphase wird die langjährige didaktische Erfahrung des ISC künftig auch allgemeinbildenden Schulen regelmäßig zur Verfügung stehen, um Schülern die Arbeit mit erneuerbaren Energien durch forschendes Lernen nahe zu bringen.

In der vorletzten Woche fand am ISC eine vorbereitende Tagung statt, auf der von der technischen, didaktischen und methodischen Organisation des Solar-Schülerlabors über die Planung von Veran-



Schüler beim Aufbau eines mit Solarzellen betriebenen Motors im Labor der Niedersächsischen Lernwerkstatt für Solare Energiesysteme.

FOTO: NILS

staltungen für Schülergruppen bis hin zur Einbeziehung von Afrika- und Indien-Projekten des ISC in die solare Bildungsarbeit eine riesige Bandbreite an Themen abgearbeitet wurde.

In Niedersachsen stellt das Ministerium für Wissenschaft und Kunst (MWK) für außerschulische Lernorte rund 1000 Lehrerstunden zur Verfügung.

Schülerlabor „Saline“

Es gibt neben dem in der Gründung befindlichen KonSoLe in Konstanz bereits seit acht Jahren an der Hochschule für Wirtschaft und Technik (HTW) in Saarbrücken die „Saarländische Lerninitiative für nachhaltige Energienutzung“ (Saline). Dies ist ebenfalls ein Schülerlabor, welches mit Unterstützung der NILS dort aus der Taufe gehoben wurde. Auch Saline orientiert sich in weiten Teilen am Konzept der NILS. Der aktuell anhaltende Fachkräftemangel in

technischen Berufen signalisiert einen hohen Bedarf an einer regionalen Förderung von Mathematik, Informatik, Naturwissenschaft, Technik (MINT). Während Musikschulen und Sportvereine regelmäßig Nachwuchs- und Talentförderung im musikalischen oder sportlichen Bereich anbieten, ist es die Aufgabe der Schülerlabore, die Talente und das Interesse an Naturwissenschaft und Technik außerschulisch zu fördern.

red

DEWEZET 20.3.2017



Über neue Forschungsergebnisse informiert Dr. Thorsten Dullweber bei einem Rundgang Ministerpräsident Stephan Weil, hier zusammen mit Bundestagskandidat Johannes Schräps (von links). FOTO: WAL

Solarforscher mit ausgezeichnetem Ruf

Ministerpräsident Weil würdigt wichtigen Beitrag des Institutes für die Energiewende / Land gibt mehr Geld

VON CHRISTIAN BRANAHL

EMMERTHAL. Den besonderen Beitrag der Emmerthaler Solarforscher für die Energiewende hat Ministerpräsident Stephan Weil (SPD) gewürdigt. „Niedersachsen ist Vorreiter bei der Energiewende“, sagte Weil am Samstag bei einem Besuch des Institutes für Solarenergieforschung (ISFH). Zwar sei Niedersachsen ein ausgeprägtes Windland, doch bewiesen die Solarforscher, dass „sie zur absoluten Spitze in Deutschland zählen“, sagte er. Sie hätten sich einen ausgezeichneten Ruf im Bereich der Forschung erworben. „Das Land wird diese exzellente Einrichtung deswegen auch weiterhin tatkräftig unterstützen“, erklärte der Ministerpräsident, der zuvor die verschiedenen Forschungsbereiche des Institutes in Emmerthal besichtigt hatte.

Dieses Bekenntnis hat sich bereits in einer deutlich höheren Förderung niedergeschlagen. Wie bereits berichtet, hat

das Land Niedersachsen als Alleingesellschafter des ISFH die Fördermittel ab 2017 um 900 000 Euro auf dann 3,6 Millionen Euro jährlich erhöht. „Und zwar auf Dauer“, bekräftigte Weil. „Wir fühlen uns verpflichtet, dass das Institut seine Forschung auf hohem Niveau fortsetzen kann.“ Institutsleiter Prof. Dr.-Ing. Rolf Brendel dankte dem Ministerpräsidenten „für diese für uns sehr wichtige Entscheidung“. „Dies ist für uns nicht nur eine Anerkennung unserer Arbeit, sondern auch der Bedeutung der Solarenergie für die Energiewende in Niedersachsen, in Deutschland und in der Welt“, sagte Brendel.

Bekanntlich bestärkte das klare Bekenntnis des Landes zum ISFH den Physiker nach eigenen Worten auch darin, nicht dem Ruf an die Spitze des renommierten Fraunhofer-Instituts für Solarenergiesysteme in Freiburg zu folgen. Damit entschied sich Brendel dazu, in Emmerthal zu bleiben statt die Leitung

des mit rund 1100 Mitarbeitern größten Solarforschungsinstitutes Europas zu übernehmen.

Brendel, seit 2004 wissenschaftlicher Leiter und Geschäftsführer des ISFH, kann allerdings auch in Emmerthal auf eine Forschung auf höchstem Niveau verweisen. Bei der

» Auf den wissenschaftlichen Output unseres Teams sind wir sehr stolz.

Prof. Dr.-Ing. Rolf Brendel
Institutsleiter

Vorstellung des Jahresberichts 2016 verwies er darauf, dass die derzeit 145 Beschäftigten 103 Veröffentlichungen in internationalen Fachmedien im Vergleich zu 80 im Vorjahr publiziert hätten. „Auf den wissenschaftlichen Output unseres Teams sind wir sehr stolz, ist er doch das, was auf Dauer bleibt und weltweit langfristig zum Wohle des

Fortschritts der Solarenergie genutzt werden kann“, erklärt Brendel. Auch die Zahl der akademischen Abschlussarbeiten stieg um 70 Prozent von 12 auf 20. Für das hohe Niveau sprechen auch sieben internationale Auszeichnungen.

Im Bereich Photovoltaik ist zum Beispiel ein neues Verfahren zur Stromsammmlung auf der Rückseite der Solarzellen wegweisend. Das Ergebnis ist mit 25 Prozent Wirkungsgrad ein internationaler Spitzenwert. Dabei hebt Brendel erneut den Verbund mit den Forschungspartnern aus der Wirtschaft für die praktische Anwendung hervor. „Der Solarindustrie bieten wir unser Know-how und unsere Forschungsinfrastruktur für gemeinsame Forschungsprojekte an“, meint er. Das ISFH arbeite weiter daran, die Kosten für Solarenergie zu senken. Denkbar sei eine weitere Halbierung der aktuellen Preise.

„Mit der Energiewende hat Deutschland sich vorgenommen, sein Energiesystem, also

das Herz unserer Industriegesellschaft, zu transformieren und für die Zukunft fit zu machen“, so der Institutsleiter. „Bis 2050, also in etwas mehr als 30 Jahren, wollen wir den allergrößten Teil der energetischen Emissionen vermeiden haben: welch eine Dynamik, welch eine Aufgabe!“

Ein großes Ziel für die Zukunft sei die Integration von mehr Solarenergie in Gebäude, anstatt sie außen draufzusetzen. Die Technik könnte beispielsweise in Fassaden oder Brüstungen verbaut sein und optisch entweder nicht auffallen oder auch gestaltend eingesetzt werden. Außerdem müsse das Energiesystem zur Wärme- und Stromversorgung von Gebäuden und Quartieren optimiert werden. Der Ministerpräsident bezeichnete es als wichtig, aus den Ergebnissen der Forschung einen wirtschaftlichen Nutzen zu ziehen. Dabei gehe es in erster Linie darum, die Kosten etwa für Hauseigentümer und Mieter zu senken, sagte Weil.

DEWEZET 28.4.2017

Sonnen-Radio

Beim Zukunftstag basteln Schüler eigene Solaranlagen

VON BURKHARD REIMER

OHR. „Kannst Du hören?“ Diese Frage muss Marie-Jo zunächst einmal mit „Nein“ beantworten, „Dann lernst Du's jetzt!“, sagt Wolf-Rüdiger Schanz, ein pensionierter Gymnasiallehrer für Physik. Zuvor hat das elfjährige Mädchen von der Freien Waldorfschule Sorsum mit einer Feinmechanikerzange blanke Drahtenden zu kleinen „Angelhaken“ geformt. Diese werden anschließend über Kontakte gelegt und dann fest gelötet. 17 weitere, etwa gleichaltrige Mädchen und Jungen sind in ähnlicher Weise beschäftigt.

Gemeinsam machen sie am sogenannten Zukunftstag im Institut für Solarenergieforschung (ISFH) erste Erfahrungen mit jener wundersamen Technik, die Licht in Strom verwandelt.

Dazu werden sechs kleine Solarmodule miteinander verbunden. Sie dienen dazu, ein kleines Radio zum Klingen zu bringen. Das klappt einwandfrei und schon nach kurzer Zeit stehen die jungen Forscher am Fenster, halten ihre



„Es funktioniert!“ Stolz präsentieren drei der insgesamt 18 Mädchen und Jungen, die im ISFH in Emmerthal-Ohr am „Zukunftstag“ teilgenommen haben, ihre selbst gebastelten Solaranlagen. FOTO: ISFH

Apparaturen ins Licht und treten sich, als es kräftig aus den Mirlautsprechern dudelt.

Dass man aber nicht nur Radios mit den selbst gebastelten Solaranlagen betreiben, sondern, mittels eines kleinen Zusatzmoduls, sogar Handys damit aufladen kann, auch das erfahren die Kinder, die von dieser besonderen Art des Physik- und Werkunterrichts sichtlich begeistert sind.

Nicht minder begeistert ist Frank Tittel, mit Marie-Luise Kröger und Volker Napp eine der drei Lehrkräfte, die, ge-

meinsam mit Wolf-Rüdiger Schanz, allwöchentlich am ISFH Kindern und Jugendlichen aus allen Schulformen erste Kenntnisse über die Solarenergie und ihre Anwendungsmöglichkeiten vermitteln. „Die Schülerinnen und Schüler sind hoch motiviert, nicht zuletzt, weil hier, anders als im normalen Unterricht, kein Lernzwang besteht. Hier können sie beinahe spielerisch und am praktischen Beispiel erfahren, was sich hinter dem Schlagwort „Energiewende verbirgt.“

DEWEZET 13.5.2017



Bei Schäden an Solarzellen ist der Besitzer in der Beweispflicht. Das Institut für Solarenergieforschung hat jetzt ein Verfahren entwickelt, um beispielsweise Risse nach Hagelschlag nachzuweisen. FOTO: ISFH

Solarforscher spüren Hagelschäden auf

Verfahren des Instituts gilt als Nachweis für Versicherungen

EMMERTHAL. Hagelschäden an Photovoltaik-Modulen sind schwer erkennbar und schwierig nachzuweisen. Versicherungen sehen sich daher nicht immer in der Pflicht, solche Schäden zu begleichen. „Floris“ ist ein neues, preisgekröntes Analyseverfahren des Instituts für Solarenergieforschung (ISFH) in Emmerthal und bringt Licht ins solare Dunkel.

In vielen Fällen ist bislang nicht eindeutig nachweisbar, ob Schäden an Photovoltaikmodulen durch Hagelschlag oder andere äußere Einflüsse entstanden sind. Risse in den Solarzellen beeinflussen die Wirksamkeit der Photovoltaikmodule und können sehr wohl durch Unwetter entstehen. Sie sind aber mitunter gar nicht unmittelbar nach einem Hagelschlag erkennbar, weil aufprallende Hagelkörner, die teilweise Durchmesser von über fünf Zentimetern und mehr erreichen, das Frontglas nicht unbedingt sichtbar schädigen. Es können aber kleine Risse in den Solarzellen entstehen, die über einen längeren Zeitraum die Leistung der Solarzelle reduzieren.

Pauschal ist das Schadensrisiko umso höher, je dünner Frontglas und Rahmen sind. Und wenn dann der Eigentümer oder der Betreiber einer solchen Anlage seine Ver-

sicherung in Anspruch nehmen möchte, kommen deren Gutachter oft zu völlig anderen Einschätzungen: Die Kausalität des Schadens durch Hagel ist nicht nachweisbar, es könnte ebenso gut auch ein Installations- oder Transportschaden vorliegen, ergo ist die Versicherung aus der Haftungspflicht entlassen. Und die Nachweispflicht liegt stets beim Eigenlütmer der Solaranlage.

➔ **Bis zu 200 Module können mit dem neuen Verfahren in einer Stunde untersucht werden.**

Diese Grauzone bei der Beurteilung könnte nun der Geschichte angehören, denn das ISFH hat ein Verfahren entwickelt, mit dem der Nachweis der Ursache sowie der Zeitpunkt der Schadensentstehung feststellbar ist. Gewürdigt wurde dieses Verfahren mit dem Innovationspreis auf dem „32. Symposium für Photovoltaische Solarenergie“ in Bad Staffelstein.

Das neue Verfahren heißt schlicht „Floris“. Der Name steht für „Fluoreszenz Outdoor Inspektionssystem“. „Floris“ ist gegenüber anderen Inspektionssystemen, wie beispielsweise Elektrolumineszenz-

und Thermografie-Methoden, weitgehend wetterunabhängig“, erklärt Dr. Marc Köstges, der das Verfahren mit entwickelt hat.

Und wie geht das? Dem Solarpanel wird eine schwarze Haube aufgesetzt, unter der LEDs das Modul mit UV-Licht beleuchten. Eine Kamera zeichnet dann die Fluoreszenz des Moduls auf. Dort, wo Risse sind, ist keinerlei Fluoreszenz sichtbar, denn genau dort ist die Zelle defekt.

Mit „Floris“ geht das sogar tagsüber und richtig flott: Bis zu 200 Module können in einer Stunde untersucht werden. Das neue Analyseverfahren zeigt auch, welche Zellen aktiv sind und welche nicht. Solarzellen mit Rissen, die zu Ertragsminderung führen, erscheinen auf den UV-Fluoreszenzbildern heller als intakte Zellen. Insbesondere macht die Technik durch die unterschiedliche Fluoreszenzintensität im Bereich der Zellrisse Hagelschlagschäden von anderen Schadensursachen unterscheidbar. Die üblicherweise verwendete Elektrolumineszenztechnik hingegen kann nur nachts eingesetzt werden, weil tagsüber das Sonnenlicht stört und diese nicht in der Lage ist, Hagelschlagschäden eindeutig von Transport- und Installationsfehlern zu unterscheiden. red

DEWEZET 31.8.2017

Ein Thinktank mit Leidenschaft

Institut für Solarforschung in Ohr feiert 30-jähriges Bestehen

VON WOLFHARD F. TRUCHSEB

OHR. Sie waren schon einmal Weltmeister in der Produktion von Solarstrom und stehen mit einem Tandem-Modul derzeit weltweit an zweiter Stelle mit einem im Labor erzeugten Wirkungsgrad von 35,4 Prozent. Heute feiern die Wissenschaftler des Instituts für Solarforschung Hameln/Emmerthal (ISFH) mit vielen Gästen das 30-jährige Bestehen der Einrichtung.

Ursprünglich an die Leibniz-Universität in Hannover angegliedert, schaffte es der Landkreis Hameln-Pyrmont im Jahr 1991, die Ausschreibung für eine Verlegung des auf Initiative von Prof. Hellmut Glubrecht gegründeten Instituts an seinen neuen Standort für sich zu gewinnen. Seither forschen dort vor allem Physiker, aber auch Bauingenieure, Maschinenbauer, Elektrotechniker, Chemiker und Informatiker an der Optimierung der Nutzung solarer Energie.

„Es war eine sehr weitsichtige Entscheidung von Professor Glubrecht, der damals stellvertretender Präsident der Atomenergiekommission war, der Solarenergie als Alternative zum Atomstrom eine Chance zu geben“, blickt Prof. Rolf Brendel, seit 2004 Leiter des Instituts, auf diese Zeit zurück. „Solarthermie war damals nicht der Mainstream und keine Disziplin, mit der man Karriere machen konnte.“ Doch es sollte anders kommen. Heute ist die Solarenergie nicht mehr aus dem deutschen Energiemix wegzudenken, und die Wachstumsraten liegen jedes Jahr deutlich über den Prognosen. Niedersachsen hat sich als Land der Windenergie sogar zum Ziel gesetzt, im Jahr 2050 nur noch Strom aus regenerativen Energien zu produzieren – und dar-



Helga Schuchardt, damals niedersächsische Wissenschaftsministerin, setzte 1991 den ersten Spatenstich für das ISFH in Ohr. FOTO: ISFH

an soll die Solarenergie einen starken Anteil haben.

Aber beim ISFH beschäftigen sich die Forscher nicht nur mit Solarthermie oder Photovoltaik. Es geht dem Institut nach Darstellung von Brendel vor allem um drei Dinge: Das Gewinnen und Veröffentlichung von Erkenntnissen, um sie international nutzbar zu machen – soweit Drittmittel aus der Industrie nicht eine Geheimhaltung bedingen –, die Wirtschaftsförderung durch anwendungsorientierte Forschung und die Ausbildung von Wissenschaftlern mit befristeten Verträgen. Auf 500 bis 600 Doktoranden, Bachelor- und Masterabsolventen schätzt Brendel die Zahl der Wissenschaftler, die sich am ISFH im Lauf der 30 Jahre

qualifiziert haben. Und Dr. Raphael Niepelt, der Referent für Strategieplanung am ISFH, betont ihre Zukunftschancen: „Alle sind sehr begehrt in der Industrie.“

Im Blick haben die Forscher nicht nur die Solarthermie. Inzwischen geht es im Bereich der Systemtechnik vor allem darum, Synergien bei der Nutzung dieser Energieform zu heben – sei es durch Speichertechniken im geothermischen Bereich oder durch die Optimierung von Solarhäusern, die aufs Jahr gesehen nicht mehr als acht Kilowattstunden (kWh) extern erzeugter Energie pro Quadratmeter verbrauchen. Zum Vergleich: ein herkömmliches Solarhaus verbraucht im Jahr derzeit noch 15 kWh pro Quadratmeter.

Dass dies keine Hirngespinnste sind, beweist das ISFH derzeit mit einem von ganz realen Menschen bewohnten Haus in Hannover. Es wird zu 50 Prozent mit Solarenergie versorgt, speichert solarthermisch erzeugte Wärme in der Betonplatte des Baus und nutzt mittels Wärmepumpe auch die Geothermie, wobei aufgrund der systemtechnischen Kombination die geothermische Fläche im Vergleich zu einem KfW-Haus 55 um 50 Prozent verringert werden konnte.

Ein neues, bereits serienreif entwickeltes Projekt und Highlight der Arbeit der vergangenen fünf Jahre sind doppelverglaste Solarkollektoren, die nach Angabe von Dr. Rolf Reineke-Koch 50 Prozent mehr Energie erzeugen als

herkömmliche Kollektoren. Den Markt für die Produktion von Prozesswärme und die Fernwärmenetze haben sie zwar noch nicht erobert, aber zumindest soll demnächst eine Pilotanlage entstehen.

Im Gespräch mit den Wissenschaftlern fallen noch viele Begriffe, die alle mit der ISFH-Forschung zu tun haben: zum Beispiel Lasertechnologie, Fassadengestaltung, thermochrome Kollektoren, Halbleiterprozesse oder Bauteilaktivierung. Das ISFH, so scheint es, ist ein wichtiger Bestandteil der Energiewende. Und mit dem Ideenreichtum und der Leidenschaft, mit denen die Forscher an der Arbeit sind, darf das ISFH durchaus als ein „Thinktank mit Leidenschaft“ bezeichnet werden.

DEWEZET 1.9.2017

„Ein Leuchtturm der Forschung“

Festakt zum 30-jährigen Bestehen des ISFH / Großes Lob für bahnbrechende Entwicklungen

VON WOLFHARD F. TRUCHSEB

OHR. „Mit dem ISFH haben wir einen Leuchtturm der Energieforschung.“ „Das ISFH hat sich einen international anerkannten Spitzenplatz erobert.“ „Je nach Solarzell-Typ gehört das ISFH zu den Top3-Instituten in der Welt.“ Lobende Worte, wie sie gestern während des Festaktes zum 30-jährigen Bestehen des Solarforschungsinstituts Hameln/Emmerthal von Niedersachsens Wissenschaftsministerin Gabriele Heinen-Kljajic, Aufsichtsrat Dr. Winfried Hoffmann und Prof. Armin Aberle (Singapur) geäußert wurden. Lobende Worte, wie sie ähnlich auch für alle anderen Festredner zitiert werden könnten.

Besonders sei an dieser Stelle erwähnt, dass mehrere Redner, darunter Landrat Tjark Bartels, deutlich machten, dass erst die Aufstockung der Landesförderung Anfang des Jahres um 900000 Euro auf jährlich 3,6 Millionen Euro das ISFH „zukunftsicher“ gemacht und dafür gesorgt habe, dass der langjährige ISFH-Leiter Prof. Rolf Brendel nicht dem Ruf der Fraunhofergesellschaft nach Freiburg gefolgt sei. Die Aufstockung sei dringend nötig gewesen, meinte ein anderer Festredner, weil die Förderung des ISFH seit 30 Jahren nicht erhöht worden sei. Tatsächlich hatte das Institut im vergangenen Jahr nach Angaben von Brendel einen Gesamtetat von zwölf Millionen Euro, wobei mehr als 90 Prozent der Drittmittel vom Bund für Projekte zur Ver-



Führung durch das Labor „SolarTeC“. Hier wird der Lötautomat für die Serienverschaltung von Solarzellen gezeigt.

FOTO: ISFH

bundforschung mit Industriepartnern stammen.

Dass mit diesen durchaus nicht üppigen Mitteln teilweise bahnbrechende Forschungsergebnisse erarbeitet wurden, machten vor allem die Gastredner klar, die selbst aus der Fachpraxis stammen. So erinnerte der 1994 aus Sydney an das ISFH gekommene und inzwischen in Singapur forschende Prof. Armin Aberle daran, dass heute 90 Prozent aller Solarzellen mit dem Sil-

ziumnitrit beschichtet würden, dass 1996 nach nur anderthalb Jahren am ISFH entwickelt worden sei. Es sei der enormen Aufbruchstimmung und hohen Leistungsbereitschaft der damaligen Zeit zu verdanken gewesen, dass dies in so kurzer Zeit erreicht wurde. Nur ein Jahr später sei die erste Anlage zur durchlaufenden Beschichtung bei dem Unternehmen Roth & Rau in Betrieb genommen worden. „Sie hatten ihren Ursprung hier in Ohr

und hat bei einem Anlagepreis von 1,5 Millionen Euro inzwischen mehr als 500 Millionen Euro Umsatz erzeugt.“ Vor allem aber habe das ISFH wichtige Beiträge dazu geleistet, dass sich die Kosten für Investitionen in die Solartechnik innerhalb der vergangenen 30 Jahre um den Faktor 100 verringert hätten.

Als „Meilenstein“ der Entwicklungen am ISFH bezeichnete Prof. Jef Poortmans (Belgien), ein Spezialist für Photovoltaik, das erst im Oktober international anerkannte und als Zertifizierungsstelle akkreditierte Kalibrier- und Testzentrum (CalTec), mit dem die Wirkungsgrade innovativer Solarzellen bestimmt werden können. Es zählt damit zu dem weltweit nicht einmal ein halbes Dutzenden zählenden Laboren, die die kalibrierte Messung von Solarzellen als wissenschaftliche Dienstleistung für die Photovoltaikindustrie und -forschung anbieten.

Dr. Georg Menzen, Referatsleiter der Abteilung Energieforschung beim Bundeswirtschaftsministerium, erinnerte in seinem Grußwort an die Anfänge der Energieforschung im Jahr 1977, die erstmals einen breiten technologischen Ansatz infolge der Ölkrise verfolgt habe. Das Ziel

sei gewesen: „Weg vom Öl.“ Nach Tschernobyl sei es dann um den Ausbau der erneuerbaren Energien gegangen. Heute sei das Ziel eine komplette Umstellung der Energieproduktion, um auf der Basis von 1990 50 Prozent der Primärenergie und 80 Prozent des CO₂-Ausstoßes einzusparen. Menzen: „Wir werden im Jahr 2050 ein komplett neues Energiesystem haben.“ Voraussetzung, diese Energiewende zu schaffen, sei aber, die Energieforschung auf hohem Niveau fortzusetzen. „Geschieht das nicht, können wir die Energiewende nicht schaffen.“

Dass Ende der 1980er Jahre die Entscheidung fiel, das Solarforschungsinstitut in Ohr anzusiedeln, war sicherlich vor allem das Verdienst von Fritz Saacke (CDU), damals Landrat, Landtagsabgeordneter und Bürgermeister von Emmerthal. Er habe damals einen gewissen Druck auf Ministerpräsident Albrecht ausgeübt, mit der Ansiedlung des Solarinstituts in Ohr einen Gegenpol zu den mit dem Bau des AKW Grohnde verbundenen Misslichkeiten in der Gemeinde zu schaffen, erinnern sich der spätere Landrat Klaus Arnold und der SPD-Landtagsabgeordnete Uli Watermann.



Sie hielten die Grußworte zum 30-jährigen Bestehen des ISFH (v. l.): Aufsichtsrat Dr. Winfried Hoffmann, Prof. Armin Aberle (Singapur), Prof. Jef Poortmans (Belgien), Wissenschaftsministerin Gabriele Heinen-Kljajic, Prof. Rolf Brendel, Landrat Tjark Bartels, Helmut Jäger (Solvis) und Dr. Georg Menzen vom Bundeswirtschaftsministerium.

FOTO: WFT

DEWEZET 4.10.2017

Stiftung Industrieforschung ehrt ISFH-Forscher

Dr. Thorsten Dullweber erhält ersten Preis / Günstigere und effektivere Solarzellen gelten als „Meilensteine“

EMMERTHAL. Dr. Thorsten Dullweber, Abteilungsleiter am Institut für Solarenergieforschung in Emmertal (ISFH), hat den mit 7500 Euro dotierten 1. Preis der Stiftung Industrieforschung für seine Entwicklung der beidseitig lichtempfindlichen industriellen „PERC+-Solarzelle erhalten. Das hat das ISFH mitgeteilt.

Die Stiftung Industrieforschung zeichnet exzellente wissenschaftliche und technologische Arbeiten aus, die ein hohes Nutzenpotenzial für mittelständische Unternehmen aufweisen. Dem Kuratorium der Stiftung gehören unter anderem Vertreter des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie sowie Geschäftsführer mehrerer mittelständischer Unternehmen an. Der

Preis wurde Dr. Dullweber am im Rahmen des 13. Petersberger Industriedialoges der Industrie und Handelskammer (IHK) in Bonn überreicht.

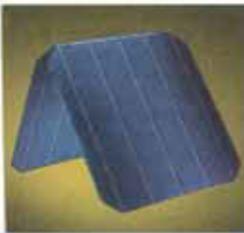
Dr. Dullweber hat mit seiner Forschungsgruppe eine neuartige, beidseitig lichtempfindliche Solarzelle entwickelt, bei der der ganzflächige Aluminium-Rückkontakt durch eine Fingerstruktur ersetzt und zudem die Optik der Zellrückseite

➔ Unternehmen produziert bereits in Freiberg die neue Solarzelle

verbessert wurde. Da die Aluminium-Finger nur noch einen Bruchteil der Zellrückseite bedecken, kann die Solarzelle Sonnenlicht sowohl von der Vorderseite als auch von der Rückseite absorbieren. Je nach Anteil des Streulichtes an der einfallenden Sonnenenergie sind durch die beidseitige Nutzung des Sonnenlichtes Mehrerträge bei der Stromerzeugung von bis zu 25 Prozent möglich. Zudem verringern sich die Materialkosten, da pro Solarzelle nur noch 0,15 statt 1,6 Gramm Aluminium-Paste benötigt werden. Diese neue PERC+-genannte Solarzelle ist eine



Hohe Auszeichnung als Anerkennung für wegweisende Forschungsarbeiten (von rechts nach links): Dr. Thorsten Dullweber (ISFH, 1. Preis), Dr. Thomas Gräbener (Kurator der Stiftung Industrieforschung), Dr. Felix Brüggemann (Uni Bochum, 3. Preis). (FOTO: ISFH)



Die beidseitig lichtempfindliche „PERC+-Solarzelle steigert den Energieertrag um bis zu 25 Prozent. (FOTO: ISFH)

Weiterentwicklung der industriellen „Passivated Emitter and Rear Cell“ (PERC) Solarzelle und lässt sich daher sehr schnell in die industrielle Produktion überführen, wie das ISFH die praxisnahe Forschung weiter erläutert.

Die Ergebnisse sind in Kooperation mit dem Solarzellenhersteller Solarworld AG in Freiberg entstanden, welcher

die neue Solarzelle produziert. Zudem forscht das ISFH, ein An-Institut der Leibniz Universität Hannover, mit mehreren mittelständischen Firmen aus dem Maschinenbau und der Materialherstellung an der Weiterentwicklung der spezifischen Herstellungsverfahren für diesen neuen Solarzellentyp.

Die Jury der Stiftung Industrieforschung begründet die

Vergabe des 1. Preises an Dr. Dullweber mit der großen wissenschaftlichen Detailtiefe in Experiment und Rechnung, aus denen wertvolle Schlüsse gezogen wurden, wie das ISFH weiter mitteilt. Die Arbeiten zu dieser Solarzelle stellen Meilensteine im Bereich der angewandten Forschung zu Silizium-Solarzellen dar. red

Solarthemen-Solarwärme 4.10.2017

Solarwärme harmoniert mit Beton

Das ist die neue Solarwärme-Technologie, die in Kombination mit Beton... (text continues)

... (text continues from previous page)

... (text continues)

... (text continues)

Baumann, Ulrike, Chemisch-Technische Assistentin, Abteilung Photovoltaik, ☎ 05151-999-637, u.baumann@isfh.de

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 Photovoltaik, ☎ 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

Hannebauer, Helge, Dr., Diplom-Physiker, Abteilung Photovoltaik, ☎ 05151-999-637, h.hannebauer@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

Kirchner, Maik, Diplom-Ingenieur, Abteilung Solare Systeme, ☎ 05151-999-523, m.kirchner@isfh.de

Köntges, Marc, Dr., Diplom-Physiker, Abteilung Photovoltaik, ☎ 05151-999-432, m.koentges@isfh.de

Kranz, Christopher, Dr., Diplom-Physiker, Abteilung Photovoltaik

Kröger, Marie-Luise, Lehrerin, Lehrerfortbildung, ☎ 05151-999-100, nils@isfh.de

Lampe, Carsten, Diplom-Ingenieur, Abteilung Solare Systeme, ☎ 05151-999-522, c.lampe@isfh.de

Littwin, Matthias, Diplom-Ingenieur, Abteilung Solare Systeme, ☎ 05151-999-505, m.littwin@isfh.de

Napp, Volker, Oberstudienrat, Lehrerfortbildung, ☎ 05151-999-100, nils@isfh.de

Niepert, Raphael, Dr., Diplom-Physiker, Abteilung Photovoltaik, ☎ 05151-999-403, r.niepert@isfh.de

Ohrdes, Tobias, Dr., Diplom-Physiker, Abteilung Solare Systeme, ☎ 05151-999-505, t.ohrdes@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

Rienäcker, Michael, M.Sc. (Energiesystemtechnik), Abteilung Photovoltaik, ☎ 05151-999-634, m.rienaecker@isfh.de

Schanz, Wolf-Rüdiger, Oberstudienrat, Lehrerfortbildung, ☎ 05151-999-100, nils@isfh.de

Schimanke, Sabrina, Chemisch-Technische Assistentin, Abteilung Photovoltaik, ☎ 05151-999-636, s.schimanke@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. (Physik), Abteilung Photovoltaik, ☎ 05151-999-643, h.schulte-huxel@isfh.de

Tittel, Frank, Oberstudienrat, Lehrerfortbildung, ☎ 05151-999-100, nils@isfh.de

Veith-Wolf, Boris, Dr., Diplom-Physiker, Abteilung Photovoltaik, ☎ 05151-999-635, b.veith-wolf@isfh.de

Vogt, Malte Ruben, Dr., M.Sc. (Physik), Abteilung Photovoltaik, ☎ 05151-999-415, m.vogt@isfh.de

Witteck, Robert, M.Sc. (Regenerative Energiesysteme), Abteilung Photovoltaik, ☎ 05151-999-429, r.witteck@isfh.de

Zacharias, Horst, Diplom-Ingenieur, Zacharias Gebäudetechnik GmbH, ☎ 05151-9451-0, z@zacharias-gruppe.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

31.12.2017

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

Bilder A, 9, 13: Andreas Braun, Hameln. Bilder B, C, D, E, 1, 2, 10-12, 14, Seiten 34/35, 40, 41, 61, 62, 76, 82: Salzmann PhotoDesign, Bad Münde. Bild 5: Thorsten Kropp, Bremen. Bilder 8, 22-31, 33-37: Jan Blachura, Hannover. Bilder 21, 44, 47, 48, 50, 51, 53, 56, 57, 60: Gestaltung und Überarbeitung durch caze • werbung & kommunikation, Hameln. Bild 45: Manuel Schnabel, NREL, Golden, Colorado, USA. Bild 60: Konvortec GmbH & Co KG. Bilder 66, 70: Martin Bargiel, Hannover. Bild 74: Pressefoto 27th International Photovoltaic Science and Engineering Conference (PVSEC-27). Bild 75: Pressefoto 32. Symposium für Photovoltaische Solarenergie. Alle übrigen Bilder: ISFH.

[Images A, 9, 13: Andreas Braun, Hamelin. Images B, C, D, E, 1, 2, 10-12, 14, pages 34/35, 40, 41, 61, 62, 76, 82: Salzmann PhotoDesign, Bad Münde. Image 5: Thorsten Kropp, Bremen. Images 8, 22-31, 33-37: Jan Blachura, Hannover. Images 21, 44, 47, 48, 50, 51, 53, 56, 57, 60: design and revision by caze • werbung & kommunikation, Hamelin. Image 45: Manuel Schnabel, NREL, Golden, Colorado, USA. Image 60: Konvortec GmbH & Co KG. Images 66, 70: Martin Bargiel, Hanover. Image 74: Press photograph 27th International Photovoltaic Science and Engineering Conference \(PVSEC-27\). Image 75: Press photograph 32. Symposium für Photovoltaische Solarenergie. 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/Acknowledgement

Allen Mitarbeitern, die zum aktuellen Jahresbericht beigetragen haben, sei an dieser Stelle herzlich gedankt. Ein besonderer Dank geht an Nicholas Moon für seine freundliche und professionelle Unterstützung sowie an Horst Zacharias für seinen Beitrag auf Seite 22.
[Thank to all colleagues, who have contributed to this annual report. Our particular gratitude goes to Nicholas Moon for his kind and professional support and to Horst Zacharias for his contribution on page 22.](#)

Abbildung/Figure 76:

Stephan Weil, Ministerpräsident von Niedersachsen, zu Besuch im *SolarTeC* am ISFH (2.v.l.). Die Besuchergruppe informiert sich hier bei Dr. Thorsten Dullweber (links) über neueste Siebdruckprozesse für bifaziale PERC+-Solarzellen.

Stephan Weil, Prime Minister of Lower Saxony, visiting the *SolarTeC* at the ISFH (2nd from left). The accompanying group of visitors is being briefed by Dr. Thorsten Dullweber about new screen printing processes for bifacial PERC+ solar cells.

Abbildung/Figure 77:

Betriebsausflug nach Rinteln. Dort befindet sich eine Fahrraddraisinenstrecke, die zu bewältigen ein sportliches Ziel war. Aber nicht alle Kollegen wollten in die Pedale treten.

Institute outing to Rinteln. There is a rail-bike track which gave us a sporting challenge to overcome, but not all members of staff had to pedal.

Abbildung/Figure 78:

Dr. Bernd Rech, Wissenschaftlicher Geschäftsführer des Helmholtz-Zentrums Berlin, im Gespräch mit Dr. Dimitri Zielke, der über seine Forschungsarbeit berichtet.

Dr. Bernd Rech, Scientific Director of the Helmholtz-Zentrum Berlin, in conversation with Dr. Dimitri Zielke, who is reporting about his research work.

Abbildung/Figure 79:

Der Ausstellungsstand des ISFH, der anlässlich des Energieforschungstages 2017 auf dem Lichthof der Leibniz Universität Hannover errichtet wurde.

The ISFH exhibition stand which was erected in the atrium of the Leibniz University Hanover to mark Energy Research Day 2017.

Abbildung/Figure 80:

Stefan Wenzel, Umweltminister des Landes Niedersachsen, im Gespräch mit Maik Kirchner am Stand des ISFH auf der Hannover-Messe 2017. Herr Kirchner erläutert die Funktionsweise einer neuartigen, am ISFH entwickelten Solarfassade.

Stefan Wenzel, Environment Minister of Lower Saxony, in conversation with Maik Kirchner at the ISFH stand at the Hanover Fair 2017. Mr. Kirchner is explaining the functioning of a novel solar façade developed at the ISFH.

Abbildung/Figure 81:

Trubel an der Solarrennbahn des NILS-Labors: Auf dem Sommerfest der Leibniz Universität Hannover fuhren Studierende lichtgetriebene Autorennen im Miniformat.

Excitement at the NILS laboratory solar racetrack: At the Leibniz University Hanover summer fair students held a light-driven car race in miniature format.

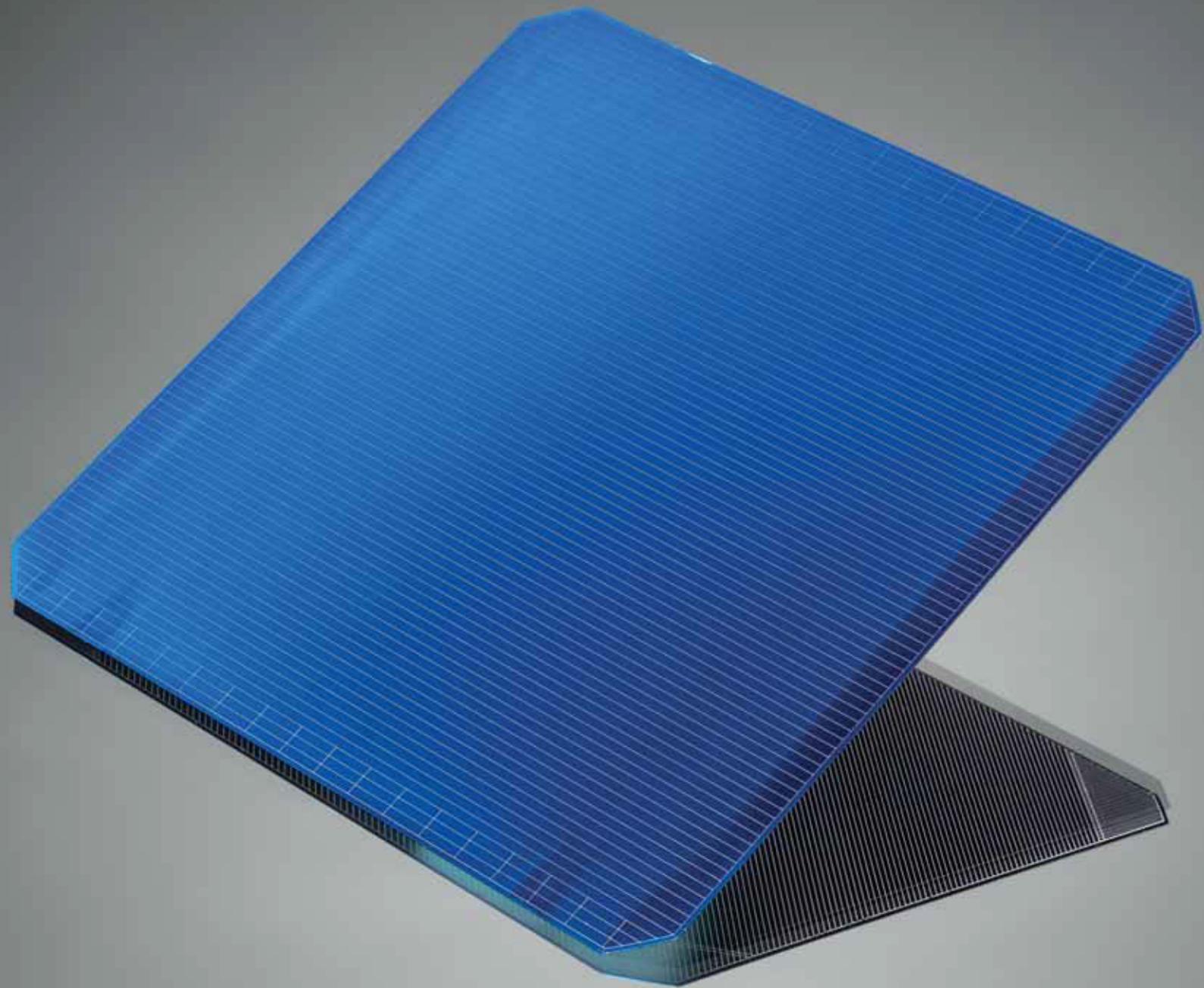


30 Jahre



ISFH

Innovation with impact



Industriell siebgedruckte Zelle mit POLO (poly-Si-on-oxide)-Kontakten auf beiden Seiten; ihr Wirkungsgrad beträgt 22,3%.
Industrial screen-printed double-side contacted poly-Si-on-oxide cell (POLO); its efficiency amounts to 22.3%.

30 Jahre



ISFH

Innovation with impact

Institut für
Solarenergieforschung
Hameln

2017

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