

JAHRESBERICHT

ANNUAL REPORT

2020



An-Institut der

Leitbild

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

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

Ausbildung. Wir geben Studierenden, Techniker*innen, Ingenieur*innen und Wissenschaftler*innen 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 Mitarbeiter*innen 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 expend 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 recognized 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: Teil der PV-Anlage auf dem Dach des ISS-Gebäudes.
Part of the PV system on the roof of the ISS building.
- B: Prototyp eines stagnationssicheren Wärmerohr-Kollektors auf einem der Testdächer im Außenbereich des Instituts.
Prototype of a stagnation-proof heat pipe collector on one of the test roofs in the outdoor area of the institute.
- C: Das elektrisch betriebene Demonstratorfahrzeug mit integrierter Photovoltaik.
The electrically driven demonstrator vehicle with integrated photovoltaics.
- D: Einstellung der Parameter für eine Messung am PV-Modul-Flasher.
Setting the parameters for a measurement on the PV module flasher.
- E: Olaf Lies, Niedersächsischer Minister für Umwelt, Energie, Bauen und Klimaschutz, besuchte das ISFH im Februar 2020.
Olaf Lies, Lower Saxon' Minister for the Environment, Energy, Building and Climate Protection, visited the ISFH in February 2020.



A

B

C

D

E

JAHRESBERICHT 2020

ANNUAL REPORT



Einrichtung einer Frischwasserstation zur Untersuchung am Prüfstand für Wärmeübergabestationen.
Installation of a domestic hot water module for testing on the test bench for heat transfer stations.

Associated with



Abbildung/Figure 2: Verabschiedung einer langjährigen Kollegin unter den Bedingungen der Pandemie: Die Veranstaltung fand im Vortragsraum unter Einhaltung der AHA-Regeln statt, die zugeschalteten Teilnehmer*innen befanden sich im Umkreis von bis zu 100 Kilometern.

Saying goodbye to a long-time colleague under the conditions of the pandemic: the event was held in the lecture theater in compliance with the AHA rules, the online participants were located within a radius of up to 100 kilometers.

Abbildung/Figure 3: Der Institutsleiter Professor Rolf Brendel begrüßt Dirk Toepffer (MdL) im Foyer des ISFH.

The Director of the Institute, Professor Rolf Brendel, is welcoming Dirk Toepffer (MSP) in the foyer of the ISFH.

Abbildung/Figure 4: Dr. Federico Giovannetti (links) im Gespräch mit Dirk Toepffer (MdL). Er erläutert die Prinzipien der an dem *SolarTeC*-Gebäude vorgebauten Solarfassade.

Dr. Federico Giovannetti (left) in conversation with Dirk Toepffer (MSP). He is explaining the principles of the solar façade attached to the *SolarTeC* building.

Abbildung/Figure 5: Olaf Lies (Mitte), Niedersächsischer Minister für Umwelt, Energie, Bauen und Klimaschutz, informiert sich im *SolarTeC* am ISFH über die neuesten PV-Entwicklungen des Instituts, hier im Gespräch mit Landrat Dirk Adomat, Dr. Thorsten Dullweber und Geschäftsführer Professor Rolf Brendel.

Olaf Lies (center), Lower Saxony's Minister for the Environment, Energy, Building and Climate Protection, finding out about the Institute's latest PV developments at *SolarTeC* at the ISFH, here in conversation with District Administrator Dirk Adomat, Dr. Thorsten Dullweber and Institute Director Professor Rolf Brendel.

Abbildung/Figure 6: Die Sitzungspause beim Kickoff-Meeting wird zum Gruppenfoto genutzt: die Teilnehmer*innen des BMWi-Verbundvorhabens *Solarthermische Aktivierung vorgehängter, hinterlüfteter Fassaden im Geschosswohnungsbau: Entwicklung, Systemintegration und Demonstration* (Solar VHF).

The break at the kick-off meeting is used for a group photo: the participants of the BMWi joint project *Solar thermal activation of curtain-type, rear-ventilated façades in multi-storey residential buildings: development, system integration and demonstration* (Solar VHF).

Streiflichter ♦ At a glance	2
Inhalt ♦ Contents	4
Vorwort ♦ Preface	6
1 Institut für Solarenergieforschung	8
Kurzportrait ♦ Brief portrait	8
Organisation ♦ Organization	11
Abteilung Photovoltaik ♦ Photovoltaics department	11
Abteilung Solare Systeme ♦ Solar systems department	14
Calibration & Test Center (CalTeC)	17
Zentrale Dienste ♦ Central services	19
Aufsichtsrat ♦ Supervisory Board	21
Wissenschaftlicher Beirat ♦ Scientific Advisory Board	21
Das Institut in Zahlen ♦ Statistics of the Institute	24
Gesellschaft zur Förderung des Instituts für Solarenergieforschung e. V. (Förderverein)	27
Society for the Promotion of the Institute for Solar Energy Research (Friends of the ISFH)	
2 Forschungsabteilungen ♦ Research departments	30
Abteilung Photovoltaik ♦ Photovoltaics department	30
Forschungsthemen ♦ Research topics	30
Dienstleistungen ♦ Services	30
Apparative Ausstattung ♦ Equipment & facilities	30
Glanzlichter ♦ Highlights	31
Abteilung Solare Systeme ♦ Solar systems department	32
Forschungsthemen ♦ Research topics	32
Dienstleistungen ♦ Services	32
Apparative Ausstattung ♦ Equipment & facilities	33
Glanzlichter ♦ Highlights	33
3 Wissenschaftliche Ergebnisse ♦ Scientific results	34
Abteilung Photovoltaik ♦ Photovoltaic department	34
Aluminiumoxid als effektive Wasserstoff-Diffusionsbarriere	34
Aluminum oxide as an effective hydrogen diffusion barrier	
Schattenmasken für die lokale PECVD-Abscheidung von SiO _x /poly-Si passivierenden Kontakten	37
Shadow masks for the local PECVD deposition of SiO_x/poly-Si passivating contacts	
Überhitzung von Hochleistungs-PV-Modulen mit mehr als 450 W _p durch Teilabschattung einzelner Solarzellen... ..	40
Overheating of high-power PV modules with more than 450 W_p due to partial shading of individual solar cells	
Praxistaugliche Reichweitenverlängerung eines leichten E-Lieferfahrzeugs durch fahrzeugintegrierte Photovoltaik mit Hochvolt-Anschluss	43
Practical range extension for a light E-delivery vehicle by means of vehicle-integrated photovoltaics with a high-voltage connection	
Industrienaher Herstellungsprozess für Solarzellen mit nPOLO und Al-p ⁺ -Kontakten oder „Der Teufel steckt im Detail“	47
Industry-oriented processes for solar cells with nPOLO and Al-p⁺ contacts or “The devil is in the details”	
Ko-verdampfte Perowskit-Solarzellen	52
Co-evaporated perovskite solar cells	

Abteilung Solare Systeme ♦ Solar systems department	55
TwinPower – Integrierte Gesamtenergieversorgung von Wohngebäuden mit PV-thermischen Kollektoren als bisolare Wärmepumpenquelle	55
TwinPower – Integrated total energy supply of residential buildings with PV-thermal collectors as a bisolar heat pump source	
Solare Stahl-Sandwichpaneele für die Wärmeversorgung von Industriegebäuden	60
Solar steel sandwich panels as heat suppliers for industrial buildings	
Photovoltaik-betriebene Mobilitäts-Hubs in der Metropolregion Hannover	64
Photovoltaic-powered mobility hubs in the Metropolitan Region Hanover	
Optische in-situ-Messtechnik als Prozesskontrolle für die Herstellung von Vanadiumdioxid (VO ₂)	67
Optical in-situ measurement as process control for the production of vanadium dioxide (VO ₂)	
4 Weiterbildung ♦ Education	71
Akademische Ausbildung ♦ Academic education	72
NILS – Die Lernwerkstatt im Wandel ♦ NILS – The Learning Workshop in transition	76
5 Dokumentation ♦ Documentation	83
Partner aus Universitäten & Forschungseinrichtungen ♦ Partners from universities & research facilities	84
Inland ♦ National	84
Ausland ♦ International	85
Partner aus Industrie, Planung & Entwicklung ♦ Partners from industry, planning & development	86
Inland ♦ National	86
Ausland ♦ International	88
Institutsmitgliedschaften ♦ Institute memberships	88
Institutskolloquien ♦ Institute colloquia	88
Mitarbeit in Fachgremien ♦ Membership in professional bodies	89
Ausstellungen & Fachtagungen ♦ Fairs & congresses	90
Veröffentlichungen in referierten Zeitschriften ♦ Peer-reviewed publications	90
Andere Veröffentlichungen ♦ Other publications	91
Vorträge ♦ Presentations	94
Studien- & Bachelorarbeiten ♦ Seminar & bachelor papers	97
Diplom- & Masterarbeiten ♦ Diploma theses & masters	98
Doktorarbeiten ♦ Ph.D.-theses	98
Lehrveranstaltungen ♦ Lectures	98
Preise & Auszeichnungen ♦ Awards	99
6 Presse ♦ Press	100
7 Autoren ♦ Authors	105
8 Impressum ♦ Impress	106

45 Jahre nach dem Inkrafttreten unseres Grundgesetzes, 15 Jahre nach der Einführung des Begriffs *Energiewende* und nach zähem und langem Ringen wurde 1994 mit dem neugeschaffenen Artikel 20a der Umweltschutz als Staatsziel in der Verfassung verankert: „Der Staat schützt auch in Verantwortung für die künftigen Generationen die natürlichen Lebensgrundlagen ...“.

Seit 1990 reduziert die Bundesrepublik bewusst ihre CO₂-Emissionen. Sie fördert die Umsetzung der Energiewende und die Forschung dafür auf vielen Ebenen. Ordentliche Erfolge sind da. Aber es geht in der Welt und auch in Deutschland zu langsam voran. So konnten die Klimaziele für 2020 nur wegen der Pandemie eingehalten werden. Nach der Klage junger Menschen leitet das Bundesverfassungsgericht dieser Tage aus dem Artikel 20a des Grundgesetzes ab, dass die Energiewende beschleunigt werden müsse. Andernfalls könnte die Freiheit der Kläger*innen und zukünftiger Generationen durch eine verschärfte Klimakrise zu einem knappen Gut werden.

Mir hat dieses Urteil gleich aus mehreren Gründen eine Gänsehaut verursacht: 1.) Wie großartig, in einer Demokratie mit Gewaltenteilung zu leben! 2.) Aus Dankbarkeit den Mitbürger*innen und Politiker*innen gegenüber, die sich schon in den 80er Jahren auf den Weg hin zu Artikel 20a gemacht haben! 3.) Wie wunderbar, dass unsere Jugend sich um die Zukunft kümmert und dabei mit klarem Blick auf die Wissenschaft eine starke meinungsbildende Kraft wurde! 4.) Welch eine Ermutigung für uns Forscher*innen und Entwickler*innen, nicht nachzulassen: Ja, unsere Forschung und Entwicklung ist gewollt, gewünscht und wird gebraucht – möglichst rasch! Und schließlich 5.) Welch eine riesige Herausforderung liegt da vor uns!

Schnelle Technologieentwicklung kann die Energiewende deutlich erleichtern. Das hat auch das letzte Jahr gezeigt: Neue Solarzellen-Technologien mit einfachen Herstellungsprozessen erlauben Wirkungsgrade von 24%. Poly-Silizium auf Oxid (POLO), wie es am ISFH entwickelt wurde, ist eine wichtige Zutat zu diesem internationalen Fortschritt. Mit Schattenmasken aus Glas (s. S. 37ff) eines niedersächsischen Technologieunternehmens sind neue Strukturierungstechniken möglich. Mit Perovskiten (s. S. 52ff) gibt es ganz neue Solarzellenmaterialien, die zusammen mit Silizium Wirkungsgrade sogar über 30% erlauben werden. Ein wichtiges praktisches Thema ist die Reichweitenverlängerung durch fahrzeugintegrierte Photovoltaik in elektrischen Lieferfahrzeugen (s. S. 43ff). Über Wärmepumpen lässt sich Solarstrom zum Heizen nutzen. In Kombination mit photovoltaisch-thermischen (PVT) Kollektoren können Wärmepumpen leise und effizient betrieben



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

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

45 years after our Constitution came into force, 15 years after the introduction of the term *Energiewende* (energy transition) and after a tenacious and long struggle, environmental protection was enshrined in the Constitution in 1994 as a national objective in the newly-created Article 20a: “The state also protects the natural resources out of responsibility for future generations ...”.

Since 1990 the Federal Republic has been consciously reducing its CO₂ emissions. It has been supporting the implementation of energy transition and research into it on many levels. Notable successes have occurred. But progress is too slow throughout the world and also in Germany. For example, the climate targets for 2020 could only be achieved due to the pandemic. After the young people’s court action the Federal Constitutional Court has deduced from Article 20a in the Constitution in the last few days that energy transition has to be accelerated. Otherwise the freedom of the plaintiffs and future generations might become a scarce commodity due to an aggravated climate crisis.

This verdict gave me goose pimples for several reasons: 1.) How great it is to live in a democracy with checks and balances! 2.) In gratitude for the fellow citizens and politicians who initiated the campaign for Article 20a as early as the 1980s! 3.) How wonderful it is that our youth is concerned about the future and has become an opinion-forming force with a clear focus on the science. 4.) What encouragement for us in research and development not to slacken up: yes, our research and development is wanted and desired and is needed – as quickly as possible! And finally 5.) What an enormous challenge lies in front of us!

Rapid technological development can considerably facilitate energy transition. The last year has also shown that new solar cell technology with simple production processes permit efficiency levels of 24%. Poly-silicon on oxide (POLO), as developed at the ISFH, is an important ingredient in this international progress. With glass shadow masks (see p. 37ff) from a Lower Saxon technology company new structuring techniques are possible. With perovskites (see p. 52ff) there are completely new solar cell materials which together with silicon will even permit efficiency levels of over 30%. An important practical topic is the increase in range in electric delivery vehicles through vehicle-integrated photovoltaics (see p. 43ff). Solar electricity can be used for heating by means of heat pumps. In combination with photovoltaic-thermal (PVT) collectors, heat pumps can be operated quietly and efficiently (see p. 55ff) and solar energy use is even increasingly being integrated into the classic construction sector (see p. 60ff).

werden (s. S. 55ff). Auch im klassischen Baubereich wird die Solarenergienutzung zunehmend integriert (s. S. 60ff).

Immer mehr Firmen und Politiker*innen sehen die Chancen, die in der Energiewende stecken. Ein Haltungswandel, der in den 80er Jahren begann, kondensiert sich in immer mehr Gesetzen auf föderaler, nationaler und auch auf internationaler Ebene. Wir sind mittlerweile gemeinsam auf dem Weg und müssen schneller werden!

Ich danke allen Kunden aus der Industrie, alle Forschungspartnern und den Wegbegleitern aus dem Ministerium für Wissenschaft und Kultur des Landes Niedersachsen sowie dem Bundesministerium für Wirtschaft und Energie und allen anderen Forschungsförderern für die vertrauensvolle Zusammenarbeit im schwierigen letzten Jahr.

Mein besonderer Dank geht an alle Mitarbeiter*innen des ISFH, für die das Forschen unter Corona-Bedingungen eine besondere Herausforderung war. Danke!

Ihnen, liebe*r Leser*in, wünsche ich viel Vergnügen bei der Lektüre unseres Jahresberichts.



Prof. Dr.-Ing. habil. Rolf Brendel, 30. April 2021

(Institutsleiter und Geschäftsführer)

More and more firms and politicians are recognizing the opportunities which can be derived from energy transition. A change in attitude which started in the 1980s is being mirrored in more and more legislation at a federal, national and even an international level. We are now all on the road and have to become faster!

I thank all our clients from industry, all our research partners and our traveling companions from the Ministry for Science and Culture of the State of Lower Saxony as well as the Federal Ministry for Economic Affairs and Energy and all other research sponsors for their trustworthy cooperation in this difficult last year.

My particular thanks go to all our ISFH colleagues, for whom conducting research under corona conditions has been a particular challenge. Thank you!

To you dear reader, I wish much pleasure in reading our Annual Report.

1

Institut für Solarenergieforschung

Kurzportrait

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

Das ISFH ist als außeruniversitäres Forschungsinstitut des Landes Niedersachsen in der Rechtsform einer gemeinnützigen GmbH organisiert. Es ist An-Institut der *Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover* (LUH) 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 LUH ist. Professor Brendel leitet am Institut für Festkörperphysik die Abteilung *Solarenergie*.

Das ISFH besteht aus den beiden Abteilungen *Photovoltaik* und *Solare Systeme* sowie der unabhängigen Prüfstelle *ISFH CalTeC*.

Brief portrait

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

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

ISFH is made up of the *Photovoltaics* and *Solar systems* departments as well as the independent test center *ISFH CalTeC*. Photovoltaic research includes the basic study of material properties as

Das Gelände des ISFH am Ohrberg mit den Versuchshäusern, der *Integrierten Solaren Systemtechnik* (ISS), dem *SolarTeC* und dem Hauptgebäude.
The ISFH site at Ohrberg with the experimental buildings, the *Integrated Solar Systems Technology* (ISS), the *SolarTeC* and the main building.



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 Silizium-Solarzellen mit Wirkungsgraden von mehr als 22 %, hocheffizienten Tandem-Solarzellen und der zugehörigen PV-Modultechnologie. Übergeordnetes Ziel ist das Senken der Produktionskosten von Solarzellen und -modulen.

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

Das ISFH ist Mitglied der *Zuse-Gemeinschaft*, einem technologie- und branchenoffenen Verband unabhängiger Industrieforschungseinrichtungen. Ferner ist das Institut Mitglied im *Forschungs-Verbund Erneuerbare Energien* (FVEE), einem Zusammenschluss außeruniversitärer deutscher Forschungsinstitute, der seine Forschungstätigkeiten auf nationaler Ebene im Bereich der regenerativen Energien koordiniert. Außerdem ist das Institut Mitglied im *Laboratorium für Nano- und Quantenengineering* (LNQE), im *Leibniz Forschungszentrum Energie 2050* (LiFE 2050) und unterstützt die Arbeit des *Energieforschungszentrums Niedersachsen* (efzn).

well as the development of processes and equipment for manufacturing solar cells. The main interest is the development of new silicon solar cells with efficiencies of more than 22 %, high-efficiency tandem solar cells and the related PV module technology. 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 with 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, heat pumps, functional coatings and heat storage concepts as well as new applications and combinations of energy systems.

The ISFH is a member of the *Zuse Association*, a technology- and industry-open association of independent industrial research institutions. Furthermore, 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 the institute is a member of the *Laboratory for Nano and Quantum Engineering* (LNQE), the *Leibniz Research Center Energy 2050* (LiFE 2050) and supports the work of the *Energy Research Center of Lower Saxony* (efzn).





Ein Hocheffizienz-PV-Modul hergestellt aus Heterojunction-Solarzellen mittels *Verbinderschindeln*.
A high-efficiency PV module made from heterojunction solar cells using *interconnect-shingling*.

Organisation

Abteilung Photovoltaik

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

Dr. Thorsten Dullweber (INFRASTRUKTUR)

Prof. Dr. Jan Schmidt (PERSONAL)

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

Organization

Photovoltaics department

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

Dr. Thorsten Dullweber (INFRASTRUCTURE)

Prof. Dr. Jan Schmidt (HUMAN RESOURCES)

Solar cell efficiencies achieved in the laboratory are already remarkably high. However, there is a demand for industrially applicable technologies to enable even more rapid mass production of high-efficiency solar cells and modules at lower cost. The six research groups in the *photovoltaics* department are committed to different aspects of the industrial application of our laboratory developments and increasingly with issues of future options for photovoltaics.

Photovoltaik-Materialforschung/Photovoltaics materials research

Leitung/Head: Prof. Dr. Jan Schmidt

Ziel dieser Gruppe ist es, ein umfassendes Verständnis der Auswirkung von Defekten und Defektreaktionen in Halbleitermaterialien auf Solarzeleigenschaften zu entwickeln. Mit Hilfe eines gezielten *Defect Engineering* wird die Materialqualität der heute in der Photovoltaik eingesetzten Materialien verbessert. Weitere Schwerpunkte sind neue Ansätze zur Oberflächenpassivierung, ladungsträgerselektive Kontakte sowie die Analyse neuartiger Materialien für die Photovoltaik.

An aim of this group is to gain a comprehensive understanding of the impact of defects and defect reactions in semiconductor materials on solar cell characteristics. *Defect engineering* techniques are developed to improve the material quality of today's photovoltaic materials. Other foci are on the evaluation of new surface passivation techniques, on carrier-selective contacts as well as on the analysis of novel materials for photovoltaic applications.

Solarzellencharakterisierung & Simulation/Solar cell characterization & simulation

Leitung/Head: Dr. Karsten Bothe

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

The objective of the group is the development of new measurement and evaluation techniques which are required to gain, supported by device simulations, a comprehensive understanding 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 PV modules. Based on electrical and optical simulations we demonstrate potential optimization rules and define strategies for further energy conversion efficiency improvements of solar cells and PV modules. The team offers its facilities, experience and simulation know-how as a service to the photovoltaic industry.

Industrielle Solarzellen/*Industrial solar cells**Leitung/Head: Dr. Thorsten Dullweber*

Diese Arbeitsgruppe entwickelt Verbesserungen von Silizium-Solarzellen mit einem industrietypischen Herstellungsprozess hinsichtlich Wirkungsgradsteigerung und Kostenreduktion. Im Fokus gegenwärtiger Forschungsaktivitäten mit Industriepartnern stehen dabei industrielle, rückseitenpassivierte PERC-Solarzellen (*Passivated Emitter and Rear Cell*) sowie bifaziale PERC+-Solarzellen mit Aluminium-Finger-Grid. Zudem ist die Entwicklung neuer Herstellungsprozesse für passivierende poly-Si-Kontakte sowie deren Integration in industrielle Solarzellen ein weiterer Schwerpunkt für die Kooperation mit Firmen aus der Photovoltaik-Industrie.

This group develops improvements to silicon solar cells produced in an industrial way with respect to increasing efficiencies and reducing costs. The focus of the activities is on industrial PERC (*Passivated Emitter and Rear Cell*) solar cells as well as bifacial PERC+ solar cells with aluminum finger grids. In addition, the development of new manufacturing processes for passivating poly-Si contacts and their implementation in industrial solar cells are a focus for cooperation with companies from the photovoltaic industry.

Emergente Solarzellentechnologien/*Emerging solar cell technologies**Leitung/Head: Prof. Dr. Robby Peibst*

Diese Gruppe arbeitet an der konzeptionellen Weiterentwicklung von Silizium-Solarzellen. Dazu gehört einerseits die Integration von passivierenden Kontakten auf Basis von polykristallinem Silizium auf Oxid (POLO) in Solarzellen, um das Wirkungsgradpotenzial weiter zu steigern. Die POLO-Kontakte werden in Zusammenarbeit mit Industriepartnern aus dem Anlagenbau entwickelt und zusammen mit akademischen Partnern grundlagenphysikalisch untersucht. Eine zweite konzeptionelle Weiterentwicklung ist die Kombination der Silizium-Solarzellen mit verschiedenen Top-Solarzellen von internationalen Partnern zu Tandem-Solarzellen, wobei verschiedene Konfigurationen (insbesondere 2- und 3-Terminal) untersucht werden. Ein dritter Pfad zur konzeptionellen Weiterentwicklung von Silizium-Solarzellen ist deren Anpassung auf Spezialanwendungen, z. B. für fahrzeugintegrierte Photovoltaik.

This group works on the conceptual further development of silicon solar cells. On the one hand, this includes the integration of passivating contacts based on polycrystalline silicon on oxide (POLO) in solar cells to further increase the efficiency potential. The POLO contacts are developed in cooperation with industrial partners from the equipment manufacturing sector and basic physical properties are investigated together with academic partners. A second conceptual advancement is the combination of Si solar cells with different top solar cells from international partners to form tandem solar cells, whereby different configurations (especially 2- and 3-terminal) are being investigated. A third path for the further conceptual development of silicon solar cells is their adaptation to special applications, e. g. for vehicle integrated photovoltaics.

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. Der Schwerpunkt unserer Arbeit ist die Entwicklung von kostengünstigen Tandemsolarzellen auf Silizium, mit denen noch höhere Wirkungsgrade als mit reinen Silizium-Solarzellen erreicht werden können. Dabei setzen wir auf koverdampfte Perowskit-Solarzellen als Top-Solarzelle. Ein weiterer Schwerpunkt ist das Porosizieren von Silizium für die sägefremde Herstellung von monokristallinen Siliziumwafern.

The group develops methods and technologies enabling new options for photovoltaics. The focus of our work is the development of cost-efficient tandem solar cells on silicon. These can reach an ever higher efficiency than single junction silicon solar cells. To achieve this we focus on co-evaporated perovskite solar cells as the top solar cell. Another focus is the porosification of silicon for kerfless manufacturing of monocrystalline silicon wafers.

Modultechnologien/Module technologies

Leitung/Head: Dr. Marc Köntges

Die Arbeitsgruppe entwickelt neue Herstellungsverfahren von Photovoltaikmodulen für besondere Anwendungen. Solarzellen werden für neue Anwendungen als Lichtsensoren integriert und PV-Module für Fahrzeuge (VIPV) oder gebäude-integrierte Anwendungen (BIPV) entwickelt. Die Grundlagen des Aufbaus und der Charakterisierung von terrestrischen Tandem-PV-Modulen werden untersucht. Die Gruppe konzipiert Methoden zum Auffinden von Schäden in Solarmodulen. Schwerpunkt sind bildgebende Verfahren, wie beispielsweise die kamerabasierte Erfassung der UV-Fluoreszenz im PV-Modullaminat. Diese Methoden werden für den größtenteils automatisierten Einsatz in Freiflächenanlagen weiterentwickelt. Außerdem werden Auftragsarbeiten zur Fehleranalyse von PV-Modulen mit beschleunigten Alterungstests und Standardprüfungen gemäß der Norm IEC 61215 durchgeführt.

The working group develops new manufacturing processes of photovoltaic modules for special applications. Solar cells for new applications are integrated as light sensors and PV modules for vehicles (VIPV) or building-integrated applications (BIPV) are developed. The fundamentals of the construction and characterization of terrestrial tandem PV modules are investigated. The group develops methods for detecting damage in solar modules. The focus is on imaging techniques, such as camera-based detection of the UV fluorescence in PV module laminates. These methods are further developed for the mostly automated use in ground-mounted systems. Contract work is being carried out for fault analysis of modules with accelerated ageing tests and standard tests in accordance with the IEC 61215 standard.

Ein vom Substrat abgelöster PSI-Wafer; darunter das Substrat, von dem er abgelöst wurde.
A PSI wafer detached from the substrate; below, the substrate from which it was detached.



Abteilung Solare Systeme

*Leitung: Dr. Federico Giovannetti (F&E-KOORDINATION)
Dr. Rolf Reineke-Koch (PERSONAL & INFRASTRUKTUR)*

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

Solar systems department

*Heads: Dr. Federico Giovannetti (R&D COORDINATION)
Dr. Rolf Reineke-Koch (HUMAN RESOURCES & INFRASTRUCTURE)*

The research activities of the *Solar systems* department include the integration of renewable energy into cost-effective and reliable energy systems to supply buildings and neighborhoods with energy. Components with improved properties as well as new system combinations are being developed. These are proved and implemented in cooperation with our project partners. Ensuring 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. Development support and certification contract testing are also offered.

Solarthermische Materialien/Solar thermal materials

Leitung/Head: Dr. Rolf Reineke-Koch

Diese Arbeitsgruppe evaluiert neue Konzepte für Wärmeschutzverglasungen und selektive Beschichtungen von Absorbern in Kollektoren. Ein neuer Themenschwerpunkt sind Beschichtungen für Wasser-Elektrolyseure. 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. Ein Messstand für bidirektionale Reflexion und Transmission (BRDF, BTDF) wurde in Betrieb genommen.

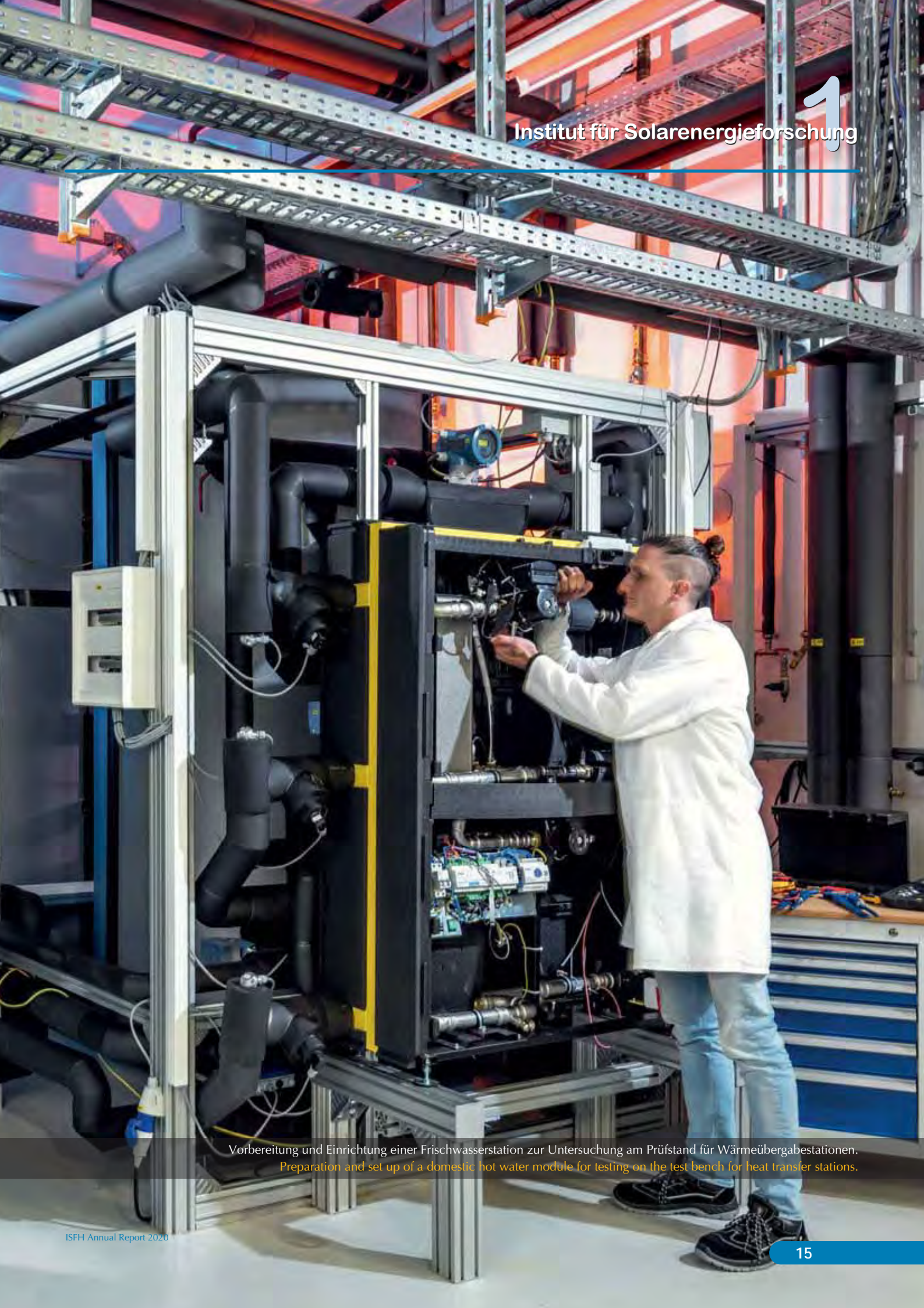
This working group evaluates new concepts for thermal glazing and selective coatings for absorbers in collectors. A new focus is on coatings for water electrolyzers. The development of coatings in our own facilities, support for transfer to industry, testing of aging and corrosion resistance, and materials science and optical characterization including spectral ellipsometry from the UV to mid-infrared range are focal points of our work. A measurement stand for bidirectional reflectance and transmittance (BRDF, BTDF) was put into operation.

Kollektoren/Collectors

Leitung/Head: Dr.-Ing. Federico Giovannetti

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

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



Vorbereitung und Einrichtung einer Frischwasserstation zur Untersuchung am Prüfstand für Wärmeübergabestationen.
Preparation and set up of a domestic hot water module for testing on the test bench for heat transfer stations.

Systemkomponenten/System components

Leitung/Head: Dipl.-Ing. Carsten Lampe

Im Fokus dieser Arbeitsgruppe stehen die experimentelle Bewertung und Modellierung nichtsolare Systemkomponenten wie z. B. Frischwasser- und Wohnungsstationen, Wärmepumpen, Brennwertkessel und Subsysteme wie beispielsweise Energiezentralen von Mehrfamilienhäusern. Besonders hervorzuheben sind die Entwicklung und Optimierung von Warmwasserspeichern und die dynamische Prüfung von Wärmepumpen unter kontrollierten Bedingungen.

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

Elektrische Energiesysteme/Electrical energy systems

Leitung/Head: Dr. Tobias Ohrdes

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

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

Thermische Energiesysteme/Thermal energy systems

Leitung/Head: Dipl.-Ing. Peter Pärisch

Die Entwicklung und Bewertung von effizienten thermischen Systemen zur Gebäude- und Quartiersversorgung sind 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 Versorgungskreisen. Die Kombination von Sonnenenergie mit Wärmepumpen ist ein zentraler F&E-Schwerpunkt. Übergeordnet ist das Ziel, durch systemtechnische Maßnahmen End- und Primärenergie einzusparen. Systemsimulation und messtechnische Analyse im Labor sowie im Feld, einschließlich automatisierter Kontrollverfahren, sind wesentliche Methoden.

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

Calibration & Test Center (CalTeC)

Leitung/Head: Dipl.-Ing. Carsten Lampe

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

[1] Allgemeine Anforderungen an die Kompetenz von Prüf- und Kalibrierlaboratorien

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 four competence areas:

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

CalTeC – Thermal applications

Leitung/Head: Dipl.-Ing. Carsten Lampe

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

[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

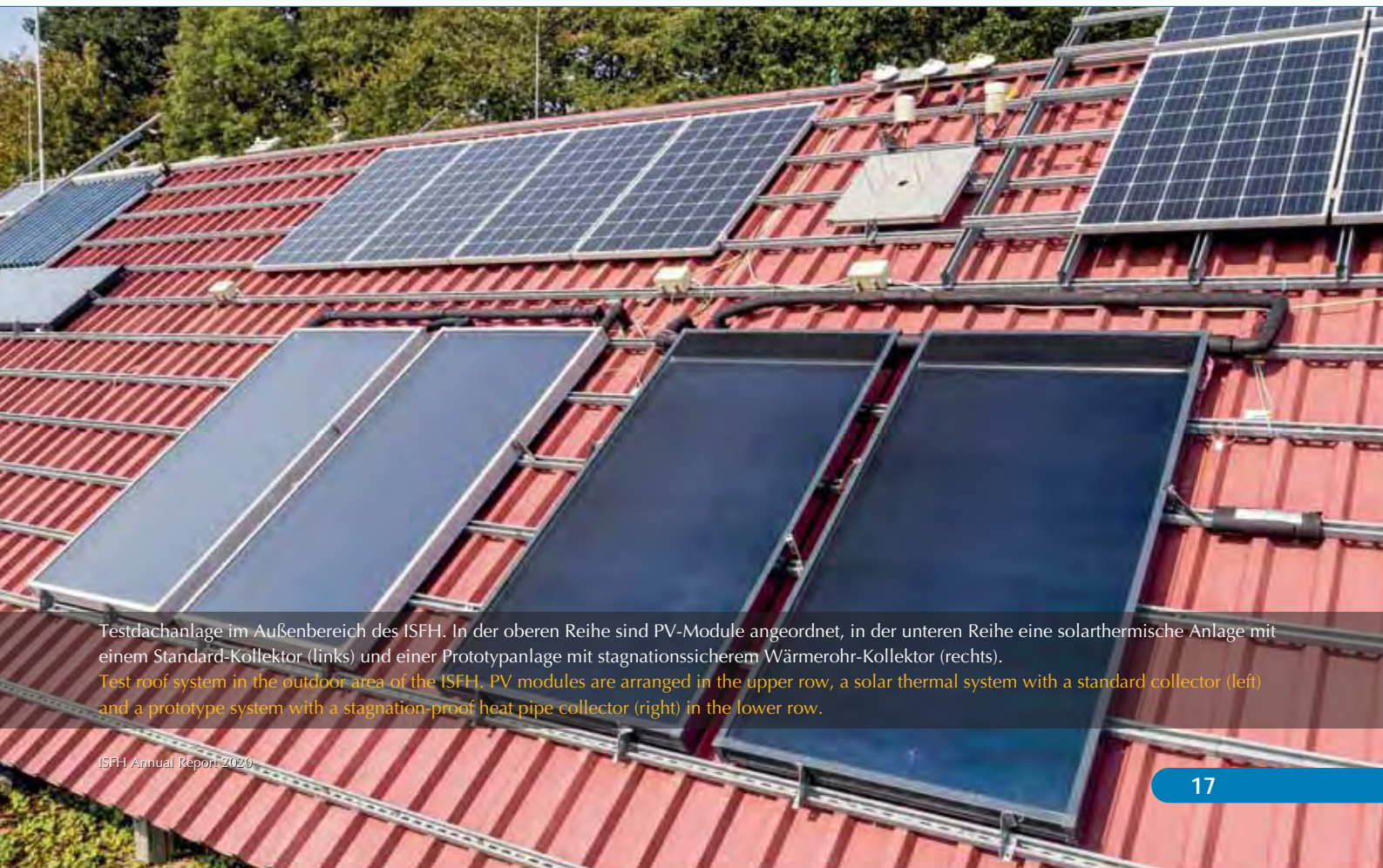
With the flexibilization of the accreditation scope in 2018, the *Thermal applications* division of *CalTeC* offers general testing of thermal energy converters, energy storage and systems as well as components for thermal energy transport. The division has a wealth of experience in all areas of thermal solar collectors and solar systems with tests in accordance with the European standards of EN 12975^[2], EN 12976^[3] and EN 12977^[4] and the international standard of ISO 9806^[5]. In this area, active participation in standardization bodies is being pursued. Furthermore, we provide our knowledge for accompanying product development as well as develop and improve test procedures.

[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



Testdachanlage im Außenbereich des ISFH. In der oberen Reihe sind PV-Module angeordnet, in der unteren Reihe eine solarthermische Anlage mit einem Standard-Kollektor (links) und einer Prototypanlage mit stagnationssicherem Wärmerohr-Kollektor (rechts).

Test roof system in the outdoor area of the ISFH. PV modules are arranged in the upper row, a solar thermal system with a standard collector (left) and a prototype system with a stagnation-proof heat pipe collector (right) in the lower row.

CaTeC – Solar cells & sensors

Leitung/Head: Dr. Karsten Bothe

Der Bereich *Solar cells & sensors* bietet sowohl die Kalibrierung von Solarzellen und Solarstrahlungssensoren als auch die Prüfung von Spektralradiometern bezüglich der korrekten Bestimmung der spektralen Bestrahlungsstärke an. Die Bestimmung der elektrischen Kenngrößen von Solarzellen und Solarstrahlungssensoren erfolgt unter Standardtestbedingungen und ist konform mit den IEC 60904^[6]-Normen. Die Prüfung von Spektralradiometern 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.

[6] Photovoltaische Einrichtungen

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

[6] Photovoltaic devices



Am ISFH entwickelter Strom-Spannungs-Wandler für Messungen der differentiellen spektralen Bestrahlungsstärkeempfindlichkeit (DSR) bei Biasströmen von bis zu 12 A.

Current-to-voltage converter developed at ISFH for differential spectral irradiance response (DSR) measurements at bias currents up to 12 A.

CaTeC – Reference lamps

Leitung/Head: Dr. Karsten Bothe

Der Bereich *Reference lamps* bietet die Kalibrierung der spektralen Bestrahlungsstärke von Strahlernormalen zwischen 250 nm und 1.700 nm an. In der Regel handelt es sich bei den Strahlernormalen um Wolfram-Halogenlampen mit einer elektrischen Leistung zwischen 250 W und 1000 W. Derartige Strahlernormale werden gerne zur Kalibrierung von Spektralradiometern eingesetzt, da sie ein kontinuierliches Spektrum besitzen und nach einer entsprechenden Einbrennprozedur eine hohe Langzeitstabilität aufweisen. Die Kalibrierung im *ISFH CaTeC* erfolgt mit einem Substitutionsverfahren.

The *Reference lamps* division offers calibration of the spectral irradiance of reference lamps between 250 nm and 1,700 nm. Usually tungsten halogen lamps with an electrical output between 250 W and 1000 W are used as reference lamps. Such reference lamps are often used for the calibration of spectroradiometers because they have a continuous spectrum and, after a corresponding burn-in procedure, have a high long-term stability. Calibration at the *ISFH CaTeC* is carried out using a substitution method.

CalTeC – Optics

Leitung/Head: Dr. Rolf Reineke-Koch

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

In general, the *Optics* section of *CalTeC*, with its flexibilized accreditation, offers the measurement of the radiometric properties of coatings and surfaces. The section is accredited for measurements of hemispheric reflection and directed transmission and reflection, in each case from the UV range up to a wavelength of 50.000 nm, and also for determining the refractive index and the extinction coefficient by means of spectral ellipsometry in the wavelength range of 240 nm to 33.000 nm. Tests of the aging resistance of absorber layers are offered in accordance with the international standard ISO 22975-3^[7].

[7] Solarenergie – Kollektorbauteile und Materialien

[7] Solar energy – Collector components and materials

Zentrale Dienste

Leitung: Dipl.-Oec. Wolfgang Gaßdorf

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

Central services

Head: Dipl.-Oec. Wolfgang Gaßdorf

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

Weiterbildung & NILS/Education & NILS

Leitung/Head: Dr. Roland Goslich

Eines der ersten Schülerlabore an einem wissenschaftlichen Forschungsinstitut ist die bereits 2001 am ISFH gegründete *Niedersächsische Lernwerkstatt für solare Energiesysteme* (NILS). Die Lernwerkstatt ist eine 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.

One of the first school laboratories at a scientific research institute was the *Lower Saxon Learning Workshop for Solar Energy Systems* (NILS) founded at ISFH as early as 2001. The learning workshop is an initiative 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 generation and energy use, in particular with respect to its availability, sustainability, economic viability and climate protection.

Die NILS ist außerdem anerkannter außerschulischer Lernstandort im *BNE-Verbund*^[8] und fördert die Bildung im mathematisch-naturwissenschaftlich-technischen Bereich (MINT). Als solcher Lernstandort ist sie starker außerschulischer Partner, der durch den Einsatz von niedersächsischen Lehrkräften für hohe Qualität steht und passgenaue Angebote für alle Schulformen vorhält.

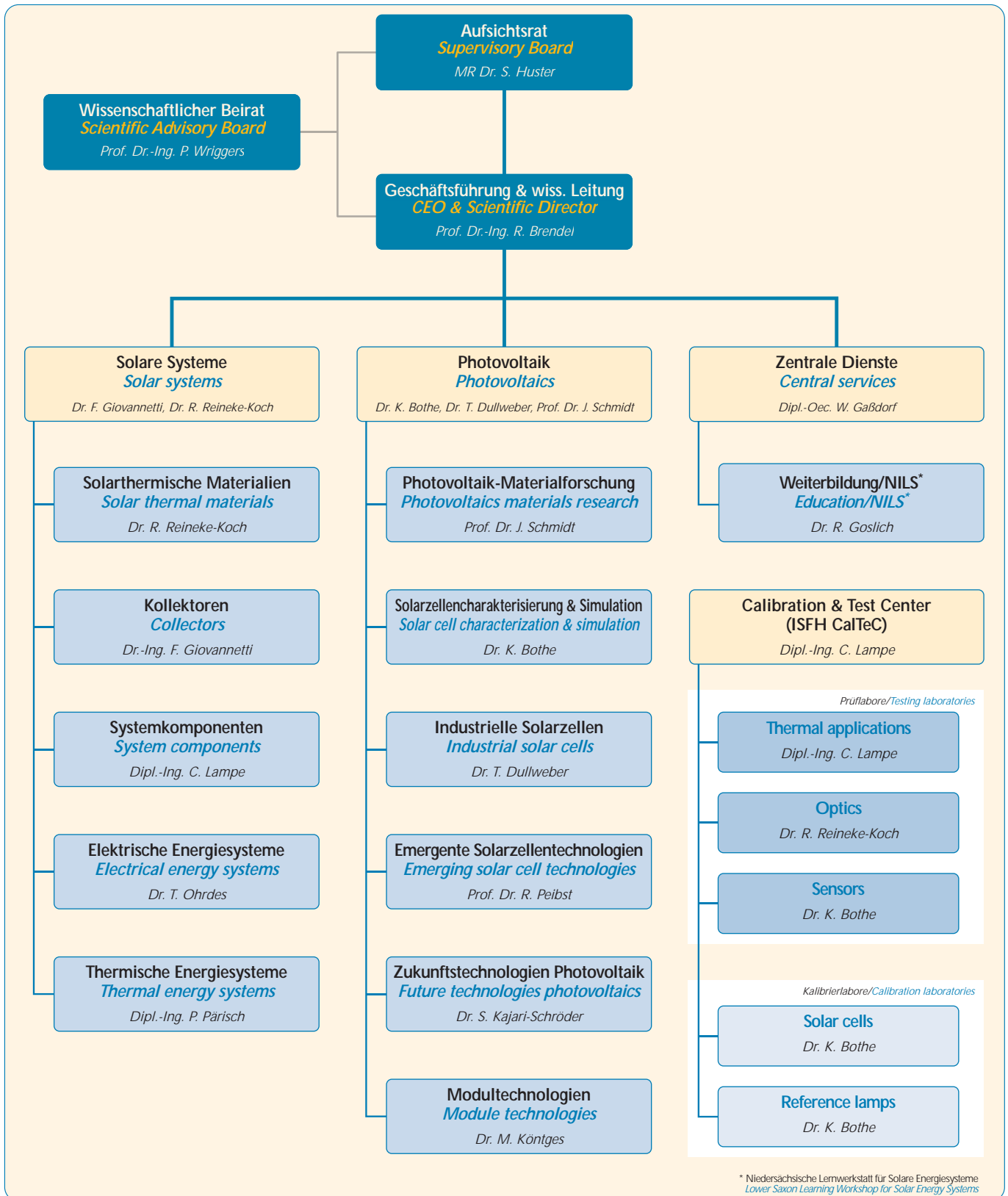
NILS is also an extra-scholastic place of learning in the *BNE-Verbund*^[8] and promotes education in the science, technology, engineering and mathematics (STEM) sector. As such a place of learning, it is a strong extra-scholastic partner, which, through the use of Lower Saxon teachers, ensures high quality and provides apposite offers for all types of schools.

Durch die Vernetzung mit den Schulen im *BNE-Verbund* erfolgt auf regelmäßig stattfindenden Treffen ein weitreichender Austausch von Erfahrungen auf Bezirks- und Landesebene.

Through networking with schools in the *BNE-Verbund*, an extensive exchange of experiences takes place at regular meetings at a district and provincial level.

[8] Bildung für nachhaltige Entwicklung

[8] Education for Sustainable Development Association



Das Organigramm des ISFH, Stand 12/2020.

The organization of ISFH, effective 12/2020.

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 23. Juni und am 8. Dezember 2020.

Die Mitglieder dieses Gremiums waren

Mitglieder/Members

Stand/Effective: 31.12.2020

- Ministerialrat Dr. Sebastian Huster
Vorsitzender des Aufsichtsrates/
Head of the Supervisory Board
Niedersächsisches Ministerium für Wissenschaft und Kultur
Hannover
- Regierungsdirektorin Jana Miksch
Stellvertretende Vorsitzende des Aufsichtsrats/
Deputy Head of the Supervisory Board
Niedersächsisches Finanzministerium
Hannover
- Landrat Dirk Adomat
Landkreis Hameln-Pyrmont

Supervisory Board

The Supervisory Board appoints, monitors and advises the executive office. In accordance with the Institute's statutes, it comprises up to nine members. Some of the members are directly appointed by the State of Lower Saxony, the rest are elected by a shareholders' general meeting. The Supervisory Board also regularly invites guests to its meetings who perform an advisory function. The Board's general meetings were held on 23 June and on 8 December 2020.

The members of the Board were

- Prof. Dr. Rolf Haug
Institut für Festkörperphysik
Leibniz Universität Hannover
- Prof. Dr. Bernd Rech
Helmholtz-Zentrum Berlin für Materialien und Energie
Berlin
- Ministerialrätin Petra Schröder
Niedersächsisches Ministerium für Umwelt,
Energie, Bauen und Klimaschutz
Hannover
- Dr. Peter Wohlfart
SINGULUS Technologies AG
Kahl am Main

Wissenschaftlicher Beirat

Der wissenschaftliche Beirat berät den Aufsichtsrat und die wissenschaftliche Leitung 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*innen 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 27. November 2020 in Form einer Videokonferenz ab. Die Mitglieder des wissenschaftlichen Beirates sind

Scientific Advisory Board

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

The members of the advisory board are recognized scientists from research and industry as well as personalities who have special knowledge in the fields of work of the ISFH due to their professional experience.

The Advisory Board held its annual meeting on 27 November 2020, in the form of a video conference. The members of the Scientific Advisory Board are

1

Institut für Solarenergieforschung

Wissenschaftlicher Beirat

Scientific Advisory Board

Mitglieder/Members

Stand/Effective: 31.12.2020

- 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
- Dr. Jutta Trube
Stellvertretende Vorsitzende des Beirates/
[Deputy Head of the Scientific Advisory Board](#)
Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e. V.
Frankfurt am Main
- Prof. Dr. Günter Bräuer
Institut für Oberflächentechnik
Technische Universität Braunschweig
- Prof. Dr. habil. Ursula Eicker
Concordia University
Department of Building, Civil & Environmental Engineering
Montreal, Kanada
- Dr. Gunter Erfurt
Meyer Burger (Germany) GmbH
Hohenstein-Ernstthal

Schönes Weserbergland. Das Gebäude der *Integrierten Solaren Systemtechnik (ISS)*. Im Hintergrund rechts die Versuchshäuser.
Beautiful Weserbergland. The Integrated Solar Systems Technology building (ISS). In the background on the right the experimental buildings.



- Dr. Bernd Hafner
Viessmann Werke GmbH & Co. KG
Allendorf
- Dr. Michel Haller
HSR Hochschule für Technik
Rapperswil, Schweiz
- Dr. Winfried Hoffmann
Applied Solar Expertise (ASE)
Hanau
- Dipl.-Ing. Helmut Jäger
SOLVIS GmbH & Co. KG
Braunschweig
- Prof. Dr. Stephan Kabelac
Institut für Thermodynamik
Leibniz Universität Hannover
- Dr. Lars Oberbeck
Total SE
Gas, Renewables and Power
Paris, Frankreich
- Dr. Kai Schiefelbein
Stiebel Eltron GmbH & Co. KG
Holzminden
- Prof. Dr. Frithjof Staib
Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung
Baden-Württemberg (ZSW)
Stuttgart
- Prof. Dr. Arthur Weeber
TNO Energy Transition
Petten, Niederlande



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 27 % des Gesamtertrags (Einnahmen im Jahr 2020) von 13,8 Millionen Euro ab.

Neben dieser institutionellen Förderung durch das Land Niedersachsen erzielt das Institut Drittmitteleinnahmen aus öffentlicher Forschungsförderung des Bundes, des Landes Niedersachsen und der Europäischen Union (EU). Die Einnahmen aus der öffentlichen Projektforschung betragen im Berichtsjahr 8,9 Millionen Euro, davon ist der größte Teil Verbundforschung mit der Industrie. Hinzu kommen direkte industrielle Drittmitteleinnahmen aus Dienstleistungen und Auftragsforschung in Höhe von 1,2 Millionen Euro.

Zum Ende des Jahres 2020 waren 158 Personen am ISFH beschäftigt. Bei der Mehrzahl der Beschäftigten handelt es sich um wissenschaftliches und technisches Personal sowie im Rahmen von Forschungsprojekten Promovierende. In der Gruppe der Studierenden sind alle Personen zusammengefasst, die ein Praktikum absolvieren oder eine Studien-, Bachelor- bzw. Masterarbeit an Universitäten oder Fachhochschulen anfertigen und im Rahmen ihrer wissenschaftlichen Ausbildung am ISFH beschäftigt werden.

Das Gelände der Institut für Solarenergieforschung GmbH am Ohrberg umfasst insgesamt eine Fläche von 32.000 m². Darauf stehen 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

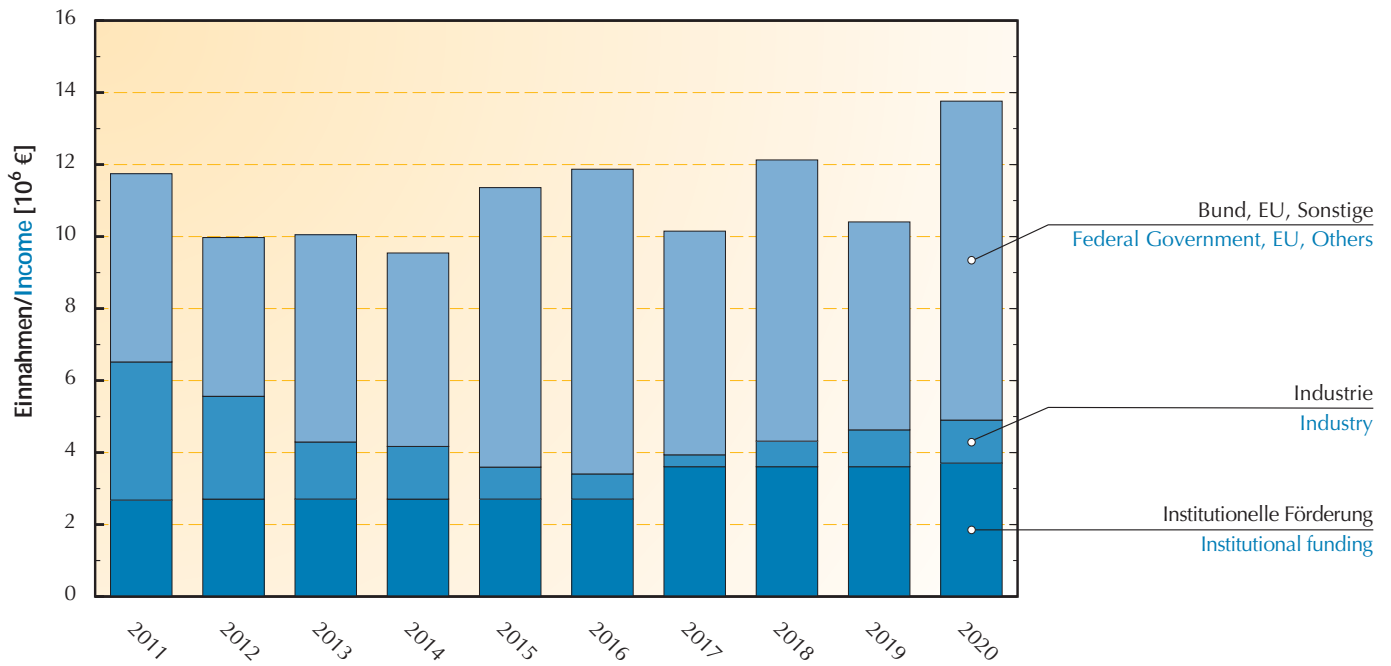
Budget & personnel

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 27 % of the total budget (income in 2020) of €13.8 million for the reporting year.

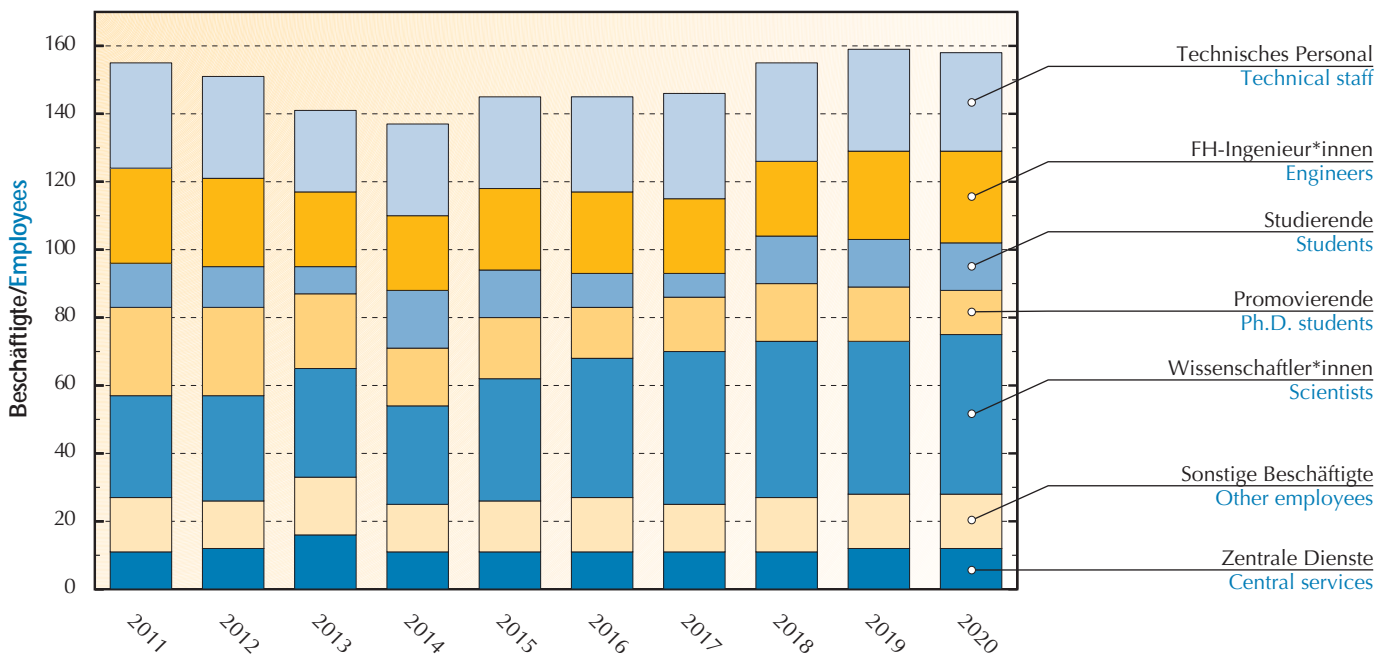
In addition to this institutional support from the State Government of Lower Saxony, the Institute receives so-called third-party funding from public research sponsors such as the Federal Government, the State Government of Lower Saxony or the European Union (EU). The income from public research projects was €8.9 million in the reporting year, the majority of which was joint research with the industry. In addition, direct industrial third-party funding also comes from services and contract research amounting to €1.2 million.

At the end of 2020 ISFH had 158 employees. The majority of the staff consists of scientific and technical personnel and Ph.D. students to undertake research projects. The students comprise undergraduates from universities or technical colleges employed at ISFH as part of their scientific training.

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



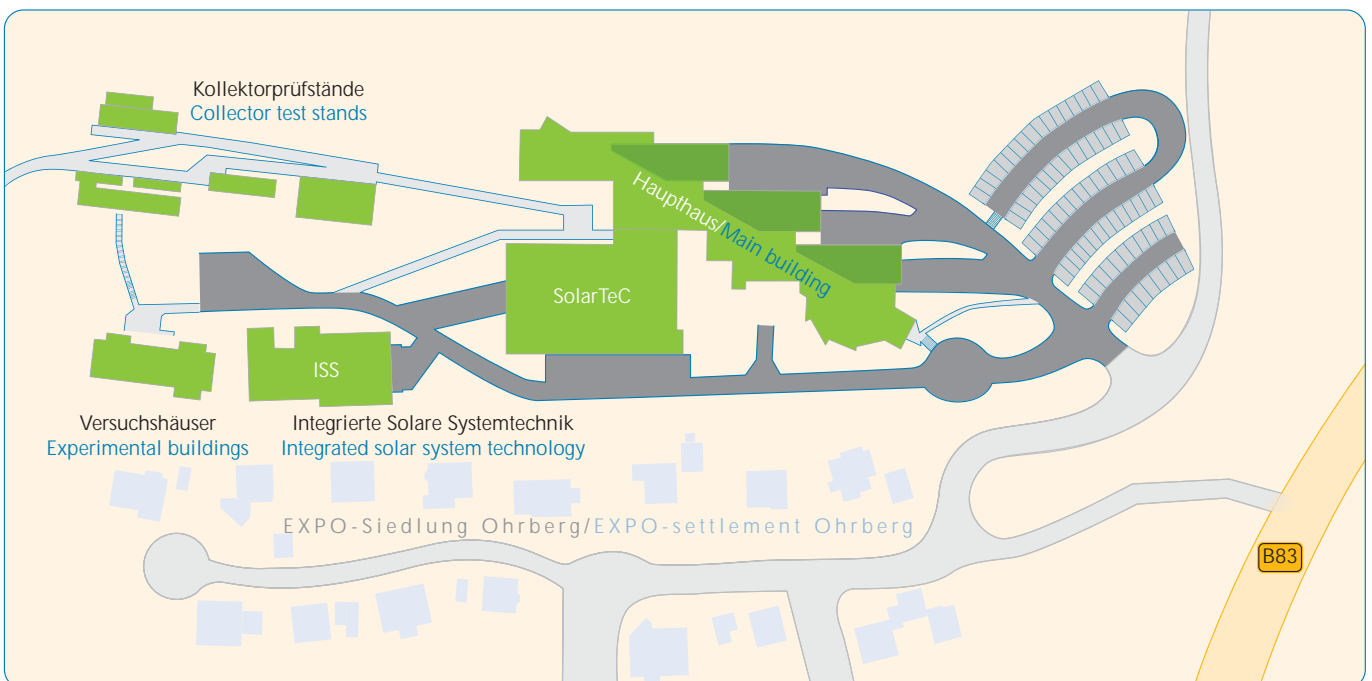
Der Haushalt des ISFH nach Einnahmequellen aufgeschlüsselt. ISFH budget broken down into funding sources.



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

Flächenkategorie Area category	Fläche/Area [m ²]
Grundstück Property	31.812
Hauptgebäude Main building	4.358
Technologiehalle (SolarTeC) Technology hall (SolarTeC)	1.957
Laborgebäude (ISS) Laboratory building (ISS)	623
Versuchshäuser Experimental buildings	510
Versuchsaufbauten im Außengelände Outdoor test sites	557
Versuchsflächen auf dem Hauptgebäude Experimental areas on the main building	654
Versuchsflächen auf dem SolarTeC Experimental areas on SolarTeC	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.

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

Anliegen des Fördervereins^[9] 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. mit 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 einzubinden.

Am 2. November 2020 fand die jährliche Mitgliederversammlung des Fördervereins statt. Erstmals wurde die Versammlung digital abgehalten. Zum neuen Vorstand wurden gewählt: Detlef Mencke (*Ingenieurbüro Mencke & Tegtmeier GmbH*, Vorsitz), Rainer Tepe (*enercity AG*, stellvertretender Vorsitzender), Susanne Treptow (*GWS Stadtwerke Hameln GmbH*, Schatzmeisterin), Dr. Jobst Walter Dietz, Hans Niemeyer und Horst Zacharias.

Im Jahre 2020 hat der Förderverein die Anschaffung weiterer Komponenten für den Ausbau des Kalibrierlabors (*CalTeC*) unterstützt. Dies waren eine spezielle, optisch gefilterte Referenzsolarzelle für die Erweiterung der Kalibriermöglichkeiten am ISFH und ein Durchlichtscanner zur exakten Flächenmessung von Solarzellen von bis zu 210 mm Kantenlänge. Dies hilft dem ISFH, erweiterte Kalibrierdienstleistungen anbieten zu können.

Hochauflösender, großflächiger Dokumentenscanner für exakte Flächenmessungen von Solarzellen.

High resolution large area document scanner for exact area measurements of solar cells.

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

The aim of the “Friends”^[9] is the support of the Institute for Solar Energy Research (ISFH) in Hamelin. This includes both financial support and assistance with the maintenance of contacts between ISFH and industry.

The challenges to research define the tasks for the Friends:

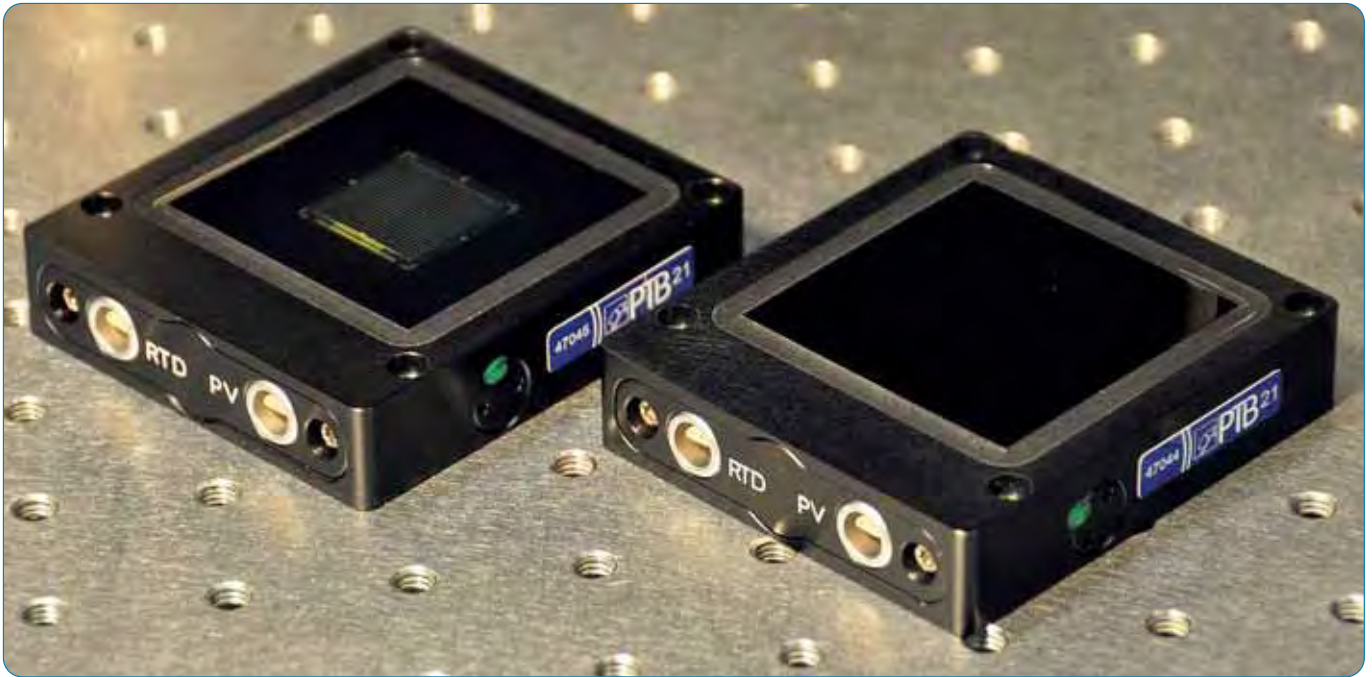
- To communicate the particular points of view of market sectors to ISFH to ensure awareness of the whole market e.g. in respect of perceived bottleneck factors.
- Communication of the research achievements of ISFH through Society members’ own political and economic networks.
- Use of its own facilities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

On November 2, 2020, the annual general meeting of the Friends of the ISFH took place. For the first time the meeting was held digitally. Elected to the new board were: Detlef Mencke (*Ingenieurbüro Mencke & Tegtmeier GmbH*, Chair), Rainer Tepe (*enercity AG*, Vice Chair), Susanne Treptow (*GWS Stadtwerke Hameln GmbH*, Treasurer), Dr. Jobst Walter Dietz, Hans Niemeyer and Horst Zacharias.

In 2020, the sponsoring association supported the acquisition of further components for the expansion of the calibration laboratory (*CalTeC*). These were a special, optically filtered reference solar cell for the expansion of calibration possibilities at ISFH and a transmitted-light scanner for the exact area measurement of solar cells with an edge length of up to 210 mm. This helps ISFH to offer extended calibration services.



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



Optisch gefilterte Referenzsolarzellen für die zertifizierte Messung von Perowskit-Silizium-Tandem-Solarzellen.
 Optically filtered reference solar cells for certified measurement of perovskite silicon tandem solar cells.

Mitglieder/Members

Stand/Effective: 31.12.2020

Firmen & Körperschaften/Companies & Corporations

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

Natürliche Personen/Natural persons

- Buff, Ute
- Specht, Peter
- Zacharias, Horst

Detlef Mencke, Roland Goslich



Ost-West-PV-Anlage auf dem Dach der *Integrierten Solaren Systemtechnik* (ISS).
East-west PV system on the roof of the *Integrated Solar System Technology* (ISS).

Abteilung Photovoltaik

Forschungsthemen

- Verlust- und Sensitivitätsanalysen von Solarzellen auf Basis von Solarzellensimulationen und präzise gemessenen Eingangsparametern
- Schlüsseltechnologien zur kostengünstigen Herstellung von Hocheffizienz-Solarzellen
- Oberflächenpassivierung von Silizium-Solarzellen (SiO_2 , SiN_x , Al_2O_3 , a-Si, poly-Si)
- Hocheffiziente PERC- und bifaziale PERC+ Siebdruck-Solarzelle
- Heterojunction-Solarzellen (Polymer/c-Si)
- Hocheffiziente Solarzellen mit poly-Si-on-Oxide (POLO)-Kontakten
- Hocheffiziente Perowskit/c-Si-Tandem-Solarzellen
- Industrienaher Technologie- und Prozessentwicklung
- Sägeverlustfreie Methoden zur Herstellung ultradünner Silizium-Wafer
- Kamerabasierte Charakterisierung für Silizium-Materialien, Solarzellen und PV-Module
- Analyse von Defekten in Silizium und ihren Auswirkungen auf Solarzellen- und PV-Moduleigenschaften
- Neuartige Verbindungstechniken für PV-Module
- Langzeitstabilität von Solarzellen und PV-Modulen
- Mechanische Eigenschaften von PV-Modulen
- Fahrzeugintegrierte Photovoltaik (VIPV)
- Bauelement- und Prozesssimulation

Dienstleistungen

- Kalibrierung von Solarzellen
- Kalibrierung von Solarstrahlungssensoren
- Prüfung von Spektralradiometern
- Kalibrierung von Strahlernormalen
- Charakterisierung von Solarzellen und PV-Modulen
- Sonder-PV-Modulbau

Apparative Ausstattung

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

Photovoltaics department

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 cost-efficient 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+ screen printed solar cells
- Heterojunction solar cells (polymer/c-Si)
- High-efficiency solar cells with poly-Si-on-oxide (POLO)-contacts
- High-efficiency perovskite/c-Si tandem solar cells
- Industry-related technology and process development
- Kerfless methods for the fabrication of ultra-thin silicon wafers
- Camera-based characterization of silicon materials, solar cells and PV modules
- Analysis of defects in silicon and their impact on solar cell and PV module properties
- Innovative interconnection techniques for PV modules
- Long-term stability of solar cells and PV modules
- Mechanical properties of PV modules
- Vehicle integrated photovoltaic (VIPV)
- Device and process simulation

Services

- Calibration of solar cells
- Calibration of solar irradiance sensors
- Testing of spectroradiometers
- Calibration of reference lamps
- Characterization of solar cells and PV modules
- Special PV module construction

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
- Low-pressure chemical vapor deposition (LPCVD) of doped amorphous silicon layers

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

Glanzlichter

- Großflächige siebgedruckte 22,6%-Solarzelle mit POLO-Rückseite
- Nachweis der verbesserten Toleranz von Halbzellen-PV-Modulen gegenüber Teilabschattung
- ISFH-POLO-Solarzelle fliegt auf Internationaler Raumstation ISS
- Herstellungsverfahren für lokale POLO-Schichten basierend auf Schattenmasken
- Erstmaliger Nachweis der Wirkung ultra-dünner Al₂O₃-Schichten als Wasserstoff-Diffusionsbarriere
- *ISFH CalTeC* bestätigt internationale Spitzenposition im Round-Robin-Vergleich
- Aufdampfprozess für Perowskite liefert Wirkungsgrade oberhalb von 15 %

Highlights

- Large-area screen-printed 22.6 % solar cell with POLO rear side
- Demonstration of improved tolerance of half-cell PV modules to partial shading
- ISFH POLO solar cell on board the International Space Station ISS
- Manufacturing process for local POLO layers based on shadow masks
- First demonstration of the effect of ultra-thin Al₂O₃ layers as hydrogen diffusion barrier
- *ISFH CalTeC* confirms international top position in round-robin comparison
- Evaporation process for perovskites delivers efficiencies above 15 %

Abteilung Solare Systeme

Forschungsthemen

- Solarthermische Kollektoren für neue Anwendungsgebiete (Wärmenetze, Prozesswärme, Wärmepumpenquelle)
- Photovoltaisch-thermische (PVT)-Kollektoren für kombinierte Strom- und Wärmeerzeugung
- 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 Wärmepumpen
- Hocheffiziente, solarunterstützte Wärmepumpensysteme
- Regenerative Versorgungskonzepte für Ein- und Mehrfamilienhäuser sowie Quartiere
- Entwicklung von Simulationsmodellen für Komponenten und Subsysteme von dezentralen Gebäude-Energieanlagen
- Analyse und Optimierung strombasierter lokaler Energieversorgungssysteme

Dienstleistungen

- Norm-Prüfungen an thermischen Energiewandlern, Energiespeichern und Systemen sowie Komponenten zum thermischen Energietransport in unserem nach EN ISO/IEC 17025 akkreditierten Prüfzentrum, Durchführung vollständiger Prüfungen sowie Begehungen nach den SolarKeymark-Regeln
- Norm-Prüfungen der strahlungsphysikalischen Eigenschaften von Beschichtungen und Oberflächen in unserem nach EN ISO/IEC 17025 akkreditierten Prüfzentrum
- Charakterisierung von Luft/Wasser-Wärmepumpen bis 30 kW_{th} sowie Wasser/Wasser- und Sole/Wasser-Wärmepumpen bis 60 kW_{th}
- Charakterisierung von Frischwasserstationen mit einer Schüttleistung bis 100 l/min mit einstellbarer Zirkulationslast
- Charakterisierung von Dämmungen, Wärmerohren, Speicheranschlüssen, Brenn- und Heizwertkesseln, Wohnstationen, etc.
- Wissenschaftliche Begleitung industrieller Entwicklungen mit experimentellen Methoden und Simulationen sowie Feldtests
- Energiesystemmodellierung und -monitoring

Solar systems department

Research topics

- Solar thermal collectors for new applications (solar district heating, industrial processes, source for heat pumps)
- Photovoltaic-thermal (PVT)-collectors for combined electricity and heat generation
- 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 and stations
- New and further development of testing and evaluation procedures for heat pumps
- Highly efficient, solar-assisted heat pump systems
- Renewable energy supply concepts for buildings and districts
- Development of simulation models for components and sub-systems of decentralized energy systems in buildings
- Analysis and optimization of electricity-based local energy supply systems

Services

- Standard tests on thermal energy converters, thermal storages and systems as well as systems and components for transfer of thermal energy in an EN ISO/IEC 17025-accredited test laboratory, implementation of complete tests and inspections in accordance with the SolarKeymark rules
- Standard tests of radiometric properties of coatings and surfaces in an EN ISO/IEC 17025-accredited test laboratory
- Characterization of air/water heat pumps up to 30 kW_{th}, and water/water and brine/water heat pumps up to 60 kW_{th}
- Characterization of central domestic hot water modules with a maximum flow rate of 100 l/min with adjustable circulation load
- Characterization of insulation materials, heat pipes, storage tank connections, (condensation) boilers, decentral 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

Apparative Ausstattung

- Innenprüfstände mit zwei Sonnensimulatoren für Leistungs- und Gebrauchstauglichkeitstests, bis 1.200 W/m²
- Prüfanlagen für Druck-, Sog- und Schubprüfungen an Solarmodulen
- Testdächer mit 400 m² Nutzfläche für Gebrauchstauglichkeitstests an Sonnenkollektoren und Systemen sowie Leistungstests an Kollektoren bis 180 °C
- Prüfstand für Luft/Wasser-, Wasser/Wasser- und Sole/Wasser-Wärmepumpen im dynamischen Betrieb bis 30 bzw. 60 kW_{th}
- Zwei nachführbare Außenprüfstände mit 20 m² Nutzfläche
- Prüfstand für Systemtests an Solaranlagen nach EN 12976
- Prüfstände für Wärmespeicher, Reglerprüfstand nach EN 12977
- Bewertung von Wärmetauscher-Einzelrohren und Rohrwendeln
- Begehbare Klimakammern (75 m³ und 180 m³)
- Vakuum-Beschichtungsanlagen (Sputtern, PECVD)
- Optisches Labor für Transmissions- und Reflexionsmessungen spektral aufgelöst (UV-VIS-NIR-MIR), spektrale Ellipsometrie (0,24 µm bis 33 µm) mit Probenemperierung
- Spektral-Gonioradiometer mit 2,5 m Radius für Messungen der bidirektionalen Reflexions- und Transmissions-Verteilungsfunktion (BRDF, BTDF)
- Ulbricht-Kugel für spektrale Transmissions- und Reflexionsmessungen von großformatigen, lichtstreuenden Proben
- Testanlagen für Alterungsuntersuchungen an Glas- und Absorber-Oberflächen (Kondensat, Temperatur, korrosive Medien)
- Leistungs- und Gebrauchstauglichkeitsuntersuchungen an Wärmerohren
- Prüfstände für Dämmstoffe (Gebrauchstauglichkeit, Wärmeleitfähigkeit)
- Hardware-in-the-Loop-Experimentalanlagen regenerativer Strom/Wärmesysteme
- Prüfstand zur Bewertung von Wärmeübergabestationen (bis 100 l/min) inkl. Zirkulation

Glanzlichter

- Optimierte Auslegung und Betriebsstrategie hocheffizienter PVT-Kollektoren für den Einsatz als alleinige Wärmepumpenquelle
- Installation und Monitoring einer Testfassade mit solarthermisch aktivierten Modulen aus U-förmigen Profilbaugläsern in einem realen Industriegebäude
- Installation und Monitoring von vier Demonstrationsanlagen mit stagnationssicheren Wärmerohr-Kollektoren und innovativen Systemkonzepten
- Implementierung intelligenter Mess- und Analysesysteme in 30 Mehrfamilienhäusern zur Betriebsoptimierung
- Parameterstudie zum Einfluss der technischen Eigenschaften von Durchfluss-Trinkwassererwärmern auf die CO₂-Einsparung solarer Kombisysteme für Mehrfamilienhäuser
- Validierung einer Methode zur Simulation modulierender Sole-Wasser-Wärmepumpen in TRNSYS

Equipment & facilities

- Indoor test facilities with two sun simulators for performance and reliability tests, up to 1,200 W/m²
- Test 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
- Test facility for air/water-, water/water- and brine/water-heat-pumps in dynamic operation up to 30 and 60 kW_{th}, respectively
- Two outdoor solar-tracking test stands with an effective area of 20 m²
- Test facility for solar systems in accordance with EN 12976
- Test facilities for thermal storage tanks, control test facility (EN 12977)
- Evaluation of heat exchanger single tubes and coiled tubes
- Walk-in climate chambers (75 m³ and 180 m³)
- Vacuum coating facilities (sputtering and PECVD)
- Optical laboratory for spectrally-resolved transmission and reflection measurements (UV-VIS-NIR-MIR), spectral ellipsometry (0.24 µm to 33 µm) including temperature control of samples
- Spectral-gonioradiometer with a radius of 2.5 m for measurements of bidirectional reflectance and transmittance distribution function (BRDF, BTDF)
- Integrating sphere for spectral transmittance and reflectance measurements of large, light scattering samples
- Facilities for aging tests for glass and absorber surfaces (condensation, temperature, corrosive media)
- 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 (up to 100 l/min) including circulation

Highlights

- Optimized design and operating strategy of high-efficiency PVT collectors for use as sole heat pump source
- Installation and monitoring of a test façade with solar thermally activated modules made of U-shaped profiled glass in a real industrial building
- Installation and monitoring of four demonstration plants with stagnation-proof heat pipe collectors and innovative system concepts
- Implementation of intelligent measurement and analysis systems in 30 multi-family houses for operational optimization
- Parameter study on the impact of technical properties of instantaneous water heaters on CO₂ savings of solar combi-systems for multi-family houses
- Validation of a method for the simulation of modulating brine/water heat pumps in TRNSYS

Abteilung Photovoltaik

Aluminiumoxid als effektive Wasserstoff-Diffusionsbarriere

Die Einführung von ultradünem Aluminiumoxid (Al_2O_3) als Oberflächenpassivierungsschicht war ein entscheidender Schritt hin zu höheren Wirkungsgraden bei industriellen Silizium-basierten Solarzellen in den letzten Jahren. Zur Erhaltung der hervorragenden Passivierungsqualität der Aluminiumoxidschichten auf der Siliziumoberfläche während einer schnellen thermischen Erwärmung (engl. *Rapid Thermal Annealing*, RTA, auch „Feuern“ genannt), die in der industriellen Solarzellenproduktion zur Bildung der Metall-Silizium-Kontakte eingesetzt wird, werden die wasserstoffarmen Al_2O_3 -Schichten durch wasserstoffreiche Siliziumnitrid ($\text{SiN}_x\text{:H}$)-Schichten geschützt. Während des RTA-Feuerschritts diffundiert der Wasserstoff teilweise aus der $\text{SiN}_x\text{:H}$ -Schicht durch das Al_2O_3 hindurch in das Silizium-Volumen, wo er mit Defekten reagieren kann. So haben wir beispielsweise kürzlich gezeigt^[10], dass das Eindiffundieren von Wasserstoff in das Silizium-Volumen eine licht- und temperaturinduzierte Degradation (LeTID) des Wirkungsgrades bei multikristallinen Silizium-Solarzellen auslöst. In dieser Studie haben wir den Effekt der Blockierung der Wasserstoffdiffusion durch atomar abgeschiedene Al_2O_3 -Schichten als Funktion der Al_2O_3 -Schichtdicke und der Feuertemperatur untersucht, um wasserstoffbedingte Degradationseffekte in Silizium-Solarzellen unterdrücken zu können.

Wir haben symmetrisch wasserstoffarme Al_2O_3 -Schichten unterschiedlicher Dicke (5-25 nm) mittels Atomlagenabscheidung auf beide Seiten von Bor-dotierten Floatzone-Silizium (Fz-Si) Wafern abgeschieden. Als Wasserstoffquelle haben wir auf die Al_2O_3 -Schichten wasserstoffreiche $\text{SiN}_x\text{:H}$ -Schichten mittels plasma-unterstützter chemischer Gasphasenabscheidung abgeschieden. Wir variierten die Peak-Temperatur ϑ_{peak} des anschließenden RTA-Feuerschritts, der für die Wasserstoffindiffusion aus der $\text{SiN}_x\text{:H}$ -Schicht in das Silizium-Volumen essentiell ist. Die eindiffundierte Wasserstoffkonzentration in das Silizium wurde dann durch Messungen der Änderung des spezifischen Widerstands der Fz-Si-Proben während eines Temperschritts bei 160 °C bestimmt^[11]. Die Widerstandsänderung ist auf die Bildung von Bor-Wasserstoff-Paaren zurückzuführen, bis ein Sättigungswiderstandswert erreicht ist, aus dem die Gesamt-Wasserstoffkonzentration bestimmt werden kann. Unsere Messungen zeigten erstmals, dass der Gehalt an eindiffundiertem Wasserstoff im Silizium-Volumen mit zunehmender Al_2O_3 -Dicke drastisch abnimmt, was eindeutig belegt, dass Al_2O_3 -Schichten als effektive Wasserstoff-Diffusionsbarriere wirken^[12]. Je höher die angewandte Peak-

Photovoltaics department

Aluminum oxide as an effective hydrogen diffusion barrier

The introduction of ultrathin aluminum oxide (Al_2O_3) as surface passivation layer has been a crucial step towards higher efficiencies of industrial silicon-based solar cells in recent years. In order to preserve the excellent passivation quality of the aluminum oxide layers on the silicon surface during a rapid thermal annealing (RTA, also known as “firing step”), which is applied in industrial solar cell production for the formation of the metal-silicon contacts, the hydrogen-lean Al_2O_3 layers are capped by hydrogen-rich silicon nitride ($\text{SiN}_x\text{:H}$) layers. During the RTA firing step, hydrogen partly diffuses from the $\text{SiN}_x\text{:H}$ layer through the Al_2O_3 into the silicon bulk, where it may react with defects. For example, we recently^[10] showed that the in-diffusion of hydrogen into the silicon bulk triggers light- and elevated temperature-induced degradation (LeTID) of the efficiency of multicrystalline silicon solar cells. In this study, we have examined the effect of blocking hydrogen diffusion by atomic-layer-deposited Al_2O_3 layers as a function of the Al_2O_3 layer thickness and the firing temperature, in order to be able to suppress hydrogen-related degradation effects in silicon solar cells.

We have symmetrically deposited hydrogen-lean Al_2O_3 layers of different thicknesses (5-25 nm) by atomic layer deposition onto both surfaces of boron-doped float-zone silicon (Fz-Si) wafers. As a hydrogen source, we have deposited hydrogen-rich $\text{SiN}_x\text{:H}$ layers on top of the Al_2O_3 layers using plasma-enhanced chemical vapor deposition. We varied the peak-temperature ϑ_{peak} of the subsequent RTA firing step, which is essential for the hydrogen in-diffusion from the $\text{SiN}_x\text{:H}$ layer into the silicon bulk. The in-diffused hydrogen concentration in the silicon was then determined by measurements of the Fz-Si resistivity change during annealing at 160 °C^[11]. The resistivity change is due to the formation of boron-hydrogen pairs until a saturation resistivity value is reached, from which the total hydrogen concentration can be calculated. Our measurements revealed for the first time that the in-diffused hydrogen content in the silicon bulk decreases drastically with increasing Al_2O_3 thickness, clearly proving that Al_2O_3 layers act as a highly effective hydrogen diffusion barrier^[12]. The higher the applied peak firing temperature ϑ_{peak} , the thicker the Al_2O_3 layers have to be to achieve the same degree of hydrogen reduction in the silicon bulk.

[10] Schmidt J., Bredemeier D., Walter D.C.: On the defect physics behind light and elevated temperature-induced degradation (LeTID) of multicrystalline silicon solar cells. IEEE J. Photovolt. 9, 1497 (2019)

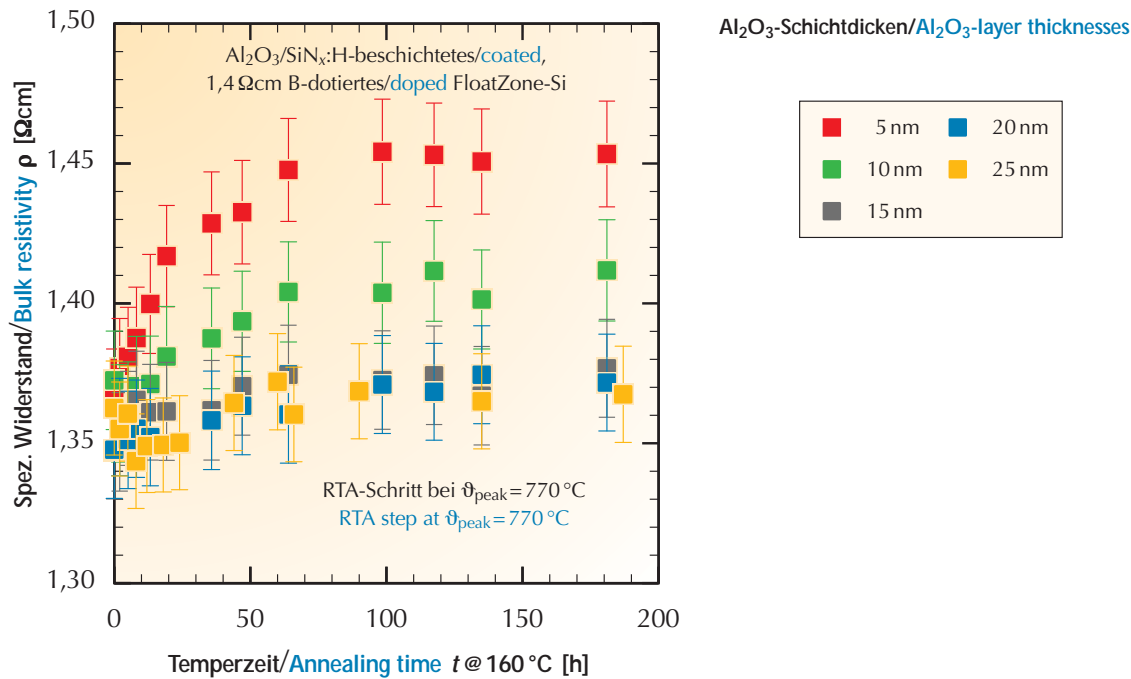
[11] Walter D.C., Bredemeier D., Falster R., Voronkov V.V., Schmidt J.: Easy-to-apply methodology to measure the hydrogen concentration in boron-doped crystalline silicon. Sol. Energy Mater. Sol. Cells 200, 109970 (2019)

[12] Helmich L., Walter D.C., Bredemeier D., Schmidt J.: Atomic-Layer-Deposited Al_2O_3 as effective barrier against the diffusion of hydrogen from $\text{SiN}_x\text{:H}$ layers into crystalline silicon during rapid thermal annealing. Physica Status Solidi RRL 14, 2000367 (2020)

[10] Schmidt J., Bredemeier D., Walter D.C.: On the defect physics behind light and elevated temperature-induced degradation (LeTID) of multicrystalline silicon solar cells. IEEE J. Photovolt. 9, 1497 (2019)

[11] Walter D.C., Bredemeier D., Falster R., Voronkov V.V., Schmidt J.: Easy-to-apply methodology to measure the hydrogen concentration in boron-doped crystalline silicon. Sol. Energy Mater. Sol. Cells 200, 109970 (2019)

[12] Helmich L., Walter D.C., Bredemeier D., Schmidt J.: Atomic-Layer-Deposited Al_2O_3 as effective barrier against the diffusion of hydrogen from $\text{SiN}_x\text{:H}$ layers into crystalline silicon during rapid thermal annealing. Physica Status Solidi RRL 14, 2000367 (2020)



Abbildung/Figure 24: Entwicklung des spezifischen Widerstands ρ von Al₂O₃/SiN_x:H-passivierten 1,4 Ωcm Bor-dotierten Float-Zone Silizium (Fz-Si)-Proben mit unterschiedlichen Al₂O₃-Dicken zwischen 5 und 25 nm in Abhängigkeit von der Temperzeit bei 160 °C im Dunkeln nach einer schnellen thermischen Erwärmung (engl. RTA). Die Zusammensetzung der SiN_x:H-Schichten (Brechungsindex $n=2,3$) und die RTA-Peak-Temperatur ($\vartheta_{\text{peak}}=770\text{ °C}$) sind für alle Proben gleich. Die Widerstandsänderung nimmt mit zunehmender Al₂O₃-Dicke ab.
 Evolution of the bulk resistivity ρ of Al₂O₃/SiN_x:H-passivated 1.4 Ωcm boron-doped float-zone silicon (Fz-Si) samples with different Al₂O₃ thicknesses between 5 and 25 nm as a function of the annealing time at 160 °C in the dark after rapid thermal annealing (RTA). The composition of the SiN_x:H-layers (refractive index $n=2.3$) and the RTA peak temperature ($\vartheta_{\text{peak}}=770\text{ °C}$) are the same for all samples. The resistivity change decreases with increasing Al₂O₃ thickness.

Feuertemperatur ϑ_{peak} ist, desto dicker müssen die Al₂O₃-Schichten sein, um zu einer gleich starken Wasserstoffreduktion im Silizium-Volumen zu führen.

Abbildung 24 zeigt die Entwicklung des spezifischen Widerstands ρ in Abhängigkeit von der Temperzeit bei 160 °C für Bor-dotierte Fz-Si-Proben mit Al₂O₃/SiN_x:H-Stapeln auf beiden Oberflächen, gefeuert bei einer Peak-Temperatur von $\vartheta_{\text{peak}}=770\text{ °C}$. Die Al₂O₃-Dicke wurde dabei von 5 bis 25 nm variiert. Aufgrund der Bildung von Bor-Wasserstoff-Paaren während des Temperns steigt der spezifische Widerstand mit der Temperdauer an. Der Anstieg des Gesamtwiderstands ist umso geringer, je dicker die Al₂O₃-Schichten sind.

Figure 24 shows the evolution of the bulk resistivity ρ versus the annealing time at 160 °C for boron-doped Fz-Si samples with Al₂O₃/SiN_x:H stacks on both surfaces, fired at a peak temperature of $\vartheta_{\text{peak}}=770\text{ °C}$. The Al₂O₃ thickness was varied from 5 to 25 nm. Due to the formation of boron-hydrogen pairs during the annealing, the resistivity increases with annealing time. The overall resistivity increase is smaller the thicker the Al₂O₃ layers are.

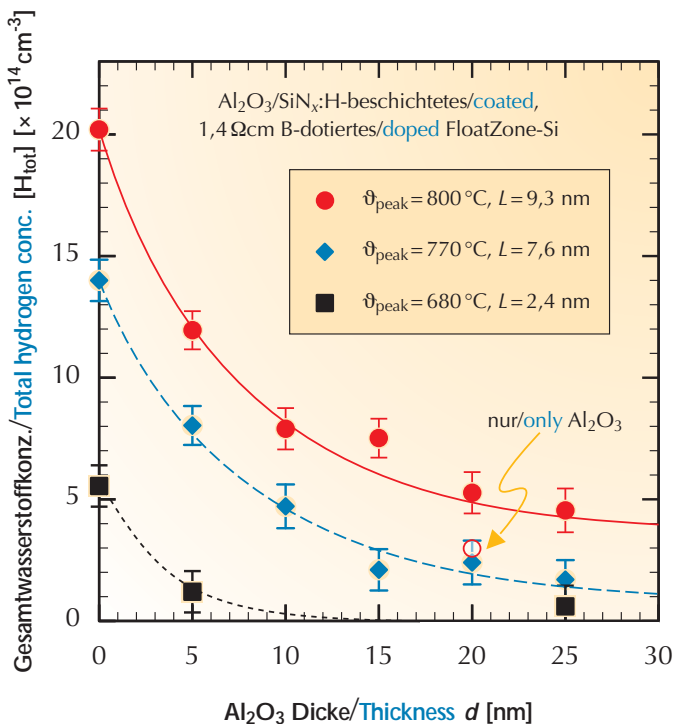


Abbildung 25 zeigt die gemessenen Gesamtwasserstoffkonzentrationen $[H_{\text{tot}}]$ im Silizium-Volumen als Funktion der Al_2O_3 -Dicke für drei verschiedene Peak-Feuertemperaturen ϑ_{peak} im Bereich von 680 bis 800 °C (ein typischer Temperaturbereich in der Solarzellenproduktion). Eine ultradünne 5 nm dicke Al_2O_3 -Zwischenschicht reduziert $[H_{\text{tot}}]$ bereits drastisch um einen Faktor von 5 bei $\vartheta_{\text{peak}}=680^\circ\text{C}$. Höhere angewandte Peak-Temperaturen erfordern dickere Al_2O_3 -Schichten, um die gleiche Effizienz als Diffusionsbarriere zu erreichen. Ohne eine $\text{SiN}_x\text{:H}$ -Schicht auf dem Al_2O_3 diffundiert ein sehr geringer Wasserstoffgehalt aus der Al_2O_3 -Schicht in das Silizium-Volumen, wie in Abbildung 25 (roter, unausgefüllter Kreis) für eine Probe mit 20 nm Al_2O_3 gezeigt ist, die bei einer Peak-Temperatur von 800 °C gefeuert wurde. Das Annähern der gemessenen Daten mit exponentiell abnehmenden Verläufen (Linien in Abbildung 25) zeigt, dass die effektive Diffusionslänge L von Wasserstoff in Al_2O_3 mit abnehmender Peak-Temperatur stark abnimmt.

Zusammenfassend haben wir erstmals eindeutig nachgewiesen, dass atomlagenabgeschiedene Al_2O_3 -Schichten von nur wenigen Nanometern Dicke die Eindiffusion von Wasserstoff während eines Kontaktfuerschrittes, wie er in der industriellen Solarzellenproduktion eingesetzt wird, effektiv blockieren. Damit ist es nun möglich, wasserstoffbedingte Degradationseffekte, wie z. B. den LeTID-Effekt, in zukünftigen industriellen Silizium-Solarzellen zu minimieren oder sogar vollständig zu unterdrücken.

Abbildung/Figure 25: Gesamtwasserstoffkonzentration $[H_{\text{tot}}]$ von $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiN}_x\text{:H}$ -passivierten 1,4 Ωcm Bor-dotierten Float-Zone-Silizium (Fz-Si)-Proben nach einer schnellen thermischen Erwärmung (engl. RTA) als Funktion der Al_2O_3 -Dicke für drei verschiedene Peak-Temperaturen ϑ_{peak} . Die Unsicherheit der gemessenen Peak-Temperaturen beträgt $\pm 10^\circ\text{C}$. Die durchgezogenen Linien sind exponentielle Annäherungen, um die effektive Diffusionslänge L von Wasserstoff in Al_2O_3 zu bestimmen. Die Datenpunkte auf der y-Achse zeigen die eindiffundierte Wasserstoffkonzentration aus den Siliziumnitrid-Schichten (Brechungsindex $n=2,3$) ohne jegliches Aluminiumoxid.

Total hydrogen concentration $[H_{\text{tot}}]$ of $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiN}_x\text{:H}$ -passivated 1.4 Ωcm boron-doped float-zone silicon (Fz-Si) samples after a rapid thermal annealing (RTA) as a function of the Al_2O_3 thickness for three different peak temperatures ϑ_{peak} . The uncertainty of measured peak temperatures is $\pm 10^\circ\text{C}$. The solid lines are exponential fits to extract the effective diffusion length L of hydrogen in Al_2O_3 . The data points on the y-axis show the in-diffused hydrogen concentration from the silicon nitride layers (refractive index $n=2.3$) without any aluminum oxide.

Figure 25 shows the measured total hydrogen concentrations $[H_{\text{tot}}]$ in the silicon bulk as a function of the Al_2O_3 thickness for three different applied peak firing temperatures ϑ_{peak} ranging from 680 to 800 °C (a typical temperature range for industrial solar cell production processes). An ultrathin 5 nm Al_2O_3 interlayer already drastically reduces $[H_{\text{tot}}]$ by a factor of 5 at $\vartheta_{\text{peak}}=680^\circ\text{C}$. Higher applied peak temperatures require thicker Al_2O_3 layers to achieve the same efficiency as a diffusion barrier. Without any $\text{SiN}_x\text{:H}$ layer on top of the Al_2O_3 , a very low hydrogen content diffuses from the Al_2O_3 layer into the silicon bulk, as shown in Figure 25 (red circle unfilled) for a sample with 20 nm Al_2O_3 fired at a peak temperature of 800 °C. Fitting exponential decay curves (lines in Figure 25) to the measured data shows that the effective diffusion length L of hydrogen in Al_2O_3 is strongly decreasing with decreasing peak-temperature.

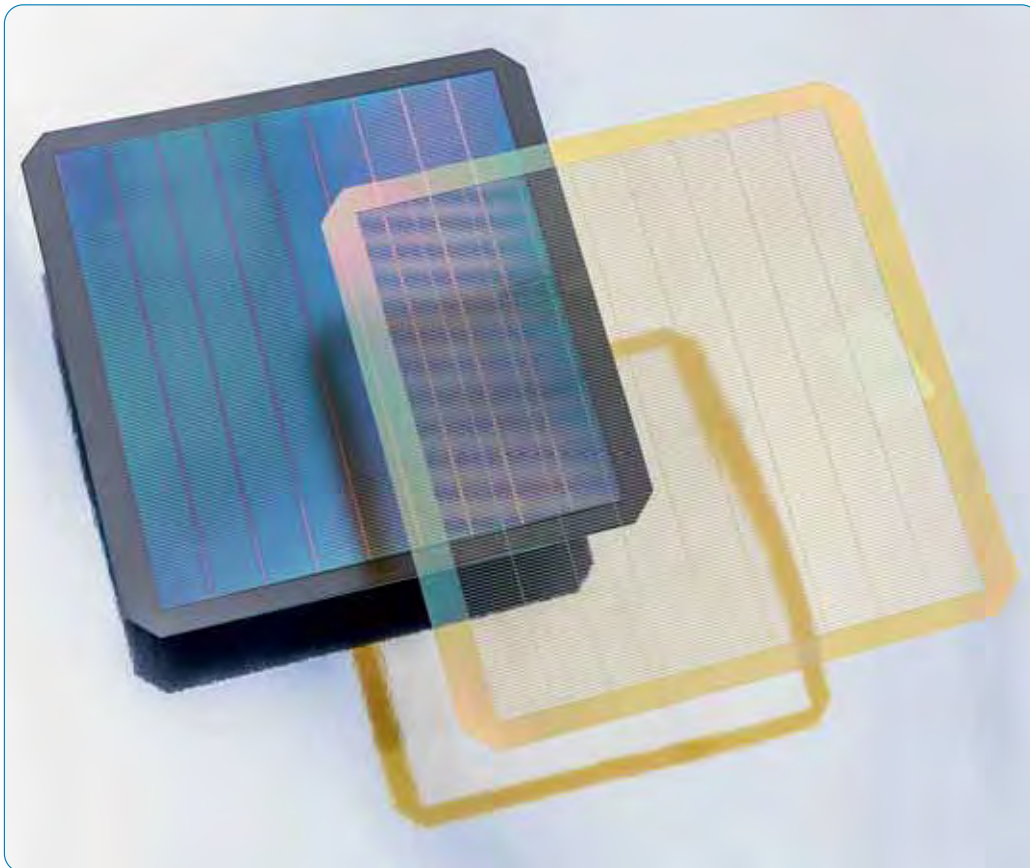
In conclusion, we have clearly demonstrated for the first time that atomic-layer-deposited Al_2O_3 layers of only a few nanometers can effectively block the in-diffusion of hydrogen during a contact firing step as applied in industrial solar cell production. This allows us now to minimize or even completely suppress hydrogen-related degradation effects, such as the LeTID effect, in future industrial silicon solar cells.

Schattenmasken für die lokale PECVD-Abscheidung von SiO_x /poly-Si passivierenden Kontakten

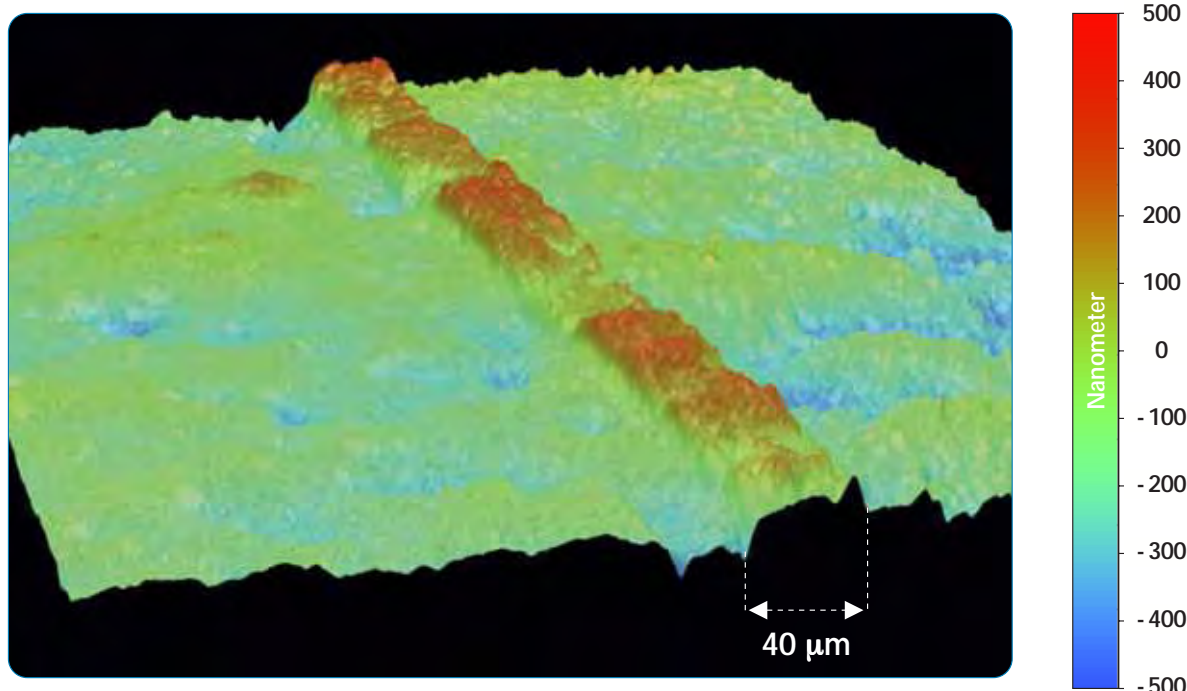
Die Solarzellenindustrie erzielt mit *Passivated Emitter and Rear* (PERC-) sowie bifazialen PERC+ Solarzellen Wirkungsgrade um 23% in der Massenfertigung. Für noch höhere Wirkungsgrade bis zu 25% werden passivierende Kontakte auf Basis von *polysilicon* (*poly-Si-on-oxide*, POLO) für die Anwendung auf der Vorder- und/oder Rückseite weltweit untersucht. Aufgrund seiner hohen Lichtabsorption muss poly-Si auf der Solarzellenvorderseite im Zwischenbereich der Metallfinger vermieden werden. Typische PERC+ Solarzellen haben etwa 120 dünne Metallkontakte auf der Vorderseite, die den erzeugten Strom über eine Waferfläche von $156 \times 156 \text{ mm}^2$ einsammeln. Die poly-Si-Abscheidung muss genau dem Muster dieser Metallkontakte entsprechen. Bisherige Ansätze zur Strukturierung von poly-Si beinhalteten mehrere Prozessschritte, einschließlich einer vollflächigen poly-Si-Abscheidung, Maskierung und Rückätzen. Dieser kostspielige Ansatz fand bisher keine Umsetzung in die Massenproduktion.

Shadow masks for the local PECVD deposition of SiO_x /poly-Si passivating contacts

The solar cell industry achieves efficiencies around 23% in mass production with the *Passivated Emitter and Rear Cell* (PERC) and bifacial PERC+ solar cells. In order to achieve even higher efficiencies up to 25%, passivating contacts based on *polysilicon* (*poly-Si-on-oxide*, POLO) are being studied all over the world for use on the front and/or rear side. Due to its high light absorption, the use of poly-Si has to be avoided between the metal fingers on the front of the solar cell. Typical PERC+ solar cells have around 120 thin metal contacts on the front collecting the current generated over a wafer size of $156 \times 156 \text{ mm}^2$ and poly-Si deposition must precisely match the pattern of these metal contacts. Previous approaches to structuring poly-Si involved multiple process steps including all-over poly-Si deposition, masking and partial removal by etching. This is relatively expensive and therefore has not yet been implemented in mass production.



Abbildung/Figure 26: Eine Glas-Schattenmaske (orange) und dahinter der Silizium-Wafer mit lokaler, durch die Glasmaske erfolgter poly-Si-Beschichtung. A glass shadow mask (orange) and behind it the silicon wafer locally coated with poly-Si through the glass mask.



Abbildung/Figure 27: Profilometer-Abbildung eines 250nm hohen und 40μm breiten poly-Si-Fingers, der mittels PECVD durch eine Nickel-Schattenmaske auf einen Fz-Si-Wafer abgeschieden wurde.
 Profilometer image of a 250-nm-high and 40-μm-wide poly-Si finger deposited by PECVD through a nickel shadow mask on a polished Fz Si wafer.

Am ISFH evaluieren wir eine potenziell kostengünstige Herstellung von strukturierten poly-Si-Fingern mittels plasmaunterstützter chemischer Gasphasenabscheidung (PECVD) durch Schattenmasken. Wir testen Schattenmasken aus verschiedenen Materialien und scheidet die poly-Si-Finger mittels PECVD ab. Dafür wird die Schattenmaske zwischen dem Plasma und dem Silizium-Wafer platziert. Für eine industrielle Anwendung sollten Schattenmasken eine Reihe von Anforderungen erfüllen, wie beispielsweise präzise und wohldefinierte Maskenöffnungen für die Abscheidung von poly-Si-Fingern, die zu den Metallkontakten passen, mechanische und thermische Stabilität der Schattenmaske während des Plasmaprozesses, eine hohe Abscheiderate durch die Maskenöffnungen und ein hoher Grad an Wiederverwendbarkeit der Schattenmasken.

Ein erster Beweis für die Tragfähigkeit des Konzepts wurde mit einer Schattenmaske auf Basis einer dünnen Nickelfolie erreicht. Abbildung 27 zeigt exemplarisch das Höhenprofil eines mittels einer 40μm breiten Maskenöffnung abgeschiedenen poly-Si-Fingers. Der poly-Si-Finger ist etwa 40μm breit und ca. 250nm dick, was auf eine hohe Genauigkeit des lokalen Abscheidungsprozesses hinweist^[13]. Allerdings ist das Maskenmaterial Nickel für die industrielle Solarzellenfertigung nicht geeignet. Insbesondere Nickelverunreinigungen an der Oberfläche des Siliziumwafers während der PECVD-Abscheidung könnten die Leistung der

At ISFH, we are evaluating a potentially cost-effective production of structured poly-Si fingers using plasma-enhanced chemical vapor deposition (PECVD) with shadow masks. We are testing shadow masks from different materials and deposit the poly-Si fingers by PECVD, placing the shadow mask between the plasma and the silicon wafer. For industrial use, shadow masks have to fulfill a range of requirements such as: precise and well-defined mask openings for the deposition of poly-Si fingers matching the metal contacts, mechanical and thermal stability of the shadow mask during the plasma process, a high deposition rate through the mask openings and a high reusability of the shadow masks.

A first proof of the viability of the concept was achieved with a shadow mask using a thin nickel foil. The mask layout features line openings of widths varying from 200μm to 40μm distributed over the area of a solar cell. Figure 27, for example, depicts the elevation profile of a deposited poly-Si finger with a 40μm wide mask opening^[13]. The poly-Si finger is roughly 40μm wide and 250nm thick indicating the high accuracy of the local deposition process. However, the mask material of nickel is not suitable for industrial solar cell production. In particular, nickel contamination on the surface of the silicon wafer during PECVD deposition might impair the performance of the solar cells. Moreover, thin nickel foils are very flexible which is challenging for

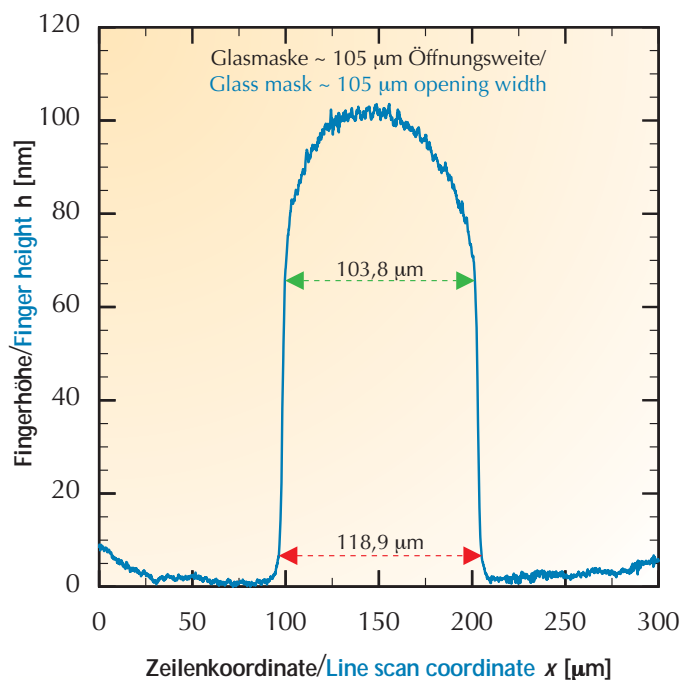
[13] Dullweber T., Stöhr M., Kruse C., Haase F., Rudolph M., Beier B., Jäger P., Mertens V., Peibst R., Brendel R.: *Evolutionary PERC+ solar cell efficiency projection towards 24% evaluating shadow-mask deposited poly-Si fingers below the Ag front contact as next improvement step*. Solar Energy Materials and Solar Cells 212, 110586, (2020), ISSN 0927-0248

[13] Dullweber T., Stöhr M., Kruse C., Haase F., Rudolph M., Beier B., Jäger P., Mertens V., Peibst R., Brendel R.: *Evolutionary PERC+ solar cell efficiency projection towards 24% evaluating shadow-mask deposited poly-Si fingers below the Ag front contact as next improvement step*. Solar Energy Materials and Solar Cells 212, 110586, (2020), ISSN 0927-0248

Solarzellen beeinträchtigen. Außerdem sind die dünnen Nickel-folien sehr flexibel – eine Herausforderung für die Integration der Schattenmasken in PECVD-Träger industrieller Art.

Daher entwickeln wir in Zusammenarbeit mit der *LPKF AG*, Garbsen, Schattenmasken aus Glas. LPKF kann mit deren *Laser-induced deep etching* (LIDE) Verfahren dünne Gläser mikrometer-genau strukturieren. Abbildung 26 zeigt ein Foto einer LPKF Glasmaske und die daraus resultierende, klar definierte Abscheidung von poly-Si auf einem Siliziumwafer^[14].

Wir konnten eine hohe laterale Positionsgenauigkeit des abgeschiedenen poly-Si-Fingers mit einer Abweichung kleiner 13 μm in Bezug auf das formgebende Schattenmasken-Layout mit Hilfe eines optischen Mikroskops bestätigen^[15]. Darüber hinaus zeigen Profilometer-Messungen, wie beispielsweise in Abbildung 28, scharfe poly-Si-Fingerkanten. Die Abscheidung durch die Maskenöffnung führt nur zu einer geringfügigen Verbreiterung der poly-Si-Finger – in diesem Fall ca. 15 μm . Daher sind die erzielte Positionsgenauigkeit und auch die Fingergeometrie sehr vielversprechend für eine zukünftige industrielle Anwendung der glasbasierten Schattenmasken für die Solarzellenproduktion.



the integration of the shadow masks onto industrial type PECVD substrates.

In order to address these concerns, in cooperation with *LPKF AG*, Garbsen, we are developing glass shadow masks. With their innovative laser-induced deep etching (LIDE) technology, LPKF can structure thin glass panes with micrometer precision. Figure 26 shows a photograph of an LPKF glass mask and the resulting clearly defined deposition of poly-Si on a silicon wafer^[14].

With an optical microscope we were able to confirm a high lateral position accuracy of the deposited poly-Si finger with a deviation of less than 13 μm from the corresponding shadow mask layout^[15]. Furthermore, profilometer measurements, such as in Figure 28, show sharp poly-Si finger edges. Deposition through the mask opening only translates into a slight widening of the poly-Si fingers – in this case c. 15 μm . Hence, both the position accuracy achieved and the finger geometry are very promising for future industrial use of glass-based shadow masks for solar cell production.

Abbildung/Figure 28: Profil eines poly-Si-Fingers, der mit einer LPKF Glas-Schattenmaske abgeschieden wurde. Mit einer 105 μm breiten Fingeröffnung wurde ein 118,9 μm schmaler poly-Si-Finger erzielt. Profile of a poly-Si finger deposited with an LPKF glass shadow mask. A poly-Si finger width of 118.9 μm was achieved with a 105- μm -wide finger opening.

[14] Pressemitteilung von LPKF AG und ISFH, September 2020, <https://www.lpkf.com/de/news-presse/pressemitteilungen>

[15] Stöhr M., Beier B., Aprojanz J., Vogt A., Ambrosius N., Brendel R., Dullweber T.: *PECVD shadow mask deposition of amorphous silicon – a short cut to local passivating contacts*. Proc. 37th Europ. Photovolt. Solar Energy Conf., (2020), pp. 521-524

[14] Press release LPKF AG and ISFH, September 2020, <https://www.lpkf.com/de/news-presse/pressemitteilungen>

[15] Stöhr M., Beier B., Aprojanz J., Vogt A., Ambrosius N., Brendel R., Dullweber T.: *PECVD shadow mask deposition of amorphous silicon – a short cut to local passivating contacts*. Proc. 37th Europ. Photovolt. Solar Energy Conf., (2020), pp. 521-524

Überhitzung von Hochleistungs-PV-Modulen mit mehr als 450 W_p durch Teilabschattung einzelner Solarzellen

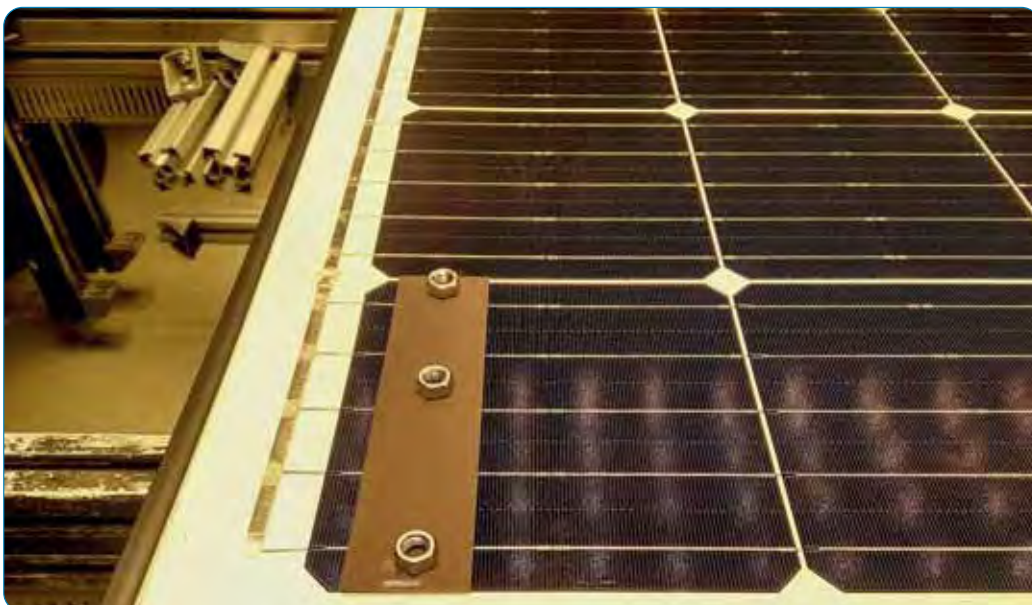
Seit Anfang 2020 drängen die großen asiatischen Hersteller mit neue Hochleistungs-PV-Modulen auf den Markt, welche Leistungen von 500 W_p bis 660 W_p ^[16] haben. Wird in so einem Hochleistungs-PV-Modul eine Solarzelle teilverschattet, verbraucht diese Solarzelle elektrische Leistung und erwärmt sich. Diese Erwärmung wird als *Hot-Cell-Effekt* bezeichnet. Er kann die PV-Modul-Zuverlässigkeit bei hohen PV-Modul-Leistungen langfristig beeinträchtigen.

In einem unverschatteten PV-Modul addieren sich die einzelnen Solarzellen-Spannungen und durch jede Solarzelle fließt derselbe Strom. Alle Solarzellen befinden sich im gleichen Arbeitspunkt und erzeugen eine Leistung. Wird eine Solarzelle verschattet, wird der Strom dieser Solarzelle proportional zum Verschattungsgrad reduziert. Aufgrund der Serienschaltung kann sich dadurch der Arbeitspunkt der verschatteten Solarzelle vom positiven in den negativen Spannungsbereich verschieben. Anstatt elektrische Leistung zu generieren, verbraucht diese Solarzelle nun Leistung. In der Vergangenheit war das vor allem für PV-Module mit multikristallinen Solarzellen ein Problem. Eine negative Solarzellen-Spannung kann bei multikristallinen Solarzellen zu lokalen Durchbrüchen führen, wodurch die Leistung in einem kleinen Bereich der Solarzelle in Wärme umgesetzt wird. Dadurch wird die Solarzelle punktuell sehr heiß. Deshalb nennt man dies den *Hot-Spot-Effekt*.

Overheating of high-power PV modules with more than 450 W_p due to partial shading of individual solar cells

Since the beginning of 2020, the large Asian manufacturers have been penetrating the market with new high-power PV modules, which have outputs between 500 W_p and 660 W_p ^[16]. When a solar cell in such a high-power PV module is partially shaded, this solar cell consumes electrical power and heats up. This heating is called the *hot-cell effect*. It can impair the long-term reliability of PV modules with high power output.

In an unshaded PV module the individual solar cell voltages accumulate and the same current flows through each solar cell. All solar cells are at the same operating point and generate power. If a solar cell is shaded, the current from this solar cell is reduced proportionally to the degree of shading. Due to the series connection of the solar cell, this can switch the operating point of the shaded solar cell from the positive to the negative voltage range. Instead of generating electrical power, this solar cell now consumes power. In the past this was especially a problem for PV modules with multicrystalline solar cells. A negative solar cell voltage can lead to a local breakdown in multicrystalline solar cells, where the power is converted to heat in a small area of the solar cell. As a result, the solar cell becomes hot in a small spot. Therefore, this effect is called *hot-spot effect*.



Abbildung/Figure 29: Foto des PV-Moduls mit der teilverschatteten Solarzelle während des Dauerbeleuchtungsexperiments. Photograph of the PV module with the partially shaded solar cell during the steady-state illumination experiment.

[16] Chunduri S.K., Schmela M.: *News Report on 500W+ Solar Modules*, 2020 Edition, Taiyang-News, (2020)

[16] Chunduri S.K., Schmela M.: *News Report on 500W+ Solar Modules*, 2020 Edition, Taiyang-News, (2020)

Wissenschaftliche Ergebnisse

Heutige PV-Module verwenden jedoch in der Regel monokristalline Silizium-Solarzellen, welche frei von *Hot-Spot-Effekten* sind. Im Falle einer Verschattung wird die verbrauchte Leistung homogen über die Solarzellenfläche verteilt, wodurch sich die Solarzelle gleichmäßig erwärmt. Bypassdioden limitieren in der Regel die verbrauchte Leistung in einer verschatteten Solarzelle und daher war dieser Effekt in der Vergangenheit unkritisch für PV-Module mit einer Leistung unter 450 W_p.

Szenario/ Scenario	Waferformat/ Wafer format	Zellanzahl/ Cell count	Modulleistung/ Module power W _p [W]	T _{max} [°C]
1	M6	144	436	165
2	M12	150	487	176
3	M10	156	527	178

Tabelle/Table 2: Simulationsergebnisse für neue Hochleistungs-PV-Module.
Simulation results for new high-power PV modules.

In aktuellen Untersuchungen haben wir jedoch gezeigt, dass für neuen Hochleistungs-PV-Module der *Hot-Cell-Effekt* zu Zuverlässigkeitsproblemen führen kann. Die höheren PV-Modulleistungen werden vor allem durch größere Siliziumwafer-Formate erreicht. In den letzten Jahren wurden überwiegend Wafer im M2-Format und einer Kantenlänge von 156 mm für die Solarzellenherstellung verwendet. Die zukünftigen Hochleistungs-PV-Module verwenden Solarzellen aus M6-, M10- oder M12-Waferformaten mit 166 mm, 182 mm oder 210 mm Kantenlänge. Mit den neuen Waferformaten vergrößert sich auch die Fläche der daraus hergestellten Solarzellen und damit die Solarzellen- und PV-Modulleistung. Eine teilverschattete Solarzelle verbraucht dadurch auch mehr Leistung, was zu kritisch hohen Temperaturen und damit einhergehenden Zuverlässigkeitsproblemen für das PV-Modul führen kann.

Aus diesem Grund haben wir ein aktuelles monokristallines PV-Modul mit einer teilverschatteten Solarzelle in einem Dauerbeleuchtungsexperiment untersucht. Während des Experiments wurde die Temperatur einer teilverschatteten Solarzelle kontinuierlich mit einer Thermografiekamera gemessen. Abbildung 29 zeigt ein Foto der teilverschatteten Solarzelle und Abbildung 30 das entsprechende Thermografiebild.

Im Bereich der verschatteten Solarzelle wurde eine maximale PV-Moduloberflächentemperatur von 164 °C gemessen. Zum Vergleich: Bei der Herstellung der PV-Module werden Temperaturen von 150 °C bis 160 °C für den Laminationsprozess erreicht. UV-Fluoreszenzaufnahmen belegen, dass bereits dieses Experiment zu einer Veränderung des Laminationsmaterials im PV-Modul führt, was langfristig die PV-Modulleistung und die Zuverlässigkeit beeinträchtigt.

However, state-of-the-art PV modules usually use monocrystalline silicon solar cells, which are free of *hot-spot effects*. In the event of shading the dissipated power is distributed homogeneously over the solar cell area, resulting in a homogeneous heating of the solar cell. Bypass diodes usually limit the dissipated power in a shaded solar cell and therefore in the past this effect was not critical for PV modules with a power below 450 W_p.

However, in recent studies we have shown that for new high-power PV modules the *hot-cell effect* can result in reliability problems. The higher power output of new high-power modules is mainly achieved by larger silicon wafer formats. In recent years wafers with M2-format and an edge length of 156 mm were mainly used for solar cell production. The new high-power PV modules employ solar cells with M6-, M10- or M12-wafer formats with edge lengths of 166 mm, 182 mm or 210 mm. These larger wafer formats also increase the size of the solar cells produced from them and in turn this increases the solar cell and PV module power. A partially shaded solar cell therefore also consumes more power, which can result in critically high temperatures and associated reliability problems for the PV module.

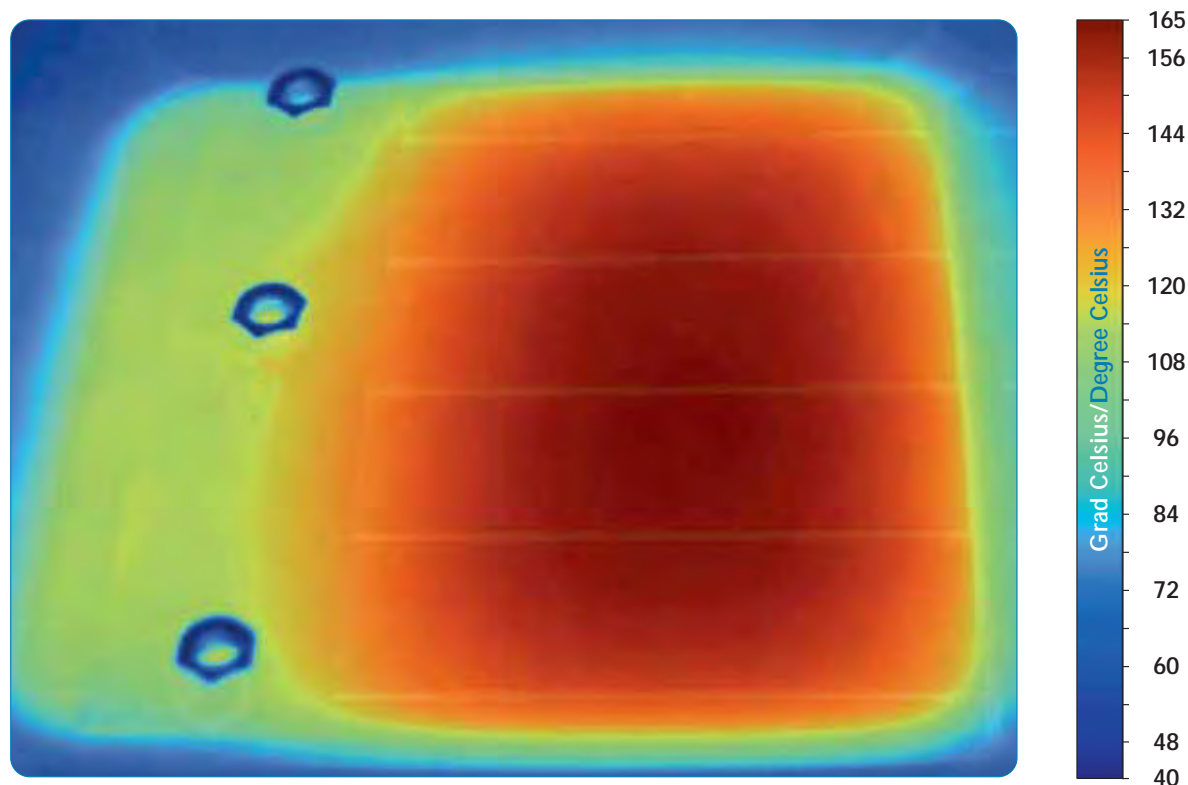
For this reason, we investigated a state-of-the-art monocrystalline PV module with a partially shaded solar cell in a steady-state illumination experiment. During the experiment the temperature of a partially shaded solar cell was measured continuously with a thermography camera. Figure 29 shows a photo of the partially shaded solar cell and Figure 30 shows the corresponding thermography image.

In the area of the shaded solar cell we measured a maximum PV module surface temperature of 164 °C. In comparison, temperatures of 150 °C to 160 °C are used for the lamination process. UV fluorescence images show that this experiment already leads to a change in the lamination material in the PV module, which impairs its long-term performance and reliability.

Based on our measurements, we developed an electrical and a thermal model to simulate the temperature of new high-power PV modules with solar cells made of M6-, M10- and M12-

Aufbauend auf unseren Messungen haben wir ein elektrisches und ein thermisches Modell entwickelt, um die Temperatur von neuen Hochleistungs-PV-Modulen mit Solarzellen aus M6-, M10- und M12-Waferformaten zu simulieren^[17]. Tabelle 2 fasst unsere Simulationsergebnisse für drei gängige Konfigurationen von Hochleistungs-PV-Modulen zusammen. Demnach simulieren wir für ein PV-Modul mit 156 Halbzellen im M10-Waferformat eine PV-Modulleistung von 527 W_p. Aufgrund des *Hot-Cell-Effekts* erreicht dieses PV-Modul in der Simulation im ungünstigsten Verschattungsfall eine maximale Oberflächentemperatur von 178 °C. Langfristig führt der *Hot-Cell-Effekt* daher zu Zuverlässigkeitsproblemen für neue Hochleistungs-PV-Module, welche durch neue PV-Modulleistungselektronik, widerstandsfähigere Materialien oder alternative Verschaltungs- und Bypassdiodenkonzepte gelöst werden müssen.

wafer formats^[17]. Table 2 summarizes our simulation results for three common configurations of new high-power PV modules. Accordingly, we simulate a PV module power of 527 W_p for a PV module with 156 half cells with M10-wafer format. Due to the *hot-cell effect*, this PV module reaches a maximum surface temperature of 178 °C in the simulation in the event of the most unfavorable shading. In the long run the *hot-cell effect* therefore results in reliability problems for new high-power PV modules, which have to be solved with new PV module power electronics, more resistive PV module materials or alternative interconnection and bypass diode concepts.



Abbildung/Figure 30: Thermografieaufnahme des PV-Moduls mit der teilverschatteten Solarzelle während des Dauerbeleuchtungsexperiments. Die maximale Oberflächentemperatur beträgt $(164 \pm 5)^\circ\text{C}$.

Thermography image of the PV module with the partially shaded solar cell during the steady-state illumination experiment. The maximum surface temperature is $(164 \pm 5)^\circ\text{C}$.

[17] Witteck R., Siebert M., Blankemeyer S., Schulte-Huxel H., Köntges M.: Three Bypass Diodes Architecture at the Limit, IEEE Journal of Photovoltaics, 10, 1828-1838, (2020)

[17] Witteck R., Siebert M., Blankemeyer S., Schulte-Huxel H., Köntges M.: Three Bypass Diodes Architecture at the Limit, IEEE Journal of Photovoltaics, 10, 1828-1838, (2020)

Praxistaugliche Reichweitenverlängerung eines leichten E-Lieferfahrzeugs durch fahrzeugin-tegrierte Photovoltaik mit Hochvolt-Anschluss

Fahrzeugin-tegrierte Photovoltaik (VIPV) kann zur Reduktion der CO₂-Emissionen des Verkehrssektors beitragen und die Spitzenbelastungen für das Stromnetz verringern, die das Laden vieler Elektrofahrzeuge impliziert. VIPV wurde bereits in den sechziger Jahren des letzten Jahrhunderts konzipiert. Die Hauptanwendung lag allerdings viele Jahre lang in der Nische von Wettbewerben spezieller stromlinienförmiger Leichtbau-Solarfahrzeuge. Seit einigen Jahren gibt es von verschiedenen Herstellern auch PKW-Modelle mit Solardächern oder auf LKW-Kühlkoffern integrierte PV-Module. Dabei wird die PV-konvertierte Energie für „Zusatzfunktionen“ wie Klimaanlage oder Kühlung verwendet. Diese Anwendungen laufen auf Niederspannungsniveau von typischerweise 12 V.

Derzeit fallen zwei Trends zusammen, die den Einsatz von VIPV begünstigen könnten – einerseits die enorme Kostenreduktion der Photovoltaik, andererseits die Umstellung der Automobilindustrie auf batterieelektrische Fahrzeuge. Diese haben stets zwei Stromspeicher an Bord: Eine kleine 12V-Batterie, die elektrische Verbraucher, Licht und Servolenkung versorgt, sowie eine große Traktionsbatterie, die bei höherer Spannung von 400V arbeitet und den Elektroantrieb mit Energie versorgt. Damit die durch VIPV gewonnene Energie in die große Traktionsbatterie eingespeist werden kann und damit zur Reichweitenverlängerung beiträgt, ist eine Ankopplung der PV-Module an das Hochvolt-Bordnetz notwendig. Das ist technisch sehr anspruchsvoll, da dies eine Konvertierung von 12 V auf 400 V erfordert und mit vielen Sicherheitsaspekten verknüpft ist.

Eben diese Herausforderung hat das Konsortium des Forschungsprojektes *Street* erfolgreich adressiert. Das Konsortium besteht aus den Firmen *Vitesco Technologies GmbH*, *a2-solar Advanced and Automotive Solar Systems GmbH* und *Meyer Burger Technology AG* sowie dem *Forschungszentrum Jülich*, dem *Helmholtz-Zentrum Berlin*, dem *MBE-Institut* der Leibniz Universität Hannover und dem Institut für Solarenergieforschung Hameln (ISFH), welches das Projekt koordiniert.

In Zusammenarbeit mit dem Entwicklungsdienstleister *Continental Engineering Services* wurde ein leichtes Nutzfahrzeug auf die Straße gebracht, das mit hocheffizienter fahrzeugin-tegrierter Photovoltaik ausgestattet ist. Das Besondere daran: Die aus dem Sonnenlicht konvertierte Energie kann in das Hochvolt-Bordnetz eingespeist und damit direkt zur Reichweitenverlängerung genutzt werden. Die Grundlage für diesen Erfolg bildete die Kombination verschiedener Kompetenzen: Die Umwandlung der solaren Energie in elektrische Energie erfolgt in für den Automotive-Einsatz entwickelten PV-Modulen von *a2-solar*. Diese basieren auf hocheffizienten Silizium-Heterojunction-Solarzellen von *Meyer Burger*, die am ISFH durch *Smartwire*-Verbindungstechnologie verschaltet wurden. Diese in Europa entwickelte Technologie ermöglicht nicht nur maximale Solarzell- und PV-

Practical range extension for a light E-delivery vehicle by means of vehicle-integrated photovoltaics with a high-voltage connection

Vehicle-integrated photovoltaics (VIPV) can contribute to the reduction in CO₂ emissions from the transportation sector and reduce the peak loads on the power grid implied by charging many electric vehicles. VIPV was conceptualized as early as the 1960s. The main application for many years was, however, in the niche of competitions for special streamlined lightweight solar vehicles. Several manufacturers have also for several years produced car models with solar roofs or truck refrigerated cases with integrated PV modules. In these the PV-converted energy is used for “additional functions” such as air-conditioning or refrigeration. These applications run at a low-voltage level of typically 12 V.

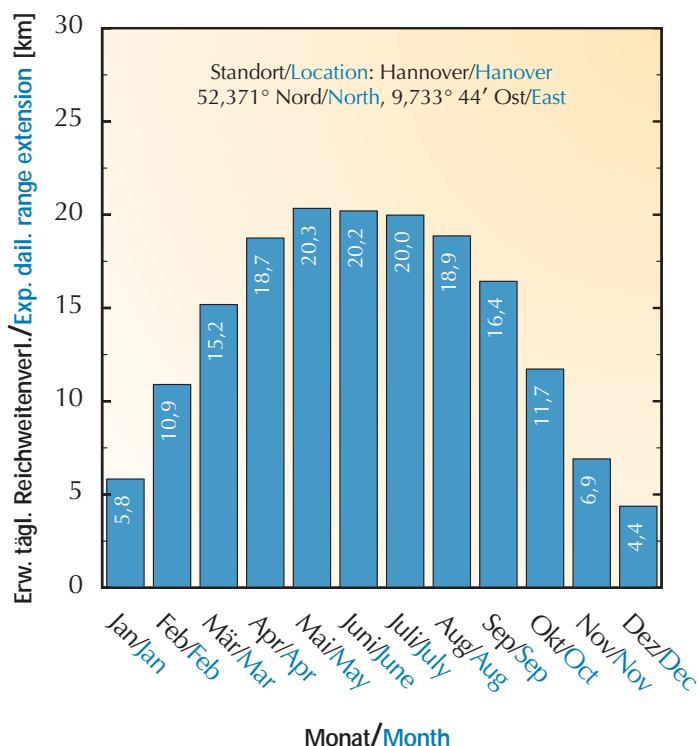
At the present time, two trends are coinciding which could favor the use of VIPV – on the one hand, the enormous cost reduction in photovoltaics, on the other hand, the switch of the car industry to battery electric vehicles. These always have two energy storage devices on board: a small 12 V battery, which supplies electric consumers, lights and power steering, as well as a large traction battery, which works at a higher voltage of 400V and supplies the electric drive with energy. In order for the energy generated by the VIPV to be fed into the large traction battery and thus to contribute to the increase in range, it is necessary for the PV module to be connected to the high-voltage on-board power supply. This is technically very demanding as it requires a conversion of 12 V to 400V and is linked to many safety aspects.

Exactly this challenge has been successfully addressed by the consortium of the *Street* research project. The consortium comprises the firms *Vitesco Technologies GmbH*, *a2-solar Advanced and Automotive Solar Systems GmbH* and *Meyer Burger Technology AG* as well as the *Jülich Research Center*, the *Helmholtz-Center Berlin*, the *MBE-Institute* of the Leibniz University Hanover and the Institute for Solar Energy Research Hameln (ISFH), which is coordinating the project.

In cooperation with the development service provider *Continental Engineering Services*, a light commercial vehicle was launched which is equipped with highly-efficient vehicle-integrated photovoltaics. What is special about it is: the energy converted from sunlight can be fed into the high-voltage on-board power supply and thus be used directly for range extension. The basis for this success was the combination of various technologies: the conversion of the solar energy into electrical energy occurs in the PV modules developed by *a2-solar* for automotive use. These are based on highly efficient silicon heterojunction solar cells from *Meyer Burger*, which were interconnected at the ISFH with *Smartwire* connection technology. This technology developed in Europe enables not only maximum solar cell and PV module efficiency but also maximum PV module yield due to the lower temperature coefficients. Electronics from *Vitesco*, which has also developed, as the central innovation, the DC/

Modulwirkungsgrade, sondern durch den geringeren Temperaturkoeffizienten auch maximale PV-Modulerträge. Für die Regelung auf den Punkt mit maximaler Leistung sorgt Elektronik von Vitesco, die außerdem als zentrale Innovation den DC/DC-Konverter für die Wandlung von 12 V auf 400 V entwickelt hat. Continental Engineering Services übernahmen die Integration sämtlicher Komponenten und deren Einbindung in das Fahrzeug-Bordnetz.

DC converter for transforming 12 V into 400 V, provide precise control with maximum power. Continental Engineering Services took on the integration of all the components and their incorporation into the vehicle's power supply.



Abbildung/Figure 31: Erwartete durchschnittliche tägliche Reichweitenverlängerung, aufgeschlüsselt über den Jahresverlauf. Die Berechnungen basieren auf den Kenndaten der integrierten PV-Module sowie den bereits bei Testfahrten gemessenen transienten Einstrahlungsprofilen auf den Seiten und dem Dach.

Expected average daily range extension, broken down over the course of the year. The calculations are based on the characteristics of the integrated PV modules, as well as the transient irradiation profiles on the sides and roof already measured during test drives.

Das als Demonstrator verwendete leichte Nutzfahrzeug WORK L der Firma StreetScooter bietet ideale Voraussetzungen für VIPV: Für die zehn PV-Module steht eine Fläche von insgesamt 15 m² zur Verfügung. Im Gegensatz zur Integration auf PKWs mussten die PV-Module weder gewölbt noch eingefärbt werden. Ihre nominelle Gesamtleistung beträgt 2.180 W_p. Gleichzeitig ist der Energiebedarf für das Fahren mit ca. 19 kWh/100 km ähnlich gering wie bei PKWs.

The WORK L light commercial vehicle from the firm StreetScooter used as a demonstrator offers ideal prerequisites for VIPV: an area of 15 m² in all is available for the ten PV modules. In contrast to the integration on cars, the PV modules did not have to be curved or colored. Their nominal total power is 2,180 W_p. At the same time, the energy requirement for driving at c. 19 kWh/100 km is just as low as for cars.

Basierend auf Einstrahlungsmessungen mit Strahlungssensoren auf Testfahrzeugen erwarten wir eine jährliche Reichweitenverlängerung von ca. 5.200 km bei Fahrten in Niedersachsen. Damit könnte mehr als jeder vierte netzbasierte Ladestopp eingespart werden. In südlicheren Regionen, wo die Einstrahlungsintensität höher ist, wären noch größere Reichweitenverlängerungen möglich. Die Verteilung der erwarteten durchschnittlichen täglichen Reichweitenverlängerung ist in Abbildung 31 dargestellt.

Based on irradiation measurements with radiation sensors on the test vehicles, we expect an annual range extension of c. 5,200 km on journeys in Lower Saxony. This could save more than every fourth grid-based charging stop. In more southerly regions where irradiation intensity is higher, even greater range extensions would be possible. The distribution of the expected average daily range extension is depicted in Figure 31.

Das Demonstrator-Fahrzeug hat eine deutsche Straßenzulassung erhalten und erste Tests absolviert. Es ist mit zahlreichen Sensoren ausgestattet, um die Energieflüsse genau verfolgen zu können.

The demonstrator vehicle has received German road approval and passed its first tests. It is equipped with numerous sensors in order to be able to precisely monitor the energy flows. Until the end of the project all components are to be thoroughly checked as part of test drives at different times of day and in

Bis Projektende sollen alle Komponenten im Rahmen von Testfahrten zu verschiedenen Tages- und Jahreszeiten und unterschiedlichen Wetterbedingungen eingehend geprüft werden. Das Fahrzeug wird daher in nächster Zeit oft auf den Straßen des Weserberglandes, der Region Hannover und in der Landeshauptstadt selbst zu sehen sein. Abbildung 32 zeigt es vor der Halleneinfahrt auf dem Institutsgelände. Auch sein amtliches Kennzeichen „HM-PV 30E“ nimmt Bezug auf das Potenzial der Solarenergie in Niedersachsen: Studien des ISFH zeigen, dass in einem nach Kosten optimierten nachhaltigen Energiesystem in Niedersachsen bis zu 30% des Endenergiebedarfs aus Photovoltaik bereitgestellt werden können.

Das Forschungsprojekt *Street* wird gefördert vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie unter dem Kennzeichen 01183157.

different seasons and weather conditions. The vehicle will therefore often be seen in the near future on roads in the Weserbergland, the Hanover region and in the state capital itself. Figure 32 shows it in front of the hall entrance to the institute premises. Even its official numberplate “HM-PV 30E” refers to the potential for solar energy in Lower Saxony: studies by the ISFH show that, in a cost-optimized sustainable energy system, up to 30% of end energy demand in Lower Saxony can be provided by photovoltaics.

The *Street* research project is sponsored by the Federal Ministry for Economic Affairs and Energy under reference 01183157. The results of the project are also being passed to the international working party *Task 17 – PV for Transport in the Photovoltaic Power Systems Programme* of the International Energy Agency



Abbildung/Figure 32: Der Fahrzeug-Prototyp vor der Halleneinfahrt in das Gebäude der *Integrierten Solaren Systemtechnik* (ISS).
The vehicle prototype in front of the hall entrance to the *Integrated Solar Systems Technology* (ISS) building.

Die Ergebnisse des Projekts fließen auch in die internationale Arbeitsgruppe *Task 17 – PV for Transport im Photovoltaic Power Systems Programme* der Internationalen Energieagentur (IEA) ein. Dort tauschen sich Experten weltweit über Ansätze aus, mittels Photovoltaik die CO₂-Emission des Transportsektors zu senken.

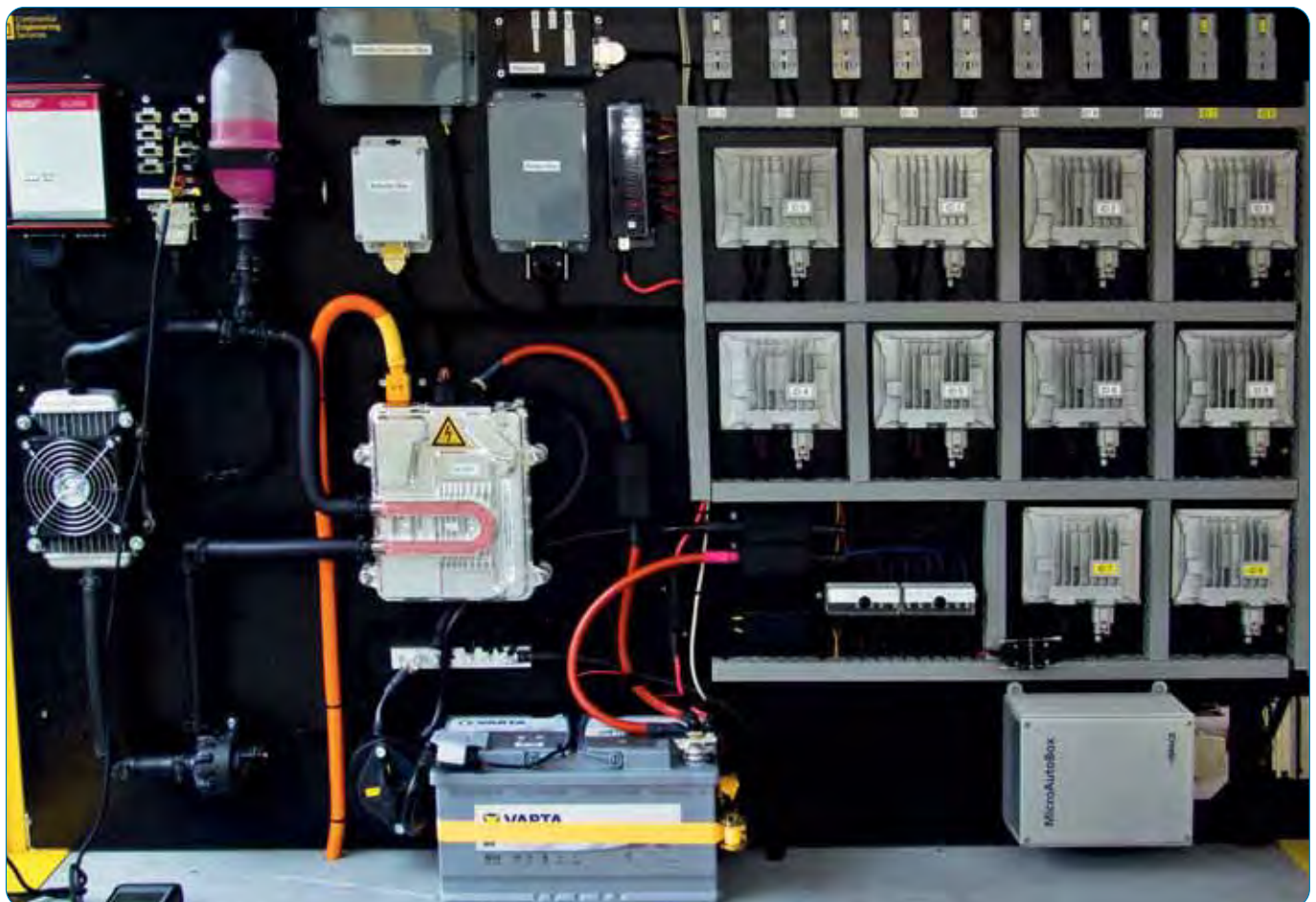
Die Ergebnisse des *Street*-Projektes werden die Attraktivität von fahrzeugintegrierter Photovoltaik zunächst für derartige leichte Nutzfahrzeuge aufzeigen. Darüber hinaus liefern sie aber auch wichtige Erkenntnisse zur Übertragung von VIPV in andere Fahrzeugklassen.

Das ISFH dankt allen Projektpartnern, Beitragenden und den Fördermittelgebern für deren wohlwollende Unterstützung.

(IEA). There experts worldwide swap ideas about reducing the CO₂ emission of the transport sector with the help of photovoltaics.

The results of the *Street* project will demonstrate the attractiveness of vehicle-integrated photovoltaics first of all for such light commercial vehicles. In addition, they will also deliver important information for the application of VIPV to other classes of vehicle.

The ISFH thanks all its project partners, contributors and financial sponsors for their generous support.



Abbildung/Figure 33: Die PV-bezogenen Elektronikkomponenten, im Demonstrator integriert in die Stirnseite des Kofferaufbaus. Gut zu erkennen am Hochspannungssymbol ist der zentrale DC/DC Konverter von 12 V auf 400 V. In einer kompakteren Serienbauweise würden die zehn Maximum-Power-Point-Tracker rechts oben in ein Multikanal-Gerät integriert.

The photovoltaic-related electronic components, integrated into the front of the box body in the demonstrator. Well visible at the high voltage symbol is the central DC/DC converter from 12 V to 400V. In a more compact series design, the ten maximum power point trackers in the upper right would be integrated into one multi-channel device.

Robby Peibst

Industriennahe Herstellungsprozesse für Solarzellen mit nPOLO und Al-p⁺-Kontakten oder „Der Teufel steckt im Detail“

In der europäischen Photovoltaik-Gemeinschaft ist derzeit Aufbruchsstimmung zu verspüren. Mit dem *Green Deal* hat sich Europa vorgenommen, der erste klimaneutrale Kontinent zu werden. Diese Zielsetzung wird konkretisiert auf nationaler und föderaler Ebene, z. B. durch das Niedersächsische Klimaschutzgesetz. Damit einher geht das Bekenntnis zum Ausbau der Erneuerbaren Energien und insbesondere auch der sehr preiswert gewordenen Photovoltaik (PV). Die PV-Installationen werden deshalb, auch in Niedersachsen, signifikant zunehmen. Dies birgt Chancen im Bereich der wirtschaftlichen und industriellen Wertschöpfung, die von einer steigenden Anzahl von Akteuren in der PV-Fertigung erkannt und ergriffen wird. Bisher bauen kleinere hiesige PV-Modulhersteller massiv Produktionskapazitäten auf, und mehrere Akteure planen den Wiedereinstieg in die Solarzellenproduktion. Das Know-how der Forschungsinstitute in Bezug auf innovative Technologien ist dafür eine wichtige Basis.

Das ISFH hat in diesem Kontext als Orientierungsgrundlage eine umfassende und systematische Evaluation verschiedener Silizium (Si)-Solarzellkonzepte mit passivierenden *polykristallinen Silizium (poly-Si-on-oxide, POLO)*-Kontakten durchgeführt^{[18][19]}.

Die in Abbildung 34 dargestellte Roadmap des ISFH^[18] setzt als Ausgangspunkt auf die PERC+ Technologie^[20], zu der das ISFH viele wichtige Beiträge geleistet hat und die aktuell das Rückgrat der modernen PV weltweit darstellt. Die im nächsten Schritt angestrebten Solarzellenstrukturen^[21] „POLO-BJ“ (Back-Junction) und „POLO-IBC“ (Interdigitated Back Contact) kombinieren viele der besten Komponenten von PERC+, insbesondere den einlegierten Aluminium-p⁺-Kontakt zur selektiven Extraktion der positiv geladenen Ladungsträger (Löcher), mit den exzellenten nPOLO-Kontakten zur selektiven Extraktion der negativ geladenen Ladungsträger (Elektronen). So kann zum einen das theoretische, über numerische Bauteilsimulationen bestimmte Wirkungsgradpotenzial von 23,7% für PERC+ signifikant auf 24,7% für POLO-BJ bzw. auf 25,5% für POLO-IBC angehoben werden, zum anderen kann das Risiko und der Prozess-Mehraufwand gegenüber PERC+ minimiert werden. Dabei bleiben die Materialkosten konstant niedrig u.a., weil mindestens eine der Polaritäten – wie bei PERC+ auch – mit billigem Aluminium anstatt teurem Silber metallisiert wird.

Industry-oriented processes for solar cells with nPOLO and Al-p⁺ contacts or “The devil is in the details”

There is currently a perceptible sense of optimism in the European photovoltaic community. With the *Green Deal* Europe has set itself the goal of becoming the first climate-neutral continent. This objective is being substantiated at a national and federal level, for example through the Lower Saxon Climate Protection Act. This is accompanied by the commitment to the expansion of renewable energy and, in particular, photovoltaics (PV), which has become very affordable. The number of PV installations will therefore also increase significantly in Lower Saxony. This creates opportunities in the area of economic and industrial wealth creation, which are being recognized and seized by an increasing number of those involved in PV manufacturing. So far smaller local PV module manufacturers are massively expanding their production capacity, and several players are planning to resume solar cell production. The know-how of the research institutes regarding innovative technology is an important basis for this.

As a guide the ISFH has, in this context, carried out a comprehensive and systematic evaluation of different silicon (Si) solar cell concepts with passivating *polycrystalline silicon (poly-Si-on-oxide, POLO)* contacts as a basis for orientation^{[18][19]}.

The ISFH^[18] road map shown in Figure 34 relies as a starting point on passivated emitter rear-cell (PERC+) technology^[20], to which the ISFH has made many important contributions and which is currently the backbone of modern PV worldwide. The “POLO-BJ” (Back-Junction) and “POLO-IBC” (Interdigitated Back Contact) cell structures intended in the next step^[21] combine many of the best components of PERC+, in particular the alloyed aluminum p⁺ contact for selective extraction of the positively-charged charge carriers (holes), with the excellent nPOLO contacts for selective extraction of the negatively charged charge carriers (electrons). Thus, on the one hand, the theoretical efficiency potential determined by numerical component simulations can be significantly increased from 23.7% for PERC+ to 24.7% for POLO-BJ or to 25.5% for POLO-IBC, and on the other hand, the risk and the additional process complexity compared to PERC+ can be minimized. At the same time, the material costs remain constantly low, among other things because at least one of the polarities – as also with PERC+ – is metalized with cheap aluminum instead of expensive silver.

[18] Kruse C.N., Schäfer S., Haase F., Mertens V., Schulte-Huxel H., Lim B., Min B., Dullweber T., Peibst R., Brendel R.: *Simulation-based roadmap for the integration of poly-silicon on oxide contacts into screen-printed crystalline silicon solar cells*. Scientific Reports 11 (1), 996, (2021)

[19] Peibst R., Kruse C., Schäfer S., Mertens V., Bordihn S., Dullweber T., Haase F., Hollemann C., Lim B., Min B., Niepelt R., Schulte-Huxel H., Brendel R.: *For none, one, or two polarities – How do POLO junctions fit best into industrial Si solar cells?* Progress in Photovoltaics: Research and Applications 28 (6), 503-516, (2020)

[20] 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 D.H.: *PERC+: Industrial PERC solar cells with rear Al grid enabling bifaciality and reduced Al paste consumption*. Progress in Photovoltaics: Research and Applications 24 (12), 1487-1498, (2016)

[21] Die für die (über)über nächsten Schritte gezeigten „POLO2“- bzw. Tandemstrukturen sind Gegenstand aktueller Vorausentwicklungen. Sie werden aber voraussichtlich erst in ~3-5 Jahren „produktionsreif“ sein und kommen damit als Startpunkt für einen zeitnahen Wiedereinstieg in die PV-Produktion nicht in Frage – wohl aber als späteres Upgrade für POLO-BJ und POLO-IBC.

[18] Kruse C.N., Schäfer S., Haase F., Mertens V., Schulte-Huxel H., Lim B., Min B., Dullweber T., Peibst R., Brendel R.: *Simulation-based roadmap for the integration of poly-silicon on oxide contacts into screen-printed crystalline silicon solar cells*. Scientific Reports 11 (1), 996, (2021)

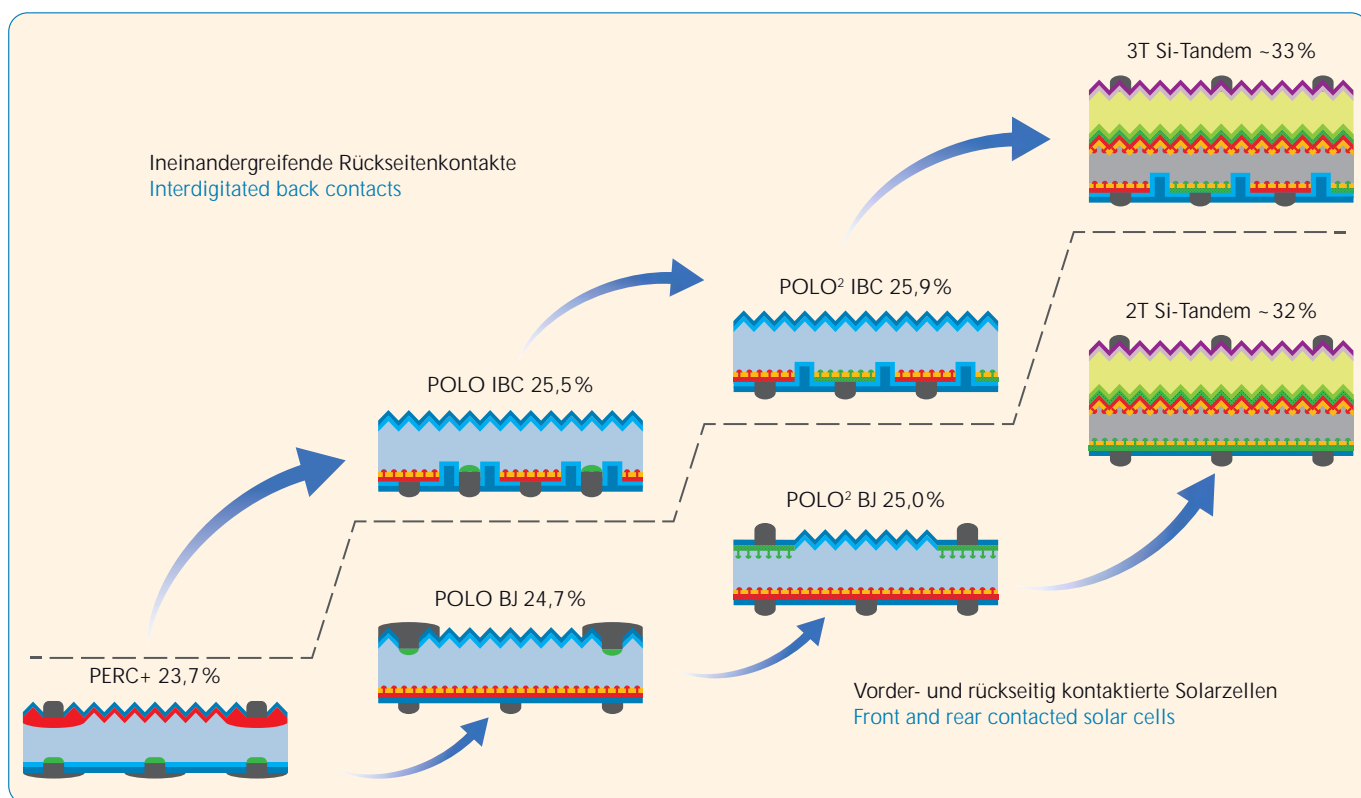
[19] Peibst R., Kruse C., Schäfer S., Mertens V., Bordihn S., Dullweber T., Haase F., Hollemann C., Lim B., Min B., Niepelt R., Schulte-Huxel H., Brendel R.: *For none, one, or two polarities – How do POLO junctions fit best into industrial Si solar cells?* Progress in Photovoltaics: Research and Applications 28 (6), 503-516, (2020)

[20] 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 D.H.: *PERC+: Industrial PERC solar cells with rear Al grid enabling bifaciality and reduced Al paste consumption*. Progress in Photovoltaics: Research and Applications 24 (12), 1487-1498, (2016)

[21] The “POLO2” or tandem structures shown for the next but one step are the subject of current advance developments. However, they are not expected to be “ready for production” until ~3-5 years from now and are therefore out of the question as a starting point for a timely re-entry into PV production – but as a later upgrade for POLO-BJ and POLO-IBC.

Nun sind theoretische Betrachtungen oft nur eine Seite der Medaille. In der praktischen Entwicklungsarbeit zeigen sich zumeist Herausforderungen, die im Voraus schwerlich absehbar waren, aber durchaus fundamentaler Natur sein können. Das ISFH hat 2020 intensiv an der Entwicklung der POLO-BJ- und der POLO-IBC-Solarzelle gearbeitet, und ist dabei u. a. auf folgende Herausforderungen und Lösungsmöglichkeiten gestoßen:

Theoretical considerations are often only one side of the coin. Practical development work usually reveals challenges which were difficult to foresee in advance, but may well be of a fundamental nature. In 2020 the ISFH worked intensively on the development of the POLO-BJ and the POLO-IBC solar cell and in the process, amongst other things, encountered the following challenges and hit upon the following possible solutions:



Legende/Legend

p-Typ/type c-Si Basis/base	n ⁺ -Typ/type poly-Si	SiN _y	TCO
n-Typ/type c-Si Basis/base	p ⁺ -Typ/type poly-Si	SiO _x	HTL
n ⁺ -Typ/type c-Si	Perowskit/Perovskite	Al ₂ O ₃	ETL
p ⁺ -Typ/type c-Si	Metall/Metal		

Abbildung/Figure 34: (Solarzellentwicklungs-)Roadmap des ISFH mit Querschnitt der verschiedenen Solarzellenstrukturen sowie deren numerisch simuliertem Wirkungsgradpotenzial^[18].
(Solar cell development) road map of the ISFH with cross-sections of the different solar cell structures as well as their numerically simulated efficiency potential^[18].

Zellstruktur/ Cell structure	Messung/ Measurement	Zellfläche/ Cell area [cm ²]	V _{oc} [mV]	J _{sc} [mA/cm ²]	FF [%]	η [%]
POLO-BJ	vollflächig, busbarlos/ full-area, busbarless	244,5	716	39,30	80,30	22,60
POLO-IBC	ausgewiesene Fläche auf M2 Wafer/ designated area on M2 wafer	4,0	716	40,35	79,75	23,00

Tabelle/Table 3: *I/V*-Parameter der bisher besten am ISFH entwickelten POLO-BJ- und POLO-IBC-Solarzellen. Alle Werte wurden am unabhängigen, ISO 17025/IEC 6094-zertifizierten *ISFH CalTeC* gemessen.
The *I/V*-parameters of the best POLO-BJ and POLO-IBC solar cells developed at the ISFH so far. All the data were measured by the independent, ISO 17025/IEC 6094 certified *ISFH CalTeC*.

- i) Die Effektivität der nasschemischen Wafer-Reinigungsprozesse stellte sich als sehr sensitiver Parameter heraus. Beide Solarzellenkonzepte – POLO-BJ und POLO-IBC – basieren auf p-dotiertem Wafermaterial, in dem z.B. geringste Eisen-Kontaminationen bereits einen starken Effekt auf die elektronische Materialqualität haben. Außerdem werden in beiden Strukturen die größtenteils an der Solarzellenvorderseite generierten Minoritätsladungsträger an der Solarzellenrückseite eingesammelt – bis wohin sie in einem Metall-kontaminierten Silizium-Wafer kaum diffundieren können, ohne schon vorher wieder zu rekombinieren. Wir haben daraufhin Reinigungsprozesse entwickelt, die gerade auf texturierten Oberflächen metallische Verunreinigungen effektiver entfernen.
- ii) Die Ag-Siebdruck-Metallisierung der dünnen n-dotierten poly-Si-Schichten erwies sich für die POLO-BJ- und die POLO-IBC-Struktur als besonders herausfordernd, weil hierin über die nPOLO-Junction die Minoritätsladungsträger eingesammelt werden. Jedes Durchdringen der ~120nm-dünnen poly-Si-Schichten durch die sich notwendigerweise dort hinein bildenden Silber-Kristallite führt zu einem Kontakt mit dem gegensätzlich (p-) dotierten Wafer bzw. der Raumladungzone, und somit zu Verlustströmen und schlimmstenfalls einem Kurzschluss der Solarzelle. Durch eine Anpassung der Dicke der auf dem poly-Si befindlichen dielektrischen Schichten konnte die Tiefe, bis zu der sich Ag-Kristallite in dem poly-Si ausbilden, begrenzt bzw. ein Durchdringen des poly-Si durch Ag vermieden werden^[22].
- i) The effectiveness of the wet chemical wafer cleaning processes turned out to be a very sensitive parameter. Both solar cell concepts – POLO-BJ and POLO-IBC – are based on p-doped wafer material, for which for example, even the slightest iron contamination has a severe effect on the electronic quality of the material. In addition, in both structures, the minority charge carriers generated mostly on the front side of the solar cell are collected on the rear side of the solar cell – where they can hardly diffuse in a metal-contaminated silicon wafer without recombining beforehand. We then developed cleaning processes which remove metal contaminants more effectively, especially on textured surfaces.
- ii) The silver (Ag) screen-printed metalization of the thin n-doped poly-Si layers proved particularly challenging for the POLO-BJ and POLO-IBC structures because the minority charge carriers in them are collected via the nPOLO junction. Any penetration of the ~120nm-thin poly-Si layers by the silver crystallites which necessarily form there, leads to contact with the oppositely (p-) doped wafer or the space charge region and thus to leakage currents and, in the worst case, to a short circuit of the solar cell. By adjusting the thickness of the dielectric layers located on the poly-Si, it was possible to limit the depth to which Ag crystallites form in the poly-Si or to avoid^[22] a penetration of the poly-Si by Ag.

[22] Min B., Wehmeier N., Brendemühl T., Haase F., Larionova Y., Nasebandt L., Schulte-Huxel H., Peibst R., Brendel R.: 716 mV Open-Circuit Voltage with Fully Screen-Printed p-Type Back Junction Solar Cells Featuring an Aluminum Front Grid and a Passivating Polysilicon on Oxide Contact at the Rear Side, Solar RRL 5 (1), 2000703, (2021)

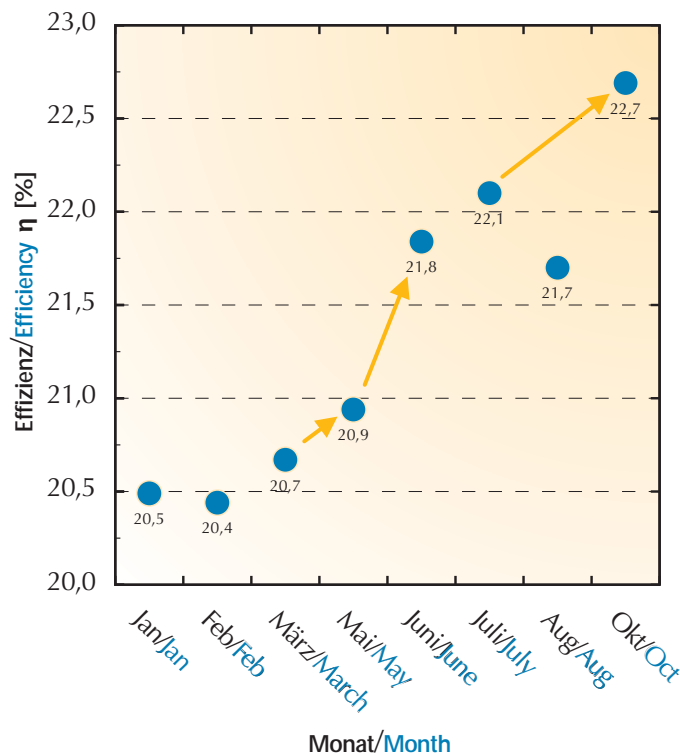
[22] Min B., Wehmeier N., Brendemühl T., Haase F., Larionova Y., Nasebandt L., Schulte-Huxel H., Peibst R., Brendel R.: 716 mV Open-Circuit Voltage with Fully Screen-Printed p-Type Back Junction Solar Cells Featuring an Aluminum Front Grid and a Passivating Polysilicon on Oxide Contact at the Rear Side, Solar RRL 5 (1), 2000703, (2021)

iii) Die Ausbildung der Löcher-sammelnden p^+ -Kontakte durch einen Legierungsprozess zwischen siebgedrucktem Al und Si ist ein diffiziler Prozess, der u.a. stark von den Kontakt- und Fingergeometrien, der Pastenkomposition und dem thermischen Budget abhängt. Unter den Randbedingungen der POLO-BJ- und POLO-IBC-Struktur (reduzierte Feuertemperatur zur Minimierung des Problems (ii), ultraschmale Al-Finger insbesondere für POLO-BJ) scheint es schwieriger, eine zu PERC+ vergleichbare Qualität der Aluminium- p^+ -Kontakte zu erzielen^[23]. Zur Adressierung dieses Aspektes hat das ISFH eine enge Kooperation mit einem Hersteller der Siebdruck-Al-Pasten etabliert, und erzielt iterative Fortschritte.

Tabelle 3 zeigt die Strom/Spannungs (I/V)-Parameter der bisher besten POLO-BJ- und POLO-IBC-Solarzellen. Insbesondere die offene Klemmspannung V_{oc} von jeweils 716 mV ist bemerkenswert (Weltrekord für p-Typ-Solarzellen mit Aluminium- p^+ -Kontakten, Weltspitze für industrielle Solarzellen mit Siebdruck-metallisierten poly-Si-Kontakten). Das volle simulierte Wirkungsgradpotenzial laut Abbildung 34 wurde noch nicht ausgeschöpft, insbesondere aufgrund des durch die experimentellen Herausforderungen (i-iii) noch reduzierten Füllfaktors.

iii) The formation of the hole-collecting p^+ -contacts by an alloying process between the screen-printed Al and Si is a meticulous process which, among other things, depends heavily on the contact and finger geometry, the paste composition and the thermal budget. Under the constraints of the POLO-BJ and POLO-IBC structures (reduced firing temperature to minimize problem (ii), ultrathin Al fingers in particular for POLO-BJ), it seems more difficult to achieve an Al p^+ -contact of comparable quality to PERC+^[23]. In order to address this aspect, the ISFH has established a close cooperation with a manufacturer of screen-printed Al pastes, and is making iterative progress.

Table 3 shows the current-voltage (I/V)-parameters of the best POLO-BJ and POLO-IBC solar cells so far. In particular, the open-circuit voltage V_{oc} of 716 mV for each is remarkable (a world record for p-type solar cells with aluminum p^+ -contacts, a world leader for industrial solar cells with screen-printed metalized poly-Si contacts). The full simulated efficiency potential according to Figure 34 has not yet been exhausted, especially as the fill factor was still limited by the challenges in experimentation (i-iii).



Abbildung/Figure 35: Zeitverlauf der in-house gemessenen POLO-BJ-Champion-Solarzellen-Wirkungsgrade, gezeigt für die in 2020 durchgeführten Entwicklungsiterationen. Auch wenn nicht jeder Verbesserungsansatz sofort Früchte trägt, ist die hohe Lernrate gut erkennbar.

Time evolution of the in-house measured POLO-BJ champion solar cell efficiencies shown for the development iterations performed in 2020. Although not every improvement approach immediately bears fruit, the high learning curve is readily discernible.

[23] Haase F., Min B., Hollemann C., Krügener J., Brendel R., Peibst R.: Fully screen-printed silicon solar cells with local Al- p^+ and n-type POLO interdigitated back contacts with a V_{oc} of 716 mV and an efficiency of 23 %. Progress in Photovoltaics: Research and Applications, DOI: 10.1002/pip.3399, (2021)

[23] Haase F., Min B., Hollemann C., Krügener J., Brendel R., Peibst R.: Fully screen-printed silicon solar cells with local Al- p^+ and n-type POLO interdigitated back contacts with a V_{oc} of 716 mV and an efficiency of 23 %. Progress in Photovoltaics: Research and Applications, DOI: 10.1002/pip.3399, (2021)

Allerdings ist die in Abbildung 35 beispielhaft für POLO-BJ dargestellte Lernrate vielversprechend. Sie zeigt, dass die identifizierten Herausforderungen zwar nicht trivial sind, aber durch die oben genannten Maßnahmen adressiert werden konnten und die Entwicklung der POLO-BJ- und POLO-IBC-Konzepte bisher nicht blockieren. Dies ist eines der wichtigsten konzeptionellen Ergebnisse dieser Solarzellenentwicklung. Die Ausoptimierung dieser Solarzellen bis hin zu dem simulierten Wirkungsgradpotenzial sollte idealerweise in einer Pilotproduktion erfolgen. Der dort im Vergleich zu einem Forschungsinstitut um mehr als eine Größenordnung kürzere Bearbeitungszyklus sowie die größere Erfahrung würden auch die Lernrate entsprechend skalieren.

Neben der weiteren Verbesserung der Solarzellenwirkungsgrade und der Integration spezieller Einzelprozessschritte der Industriepartner aus dem Anlagenbau sind die weiteren Entwicklungsziele des ISFH die Entwicklung einer verlustfreien Verschaltungstechnologie für POLO-BJ- und POLO-IBC in PV-Modulen sowie die vollständige Vermeidung von Silber durch eine rein Al-basierte Metallisierung.

However, the learning curve exemplified for POLO-BJ in Figure 35 is promising. It shows that the challenges identified, although not trivial, were able to be addressed by the above measures and have so far not blocked the development of POLO-BJ and POLO-IBC concepts. This is one of the key conceptual outcomes of this solar cell development. The further maturing of these solar cells up to the simulated efficiency potential should ideally take place in a pilot production. The shorter processing cycle there – by more than an order of magnitude in comparison to a research institute – as well as the greater experience would also scale the learning curve accordingly.

In addition to the further improvement of solar cell efficiencies and the integration of the industrial partners' special individual process steps from the production equipment manufacturing field, the further development goals of the ISFH are the development of a loss-free interconnection technology for POLO-BJ and POLO-IBC in PV modules as well as the complete avoidance of silver through purely Al-based metalization.

Robby Peibst, Felix Haase, Byungsul Min, Rolf Brendel

Ko-verdampfte Perowskit-Solarzellen

Perowskit-Solarzellen erleben derzeit eine rasante Entwicklung in der Forschungsgemeinschaft. Innerhalb nur einer Dekade sind die Wirkungsgrade von Machbarkeitsstudien auf ein Rekordniveau von 25,5% gestiegen. Damit macht diese Materialklasse im Labor den etablierten Silizium-Solarzellen Konkurrenz. Gemeinsam können eine Silizium-Solarzelle und eine darauf abgeschiedene Perowskit-Solarzelle in einer Tandem-Solarzelle sogar noch höhere Wirkungsgrade erreichen.

Die industrielle Umsetzung der Perowskit-Technologie erfordert skalierbare Abscheidungstechnologien. Im Labor werden Perowskit-Solarzellen zumeist mittels Rotationsbeschichtung hergestellt. Diese Technologie bietet viele Vorteile für die Entwicklungsarbeit, wie z. B. kurze Prozesszeiten und eine hohe Flexibilität in Bezug auf die Materialzusammensetzung. Allerdings ist die qualitativ hochwertige Beschichtung auf wenige Quadrat-zentimeter beschränkt und erfordert glatte Oberflächen. Am ISFH befassen wir uns deshalb mit der Verdampfungstechnik zur Herstellung von Perowskit-Solarzellen. Dieses Verfahren erlaubt prinzipiell die homogene Beschichtung großflächiger Substrate und eine konforme Beschichtung auch rauer Oberflächen.

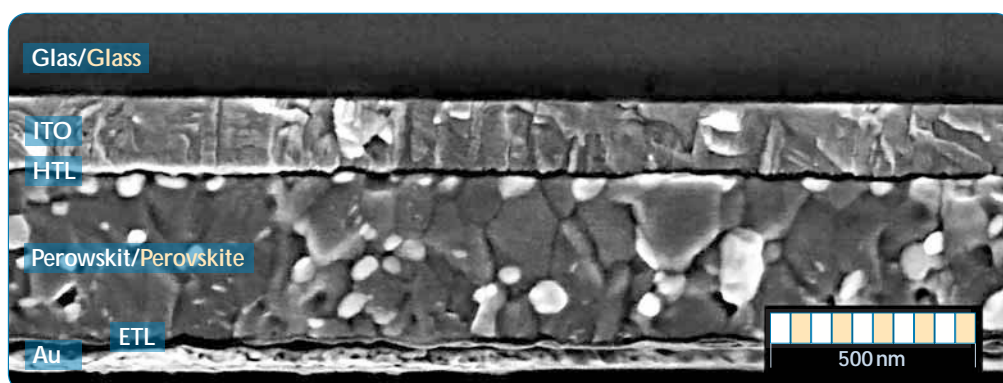
Bei der Ko-Verdampfung zur Herstellung des Perowskit-Absorbers werden die Ausgangsmaterialien, in unserem Fall Methylammoniumiodid (MAI) und Bleiiodid (PbI_2) in einer Vakuumkammer gleichzeitig thermisch verdampft und reagieren auf dem Substrat zum Perowskiten, hier Methylammoniumbleitriiodid ($MAPbI_3$). So ist eine thermische Nachbehandlung zur Umwandlung der Ausgangsmaterialien in den Perowskiten nicht zwingend notwendig. Mit Ausnahme der Metallisierung werden in derselben Vakuumkammer auch die anderen Schichten für die Herstellung von Perowskit-Solarzellen abgeschieden. Abbildung 36 zeigt eine Rasterelektronenmikroskop-Aufnahme eines solchen Schichtstapels: Auf einem mit Indiumzinnoxid (ITO) beschichteten Glas wird zunächst eine lochleitende Schicht (hole transport layer, HTL) abgeschieden. Anschließend wird der Perowskit-Absorber mittels Ko-Verdampfen hergestellt, gefolgt von der Abscheidung einer elektronenleitenden Schicht (electron transport layer, ETL).

Co-evaporated perovskite solar cells

Perovskite solar cells are undergoing a rapid development in the research community. Within only a decade efficiency levels have increased from feasibility studies to a record efficiency of 25.5%. In this way this type of material is competing – at least in the laboratory – with established silicon solar cells. Together, a silicon solar cell with a perovskite solar cell deposited on top to form a tandem solar cell can achieve even higher efficiencies.

Industrial implementation of the perovskite technology requires scalable deposition methods. In the laboratory perovskite solar cells are generally manufactured with spin-coating. This technology has advantages for development work, for example its short processing times and high flexibility with respect to the composition of the materials. However, the high quality coating is limited to a few square centimeters and requires smooth surfaces. At the ISFH we are therefore focusing on the evaporation technology for producing perovskite solar cells. This process, in principle, allows the homogeneous coating of large-sized substrates as well as an even coating of rough surfaces.

In the co-evaporation process for the manufacture of perovskite absorbers the base materials, in our case methyl ammonium iodide (MAI) and lead iodide (PbI_2), are thermally evaporated in a vacuum chamber at the same time. On the substrate, these materials react to form the perovskite, here methylammonium lead triiodide ($MAPbI_3$). Thus thermal treatment to convert the base materials into perovskite is not necessary. With the exception of the metalization, the other functional layers in the manufacture of perovskite solar cells are also deposited in the same vacuum chamber. Figure 36 shows a scanning electron microscope image of such a layer stack: a hole transport layer (HTL) is first deposited on a glass pane coated with indium tin oxide (ITO); then the perovskite absorber is produced by a co-evaporation process followed by the deposition of an electron transport layer (ETL).



Abbildung/Figure 36: Rasterelektronenmikroskop-Aufnahme eines vollständigen Schichtstapels einer Perowskit-Solarzelle.

Scanning electron microscopy of the full layer stack of a perovskite solar cell.

Wissenschaftliche Ergebnisse

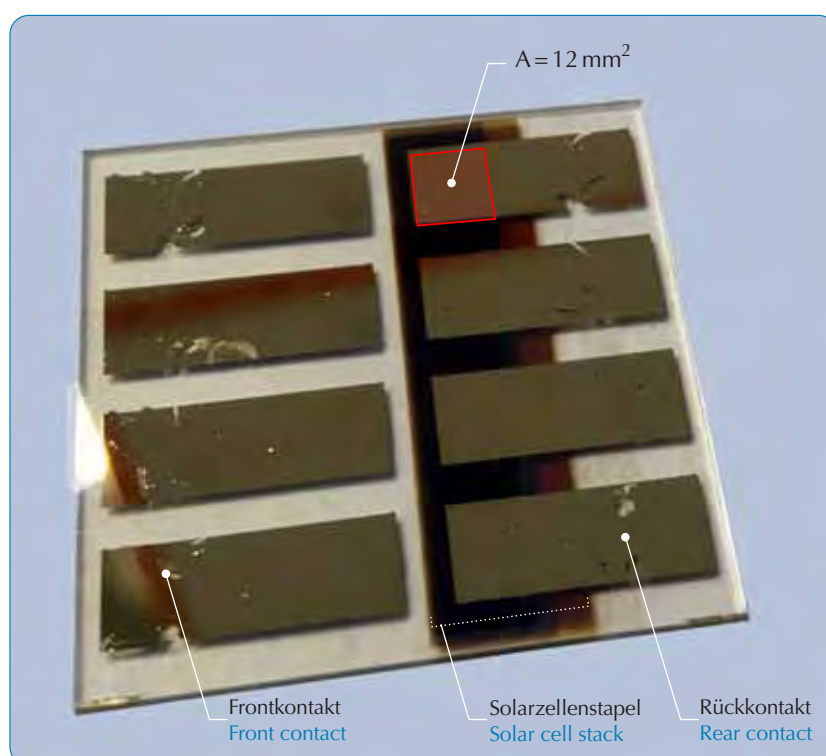
Die Metallisierung mit Gold (Au) erfolgt in einer anderen Beschichtungsanlage. Abbildung 37 zeigt eine Fotografie eines Glassubstrates mit vier individuellen Perowskit-Solarzellen. Der bräunliche Streifen ist dabei der Solarzellenstapel, die senkrecht dazu verlaufenden gelblichen Streifen sind die Goldkontakte. Der rot umrandete Bereich entspricht der aktiven Fläche einer Perowskit-Solarzelle.

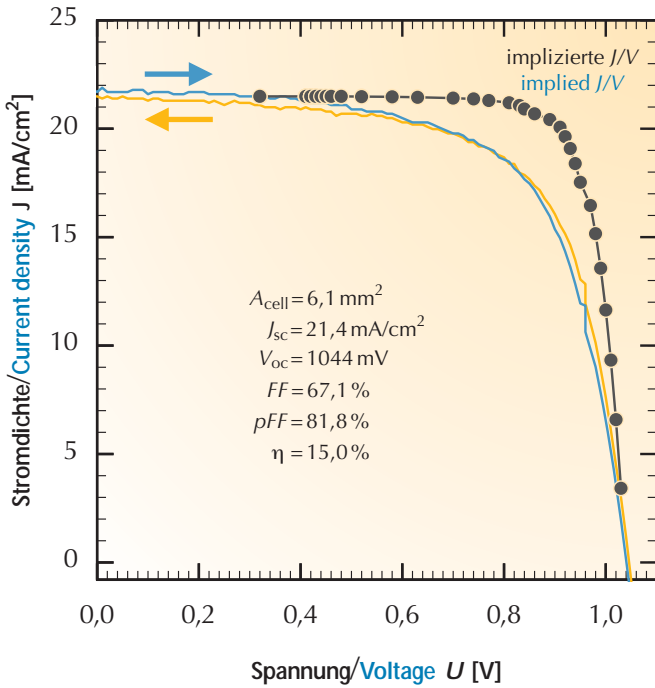
Abbildung 38 zeigt die Kennlinie der bislang besten ISFH-Perowskit-Solarzelle. Diese erreicht einen Wirkungsgrad von 15,0%, eine Kurzschlussstromdichte von $21,4 \text{ mA/cm}^2$ und eine Leerlaufspannung von 1044 mV. Der Füllfaktor ist mit 67,1% noch relativ niedrig. Die in schwarz dargestellte implizierte Kennlinie belegt ein Wirkungsgradpotenzial von 18,3%. Zur Einordnung dieses Ergebnisses zeigt Abbildung 39 Wirkungsgradergebnisse aus der Literatur für ähnliche Perowskit-Solarzellen im Verlauf der letzten Jahre. Die in schwarz dargestellten Ergebnisse beziehen sich auf Solarzellen, die wie das ISFH undotierte ETL und HTL verwendet haben. Die ISFH-Champion-solarzelle kann sich mit diesen Ergebnissen messen. In grün sind Ergebnisse dargestellt, die das ISFH zusammen mit akademischen Partnern unter Verwendung des ISFH-Absorbers erzielen konnte, in blau ist die Entwicklung der Solarzellenwirkungsgrade von vollständig am ISFH hergestellten Perowskit-Solarzellen abzulesen. In orange sind Literaturergebnisse dargestellt, die im Gegensatz zu den ISFH-Solarzellen dotierte HTL/ETL oder selbstorganisierte Monolagen (self assembled mono layer, SAM) spezieller organischer Moleküle verwenden. Solche zu implementieren ist ein naheliegender nächster Schritt auch für die ISFH-Perowskit-Solarzellen.

Metalization with gold (Au) is performed in another deposition tool. Figure 37 shows a photograph of a glass substrate with four individual perovskite solar cells. The brownish stripe is the solar cell stack; the yellowish stripes perpendicular to it are the gold contacts. The area outlined in red indicates the active solar cell area of one of the perovskite solar cells.

Figure 38 depicts the current-voltage characteristic of the best ISFH perovskite solar cell so far. It achieves an efficiency of 15.0%, a short-circuit current density of 21.4 mA/cm^2 and an open-circuit voltage of 1044 mV. The fill factor is still relatively low at 67.1%. The implied current-voltage characteristic, depicted in black, indicates an efficiency potential of 18.3%. In order to evaluate this result, Figure 39 shows the efficiencies of perovskite solar cells with a similar layer stack reported in the literature over the last few years. The results depicted in black refer to perovskite solar cells using undoped ETL/HTL, like ISFH. The ISFH champion solar cell can compete with these results. The results depicted in green are those which the ISFH managed to achieve in cooperation with its academic partners using ISFH's absorber, the results depicted in blue are derived from the cell efficiencies of perovskite solar cells manufactured completely at the ISFH. The results depicted in orange in contrast to ISFH solar cells, are those reported in the literature using doped HTL/ETL or self-assembled mono layers (SAM) of special organic molecules. The implementation of such layers is also an obvious next step for ISFH's perovskite solar cells.

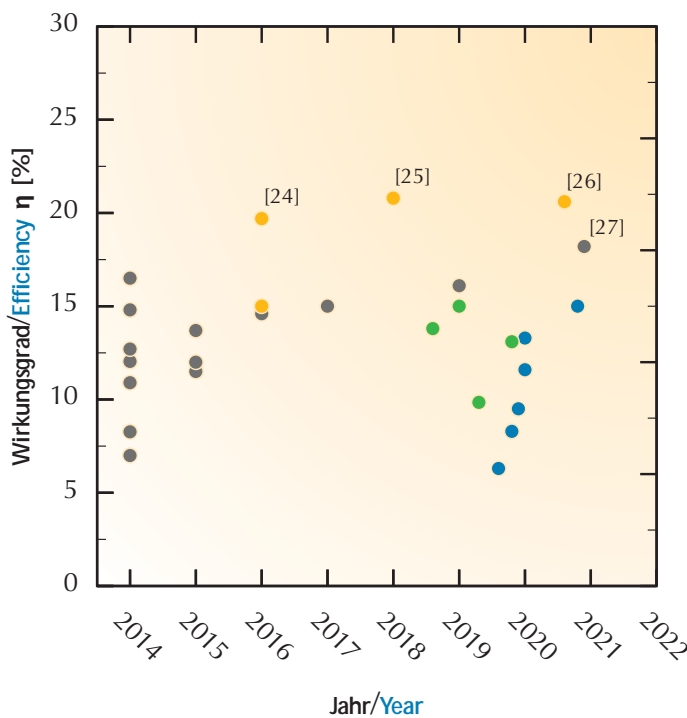
Abbildung/Figure 37: Ein Glassubstrat mit vier Perowskit-Solarzellen. Die aktive Fläche ist rot markiert.
A glass substrate with four perovskite solar cells. The active area is marked in red.





Abbildung/Figure 38: Strom-Spannungs-Kennlinie der Champion Perowskit-Solarzelle des ISFH in blau und orange. Die Pfeile zeigen die Richtung des Mess-Scans. In schwarz (•) ist die implizierte Strom-Spannungs-Kennlinie abgebildet.

Current-voltage characteristic of ISFH's champion perovskite solar cell in blue and orange. The arrows indicate the scanning direction during measurement. The implied current-voltage characteristic is depicted in black (•).



- undotiert/undoped (HTL/ETL)
- dotiert/doped (HTL/ETL/SAM)
- ISFH
- Partner & ISFH

Abbildung/Figure 39: Zeitliche Entwicklung der Wirkungsgrade von Perowskit-Solarzellen für Schichtstapel ohne dotierte HTL/ETL in schwarz und mit dotierten HTL/ETL oder SAMs in orange. Im Vergleich dazu sind ISFH-Ergebnisse mit akademischen Partnern in grün und reine ISFH-Ergebnisse in blau dargestellt.

Temporal development of efficiencies of perovskite solar cells for layer stacks without doped HTL/ETL depicted in black and with doped HTL/ETL or SAMs in orange. The ISFH's results in cooperation with academic partners are depicted in green, solar cells manufactured solely at the ISFH in blue.

[24] Momblona C. et al., Energy Environ. Sci. 9, 3456-3463 (2016)
 [25] Perez-Dei-Rey D. et al., J. Phys. Chem. Lett. 9, 1041-1046 (2018)
 [26] Roß M. et al., ACS Appl. Mater. Interfaces 12, 39261-39272 (2020)
 [27] Gii-Escrig L. et al., Sol. RRL solr.202000553 (2020). DOI:10.1002/solr.202000553

[24] Momblona C. et al., Energy Environ. Sci. 9, 3456-3463 (2016)
 [25] Perez-Dei-Rey D. et al., J. Phys. Chem. Lett. 9, 1041-1046 (2018)
 [26] Roß M. et al., ACS Appl. Mater. Interfaces 12, 39261-39272 (2020)
 [27] Gii-Escrig L. et al., Sol. RRL solr.202000553 (2020). DOI:10.1002/solr.202000553

Abteilung Solare Systeme

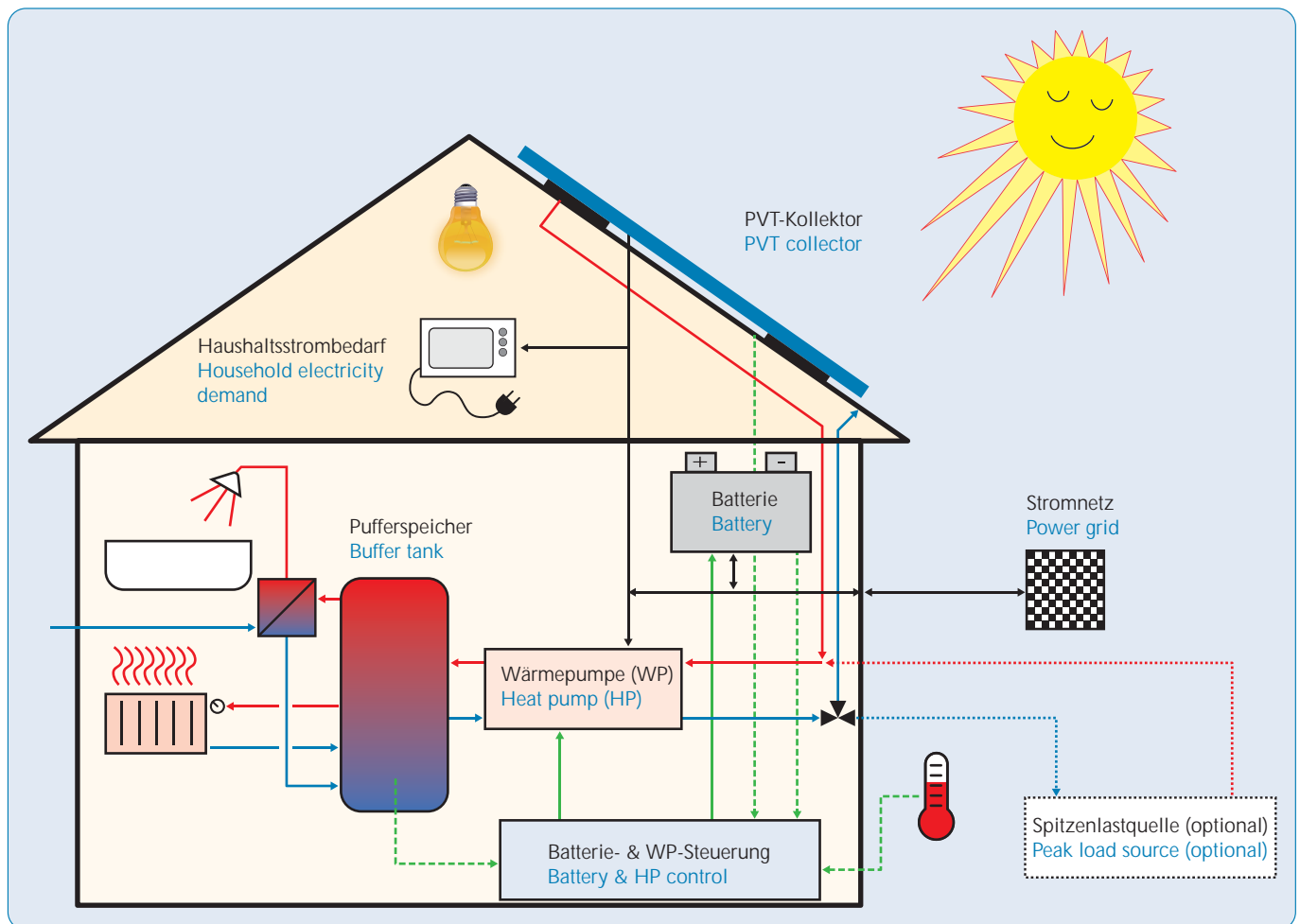
TwinPower – Integrierte Gesamtenergieversorgung von Wohngebäuden mit PV-thermischen Kollektoren als bisolare Wärmepumpenquelle

Zur Wärmeversorgung von Gebäuden werden vor allem im Neubau immer häufiger Photovoltaikanlagen gekoppelt mit Wärmepumpen (WP) eingesetzt. Die Quelle dieser Wärmepumpen ist zu 80% Luft, mit dem Nachteil, dass die Quellentemperaturen und damit auch die Effizienz der Wärmepumpe niedrig sind, wenn der Bedarf an Trinkwarmwasser und insbesondere Heizwärme am höchsten ist. Zudem verursachen sie Lärmemissionen, die in Wohngebieten störend sein können. Hocheffiziente,

Solar systems department

TwinPower – Integrated total energy supply of residential buildings with PV-thermal collectors as a bisolar heat pump source

Particularly in newly-built properties, photovoltaic systems coupled with heat pumps (HP) are used more and more often for the heating supply. The source of these heat pumps is 80% air with the disadvantage that the source temperature is low as is therefore the efficiency of the heat pump when the demand for domestic hot water and particularly room heating is at its highest. In addition, they cause noise emissions which can be annoying in residential areas. Highly efficient geothermal



Abbildung/Figure 40: Vereinfachtes Prinzipschaltbild der PVT-Wärmepumpenlösung für kleine Wohngebäude (ohne Pumpen, Wechselrichter, Regler, Zähler und anderen Elementen). Schwarze Linien: Elektrische Energie (ohne deren Eigenschaften); grüne Linien: Steuer- bzw. Messsignale (gestrichelt); rote und blaue Linien: Vor- und Rücklauf Wärmekreise (rot und blau gepunktete Linien: optional).

Simplified block diagram of the PVT heat pump solution for small residential buildings (without pumps, inverters, controllers, meters, amongst other elements). Black lines: electrical energy (without its characteristics); green lines: control or measurement signals (dashed lines), red and blue lines: flow and return thermal circuits (red and blue dotted lines: optional).

erdreichgekoppelte Systeme sind dagegen mit hohem Installationsaufwand und entsprechend hohen Kosten verbunden.

Im Forschungsprojekt *TwinPower* wurde darum untersucht, welche thermischen Eigenschaften ein PV-thermischer Kollektor (PVT) aufweisen muss, um einem Gebäudeenergiesystem mit einer Wärmepumpe als alleinige Wärmequelle (Abbildung 40) dienen zu können.

Anhand einer Vorstudie mit gemessenen und synthetischen Kollektorparametersätzen wurden die für eine hohe Systemjahresarbeitszahl – auch im Vergleich zu Luft-Wärmepumpen-Systemen – notwendigen Kollektorparameter identifiziert. Insbesondere hohe Wärmeverlustkoeffizienten b_1 (ca. $20 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$) und b_2 (ca. $5 \text{ J}/(\text{m}^3\text{K})$) charakterisieren den Kollektor als guten Umweltwärmeüberträger für den Einsatz als Wärmepumpenquelle.

Darauf basierend wurden im Projekt Kollektormuster gebaut, die die oben genannten Parameter aufweisen. Für die anschließenden Untersuchungen in den Hardware-in-the-Loop-Umgebungen des ISFH und die Bearbeitung der weiteren relevanten wissenschaftlichen Fragestellungen konnte – nach Umstrukturierungsmaßnahmen – im Laufe des Projekts mit der *Consolar Solare Energiesysteme GmbH* ein Kooperationspartner gewonnen werden, der einen prinzipgleichen Kollektor neu entwickelt auf den Markt gebracht hat (SOLINK).

Auf dem Testdach des ISFH wurde ein PVT-Feld bestehend aus 3×3 SOLINK-PVT-Kollektoren mit einer Gesamtfläche von 18 m^2 im Betrieb untersucht. Damit wurde ein SOLINK-PVT-Kollektor im Sonnensimulator mit künstlicher Bewindung parallel zur Kollektorebene verglichen. Die ermittelten Parameter zeigen eine deutliche

systems are, however, associated with high installation effort and correspondingly high costs.

In the *TwinPower* research project it was therefore studied what thermal characteristics a PV-thermal collector (PVT) has to exhibit in order to be able to act as the sole heat source for a building's energy system (Figure 40).

With the aid of a pilot study with measured and synthetic sets of collector parameters, the necessary collector parameters for a high annual performance were identified – also in comparison to air heat pump systems. In particular high heat loss coefficients b_1 (c. $20 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$) and b_2 (c. $5 \text{ J}/(\text{m}^3\text{K})$) characterize the collector as a good conductor of ambient heat for use as a heat pump source.

Based on this, collector types were built in the project which exhibit the above-mentioned parameters. For the subsequent studies in the ISFH hardware-in-the-loop environments and the processing of further relevant scientific issues, after restructuring measures in the course of the project we were able to acquire a cooperation partner, the *Consolar Solare Energiesysteme GmbH*, which has put a newly developed collector based on the same principles on the market (SOLINK).

On the ISFH test roof a PVT array comprising 3×3 SOLINK-PVT collectors with a total area of 18 m^2 was tested in operation. In the solar simulator it was compared with a SOLINK-PVT collector with artificial winding parallel to the collector plane. The parameters obtained show a distinct wind speed dependence and are, furthermore, lower for the PVT-array than the parameters conforming to *Solar Keymark* measured in the solar simulator. The heat

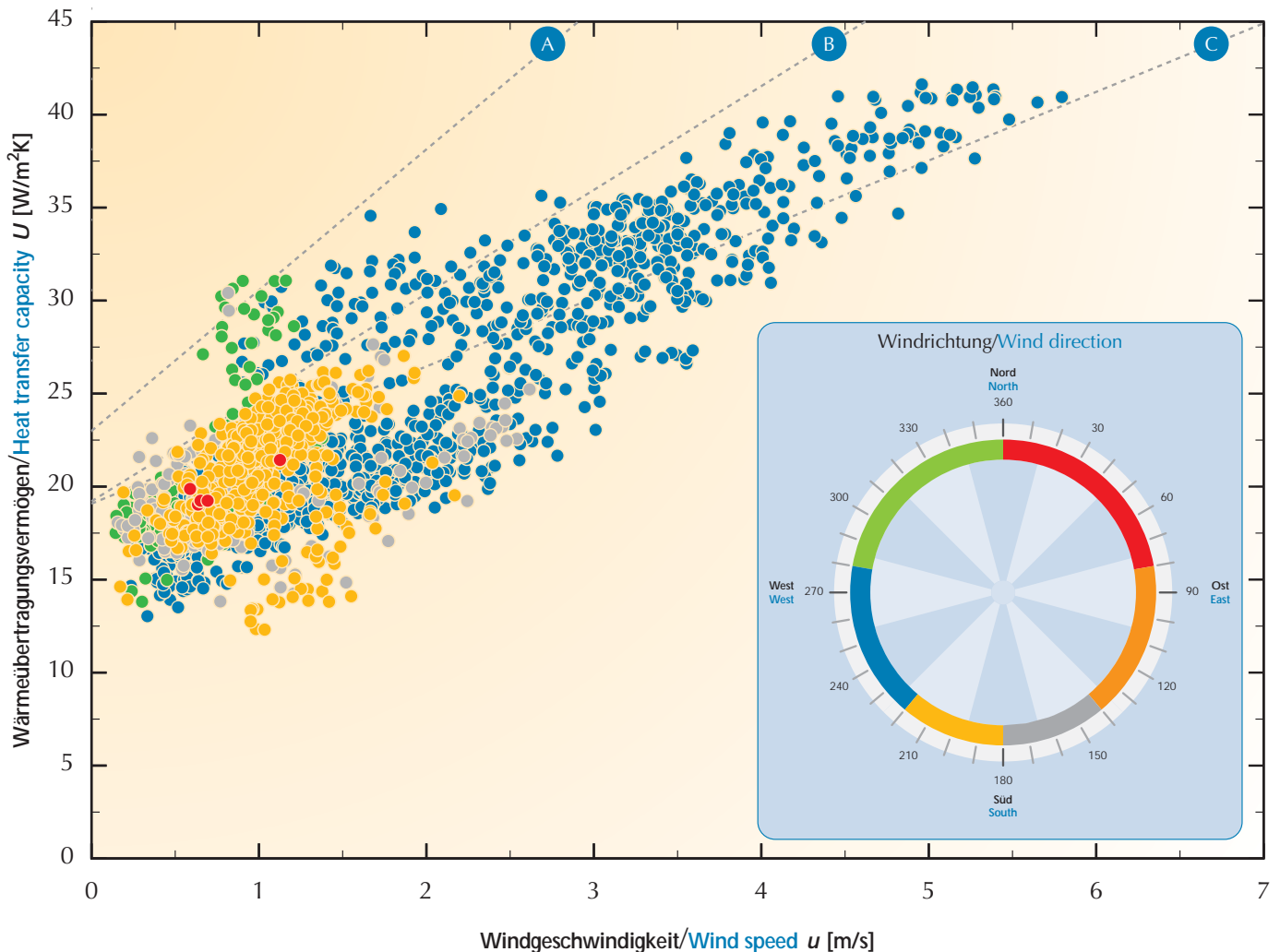
Typ/ Type	b_1 [W/m ² K]	b_2 [J/m ³ K]	b_u [s/m]	b_v [W/m ² K] bei/at $u = 1,3 \text{ m/s}$
PVT-Einzelkollektor ISFH, Simulator 45°, vertikal PVT-Single collector ISFH, Simulator 45°, vertical	19,21	5,58	0,109	26,46 (-19%)
PVT-Feld ISFH, Dachparallel 38° horizontal PVT-Array ISFH, roof parallel 38° horizontal	19,08	3,69	0,126	23,09 (-30%)
PVT-Einzelkollektor nach Solar-Keymark-Test PVT-Single collector in accordance with Solar-Keymark-Test	2,99	7,57	0,144	32,83 (Ref.)

Tabelle/Table 4: PVT-Kollektorparameter zur Validierung, nach stationärem Prüfverfahren, und Parameter nach *Solar Keymark* umgerechnet auf Parameter nach *DIN EN ISO 9806:2014-06 Solarenergie – Thermische Sonnenkollektoren*, PV-Teil mit offener Klemme, nicht in Betrieb.

PVT collector parameters for validation after stationary testing process and parameters in accordance with *Solar Keymark* converted to parameters in accordance with *DIN EN ISO 9806:2014-06 Solarenergie – Thermische Sonnenkollektoren*, PV part with open terminal, not in use.

Windgeschwindigkeitsabhängigkeit und sind des Weiteren für das PVT-Feld niedriger als *Solar-Keymark*-konforme, gemessene Parameter im Sonnensimulator. Das Wärmeübertragungsvermögen U des PVT-Feldes (Tabelle 4) ist gegenüber dem PVT-Einzelkollektor nach Solar-Keymark-Test ca. 30% geringer (Abbildung 41).

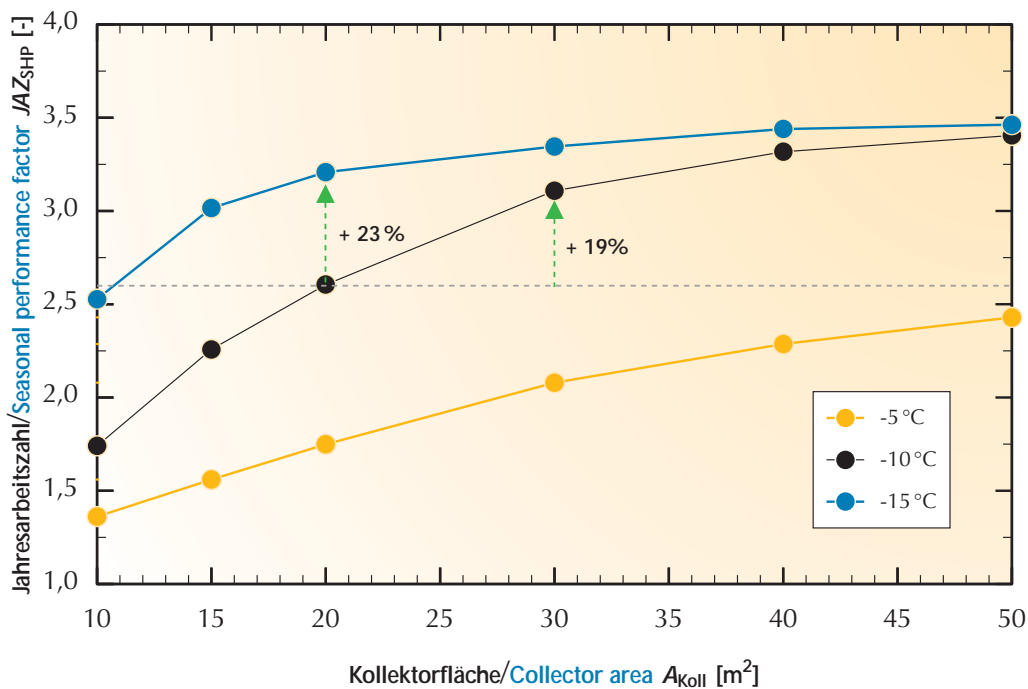
transfer capacity U of the PVT-array (Table 4) is c. 30% lower compared to the PVT single collector according to solar keymark test (Figure 41).



- Einzelkollektor/Single collector
- A** Freiaufstellung 45°/Free standing 45°
Solar Keymark (IGTE 2018)
- Einzelkollektor ISFH/Single collector ISFH
- B** Simulator 45°/Simulator 45°
vertikal (quer zur Windrichtung)/vertical (across the wind direction)
- PVT-Feld ISFH/PVT-array ISFH
- C** Dachparallel 38°/Roof parallel 38°
horizontal (parallel zur Windrichtung)/horizontal (parallel to wind direction)

Abbildung/Figure 41: Wärmeübertragungsvermögen U des am ISFH-Testdach untersuchten PVT-Kollektorfeldes in Abhängigkeit von Windgeschwindigkeit und Windrichtung (Fünfminutenmittelwerte).

Heat transfer capacity U of the PVT collector array on the ISFH roof studied dependent on wind speed and wind direction (five-minute averages).



Abbildung/Figure 42: JAZ_{SHP} für simulierte Systeme als Funktion der Kollektorfläche mit dem Kollektorparametersatz PVT-Feld_{horizontal, Testdach, ISFH} für verschiedene Bivalenztemperaturen der Wärmepumpe. Seasonal performance factor for simulated systems as a function of the collector area with the collector parameter PVT-array_{horizontal, test roof, ISFH} for different bivalence temperatures of the heat pump.

Für die detaillierte Modellierung der WP-PVT-Systeme mit dem *Transient System Simulation Tool* (TRNSYS) wurden im Projekt ermittelte PVT-Kollektorparameter für die Verwendung im TRNSYS Type 203 zur Abbildung von PVT-Kollektoren mit ausreichender Genauigkeit für typische Betriebsbedingungen validiert. Diese stehen damit für weitere TRNSYS-Simulationen von WP-PVT-Systemen zur Verfügung. Noch in der Bearbeitung bleibt dabei die Abbildung von Kondensation und Eis vor allem in Kombination mit dem speziellen Aufbau des hier untersuchten PVT-Kollektors.

Ebenso wurde eine modulierende Sole-Wärmepumpe im Hardware-in-the-Loop-Teststand des ISFH vermessen und die ermittelten Parameter wurden für TRNSYS-Simulationen mit dem Wärmepumpenmodell Type 401 validiert. In Simulationsstudien mit den oben genannten validierten Parametersätzen konnten der signifikante Einfluss der verwendeten Kollektoren und vor allem des Bivalenzpunktes der Wärmepumpe auf die Systemjahresarbeitszahl JAZ_{SHP} herausgestellt werden. Der Bilanzraum „SHP“ bilanziert die Wärmemengen, die an die Raumwärmeversorgung und an die Trinkwarmwasserversorgung abgeben werden und die dafür aufgewendete elektrische Energie für die Wärmepumpe, die wärmepumpeninternen Umwälzpumpen und den elektrischen Nachheizenergieerzeuger.

For the detailed modeling of the HP-PVT systems in the *Transient System Simulation Tool* (TRNSYS), PVT collector parameters derived in the project were validated for use in TRNSYS Type 203 for the depiction of PVT collectors with sufficient precision for typical operational conditions. These are therefore available for further TRNSYS simulations of HP-PVT systems. Still under investigation is the imaging of condensation and ice especially in combination with the special design of the PVT collector investigated here.

Similarly, a modulating brine-water heat pump was measured on the ISFH hardware-in-the-loop test stand and the parameters derived were validated for TRNSYS simulations with the Type 401 heat pump model. In simulation studies with the above-mentioned validated parameter sets the significant influence of the collectors used and above all of the bivalence point of the heat pump on the seasonal performance factor SPF (JAZ_{SHP}) could be underlined. The balance room “SHP” balances the heat quantities that are delivered to the space heating and to the domestic hot water supply and the electrical energy used for the heat pump, its internal circulation pumps and the heating rod.

Ein um 5 K niedrigerer Bivalenzpunkt (-15 °C statt -10 °C) kann beispielsweise bei 20 m² Kollektorfläche die Systemjahresarbeitszahl um etwa 23 % erhöhen. Um bei gleichbleibendem Bivalenzpunkt von -10 °C die Systemjahresarbeitszahl um etwa 19 % auf ein ähnliches Niveau erhöhen zu können, muss die Kollektorfläche um 10 m² bzw. 50 % vergrößert werden. Bei den hier untersuchten wind- und infrarotstrahlungssensitiven Kollektoren (WISC) macht der Unterschied zwischen niedrigen oder hohen Wärmeverlustkoeffizienten einen Unterschied von ca. 10 % bei der Systemjahresarbeitszahl aus (Abbildung 42). Eine Arbeitszahl von 3, die Luft-Wärmepumpen-Systeme typischerweise erreichen, wird beim optimierten System bereits bei einer PVT-Fläche von 15 m² überschritten.

Der Vergleich des Stromertrages der PV-Module mit dem der PVT-Kollektoren zeigt sowohl in der durchgeführten Simulationsstudie als auch bei Messungen auf dem Testdach des ISFH einen Mehrertrag von rund 4 % beim PVT-Kollektorfeld. Das Ergebnis bestätigt die eigenen Erfahrungen mit PV-Modulen aus kristallinem Silizium aus bisherigen Forschungsprojekten.

WP-PVT-Systeme bieten damit insbesondere dort die Möglichkeit ein Gebäude regenerativ mit Strom und Wärme zu versorgen, wo aufgrund von Flächenmangel keine, oder nur kleine erdgekoppelte Wärmepumpenquellen erschlossen werden können, oder bei dichter Bebauung, wie bei Mehrfamilienhäusern in Innenstädten, wo eine Luftwärmepumpe aufgrund ihrer Lärmemissionen nicht zum Einsatz kommen kann.

Sollen PVT-Kollektoren mit Erdwärmesonden oder Erdwärmekollektoren gekoppelt werden, können bereits kleine PVT-Kollektorflächen zur Regeneration und Flächenreduktion beitragen. Dadurch lassen sich Investitionskosten dieser erdgekoppelten Quellen reduzieren und insbesondere auf kleinen Grundstücken oder bei schlecht leitendem Untergrund Erdkollektorsysteme mit geringem Flächenbedarf aufbauen.

A 5 K lower bivalence point (-15 °C instead of -10 °C) can, for example, increase the seasonal performance factor by about 23 % with a 20 m² collector area. In order to be able to increase the system the seasonal performance factor by about 19 % to a similar level at a constant bivalence point of -10 °C, the collector area must be increased by 10 m² or 50 %. With the wind- and infrared-radiation-sensitive collectors (WISC) studied here, the difference between low or high heat-loss coefficients amounts to a difference of c. 10 % to the annual performance (Figure 42). A performance factor of 3, which air heat pump systems typically achieve, is exceeded in the optimized system already with a PVT area of 15 m².

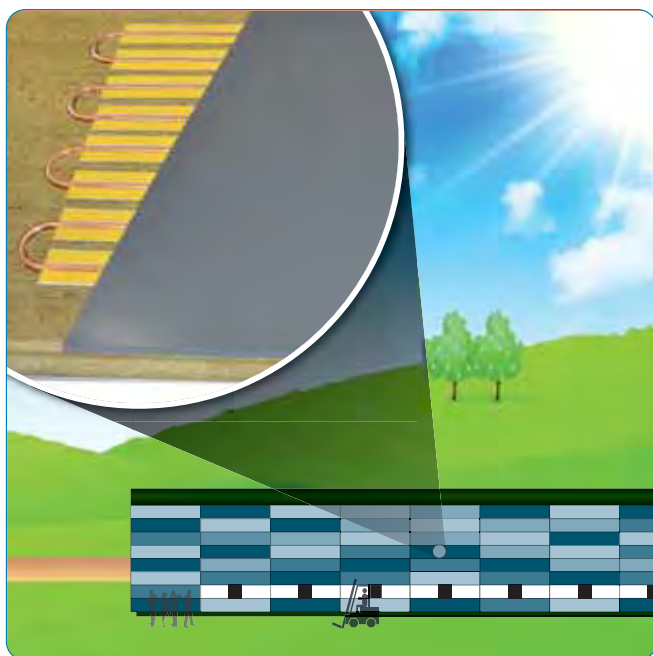
The comparison of the electricity yield of the PV modules with that of the PVT collectors both in the simulation study carried out and measurements on the ISFH test roof show an increase in yield of about 4 % with the PVT collector array. This result confirms our own experience with PV modules made of crystalline silicon from previous research projects.

HP PVT-systems therefore offer the possibility of supplying a building with renewable electricity and heating in particular where only a small, if any, geothermal heat pump source can be installed due to shortage of space or where, due to building density, such as town center apartment buildings, an air heat pump cannot be installed because of its noise emissions.

Where PVT collectors are connected with geothermal probes or geothermal collectors, even small PVT collector areas can contribute to regeneration and area reduction. In this way the investment costs for these geothermal sources can be reduced and ground collector systems requiring little space can be installed, particularly on small sites or with poorly conducting subsoil.

Solare Stahl-Sandwichpaneele für die Wärmeversorgung von Industriegebäuden

Die Integration von solaren Anwendungen in Gebäude kann deren architektonische und ästhetische Qualität verbessern und gleichzeitig Kosten senken. Im Bereich des Gewerbe- und Industriebaus stellen Stahl-Sandwichelemente etablierte Produkte zur wirtschaftlichen Erstellung konstruktiv und bauphysikalisch funktionaler Gebäudehüllen dar. Die solare Aktivierung dieser Elemente kann durch die Integration von geeigneten Wärmeübertragern zwischen Fassadenverkleidung und Dämmkern erfolgen (Abbildung 43). Die Leistungsfähigkeit von Demonstratoren wurde durch Indoor- und Outdoor-Messungen bestimmt.



Für großformatige Kollektoren (2 m^2) mit grauer Beschichtung (Solare Absorption: 88 %) und einer aktivierten Fläche von 70 % wurden Konversionsfaktoren η_0 von bis zu 56 % gemessen. Durch Berechnungen, die auf einem validierten FEM-Modell^[28] basieren, ließen sich Effizienz-Werte von bis zu 75 % abschätzen. Ziel der anschließenden Simulationsstudien war die Untersuchung des Verhaltens der entwickelten Sandwichelemente in erdgekoppelten Wärmepumpen-Systemen. Die solaraktivierten Paneele entsprechen in ihrem Aufbau ungedeckten thermischen Kollektoren und liefern somit überwiegend Wärme auf Umgebungstemperaturniveau ($< 40^\circ\text{C}$). Der Fokus der Simulationen liegt hier auf deren Kombination mit Sole-Wasser-Wärmepumpen und auf ihrem Potenzial zur Regeneration des Erdreiches (Abbildung 44).

[28] FEM = Finite Elemente Methode; ein numerisches Rechenverfahren

Solar steel sandwich panels as heat suppliers for industrial buildings

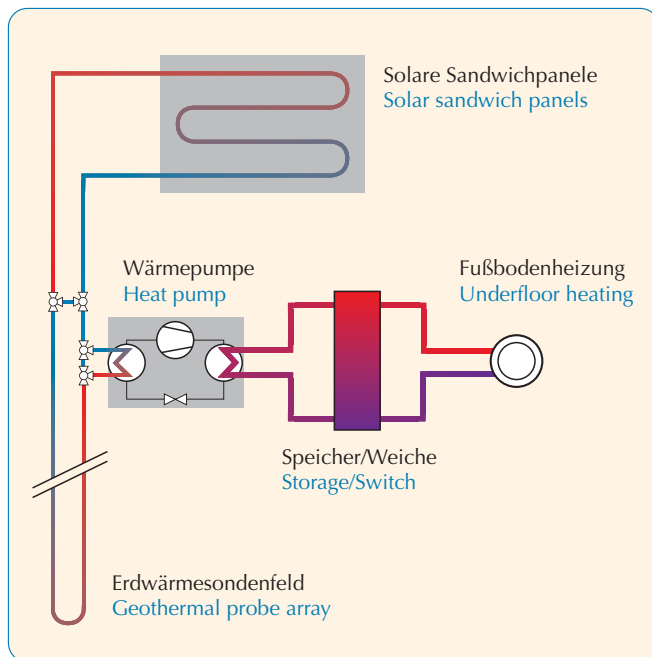
The integration of solar installations into buildings can improve their architectural and esthetic quality and reduce their costs. In the sector of commercial and industrial buildings, steel sandwich panels represent well-established components for the cost-effective creation of constructionally and physically functional building envelopes. The solar activation of these panels can be achieved by integrating suitable heat exchangers between the façade cladding and the insulation core (see Figure 43). The performance of demonstration samples was determined by means of indoor and outdoor measurements.

Abbildung/Figure 43: Detaillierte exemplarische Darstellung der gebäude-integrierten solaren Sandwichpaneele mit einem entwickelten Demonstrator.

Detailed exemplary representation of building-integrated solar sandwich panels with a demonstration sample.

For larger-sized collectors (2 m^2) with a grey coating (solar absorption: 88 %) and an activated surface of 70 %, zero-loss efficiencies η_0 of up to 56 % were measured. It was possible to estimate efficiencies of up to 75 % with calculations based on a validated FEM model^[28]. The aim of the subsequent simulation studies was the investigation of the behavior of the sandwich panels which had been developed in ground-coupled heat pump systems. The solar-activated panels correspond to uncovered thermal collectors in their design and thus mainly supply heat at an ambient temperature level ($< 40^\circ\text{C}$). The focus of the simulations was on their combination with brine-water heat pumps and on their potential to regenerate the soil (Figure 44).

[28] FEM – Finite element method; a numerical calculation method



Abbildung/Figure 44: Skizze des untersuchten Wärmeversorgungssystems mit Kollektorfeld, Wärmepumpe, Erdwärmesondenfeld, Nachheizung, Pufferspeicher und Fußbodenheizung.

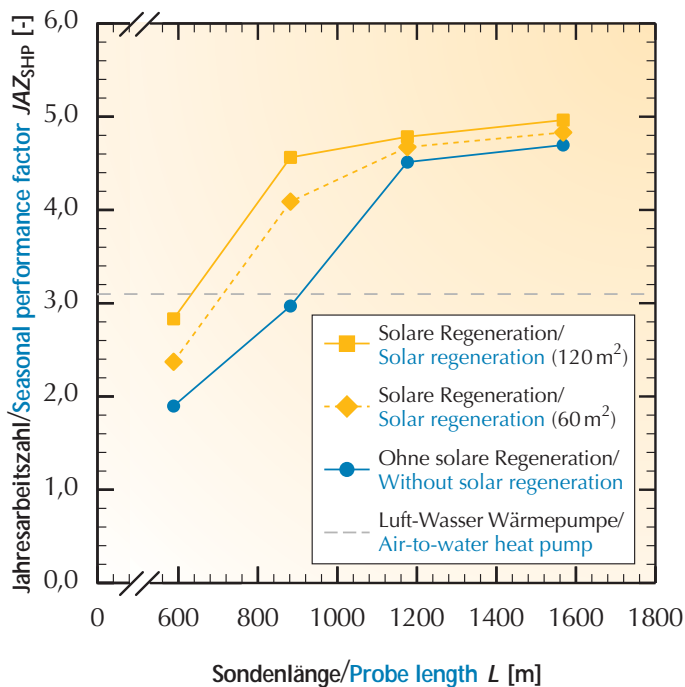
Diagram of the heat supply system studied with a collector field, heat pump, geothermal probe array, auxiliary unit, buffer storage and under-floor heating.

In den Simulationsstudien mit dem *Transient System Simulation Tool* (TRNSYS) stellt die Wärmepumpe Heizwärme für eine Musterhalle mit einer Fläche von 900 m^2 bereit, welche durch eine Fußbodenheizung auf 19 °C beheizt wird. Die Bereitstellung von Trinkwarmwasser wird durch die sehr unterschiedlichen Nutzungsarten im Gewerbe- und Industriebau nicht berücksichtigt. Die Quelle der Wärmepumpe besteht aus einem Feld aus Erdwärmesonden (EWS) mit einer Länge von je 100 m und einem Abstand von 10 m . Im Fall der solaren Regeneration wird dieses System durch ein Feld von solaraktivierten Sandwichelementen aus Stahl an der Südfassade der Musterhalle ergänzt. Die minimale Eintrittstemperatur in die Sonden ist auf -3 °C (Bivalenzpunkt) begrenzt, um das Füllmaterial vor Frostzuständen zu schützen. So wird ein nachhaltiger Betrieb des Sondenfeldes sichergestellt. Sinkt die Eintrittstemperatur unter diesen Punkt, übernimmt ein Heizstab die Wärmebereitstellung. Der Simulationszeitraum ist auf 25 Jahre festgelegt, um eine langfristige Abkühlung des Erdreichs untersuchen zu können.

In den anschließenden Parameterstudien werden die Anzahl der Sonden sowie die Fläche der solaraktivierten Fassade variiert. Entscheidend für die energetische Bewertung am Ende des Simulationszeitraums ist die Systemjahresarbeitszahl JAZ_{SHP} (seasonal performance factor, SPF). Der Bilanzraum „SHP“ bilanziert die Wärmemengen, die an die Raumwärmeversorgung und an die Trinkwarmwasserversorgung abgegeben werden und die dafür aufgewendete elektrische Energie für die Wärmepumpe, die wärmepumpeninternen Umwälzpumpen und den elektrischen Nachheizstab. Mit diesem Bewertungskriterium lassen sich bei identischen Lastprofilen und Temperaturen verschiedene Versorgungssysteme sehr gut miteinander vergleichen. Die Ergebnisse zeigen, dass die solare Regeneration die Effizienz von gut ausgelegten Systemen leicht verbessern kann (+5%). Ein wesentlich

In simulation studies with the *Transient System Simulation Tool* (TRNSYS), the heat pump supplied the heating energy for a test industrial building with a floor area of 900 m^2 , which was heated to 19 °C by underfloor heating. The provision of domestic hot water was not taken into consideration due to the very different types of use in commercial and industrial buildings. The source of the heat pump consisted of an array of borehole heat exchangers (BHE), each 100 m long and spaced 10 m apart. In the case of solar regeneration, this system was supplemented by solar-activated steel sandwich panels, which were integrated into the southern façade of the test building. In order to ensure continuous operation of the geothermal source, the minimum inlet temperature to the BHE was limited to -3 °C (bivalence point) to protect the filling material from frost conditions. If the inlet temperature drops below this point, a heating rod will take over the heat supply. The simulation period was set at 25 years in order to be able to investigate any long-term cooling of the ground.

During the subsequent parameter studies the number of boreholes as well as the area of the solar-activated façade was varied. The key factor for the energetic evaluation at the end of the simulation period is the annual *system performance factor* SPF (JAZ_{SHP}). The balance room “SHP” balances the heat quantities that are delivered to the space heating and to the domestic hot water supply and the electrical energy used for the heat pump, its internal circulation pumps and the heating rod. This evaluation criterion enables a very good comparison of different supply systems with each other at identical load profiles and temperatures. The results show that solar regeneration can slightly improve the efficiency of well-designed systems (+5%). A substantially more significant effect is achieved with undersized BHE due to the possibility of reducing the total length of the probes without affecting system efficiency. By using 120 m^2 solar-activated sand-



Abbildung/Figure 45: Systemjahresarbeitszahl nach einer Betriebsdauer von 25 Jahren.

Seasonal performance factor after an operating time of 25 years.

stärkerer Effekt wird bei unterdimensionierten Sondensfeldern erzielt, da die Gesamtlänge der Bohrungen reduziert werden kann, ohne den Systemwirkungsgrad zu beeinflussen. Durch den Einsatz von 120m² solar-aktivierter Sandwichelemente kann die Sondenslänge demnach bei gleicher energetischer Güte um 25 bis 30% verringert werden (Abbildung 45).

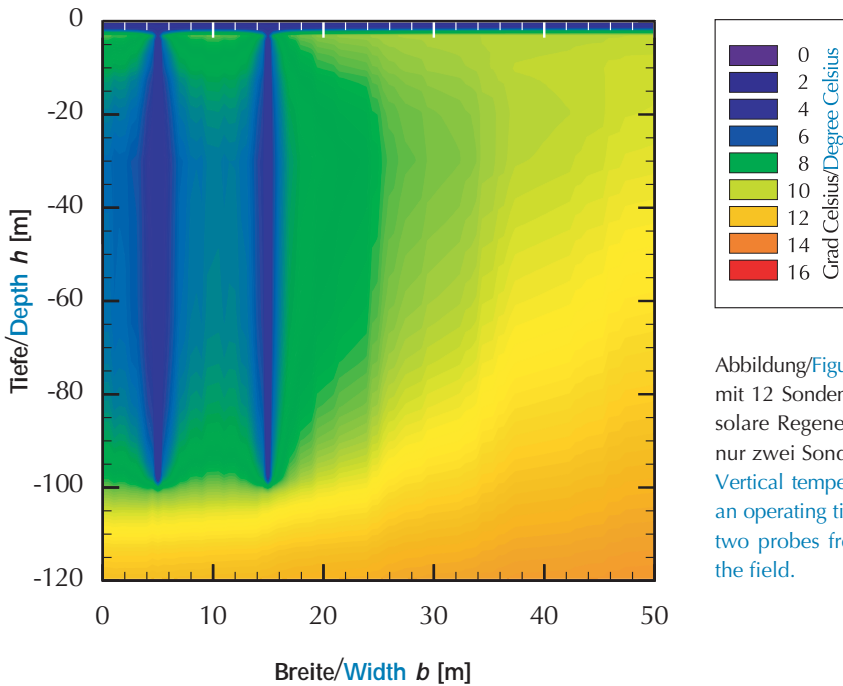
Der nachhaltige Betrieb von Erdwärmesondensfeldern kann durch solare Regeneration sichergestellt werden. Die Auskühlung des Erdreiches wird durch die Regeneration verlangsamt und schon nach wenigen Jahren wird ein stationäres Niveau erreicht. Dagegen kühlt das Erdreich ohne Regeneration auch nach 25 Jahren weiterhin aus (vgl. Abbildungen 46 und 47). Gleichzeitig kann die Robustheit des Systems gesteigert werden. Aus weiteren Parametervariationen zur Sondensfeldgröße geht hervor, dass der Abstand der Sonden durch die solare Regeneration halbiert werden kann. Daraus folgt, dass sich der Flächenbedarf um ca. 80% verringert. Zum Vergleich werden Systemsimulationen mit einer Luft-Wasser-Wärmepumpe als Wärmeerzeuger durchgeführt. Die Ergebnisse bestätigen die Erwartungen und zeigen, dass dieses einfachere System etwa 30% weniger effizient ist und damit auch etwa 30% mehr Strom verbraucht als das Sole-Wasser-System, wobei die saisonalen Unterschiede sogar deutlich höher liegen.

Abschätzungen zu den Wärmegestehungskosten (*levelized cost of heat*, LCoH) kommen für die untersuchten Systeme auf vergleichbare Werte. Die Einsparungen bei der Bohrlänge des regenerierten Systems wiegen die zusätzlichen Investitionen in die solare Aktivierung der Fassade auf, während die geringere Investitionssumme des Luft-Wasser-Wärmepumpensystems durch die höheren Betriebskosten kompensiert wird.

wich panels, the length of the boreholes can thus be reduced by 25 to 30% at the same energy efficiency (Figure 45).

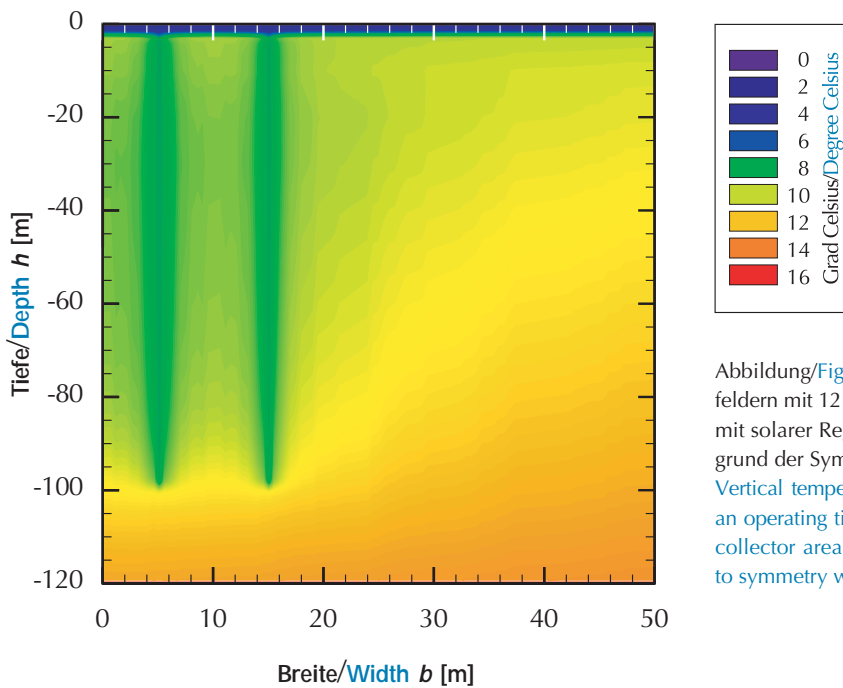
The sustainable operation of geothermal probe arrays can be ensured by solar regeneration. The cooling of the ground is slowed down by regeneration and a stable situation is achieved after just a few years. In contrast, without regeneration, even after 25 years the soil continues to cool down (c.f. Figures 46 and 47). At the same time, the robustness of the system can be increased. Further parameter variations of the size of the probe array show that the spacing of the probes can be halved by solar regeneration. As a result, the area required can be reduced by about c. 80%. In comparison, system simulations were carried out with an air-to-water heat pump as the heat source. The results confirm the expectations and show that this simpler and cost-effective system is approx. 30% less efficient and thus consumes approx. 30% more electricity than the brine-water system, with seasonal variations being significantly higher.

Estimations of the *levelized cost of heat* (LCoH) for the considered systems yield comparable values. The saving of the drilling meters of the regenerated system equals the additional investment for the solar activation of the façade, whereas the lower investment for the air-to-water system is compensated by its higher operational cost.



Abbildung/Figure 46: Vertikale Temperaturquerschnitte von Sondenfeldern mit 12 Sonden nach einer Betriebszeit von 25 Jahren (Jahresende) ohne solare Regeneration. Abgebildet sind aufgrund der Symmetrie im Feld nur zwei Sonden der mittleren Reihe.

Vertical temperature cross-sections of probe arrays with 12 probes after an operating time of 25 years (year end) without solar regeneration. Only two probes from the middle row are shown due to symmetry within the field.



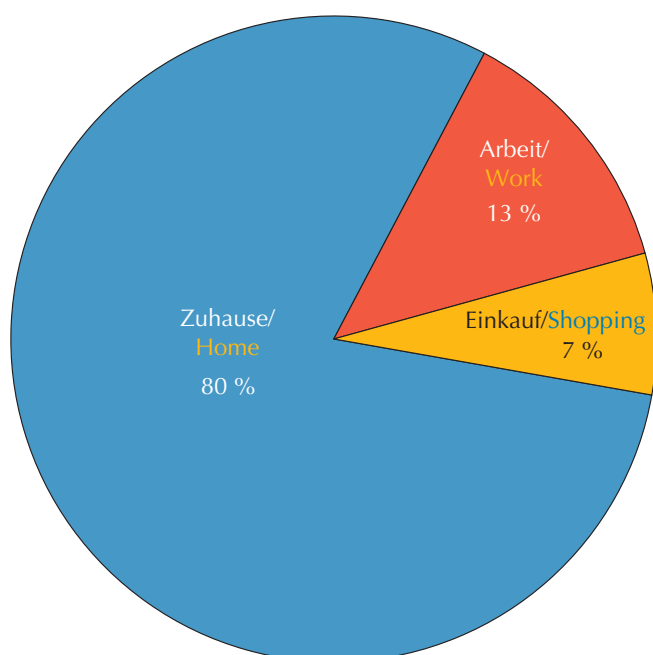
Abbildung/Figure 47: Vertikale Temperaturquerschnitte von Sondenfeldern mit 12 Sonden nach einer Betriebszeit von 25 Jahren (Jahresende) mit solarer Regeneration (120m² Kollektorfläche). Abgebildet sind aufgrund der Symmetrie im Feld nur zwei Sonden der mittleren Reihe.

Vertical temperature cross-sections of probe arrays with 12 probes after an operating time of 25 years (year end) with solar regeneration (120m² collector area). Only two probes from the middle row are shown due to symmetry within the field.

Photovoltaik-betriebene Mobilitäts-Hubs in der Metropolregion Hannover

Elektro-Mobilität nimmt einen zunehmenden Anteil im Verkehrssektor ein. Damit hierdurch auch eine nachhaltige Reduktion der CO₂-Emissionen erreicht werden kann, ist es notwendig, dass der Strom zum Laden von Elektro-Fahrzeugen aus erneuerbaren Energien stammt. Die Metropolregion Hannover hat zur nachhaltigen Transformation der Mobilität und deren Verknüpfung mit der Energiewende die sogenannten *Rescueinseln* konzipiert. Die Rettungsinseln sind Mobilitäts-Knotenpunkte (Hubs) zum Verleih und Laden von E-Fahrzeugen und sollen einen zentralen Punkt der E-Mobilität in Siedlungsgebieten oder lokalen Einrichtungen wie Einkauf- oder Schulzentren bilden. Das Institut für Solarenergieforschung Hameln hat im Projekt *in.spe-Innovations zur Verbindung von Verkehrs- und Energiewende in der Metropolregion Hannover Braunschweig Göttingen Wolfsburg* untersucht, wie der Ladestrom für die Rettungsinseln aus PV-Anlagen gedeckt werden kann.

Mittels Modellierung des Mobilitätsverhaltens von 70 typischen deutschen Haushalten mit insgesamt 100 Autos wird bestimmt, wo sich die Autos befinden, welche Strecken sie zu verschiedenen Zwecken zurücklegen und wie hoch der daraus resultierende Ladebedarf der Fahrzeuge ist. Die Simulationen geben dann Aufschluss darüber, an welchen Standorten der höchste Ladebedarf besteht und wie sich der Ladebedarf im Tagesverlauf ändert. Als potenzielle Standorte für eine Rettungsinsel werden die Standorte *Zuhause* (Siedlungsbereich), *Arbeit* und *Einkauf* näher untersucht. Die Simulationen zeigen, dass sich Autos im Durchschnitt am häufigsten zu Hause befinden und demnach 80% der Energie am Standort *Zuhause* laden, 7% beim *Einkauf* und 13% am Standort *Arbeit* (Abbildung 48).



Photovoltaic-powered mobility hubs in the Metropolitan Region Hanover

Electromobility is taking an increasing share of the transport sector. In order hereby to achieve a sustainable reduction in CO₂ emissions it is necessary for the electricity for charging e-vehicles to come from renewable energy. The Hanover Metropolitan Region has devised the so-called *rescue islands* concept for the sustainable transformation of mobility in connection with the energy transition. The rescue islands are mobility hubs for renting and charging e-vehicles and are intended to provide a central point for e-mobility in residential areas or local facilities such as shopping or school centers. In the *in.spe-Innovations for Linking Transport and Energy Transition in the Metropolitan Region Hannover Brunswick Göttingen Wolfsburg* project, the Institute for Solar Energy Research Hameln has studied how the charging current for the rescue islands can be covered by PV systems.

By modeling the mobility behavior of 70 typical German households with a total of 100 cars, it was ascertained, where the cars are located, what journeys they make for various purposes and how high the resulting charging requirement of the cars is. The simulations then indicate which locations have the highest charging demand and how charging demand changes during the course of the day. *Home* (settlement area), *work* and *shopping locations* were studied in more detail as potential locations for a rescue island. The simulations show that, on average, cars are most often at *home* and thus 80% of the energy is charged at the *home* location, 7% at the *shopping* location and 13% at the *work* location (Figure 48).

Abbildung/Figure 48: Aufteilung des Ladeenergiebedarfs an verschiedenen Standorten des Autos.

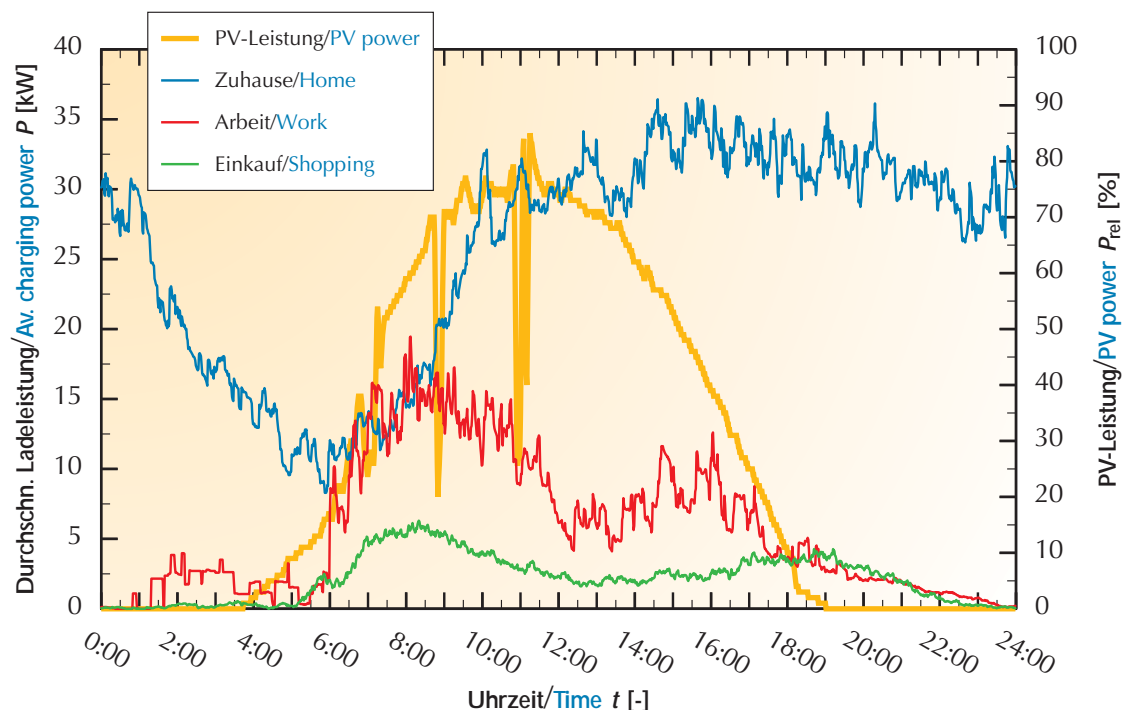
Distribution of energy charging demand at different car locations.

Um den Ladestrom an den Rettunginseln aus PV-Anlagen bereitstellen zu können, wird zunächst ermittelt, wie groß eine PV-Anlage sein muss, damit der Jahresenergiebedarf eines E-Autos gedeckt werden kann. Aus einer durchschnittlichen Jahresfahrleistung von 13.500km/a und einem spezifischen Verbrauch von 21,5 kWh/100km ergibt sich ein Jahresenergiebedarf von 2.900kWh pro Auto. Eine Photovoltaikanlage mit horizontaler PV-Modul-Ausrichtung, z. B. als Dach eines Solar-Carports, und einer Fläche eines großen Stellplatzes (21 m²), liefert einen Jahresertrag von 3.255 kWh. Der Jahresenergiebedarf eines E-Autos kann demnach mit einer PV-Anlage in Größe eines Stellplatzes gedeckt werden.

Damit der Strom aus der PV-Anlage auch direkt zum Laden ohne Zwischenspeicherung verwendet werden kann, muss die Ladung im Tagesverlauf zeitgleich zur PV-Erzeugung erfolgen. Die untersuchten Standorte weisen dabei jeweils unterschiedliche charakteristische Tagesprofile auf, wie in Abbildung 49 am Beispiel von Werktagen dargestellt ist. An den Standorten *Arbeit* und *Einkauf* erfolgt die Ladung überwiegend tagsüber. Der Ladebedarf deckt sich an diesen Standorten im Tagesverlauf besonders gut mit der PV-Erzeugung. Am Standort *Zuhause* steigt die Ladeleistung ebenfalls zur Mittagszeit an, jedoch erfolgt ein wesentlicher Teil der Ladung auch in den Abend- und Nachtstunden, in denen kein Strom aus PV-Anlagen zur Verfügung steht.

In order to be able to provide the charging current at the rescue islands from PV systems, it was first ascertained how large a PV system must be in order to cover the annual energy demand of an e-car. Based on an average annual mileage of 13,500 km/a and a specific consumption of 21.5 kWh/100 km, the annual energy demand is 2,900 kWh per car. A photovoltaic system with a horizontal PV module orientation (e. g. as the roof of a solar carport) and an area of a large parking space (21 m²), provides an annual yield of 3,255 kWh. The annual energy demand of an electric car can therefore be covered with a PV system with the area of a parking lot.

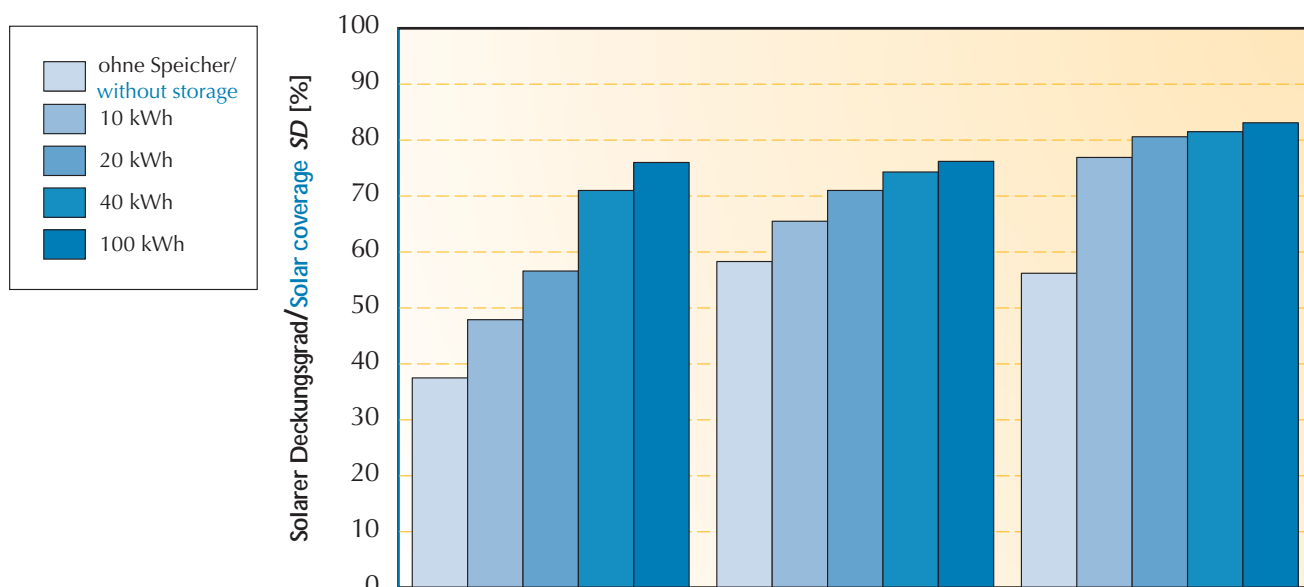
In order to be able to utilize the electricity from the PV system directly for charging without intermediate storage, charging must, however, take place during the course of the day at the same time as PV generation. The locations studied have different characteristic daily profiles, as shown in Figure 49 using the example of weekdays. At the work and shopping sites charging occurs predominantly during the day. At these sites charging demand coincides particularly well with PV generation during the course of the day. At the *home* site charging also increases at lunchtime, but a significant portion of charging also occurs during the evening and nighttime hours when no electricity is available from PV systems.



Abbildung/Figure 49: Durchschnittliche Ladeleistung an Werktagen an den Standorten *Zuhause*, *Arbeit* und *Einkauf*. In gelb ist die prozentuale Leistung einer PV-Anlage in Bezug auf ihre Nennleistung für einen Sommertag dargestellt. Average charging power on weekdays at home, work and shopping locations. Shown in yellow is the percentage output of a PV system relative to its nominal output for a summer day.

Werden die PV-Anlagen an den jeweiligen Standorten so dimensioniert, dass bilanziell der Jahresenergiebedarf der Rettungsinsel durch die jährliche Erzeugung durch die PV-Anlage gedeckt wird, können an den Standorten *Zuhause* 37%, *Arbeit* 58% und *Einkauf* 56% des Ladestroms direkt aus der PV-Anlage bezogen werden. Um höhere solare Deckungsgrade zu erreichen, werden zusätzliche stationäre Batteriespeicher benötigt, die den Strom aus der PV-Anlage an der Rettungsinsel zwischenspeichern. Mit einem stationären Batteriespeicher mit 40 kWh Kapazität (Batterien mit dieser Kapazität werden bereits heute in einigen E-Autos verbaut) lassen sich solare Deckungsgrade von mehr als 70% an allen Standorten erreichen (Abbildung 50). Für eine vollständig erneuerbare Energieversorgung werden jedoch weitere Erzeugungsanlagen wie beispielsweise Windkraft benötigt.

If the PV systems at the various locations are dimensioned in such a way that, on balance, the annual energy demand of the rescue island is covered by the annual generation of the PV system, 37%, 58% and 56% of the charging current respectively can be obtained directly from the PV system at the *home, work and shopping locations*. In order to achieve higher solar coverage ratios, additional stationary battery storage devices are needed to store electricity from the PV system temporarily at the rescue island. With a stationary battery storage with a capacity of 40 kWh (batteries with this capacity are already installed in some e-cars today), solar coverage ratios of more than 70% can be achieved at all locations (see Figure 50). However, for a fully renewable energy supply, additional generation facilities such as wind power are needed.



Kategorie/Category	Siedlung/Settlement	Arbeit/Work	Einkauf/Shopping
Ladeenergiebedarf/ Charging energy demand [kWh/a]	30.000	10.500	6.000
PV-Ertrag/ PV yield [kWh/a]	33.000	12.300	8.200
PV-Leistung/ PV power [kW _p]	40	15	10
Fläche/ Area [m ²]	210	79	53

Abbildung/Figure 50: Solarer Deckungsgrad des Energiebedarfs der Rettungsinseln an drei Standorten für verschiedene Batteriekapazitäten eines stationären Speichers. Die PV-Anlagengröße variiert je nach Standort und ist so dimensioniert, dass der Jahresenergiebedarf der Rettungsinsel bilanziell gedeckt werden kann.

Solar coverage ratio of the energy demand of rescue islands at three locations for different battery capacities of a stationary storage system. The PV system size varies according to the location and is dimensioned to be able, on balance, to cover the rescue island's annual energy demand.

Optische in-situ-Messtechnik als Prozesskontrolle für die Herstellung von Vanadiumdioxid (VO₂)

In dieser Arbeit zeigen wir, dass die Stöchiometrie von amorphem VO_x durch in-situ-spektroskopische Ellipsometrie (in-situ-SE) an VO₂ angepasst und durch Röntgen-Photoelektronen Spektroskopie (XPS) verifiziert wird. Nach einem Glühprozess wird eine gut definierte monokline VO₂-Kristallstruktur durch Röntgenbeugung (XRD) identifiziert, die den reversiblen monoklin-rutilen Übergang bei erhöhter Temperatur von 150 °C zeigt. Ein Mott-Übergang wird ebenfalls durch die spektroskopische Ellipsometrie nachgewiesen.

VO_x-Dünnschichten werden reaktiv von einem Vanadium-Target mit einer Reinheit von 99,95 % von *Sindlhauser Materials*[®] unter einem Ar-Hintergrundfluss von 50 sccm^[29] und einem Hintergrunddruck von $4,23 \times 10^{-3}$ mbar auf ein Silizium-Substrat gesputtert, während der Fluss des reaktiven Gases O₂ 1,4 sccm (A1), 1,9 sccm (B1) und 2,7 sccm (C1) beträgt. Mit einem SENTECH-Ellipsometer werden *in-situ*-SE-Messungen im Bereich von 0,4 eV bis 5,2 eV während des Abscheidungsprozesses durchgeführt, einschließlich der anfänglichen Messung des Silizium-Substrats. Durch Modellierung der Ψ - und Δ -Daten aus den *in-situ* SE-Messungen mit ähnlichen Dicken um 120 nm wird der Imaginärteil der optischen Permittivität in Abbildung 51 zusammengefasst.

Abbildung 51: Der angepasste Imaginärteil der optischen Permittivität von den Proben A1, B1 und C1 während der Beschichtung auf ca. 120 nm Dicke.

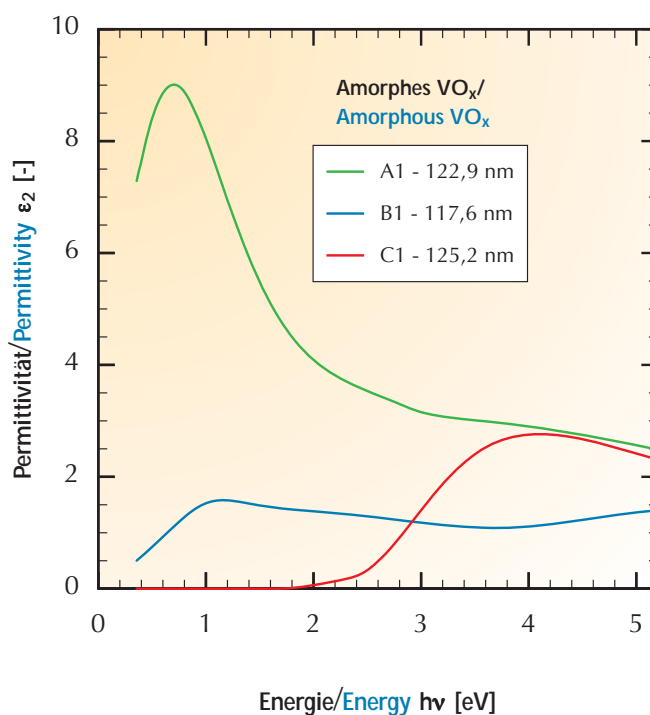
The adjusted imaginary part of the optical permittivity from samples A1, B1 and C1 during coating to c. 120 nm thickness.

[29] sccm – standard cubic centimeter per minute. Diese Einheit beschreibt einen Teilchen- bzw. Massenstrom

Optical in-situ measurement as process control for the production of vanadium dioxide (VO₂)

In this paper, we illustrate that the stoichiometry of amorphous vanadium oxide (VO_x) is adjusted to VO₂ by in-situ spectroscopic ellipsometry (in-situ SE) and verified by X-ray photoelectron spectroscopy (XPS). After an annealing process, a well-defined monoclinic VO₂ crystalline structure is identified by X-ray diffraction (XRD), which reveals the reversible monoclinic-rutile transformation at an elevated temperature of 150 °C. A Mott transition has also been demonstrated by spectroscopic ellipsometry.

VO_x thin film layers are reactively sputtered onto a silicon substrate from a vanadium target with a purity of 99.95 % from *Sindlhauser Materials*[®] with an argon (Ar) background flow of 50 sccm^[29] and 4.23×10^{-3} mbar background pressure, while the reactive gas O₂ flow is 1.4 sccm (A1), 1.9 sccm (B1) and 2.7 sccm (C1). In-situ SE measurements with a SENTECH ellipsometer ranging from 0.4 eV to 5.2 eV are taken during the deposition process, including the initial measurement of the silicon substrate. By modeling the Ψ and Δ data from the in-situ SE measurements with similar thicknesses around 120 nm, the imaginary part of the optical permittivity is summarized in Figure 51.



[29] sccm – standard cubic centimeter per minute. This unit describes a particle or mass flow

Eine detaillierte Analyse der *in-situ*-SE-Daten von B1 zeigt eine optische Bandlücke um 0,23 eV, während A1 keine optische Bandlücke zeigt und C1 eine optische Bandlücke von mehr als 1,5 eV aufweist. In der Literatur weist das kristalline M1-VO₂ eine Bandlücke zwischen etwa 0,5 eV^[30] und 0,6 eV^[31] auf, während V₂O₃ bei Raumtemperatur leitend ist^[30] und V₂O₅ typischerweise eine Bandlücke von mehr als 2 eV^[32] aufweist. Daher sollte sich das amorphe B1 der korrekten Stöchiometrie mit der typischen Bandlückenreduzierung in amorphen Materialien wie Si^[33] nähern. Weitere XPS-Daten zu den parallel gefertigten Proben von 1,4 sccm (A2), 1,9 sccm (B2) und 2,7 sccm (C2) sind in Abbildung 52 dargestellt. Das Vanadium-Spektrum (V2p3/2) der B2-Probe zeigt den höchsten V⁴⁺-Anteil als Peak bei 516,1 eV, während die C2-Probe mehr V⁵⁺ bei 517,0 eV^[34] aufweist. Die A2-Probe der VO_x-Dünnschicht mit der niedrigsten Sauerstoffzufuhr zeigt erhöhte V³⁺- bei 515,1 eV, V²⁺- bei 513,6 eV und sogar V⁰⁺-Peaks bei 512,3 eV.

A detailed analysis of the *in-situ* SE data from B1 indicates an optical bandgap around 0.23 eV, while A1 displays no optical bandgap and C1 displays an optical bandgap higher than 1.5 eV. In the literature the crystalline M1-VO₂ has a bandgap between approximately 0.5 eV^[30] and 0.6 eV^[31], while V₂O₃ is conductive at room temperature^[30] and V₂O₅ typically has a bandgap higher than 2 eV^[32]. Therefore amorphous B1 should approach correct stoichiometry with the typical bandgap reduction in amorphous materials such as Si^[33]. Further XPS data on the parallelly produced samples of 1.4 sccm (A2), 1.9 sccm (B2) and 2.7 sccm (C2) are depicted in Figure 52. The vanadium spectrum (V2p3/2) of the B2 sample displays the highest V⁴⁺ ratio as a peak at 516.1 eV, while the C2 sample has more V⁵⁺ at 517.0 eV^[34]. The A2 sample of VO_x thin film with the lowest oxygen supply displays increased V³⁺ at 515.1 eV, V²⁺ at 513.6 eV and even V⁰⁺ peaks at 512.3 eV. The deposition parameters that were used to fabricate samples B1 and B2 and

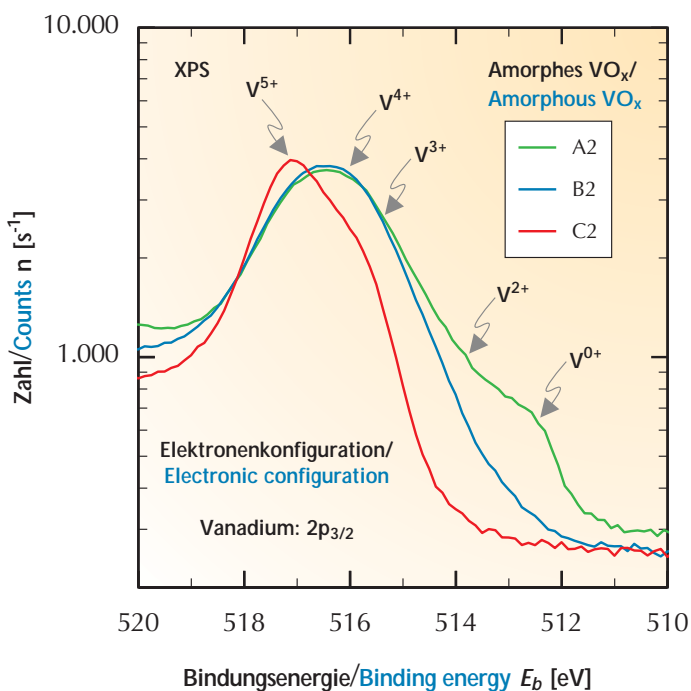


Abbildung 52: Die XPS-Messdaten der A2-, B2-, und C2-Proben.
The XPS data for the A2, B2 and C2 sample.

[30] Qazilbash M.M., Schafgans A.A., Burch K.S., Yun S.J., Chae B.G., Kim B.J., Kim H.T., Basov D.N., Phys. Rev. B 77, 115121 (2008)

[31] Lee S., Meyer T.L., Sohn C., Lee D., Nichols J., Lee D., Seo S.S.A., Freeland J.W., Noh T.W., Lee H.N., APL Mater. 3, 126109 (2015)

[32] Lamsal C., Ravindra N.M., J. Mater. Sci. 48, 6341 (2013)

[33] Giri P.K., Tripurasundari S., Raghavan G., Panigrahi B.K., Magudapathy P., Nair K.G.M., Tyagi A.K., J. Appl. Phys. 90, 659 (2001)

[34] Silversmit G., Depla D., Poelman H., Marin G.B., De Gryse R., J. Electron Spectros. Relat. Phenomena 135, 167 (2004)

[30] Qazilbash M.M., Schafgans A.A., Burch K.S., Yun S.J., Chae B.G., Kim B.J., Kim H.T., Basov D.N., Phys. Rev. B 77, 115121 (2008)

[31] Lee S., Meyer T.L., Sohn C., Lee D., Nichols J., Lee D., Seo S.S.A., Freeland J.W., Noh T.W., Lee H.N., APL Mater. 3, 126109 (2015)

[32] Lamsal C., Ravindra N.M., J. Mater. Sci. 48, 6341 (2013)

[33] Giri P.K., Tripurasundari S., Raghavan G., Panigrahi B.K., Magudapathy P., Nair K.G.M., Tyagi A.K., J. Appl. Phys. 90, 659 (2001)

[34] Silversmit G., Depla D., Poelman H., Marin G.B., De Gryse R., J. Electron Spectros. Relat. Phenomena 135, 167 (2004)

Die Beschichtungs-Parameter, die bei den Proben B1 und B2 verwendet wurden, sind daher geeignet, um Schichten mit einer Stöchiometrie nahe VO_2 herzustellen.

Nach einem 10-minütigen Glühvorgang bei 500°C unter 10^{-2} mbar in der Graphitkammer in einem *X'pert Analytical* XRD-Analysator wird die Probe B1 abgekühlt und mit Röntgenbeugung unter streifendem Einfall (GIXRD) bei einem Einfallswinkel von 1° gemessen. Während die gewachsene Dünnschicht eine amorphe Struktur aufweist, wird nach dem Glühen eine klare monokline VO_2 -Phase (M1-VO_2)^[35] bei 30°C beobachtet, die bei einer Temperatur 150°C in die rutil VO_2 -Phase (R-VO_2)^[36] übergeht (Abbildung 53). Diese Rutilstruktur kann beim Abkühlen auf 30°C weiter reversibel in eine monokline Struktur umgewandelt werden.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Stöchiometrie amorpher VO_x -Dünnschichten mit der in-situ-spektroskopischen Ellipsometrie beobachtet und mit dem XPS verifiziert werden kann. Die dem VO_2 am nächsten liegende Stöchiometrie führt nach einem kurzen Glühvorgang zu einer monoklinen VO_2 -Phase, die einen stöchiometrie-kritischen Monoklin-Rutil-Übergang zeigt. Die in-situ-spektroskopische Ellipsometrie kann daher für die Herstellungsprozesskontrolle der Stöchiometrie des VO_2 verwendet werden.

therefore suitable for fabrication of layers with a stoichiometry close to VO_2 .

After a 10 min annealing process at 500°C at 10^{-2} mbar in the graphite chamber in an *X'pert Analytical* XRD analyzer, sample B1 is cooled down and measured with grazing incidence X-ray diffraction (GIXRD) at an incidence angle of 1° . While the thin film grown exhibits an amorphous structure, after annealing a clear monoclinic VO_2 phase (M1-VO_2)^[35] is observed at 30°C and transforms to a rutile VO_2 phase (R-VO_2)^[36] at 150°C (Figure 53). This rutile structure can further revert to a monoclinic structure on cooling it to 30°C .

In summary, the stoichiometry of amorphous VO_x thin films can be observed with in-situ spectroscopic ellipsometry and verified by XPS. The closest stoichiometry to VO_2 leads to a monoclinic VO_2 phase after a short annealing process, which displays a monoclinic rutile transformation, which is critical to stoichiometry. In-situ spectroscopic ellipsometry can thus be applied to the production process control of stoichiometry in VO_2 .

[35] Wyckoff R.W.G., *Crystal Structures*, John Wiley Interscience Publishers, New York (1965)

[36] Hoekstra H.R., Siegel S., Gallagher F.X., *Platin. Gr. Met. Compd.* 98, 4 (1971)

[35] Wyckoff R.W.G., *Crystal Structures*, John Wiley Interscience Publishers, New York (1965)

[36] Hoekstra H.R., Siegel S., Gallagher F.X., *Platin. Gr. Met. Compd.* 98, 4 (1971)

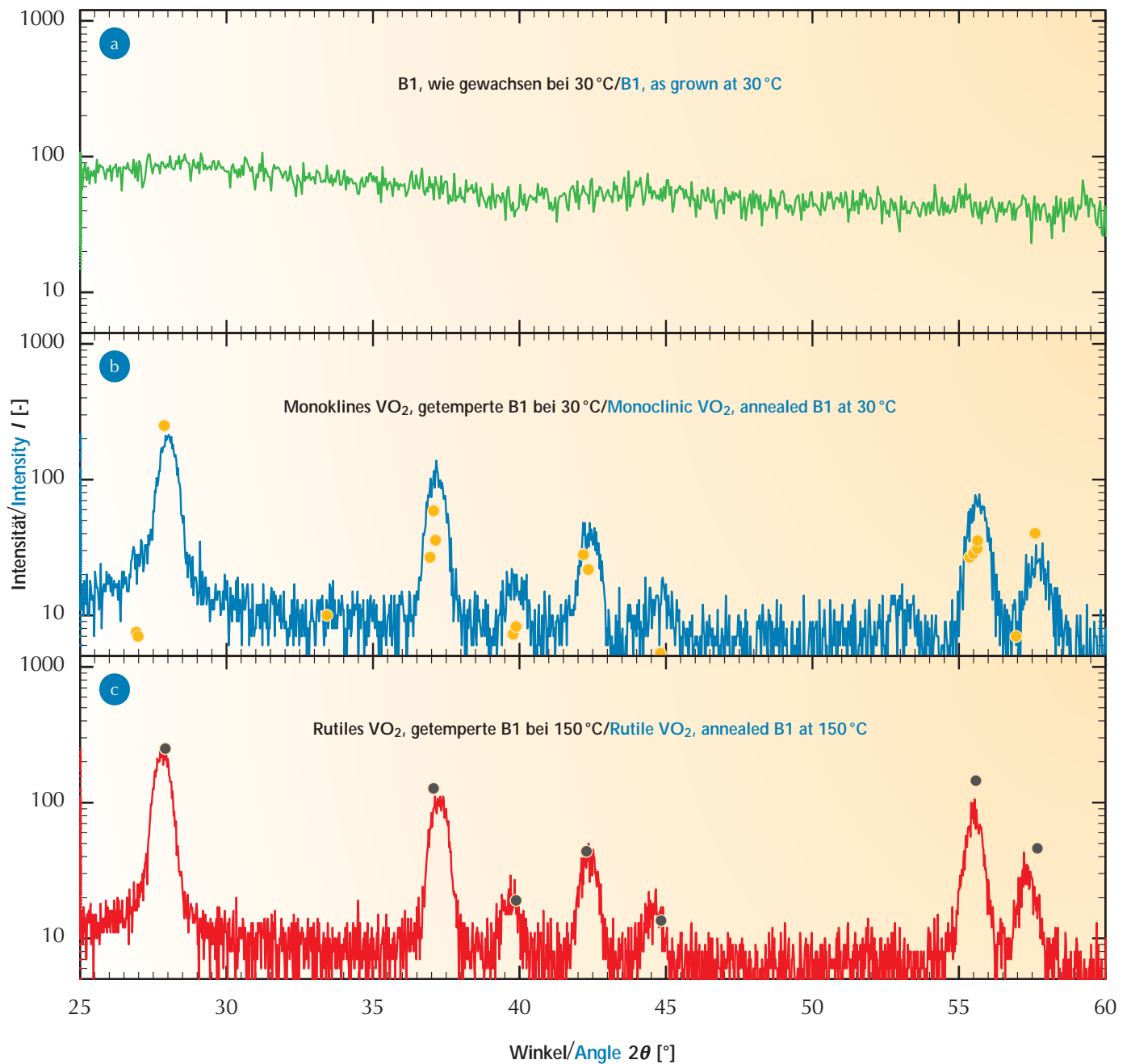


Abbildung 53: Die GIXRD-Messungen auf Probe B1, wie gewachsen (a), die getemperte Probe B1 bei 30°C (b) und die getemperte Probe B1 bei 150°C (c). Die gelben (●) bzw. schwarzen (●) Punkte in (b) und (c) zeigen die Literaturwerte der Peakpositionen und Intensitäten der Beugungspeaks für die monokline (b) bzw. rutile Phase (c) des VO₂.

The GIXRD measurement of sample B1 as grown (a), the annealed sample B1 at 30°C (b) and annealed sample B1 at 150°C (c). The yellow (●) and black (●) dots in (b) and (c), respectively, show the literature values of the peak positions and intensities of the diffraction peaks for the monoclinic (b) and rutile phase (c) of VO₂.

Weiterbildung

Education 4

Akademische Ausbildung

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

Im Jahr 2020 wurden an der Leibniz Universität Hannover und niedersächsischen Fachhochschulen eine Reihe von Lehrveranstaltungen zum Teil online durchgeführt (s. S. 98 ff.):

→ Vorlesung und Übungen „Physik der Solarzelle“

*Dozenten: Prof. Dr.-Ing. Rolf Brendel,
Dr. Carsten Schinke, 4 SWS^[37]
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 „Charakterisierung von Halbleitern und Solarzellen“

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

Im ersten Teil dieser Vorlesung werden Grundlagen der Halbleiterphysik in Verbindung mit Charakterisierungsmethoden für Halbleitermaterialien behandelt. Einen Schwerpunkt bilden dabei Methoden zur Charakterisierung von Defekten in Halbleitern sowie ihrer Auswirkung auf die elektrischen Eigenschaften des Halbleiters. Im zweiten Teil der Vorlesung werden Methoden für die Charakterisierung von Solarzellen vorgestellt, wobei sowohl integrale Methoden wie die spektrale Empfindlichkeit als auch orts aufgelöste Methoden wie die kamerabasierte Photolumineszenz behandelt werden.

→ 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).

[37] SWS – Semesterwochenstunden

Academic education

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

In 2020, a number of courses were held at Leibniz University Hannover and Lower Saxony universities of applied sciences, some of them online (see p. 98 ff.):

→ Course and exercises “Physics of solar cells”

*Lecturers: Prof. Dr.-Ing. Rolf Brendel,
Dr. Carsten Schinke, 4 SCH^[37].
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 “Characterization of Semiconductors and Solar cells”

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

The first part of this lecture deals with the fundamentals of semiconductor physics in connection with characterization methods for semiconductor materials. One focus is on methods for characterizing defects in semiconductors and their effect on the electrical properties of the semiconductor. In the second part of the lecture, methods for the characterization of solar cells are presented, including integral methods such as spectral response as well as spatially resolved methods such as camera-based photoluminescence.

→ 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 electrical 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).

[37] SCH – Semester credit hours

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

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

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

→ **Vorlesung „Einführung in die elektronische Messdatenerfassung und -verarbeitung mit LabView“**

*Dozent: Dr. Carsten Schinke, 4 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.

→ **Vorlesung und Übungen „Wirkungsweise und Technologie von Solarzellen“**

*Dozenten: Prof. Dr. Robby Peibst,
Dr.-Ing. Jan Krügener, 4 SWS.
Fakultät für Elektrotechnik und Informatik (MBE),
Leibniz Universität Hannover.*

Die Studierenden erlangen vertieftes grundlegendes Verständnis der Funktionsweise von Silizium-Solarzellen und deren Herstellungstechnologie, Verständnis von Wirkungsgradgrenzen und real auftretenden Verlustmechanismen in Solarzellen sowie grundlegende Kenntnisse der Bauteil- und Prozesscharakterisierung.

→ **Vorlesung „Bipolarbauelemente“**

*Dozenten: Prof. Dr.-Ing. Tobias Wietler,
Dr.-Ing. Jan Krügener, 4 SWS.
Fakultät für Elektrotechnik und Informatik,
Leibniz Universität Hannover.*

Die Vorlesung behandelt zunächst die physikalischen Grundlagen der Halbleiterelektronik wie Ladungsträger im Halbleiter, Stromtransportmechanismen, Generations- und Rekombi-

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

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

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

→ **Course “Introduction to Electronic Measurement Data Acquisition and Processing with LabView”**

*Lecturer: Dr. Carsten Schinke, 4 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.

→ **Course and exercises “Operating principle and technology of solar cells”**

*Lecturers: Prof. Dr. Robby Peibst,
Dr.-Ing. Jan Krügener, 4 SCH.
Faculty of Electrical Engineering and Computer Science (MBE),
Leibniz Universität Hannover.*

Participants receive detailed basic knowledge of the functionality of silicon solar cells and their manufacturing technology, an understanding of the efficiency limits and loss phenomena actually occurring in solar cells as well as basic knowledge of component and process characterization.

→ **Course “Bipolar devices”**

*Lecturers: Prof. Dr.-Ing. Tobias Wietler,
Dr.-Ing. Jan Krügener, 4 SCH.
Faculty of Electrical Engineering and Computer Science,
Leibniz Universität Hannover.*

This lecture course looks into basic semiconductor physics including charge carriers in semiconducting materials, current transport mechanisms and generation and recombination processes. This forms the base for the discussion the static and dynamic characteristics of pn-junctions, metall-semiconductor

nationsprozesse. Darauf aufbauend folgt die Betrachtung des statischen und dynamischen Verhaltens von pn-Übergängen, Metall-Halbleiterübergängen und Halbleiter-Heteroübergängen mit einer kurzen Einführung in optoelektronische Bauelemente. In einem begleitenden Posterworkshop zeigen die Studierenden selbst erarbeitete Präsentationen zu verschiedenen Diodentypen und ihren Anwendungen. Den Abschluss bildet die Diskussion des Bipolartransistors von den grundlegenden Prinzipien bis zum dynamischen Verhalten und schließlich Heterobipolartransistoren.

→ Vorlesung und Übung „MOS-Transistoren und Speicher“

*Dozenten: Prof. Dr.-Ing. Tobias Wietler, Dr.-Ing. Jan Krügener, 3 SWS.
Fakultät für Elektrotechnik und Informatik,
Leibniz Universität Hannover.*

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

→ Vorlesung „Einführung in die regenerative Energietechnik“

*Dozent: Dr. Roland Goslich, 2 SWS.
Hochschule Weserbergland (HSW), Hamelin.*

Die Vorlesung umreißt die Nutzungsmöglichkeiten der Solarenergie. Sie beginnt mit Rahmendaten zur Energieerzeugung, beschreibt die physikalischen Grundlagen der Solarstrahlung und die solarthermische Wärmegewinnung. 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 „Physik der Technologie integrierter Schaltkreise“

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

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

junctions and semiconductor heterojunctions including a brief introduction to optoelectronic devices. In a special workshop, students give short presentations on different types of diodes and their application. Bipolar junction transistors from basic principles to dynamics and hetero bipolar transistors are also covered.

→ Course and exercise “MOS transistors and memory devices”

*Lecturers: Prof. Dr.-Ing. Tobias Wietler, Dr.-Ing. Jan Krügener, 3 SCH.
Faculty of Electrical Engineering and Computer Science,
Leibniz Universität Hannover.*

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

→ Course “Introduction to Renewable Energy Technology”

*Lecturer: Dr. Roland Goslich, 2 SCH.
Hochschule Weserbergland (HSW), Hamelin.*

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 “Physics of Integrated Circuit Technology”

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

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



Vorbereitung einer Messung am PV-Modul-Flasher.
Preparation of a measurement on the PV module flasher.

NILS – Die Lernwerkstatt im Wandel

Die „niedersächsische Lernwerkstatt für solare Energiesysteme (NILS)“, kurz Lernwerkstatt NILS wurde im 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 niedersächsischen Kultusministeriums zugeordnet.

Die NILS ist ein anerkannter außerschulischer Lernort und steht im Kontext universitärer Schülerlaboratorien. Sie ist Mitglied im Bundesverband der Schülerlabore Lernort Labor (LeLa) und unterstützt den Nachwuchs im mathematisch-naturwissenschaftlich-technischen Bereich (MINT). Das Angebot der NILS reicht von der Grundschule bis zur beruflichen Aus- und Weiterbildung von Lehrer*innen. Im BNE-Verbund finden regelmäßig Tagungen und Fortbildungen auf Bezirks- und Landesebene statt.

Die Lernwerkstatt wird von einem Team aus fünf Personen betrieben. Ihm gehören zwei ISFH-Mitarbeiter und drei Lehrer*innen an. Neben ihrer Tätigkeit am Institut oder in den Schulen können diese an ein bis zwei Tagen in der Woche Gruppen im Rahmen der NILS betreuen. Nach Bedarf unterstützen ein*e Bundesfreiwilligendienstler*in und Wissenschaftler*innen des Instituts deren Arbeit.



Besondere Situation für die Lernwerkstatt durch Corona

Nachdem unmittelbar vor den Osterferien sämtliche Präsenzveranstaltungen am ISFH abgesagt werden mussten, wurden stattdessen Ergänzungen und Verbesserungen an Arbeitsmaterialien und Lernstationen vorgenommen; das didaktische Material wurde vollständig überarbeitet. Außerdem erlebte die NILS-Homepage (www.nils-isfh.de) einen Relaunch in moderner Form.

Die NILS-Lehrkräfte leisteten in dieser Zeit an ihren Schulen auch ihren Beitrag zur verstärkten Unterrichtsversorgung von Schüler*innen. Erst kurz vor den Sommerferien 2020 konnte die NILS den älteren Oberstufenschüler*innen nach entsprechend ausgearbeiteten Hygieneregeln wieder Veranstaltungen im Lernlabor anbieten.

NILS – The Learning Workshop in transition

The “Lower Saxon Learning Workshop for Solar Energy Systems” (NILS), in short the NILS Learning Workshop, was founded in August 2001 as a cooperation project between the Lower Saxon Ministry of Education and the ISFH. It serves the terms of reference formulated in the Climate Protection Action Plan for Lower Saxony of promoting the exchange between science and schools and is attributed to the area of responsibility of the Education for Sustainable Development (BNE) department of the Lower Saxon Ministry of Education.

NILS is a recognized extracurricular place of learning and belongs to the category of university school student laboratories. It is a member of the Federal Association of School Student Laboratories (LeLa) (laboratory as a place of learning) and supports those interested in the science, technology, engineering and mathematics (STEM) field. NILS offers services ranging from elementary school to professional training and continuing education for teachers. In the BNE network, conferences and training courses are held regularly at district and state level.

The Learning Workshop is run by a team of five. Apart from the head of NILS, who conducts the public relations work of the ISFH full-time, the team members each dedicate one day a week to the Learning Workshop. The team comprises three teachers and two members of the ISFH staff. Whenever necessary, a federal voluntary service volunteer and Institute scientists assist their work.

Abbildung/Figure 56: Die neue Startseite der NILS-ISFH-Homepage vermittelt die Vorstellung, dass die technische Nutzung der Sonnenenergie durch PV-Module in die Natur eingebettet ist.

The new starting page of the NILS-ISFH-Homepage conveys the concept that the technical use of solar energy with PV modules is embedded in nature.

Special situation for the learning workshop by Corona

After all attendance events at the ISFH had to be canceled right before the Easter break, improvements and additions to work materials and learning stations were made instead; the didactic material was completely revised. In addition, the NILS homepage (www.nils-isfh.de) underwent a relaunch in a modern form.

During this period, NILS teachers also did their part at their schools to provide more instruction to students. Only shortly before the 2020 summer holidays was NILS allowed to resume offering events in the Learning Workshop to older secondary school students in accordance with appropriately devised hygiene rules.

Grundschulen

Ende Januar verabschiedete sich eine der erfahrendsten NILS-Lehrer*innen, Marie-Luise Kröger, nach über 16 Jahren Mitarbeit in der NILS, in den Ruhestand. Sie gestaltete und prägte die Grundschularbeit und den Kontakt zu zahlreichen Grundschulen in der Region in herausragender Weise und hat sehr viel zur regionalen Beliebtheit der Lernwerkstatt beigetragen. Ihr gilt außerordentlicher Dank für die geleistete Arbeit!

Primary schools

At the end of January one of the most experienced NILS teachers, Marie-Luise Kröger, retired after over 16 years of work at NILS. She created and shaped the primary school work and the contact with numerous primary schools in the region in an outstanding fashion and contributed greatly to the regional popularity of the Learning Workshop. She deserves exceptional thanks for the work she undertook!



Abbildung/Figure 57: Der Hauptteil der NILS-ISFH-Homepage zeigt die Verbindung zwischen NILS und ISFH.
The main part of the NILS-ISFH-Homepage shows the connection between NILS and the ISFH.

Anfang Februar wurde Vivienne Wesebe-Wetzig von der Landes Schulbehörde zur Nachfolgerin ernannt. Dadurch konnten auch wieder NILS-Aktionen außerhalb des ISFH durchgeführt werden, zum Beispiel Projekttag an der Grundschule in Hannover-Altwarmbüchen. Alle Schüler*innen des gesamten 4. Jahrgangs bauten ein kleines PV-Modul. Selber feilen, biegen und löten und dann ausprobieren, wie das selbst gebaute PV-Modul mit Sonnenlicht einen Propeller antreibt, das ist für die Grundschüler*innen immer ein bleibendes Erfolgserlebnis.

At the beginning of February, Vivienne Wesebe-Wetzig was appointed by the State Board of Education as her successor. This made it possible to carry out NILS activities again outside the ISFH, for example project days at the elementary school in Hannover-Altwarmbüchen. All students in 4th grade built a small PV module. Filing, bending and soldering by themselves and then trying out how the PV module they built drives a propeller with sunlight is always a lasting sense of achievement for the elementary school students.

An der Kooperativen Gesamtschule (KGS) Bad Münden wurden NILS-Projekttag zur Solarenergie durchgeführt. Die Schüler*innen und Lehrer*innen der insgesamt sieben Klassen des 5. Jahrgangs aus verschiedenen Schulzweigen haben das Angebot dieser *Solarforschertage* begeistert angenommen. Nicht nur die Lernstationen waren bei ihnen beliebt, sondern auch der rege Austausch über das Thema Nachhaltigkeit verdeutlichte die Vorzüge solcher Projekttag. Und auch die lokale Presse war von den Solarforscher*innentagen an der KGS Bad Münden sehr angetan (s. S. 104).

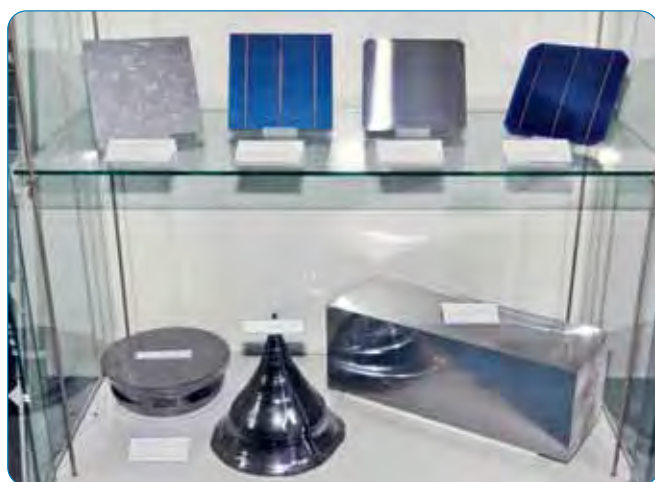
NILS project days on solar energy were held at the Cooperative Comprehensive School (KGS), Bad Münden. The school students and teachers of altogether seven fifth-year classes from different school types enthusiastically took part in what was on offer at these *solar researcher days*. Not only the learning segments were popular with them, but also the animated exchange on the subject of sustainability emphasized the merits of such project days. And even the local press was very taken with the solar researcher days at the KGS Bad Münden (see p. 104).

Ein Solarprojekt (*Peer-Projekt*) wurde in Wunstorf (Region Hannover) fortgesetzt, bei dem ältere Schüler*innen jüngere einarbeiten. Durch dieses Projekt kommen Grundschüler*innen früh mit dem zentralen Thema Energie auf praktische, motivie-

A solar project (*Peer project*) in Wunstorf in the region of Hannover continued, in which older school students instruct younger students. This project gives primary school students early contact with the central theme of energy in a practical and motivating way. In addition, students from secondary schools

rende Weise in Berührung. Zudem übernehmen die Schüler*innen der weiterführenden Schulen Verantwortung für den Lernprozess von Grundschüler*innen und setzen sich besonders intensiv mit dem Thema auseinander.

Über die Lernwerkstatt NILS und weitere Kooperationsverbände der Begabungsförderung soll dieses Projekt Leitprojekt für andere Schulen werden. Die NILS-Lehrer*innen unterstützen und beraten Schulen bei der Implementierung des Projektes in ihrer Schule.



take on responsibility for the learning process of primary school students and grapple with the subject in a particularly intensive way.

The NILS Learning Workshop and other associations for assisting the gifted are to make this project a model project for other schools. The NILS teachers assist and advise schools on how to implement the project in their school.

Abbildung/Figure 58: Block-Silizium und verschiedene Solarzellen in einer Vitrine im Foyer des ISFH.

Block of silicon and different solar cells in a glass case in the foyer of the ISFH.

Sekundarstufe I

Die NILS-Arbeit für Mittelstufenklassen verlagerte sich pandemiebedingt auf die Entwicklung von didaktischem Material und deren Erprobung an den Kooperationsschulen: Im Jahrgang 8 wird im Fach Physik das Thema *Elektrizität* eingehend behandelt. Dazu hat die NILS einen Unterrichtsgang *Elektrizität mit Solarzellen* vorbereitet. Dieser ist von den Fachlehrer*innen in der Testphase am *Hölty-Gymnasium* in Wunstorf sehr positiv angenommen worden. So messen die Schüler*innen Stromstärken und Spannungen mit selbstgebauten PV-Modulen, bauen Reihen- und Parallelschaltungen auf, berechnen die Leistung ihrer PV-Module und bestimmen deren Wirkungsgrad.

Darüber hinaus bietet das Material der ebenfalls überarbeiteten Sonnenfängerbox SEK I die Möglichkeit, Stationsarbeit mit den Schüler*innen durchzuführen:

- Station I: Speicherung von Solarstrom – Goldcap aufladen
- Station II: Eine Solarzelle betreibt mehrere Propeller
- Station III: Aufbau eines PV-Moduls für unterschiedliche Verbraucher
- Station IV: Solarauto – Elektromobilität
- Station V: PV-Module – Handy laden

Sekundarstufe II

Für ältere Schüler*innen ist ein NILS-ISFH-Besuch immer motivierend und ein wichtiger Beitrag zur MINT-Förderung und Berufsorientierung. So war es auch richtig und sinnvoll, dass schon

Lower secondary schools

Due to the pandemic, the NILS work for middle school classes shifted to the development of didactic material and its testing at the cooperating schools: in grade 8 the subject of *electricity* is studied extensively in physics lessons. For this NILS has prepared a course on *Electricity with Solar Cells*. This has been very positively received by specialist teachers in the test phase at the *Hölty high school*. In this course the school students measure currents and voltages with self-built PV modules, construct series and parallel connections, calculate the performance of their PV modules and determine their efficiency.

In addition, the also revised supporting material for the sun-catcher box for lower secondary school classes offers the possibility of working with the school students on learning segments:

- Segment I: Storage of solar electricity – charging a Goldcap
- Segment II: A solar cell powers several propellers
- Segment III: Construction of a PV module for different consumers
- Segment IV: Solar car – Electromobility
- Segment V: PV module – charging a mobile phone

Upper secondary schools

For older school students a visit to NILS-ISFH is always motivating and therefore an important contribution to the promotion of the STEM subjects and careers orientation. For this reason it was also right and sensible for courses for upper secondary school

Weiterbildung

vor den Sommerferien unter strengen Hygienevorschriften wieder Kurse für Oberstufenschüler*innen durchgeführt wurden.

Im September 2020 kamen 16 interessierte Schüler*innen vom Goethegymnasium Hildesheim ins ISFH und informierten sich vor Ort über Forschungsthemen. Sie bekamen Anregungen für eine kurze schriftliche Hausarbeit als Vorbereitung für ihre wissenschaftspropädeutische Facharbeit im Frühjahr 2021. Die Palette möglicher Themen reicht von der Darstellung der Herstellungsprozesse von Solarzellen über die Auswertung von eigenen Messungen bis hin zu politischen Fragen (Energiewende, Erneuerbare-Energien-Gesetz etc.).

Abbildung/Figure 59: Die NILS-ISFH Lernstation *Solartankstelle* wurde für den Gebrauch in Schulen durch den Einsatz von zwei Multimetern und entsprechender Anleitung aufbereitet.

The NILS-ISFH learning segment of the *Solar Filling Station* was prepared for deployment in schools with the use of two multimeters and relevant instructions.

Die NILS plante für eine im Herbst 2021 angesetzte Lehrkräftefortbildung Versuche mit Bezug zur Solarenergie im normalen Mathematik- oder Physikunterricht der Oberstufe. Aus der Vielzahl von NILS-Lernstationen wurden bestimmte Stationen an den schulischen Einsatz genau angepasst. Sie können so einfach in den Unterrichtsgang einbezogen werden.

Die Themen dieser Versuchspalette sind:

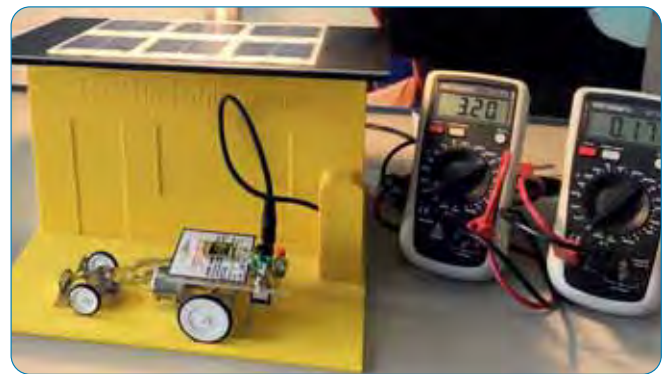
- Messung des Wirkungsgrades einer Solarzelle
- Solartankstelle mit Goldcapauto – Messung von Auf- und Entladung
- Bestimmung des Planck'schen Wirkungsquantums h mit Leuchtdioden
- Schwächung der Bestrahlungsstärke durch unterschiedliche Foliendicken

Außenführungen

Das an das ISFH angepasste Corona-Hygiene-Konzept beinhaltet seit Sommer 2020 die Möglichkeit, Außenführungen corona-konform durchzuführen. Dazu wurden Außenstationen neu definiert und aufbereitet. Für alle Stationen gibt es inzwischen schriftliche Anleitungen mit Musterlösungen. Die erste Station beispielsweise heißt *Grundlagen zur Photovoltaik und Solarthermie – Silizium, Solarzelle, Solarmodul/Sonnenkollektor*. Diese Station im Foyer des ISFH informiert die Schüler*innen über:

students to resume even before the summer holidays under strict hygiene regulations.

In September 2020 16 interested school students came to the ISFH and sought information about possible research subjects. They received suggestions for a short written paper as a preparation for their propaedeutic science paper. This six-week written paper of a maximum of 15 pages is to be completed by February 2021. The range of possible subjects extends from the description of the manufacturing processes of solar cells over the evaluation of their own measurements to political issues (Energy transition, Renewable Energy Act etc.).



NILS also processed a request for a further training course for teachers scheduled in fall 2021 on the execution of experiments with reference to solar energy in the normal mathematics and physics teaching in upper secondary school classes. From the large number of NILS learning stations, certain stations have been precisely adapted to school use. They can thus be easily incorporated into the classroom curriculum.

The issues of this range of experiments are:

- Measurement of the efficiency of a solar cell
- Solar filling station with a Goldcap car – measurement of charging and discharging
- Determination of Planck's constant h with LEDs
- Weakening of the strength of irradiation through various film thicknesses

Outdoor guided tours

The corona hygiene concept at the ISFH since the summer of 2020 includes the possibility to conduct corona-compliant outdoor guided tours. For this outdoor instruction segments were newly defined and prepared. For all the segments there are now written instructions with sample solutions. The first segment is, for example, called the *Basics of Photovoltaics and Solar Heating – silicon, solar cell, solar module/solar collector*. This station in the foyer of ISFH informs students about:



Abbildung/Figure 60: Die Stationen der NILS-Außenführung sind überall auf dem Gelände des ISFH verteilt:
 Station A: Foyer des ISFH – Photovoltaik und Solarthermie – Silizium, Solarzelle, Solarmodul/Sonnenkollektor
 Station B: Außengelände, Parkplatz-Solarcarport und Stickstofftank
 Station C: SolarTeC-Gebäude; PVT-Modul an der Fassade
 Station D: Hauptgebäude-Dach mit PV-Anlagen über Außentreppe
 Station E: ISS-Ost-West PV-Anlage auf Dach, Sicht vom Dach des Hauptgebäudes
 Station F: Außenanlagen Solardächer – Dachsysteme und Nachführsysteme
 Station G: Versuchshäuser-Südseite

The segments of the NILS outdoor guided tour are spread all over the ISFH site:
 Segment A: Foyer of the ISFH – photovoltaics and solar heating – silicon, solar cell, solar module/solar collector
 Segment B: Grounds, car park – solar carport and nitrogen tank
 Segment C: SolarTeC building; PVT-module on façade
 Segment D: Main building – roof with PV systems via external staircase
 Segment E: ISS east-west PV system on roof, view from roof of main building
 Segment F: Outdoor facilities – solar roofs – roof systems and sun-tracking systems
 Segment G: Experimental buildings – south side

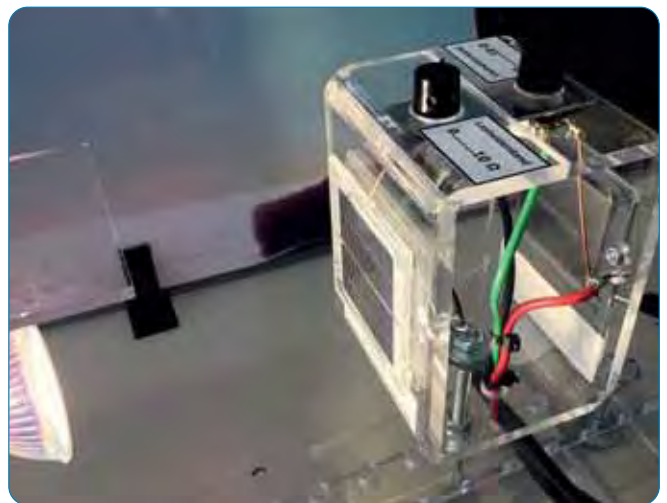
Weiterbildung

- Silizium als Basismaterial von Solarzellen in seiner metallischen Form,
- den Unterschied zwischen multikristallinem und monokristallinem Silizium,
- die Grundstruktur und -bestandteile einer Standardsolarzelle,
- das unterschiedliche Layout von Solarzellen,
- die unterschiedliche Bauweise von PV-Modulen und deren Entwicklung,
- die Bauweise und Funktion von thermischen Kollektoren,
- die Bedeutung der Beschichtung von Solarkollektoren.

- silicon as the base material of solar cells in its metallic form,
- the difference between multicrystalline and monocrystalline silicon,
- the basic structure and components of a standard solar cell,
- the different layouts of solar cells,
- the different design of PV modules and their development,
- the design and function of thermal collectors,
- the importance of the coating of solar collectors.

Abbildung/Figure 61: Versuchsaufbau für Schulen zum Vergleich des Wirkungsgrades zweier Solarzellen.

Experimentation equipment for schools for comparing the efficiency of two solar cells.



Lehrkräftefortbildung und Beratungen

Neben lokalen und regionalen solardidaktischen Kooperationen mit Schulen hat NILS auch eine überregionale Reichweite. Viele Schulen, Hochschulen, Lehrkräfte, Institutionen und Firmen aus mehreren Bundesländern und dem EU-Ausland suchten solardidaktische Beratung und hatten großes Interesse am Einsatz von NILS-Experimentiergeräten (SUSE-PV-Experimentiergeräte) mit den dazugehörigen solardidaktischen Konzepten. Es gab umfangreiche Onlineberatungen und digitale Begleitung beim Einsatz der experimentellen Systeme im Unterricht und Projekten.

Die Liste solcher Kontakte, die NILS in 2020 hatte und wo NILS-Material zur Solarenergie nachgefragt wird:

- Finnland: Fachhochschule Turku, (Turun Ammattikorkeakoulu)
- Niedersachsen: Mehrere regionale Umweltbildungszentren; Schulen aus den Regionen Weser-Ems, Göttingen, Cuxhaven, Hannover, Braunschweig; Klimaschutzmanagement Landkreis Schaumburg
- Hessen: Grundschule aus Darmstadt, Klimaschutzabteilung Landkreis Marburg-Biedenkopf, Jugendarbeit Witzenhausen
- Berlin: Gymnasien und Lehrkräfteausbildungsinstitutionen
- Bayern: Naturkindergarten, Lehrkräfteausbildungsinstitutionen, Firma Solar for Schools

Teacher training courses and advice

In addition to local and regional solar didactic collaborations with schools, NILS also has a national reach. Many schools, universities, teachers, institutions and firms from several federal states and other EU countries have sought solar-teaching advice and had a great interest in the use of NILS experimentation equipment (SUSE-PV experimentation devices) with the accompanying solar-teaching concepts. There were extensive online discussions and digital assistance in the use of the experimentation systems in lessons and projects.

The list of such contacts that NILS had in 2020 and where NILS material on solar energy is in demand:

- Finland: Turku University of Applied Sciences (Turun Ammattikorkeakoulu)
- Lower Saxony: Several regional environment centers; schools from the Weser-Ems, Göttingen, Cuxhaven, Hanover, Brunswick regions; climate protection management of the Landkreis Schaumburg.
- Hesse: primary school from Darmstadt, Climate Protection Department of the Landkreis Marburg-Biedenkopf, Youth Department, Witzenhausen.
- Berlin: grammar schools and teacher-training institutions.
- Bavaria: natural kindergarten, teacher-training institutions, the firm *Solar for Schools*

- Nordrhein-Westfalen: Universität Münster, Umweltorganisation Münster, Klimaschutzmanagement Stadt Ochtrup, MINT-Kompetenzzentrum Dr. Christiani in Rheine, Schule Natur Grugapark Essen
- Schleswig-Holstein: Helmholtz- Zentrum Geesthacht, Schule Ahrensböök
- Baden-Württemberg: Gymnasien Raum Stuttgart, Firma Dr. Christiani in Konstanz
- Sachsen: Schulen Region Dresden
- Brandenburg: Lehrkräfteausbildung Cottbus
- North-Rhine Westphalia: Münster University, Münster environmental organization, climate protection management of Ochtrup Town Council, Dr. Christiani STEM competence center in Rheine, School of Nature Grugapark, Essen.
- Schleswig-Holstein: Helmholtz-Center, Geesthacht, Ahrensböök School.
- Baden-Württemberg: grammar schools in Stuttgart area, Dr. Christiani firm in Constance.
- Saxony: schools in the Dresden region.
- Brandenburg: teacher-training, Cottbus.

Abbildung/Figure 62: Schüler*innen bei den *Forschertagen* in der Kooperativen Gesamtschule (KGS) Bad Münde.

School students at *Researcher Days* at the Cooperative Comprehensive School (KGS), Bad Münde.



Das NILS-Team hofft, dass der Präsenzbetrieb im ISFH 2021 mindestens in eingeschränktem Maß wieder aufgenommen werden kann. Damit wird der Kern der Lernwerkstatt wieder aktiviert. Denn das sind die realen Erfahrungen, die die Schüler*innen im ISFH und im NILS-Labor mit den Menschen und dem Material vor Ort machen. Unser Ansatz ist ein Angebot, das jeder Schülerin und jedem Schüler völlig unabhängig von der Schulform ein Lernerfolg bringt.

Die Schüler*innen sollen nicht nur ein praktisches Erfolgserlebnis, sondern auch ein Erfolgserlebnis beim Verständnis der Solarenergie und Solartechnik haben.

The NILS team hopes to be able to resume in-person activities, at least to a restricted extent. This will reactivate the core of the learning workshop. After all, these are the real-life experiences that students have at ISFH and in the NILS lab with the people and materials on site. Our approach is to provide a learning experience for every student, completely independent of the type of school they attend.

Students should not only have a sense of practical accomplishment, but also a sense of accomplishment in understanding solar energy and solar technology.

Volker Napp, Rüdiger Schanz, Roland Goslich



Prototyp eines solarthermisch aktivierten Fassadenmodul aus Profilbaugläsern.
Prototype of a solar-thermally activated façade module made of profiled glass.

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

Inland/National

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg (INATECH); Freiburg	Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG); Hannover
Deutsches Biomasseforschungszentrum gGmbH (DBFZ); Leipzig	Leibniz Universität Hannover, Institut für Antriebssysteme und Leistungselektronik (IAL); Hannover
Fachhochschule Bielefeld; Minden	Leibniz Universität Hannover, Institut für Hochfrequenztechnik und Funksysteme (HFT); Hannover
Fachhochschule Dortmund, Fachbereich Architektur; Dortmund	Leibniz Universität Hannover, Institut für Materialien und Bauelemente der Elektronik (MBE); Hannover
Fachhochschule Nordhausen; Nordhausen	Leibniz Universität Hannover, Institut für Mikroelektronische Systeme (IMS); Hannover
Forschungszentrum Jülich GmbH, Projektträger Jülich (PTJ); Jülich	Leibniz Universität Hannover, Institut für Mineralogie; Hannover
Fraunhofer-Center für Silizium-Photovoltaik (CSP); Halle	Leibniz Universität Hannover, Institut für Thermodynamik (IfT); Garbsen
Fraunhofer-Institut für Bauphysik (IBP); Stuttgart	Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB); Braunschweig
Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme (ISE); Freiburg	Technische Universität Chemnitz, Institut für Physik Optik und Photonik kondensierter Materie (OPKM); Chemnitz
Georg-August-Universität Göttingen, IV. Physikalisches Institut; Göttingen	TU Bergakademie Freiberg, Institut für Wärmetechnik und Thermodynamik; Freiberg
Helmholtz-Zentrum Berlin für Materialien und Energie GmbH; Berlin	TU Clausthal, Institut für Elektrische Energietechnik und Energiesysteme; Clausthal-Zellerfeld
Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg (HAW); Hamburg	Universität Kassel, Institut für Thermische Energietechnik, Fachgebiet Solar- und Anlagentechnik; Kassel
Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin (HTW); Berlin	Universität Konstanz, Fachbereich Physik; Konstanz
Hochschule Weserbergland (HSW); Hameln	Universität Stuttgart, Institut für Maschinenelemente (IMA); Stuttgart
Institut für Gebäudeenergetik, Thermotechnik und Energiespeicherung (IGTE); Stuttgart	
International Solar Energy Research Center Konstanz (ISC); Konstanz	
Karlsruher Institut für Technologie; Eggenstein-Leopoldshafen	

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

Ausland/International

- Aalto University; Aalto, Finnland
- Arbeitsgemeinschaft Erneuerbare Energie (AEE); Gleisdorf, Österreich
- Australian National University (ANU); Canberra, Australien
- Austrian Institute of Technology (AIT); Wien, Österreich
- Austrian Research Institute for Chemistry and Technology (OFI); Vienna, Österreich
- Berner Fachhochschule (BHF); Burgdorf, Schweiz
- Case Western Reserve University; Cleveland, USA
- 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
- Fachhochschule Nordwestschweiz; Muttenz, Schweiz
- Institut für Energiesysteme und Fluid-Engineering (IEFE); Winterthur, Schweiz
- Institut für Solartechnik Prüfung Forschung (SPF); Rapperswil, Schweiz
- Institut National de l'Énergie Solaire (CEA INES); Le Bourget-du-Lac, Frankreich
- Institute for Energy Technology (IFE); Kjeller, Norwegen
- Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial Esteban Terradas (INTA); Madrid, Spanien
- Interuniversity Microelectronics Centre (IMEC); Leuven, Belgien
- Joint Research Centre (JRC), European Solar Test Installation (ESTI); Ispra, Italien
- L'Institut PhotoVoltaïque d'Ile-de-France (IPVF); Antony, Frankreich
- Laboratoire national de métrologie et d'essais (LNE); Paris, Frankreich
- Loughborough University; Loughborough, Großbritannien
- National Physical Laboratory (NPL); Teddington, Großbritannien
- National Renewable Energy Laboratory (NREL); Golden, USA
- Netherlands Organisation for Applied Scientific Research (TNO); Den Haag, Niederlande
- Polymer Competence Center Leoben (PCCL) GmbH; Leoben, Österreich
- PV Guider Consultancy; Taipei, Taiwan
- Sandia National Laboratories; Albuquerque, USA
- Scuola universitaria professionale della Svizzera italiana (SUPSI); Canobbio, Schweiz
- SINTEF; Trondheim, Norwegen
- SPF Institut für Solartechnik; Rapperswil, Schweiz
- Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK); Ankara, Türkei
- University of Toronto; Toronto, Kanada
- University of Warwick, School of Engineering; Coventry, Großbritannien
- Univerza V Ljubljana; Ljubljana, Slowenien
- Utrecht University; CS Utrecht, Niederlande

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

Inland/National

3D-Micromac AG; Chemnitz	Energy Glas Glasbeschichtungsgesellschaft mbH & Co. KG; Wolfhagen
3M Deutschland GmbH; Neuss	Flachglas Sachsen GmbH; Grimma
a2 – solar Advanced and Automotive Solar Systems GmbH; Erfurt	FlexxSys GmbH; Freudenberg
Aerial PV Inspection GmbH; Aachen	FOSTA-Forschungsvereinigung Stahlanwendung e.V.; Düsseldorf
AkoTec Produktionsgesellschaft mbH; Angermünde	Fränkische Rohrwerke Gebr. Kirchner GmbH & Co. KG; Königsberg/Bayern
ArcelorMittal Construction Deutschland GmbH; Sanderdorf-Brehna	Franz-Kühnemann Stiftung; Hannover
Architektenkammer Niedersachsen; Hannover	Gemeinnützige Wohnungsbaugenossenschaft Hannover-Ost eG; Hannover
Architektur- und TGA-Planungsbüro Carsten Grobe Passivhaus; Hannover	GeoClimaDesign AG; Fürstenwalde/Spree
ATHE-Therm Heizungstechnik GmbH; Emmerthal	GeoEn Energy Technologies GmbH; Berlin
blue energy systems GmbH; Rösrath	GES Gebäude-Energiesysteme GmbH; Korbußen
Bosch Thermotechnik GmbH; Wettingen	GEWO – Gesellschaft für Wohnen und Bauen mbH; Nordhorn
Bundesverband Flächenheizung u. -kühlung e.V.; Neuenkirchen-Vörden	Gundlach Bau und Immobilien GmbH & Co. KG; Hannover
Bundesverband Wärmepumpe; Berlin	h.a.l.m. elektronik gmbh; Frankfurt am Main
centrotherm international AG; Blaubeuren	hanova WOHNEN GmbH; Hannover
Clima Heiz- und Kühlelemente GmbH; Berlin	Heimkehr Wohnungsgenossenschaft eG; Hannover
Conexio GmbH; Pforzheim	Heraeus Deutschland GmbH & Co. KG; Leverkusen
Consolar Solare Energiesysteme GmbH; Lörrach	iNeG IngenieurNetzwerk Energie eG; Bad Iburg
Continental Automotive GmbH; Regensburg	Ingenieurbüro Fleiß; Springe-Eldagsen
Corona Solar GmbH; Hannover	Ingenieurbüro Mencke & Tegtmeyer GmbH; Hameln
CS Wismar GmbH; Wismar	Innovative WärmeNetze GmbH; Berlin
Eilenburger Fenstertechnik GmbH & Co. KG; Eilenburg	janßen energieplanung; Hannover
elero GmbH; Schlierbach	juwi AG; Wörrstadt
EMPUR Produktions GmbH; Buchholz-Mendt	Kälte-Klima GmbH; Hameln
Energieservice Westfalen-Weser GmbH; Kirchlegern	

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

Klimaschutz- und Energieagentur Niedersachsen GmbH (KEAN);
Hannover

Klimaschutzagentur Weserbergland; Hameln

Konvortec GmbH; Schermbeck

LASEROPTIK GmbH; Garbsen

LuxChemtech GmbH; Freiberg

MBJ Services GmbH; Hamburg

meravis Wohnungsbau & Immobilien GmbH; Hannover

Meyer Burger (Germany) GmbH; Hohenstein-Ernstthal

Narva Lichtquellen GmbH & Co. KG; Brand-Erbisdorf

NexWafe GmbH; Freiburg im Breisgau

NICE Solar Energy GmbH; Schwäbisch Hall

Optimel Schmelzgußtechnik GmbH; Iserlohn

Oventrop GmbH & Co. KG; Olsberg

Oxford PV Germany GmbH; Brandenburg a.d. Havel

PAW GmbH & Co. KG; Hameln

Phönix SonnenWärme AG; Berlin

PI Photovoltaik-Institut Berlin AG; Berlin

PLASUS GmbH; Mering

pro Klima GbR bei der Stadtwerke Hannover AG; Hannover

RESOL – Elektronische Regelungen GmbH; Hattingen

Schlenk Metallfolien GmbH & Co. KG; Roth-Barnsdorf

Schmöle GmbH; Menden

Sika Deutschland GmbH; Bad Urach

SINGULUS TECHNOLOGIES AG; Kahl am Main

SMA Solar Technology AG; Niestetal

Solvis GmbH; Braunschweig

SpaceTech GmbH; Immenstaad

Stiebel Eltron GmbH & Co. KG; Holzminden

SUNOVATION Produktion GmbH; Eisenfeld

Systema Pohl GmbH; Henstedt-Ulzburg

TÜV Rheinland Energie und Umwelt GmbH; Köln

UNIWELL Rohrsysteme GmbH & Co. KG; Ebern

Uponor GmbH; Haßfurt

Vaillant GmbH; Remscheid

Viega Technology GmbH & Co. KG; Attendorn

Viessmann Werke GmbH & Co. KG; Allendorf

Wacker Chemie AG; Burghausen

WärmePlan; Hainewalde

Wavelabs Solar Metrology Systems GmbH; Leipzig

who Ingenieurgesellschaft mbH; Lübeck

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

Ausland/International

Apollon Solar; Saint-Priest, Frankreich

Applied Materials Italia, Srl.; San Biagio di Callalta, Italien

Eternal Sun Group; Den Haag, Niederlande

Ion Beam Services; Peynier, Frankreich

ISSOL S.A.; Dison (Liège), Belgien

Meyer Burger AG; Thun, Schweiz

Protech; Vilnius, Litauen

Sinton Instruments; Boulder, USA

SoliTek Cells JSC; Vilnius, Litauen

TECNAN – NANOMAT; Los Arcos, Spanien

Ulbrich of Austria GmbH; Müllendorf, Österreich

Valoe Oyj; Mikkeli, Finnland

VOLTEC solar; Dinsheim-sur-Bruche, 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

Global Solar Certification Network (<https://gscn.solar/members/members.html>)

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

Pandemiebedingt fanden am ISFH keinerlei Präsenz-Kolloquien statt.

Due to the pandemic, no face-to-face colloquia were held at the ISFH.

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.: Fachausschuss: Hochfrequenz und Optik im Deutschen Kalibrierdienst (DKD); Mitglied

Bothe K.: Fachausschuss: Messunsicherheit im Deutschen Kalibrierdienst (DKD); Mitglied

Bothe K.: PV Materials Committee of SEMI Standards Europe; Mitglied

Bothe K.: Silicon Wafer Committee of SEMI Standards Europe; Mitglied

Bothe K.: Working Group 8: PV Cell of the Technical Committee 82 of the International Electrotechnical Commission (IEC); Mitglied

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

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

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

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

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

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

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

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

Brendel R.: „Masterplan 100% Klimaschutz“ der Landkreise Hameln-Pyrmont, Holz Minden und Schaumburg und der Klimaschutzagentur Weserbergland; Beirat

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

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

Giovannetti F.: Arbeitsgruppe Energieversorgung Region Hannover; Mitglied

Giovannetti F.: BSW, Fachgruppe Markt und Wirtschaftlichkeit und Fachgruppe Prozesswärme; Mitglied

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

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

Giovannetti F.: Symposium Thermische Solarenergie (OTTI), Bad Staffelstein; Mitglied des Tagungsbeirates

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

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

Köntges M.: PV Module Forum 2020; Mitglied des Tagungsbeirates

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

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

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

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

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

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

Lampe C.: Global Solar Certification Network; Mitglied

Mitarbeit in Fachgremien/Membership in professional bodies

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

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

Ohrdes T.: Forschungsnetzwerk Energiewendebauen des BMWi; Mitglied

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

Schmidt J.: European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition; Member of the Executive Committee

Schmidt J.: IEEE Journal of Photovoltaics; Editor

Schmidt J.: Institut für Festkörperphysik, Fakultät für Mathematik und Physik, Leibniz Universität Hannover; Vorstand

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

Schmidt J.: nPV Workshop; Member of the Executive Committee

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

Ausstellungen & Fachtagungen/Fairs & congresses

IEA PVPS Task 13 – Performance, Operation and Reliability of Photovoltaic Systems, Online Event, 10.9.2020; Mitorganisator

SiliconFOREST (Fortschritte in der Entwicklung von Solarzellen-Strukturen und -Technologien), Falkau, 2.-4.3.2020; Mitorganisator

Veröffentlichungen in referierten Zeitschriften/Peer-reviewed publications

Dullweber T., Stöhr M., Kruse C., Haase F., Rudolph M., Beier B., Jäger P., Mertens V., Peibst R., Brendel R.: Evolutionary PERC+ solar cell efficiency projection towards 24 % evaluating shadow-mask-deposited poly-Si fingers below the Ag front contact as next improvement step. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 212, 110586, 10.1016/j.solmat.2020.110586, (2020)

Gharibzadeh S., Hossain I.M., Fassel P., Nejjand B.A., Abzieher T., Schultes M., Ahlswede E., Jackson P., Powalla M., Schäfer S., Rienäcker M., Wietler T., Peibst R., Lemmer U., Richards B.S., Paetzold U.W.: 2D/3D Heterostructure for Semitransparent Perovskite Solar Cells with Engineered Bandgap Enables Efficiencies Exceeding 25 % in Four-Terminal Tandems with Silicon and CIGS. *Advanced Functional Materials*, 30 (19), 1909919, 10.1002/adfm.201909919, (2020)

Hollemann C., Haase F., Rienäcker M., Barnscheidt V., Krügener J., Folchert N., Brendel R., Richter S., Großer S., Sauter E., Hübner J., Oestreich M., Peibst R.: Separating the two polarities of the POLO contacts of an 26.1%-efficient IBC solar cell. *Scientific Reports*, 10 (1), 658, 10.1038/s41598-019-57310-0, (2020)

Hossain I.M., Donie Y.J., Schmager R., Abdelkhalik M.S., Rienäcker M., Wietler T.F., Peibst R., Karabanov A., Schwenzer J.A., Moghadamzadeh S., Lemmer U., Richards B.S., Gomard G., Paetzold U.W.: Nanostructured front electrodes for perovskite/c-Si tandem photovoltaics. *Opt. Express*, 28 (6), 8878-8897, 10.1364/OE.382253, (2020)

Köntges M., Morlier A., Eder G., Fleiß E., Kubicek B., Lin J.: Review: Ultraviolet Fluorescence as Assessment Tool for Photovoltaic Modules. *IEEE Journal of Photovoltaics*, 10 (2), 616-633, 10.1109/JPHOTOV.2019.2961781, (2020)

Larionova Y., Schulte-Huxel H., Min B., Schäfer S., Kluge T., Mehlich H., Brendel R., Peibst R.: Ultra-Thin Poly-Si Layers: Passivation Quality, Utilization of Charge Carriers Generated in the Poly-Si and Application on Screen-Printed Double-Side Contacted Polycrystalline Si on Oxide Cells. *Solar RRL*, 4 (10), 2000177, 10.1002/solr.202000177, (2020)

Müller M., Wolpensinger B., Min B., Fischer G., Palinginis P., Neuhaus D.H.: Impact of Local Back-Surface-Field Thickness on Open-Circuit Voltage in PERC Solar Cells: An Experimental Study Applying ANOVA to Determine Critical Sample Size Necessary to Differentiate Mean LBSF Values With Statistical Significance. *IEEE Journal of Photovoltaics*, 10 (6), 1642-1647, 10.1109/JPHOTOV.2020.3026978, (2020)

Veröffentlichungen in referierten Zeitschriften/Peer-reviewed publications

Peibst R., Kruse C., Schäfer S., Mertens V., Bordihn S., Dullweber T., Haase F., Hollemann C., Lim B., Min B., Niepelt R., Schulte-Huxel H., Brendel R.: *For none, one, or two polarities – How do POLO junctions fit best into industrial Si solar cells?* Progress in Photovoltaics: Research and Applications, 28 (6), 503-516, 10.1002/pip.3201, (2020)

Ridder D., Yesim T., Hachul H., Weiland F., Kirchner M., Giovannetti F.: *Energetisch aktivierte Stahlsandwichenelemente mit Mineralfaserkern.* Stahlbau, 6, 504-601, (2020)

Schinke C., Pollex H., Hinken D., Wolf M., Bothe K., Kroeger I., Nevas S., Winter S.: *Calibrating spectrometers for measurements of the spectral irradiance caused by solar radiation.* Metrologia, 57 (6), 065027, 10.1088/1681-7575/abafc5, (2020)

Schmidt J., Bothe K., Voronkov V.V., Falster R.: *Fast and Slow Stages of Lifetime Degradation by Boron-Oxygen Centers in Crystalline Silicon.* physica status solidi (b), 257 (1), 1900167, 10.1002/pssb.201900167, (2020)

Schnabel M., Schulte-Huxel H., Rienäcker M., Warren E.L., Ndione P.F., Nemeth B., Klein T.R., van Hest M.F.A.M., Geisz J.F., Peibst R., Stradins P., Tamboli A.C.: *Three-terminal III-V/Si tandem solar cells enabled by a transparent conductive adhesive.* Sustainable Energy Fuels, 4 (2), 549-558, 10.1039/C9SE00893D, (2020)

Warren E.L., McMahon W.E., Rienäcker M., VanSant K.T., Whitehead R.C., Peibst R., Tamboli A.C.: *A Taxonomy for Three-Terminal Tandem Solar Cells.* ACS Energy Letters, 5 (4), 1233-1242, 10.1021/acseenergylett.0c00068, (2020)

Werner F., Veith-Wolf B., Melchiorre M., Babbe F., Schmidt J., Siebentritt S.: *Ultra-thin passivation layers in Cu(In,Ga)Se₂ thin-film solar cells: full-area passivated front contacts and their impact on bulk doping.* Scientific Reports, 10 (1), 7530, 10.1038/s41598-020-64448-9, (2020)

Werner F., Veith-Wolf B., Spindler C., Barget M.R., Babbe F., Guillot J., Schmidt J., Siebentritt S.: *Oxidation as Key Mechanism for Efficient Interface Passivation in Cu(In,Ga)Se₂ Thin-Film Solar Cells.* Phys. Rev. Applied, 13 (5), 054004, 10.1103/PhysRevApplied.13.054004, (2020)

Wilson G.M., Al-Jassim M.M., Metzger W.K., Glunz S.W., Verlinden P., Gang X., Mansfield L.M., Stanbery B.J., Zhu K., Yan Y., Berry J.J., Ptak A.J., Dimroth F., Kayes B.M., Tamboli A.C., Peibst R., Catchpole K.R., Reese M., Klinga C., Denholm P., Morjaria M., Deceglie M.G., Freeman J.M., Mikofski M.A., Jordan D.C., TamizhMani G., Sulas D.B.: *The 2020 Photovoltaic Technologies Roadmap.* Journal of Physics D: Applied Physics, 53 (49), 493001, 10.1088/1361-6463/ab9c6a, (2020)

Winter M., Bordihn S., Peibst R., Brendel R., Schmidt J.: *Degradation and Regeneration of n⁺-Doped Poly-Si Surface Passivation on p-Type and n-Type Cz-Si Under Illumination and Dark Annealing.* IEEE Journal of Photovoltaics, 10 (2), 423-430, 10.1109/JPHOTOV.2020.2964987, (2020)

Witteck R., Siebert M., Blankemeyer S., Schulte-Huxel H., Köntges M.: *Three Bypass Diodes Architecture at the Limit.* IEEE Journal of Photovoltaics, 10 (6), 1828-1838, 10.1109/JPHOTOV.2020.3021348, (2020)

Andere Veröffentlichungen/Other publications

Becker C., Albrecht S., Glunz S., Kajari-Schröder S., Wolter S., Colsmann A., Paetzold U.W., Dyakonov V., Ahlswede E., Powalla M.: *Tandemsolarzellen mit Perowskiten – Die neuen Stars der Photovoltaik.* Energy Research for Future – Forschung für die Herausforderungen der Energiewende (Themen 2019), FVEE, 42-46, Berlin, (04/2020)

Bothe K., Kruse C., Hinken D., Brendel R., Rauer M., Hohl-Ebinger J.: *Contacting of Busbarless Solar Cells for Accurate I-V Measurements.* Proceedings of the 37th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, WIP, 277-281, 10.4229/EUPVSEC20202020-2CO.15.2, (10/2020)

Böttger D., Wittwer C., Dotzauer M., Gils H.C., Brendel R., Niepelt R., Linßen J., Robinius M., Fuss M., Brown T.: *Der Stromsektor als Rückgrat der zukünftigen Energieversorgung.* Energy Research for Future – Forschung für die Herausforderungen der Energiewende (Themen 2019), FVEE, 15-18, Berlin, (04/2020)

Büttner B., Lenz V., Krause M., Bueno B., Kuhn T., Giovannetti F., Knoop M., Kotzur L., Robinius M., Rongstock R.: *Potenzielle im Gebäudesektor für effiziente Energieverwendung.* Energy Research for Future – Forschung für die Herausforderungen der Energiewende (Themen 2019), FVEE, 87-93, Berlin, (04/2020)

Andere Veröffentlichungen/Other publications

David L., Hübner S., Min B., Hollemann C., Dippell T., Wohlfart P., Peibst R., Brendel R.: *Fired-Only Passivating Poly-Si on Oxide Contacts with DC-Sputtered In-Situ Phosphorous-Doped Silicon Layers*. Proceedings of the 37th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, WIP, 184-187, 10.4229/EUPVSEC20202020-2BO.1.3, (10/2020)

Gewohn T., Koopmeiners M., Vogt M.R., Lim B., Schinke C., Brendel R.: *Outdoor Testing Facility for an Experimental Validation of Yield Predictions for Building-Integrated Photovoltaic Modules*. Proceedings of the 37th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, WIP, 1915-1919, 10.4229/EUPVSEC20202020-6CV.2.16, (10/2020)

Gewohn T., Vogt M.R., Lim B., Schinke C., Brendel R.: *Customization of Photovoltaic Modules' Appearance by Colored Textiles (COTEX)*. Proceedings of the 37th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, WIP, 1734-1737, 10.4229/EUPVSEC20202020-6DO.12.3, (10/2020)

Giovanetti F., Lampe C., Kirchner M., Littwin M., Asenbeck S., Fische S.: *Experimental Investigations on Photovoltaic-Thermal Arrays Designed for the Use as Heat Pump Source*. Proceedings ISES Solar World Congress 2019/IEA SHC International Conference on Solar Heating and Cooling for Buildings and Industry 2019, ISES, 177-188, 10.18086/swc.2019.05.03, Santiago, Chile, (2020)

Helmling S., Kramer K., Fischer S., Drück H., Pärish P., Giovanetti F., Epp B.: *Initiative zur Marketablerung und Verbreitung von Anlagen zur thermisch-elektrischen Energieversorgung mittels PVT-Kollektoren und Wärmepumpen im Gebäudesektor – integraTE*. Tagungsunterlagen 30. Symposium Solarthermie und Innovative Wärmesysteme, Conexio GmbH, 257, (05/2020)

Jäger P., Mertens V., Baumann U., Dullweber T.: *An Advanced Chemical Model for the Phosphorus Diffusion During Emitter Formation of Industrial Silicon Solar Cells*. Proceedings of the 37th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, WIP, 208-213, 10.4229/EUPVSEC20202020-2BO.2.6, (10/2020)

Koutsourakis G., Rauer M., Schmid A., Bellenda G., Betts T.R., Blakesley J.C., Bliss M., Castro J.B., Bothe K., Dittmann S., Lopez-Garcia J., Herrmann W., Hinken D., Kenny R.P., Molinero R.R., Pavanello D., Riechelmann S., Sträter H., Vegas A., Winter S.: *Results of the Bifacial PV Cells and PV Modules Power Measurement Round Robin Activity of the PV-Enerate Project*. Proceedings of the 37th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, WIP, 877-882, 10.4229/EUPVSEC20202020-4CO.2.2, (10/2020)

Lim B., Wietler T., Schlatmann R., Stannowski B., Würfel U., Ding K., Paetzold U.W.: *Wege zur Industrialisierung von c-Si/Perowskit-Tandemsolarzellen*. Energy Research for Future – Forschung für die Herausforderungen der Energiewende (Themen 2019), FVEE, 47-50, Berlin, (04/2020)

Littwin M., Baumgartner F.P., Biba C., French R.H., Gfeller D., Green M., Messner C., Muntwyler U., Riley D., Rivola D., Schott T., Stein J.S., Trommsdorff M., van Sark W.G.J.H.M., Köntges M., Ohrdes T., Brendel R.: *Performance of New Photovoltaic System Designs IEA PVPS Task 13 Subtask 1.3*. Proceedings of the 37th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, WIP, 1208-1220, 10.4229/EUPVSEC20202020-5CP.1.5, (10/2020)

Littwin M., Chhugani B., Lampe C., Kirchner M., Giovanetti F., Pärish P.: *PVT-Systeme: Hardware-in-the-loop Tests und TRNSYS Jahressimulationen*. Tagungsunterlagen 30. Symposium Solarthermie und Innovative Wärmesysteme, Conexio GmbH, 67-79, (05/2020)

Mercker O., Büchner D., Pärish P.: *Einzelraumfeuerstätten als vernachlässigte Option zur Strom- und/oder Gasnetzstabilisierung*. Tagungsunterlagen 30. Symposium Solarthermie und Innovative Wärmesysteme, Conexio GmbH, 549-550, (05/2020)

Mercker O., Pärish P., Büchner D.: *Simulationsstudie zum Potenzial netzdienlicher Betriebsweisen von Biomasse-Einzelraumfeuerstätten in TRNSYS-Methodik, Randbedingungen und Modelle*. Tagungsband 3. Regenerative Energietechnik Konferenz in Nordhausen, Hochschule Nordhausen, 20-31, Nordhausen, (2020)

Min B., Merkle A., Brendemühl T., Wehmeier N., Larionova Y., Beier B., David L., Schulte-Huxel H., Dullweber T., Peibst R., Brendel R.: *POLO Back Junction: An Elegant Way to Implement Electron-Collecting Passivating Contacts in p-Type Industrial Silicon Solar Cells*. Proceedings of the 37th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, WIP, 170-172, 10.4229/EUPVSEC20202020-2AO.6.4, (10/2020)

Niepelt R., Brendel R.: *Erneuerbarer Wasserstoff mit Solar-Wind-Hybridkraftwerken*. gwf Gas+Energie – 07-08 2020, (08/2020)

Ohrdes T., Knoop M., Schneider E.: *Energieversorgung mit Wärmepumpen im Quartier*. EnEV Baupraxis Ausgabe Januar/Februar 2020, (02/2020)

Ohrdes T., Knoop M., Schneider E., Fries A.-K., Bast O., Franzen L., Behnisch J.: *Wind-Solar-Wärmepumpen-Quartier – Erneuerbar betriebene Wärmepumpen zur Minimierung des Primärenergiebedarfs*. Tagungsband 3. Regenerative Energietechnik Konferenz in Nordhausen, Hochschule Nordhausen, 181-187, Nordhausen, (02/2020)

Andere Veröffentlichungen/Other publications

Pärisch P., Büttner C., Keuler J., Chhugani B., Lampe C.: *Waru-großer Trinkwasserinstallationen?* Tagungsunterlagen 30. Symposium Solarthermie und Innovative Wärmesysteme, Conexio GmbH, 533-548, (05/2020)

Pärisch P., van der Veer N., Kirchner M., Giovannetti F., Lampe C.: *Comfort Assessment of Tankless Water Heaters: Review and Suggestions.* Proceedings ISES Solar World Congress 2019/IEA SHC International Conference on Solar Heating and Cooling for Buildings and Industry 2019, ISES, 246-257, Santiago, Chile, (2020)

Pernau T., Derricks C., Hahn G., Helmich L., Herguth A., Schmidt J., Walter D.: *Upgrade Technologies for Silicon Photovoltaics – Part I: Industrial Solution to Minimize the Negative Impact of Light Induced Degradation.* Proceedings of the 37th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, WIP, 414-417, 10.4229/EUPVSEC20202020-2CV.1.57, (10/2020)

Schäfer S., Mercker A., Mertens V., Neubert T., Köhler A., Mettner L., Brendel R., Peibst R.: *Laser-induced modification of doped poly-Si surface for Si solar cells with structured passivated contacts.* Proceedings of the 37th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, WIP, 482-486, 10.4229/EUPVSEC20202020-2DV.3.5, (10/2020)

Schiebler B., Schumann J., Giovannetti F., Jack S.: *Experimentelle Bewertung von stagnationssicheren Flachkollektoren mit Wärmerohren zur solaren Trinkwarmwasserbereitung in Thermosiphonsystemen.* Tagungsunterlagen 30. Symposium Solarthermie und Innovative Wärmesysteme, Conexio GmbH, 520-532, (05/2020)

Schiebler B., Weiland F., Giovannetti F., Kastner O., Jack S.: *Improved flat plate collector with heat pipes for overheating prevention in solar thermal systems.* Proceedings ISES Solar World Congress 2019/IEA SHC International Conference on Solar Heating and Cooling for Buildings and Industry 2019, ISES, 61-72, 10.18086/swc.2019.01.08, Santiago, Chile, (2020)

Schumann J., Schiebler B., Giovannetti F.: *Bewertung verschiedener Rückseitenreflektoren in stagnationssicheren Vakuumröhrenkollektoren.* Tagungsunterlagen 30. Symposium Solarthermie und Innovative Wärmesysteme, Conexio GmbH, 449-465, (05/2020)

Stöhr M., Beier B., Aprojanz J., Vogt A., Ambrosius N., Brendel R., Dullweber T.: *PECVD Shadow Mask Deposition of Amorphous Silicon – a Shortcut to Local Passivating Contacts.* Proceedings of the 37th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, WIP, 521-524, 10.4229/EUPVSEC20202020-2DV.3.21, (10/2020)

Szarka N., Dotzauer M., Liebetrau J., Hahn A., Mauky E., Schmid C., Krautkremer B., Mercker O., Matschoss P., Dahmen N., Steubing M., Thrän D., Arnold K.: *Bioenergie – intelligenter Baustein für ein nachhaltiges Energiesystem.* Energy Research for Future – Forschung für die Herausforderungen der Energiewende (Themen 2019), FVEE, 56-60, Berlin, (04/2020)

Vogt M.R., Riechelmann S., Amillo A.M.G., Driesse A., Kokka A., Maham K., Kärhä P., Kenny R.P., Schinke C., Bothe K., Blakesley J.C., Music E., Plag F., Friesen G., Corbellini G., Riedel-Lyngskær N., Valckenborg R.M.E., Schweiger M., Herrmann W.: *Interlaboratory Comparison of the PV Module Energy Rating Standard IEC 61853-3.* Proceedings of the 37th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, WIP, 811-815, 10.4229/EUPVSEC20202020-4BO.13.2, (10/2020)

Walter D.C., Bredemeier D., Falster R., Voronkov V.V., Schmidt J.: *Disappearance of Hydrogen-Boron-Pairs in Silicon during Illumination and Its Relevance to Lifetime Degradation and Regeneration Effects in Solar Cells.* Proceedings of the 37th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, WIP, 140-144, 10.4229/EUPVSEC20202020-2AO.5.1, (10/2020)

Weiland F., Kirchner M., Hüsing F., Giovannetti F.: *Solare Stahl-Sandwichelemente im Industrie- und Gewerbebau: Systemsimulationen zur Potentialanalyse.* Tagungsunterlagen 30. Symposium Solarthermie und Innovative Wärmesysteme, Conexio GmbH, 421-434, (05/2020)

Wern B., Lenz V., Sperber E., Saadat A., Schmidt D., Engelmann P., Hering D., Xhonneux A., Giovannetti F., Schmidt F., Jordan M., Strunz S., Ebert H.-P.: *Wärmebereitstellung in Privathaushalten – Lösungen für eine CO₂-freie Energiebereitstellung.* Energy Research for Future – Forschung für die Herausforderungen der Energiewende (Themen 2019), FVEE, 28-32, Berlin, (04/2020)

Winter M., Helmich L., Walter D.C., Schmidt J.: *Firing-Triggered LID (FT-LID) of the Carrier Lifetime in Cz-Si.* Proceedings of the 37th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, WIP, 462-467, 10.4229/EUPVSEC20202020-2DV.2.15, (10/2020)

Wirth H., Vehse M., Rau B., Peibst R., Colsmann A., Stephan A., Lechner P.: *Integrierte Photovoltaik – Aktive Flächen für die Energiewende.* Energy Research for Future – Forschung für die Herausforderungen der Energiewende (Themen 2019), FVEE, 37-41, Berlin, (04/2020)

Vorträge/Presentations

Bett A., Krugel G., Brödner R., O'Sullivan M., Gils H.C., Wenske J., Hauch J., Schlatmann R., Lim B., Püttner A.: *Erneuerbare Energie – Chancen einer industriellen Wertschöpfung in Europa*. FVEE-Jahrestagung 2020 – Forschung für den European Green Deal, FVEE, Online Event, (2.-4.11.2020)

Bothe K., Kruse C., Hinken D.: *Contacting of Busbarless Solar Cells for Accurate I-V Measurements*. 37th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, WIP, Online Event, (7.-10.9.2020)

Brendel R., Niepelt R., Bredemeier D., Pärish P.: *Niedersachsen in die Sonne: Die Solarenergie in der Energiewende*. 3. Niedersächsisches Forum Solarenergie, efzn, Online Event, (24.6.2020)

Chhugani B.: *Investigation of photovoltaic-thermal (PVT) collector for direct coupling with heat pumps: hardware in the loop (HIL) and TRNSYS simulations*. BauSIM2020, TU Graz, Online Event, (23.-25.9.2020)

Chhugani B.: *Model Validation and Performance Assessment of a Novel Unglazed Photovoltaic-Thermal Collector with Heat Pump Systems*. EuroSun 2020 – 13th International Conference on Solar Energy for Buildings and Industry, ISES, Online Event, (1.-3.9.2020)

David L., Hübner S., Min B., Hollemann C., Dippell T., Wohlfart P., Peibst R., Brendel R.: *Fired-Only Passivating Poly-Si on Oxide Contacts with DC-Sputtered In-Situ Phosphorous-Doped Silicon Layers*. 37th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, WIP, Online Event, (7.-10.9.2020)

Denafas J., Lukinskas P., Radavicčius T., Petreniene L., Ulbikas J., Witteck R., Köntges M., Gutierrez J.C., Cordon J., Carrère T., Einhaus R., Rühle U., Bolt P.J., Roosen-Melsen D., van den Bruele F.J., Ulyashin A.G., Haarberg T., Palitzsch W., LaPointe N., Weiss I.: *Super PV Project – Support Cost-Reduction of the PV System through Innovative Technologies on PV Module Level*. 37th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, WIP, Online Event, (7.-10.9.2020)

Ding K., Grube T., Hauch J., Henze N., Heinrich M., Schlatmann R., Peibst R., Colsmann A., Binder J.: *Photovoltaik für den Straßenverkehr im Energiesystem der Zukunft*. FVEE-Jahrestagung 2020 – Forschung für den European Green Deal, FVEE, Online Event, (2.-4.11.2020)

Eggert D.: *Solarthermie – Einsatz in der Wohnungswirtschaft*. Energiewende in der Wohnungswirtschaft, Magdeburg, (6.-7.10.2020)

Gewohn T., Koopmeiners M., Vogt M.R., Lim B., Schinke C., Brendel R.: *Outdoor Testing Facility for an Experimental Validation of Yield Predictions for Building-Integrated Photovoltaic Modules*. 37th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, WIP, Online Event, (7.-10.9.2020)

Gewohn T., Vogt M.R., Lim B., Schinke C., Brendel R.: *Customization of BIPV Modules' Appearance by Colored Textiles (CoTex) and Their Digital Prototypes*. 37th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, WIP, Online Event, (7.-10.9.2020)

Gharibzadeh S., Hossain I.M., Fassel P., Mertens A., Schäfer S., Rienacker M., Wietler T., Peibst R., Lemmer U., Richards B.S., Paetzold U.W.: *2D Surface Passivation in Semi-transparent Perovskite Top Solar Cells with Engineered Bandgap for Tandem Photovoltaics*. IEEE 47th PVSC Virtual Meeting, IEEE, Online Event, (15.6.-21.8.2020)

Giovannetti F., Hüsing F., Büchner D., Gebhardt H., Schmidt D., Bongs C., Schnabel L., Noll F., Schill E., Schmidt F., Jordan M., Schüwer D., Büttner B., Hauer A.: *Solar- und Umweltenergie für effiziente Wärme- und Kälteerzeugung*. FVEE-Jahrestagung 2020 – Forschung für den European Green Deal, FVEE, Online Event, (2.-4.11.2020)

Haase F.: *What's behind the high potential of passivated contact solar cells?* TaiyangNews, Online Event, (9.6.2020)

Haase F., Min B., Hollemann C., Krügener J., Brendel R., Peibst R.: *Fully Screen-Printed Silicon Solar Cells with Local Al-BSF Base Contact and a Voc of 711mV*. 37th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, WIP, Online Event, (7.-10.9.2020)

Helmling S., Pärish P.: *Initiative zur Marktetablierung und Verbreitung von Anlagen zur thermisch-elektrischen Energieversorgung mittels PVT-Kollektoren und Wärmepumpen im Gebäudesektor – integraTE*. 30. Symposium Solarthermie und Innovative Wärmesysteme, Conexio GmbH, Online Symposium, (12.-14.5.2020)

Hinken D.: *Eignungsprüfung für Referenz-Strahlungssensoren für den Einsatz gemäß IEC 61724-1*. Webinarreihe des PV-Symposium 2020, Conexio GmbH, Online Symposium, (7.5.2020)

Hollemann C., Haase F., Krügener J., Brendel R., Peibst R.: *Firing stability of n-type poly Si on oxide junctions*. IEEE 47th PVSC Virtual Meeting, IEEE, Online Event, (15.6.-21.8.2020)

Hossain I.M., Gharibzadeh S., Fassel P., Mertens A., Schäfer S., Rienacker M., Wietler T., Peibst R., Lemmer U., Richards B.S., Paetzold U.W.: *2D Surface Passivation for Semi-Transparent Perovskite Solar Cells with Engineered Bandgap for 4T Tandem Photovoltaics*. 37th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, WIP, Online Event, (7.-10.9.2020)

Hüsing F.: *Modelling of Inverter Heat Pumps in TRNSYS*. EuroSun 2020 – 13th International Conference on Solar Energy for Buildings and Industry, ISES, Online Event, (1.-3.9.2020)

Vorträge/Presentations

Jäger P., Mertens V., Baumann U., Dullweber T.: *Advanced Chemical Model for the Diffusion Mechanism of Phosphorus into the Silicon Wafer during POCl₃ Diffusion*. 37th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, WIP, Online Event, (7.-10.9.2020)

Kajari-Schröder S.: *Better in tandem – upgrading silicon solar cells with perovskites*. NanoDay 2020, Laboratorium für Nano- und Quantenengineering (LNQE), Online Event, (7.10.2020)

Koduvelikulathu L.J., Lossen J., Adrian A., Rudolph D., Peng Z.-W., Chaudhary A., Harney R., Troeller M., Piechulla A., Nguyen V.X., Seiffert D., Pernau T., Haverkamp H., Haase F., Peibst R.: *An Industrial Feasible n⁺ Poly-Si-IBC Screen Printed Solar Cell with 702 mV Voc on Large Area p-Type Substrates*. 37th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, WIP, Online Event, (7.-10.9.2020)

Kornatz P., Daniel-Gromke J., Thrän D., Krautkremer B., Mercker O., Laub K., Matschoss P., Dahmen N., Rösch C., Musonda F.: *Bioenergie als intelligenter Baustein für ein nachhaltiges europäisches Energiesystem*. FVEE-Jahrestagung 2020 – Forschung für den European Green Deal, FVEE, Online Event, (2.-4.11.2020)

Koutsourakis G., Rauer M., Schmid A., Bellenda G., Betts T.R., Blakesley J.C., Bliss M., Castro J.B., Bothe K., Dittmann S., Lopez-Garcia J., Herrmann W., Hinken D., Kenny R.P., Molinero R.R., Pavanello D., Riechelmann S., Sträter H., Vegas A., Winter S.: *Results of the Bifacial PV Cell and PV Module Power Measurement Round Robin Activity of the PV-Enerate Project*. 37th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, WIP, Online Event, (7.-10.9.2020)

Leibfried U., Littwin M.: *PVT-Kollektoren mit Wärmepumpe für Heizen und Kühlen: Hardware-in-the-loop Tests, Jahressimulationen und Feldergebnisse*. 30. Symposium Solarthermie und Innovative Wärmesysteme, Conexio GmbH, Online Symposium, (12.-14.5.2020)

Leipprand A., Lenz V., Thrän D., Lorenz T., Nitz P., Dahmen M., Robinius M., Niepelt R., Dittmeyer R., Stapf D., Pitz-Paal R., Jordan M.: *Auf dem Weg zur klimaneutralen Industrie – Herausforderungen und Strategien*. FVEE-Jahrestagung 2020 – Forschung für den European Green Deal, FVEE, Online Event, (2.-4.11.2020)

Lim B.: *Form, color, function: R&D aspects of VIPV module technology*. ETIP-PV Virtual Conference: I3PV – Integrated, Innovative, Intelligent, ETIP PV, Online Event, (18.-19.11.2020)

Littwin M.: *Using a Dynamic System Model to Characterize a Complex PV System*. Performance of New Photovoltaic System Concepts and Designs – Parallel Event at 37th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, International Energy Agency Photovoltaic Power Systems Programme (IEA PVPS) – IEA PVPS Task 13, Online Event, (10.9.2020)

Littwin M., Baumgartner F.P., Biba C., Farnung B., French R.H., Gfeller D., Green M., Jahn U., Messner C., Muntwyler U., Riley D., Rivola D., Schott T., Stein J.S., Trommsdorff M., van Sark W.G.J.H.M., Köntges M., Ohrdes T., Giovannetti F.: *Performance of New Photovoltaic System Designs – IEA PVPS Task 13 Subtask 1.3*. 37th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, WIP, Online Event, (7.-10.9.2020)

Manara J., Büttner B., Rau B., Herkel S., Chhugani B., Hoffmann P., Schmidt F.: *Energieeffizienz – Europäische Erfolgsmodelle*. FVEE-Jahrestagung 2020 – Forschung für den European Green Deal, FVEE, Online Event, (2.-4.11.2020)

McMahon W.E., Schulte-Huxel H., Buencuerpo J., Young M.S., Klein T.R., Geisz J.F., Tamboli A.C., Warren E.L.: *Voltage-Matched Strings using 3-Terminal Tandems: Fundamentals and End Losses*. IEEE 47th PVSC Virtual Meeting, IEEE, Online Event, (15.6.-21.8.2020)

Mercker O.: *Einzelraumfeuerstätten als vernachlässigte Option zur Strom- und/oder Gasnetzstabilisierung*. 30. Symposium Solarthermie und Innovative Wärmesysteme, Conexio GmbH, Online Symposium, (12.-14.5.2020)

Mercker O.: *Wärmetransport via Innentüren und Fensterlüftung am Beispiel eines Einfamilienhauses mit Einzelraumfeuerung in TRNSYS*. BauSIM2020, TU Graz, Online Event, (23.-25.9.2020)

Mercker O., Pärtsch P., Büchner D.: *Simulationsstudie zum Potenzial netzdienlicher Betriebsweisen von Biomasse-Einzelraumfeuerstätten in TRNSYS-Methodik, Randbedingungen und Modelle*. 3. Regenerative Energietechnik Konferenz (RET.Con), Hochschule Nordhausen, Nordhausen, (13.-14.2.2020)

Min B., Merkle A., Brendemühl T., Wehmeier N., Larionova Y., Beier B., David L., Schulte-Huxel H., Dullweber T., Peibst R., Brendel R.: *POLO Back Junction: An Elegant Way to Implement Electron-Collecting Passivating Contacts in p-Type Industrial Silicon Solar Cells*. 37th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, WIP, Online Event, (7.-10.9.2020)

Moldovan A., Ding K., Rau U., Korte L., Peibst R.: *Hocheffiziente Solarzellen durch selektive Kontakte*. FVEE-Jahrestagung 2020 – Forschung für den European Green Deal, FVEE, Online Event, (2.-4.11.2020)

Ohrdes T.: *Erneuerbare Energieversorgung von Quartieren*. Ringvorlesung „Transformation des Energiesystems 2050“, Leibniz Universität Hannover, Online Event, (24.6.2020)

Ohrdes T.: *Wind-Solar-Wärmepumpen-Quartier – Erneuerbar betriebene Wärmepumpen zur Minimierung des Primärenergiebedarfs*. Online-PV-Symposium 2020, Conexio GmbH, Online Event, (1.-2.9.2020)

Vorträge/Presentations

Ohrdes T.: *WPuQ – Wind-Solar-Wärmepumpen-Quartier*. 8. Projektleitertreffen Energiewendebauen, Online Meeting, (14.-15.5.2020)

Ohrdes T., Knoop M., Schneider E., Fries A.-K., Bast O., Franzen L., Behnisch J.: *Wind-Solar-Wärmepumpen-Quartier – Erneuerbar betriebene Wärmepumpen zur Minimierung des Primärenergiebedarfs*. 3. Regenerative Energietechnik Konferenz (RET.Con), Hochschule Nordhausen, Nordhausen, (13.-14.2.2020)

Oreski G., Barretta C., Castillon L., Christöfl P., Köntges M.: *Importance of BOM Control and IEC 61215 Scope of Application*. 37th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, WIP, Online Event, (7.-10.9.2020)

Pärisch P.: *Parameter Study of Four Different Instantaneous Water Heaters in a Solar Assisted Multi-Family House with TRNSYS*. EuroSun 2020 – 13th International Conference on Solar Energy for Buildings and Industry, ISES, Online Event, (1.-3.9.2020)

Pärisch P.: *Status quo Solarthermie – Ertragskontrolle und neueste Entwicklungen*. Workshop „Klimaneutraler Gebäudebestand durch Pauschalmitiete?“, Cottbus, (28.8.2020)

Pärisch P.: *Warum sind Frischwasserstationen wichtig für die Dekarbonisierung großer Trinkwasserinstallationen?* 30. Symposium Solarthermie und Innovative Wärmesysteme, Conexio GmbH, Online Symposium, (12.-14.5.2020)

Pärisch P., Chhugani B.: *Initiative zur Marktetablierung und Verbreitung von Anlagen zur thermisch-elektrischen Energieversorgung mittels PVT-Kollektoren und Wärmepumpen im Gebäudesektor – integraTE*. 3. Projektforum EnEff.Gebäude.2050, Online Meeting, (17.6.2020)

Pernau T., Derricks C., Hahn G., Helmich L., Herguth A., Schmidt J., Walter D.: *Upgrade Technologies for Silicon Photovoltaics – Part I: Industrial Solution to Minimize the Negative Impact of Light Induced Degradation*. 37th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, WIP, Online Event, (7.-10.9.2020)

Rienäcker M., Schulte-Huxel H., Peibst R., Warren E., Tamboli A.: *Three-terminal tandem solar cells – an overview*. tandemPV2020, ISC Konstanz, Online Event, (15.9.2020)

Schäfer S., Mercker A., Mertens V., Neubert T., Köhler A., Mettner L., Brendel R., Peibst R.: *Laser-Induced Oxidation of Doped Poly-Si at Room Temperature for Si Solar Cells with Structured Passivated Contacts*. 37th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, WIP, Online Event, (7.-10.9.2020)

Schiebler B.: *Experimental Evaluation of Stagnation-Safe Flat Plate Collectors with Heat Pipes for Domestic Hot Water Preparation in Thermosiphon Systems*. EuroSun 2020 – 13th International Conference on Solar Energy for Buildings and Industry, ISES, Online Event, (1.-3.9.2020)

Schiebler B.: *Experimentelle Bewertung von stagnationssicheren Flachkollektoren mit Wärmerohren zur solaren Trinkwasserbereitung in Thermosiphonsystemen*. 30. Symposium Solarthermie und Innovative Wärmesysteme, Conexio GmbH, Online Symposium, (12.-14.5.2020)

Schmidt M., Müller-Langer F., Kretschmar J., Agert C., Bard J., Hebling C., Heinrichs H., Robinius M., Niepelt R., Dittmeyer R., Graf F.: *Grüner Wasserstoff als Schlüsseltechnologie für die europäische Energiewende*. FVEE-Jahrestagung 2020 – Forschung für den European Green Deal, FVEE, Online Event, (2.-4.11.2020)

Schneider E.: *Renewable-Energy-Driven Heat Pumps for Districts to Reduce Primary Energy Demand*. EuroSun 2020 – 13th International Conference on Solar Energy for Buildings and Industry, ISES, Online Event, (1.-3.9.2020)

Schulte-Huxel H., Blankemeyer S., Vogt M., Morlier A., Brendel R., Köntges M.: *Interconnect Shingling, Seamless, Gapless or Paved PV Modules*. PV Module Forum 2020, TÜV Rheinland, Köln, (18.-19.2.2020)

Schumann J.: *Bewertung verschiedener Rückseitenreflektoren in stagnationssicheren Vakuumröhrenkollektoren*. 30. Symposium Solarthermie und Innovative Wärmesysteme, Conexio GmbH, Online Symposium, (12.-14.5.2020)

Sporleder K., Großer S., Hagendorf C., Naumann V., Schulte-Huxel H., Schüler N., Turek M.: *Potential-induced Degradation – At the Rear Side of Bifacial Passivated Emitter and Rear Cells*. SiliconPV 2020 Video Presentations, PSE, Online Event, (1.6.2020)

Stöhr M., Beier B., Brendel R., Dullweber T.: *PECVD Shadow Mask Deposition of a-Si Fingers – a Short Cut to Structured Poly-Si for Local Passivating Contacts*. 37th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, WIP, Online Event, (7.-10.9.2020)

Ulbikas J., Ulbikaite V., Denafas J., Witteck R., Köntges M., Topic M., Frontini F., Bonomo P., Saretta E., Macé P., Bolt P.J., Ulyashin A.G., Haarberg T., Palitzsch W., Terheiden B., Weiss I., LaPointe N., Domínguez-García J.L.: *Super PV Progress Report – Developing Innovative High-Quality PV Systems to Regain European Leadership in the Global PV Market*. 37th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, WIP, Online Event, (7.-10.9.2020)

Vogt M.R., Riechelmann S., Amillo A.M.G., Driesse A., Kokka A., Kärhä P., Schinke C., Bothe K., Blakesley J.C., Music E., Plag F., Friesen G., Corbellini G., Riedel-Lyngskær N., Valckenborg R.M.E., Schweiger M., Herrmann W.: *Interlaboratory Comparison of the PV Module Energy Rating Standard IEC 61853-3 and Reference Parameter Set for the PV Community*. 37th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, WIP, Online Event, (7.-10.9.2020)

Vorträge/Presentations

Walter D.C., Bredemeier D., Voronkov V.V., Falster R., Schmidt J.: *Disappearance of Hydrogen-Boron-Pairs in Silicon during Illumination and Its Relevance to Lifetime Degradation and Regeneration Effects in Solar Cells*. 37th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, WIP, Online Event, (7.-10.9.2020)

Warren E.L., McMahon W.E., Rienäcker M., VanSant K.T., Whitehead R.C., Peibst R., Tamboli A.C.: *Fundamentals of three-terminal tandem solar cells: a comprehensive taxonomy*. IEEE 47th PVSC Virtual Meeting, IEEE, Online Event, (15.6.-21.8.2020)

Weiland F.: *Solar Steel Sandwich Panels for Industrial and Commercial Buildings: System Simulations and Potential Analysis*. EuroSun 2020 – 13th International Conference on Solar Energy for Buildings and Industry, ISES, Online Event, (1.-3.9.2020)

Weiland F.: *Solare Stahl-Sandwichelemente im Industrie- und Gewerbebau: Systemsimulationen zur Potentialanalyse*. 30. Symposium Solarthermie und Innovative Wärmesysteme, Conexio GmbH, Online Symposium, (12.-14.5.2020)

Wetzel G., Salomon L., Krügener J., Peibst R.: *Specifications for maximum power point tracking in vehicle-integrated photovoltaics based on high-resolution transient irradiance measurements*. IEEE 47th PVSC Virtual Meeting, IEEE, Online Event, (15.6.-21.8.2020)

Winter M., Helmich L., Walter D.C., Schmidt J.: *Firing-Triggered LID (FT-LID) of the Carrier Lifetime in Cz-Si Wafers*. 37th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, WIP, Online Event, (7.-10.9.2020)

Witteck R.: *Einfluss inhomogener Beleuchtung auf Solarmodule mit Modulleistung über 400 W_p*. Webinarreihe des PV-Symposium 2020, Conexio GmbH, Online Symposium, (15.4.2020)

Witteck R.: *Überhitzung von Hochleistungsmodulen mit über 400 W_p durch Teilverschattung*. Online-PV-Symposium 2020, Conexio GmbH, Online Event, (1.-2.9.2020)

Yasin M.: *Automatisierte Effizienzkontrolle von Wärmeeinheiten in Mehrfamilienhäusern*. 12. EffizienzTagung Bauen+Modernisieren, Energie- und Umweltzentrum am Deister GmbH, Online Event, (13.-14.11.2020)

Studien- & Bachelorarbeiten/Seminar & bachelor papers

Belgardt H.S.: *Integration von Solarzellen in gekrümmten Oberflächen für fahrzeugtechnische Anwendungen*, (Bachelorarbeit), Fachbereich Physik, Leibniz Universität Hannover, Hannover, September 2020

Distelhof T.: *Entwicklung und Bewertung netzdienlicher Betriebsstrategien für Wärmepumpen*, (Bachelorarbeit), Wirtschaftsingenieurwesen, Jade Hochschule Wilhelmshaven Oldenburg Elsfleth, Hameln, April 2020

Lohrke T.: *Simulationsstudie realer solarthermischer Anlagen mit Wärmerohrkollektoren*, (Bachelorarbeit), Fachbereich Maschinenbau, Leibniz Universität Hannover, Hannover, Dezember 2020

Samland M.: *Untersuchung von Wärmepumpen in elektrisch-thermischen Gebäudeenergiesystemen*, (Bachelorarbeit), Regenerative Energien, Fachhochschule Bielefeld, Bielefeld, Februar 2020

Schollmeyer M.: *Einfluss von Wasserstoff auf die Bor-Sauerstoff-Defektphysik in kristallinem Silizium*, (Bachelorarbeit), Fachbereich Physik, Leibniz Universität Hannover, Hannover, Juli 2020

Sitarz G.: *Photoelektronenspektroskopie an Kontakt- und Absorbermaterialien für Perovskitsolarzellen*, (Bachelorarbeit), Institut für Materialien und Bauelemente der Elektronik, Leibniz Universität Hannover, Hannover, April 2020

Sommer D.: *Analyse und Wirtschaftlichkeit von Gebäudeenergiesystemen mit photovoltaisch-thermischen Kollektoren (PV-T) in Abhängigkeit des Gebäudedämmstandards*, (Bachelorarbeit), Fachbereich Maschinenbau, Leibniz Universität Hannover, Hannover, Januar 2020

Tan S.: *Experimentelle Bewertung des Systemverhaltens stagnationssicherer Sonnenkollektoren mit Wärmerohren auf Basis eines vereinfachten Messkonzepts*, (Bachelorarbeit), Fachbereich Maschinenbau, TU Bergakademie Freiberg, Freiberg, Dezember 2020

Wehmeier T.: *Bewertung der Leistungsfähigkeit eines solarthermisch aktivierten Fassadenmoduls aus Profilbaugläsern*, (Bachelorarbeit), Umweltingenieurwesen, Technische Hochschule Ostwestfalen-Lippe, Höxter, Mai 2020

Diplom- & Masterarbeiten/Diploma theses & masters

Abuissa W.: *Auswertung dynamischer Luft/Wasser-Wärmepumpenmodelle in TRNSYS durch Labormessungen*, (Masterarbeit), Maschinenbau, Leibniz Universität Hannover, Hannover, April 2020

Aus der Fünten H.L.: *Co-Sputtern von insitu-dotierten Polysiliziumschichten für passivierende Kontakte*, (Masterarbeit), Elektrotechnik, Leibniz Universität Hannover, Hannover, April 2020

Brockmann T.L.: *Degradation von Perovskitsolarzellen in Folge von Einkapselungsprozessen*, (Masterarbeit), Institut für Materialien und Bauelemente der Elektronik, Leibniz Universität Hannover, Hannover, September 2020

Distelhoff M.: *Sensitivitätsanalyse zu den Performance Indikatoren regenerativer Gebäudeenergiesysteme*, (Masterarbeit), Wirtschaftsingenieurwesen, AKAD University, Stuttgart, Dezember 2020

Evert N.L.: *Zeitaufgelöste Photolumineszenzspektroskopie an Bleihalogenperowskiten für Solarzellen*, (Masterarbeit), Institut für Materialien und Bauelemente der Elektronik, Leibniz Universität Hannover, Hannover, Dezember 2020

Lange O.: *Simulation und Berechnung des Ertrags von gebäudeintegrierter Photovoltaik am Beispiel des Universitätshochhauses*, (Masterarbeit), Institut für Materialien und Bauelemente der Elektronik, Leibniz Universität Hannover, Hannover, September 2020

Liu Y.: *Interconnection of Solar Cells with Smart-Wire Technology: Characterization of Electrical Properties and Analysis of Degradation Mechanisms*, (Masterarbeit), Physik, Leibniz Universität Hannover, Hannover, September 2020

Pollex H.: *Reduktion der Messunsicherheit bei der Bestimmung der spektralen Bestrahlungsstärke eines Sonnensimulators für die Kalibrierung von Silizium-Solarzellen*, (Masterarbeit), Physik, Leibniz Universität Hannover, Hannover, Februar 2020

Siddiraju A.: *Development of LabVIEW controller for the measurement of temperature dependent emissivity with infrared sensor; investigation of thermochromic absorption layers*, (Masterarbeit), Scientific Instrumentation, University of Applied Science, Ernst-Abbe-Hochschule Jena, Department of SciTec, Jena, Februar 2020

Doktorarbeiten/Ph.D.-theses

Bredemeier D.: *Light and elevated Temperature Induced Degradation (LeTID) of the Carrier Lifetime in Multicrystalline Silicon*. Physik, Leibniz Universität Hannover, 13.3.2020

Gemmel C.: *Charge carrier lifetime in epitaxially grown silicon for photovoltaic solar cells fabricated by the porous silicon process*. Physik, Leibniz Universität Hannover, 15.7.2020

Kruse C.N.: *Characterization and loss analyses of passivated emitter and rear cells*. Physik, Leibniz Universität Hannover, 13.7.2020

Lehrveranstaltungen/Lectures

Brendel, R.: *Physik der Solarzelle*. Vorlesung, Fachbereich Physik, Leibniz Universität Hannover (04/2020-07/2020), (Online)

Brendel, R.: *Physik präsentieren – Physik der Energiekonversion*. Proseminar, Fachbereich Physik, Leibniz Universität Hannover (10/2019-02/2020), (Präsenz)

Brendel, R.: *Physik präsentieren – Physik der Energiekonversion*. Proseminar, Fachbereich Physik, Leibniz Universität Hannover (10/2020-01/2021), (Online)

Goslich R.: *Einführung in die regenerative Energietechnik*. Vorlesung, Hochschule Weserbergland (HSW) (02/2020-04/2020), (Online)

Peibst R.: *Wirkungsweise und Technologie von Solarzellen*. Vorlesung und Übungen, Fakultät für Elektrotechnik und Informatik, Leibniz Universität Hannover (10/2019-01/2020), (Präsenz)

Peibst R.: *Wirkungsweise und Technologie von Solarzellen*. Vorlesung und Übungen, Fakultät für Elektrotechnik und Informatik, Leibniz Universität Hannover (10/2020-02/2021), (Online)

Schinke, C.: *Einführung in die elektronische Messdatenerfassung und -verarbeitung mit LabView*. Vorlesung, Fachbereich Physik, Leibniz Universität Hannover (10/2019-02/2020), (Präsenz)

Lehrveranstaltungen/Lectures

Schinke, C.: *Einführung in die elektronische Messdatenerfassung und -verarbeitung mit LabView*. Vorlesung, Fachbereich Physik, Leibniz Universität Hannover (10/2020-01/2021), (Präsenz/Online)

Schinke, C.: *Laborpraktikum Festkörperphysik*. Praktikum, Fachbereich Physik, Leibniz Universität Hannover (01/2020-12/2020), (Präsenz)

Schinke, C.: *Physik der Solarzelle*. Übung, Fachbereich Physik, Leibniz Universität Hannover (04/2020-07/2020), (Online)

Schmidt J.: *Charakterisierung von Halbleitern und Solarzellen*. Vorlesung, Fakultät für Mathematik und Physik, Leibniz Universität Hannover (04/2020-07/2020), (Online)

Schmidt J.: *Grundlagen der Halbleiterphysik*. Vorlesung, Fakultät für Mathematik und Physik, Leibniz Universität Hannover (10/2019-01/2020), (Präsenz)

Wietler, T.: *Bipolarbauelemente*. Vorlesung, Fakultät für Elektrotechnik, Leibniz Universität Hannover (10/2019-01/2020), (Präsenz)

Wietler, T.: *Bipolarbauelemente*. Vorlesung und Übungen, Fakultät für Elektrotechnik, Leibniz Universität Hannover (10/2020-01/2021), (Online)

Wietler, T.: *MOS-Transistoren und Speicher*. Vorlesung und Übungen, Fakultät für Elektrotechnik, Leibniz Universität Hannover (04/2020-07/2020), (Online)

Wietler, T.: *Physics of Integrated Circuit Technology*. Vorlesung, Peter the Great, St.Petersburg Polytechnic University (10/2020-12/2020), (Online)

Preise & Auszeichnungen/Awards

Schiebler B., Poster Award, Symposium Solarthermie und Innovative Wärmesysteme, für *Stagnationssichere Flachkollektoren mit Wärmerohren in Thermosiphonsystemen*. Online-Symposium, 12.-14.5.2020

Winter M., Helmich L., Walter D.C., Schmidt J., Poster Award, 37th European Photovoltaic Solar Energy Conference (EUPVSEC), für *Firing-Triggered LID (FT-LID) of the Carrier Lifetime in Cz-Si*. Online-Konferenz, 11.9.2020



Olaf Lies, Niedersächsischer Minister für Umwelt, Energie, Bauen und Klimaschutz, während seines Besuches am ISFH im ISS-Gebäude.

Olaf Lies, Lower Saxony's Minister for the Environment, Energy, Building and Climate Protection, during his visit at ISFH in the ISS building.

Deister Weser Zeitung (DeWeZet) vom 23.1.2020

„Niemand muss in der Kälte wohnen“

Klimaschonende Wärmeversorgung am Ohrberg: Lösung zeichnet sich ab / Unternehmen prüft zwei Varianten

VON CHRISTIAN BRANAHL

EMMERTHAL. Für die Bewohner der Expo-Siedlung in Ohr zeichnet sich eine Lösung ab. Und damit endet für sie eine unsichere Situation, nachdem ihnen die Verträge durch das Unternehmen Energieservice Westfalen Weser als Wärmeversorger gekündigt worden waren. Nach einer Informationsveranstaltung erhielten die Hausbesitzer ein Schreiben, in dem ihnen zwei Varianten vorgeschlagen worden sind, die derzeit geprüft würden. Zwar hätte sich Stefan Waltemathe, der dort Ende der 1990er mit zu den ersten Eigenheimbesitzern zählte, im Vorfeld eine konstruktivere Kommunikation gewünscht, dennoch: Die Übergangsverträge habe er bereits unterschrieben. „Ich bin damit zufrieden“, erklärte er.

Vor allem: Die Solaranlage „bleibt ein Vorzeigeprojekt“, erklärt Waltemathe, der zusammen mit Uwe Dubbert und Martin Schaffarz das Problem im November öffentlich gemacht hatte. Die Solaranlage am Ohrberg war anlässlich der Weltausstellung Expo 2000 entstanden. Ziel sei dabei ökologisches Bauen und die Vermeidung von CO₂-Emissionen für Heizung und Warmwasserbereitung gewesen, führen die Unterzeichner aus. Das Wärmedienstleistungskonzept basierte auf einer zentralen Versorgung von sogenannten Wasser/Wasser-Wärmepumpen (Grundwasserwärmepumpen). Die Wärmeversorgung in Kooperation mit den damaligen Elektrizitätswerken Westfalen war für eine Vertragsdauer von vorläufig 20 Jahren abgesichert worden. Inzwischen gab es Wechsel, die Frist lief ab. Zeitweise fühlten sich die Einwohner der Siedlung nach Kündigung der Verträge alleingelassen.



Irritationen offenbar beseitigt: Die Ohrberg-Siedlung, Ende der 1990er Jahre als Expo-Projekt ausgelegt, soll mit neuer Technik weiterhin beispielgebend bei der Energienutzung sein. FOTO: DANA

„Die dadurch verursachten Irritationen auf der Kundenseite bedauern wir sehr“, erklärt Edgar Schroeren als Sprecher von Energieservice Westfalen Weser nun erneut auf Nachfrage. „Wir möchten noch einmal betonen, dass die Verträge erfüllt werden und niemand in der Kälte wohnen muss.“ Das Unternehmen habe den Ergebnissen des Forschungsprojektes nicht vorgreifen wollen und können, um „eine unvoreingenommene Forschung und Lösungsfindung zu ermöglichen“. Darauf

sei in den Diskussionen mit den Anwohnern und Kunden wie auch auf den mit den Projektpartnern vereinbarten Zeitplan hingewiesen worden, teilt Schroeren mit.

Zwei Vorschläge sind den Bewohnern mitgeteilt worden. Danach könnte laut erster Variante im Technikum ein Blockheizkraftwerk errichtet werden, das gleichzeitig Strom und Wärme erzeugt. Favorisiert wird vom Energieservice aber ein Förderbrunnen nahe der Weser. Die Wärme wird über einen Wärmetauscher an

das Kaltwassernetz übergeben. Das abgekühlte Wasser wird über die vorhandenen Leitungen wieder in die Weser geführt. Dafür sei ein Gutachten in Arbeit, Ergebnisse würden aber noch nicht vorliegen. „Nach Vorlage der belastbaren Details und Gutachten werden die Kunden und die Kommune unmittelbar informiert“, kündigt Schroeren an. Auf jeden Fall gehe es darum, die Siedlung weiterhin „möglichst klimafreundlich und nachhaltig“ zu beliefern. Und das bezeichnen die Be-

wohner als wichtig. Was im Vorfeld der Expo 2000 (Waltemathe über die damals CO₂-arme Heizmethode: „Bereits viele Jahre vor Greta“) als zukunftsweisend galt, soll auch zwei Jahrzehnte später so fortgesetzt werden. „Eine tolle und spannende Idee“ – einst wie heute, wie er meint. Dass dieses Vorzeigeprojekt weiterhin vom benachbarten Institut für Solarenergieforschung begleitet werden soll, sei ein gutes Zeichen. Damit, sagt Waltemathe, bleibe die Ohrberg-Siedlung „beispielhaft“.

Deister Weser Zeitung (DeWeZet) vom 29.5.2020

Emmerthalerin umrundet Erde im All

Nasa schickt Solarzelle aus heimischer Produktion durch den Weltraum

VON GABRIELE MÜLLER

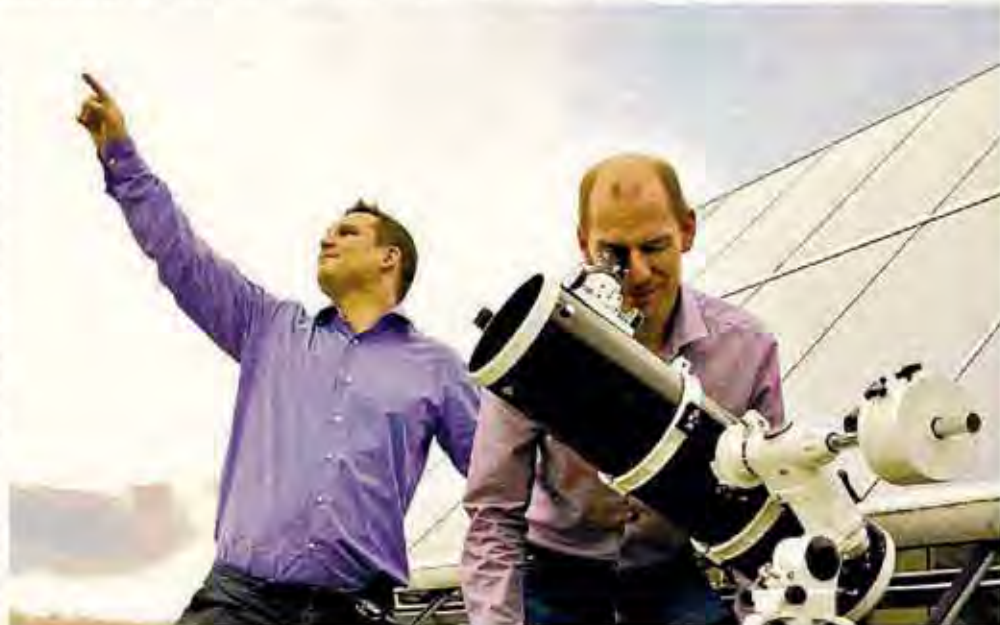
EMMERTHAL/GOLDEN/USA.

Zugegeben, sie ist der Öffentlichkeit eher unbekannt, aber als erste Emmerthalerin reist sie im All um die Erde, und das sechs Monate lang. Ihr Platz ist auf der Rückseite der internationalen Raumstation ISS – International Space Station. Ihr Name ist „Polo-Solarzelle“. Polo ist die englische Abkürzung für „polykristalline Silicon on oxide“ und bezeichnet die am Institut für Solarenergieforschung (ISFH) entwickelte Solarzellen-Technologie. Wenn die Forscher des ISFH in diesen Tagen per Teleskop den Himmel absuchen, zählen sie also keine Schafe, sondern suchen ihre Polo-Solarzelle.

Der Grund für diese Reise liegt in der weltweit zunehmenden Bedeutung der Satellitentechnologie. Per Satellit könnte das Internet bis in den letzten Winkel der Erde gebracht werden. Die von den Satelliten benötigte Energie wird von Solarzellen geliefert. Aber wie verhalten sich solche Zellen unter den unwirtlichen Bedingungen im Weltraum – extreme Temperaturunterschiede, Bestrahlung mit hochenergetischen Teilchen und Photonen? Die Reise von Polo soll helfen, diese Frage zu beantworten.

Polo gehört zu den besten siliziumbasierten Solarzellen der Welt und fliegt nicht alleine, sondern im Tandem mit einer ebenfalls hocheffizienten Gallium-Indium-Phosphid-Solarzelle des National Renewable Energy Laboratory (NREL) in Golden, Colorado. Was ist eine Tandemzelle?

„Bei einer Tandemzelle werden verschiedene Solarzellentypen, die jeweils einen bestimmten Bereich des Sonnenspektrums besonders effizient



Schauen genau hin: Michael Rienäcker und Dr. Felix Haase vom ISFH auf der Suche nach ihrer Polo-Solarzelle.

FOTO: ISFH

verwerten können, miteinander kombiniert.

So wird die gesamte Strahlungsenergie noch effizienter genutzt als bei Solarzellen mit nur einem Absorber-Material“, erklärt Professor Dr. Robby Peibst, Leiter der Arbeitsgruppe Emergente Zelltechnologien am ISFH.

Das NREL und das ISFH blicken auf eine mehrjährige erfolgreiche Zusammenarbeit im Bereich von Tandem-Solarzellen zurück. Aktuell koordiniert das NREL ein vom amerikanischen Department of Energy gefördertes Forschungsprojekt, im Rahmen dessen das ISFH unter Förderung des Bundesministeriums für Wirtschaft und

Energie die Siliziumzellen zur Verfügung stellt. Das deutsch-amerikanische Duo wurde gemeinsam mit Solarzellen aus anderen Laboren und Entwicklungsabteilungen der Nasa übergeben, die diese an der Außenhülle der ISS angebracht hat und dort nun für 6 Monate im Einsatz unter Weltraumbedingungen testet.

„Der Beginn dieses Experimentes ist ein schöner Lichtblick in dieser außergewöhnlichen Zeit. Daran zeigt sich außerdem exemplarisch, wie gut die wissenschaftliche Zusammenarbeit zwischen Amerika und Deutschland funktioniert, und auf welchem internationalen Spitzenniveau das ISFH arbeitet. Wir bedanken uns beim NREL für die gute Zusammenarbeit, und bei der NASA und den Fördermittelgebern für diese einmalige Gelegenheit“, sagt Prof. Dr. Robby Peibst.

Zum ISFH und zur Polo-Technologie

Das ISFH entwickelt mit 155 Mitarbeitern innovative Technologien für die Solarenergienutzung. Die Abteilung Photovoltaik entwickelt neue industrietaugliche Solarzelltechnologien wie die Polo-Technologie und hocheffiziente industrialisierbare Photovoltaikmodule. Das ISFH ist Mitglied im Forschungsverbund Erneuerbare Energien und der Zuse-Gemeinschaft sowie An-Institut

der Leibniz Universität Hannover. Die Entwicklung der Polo-Technologie am ISFH erfolgt in enger Zusammenarbeit mit dem Institut für Materialien und Bauelemente der Elektronik der Leibniz Universität. Sie wurde vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, der Europäischen Kommission sowie vom Land Niedersachsen finanziell unterstützt.

Der Beginn dieses Experimentes ist ein schöner Lichtblick in dieser außergewöhnlichen Zeit.

Professor Dr. Robby Peibst
Leiter der Arbeitsgruppe
Emergente Zelltechnologien
ISFH

im Bereich von Tandem-Solarzellen zurück. Aktuell koordiniert das NREL ein vom amerikanischen Department of Energy gefördertes Forschungsprojekt, im Rahmen dessen das ISFH unter Förderung des Bundesministeriums für Wirtschaft und

Wer wissen möchte, wo sich die NREL/ISFH-Tandemzelle mit der ISS gerade befindet, und wann sie sich von Norddeutschland aus beobachten lässt, findet das unter spot-hstation.nasa.gov. Auf YouTube ist Video vom Start der Mission „SpaceX CRS-20“ zu finden.

Das Institut für Solarenergieforschung in Emmerthal.

FOTO: DAHA



Deister Weser Zeitung (DeWeZet) vom 1.9.2020

Mehr Einsatz gegen die Klima-Krise

Appell: Emmerthaler Solarforscher hoffen auf größere staatliche Anstrengungen für die Energiewende

VON CHRISTIAN BRANAHL

EMMERTHAL. Vor dem Hintergrund der massiven staatlichen Rettungs- und Konjunkturpakete weisen der Corona-Pandemie fordern die heimischen Solarforscher vergleichbare Anstrengungen, um der Klima-Krise entgegenzutreten. Prof. Dr.-Ing. Rolf Brendel, Wissenschaftlicher Leiter und Geschäftsführer des Instituts für Solarenergieforschung (ISFH) in Emmerthal, bezeichnet die Klima-Krise als weitere globale Bedrohung. „Auch sie kostet Gesundheit und Leben, auch sie trifft die Ärmsten am schwersten und auch sie wird gravierende negative wirtschaftliche Auswirkungen haben“, erklärt Brendel. „Um sie dauerhaft zu überwinden, wird es ebenfalls einer großen und gemeinsamen Anstrengung bedürfen.“



Die Emmerthaler Wissenschaftler verweisen auf viele erfolgreiche Technologien.

foto: baw

Alleiniger Gesellschafter des Institutes ist das Land Niedersachsen, das im Vorjahr 34,7 Prozent des Gesamtelats von 10,4 Millionen Euro abdeckte, weitere Gelder stammen aus der öffentlichen Projektforschung und direkten industriellen Drittmittelaufnahmen. Das große Interesse an der wissenschaftlichen Arbeit bekräftigen in den vergangenen

159

Beschäftigte
bedeuten einen
neuen Höchstwert.

Monaten beispielsweise bei ihren Besuchen am Obberg als Vertreter der Landesregierung der CDU-Minister für Wissenschaft und Kultur, Björn Thümler („Das Institut bleibt in unserem besonderen Fokus“), und SPD-Umweltminister Olaf Lies („Wir müssen die Energiewende auch als Wirtschaftsmotor sehen“).

Die neueste Erfolgsmeldung aus Emmerthal ist erst wenige Tage alt: Das ISFH, das Karlsruher Institut für Technologie und der Anlagenbauer controltherm international AG bündeln demnach im Leuchtturmprojekt „27plus6“ ihre Kompetenzen, um noch höhere Wirkungsgrade für Solarzellen zu realisieren. Das Projekt wird vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie mit insgesamt 3,2 Millionen Euro gefördert.

9 In den von Krisen erzwungenen Änderungen liegen schon immer auch Chancen.

Prof. Dr.-Ing Rolf Brendel
Leiter des Forschungszentrums

Diesen Appell erhebt der Wissenschaftler, derzeit auch Sprecher des bundesweiten Forschungsvorhabens Erneuerbare Energien, im soeben vorgestellten ISFH-Jahresbericht 2019. Auf 120 Seiten geben die heimischen Forscher einen Überblick über die Inno-

vationen, die „mit vereinten Kräften für das solar unterstützte Energiesystem der Zukunft entwickelt“ wurden sein. Ende 2019 zählte das Institut mit 150 Beschäftigten einen neuen Höchststand, nachdem es zeitweise als Folge des Niedergangs der deutschen Solarindustrie eine Delte mit knapp 140 gegeben hatte.

„In den von Krisen erzwungenen Änderungen liegen Chancen immer auch Chancen“, zieht Brendel den Vergleich zwischen der Pandemie und dem Kampf gegen den Klimawandel. Für das Virus SARS-

CoV-2 werde intensiv an einem Impfstoff geforscht, der hoffentlich bald kostengünstig weltweit zur Verfügung stehen werde. Um Treibhausgasemissionen zeitig einzuzwängen, haben „wir bereits eine Reihe hochentwickelter und kostengünstiger Technologien entwickelt“, verweist der Institutsleiter auf die wissenschaftlichen Erfolge der Forschung in Emmerthal. Sie habe wesentlich dazu beigetragen, dass heute in Niedersachsen Strom für vier bis sechs Cent pro Kilowattstunde in Freileitungsanlagen und für acht bis

zwölf Cent bei PV-Dachanlagen erzeugt werden könnte. „Trotz dieser Erfolge sind wir keineswegs am Ende der technischen Möglichkeiten angekommen“, meint Brendel. „Je kostengünstiger und benutzerfreundlicher wir die erneuerbaren Energietechnologien und die Energiesystemtechnik machen, desto leichter wird die Energiewende möglich und akzeptiert, desto mehr Menschen werden sich der neuen Energietechnik bedienen und desto weniger staatliche Interventionen sind zur Zielerreichung erforderlich.“

Deister Weser Zeitung (DeWeZet) vom 14.10.2020

ISFH will eigenen Weltrekord toppen

Wirkungsgrad von Solarzellen soll deutlich gesteigert werden

OHR. Forscher des Instituts für Solarenergieforschung Hameln (ISFH) haben sich ein ehrgeiziges Ziel gesetzt: Sie wollen ihren eigenen Weltrekord toppen. Noch steht der erst im Jahr 2018 zusammen mit dem Institut für Materialien und Bauelemente der Elektronik (MBE) der Leibniz Universität Hannover aufgestellte Weltrekord mit einem Wirkungsgrad von 26,1 Prozent für p-Typ-Si-Solarzellen. Da machen immerhin 90 Prozent des Weltmarktes aus. Jede kleinste Zahl hinter dem Komma steht hier nach Angaben der Forscher – weltweit geschätzt – für einen großen Unterschied in der Ausbeute der Sonnenstrahlung. Die Mitglieder des ISFH haben sich nun nach eigenen Angaben vorgenommen, die 26,1 Prozent auf 27

Prozent zu steigern. Und weil man zu ihm noch weiterkommt, arbeitet das eingesperrte Team diesmal auch mit dem Karlsruher Institut für Technologie (KIT) und der controltherm international AG zusammen. Denn das KIT verfügt laut ISFH über Know-how, das den 27 Prozent weitere sechs Prozent hinzufügen könne. Weil dieses Vorhaben auch aus Sicht des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie wichtig ist, fördert es dieses Projekt mit insgesamt 3,2 Millionen Euro, wovon rund 1,9 Millionen für die Projekteinhalte am ISFH bestimmt sind. Es wurde kürzlich gestartet und läuft bis Ende März 2023.

Die Ziele des Projektes fasst Projektleiter Dr. Sascha Wölter vom ISFH zusammen: „Der



Projektleiter Dr. Sascha Wölter (rechts) und Michael Rieckner (links) entwickeln die beiden Solarzellen, die später, übereinandergestapelt, das Sonnenlicht noch effizienter verwerten sollen.

Wirkungsgrad von 26,1 Prozent für p-Typ-Si-Solarzellen war ein Rekord mit ungenutzter Strahlkraft. Nun möchten wir das noch einmal steigern und auch die 27 Prozent knacken. Zusätzlich wollen wir eine Tandemsolarzelle daraus machen, das heißt, eine zweite

Solarzelle aufbringen, die das bläuliche Licht besonders effizient verwerten kann. Damit sind dann sogar Wirkungsgrade von mehr als 30 Prozent möglich. Das abschließende Ziel des Projektes ist ein neuer Weltrekord mit einem Wirkungsgrad von 33 Prozent.

eben 27 plus 6“. Ebenfalls wichtig für Wölter ist, „dass in diesem Projekt Spitzentechnologie in Europa entwickelt und bewahrt wird“. Dieses Ziel wird Wölter in den nächsten drei Jahren nicht alleine, sondern mit sieben weiteren Mitarbeitern des Instituts verfolgen. In der Projektbeschreibung heißt es: „Das Vorhaben 27 plus 6“ hat das ambitioniertere technologische Ziel, Leuchtturm-Wirkungsgrade auf Rekordniveau für kristalline Silizium (c-Si) Solarzellen und für c-Si/Perovskit-Tandemsolarzellen zu erzielen. Das Vorhaben soll dazu beitragen, dass die beteiligten Partner innovative Einzelprozesse und neue Materialien im Rahmen von Kreuzprozessierungen evaluieren, weiterentwickeln, vereinfachen und auf Basis der

erzielten Leuchtturm-Ergebnisse bewerben. Somit wird die Position der Industriepartner im internationalen Wettbewerb gestärkt werden. Ein technologisches Alleinstellungsmerkmal dieses Projektes ist die Entwicklung von Si/Perovskit-Tandemsolarzellen in der sogenannten Dreiterminal-Architektur, welche die Vorteile der weiter verbreiteten Zwei-Terminal- und Vier-Terminal-Tandemsolarzellen kombiniert. Der verwendete monolithische Aufbau der Tandemsolarzellen benötigt nur wenige Kontaktschichten und minimiert die damit verbundenen parasitären Absorptionsverluste. Gleichzeitig erfüllt der Zwang der Stimmabpassung zwischen Top- und Bottomzelle.“

Deister Weser Zeitung (DeWeZet) vom 3.11.2020

Warum Atomkraft die Erneuerbaren ausbremst

Debatte um Weiterbetrieb der AKW: Emmerthaler Solarforscher warnen vor den Folgen für die Energiewende

VON CHRISTIAN BRÄNÄHL

In Klimaschutz-Debatten spielt das Thema Atomkraft immer wieder eine Rolle, auch in Deutschland. Das Bundesumweltministerium sieht darin keinen wichtigen Baustein beim weltweiten Klimaschutz. „Global gesehen kann die Atomkraft – ungeachtet ihrer vielen Nachteile – mit zwischen vier bis fünf Prozent am weltweiten Energieverbrauch (...) keinen nennenswerten Beitrag zum Klimaschutz leisten“, sagte die Parlamentarische Staatssekretärin des Ministeriums, Rita Schwarzeißel-Sutter (SPD), vor wenigen Tagen der Deutschen Presse-Agentur. Zuvor hatte der Chef der Internationalen Atomenergiebehörde (IAEA), Rafael Grossi, gesagt, ein Erreichen der globalen Klimaziele sei ohne Atomkraft praktisch ausgeschlossen.

EMMERTHAL. Dem zuletzt mehrfach wiederholten Ruf nach einem Weiterbetrieb der Kernkraftwerke in Deutschland trotz des beschlossenen Atomausstiegs erteilen die Wissenschaftler des Emmerthaler Instituts für Solarenergieforschung (ISFH) eine klare Absage. Bundesweit gab es jüngst mehrfach die Forderung nach einer Renaissance der AKW. Dazu gehörten beispielsweise Demonstrationen der Organisation Nuklearia an den noch in Betrieb befindlichen Reaktoren, darunter in Grohnde. Sie beruft sich besonders auf ein Memorandum der Wissenschaftler Dr. Rainer Moormann und Dr. Anna Veronika Weidland, die es für notwendig halten, dass die AKW vor dem Hintergrund des Klimawandels länger am Netz bleiben müssen. Dr. Raphael Niepelt vom ISFH verweist im Gegenzug auf eine neue wissenschaftliche Studie, die „aufzeigt, dass es für die Energiewende wenig sinnvoll scheint, weiterhin auf Kernkraft zu setzen, weder fürs Klima noch finanziell“.

⚡ Energiesystem der Zukunft wird von klimaschonender und kostengünstiger Wind- und Solarenergie getragen.

Prof. Dr. Ralf Brendel, Institutsleiter in Emmerthal

Die University of Sussex Business School und die International School of Management (ISM) – als private Hochschule in Dartmouth gegründet – analysierten für die Studie Daten aus 121 Ländern über einen Zeitraum von 25 Jahren hinweg. Ihr Hauptergebnis im Kampf gegen den Klimawandel laut der im Oktober veröffentlichten Mitteilung der ISM: Länder, die CO₂-Emissionen so schnell, substantiell



und kostensparend wie möglich reduzieren möchten, sollten auf erneuerbare Energien statt auf Nuklearenergie setzen. Die Studie, die in der Fachzeitschrift *Nature Energy* publiziert wurde, zeigt außerdem, dass erneuerbare Energien selten erfolgreich mit Nuklearenergie kooperieren könnten. Vielmehr verdrängen sich die beiden Energiesysteme gegenseitig und beschränken damit ihre Effektivität, wie es weiter heißt. „Für eine Verringerung der CO₂-Emissionen sind erneuerbare Energien (und nicht Nuklearenergie die richtige Strategie“, erklärt dazu Götz Walter, Professor für Wirtschaftspsychologie an der ISM.

Der Forschungsverbund Erneuerbare Energien (FVEE), dessen Sprecher derzeit der Emmerthaler ISFH-Leiter Prof. Dr. Ralf Brendel ist, befasst sich bei seiner am Montag begonnenen Jahrestagung bis Mittwoch mit dem von der EU vorgelegten „Green Deal“. Mit diesem Programm will Europa bis 2050 der erste klimaneutrale Kontinent werden.

Die FVEE ist eine bundesweite Kooperation von Forschungsinstituten. Die Mitglieder erforschen und entwickeln Technologien für erneuerbare Energien, Energieeffizienz, Energiespeicherung und das optimierte technische und sozioökonomische Zusammenwirken aller Systemkomponenten.

„Das nachhaltige Energiesystem der Zukunft wird von klimaschonender und kostengünstiger Wind- und Solarenergie getragen“, erklärt der Emmerthaler Institutsleiter, Brendel weiter. „Die FVEE-Jahrestagung zeigt, wie vielfältig Energieforschung zu einer erfolgreichen Transformation des Energiesystems und zu einer nachhaltigeren Zukunft beiträgt.“

Die Sicht der mehr als 150 Beschäftigten am Solarforschungsinstitut in Nachbarschaft des AKW Grohnde beschreibt auch Niepelt auf Grundlage einer Zeit ohne Atomkraft. „Die Struktur unseres Energiesystems wird sich verändern, da die großen, zentralen Kraftwerke aus dem fossilen Zeitalter zunehmend durch dezentrale Energiewinnung in der Fläche abgelöst werden“, meint der Assistent der Geschäftsführung für Strategieplanung am ISFH.



Die Hauptlast würden Windenergie- und PV-Anlagen in der Fläche übernehmen.

Und wenn Windflaute herrscht und die Sonne ausbleibt, wie Kritiker der Energiewende immer wieder anführen? Für die Stromspeicherung stehen laut Niepelt verschiedene Optionen zur Verfügung. Darunter sei der grüne Wasserstoff ein sehr vielversprechender Kandidat, was auch auf der FVEE-Tagung ausführlich beleuchtet werde. Ein Flächenland wie Niedersachsen mit großen Potenzialen für Wind- und Solarenergie, der Anbindung an die

Um die Klimaziele zu erreichen, will die Bundesregierung den Anteil der Wind- und Solarenergie massiv steigern. Wiederholt gab es zuletzt Forderungen von Wissenschaftlern, die Atomkraftwerke – wie hier in Grohnde – länger am Netz zu lassen. Dem widersprechen die Solarforscher aus Emmerthal.

FOTOS: OLDFW

Niepelt weiter: „Diese Kraftwerke laufen in einem System mit hohem erneuerbarem Anteil übers Jahr betrachtet nur jede siebte Stunde und arbeiten, wenn sie mit grünem Gas oder Wasserstoff betrieben werden, ebenfalls klimaneutral.“

Der Projektleiter Energiesystemsimulation verweist auf aktuelle Forschungsthemen am ISFH, die den Erneuerbaren noch mehr Schub verleihen wollen. Ziel: geringere Kosten, höhere Effizienz. Die Emmerthaler Wissenschaftler entwickeln neue Technologien für hocheffiziente Solarmodule, die im Vergleich zu heutigen Modulen noch einmal mehr Strom aus derselben Fläche generieren können. „Hocheffiziente und gleichzeitig kostengünstige Photovoltaik werden wir dann in Zukunft nicht nur auf den Dächern sehen, sondern auch integriert zum Beispiel in Fahrzeugen, Fassaden oder Verkehrsinfrastruktur“, erklärt Niepelt. Im Projekt „STREET“ sei das ISFH gerade, dass die Ausrüstung eines Elektro-Lieferfahrzeugs mit Photovoltaik die Reichweite um etwa 30 Prozent erhöhe.

Wissenschaftler des Instituts erhöhen die Effizienz und senken die Kosten der Solarmodule.

Gleichzeitig entwickeln das Institut effiziente Systeme zur Gebäudeenergieversorgung mit hohen regenerativen Deckungsanteilen. Eine Komponente, die immer wichtiger werde, sei die Wärmepumpe. Durch ein Förderprojekt sei am ISFH ein Labor etabliert worden, in dem eine dynamische Vermessung von Luft-Wasser-Wärmepumpensystemen unter kontrollierbaren Bedingungen vorgenommen werden könne. „Wärmepumpen besitzen eine große Heißfunktion für die Energiewende, da sie den erneuerbaren Wind- und Solarstrom sehr effizient zum klimaneutralen Heizen nutzen können“, meint Niepelt. Und das werde ebenfalls Thema der am Montag beginnenden Tagung des Forschungsverbundes sein. Der bismarckische Wissenschaftler weiter: „Gerade in Niedersachsen passt das gut, denn wir können den vor allem im Winter produzierten Windstrom zum Heizen nutzen und damit fossile Energieträger wie Erdgas oder Heizöl ersetzen.“

Neue Deister Zeitung (NDZ) vom 9.10.2020



Funktioniert das Radio? Die Schüler müssen herausfinden, wie viele Solarzellen in Reihenschaltung mindestens notwendig sind, damit das Radio Töne aus dem Radio Töne zu entlocken? Dann die Freude bei den Schülern: Tatsächlich ertönt laut und deutlich Musik aus dem Solarradio. Dieses Experiment zur Reihenschaltung von Solarzellen ist nur eine der Stationen, die die Schüler der 5d an diesem Solarforschungstag durchlaufen. In Kooperation mit NILS (Niedersächsische Lernwerkstatt für solare Energiesysteme) vom Institut für Solarenergieforschung Hameln (ISFH) lernen alle fünften Klassen an verschiedenen Tagen so ganz praktisch mehr über Solarenergie – aber auch über Themen wie Erderwärmung und Energiequellen.

FOTOS LINDERMANN

Wenn die Sonne kleine Autos fahren lässt

Fünftklässler der KGS Bad Münder lernen in Zusammenarbeit mit dem ISFH ganz praktisch Solarenergie kennen

VON JOHANNA LINDERMANN

BAD MÜNDER. In der Mediothek der Kooperativen Gesamtschule Bad Münder herrscht Spannung. Reichen die hintereinandergeschalteten Solarzellen aus, um dem Radio Töne zu entlocken? Dann die Freude bei den Schülern: Tatsächlich ertönt laut und deutlich Musik aus dem Solarradio. Dieses Experiment zur Reihenschaltung von Solarzellen ist nur eine der Stationen, die die Schüler der 5d an diesem Solarforschungstag durchlaufen. In Kooperation mit NILS (Niedersächsische Lernwerkstatt für solare Energiesysteme) vom Institut für Solarenergieforschung Hameln (ISFH) lernen alle fünften Klassen an verschiedenen Tagen so ganz praktisch mehr über Solarenergie – aber auch über Themen wie Erderwärmung und Energiequellen.



An einer der Stationen wird das Solarmodul auf dem Solarauto geladen.

Hamza (r.) und Max probieren aus, welche Strecke die aufgeladenen Autos zurücklegen können.



Es ist wichtig, das Thema globale Erwärmung noch einmal aufzufrischen.

Vivienne-Eva Wersche-Wetzig
Lehrerin und Abgeordnete NILS

„Normalerweise kommen die Schüler zu uns“, erklärt Vivienne-Eva Wersche-Wetzig. Sie ist Lehrerin an der KGS und zusätzlich abgeordnet bei NILS. Aufgrund der aktuellen Situation kommen die Experimente aber einfach

an die Schule. Neben dem Versuch mit dem Solarradio müssen die Schüler in selbstständiger Arbeit mit Hilfestellung unter anderem herausfinden, wie viele Propeller sie mit einer sogenannten Parallelschaltung zum Laufen bringen können, wie oft ein Solarauto, dessen sogenannten GoldCap-Kondensator sie zuvor mit einem Solarmodul aufgeladen haben, einen Parcours zurücklegen kann, und ob eine längere Aufladzeit einen Unterschied

bringt. In einem Heft müssen die Schüler an jeder Station ihre Ergebnisse eintragen. Lampen ersetzen an diesem Tag die Sonne. „Es ist toll für die Schüler, wieder praktisch zu arbeiten“, erklärt Wersche-Wetzig. Bezüglich der Thematik fügt sie hinzu: „Besonders für uns als Umweltschule ist das interessant.“ Dem praktischen Teil zuvorgegangen war eine Erklärung darüber, wie eine Solarzelle aufgebaut ist und funktioniert. Zudem erfuhren die Kinder mehr zu den Themen Erderwärmung, Strom sowie zu erneuerbaren und fossilen Energiequellen. Die Schüler lernten so unter anderem, welche

Energiequellen welche Vor- und Nachteile haben, und wie sie selbst Energie einsparen können. „Das ist ein Projekt, das an die Grundschule anknüpft“, erklärt Wersche-Wetzig. Dabei falle auf, dass die Schüler besser über diese Themen informiert seien als noch vor zehn Jahren – aber dennoch fehle in diesem Jahr auch teilweise Vorwissen, da dieses Thema normalerweise im zweiten Halbjahr der vierten Klasse durchgenommen werde, das Corona-bedingt in diesem Jahr anders gestaltet werden musste. In den vergangenen Jahren hatten einzelne Klassen aus verschiedenen Jahrgängen

der KGS das ISFH besucht – nun soll versucht werden, diese Versuche regelmäßig in den fünften Klassen durchzuführen. Denn: „Es ist wichtig, das Thema globale Erwärmung noch einmal aufzufrischen“, erklärt Wersche-Wetzig. Und es werde von den Schülern besser angenommen, wenn es andere Schüler erklären, als wenn sie es von Erwachsenen hören würden. Bei den Schülern kommen diese Experimente sehr gut an – besonders die Station mit dem Solarauto. „Ein cooler Versuch“, der „wirklich Spaß mache, ist dort zu hören. Und: „Es ist spannend, was man alles mit Sonne machen kann.“

Aprojanz, Johannes, Dr., Diplom-Physiker, Abteilung Photovoltaik

Beier, Birgit, Diplom-Ingenieurin, Abteilung Photovoltaik,
☎ 05151-999-423, b.beier@isfh.de

Blankemeyer, Susanne, Technikerin, Abteilung Photovoltaik,
☎ 05151-999-429, s.blankemeyer@isfh.de

Bothe, Karsten, Dr., Diplom-Physiker, Abteilungsleiter Photovoltaik, ☎ 05151-999-425, k.bothe@isfh.de

Bredemeier, Dennis, Dr., M.Sc. Physik, Abteilung Photovoltaik,
☎ 05151-999-424, d.bredemeier@isfh.de

Brendel, Rolf, Prof. Dr.-Ing., Diplom-Physiker, Institutsleiter,
☎ 05151-999-100, r.brendel@isfh.de

Dullweber, Thorsten, Dr., Diplom-Physiker, Abteilungsleiter Photovoltaik, ☎ 05151-999-642, t.dullweber@isfh.de

Gaßdorf, Wolfgang, Diplom-Ökonom, Stv. Institutsleiter,
☎ 05151-999-405, w.gassdorf@isfh.de

Goslich, Roland, Dr., Diplom-Chemiker, Öffentlichkeitsarbeit,
☎ 05151-999-302, r.goslich@isfh.de

Haase, Felix, Dr., Diplom-Physiker, Abteilung Photovoltaik,
☎ 05151-999-313, f.haase@isfh.de

Helmich, Lailah, M.Sc., Abteilung Photovoltaik,
☎ 05151-999-423, l.helmich@isfh.de

Kajari-Schröder, Sarah, Dr., Diplom-Physikerin, Abteilung Photovoltaik, ☎ 05151-999-414, s.kajari-schroeder@isfh.de

Köntges, Marc, Dr., Diplom-Physiker, Abteilung Photovoltaik,
☎ 05151-999-432, m.koentges@isfh.de

Littwin, Matthias, Diplom-Ingenieur, Abteilung Solare Systeme,
☎ 05151-999-505, m.littwin@isfh.de

Min, Byungsul, Dr.-Ing., Diplom-Ingenieur, Abteilung Photovoltaik, ☎ 05151-999-644, b.min@isfh.de

Napp, Volker, Oberstudienrat, Lehrkräftefortbildung,
☎ 05151-999-100, nils@isfh.de

Ohrdes, Tobias, Dr., Diplom-Physiker, Abteilung Solare Systeme,
☎ 05151-999-505, t.ohrdes@isfh.de

Peibst, Robby, Prof. Dr., Diplom-Ingenieur, Abteilung Photovoltaik,
☎ 05151-999-313, r.peibst@isfh.de

Schanz, Wolf-Rüdiger, Oberstudienrat, Lehrkräftefortbildung,
☎ 05151-999-100, nils@isfh.de

Schmidt, Jan, Prof. Dr., Diplom-Physiker, Abteilungsleiter Photovoltaik, ☎ 05151-999-425, j.schmidt@isfh.de

Schulte-Huxel, Henning, Dr., M.Sc., Abteilung Photovoltaik,
☎ 05151-999-414, h.schulte-huxel@isfh.de

Siebert, Michael, B.Sc., Abteilung Photovoltaik,
☎ 05151-999-637, m.siebert@isfh.de

Stöhr, Maximilian, M.Sc., Abteilung Photovoltaik,
☎ 05151-999-314, m.stoehr@isfh.de

Walter, Dominic, Dr., Diplom-Physiker, Abteilung Photovoltaik,
☎ 05151-999-424, d.walter@isfh.de

Weiland, Finn, M.Sc., Abteilung Solare Systeme,
☎ 05151-999-524, f.weiland@isfh.de

Wietler, Tobias, Prof. Dr.-Ing., Diplom-Physiker, Abteilung Photovoltaik, ☎ 05151-999-644, t.wietler@isfh.de

Witteck, Robert, Dr., M.Sc., Abteilung Photovoltaik,
☎ 05151-999-429, r.witteck@isfh.de

Wolter, Sascha, Dr., M.Sc., Abteilung Photovoltaik,
☎ 05151-999-429, s.wolter@isfh.de

Xu, Chencheng, Dr., Diplom-Physiker, Abteilung Solare Systeme,
☎ 05151-999-631, c.xu@isfh.de

Gestaltung/Design

Dipl. Grafik-Designerin Catharina Zeropa-Stangenberg, caze • werbung & kommunikation, Hameln, www.caze.de
Dr. Roland Goslich, Büro Öffentlichkeitsarbeit

Redaktionsadresse/Editorial office address

Institut für Solarenergieforschung Hameln
– Öffentlichkeitsarbeit –
Am Ohrberg 1
31860 Emmerthal

Telefon (0 49) 05151-999-302
Telefax (0 49) 05151-999-400
eMail info@isfh.de
Internet <https://www.isfh.de>

Publikationskennung/International Standard Serial Number

ISSN 1613-5970

Redaktionsschluss/Editorial deadline

30.4.2021

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 B, D, 26; Seiten 1, 6, 8/9, 10, 13, 15, 17, 18, 22/23, 30/31, 32/33, 75, 83, 107: Salzmann PhotoDesign, Hameln. Bilder E, 2, 5; Seite 99: Jan Blachura, Hannover. Bilder 34, 40, 41, 43, 44: Gestaltung und Überarbeitung durch caze • werbung & kommunikation, Hameln. Alle übrigen Bilder: ISFH.

[Images B, D, 26; pages 1, 6, 8/9, 10, 13, 15, 17, 18, 22/23, 30/31, 32/33, 75, 83, 107: Salzmann PhotoDesign, Hamelin.](#)

[Images E, 2, 5; page 99: Jan Blachura, Hanover. Images 34, 40, 41, 43, 44: design and revision by caze • werbung & kommunikation, Hamelin. All other images: ISFH.](#)

Urheberrecht/Copyright

Vervielfältigung oder Abdruck von Teilen dieses Berichtes grundsätzlich nur mit vorheriger schriftlicher Einwilligung der Redaktion.
[Duplication or reproduction even of parts of this report only with previous written consent of the editorial office.](#)

Danksagung/Acknowledgment

Allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern, die zum aktuellen Jahresbericht beigetragen haben, sei an dieser Stelle herzlich gedankt. Ein besonderer Dank geht an Nicholas Moon aus Hameln für seine professionelle und freundliche Unterstützung.

[Thank to all colleagues, who have contributed to this annual report. Our particular gratitude goes to Nicholas Moon from Hamelin for his professional and kind support.](#)



ISFH

Innovation with impact

Standard-Kollektor (oben) und Prototyp eines stagnationssicheren Wärmerohr-Kollektors (Mitte) auf einem der Testdächer.
Standard collector (top) and prototype stagnation-proof heat pipe collector (middle) on one of the test roofs.



Innovation with impact

**Institut für
Solarenergieforschung
Hameln**

2 0 2 0

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