

JAHRESBERICHT

ANNUAL REPORT

2019



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 expand solar energy with scientific knowledge and innovation and thus make an important contribution to the energy transition. We strive to provide excellent performance on an internationally 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: Die beiden Versuchshäuser neben dem Gebäude der Integrierten Solaren Systemtechnik (ISS).
Both the test houses next to the Integrated Solar Systems Building (ISS).
- B: Aufbau eines am ISFH entwickelten, dachintegrierten photovoltaisch-thermischen Moduls (PVT).
Set-up of a roof-integrated photovoltaic-thermal module developed at ISFH (PVT).
- C: Messstifte in einer Kontakteleiste zur temporären elektrischen Kontaktierung des Busbars von Solarzellen bei Busbarbreiten von einigen 100 µm.
Measuring pins in a contact strip for the temporary electrical contacting of the busbar of solar cells with busbar widths of several 100 µm.
- D: Vorbereitung einer Solarzelle zur Messung ihrer Strom-Spannungs-Kennlinie im ISFH-CalTeC.
Preparation of a solar cell to measure its current-voltage characteristic in the ISFH-CalTeC.
- E: Der Niedersächsische Wissenschaftsminister Björn Thümler besuchte das ISFH im Oktober 2019.
The Lower Saxon Science Minister, Björn Thümler visited ISFH in October 2019.



A

B

C

D

E

JAHRESBERICHT 2019

ANNUAL REPORT



Beschichtung von Siliziumwafern mit flüssigem Silizium in einer Inertgas-Handschuhbox.
Coating of silicon wafers with liquid silicon in an inert gas glove box.

Associated with



Abbildung/Figure 2:

Podiumsdiskussion zu den Solarstromperspektiven in Niedersachsen mit (v.l.n.r.): Olaf Lies (Niedersächsischer Umweltminister), Margarete von Oppen (Fachanwältin für Verwaltungsrecht aus Berlin), Berit Müller (Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie) und Prof. Dr.-Ing. Rolf Brendel (ISFH).
Podium discussion on the perspectives for solar electricity in Lower Saxony with (f.l.t.r.): Olaf Lies (Lower Saxon Environment Minister), Margarete von Oppen (specialist lawyer for civil service law from Berlin), Berit Müller (German Solar Energy Association) and Prof. Dr.-Ing. Rolf Brendel (ISFH).

Abbildung/Figure 3:

Prominenter Besuch am Stand des ISFH auf der *IdeenExpo 2019*: Rangar Yogeshwar informiert sich über die Solartankstelle.
Prominent visit to ISFH stand at the *2019 IdeenExpo*: Rangar Yogeshwar receiving information about the solar filling station.

Abbildung/Figure 4:

Prof. Dr.-Ing. Rolf Brendel (Institutsleiter), Ulrich Watermann (Mdl), Dr. Silke Lesemann (Mdl), Dirk Adomat (Mdl) beim Besuch des Kalibrierlabors CalTec am ISFH.
Prof. Dr.-Ing. Rolf Brendel (Head of the Institute), Ulrich Watermann (Member of the Landtag), Dr. Silke Lesemann (Member of the Landtag), Dirk Adomat (Member of the Landtag) visiting the CalTec calibration laboratory at ISFH.

Abbildung/Figure 5:

10 Jahre Schülerinnenseminar – Zum Jubiläum wurde natürlich im NILS-Labor experimentiert. Die jungen Damen bauen hier ein kleines Elektromobil zusammen und untersuchen dessen Eigenschaften.
10 years of seminars for female school students – of course experiments were conducted in the NILS laboratory to mark the anniversary. The young ladies are here assembling a small electric car and testing its capabilities.

Abbildung/Figure 6:

Diskussion mit Stefan Birkner (FDP), Jörg Bode (FDP) und Dr. Roland Goslich (ISFH) am Stand des ISFH auf der Hannover Messe 2019 (v.l.n.r.).
Discussion with Stefan Birkner (FDP), Jörg Bode (FDP) and Dr. Roland Goslich (ISFH) at ISFH stand at the 2019 Hanover Fair (f.r.t.l.).

Abbildung/Figure 7:

Dr. Thorsten Dullweber erläutert dem Niedersächsischen Wissenschaftsminister Björn Thümler die Arbeiten in der Technologiehalle *SolarTeC*.
Dr. Thorsten Dullweber explains the work in the *SolarTeC* technology building to the Lower Saxon Science Minister, Björn Thümler.

Streiflichter ♦ At a glance	2
Inhalt ♦ Contents	4
Vorwort ♦ Preface	6
1 Institut für Solarenergieforschung	8
Kurzportrait ♦ Brief portrait	9
Organisation ♦ Organization	10
Abteilung Photovoltaik ♦ Photovoltaics department	10
Abteilung Solare Systeme ♦ Solar systems department	14
Calibration & Test Center (CalTeC)	18
Zentrale Dienste ♦ Central services	19
Aufsichtsrat ♦ Supervisory Board	20
Wissenschaftlicher Beirat ♦ Scientific Advisory Board	22
Nachruf – Abschied von Prof. Dr. Rüdiger Memming ♦ Obituary – Farewell to Prof. Dr. Rüdiger Memming	23
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
Prozessausbeute hochwertiger kristalliner Siliziumschichten aus dem porösen Siliziumprozess	34
Process yield of high-quality crystalline silicon layers from the porous silicon process	
22,1% Modulwirkungsgrad mittels lückenfreier Zellverschaltung	38
22.1% Module efficiency by means of gapless cell interconnection	
Wie können POLO-Kontakte ökonomisch vorteilhaft in industriellen Solarzellen eingesetzt werden?	40
How can POLO contacts be utilized most profitably in industrial solar cells?	
Einfluss der Eigenschaften von Siliziumnitrid-Dünnschichten auf die Diffusion von Wasserstoff in kristallines Silizium	44
Impact of silicon nitride thin films on the diffusion of hydrogen into crystalline silicon	
Daidalos-Cloud: Optische Simulationen von PV-Modulen	48
Daidalos-Cloud: Optical simulations of PV modules	
Erneuerbar versorgtes Niedersachsen 2050 – Sonne und Wind als Rückgrat der Energieversorgung	54
Renewably supplied Lower Saxony 2050 – Sun and wind as the backbone of energy supply	

Abteilung Solare Systeme ♦ Solar systems department	59
Wind-Solar-Wärmepumpen-Quartier	59
Wind-Solar-Heat Pump District	
Spektrales Photogoniometer zur Untersuchung der bidirektionalen Transmissions- und Reflexions- verteilungsfunktion im solaren Spektralbereich	62
Spectral photogoniometer for the study of bidirectional transmittance and reflectance distribution function measurements in the solar spectral range	
Stagnationssichere Absorberbeschichtung	66
Stagnation proof absorber coating	
4 Weiterbildung ♦ Education	72
Akademische Ausbildung ♦ Academic education	74
NILS – Eine Lernwerkstatt für Schüler und Lehrer ♦ NILS – A learning workshop for school students and teachers	78
5 Dokumentation ♦ Documentation	84
Partner aus Universitäten & Forschungseinrichtungen ♦ Partners from universities & research facilities	86
Inland ♦ National	86
Ausland ♦ International	87
Partner aus Industrie, Planung & Entwicklung ♦ Partners from industry, planning & development	88
Inland ♦ National	88
Ausland ♦ International	90
Institutsmitgliedschaften ♦ Institute memberships	90
Institutskolloquien ♦ Institute colloquia	91
Mitarbeit in Fachgremien ♦ Membership in professional bodies	92
Ausstellungen & Fachtagungen ♦ Fairs & congresses	94
Veröffentlichungen in referierten Zeitschriften ♦ Peer-reviewed publications	95
Andere Veröffentlichungen ♦ Other publications	96
Vorträge ♦ Presentations	98
Studien- & Bachelorarbeiten ♦ Seminar & bachelor papers	104
Diplom- & Masterarbeiten ♦ Diploma theses & masters	105
Doktorarbeiten ♦ Ph.D.-theses	105
Lehrveranstaltungen ♦ Lectures	106
Preise & Auszeichnungen ♦ Awards	106
6 Presse ♦ Press	107
7 Autoren ♦ Authors	114
8 Impressum ♦ Impress	115
Streiflichter ♦ At a glance	116
Notizen ♦ Notes	118

Das Virus SARS-CoV-2 hat unser tägliches Arbeiten und Konsumieren sehr plötzlich sehr stark verändert. Soviel Verhaltensänderung pro Zeit gab es in Europa vermutlich seit 75 Jahren nicht mehr.

Der unmittelbaren Bedrohung von Gesundheit und Leben folgten schmerzhaft Entbehrungen bei sozialen Kontakten sowie vielerorts die existenzielle Bedrohung aufgrund der vielfältigen negativen Auswirkungen auf die Wirtschaft.

Wir haben die unmittelbare Bedrohung bis jetzt gemeistert, weil es einen breiten Konsens unter der Öffentlichkeit und Regierungen in der Bewertung des Virus als weltweite ernste Bedrohung des Lebens vieler Menschen gab.

Eine weitere aktuelle globale Bedrohung ist die Klima-Krise. Auch sie kostet Gesundheit und Leben, auch sie trifft die Ärmsten am schwersten und auch sie wird gravierende negative wirtschaftliche Auswirkungen haben. Um sie dauerhaft zu überwinden, wird es ebenfalls einer großen und gemeinsamen Anstrengung bedürfen.

Staaten und Staatenbünde schnüren in diesen Tagen Rettungs- und Konjunkturpakete. Beim Gestalten dieser Hilfen lautet die Maxime glücklicherweise bereits oft: Build back better.

Jetzt auf privater und öffentlicher Ebene stark in neue Energietechnologien und Produkte gegen den Klimawandel zu investieren ist ein nachhaltiger Beitrag gegen die von SARS-CoV-2 verursachte Wirtschaftskrise und gegen die Klimakrise. Diese Investitionen sind eine Chance, unsere Wirtschaft gegen die Gefahren der Klima-Krise resistenter und in der Klima-Krise erfolgreich zu machen. In den von Krisen erzwungenen Änderungen lagen schon immer auch Chancen.

Für SARS-CoV-2 wird in diesen Tagen intensiv an einem Impfstoff geforscht, der hoffentlich bald kostengünstig weltweit zur Verfügung stehen wird. Um Treibhausgasemissionen entgegenzuwirken, haben wir bereits eine Reihe hochentwickelter und kostengünstiger Technologien entwickelt: Unsere Forschung hat wesentlich dazu beigetragen, dass heute in Niedersachsen Strom für 4-6 €/kWh in Freiflächenanlagen und für 8-12 €/kWh in PV-Dachanlagen erzeugt werden kann.

Trotz dieser Erfolge sind wir keineswegs am Ende der technischen Möglichkeiten angekommen: Je kostengünstiger und benutzerfreundlicher wir die erneuerbaren Energietechnologien und die Energiesystemtechnik machen, desto leichter wird die Energie-wende möglich und akzeptiert, desto mehr Menschen werden



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

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

The SARS-CoV-2 virus has very suddenly changed our daily work and consumption habits very considerably. There would not seem to have been so much behavioural change in Europe at any one time in the last 75 years.

The immediate threat to health and life was followed by a painful deprivation of social contact as well as, in many places, the existential threat posed by the diverse negative effects on the economy.

We have so far coped with the immediate threat because there has been a broad consensus among the public and governments in the assessment of the virus as a serious worldwide threat to people's lives.

Another current global threat is the climate crisis. This also costs health and lives, this also hits the poorest people the hardest and this will also have serious negative economic effects. To overcome it permanently, it will equally require a great collective effort.

States and alliances are currently putting together rescue and growth packages. In designing these packages, the maxim has fortunately often become: Build back better.

Massive investment now at a private and public level in new energy technology and products to tackle climate change is a sustainable contribution to combatting both the economic crisis caused by SARS-CoV-2 and the climate crisis. This investment presents a chance to make our economy more resistant to the dangers of the climate crisis and to make it successful in the climate crisis. Change forced by crises has also always afforded opportunities.

Currently intensive research is being carried out to find a vaccine for SARS-CoV-2 which will hopefully soon be available worldwide at an affordable price. In order to counteract greenhouse gas emissions, a series of highly-advanced and affordable technologies have already been developed: our research work has made a crucial contribution to this so that in Lower Saxony today electricity can be generated for 4-6 €/kWh on ground-mounted systems and for 8-12 €/kWh on PV roof systems.

Despite these successes we have, by no means, exhausted the technical possibilities: the more affordable and user-friendly we make renewable energy technology and energy systems, the more easily energy transition will be made possible and accepted, the more people will make use of the new energy systems and the fewer state interventions will be required to achieve the goal.

sich der neuen Energietechnik bedienen und desto weniger staatliche Interventionen sind zur Zielerreichung erforderlich.

Vor diesem Hintergrund sind wir dankbar, hier in Niedersachsen an unserem wunderbar gelegenen Institut für Solarenergieforschung für eine nachhaltige Zukunft arbeiten zu können:

Unsere POLO-Silizium-Technologie hat viel Beachtung gefunden und flog letzte Woche sogar für Forschungszwecke zur internationalen Raumstation ISS. Dort arbeitet unsere Zelle im Verbund mit einer Zelle aus einem anderen Halbleitermaterial, um so noch höhere Wirkungsgrade zu ermöglichen. Über unsere neuen Si-Zelltechnologien für höchste Wirkungsgrade erfahren Sie mehr auf Seite 40 dieses Berichtes.

Die Energiewende findet aber nicht im Weltraum statt, sondern ganz konkret hier auf der Erde. Das ISFH forscht deshalb zusammen mit Industriepartnern an Quartiers-Energieversorgungssystemen, die erneuerbar betriebene Wärmepumpen nutzen. Auf Seite 59 können Sie Forschungsergebnisse lesen, die zeigen, dass die Energieversorgung einer Siedlung im Weserbergland mit Hilfe von Wärmepumpen, Wind und Sonne zu 90 % aus regional erzeugter Erneuerbarer Energie bereitgestellt werden kann.

Ich bedanke mich beim Ministerium für Wissenschaft und Kultur des Landes Niedersachsen für die institutionelle Förderung des ISFH, beim Bundesministerium für Wirtschaft und Energie des Bundes sowie der Europäischen Union und weiteren Forschungsförderern für zahlreiche Projektförderungen, bei unseren Auftraggebern und Partnern aus der Wirtschaft für eine gute Zusammenarbeit und bei allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des ISFH für ihre gute und erfolgreiche Arbeit im Jahr 2019.

Ihnen, liebe Leserin oder Leser, wünsche ich eine interessante Lektüre dieses Jahresberichtes.



Prof. Dr.-Ing. habil. Rolf Brendel, 12. März 2020

(Institutsleiter und Geschäftsführer)

Against this background we are thankful to be able to work here at our wonderfully situated Institute for Solar Energy Research in Lower Saxony for a sustainable future:

Our POLO-silicon technology has achieved wide recognition and last week even flew for research purposes on board the ISS international space station. There our cell is working together with a cell from a different semiconductor material in order to make even higher efficiency levels possible. You can learn more about our new silicon cell technology for peak levels of efficiency on page 40 of this report.

Energy transition, however, is not taking place in space, but in concrete terms here on Earth. ISFH is therefore researching together with partners from industry about district energy supply systems using renewably-powered heat pumps. On page 59 you can read the research results which show that 90% of the energy supply of a settlement in the Weser Hills can be provided from regionally-generated renewable energy with the assistance of heat pumps, wind and sun.

I thank the Ministry for Science and Culture of the State of Lower Saxony for the institutional support of ISFH, the Federal Ministry for Economic Affairs and Energy of the Federal Government and the European Union and other research sponsors for sponsoring numerous projects, our clients and business partners for their good collaboration and all ISFH staff for their good and successful work in 2019.

I wish you, dear readers, interesting reading of this Annual Report.

1

Institut für Solarenergieforschung



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

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*. In der Photovoltaikforschung gehören grundlegende Materialuntersuchungen ebenso zu den Aufgaben, wie die Entwicklung von Prozessen und Anlagen für die Herstellung von Solarzellen. Das Hauptinteresse gilt der Entwicklung neuer Siliziumsolarzellen mit der zugehörigen Modultechnologie für Solarzellen-Wirkungsgrade über 22 %, den hocheffizienten Solarzellen. Übergeordnetes Ziel ist das Senken der Produktionskosten von Solarzellen und -modulen.

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

Das Institut ist Mitglied im *ForschungsVerbund Erneuerbare Energien* (FVEE), einem Zusammenschluss außeruniversitärer deutscher Forschungsinstitute, der seine Forschungstätigkeiten auf nationaler Ebene im Bereich der regenerativen Energien koordiniert. Außerdem ist 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). Das ISFH ist Mitglied der *Zuse-Gemeinschaft*, einem technologie- und branchenoffenem Verband unabhängiger Industrieforschungseinrichtungen.

Brief portrait

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

The ISFH is a non-university research institute of the state of Lower Saxony with the legal status of a non-profit organization. It is an affiliated institute of the *Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover* (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 well as the development of processes and equipment for manufacturing solar cells. The most important aim of photovoltaic research is the development of high-efficiency silicon solar cells with the accompanying module technology for efficiencies of above 22 %. Above all, the aim is to reduce production costs for solar cells and modules.

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

The Institute is a member of the *Renewable Energy Research Association* (FVEE), an association of German non-university research institutes coordinating regenerative energy research activities at a national level. Moreover 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). ISFH is a member of the *Zuse-Gemeinschaft*, an association of independent industrial research institutions open to technology and industry.

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. Nach wie vor 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 still 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 unterschiedlichen Siliziummaterialien auf Solarzeleigenschaften zu entwickeln. Mit Hilfe eines gezielten „Defect Engineering“ wird die Materialqualität der heute in der Photovoltaik eingesetzten mono- und multikristallinen Siliziumwafer verbessert. Weitere Schwerpunkte sind neue Ansätze zur Oberflächenpassivierung, ladungsträgerselektive Kontakte sowie die Analyse neuartiger Materialien für die Photovoltaik.

The aim of this group is to gain a comprehensive understanding of the impact of defects and defect reactions in different silicon materials on solar cell characteristics. Defect engineering techniques are being developed to improve the material quality of today's photovoltaic mono- and multicrystalline silicon wafers significantly. Other foci are on the evaluation of new surface passivation techniques, 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 Siliziumsolarzellen zu erlangen. Um auf aktuelle Veränderungen im Zelldesign zu reagieren, werden die bestehenden physikalischen Modelle für die numerische Simulation von Solarzellen und Modulen kontinuierlich angepasst und optimiert. Auf Basis elektrischer und optischer Bauteilsimulationen werden außerdem Verbesserungspotenziale aufgezeigt und Strategien für weitere Wirkungsgradsteigerungen von Zellen und Modulen festgelegt. Die Gruppe bietet der Photovoltaikindustrie ihre Analyseverfahren sowie ihr Simulations-Know-how als Serviceleistung an.

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



Der Bürotrakt oberhalb des *SolarTeC*.
The office wing above the *SolarTeC*.

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 bifaciale PERC+ Solarzellen mit Aluminium-Finger-Grid. Zudem ist 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 Cells) 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 firms from the photovoltaic industry.

Emergente Solarzellentechnologien/Emerging solar cell technologies

Leitung/Head: Prof. Dr. Robby Peibst

Diese Arbeitsgruppe beschäftigt sich mit der konzeptionellen Weiterentwicklung von Siliziumsolarzellen. 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 Si-Solarzellen mit verschiedenen Top-Zellen von internationalen Partnern zu Tandemsolarzellen, wobei verschiedene Konfigurationen (insbesondere 2- und 3-Terminal) untersucht werden. Ein dritter Pfad zur konzeptionellen Weiterentwicklung von Siliziumsolarzellen ist deren Anpassung auf Spezialanwendungen, z.B. für fahrzeugintegrierte Photovoltaik.

This working group is concerned with the conceptual continued 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 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. Ein Schwerpunkt ist die sägefreie Herstellung von monokristallinen Siliziumwafern. Dabei werden Technologien eingesetzt, mit denen äußerst material- und energiesparend monokristalline Siliziumschichten mit Standarddicken sowie mit Dicken weit unter 50µm hergestellt werden können. Ein weiterer Schwerpunkt ist die Entwicklung von kostengünstigen Tandemsolarzellen auf Silizium, mit denen noch höhere Wirkungsgrade als mit reinen Siliziumsolarzellen erreicht werden können.

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

Modultechnologien/Module technologies

Leitung/Head: Dr. Marc Köntges

Die Arbeitsgruppe entwickelt neue Herstellungsverfahren für Photovoltaikmodule insbesondere für den Bau besonderer Anwendungen. Solarzellen werden für neue Anwendungen als Lichtsensoren integriert und Module für Fahrzeuge (VIPV) oder gebäude-integrierte Anwendungen (BIPV) entwickelt. Die Grundlagen des Aufbaus und der Charakterisierung von terrestrischen Tandemmodulen 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 Modullaminat. Diese Methoden werden für den größtenteils automatisierten Einsatz in Freiflächenanlagen weiterentwickelt. Außerdem werden Auftragsarbeiten zur Fehleranalyse von Modulen mit beschleunigten Alterungstests und Standardprüfungen gemäß der Norm IEC 61215 durchgeführt.

The working group develops new manufacturing processes for photovoltaic modules, especially for construction for special applications. Solar cells for new applications are integrated as light sensors and modules for vehicles (VIPV) or building-integrated applications (BIPV) are developed. The fundamentals of the construction and characterization of terrestrial tandem 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 module laminates. These methods are further developed for the mostly automated use in open-air plants. 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.

Das Haupthaus des ISFH.
The main building of ISFH.



Abteilung Solare Systeme

Leitung: Prof. Dr.-Ing. Oliver Kastner (bis 12/2019)

Dr. Federico Giovannetti (F&E-KOORDINATION, ab 12/2019)

Dr. Rolf Reineke-Koch (PERSONAL & INFRASTRUKTUR, ab 12/2019)

Die Forschungsaktivitäten der Abteilung *Solare Systeme* umfassen die Integration solar erzeugter Energie in kostengünstige und zuverlässige Energiesysteme zur Versorgung von Gebäuden und Quartieren. Dazu werden 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

Head: Prof. Dr.-Ing. Oliver Kastner (until 12/2019)

Dr. Federico Giovannetti (R&D COORDINATION, since 12/2019)

Dr. Rolf Reineke-Koch (HUMAN RESOURCES & INFRASTRUCTURE,

since 12/2019)

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

Solarthermische Materialien/Solar thermal materials

Leitung/Head: Dr. Rolf Reineke-Koch

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

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

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, hocheffiziente Flachkollektoren für die Unterstützung von industriellen Prozessen oder Wärmenetzen und neue Lösungen für die solare Aktivierung der Gebäudehülle, z.B. 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, highly efficient flat plate collectors for solar assistance of industrial processes or district heating networks and new solutions for the solar activation of the building envelope e.g. with curtain solar façades.



Ein thermochromer Absorber – Prototyp eines Kollektors, dessen Emissivität ab einer Grenztemperatur stark ansteigt, um die Anlage vor Überhitzungsschäden zu bewahren.

A thermochromic absorber – prototype of a collector whose emissivity rises sharply from a limit temperature to protect the system from overheating damage.

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, Brennwärnkessel und Subsysteme wie z.B. Energiezentralen von Mehrfamilienhäusern. Besonders hervorzuheben sind die Entwicklung und Optimierung von Warmwasserspeichern und die dynamische Prüfung von Luft-Wasser-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 air-to-water 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 energetic monitoring of buildings and urban districts.

Thermische Energiesysteme/Thermal energy systems

Leitung/Head: Dipl.-Ing. Peter Pärtsch

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

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



Kondenswasserbildung an einer Soleleitung im Wärmepumpenprüfstand. Mit dieser Leitung wird der Luft der Klimakammer des Wärmepumpenprüfstandes Wärme entzogen.

Condensation on a brine pipeline at the heat pump testing stand. Heat is removed with this pipeline from the air in the climatic chamber of the heat pump testing stand.

Calibration & Test Center (CalTeC)

Leitung/Head: Dipl.-Ing. Carsten Lampe

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

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

CalTeC – Thermal applications

Leitung/Head: Dipl.-Ing. Carsten Lampe

Der Bereich *Thermal applications* des CalTeC bietet 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.

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 these sectors there is an active collaboration with standardization organizations. Furthermore we provide our knowledge for accompanying product development as well as develop and improve test procedures.

CalTeC – Solar cells & sensors

Leitung/Head: Dr. Karsten Bothe

Der Bereich *Solar cells & sensors* bietet sowohl die Kalibrierung von Solarzellen 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'Eclairage (CIE) in einer von der Deutschen Akkreditierungsstelle (DAkkS) gemäß ISO 17025^[A] zertifizierten Prozedur.

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^[A] certified procedure.

CalTeC – Optics

Leitung/Head: Dr. Rolf Reineke-Koch

Der Bereich *Optics* des CalTeC bietet mit der flexibilisierten Akkreditierung allgemein die Messung strahlungsphysikalischer Eigenschaften von Beschichtungen und Oberflächen an. Der Bereich ist akkreditiert für Messungen der hemisphärischen Reflexion, der gerichteten Transmission und Reflexion jeweils vom UV-Bereich bis hin zu 50.000nm, darüber hinaus für die Bestimmung des Brechungsindex und des Extinktionskoeffizienten mittels spektraler Ellipsometrie im Wellenlängenbereich von 240nm bis 33.000nm. Es werden Prüfungen der Alterungs-

In general, the *Optics* section of CalTeC, with its flexibilized accreditation, offers the measurement of the radiometric properties of coatings and surfaces. The section is accredited for measurements of hemispheric reflection and directed transmission and reflection, in each case from the UV range to 50,000 nm, and also for determining the refractive index and the extinction coefficient by means of spectral ellipsometry in the wavelength range of 240 nm to 33,000 nm. Tests of the aging resistance of

beständigkeit von Absorberschichten gemäß dem internationalen Standard ISO 22975-3^[7] angeboten.

absorber layers are offered in accordance with the international standard ISO 22975-3^[7].

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

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

Zentrale Dienste

Leitung: Dipl.-Oec. Wolfgang Gaßdorf

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

Central services

Head: Dipl.-Oec. Wolfgang Gaßdorf

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

Weiterbildung & NILS/Education & NILS

Leitung/Head: Dr. Roland Goslich

Eines der ersten Schülerlabore an einem wissenschaftlichen Forschungsinstitut ist die bereits 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 for the whole country which is supported by the Ministry of Education of the State of Lower Saxony. The aim of the workshop is to introduce children and young people to the topic of energy production and energy use, in particular with respect to its availability, sustainability, economic viability and climate protection.

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.

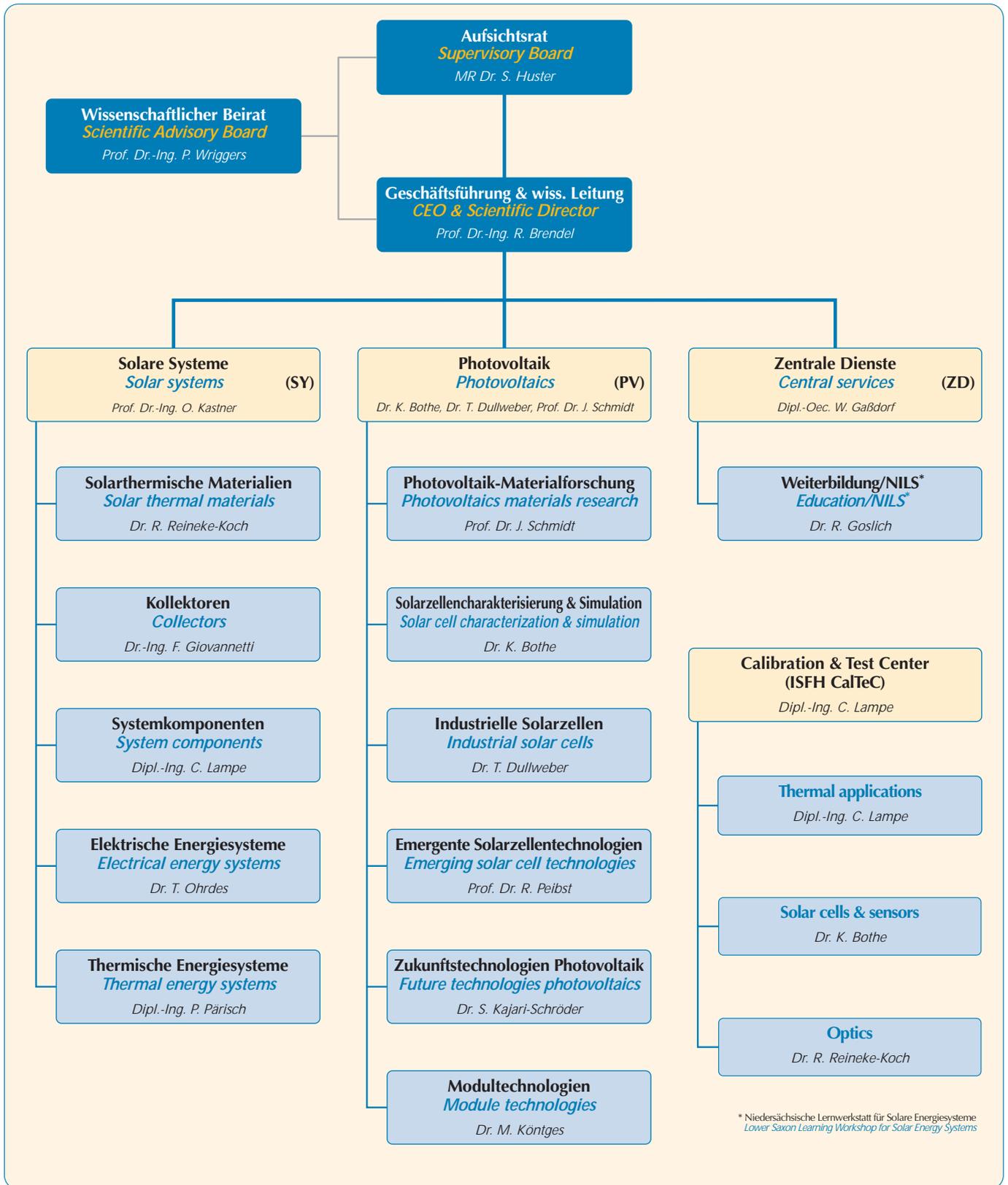
NILS is also an extra-scholastic place of learning in the BNE-Verbund^[8] and promotes education in the science, technology, engineering and mathematics (STEM) sector. As such a place of learning, it is a strong extra-scholastic partner, which, through the use of Lower Saxon teachers, ensures high quality 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 12/2019.

The organization of ISFH, effective 12/2019.

Die Südfassade des ISFH.
The south façade of ISFH.



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 24. Juni und am 10. Dezember 2019.

Die Mitglieder dieses Gremiums waren:

Mitglieder/Members

Stand/Effective: 31.12.REF!

- 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
- Prof. Dr. Rolf Haug
Institut für Festkörperphysik
Leibniz Universität Hannover

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 24 June and on 10 December 2019.

The members of the Board were:

- Prof. Dr. Bernd Rech
Helmholtz-Zentrum Berlin für Materialien und Energie
Berlin
- Ministerialrätin Petra Schröder
Niedersächsisches Umweltministerium
Hannover
- Dr. Peter Wohlfart
SINGULUS Technologies AG
Kahl am Main

Wissenschaftlicher Beirat

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

Die Mitglieder des Beirates sind anerkannte 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 22. November 2019 im ISFH ab. Die Mitglieder des wissenschaftlichen Beirates waren:

Scientific Advisory Board

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

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

This year's general meeting of the Board was held at ISFH on 22 November 2019. The members of the Scientific Advisory Board were:

Mitglieder/Members

Stand/Effective: 31.12.2019

- 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 (VDMA)
Frankfurt
- Prof. Dr. Günter Bräuer
Fraunhofer-Institut für Schicht- und Oberflächentechnik
Braunschweig
- Prof. Dr. habil. Ursula Eicker
Hochschule für Technik
Stuttgart
- Dr. Gunter Erfurt
Meyer Burger GmbH
Hohenstein-Ernstthal
- 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 Gas, Renewables and Power
Paris, Frankreich
- Dr. Kai Schiefelbein
Stiebel Eltron GmbH & Co. KG
Holzminde
- Prof. Dr. Frithjof Staiß
Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung
Baden-Württemberg (ZSW)
Stuttgart
- Prof. Dr. Arthur Weeber
TNO Energy Transition
Petten, Niederlande

Nachruf

Abschied von Prof. Dr. Rüdiger Memming

Am 2. Januar 2020 ist Prof. Dr. Rüdiger Memming in Rellingen bei Hamburg verstorben. Er war der erste wissenschaftliche Direktor des Institutes für Solarenergieforschung in Hameln.

Prof. Memming leitete das Mitte 1987 in Hannover neugegründete Institut für Solarenergieforschung als erster wissenschaftlicher Direktor bis 1992. Ein Physiker, ruhig und besonnen, bei den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern beliebt, führte das ISFH in dessen ersten Jahren sehr umsichtig und wohlüberlegt.

Gerade noch ein Plätzchen auf seinem überbordend belegten Schreibtisch findend, führte er die Gespräche mit seinen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern, Pfeife rauchend, mit hochgelegten Beinen in stets angenehmer Atmosphäre. Bis zum Ende seiner Berufung setzte er sich, wenn auch vergeblich, für einen Standort des ISFH in Hannover und für eine enge Anbindung an die Leibniz Universität Hannover ein.

Er studierte von 1951 bis 1956 an der Technischen Universität in Stuttgart und promovierte 1958 mit einer Arbeit über Fluoreszenzpolarisation. Sein Weg führte ihn weiter in die USA, wo er an der University of Minnesota forschte. 1974 habilitierte er im Fachbereich Chemie der Universität Hamburg, 1985 wird er zum Professor ernannt und übernimmt 1987 in Hannover die Leitung des ISFH bis 1992.

Sein Fachgebiet war die Elektrochemie an Halbleitern. Nach seiner Emeritierung legte er seine reichen wissenschaftlichen Beobachtungen und Erfahrungen in einem Buch über *Semiconductor Electrochemistry* nieder. 2009 erhielt er den Gerischer-Preis der Europäischen Sektion der *Electrochemical Society* (ECS) in Wien.

Prof. Memming starb im 89sten Lebensjahr nach einem schaffensreichen Leben. Er hinterlässt seine Frau, zwei Töchter, einen Sohn, sowie neun Enkel. Sein Fachgebiet, die Elektrochemie, ist für die Energiewende so aktuell geblieben wie sie es bereits in den Gründungsjahren des ISFH war. Das Institut für Solarenergieforschung verliert mit Prof. Memming einen engagierten Wissenschaftler und wichtigen Wegbereiter für die Nutzung der Solarenergie.

Wir werden sein Andenken in Ehren bewahren.

Obituary

Farewell to Prof. Dr. Rüdiger Memming

On January 2, 2020, Prof. Dr. Rüdiger Memming died in Rellingen near Hamburg. He was the first scientific director of the Institute for Solar Energy Research Hamelin.



Prof. Dr. Rüdiger Memming
(* 28.9.1931, † 2.1.2020)

Prof. Memming headed the Institute for Solar Energy Research, which was newly founded in mid-1987 in Hannover, as the first scientific director until 1992. A physicist, calm and level-headed, popular with the staff, led the ISFH in its first years with great care and well-consideration.

Having just found a place on his overflowing desk, he conducted the conversations with his employees smoking a pipe, with his legs raised, in an always pleasant atmosphere. Until the end of his appointment he advocated, albeit in vain, a location of the ISFH in Hannover and a close connection to the Leibniz University of Hannover.

He studied at the Technical University in Stuttgart from 1951 to 1956 and received his doctorate in 1958 with a thesis on fluorescence polarization. His path led him further to the USA, where he did research at the University of Minnesota. In

1974 he habilitated in the Department of Chemistry at the University of Hamburg, in 1985 he was appointed professor and in 1987 he took over the leadership of the ISFH in Hannover until 1992.

His field of expertise was electrochemistry on semiconductors. After his retirement he recorded his rich scientific observations and experience in a book on *Semiconductor Electrochemistry*. In 2009 he received the Gerischer Prize of the European Section of the *Electrochemical Society* (ECS) in Vienna.

Prof. Memming died in his 89th year of life, after a busy life, leaving behind his wife, two daughters, one son and nine grandchildren. His subject, electrochemistry, has remained as relevant to the energy system transformation as it was in the founding years of the ISFH. With Prof. Memming, the Institute for Solar Energy Research loses a committed scientist and an important pioneer for the use of solar energy.

We will honor his memory.

Roland Goslich, Rolf Reineke-Koch

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 34,7 % des Gesamtertrags (Einnahmen im Jahr 2019) von 10,4 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 5,8 Millionen Euro, davon ist der größte Teil Verbundforschung mit der Industrie. Hinzu kommen direkte industrielle Drittmitteleinnahmen aus Dienstleistungen und Auftragsforschung in Höhe von 1,02 Millionen Euro.

Zum Ende des Jahres 2019 waren 159 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 aktuell vier Forschungsgebäude mit einer Gesamtnutzfläche von 7.500 m². Zusätzlich gibt es auf dem Freigelände bzw. auf den Dachflächen die Möglichkeit, Außenversuche auf 2.000 m² Testfläche durchzuführen.

Statistics of the Institute

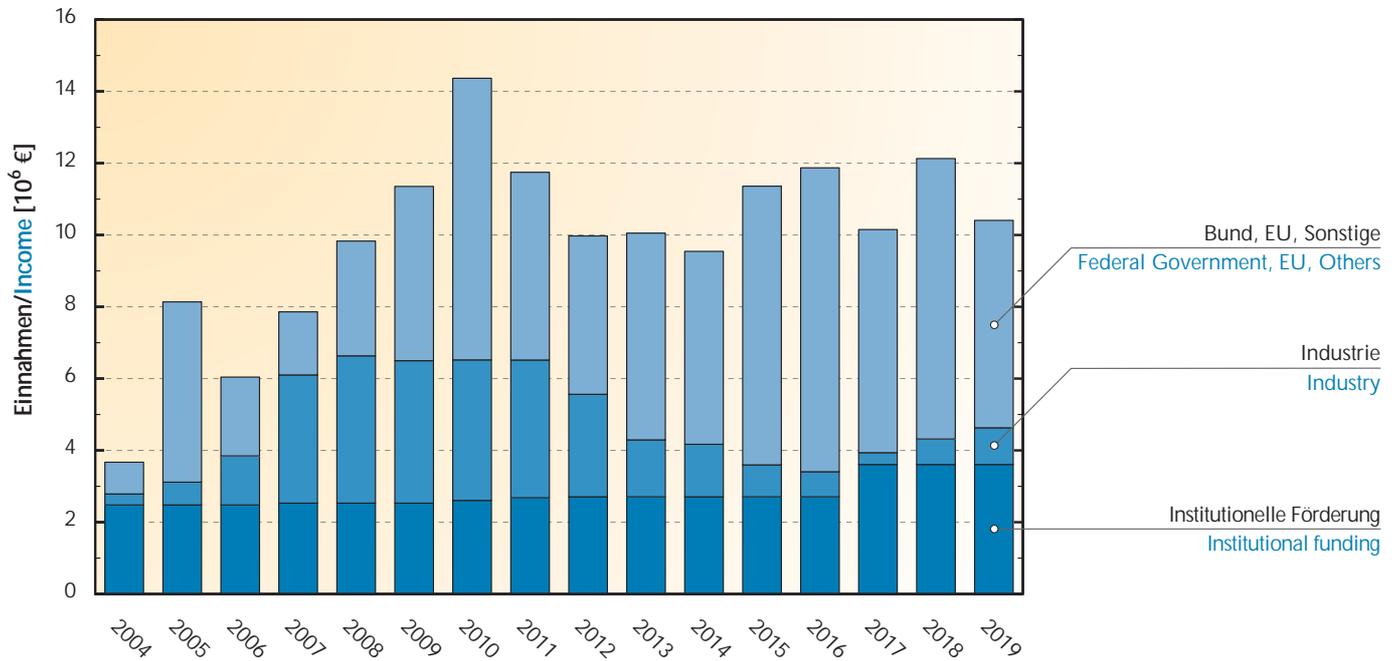
Budget & personnel

The Institute for Solar Energy Research Hamelin (ISFH) is a non-profit organization whose sole proprietor is the state of Lower Saxony. Institutional funding comes from the budget of the Ministry for Science and Culture and makes up 34.7 % of the total budget (income in 2019) of €10.4 million for the reporting year.

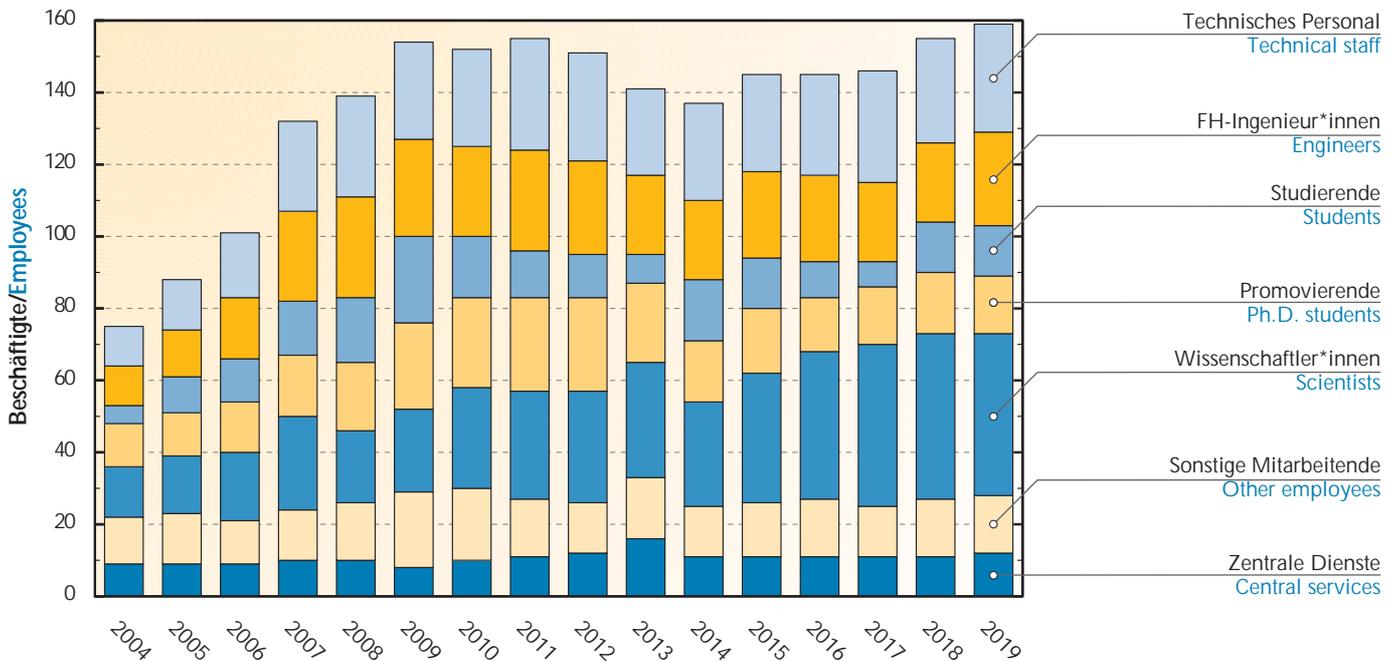
In addition to this institutional support from the State Government of Lower Saxony, the Institute receives so-called third-party funding from public research sponsors such as the Federal Government, the State Government of Lower Saxony or the European Union (EU). The income from public research projects was €5.8 million in the reporting year, the majority of which was joint research with the solar industry. In addition, direct industrial third-party funding also comes from services and contract research amounting to €1.02 million.

At the end of 2019 ISFH had 159 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. Currently there are four research buildings on it with a total floor space of 7,500 m². In addition, in the open-air areas or on the roofs there is the possibility to carry out outdoor tests on currently 2,000 m² of test area.



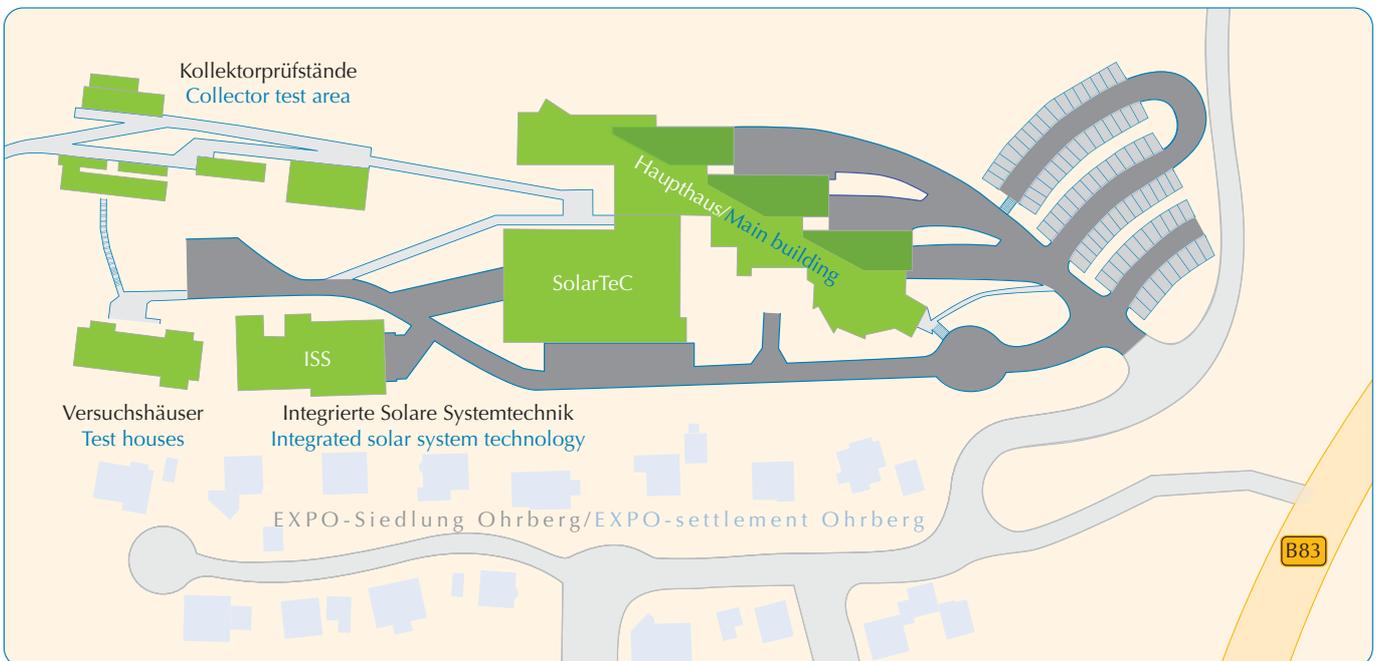
Der Haushalt des ISFH nach Einnahmequellen aufgeschlüsselt. ISFH budget broken down into funding sources.



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

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

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



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

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. im Blick auf beobachtete Engpassfaktoren.
- Vermittlung der Forschungsleistung des ISFH in die eigenen politischen und wirtschaftlichen Netzwerke der Vereinsmitglieder.
- Nutzung der eigenen Möglichkeiten (Ressourcen und Netzwerke), um das Institut in die Region besser einzubinden.

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:

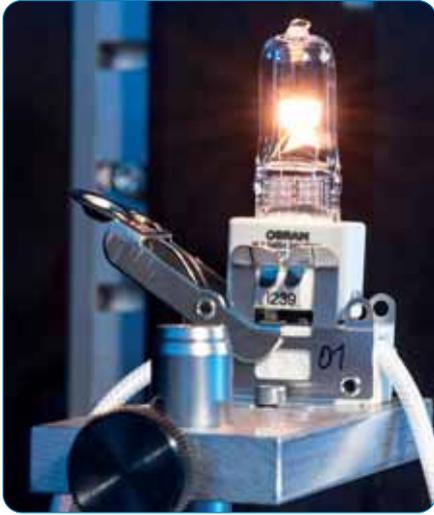
- To communicate the particular points of view of market sectors to ISFH to ensure awareness of the whole market e.g. in respect of perceived bottleneck factors.
- Communication of the research achievements of ISFH through Society members’ own political and economic networks.
- Use of its own facilities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



Willi Ernst (Mitte) berichtet in seinem Vortrag über „Solare Wiedergutmachung in Haiti“. Er folgte einer Einladung von Detlef Mencke (Vorsitzender des Fördervereins, links) und Prof. Dr. Robby Peibst (Gruppe Emergente Solarzellentechnologien, rechts).

Willi Ernst (center) reporting in his lecture about “Solar Rectification in Haiti“. He accepted an invitation from Detlef Mencke (Chairman of the Friends of the ISFH, left) and Prof. Dr. Robby Peibst (Emerging Solar Cell Technology Group, right).

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



Abbildung/Figure 21: Strahlernormal zum Einsatz als sekundäres TransfERNormal im ISFH-CalTeC.

Radiation standard for use as secondary transfer standard in ISFH-CalTeC.



Abbildung/Figure 22: Eine Wärmepumpe im Wärmepumpenprüfstand der „Integrierten Solaren Systemtechnik“.

A heat pump in the heat pump test stand of the “Integrated solar system technology”.

Am 5. September 2019 fand am ISFH die jährliche Mitgliederversammlung des Fördervereins statt. Auf Einladung des Vereins fand im Anschluss daran ein öffentlicher Vortrag des Gründers der Biohausstiftung Paderborn, Willi Ernst, über ein aktuelles Thema statt: „Solare Wiedergutmachung in Haiti – wie die reiche Welt ihre Schulden bei der armen bezahlen kann“. Hintergrund war das Erdbeben in Haiti im Jahr 2010, denn es war der Anstoß zu einem beispielhaften Projekt, das Erfahrung und Wissen der reichen Welt zum Nutzen der „Opfer Columbus“ und des seinerzeit folgenden Kolonialismus einsetzt: Das „SolarSmartGridTabarre (SGGT)“. Willi Ernst stellte sein Projekt mit den sozialen, politischen und technischen Hintergründen anhand vieler Fotos und seinen sehr persönlichen Eindrücken vor. Er versteht es als kleine Wiedergutmachung historischer Vergehen und Beitrag zur globalen Klimapolitik.

Im Jahr 2019 hat der Verein das ISFH mit einer Zuwendung von insgesamt rund 14.000€ unterstützt. Das umfasste den Ausbau der Messrechnerinfrastruktur im Kalibrier- und Prüflabor CalTeC, ein 1000W FEL^[10] Strahlernormal (Abbildung 21) im Kalibrierlabor und eine akademische COMSOL-Multiphysics[®]-Lizenz für die Optimierung des Wärmepumpenprüfstandes (Abbildung 22). COMSOL Multiphysics ist eine Software zur Simulation physikalischer Vorgänge, die mittels Differentialgleichungen beschrieben werden können.

On September 5th, 2019 the annual members’ meeting of the Friends of the ISFH took place. Following this, at the invitation of the Friends, a public lecture by the founder of the Paderborn Biohaus Foundation, Willi Ernst was held on the current topic: “Solar Rectification in Haiti – how the affluent world can pay its debts to the poor”. The background to this was the earthquake in Haiti in 2010, as this was the stimulus for an exemplary project to deploy the experience and knowledge of the rich world to the advantage of the “Columbus victims” and subsequent colonialism: the “Solar Smart Grid in Tabarre”. Willi Ernst presented his project with the social, political and technical background using a large number of photos and his very personal impressions. He considers it as a small rectification of historical transgressions and a contribution to global climate policy.

In 2019 the Friends supported ISFH with grants totaling about €14,000. This included the expansion of the computer measuring infrastructure in the calibration and testing laboratory, CalTeC, a 1000W FEL^[10] radiation standard in the calibration laboratory (Figure 21) and an academic COMSOL Multiphysics[™] license for the optimization of the heat pump testing stand (Figure 22). COMSOL Multiphysics is a software for the simulation of physical processes which can be described by means of differential equations.

[10] FEL – American National Standards Institute (ANSI)-Nomenklatur für „Filament Enclosed Lamp“

[10] FEL – American National Standards Institute (ANSI)-nomenklature for “Filament Enclosed Lamp“

Mitglieder/Members

Stand/Effective: 31.12.2019

- BHW Bausparkasse AG, Hameln
- Buff, Ute (Steuerkanzlei Buff), Emmerthal
- 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
- Horst Zacharias, 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
- Specht, Peter (Steuerkanzlei Specht + Partner), Hameln
- Stadt Hameln, Hameln
- Stadtwerke Bad Pyrmont GmbH, Bad Pyrmont
- Stadtwerke Rinteln GmbH, Rinteln
- Steinmann BAU GmbH, Emmerthal
- Stiebel Eltron GmbH & Co. KG, Holzminden
- Viega Technology GmbH & Co. KG, Attendorf
- Westfalen Weser Netz GmbH, Paderborn
- Zacharias, Horst (Gebäudetechnik GmbH), Hameln



Der Förderverein des ISFH nach der Jahresversammlung am 5.9.2019, v.l.n.r./The Friends after the annual general meeting on 5.9.2019, from left to right: H. Niemeyer (CW Niemeyer & Co. KG), Prof. Dr. O. Kastner (ISFH), J. G. Kuhlen (Viega Technology), Prof. Dr.-Ing. R. Brendel (ISFH), L. Reimann (elektroma GmbH), U. Buff (Steuerkanzlei Buff), K.-W. Steinmann (Steinmann Bau GmbH), B. Hölscher (Sparkasse Hameln-Weserbergland), Dr. K. Bothe (ISFH), M. Hartung (Zacharias Service GmbH & Co. KG), D. Mencke (Ingenieurbüro Mencke & Tegtmeyer), R. Tepe (proKlima), W. Gaßdorf (ISFH).

Roland Goslich, Detlef Mencke

2 Forschungsabteilungen

Research departments

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 Siliziumsolarzellen (SiO_2 , SiN_x , Al_2O_3 , a-Si, poly-Si)
- Hocheffiziente PERC- und bifaziale PERC+-Siebdruck-Solarzellen
- Heterojunction-Solarzellen (Polymer/c-Si)
- Hocheffiziente Zellen mit poly-Si-on-Oxide (POLO)-Kontakten
- Hocheffiziente Perowskit/c-Si-Tandemsolarzellen
- Industrienaher Technologie- und Prozessentwicklung
- Sägeverlustfreie Methoden zur Herstellung ultradünner Si-Wafer
- Neue kamerabasierte Charakterisierungsverfahren für Silizium-Materialien, Solarzellen und PV-Module
- Analyse von Defekten in Silizium und ihren Auswirkungen auf Solarzellen- und Moduleigenschaften
- Neuartige Verbindungstechniken für PV-Module
- Langzeitstabilität von Solarzellen und PV-Modulen
- Mechanische Eigenschaften von PV-Modulen
- Bauelement- und Prozesssimulation

Dienstleistungen

- Kalibrierung von Solarzellen
- Kalibrierung von Solarstrahlungssensoren
- Prüfung von Spektralfotometern
- Kalibrierung von Strahlernormalen
- Charakterisierung von Solarzellen und -modulen
- Sondermodulbau

Apparative Ausstattung

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

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

Services

- Calibration of solar cells
- Calibration of solar irradiance sensors
- Testing of spectral radiometers
- Calibration of reference lamps
- Characterization of solar cells and modules
- Fabrication of customized modules

Equipment & facilities

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

- Niederdruck chemische Gasphasenabscheidung (LPCVD) von dotierten amorphen Silizium-Schichten
- 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 Zellmetallisierung
- Integrierte Hochraten-Durchlauf-Aufdampf- und Sputteranlage
- Laserlabor mit fünf Laser-Materialbearbeitungssystemen
- Verbindungs- und Modultechnologie: Löttechnik, Stringer, Laminator
- Klimakammern sowie UV- und Halogenlampen-Bestrahlungsplätze
- Transportsimulation von PV-Modulen (Shaker)
- Modulflasher, Elektrolumineszenz-, Thermographie- und Fluoreszenzmessplatz für PV-Module
- Isolationsprüfplatz für PV-Module
- Sonnensimulatoren und spektrale Empfindlichkeitsmessung für 6"-Solarzellen
- Vollautomatisiertes integriertes Solarzellen-Charakterisierungstool (LOANA)
- Kamerabasierte Elektro- und Photolumineszenz für Solarzellen und Wafer
- Quasistatische Messung der Photoleitung (QSSPC)
- Mikrowellen-detektiertes Photoleitungsabklingen (MW-PCD)
- Temperatur- und injektionsabhängige Lebensdauerspektroskopie (TIDLS)
- Kapazitäts-Spannungs-Messungen (CV)
- Dotierprofilmessung mit ECV-Profilier
- Licht- und Rasterelektronenmikroskopie
- Energiedispersive Röntgenanalyse und Röntgenbeugung (EDX und XRD)
- Ramanspektrometer und Röntgendiffraktometer
- Messplatz für temperaturabhängige Hall-Messungen
- 4-Linienbiegeversuch für mechanische Belastungstests von PV-Modulen
- Low-pressure chemical vapor deposition (LPCVD) of doped amorphous silicon layers
- 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 five laser material processing systems
- Interconnection and module technology: soldering equipment, stringer, laminator
- Climate chambers as well as UV- and halogen-lamp irradiation chambers
- Transport simulation for PV modules (Shaker)
- Module flasher, electroluminescence, thermography and fluorescence set-ups for PV module characterization
- 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
- 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 setup for temperature-dependent Hall measurements
- 4-line bending set-up for mechanical load tests of PV module

Glanzlichter

- Effektive Unterdrückung von Randverlusten in 26 % c-Si Solarzellen
- 22 % effizientes PV-Modul mittels Shingeltechnologie
- UV-stabile Oberflächenpassivierung von Si-Solarzellen
- Erstmalige direkte Korrelation von LeTID mit Wasserstoff
- Präzise Methode zur Messung der Wasserstoff-Konzentration in c-Si
- ISFH CalTeC kalibriert Multibusbar-Solarzellen und busbarlose Solarzellen

Highlights

- Effective suppression of edge losses in 26 % c-Si solar cells
- 22 % efficient PV module with shingling technology
- UV-stable surface passivation of Si solar cells
- First direct correlation of LeTID with hydrogen
- Precise method for the measurement of the hydrogen concentration in c-Si
- ISFH CalTeC offers calibration of multi busbar and busbarless solar cells

Abteilung Solare Systeme

Solar systems department

Forschungsthemen

- Sonnenkollektoren für neue Anwendungsgebiete (Wärmenetze, Prozesswärme, Wärmepumpenquelle)
- Photovoltaisch-thermische PV-T-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 und Quartiere
- Entwicklung von Simulationsmodellen für Komponenten und Subsysteme von dezentralen Gebäude-Energieanlagen
- Analyse und Optimierung strombasierter lokaler Energieversorgungssysteme

Research topics

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

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, Wohnungsstationen, etc.
- Wissenschaftliche Begleitung industrieller Entwicklungen mit experimentellen Methoden und Simulationen sowie Feldtests
- Energiesystemmodellierung und -monitoring

Services

- Standard tests on thermal energy converters, thermal storages and systems as well as systems and components for transfer of thermal energy in an EN ISO/IEC 17025-accredited test laboratory, implementation of complete tests and inspections in accordance with the SolarKeymark rules
- Standard tests of optical properties of coatings and surfaces in an EN ISO/IEC 17025-accredited test laboratory
- Characterization of air/water heat pumps up to 30 kW_{th}, and water/water and brine/water heat pumps up to 60 kW_{th}
- Characterization of 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, 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 bis 33 μm) mit Proben temperierung
- 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) inklusive Zirkulation

Glanzlichter

- Entwicklung und Validierung eines Modells zur Simulation von Strom und Wärme im Quartier auf Basis von Messdaten eines realen Quartiers
- Erfolgreicher Nachweis der Funktionalität thermochromer Flachkollektoren in zwei Pilotanlagen
- Erstellung und Charakterisierung großformatiger solarthermisch aktivierter Module aus Profilbaugläsern für die Fasadensintegration
- Modellierung und experimentelle Charakterisierung im System eines hocheffizienten PV-T-Kollektors für den Einsatz als alleinige Wärmepumpenquelle
- Nachweis des Potenzials solarthermisch aktivierter Sandwich-Paneele zur Regeneration von Erdreich-gekoppelten Wärmepumpensystemen in Nichtwohngebäuden

Equipment & facilities

- Indoor test facilities with two sun simulators for performance and reliability tests, up to 1,200 W/m²
- Testing facilities for pressure, suction and thrust loads on solar modules
- 400 m² test roofs for reliability tests on collectors and systems as well as performance tests on solar collectors up to 180 °C
- Test facility for air/water-, water/water- and sole 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 to 33 μm) including temperature control of 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

- Development and validation of a model to simulate electricity and heat in quarters on the basis of measured data from a real quarter
- Successful demonstration of the functionality of thermochromic flat collectors in two pilot plants
- Manufacturing and characterization of large-size solar thermally activated modules made of U-shaped profiled glass for façade integration
- Modelling and experimental characterisation in the system of a highly efficient PV-T collector for use as sole heat pump source
- Proof of the potential of solar thermally activated sandwich panels for the regeneration of ground-coupled heat pump systems in non-residential buildings

Abteilung Photovoltaik

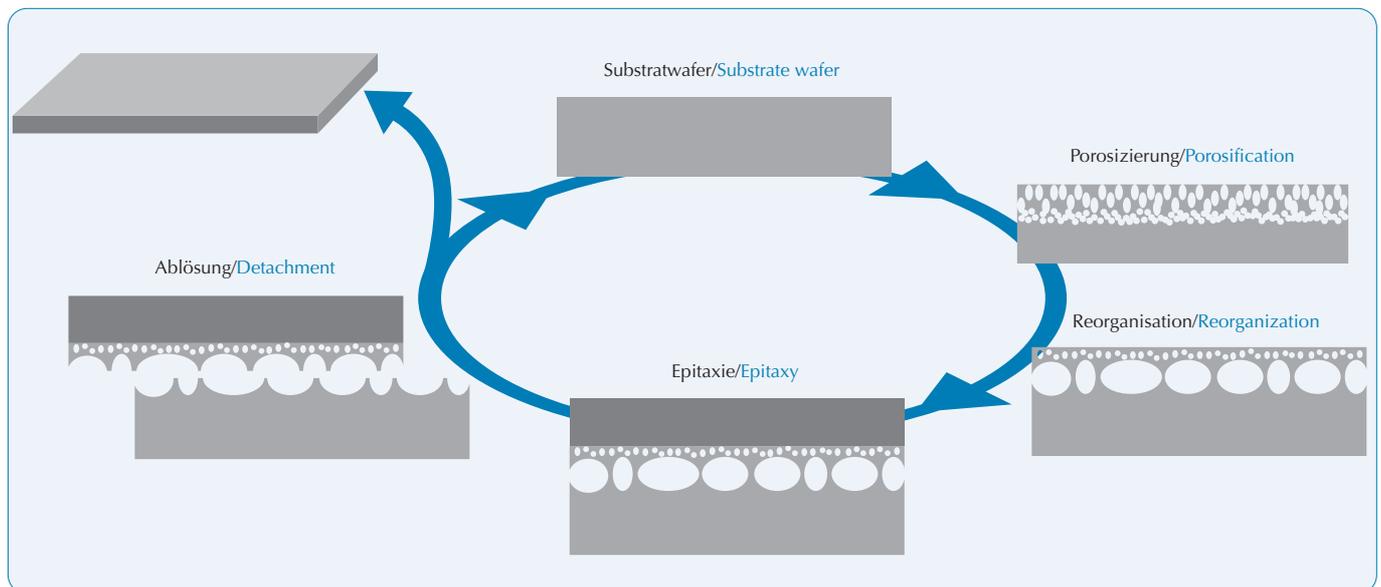
Prozessausbeute hochwertiger kristalliner Siliziumschichten aus dem porösen Siliziumprozess

Der Anteil der Waferkosten an den Modulkosten beträgt etwa 30%. Ein Hebel, um Kosten und Ressourcen einzusparen ist die sägefreie Herstellung von Wafern, z.B. mit dem porösen Siliziumprozess (PSI-Prozess). Durch den PSI-Prozess können neben den Sägeverlusten zudem auch noch zwei energieintensive Kristallisationsprozesse eingespart werden. Er basiert auf dem epitaktischen Wachstum eines PSI-Wafers auf einem wiederverwendbaren Substratwafer. Der PSI-Prozess ist in Abbildung 26 gezeigt und startet mit runden 6-Zoll Silizium Substratwafern in welche wir eine poröse Schicht ätzen. Anschließend wird die poröse Schicht umgeformt, sodass sich eine Trennschicht und eine geschlossene Oberfläche ausbilden. Letztere dient dann als Saatoberfläche für das epitaktische Wachstum des 120 µm dicken PSI-Wafers. Anschließend lösen wir den 10 × 10 cm² quasi-quadratischen epitaktischen PSI-Wafer für weitere Untersuchungen ab.

Photovoltaics department

Process yield of high-quality crystalline silicon layers from the porous silicon process

Wafer make up around 30% of the cost of modules. One tool for saving costs and resources is the kerfless production of wafers, e.g. with the porous silicon (PSI) process. Through the PSI process both kerf losses and two energy-intensive crystallization processes can be saved. It is based on the epitaxial growth of a PSI wafer on a reusable substrate wafer. The PSI process is illustrated in Figure 26 and starts with round 6-inch silicon substrate wafers into which we etch a porous surface layer. Afterwards, the porous layer is transformed so that a separation layer and a dense surface are formed. The latter serves as a seed bed for the epitaxial growth of the 120 µm-thick PSI wafer. Finally, we detach the epitaxial 10 × 10 cm² quasi-square epitaxial PSI wafer for further investigations.



Abbildung/Figure 26: Schematische Darstellung des porösen Silizium Prozesses zur Herstellung von epitaktisch gewachsenen Siliziumwafern auf einem wiederverwendbaren Substrat.

Diagrammatic representation of the porous silicon process for the manufacture of epitaxial silicon wafers on a reusable substrate.

Die schrittweise Realisierung von Schlüsselkomponenten zur Implementierung von sägefreen Wafern in die Standard PV-Prozesse macht den PSI-Prozess interessant: Die Qualität der PSI-Wafer hatte sich in den letzten Jahren stetig verbessert mit aktuellen Rekordladungsträgerlebensdauern von bis zu 8 ms. Die Möglichkeit die Wafer in existierenden Maschinen zu nutzen, erlaubte die Herstellung von hoch-effizienten Solarzellen mit Rekord-Wirkungsgraden von bis zu 23 %. Jedoch ist die Stabilität des Herstellungsprozesses mindestens so wichtig für die industrielle Realisierung wie das Effizienzpotenzial des PSI-Prozesses. Eine geeignete poröse Schicht ist aber unabdinglich für die Herstellung von qualitativ hochwertigen PSI-Wafern und ein erfolgreiches Ablösen.

Die bisher in der Literatur veröffentlichten Ablöseraten variieren von 8/9 Wafer, 23/23 Wafer bis zu 34/36 Wafer. Die Werte lassen sich allerdings nicht gut vergleichen, weil sie sich auf verschiedene Probengrößen, -dicken und Ablösemethoden beziehen.

Für unser Experiment definierten wir ein Prozessfenster in Bezug auf die Ätzstromdichte von 105 bis 120 mA/cm² und hielten alle weiteren Prozessparameter so konstant wie möglich (z.B. Dotierung des Substratwafer, Elektrolytkonzentration, Lagerdauer usw.). Die Variation der Ätzstromdichte führte zu einer Variation der porösen Schicht vor bzw. nach Reorganisation. Dies diente zur Repräsentation von Prozessschwankungen, die in einer Großanlage unumgänglich sind und in unserer Laboranlage nicht in vergleichbarer Stärke von Belang sind. Im Anschlussprozessierten wir 62 Wafer, von denen 59 PSI-Wafer erfolgreich abgelöst wurden. Die Ablöserate der Versuchsreihe ist somit 95 %. Außerdem zeigten die Experimente, dass es nach erfolgreichem Ablösen keinen Einfluss der Ätzstromdichte auf die elektrischen Eigenschaften gibt.

Die Ablöserate hat allerdings nur eine begrenzte Aussagekraft, da sie das Ergebnis dieser Versuchsreihe ist und nicht zur Beschreibung des PSI-Prozesses dient. Wir möchten jedoch eine Aussage treffen, welche Ablösewahrscheinlichkeit wir bei zukünftigen Versuchsreihen erwarten können. Hierfür müssen wir eine Irrtumswahrscheinlichkeit in Kauf nehmen, mit der wir akzeptieren eine Fehlaussage zu machen, üblich sind 5 %.

Um die Ablösewahrscheinlichkeit des Prozesses zu berechnen, beschrieben wir diesen als Bernoulli-Experiment mit zwei möglichen Ausgängen: Der PSI-Wafer kann erfolgreich, d.h. schadensfrei, abgelöst werden oder er kann es nicht.

The step-by-step realization of key components for the implementation of kerfless wafers in standard PV processes makes the PSI process interesting: The quality of the PSI wafers has steadily increased in recent years, with current record charge carrier lifetimes of up to 8 ms. The possibility of using wafers in existing machinery has enabled the manufacture of high efficiency solar cells with record efficiencies of up to 23 %. However, the stability of the production process is at least as important for the industrial realization of the PSI process as for the efficiency potential of the PSI process. A suitable porous layer, however, is indispensable for the production of high-quality PSI wafers and for detaching them successfully.

The detachment rates published in the literature so far vary from 8/9 wafers, 23/23 wafers to 34/36 wafers. However, the values cannot be compared well, because they refer to different sample sizes, thicknesses and detachment methods.

For our experiment, we defined a process window regarding the etch current density from 105 to 120 mA/cm² and kept all other process parameters as constant as possible (e.g. substrate wafer doping, electrolyte concentration, storage time etc.). The variation of the etch current density led to a variation in the porous layer before or after reorganization. This served to represent process fluctuations which are unavoidable in large plants and which are not relevant to the same degree in laboratory conditions. Afterwards, we processed 62 wafer from which we successfully detached 59 PSI wafers. The detachment rate of the series of experiments is therefore 95 %. Furthermore, the experiments showed that after successful detachment the electrical characteristics are not affected by the etch current density.

The detachment rate, however, only has limited validity as it is the result of the series of experiments and does not serve to describe the PSI process itself. Nevertheless, we wish to make a statement about the detachment probability, which we can expect in future series of experiments. For this, we have to accept a probability of error, with which we accept to make a false statement, usual are 5 %.

In order to calculate the detachment probability of the PSI process, we describe it as a Bernoulli experiment with two possible outcomes: the PSI wafer can be detached successfully, which means that it is undamaged, or it cannot.

Die Binomialverteilung gibt dann die Wahrscheinlichkeit $P(k,Y,N)$ für eine Ablösewahrscheinlichkeit Y genau k von n Wafer erfolgreich abzulösen. In unserem Fall war $n=62$, $k=59$ und Y die gesuchte Größe.

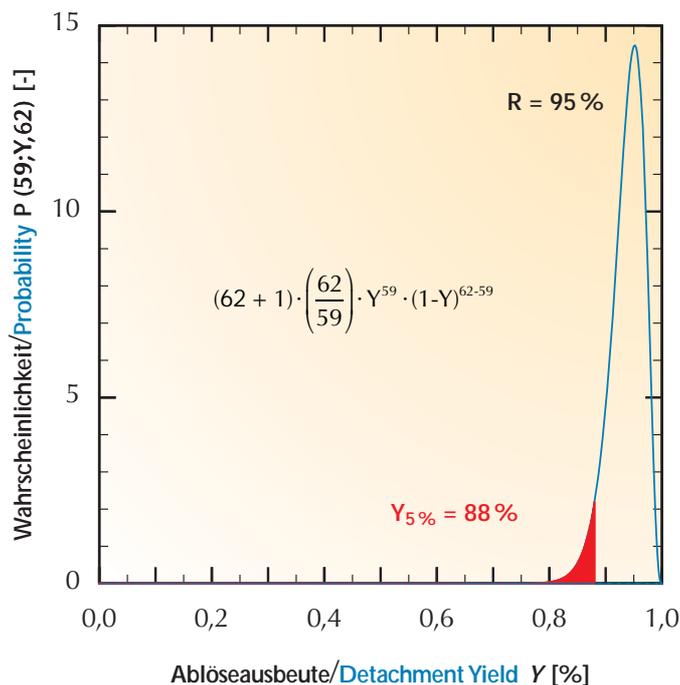
$$P(k;Y,N) = \binom{n}{k} Y^k (1-Y)^{n-k}$$

Abbildung 27 zeigt die Wahrscheinlichkeitsdichte in Abhängigkeit der Ablösewahrscheinlichkeit normiert auf eine Fläche von 1. Wir akzeptierten eine Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 %, sodass in 95 % aller Fälle die bestimmte Ablösewahrscheinlichkeit größer als die wirkliche Ablösewahrscheinlichkeit ist. Dies lässt sich durch 5 % der Fläche unter dem Graphen verbildlichen (rote Fläche) und führt zu einer Ablösewahrscheinlichkeit von mindestens 88 % in unserem PSI-Prozess. Nähme man an, dass die Ablösewahrscheinlichkeit gleich der Ablöserate von 95 % sei, müsste man eine Irrtumswahrscheinlichkeit von 60 % akzeptieren. In mehr als der Hälfte der Fälle wäre die Annahme also

The binomial distribution gives the probability $P(k,Y,N)$ for a detachment probability Y of successfully detaching precisely k from n wafers. In our case n was 62, k was 59 and Y was unknown.

$$P(k;Y,N) = \binom{n}{k} Y^k (1-Y)^{n-k}$$

Figure 27 shows the probability density depending on detachment probability scaled to an area of 1. We accept an error probability of 5 %, so that in 95 % of all cases the determined detachment probability is larger than the actual detachment probability. This can be graphically illustrated by 5 % of the area below the curve (marked in red) and it leads to a detachment probability of at least 88 % in our PSI process. If, however, one assumed the detachment probability to be the same as the detachment rate of 95 %, one would have to accept an error probability of 60 %. This means that in more than half of the cases, the assumption would be wrong.



Abbildung/Figure 27: Flächennormierte Wahrscheinlichkeitsdichte P^* für $k=59$ von $n=62$ erfolgreich abgelösten Wafern in Abhängigkeit der Ablösewahrscheinlichkeit Y .

Area-scaled probability density P^* for $k=59$ of $n=62$ successfully detached wafers as a function of detachment probability Y .

Wissenschaftliche Ergebnisse

falsch. Wir entwickelten basierend auf den Eigenschaften der Gauß'schen Normalverteilung eine Näherungsformel, mit der die Ablösewahrscheinlichkeit bei bekanntem n und k mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 % berechnet werden kann:

$$Y = \frac{k+1}{n+2} - \frac{2}{k+2} \sqrt{\frac{(k+1)(n-k+1)}{(n+3)}}$$

Wir ermittelten, dass zur Bestimmung einer Ablösewahrscheinlichkeit von 99 % (bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 %) mindestens 300 erfolgreich abgelöste Wafer notwendig sind und deutlich mehr, wenn wenigstens ein Wafer nicht abgelöst werden kann.

Wir zeigten, dass sich der PSI-Prozess für die Herstellung hochwertiger, sägefreier Siliziumwafer eignet und unser PSI-Prozess eine Ablösewahrscheinlichkeit von mindestens 88 % hat. Wir schlagen vor, die Beurteilung der Rentabilität des PSI-Prozesses über die Ablösewahrscheinlichkeit und nicht über die Ablöserate durchzuführen. Dabei gilt: Je größer die Versuchsreihe, desto genauer ist die Bestimmung der Ablösewahrscheinlichkeit.

Based on the characteristics of the Gaussian normal distribution, we developed an approximation formula to calculate detachment probability from known n and k values with an error probability of 5 %:

$$Y = \frac{k+1}{n+2} - \frac{2}{k+2} \sqrt{\frac{(k+1)(n-k+1)}{(n+3)}}$$

We determined, that for the demonstration of a detachment probability of 99 % (with an error probability of 5 %) at least 300 successfully detached wafers are required – and significantly more if at least one wafer cannot be detached.

We have shown that the PSI process is suitable for the manufacture of high quality, kerfless silicon wafers and that our PSI process has a detachment probability of at least 88 %. We further suggest undertaking the evaluation of the profitability of the PSI process using the detachment probability and not the rate. What is important: the larger the series of experiments, the more precise can be the determination of the detachment probability.

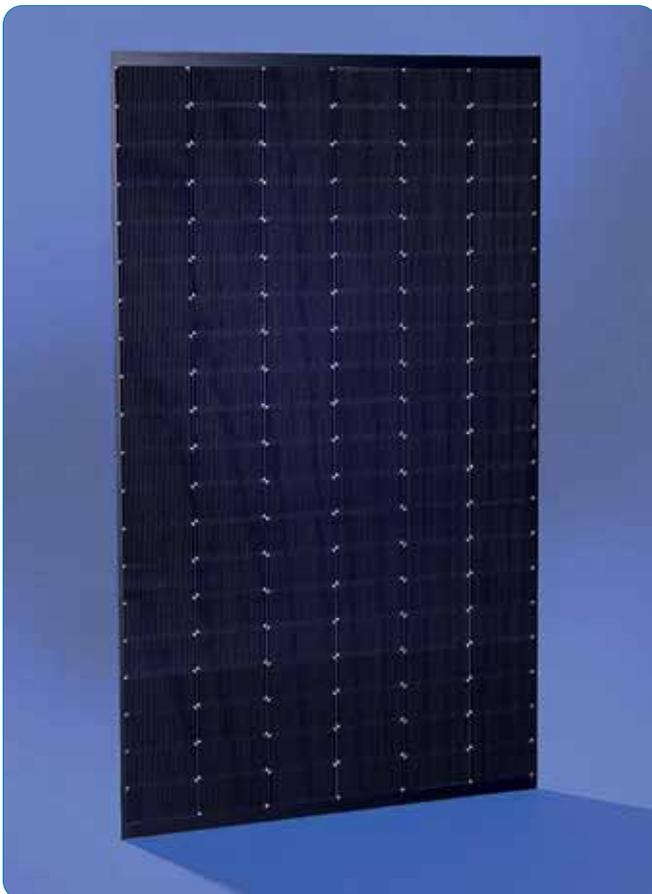
Catherin Gemmel, Sarah Kajari-Schröder

22,1% Modulwirkungsgrad mittels lückenfreier Zellverschaltung

Im Jahresbericht 2018 stellten wir eine am ISFH entwickelte Technologie zur Herstellung von lückenlos verschalteten Solarzellen im Solarmodul vor. Diese Technologie erlaubt die Herstellung insbesondere von hocheffizienten PV-Modulen. Bisher war eine Strukturierung der Laminationsfolie nötig, um Zellrisse beim Schindeln mit Zellverbindern zu vermeiden. Nunmehr haben wir die Methode auf herkömmliche Maschinenteknologie übertragen. Durch die neue Prozessführung ist das Prägen der Laminationsfolie nicht mehr notwendig. Mit diesem Verfahren haben wir ein PV-Modul im Standardformat hergestellt. Für die Herstellung des PV-Moduls wurden uns Heterojunction-Solarzellen mit einem Wirkungsgrad von durchschnittlich 23,3 % von unserem Projektpartner Meyer Burger zur Verfügung gestellt. Der Modulwirkungsgrad von 22,1 % liegt zwei Prozentpunkte über dem der üblichen kommerziellen Module mit dieser Zelltechnologie und wurde vom TÜV Rheinland unabhängig bestätigt.

22.1% Module efficiency by means of gapless cell interconnection

In the 2018 Annual Report, we presented a technology developed at ISFH for the manufacture of seamlessly interconnected solar cells in solar modules. This technology enables the production of particularly highly efficient PV modules. Previously, it was necessary to structure the lamination foil to avoid cell cracks when shingling with cell connectors. In the meantime, we have transferred the method to conventional machine technology. The new process control means that embossing the lamination foil is no longer necessary. With this process we have produced a PV module in standard format. For the production of the PV module, we were provided by our project partner Meyer Burger with heterojunction solar cells with an average efficiency of 23.3 %. The module efficiency of 22.1 % is two percentage points higher than the usual commercial modules using this cell technology and has been independently confirmed by TÜV Rheinland.

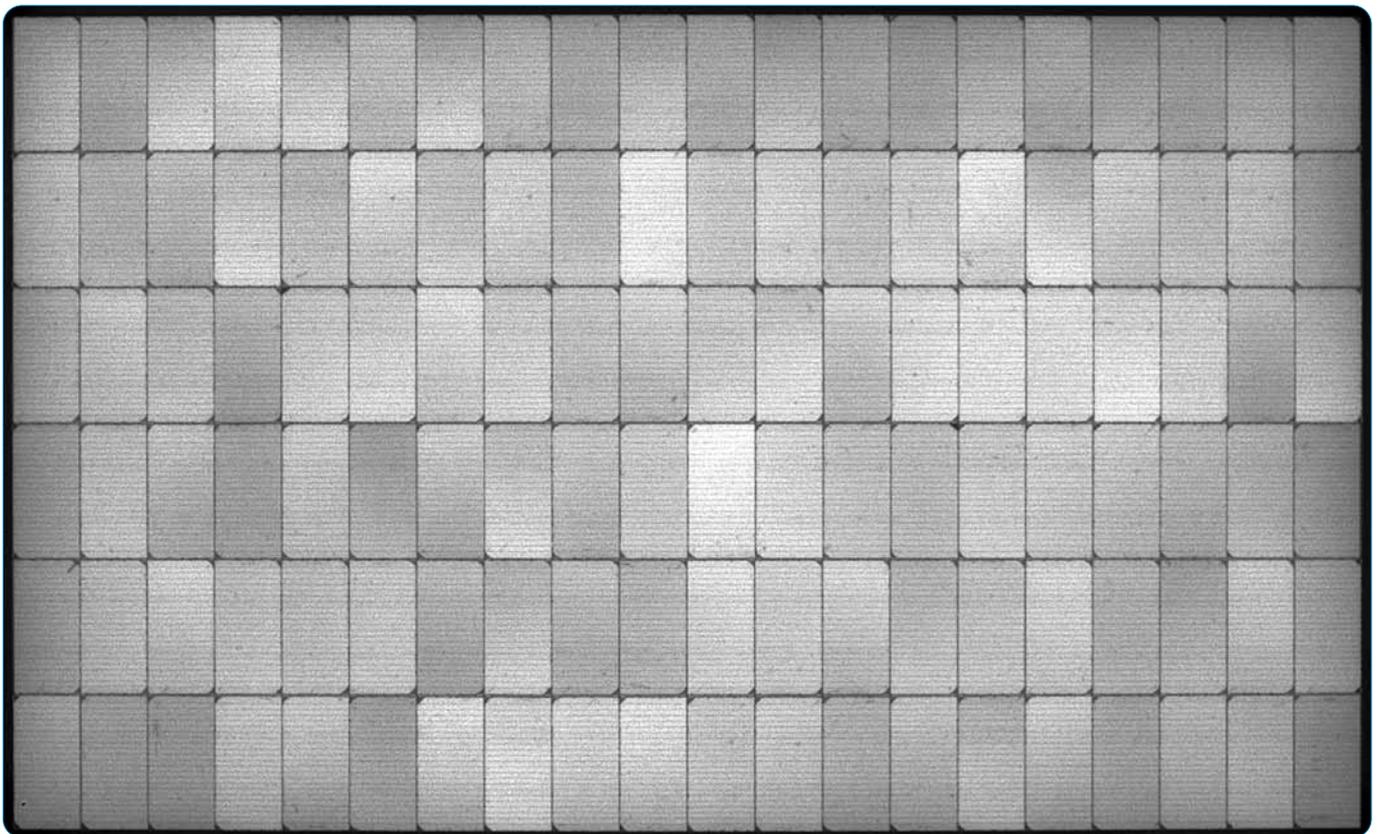


Abbildung/Figure 28: Das Hocheffizienz PV-Modul hergestellt aus Heterojunction-Solarzellen mittels Verbinderschindeln.
The high-efficiency PV module made with heterojunction solar cells by means of connector shingling.

Wissenschaftliche Ergebnisse

Insbesondere im Jahr 2019 wurde ein neuer Trend im Photovoltaikmarkt deutlich: Solarzellen werden in immer größeren Formfaktoren hergestellt. Damit wachsen auch die Modulformate mit sowie das Gewicht der Module. Unsere neue Technologie erlaubt es, mit Standardmaschinen und den größeren Zellformaten immer noch relativ kleine, effiziente und dadurch etwas leichtere PV-Module herzustellen. Ein typisches aktuell erhältliches Modulformat mit 144 M4-Halbzellen (161,75 mm Zelllänge und 80,87 mm Zellbreite) hat beispielsweise eine Länge von 213 cm. Mit unserer Technologie wächst die Moduleffizienz um ca. 2 % relativ, schrumpft die Modullänge auf 201 cm und das Gewicht reduziert sich um rund 5 %. Somit ist es möglich, auch mit den neuen Zellformaten nahe am Standardmaß für Module von ca. einem Meter mal zwei Metern zu bleiben.

A new trend in the photovoltaic market has become particularly apparent in this year of 2019. Solar cells are being manufactured in ever larger form factors. As a result, the module formats are also growing along with the weight of the modules. Our new technology still enables the production of relatively small, efficient and therefore somewhat lighter PV modules with standard machines and the larger cell formats. For example, a typical module format currently available with 144 M4 half cells (161.75 mm cell length and 80.87 mm cell width) has a length of 213 cm. With our technology module efficiency increases relatively by about 2 %, module length shrinks to 201 cm and the weight is reduced by about 5 %. This also makes it possible to stay close to the standard dimensions for modules of approximately one meter by two meters even with the new cell formats.



Abbildung/Figure 29: Das Elektrolumineszenzbild des Hocheffizienzmoduls zeigt keine durch Verbinderschindeln verursachte Schäden an den Solarzellen. Electroluminescence image of the high-efficiency module shows no damage to the solar cells caused by the connector shingling.

Wie können POLO-Kontakte ökonomisch vorteilhaft in industriellen Solarzellen eingesetzt werden?

2013 gehörte das ISFH zu den Pionieren bei der „Wiederentdeckung“ passivierender Kontakte aus polykristallinem Silizium (poly-Si) auf Oxid (POLO) für die moderne öffentliche PV-Forschung. Seitdem wurde das Thema weltweit von vielen Forschungsgruppen an Universitäten, Forschungsinstituten sowie bei Anlagenbauern und auch Solarzellenherstellern aufgegriffen und hat inzwischen auch Einzug in die industrielle (Pilot-) Fertigung gefunden. Obwohl damit bereits eindrucksvolle Wirkungsgrade demonstriert wurden – sowohl auf Labor-Solarzellen (siehe den ISFH-Rekord von 26,1 % aus dem Jahr 2018) als auch auf Industrie-Solarzellen – ist die Suche nach der wirtschaftlich sinnvollsten Einsatzmöglichkeit noch in vollem Gange.

Dies liegt unter anderem an der Vielseitigkeit der denkbaren Einsatz- und auch Produktionsmöglichkeiten von POLO-Kontakten. So existieren verschiedene Abscheideverfahren für die poly-Si-Schichten mit jeweils spezifischen Eigenschaften. Zusätzlich steht eine ganze Reihe von verschiedenen Solarzellenstrukturen mit jeweils unterschiedlichen „Einsatzorten“ für die passivierenden Kontakte zur Auswahl (siehe Tabelle 2). Beides zusammen spannt einen ganzen Raum von möglichen Prozessflüssen auf.

In diesem Raum gilt es nun, im Vergleich mit der bestehenden und durch evolutionäre Weiterentwicklung bereits sehr fortgeschrittenen PERC+ Standardtechnologie, den Wirkungsgradgewinn durch passivierende Kontakte zu maximieren und gleichzeitig den durch die Integration der passivierenden Kontakte eventuell implizierten Prozess-Mehraufwand bzw. erhöhten Materialverbrauch zu minimieren.

Nicht erst seit 2019 – aber in diesem Jahr besonders intensiv – arbeitet das ISFH daran, unter der riesigen Auswahl möglicher Zellkonzepte mit passivierenden Kontakten eben jene herauszufinden, die den potenziell größten wirtschaftlichen Vorteil gegenüber dem PERC+ Vergleichsmaßstab bieten. Zum einen haben wir mit verschiedenen Kooperationspartnern aus dem Maschinenbau zusammengearbeitet, die poly-Si-Abscheideanlagen für den internationalen Markt anbieten und dafür den „Mehrwert“ der POLO-Technologie nachweisen müssen. Andererseits könnte ein solches Zellkonzept eine gute Plattform für einen europäischen Wiedereinstieg in die PV-Produktion sein. Die Grundlage dieses Auswahlverfahrens sind eine systematische Evaluation des Wirkungsgrad-Potenzials auf Basis von Simulationsstudien, eine systematische Bewertung der Prozesskomplexität sowie die experimentelle Evaluation essentieller „Building Blocks“.

How can POLO contacts be utilized most profitably in industrial solar cells?

In 2013, ISFH was one of the pioneers in the “rediscovery” of polycrystalline silicon (poly-Si) on oxide (POLO) passivating contacts for modern public photovoltaic (PV) research. Since then, the topic has been taken up by many research groups at universities, research institutes, the mechanical engineering industry and solar cell producers worldwide and has now also found its way into industrial (pilot) production. Although impressive efficiencies have already been demonstrated – both on laboratory solar cells (see ISFH record of 26.1 % from 2018) and on industrial solar cells – the search for the most economically viable application is still in full swing.

This is due, among other things, to the versatility of the conceivable application and also production possibilities of POLO contacts. For example, there are various deposition processes for poly-Si layers, each with specific properties. In addition, there is a variety of different solar cell structures to choose from, each with different “application locations” for the passivating contacts (see Table 2). Both together generate a broad range of possible process flows.

In this range, it is now crucial to maximize the efficiency gain from passivating contacts in comparison to the existing bifacial passivated-emitter rear-cell (PERC+) standard technology, which has already become very advanced through evolutionary further development and at the same time to minimize the implicit additional process costs or increased material consumption through the integration of the passivating contacts.

Not only since 2019 – but this year with particular intensity – ISFH has been working on finding out from the huge selection of possible cell concepts with passivating contacts exactly which ones potentially offer the greatest economic advantage compared to the PERC+ benchmark. On the one hand we have been working in cooperation with various partners from the engineering industry, who supply poly-Si deposition systems to the international market and have to prove the “added value” of POLO technology. On the other hand, such a cell concept could be a good platform for a European re-entry into PV production. The basis of this selection procedure is a systematic evaluation of efficiency potential based on simulation studies, a systematic assessment of process complexity as well as the experimental evaluation of essential “building blocks”.

Die erwähnte Simulationsstudie verwendete größtenteils am ISFH experimentell bestimmte Eingangsparameter und zielte auf die Vergleichbarkeit der unterschiedlichen Zellstrukturen. Diese sind schematisch in Tabelle 2 dargestellt – zusammen mit den dafür simulierten Strom-Spannungs (I/V)-Parametern.

Die POLO-back junction (POLO-BJ^[11]) (24,1 %) und die POLO-interdigitated back-contact (POLO-IBC^[12])-Struktur (25 %) zeigen in der Simulationsstudie ein deutlich höheres Wirkungsgradpotenzial als der aktuelle Industriestandard PERC+. Dies liegt darin begründet, dass in beiden Strukturen der passivierende POLO-Kontakt zwei der wichtigsten Rekombinations-Verlustpfade der PERC+ Referenz gleichzeitig adressiert: Die Rekombination in den metallisierten sowie in den passivierten Bereichen der n^+ -dotierten Vorderseite.

Beide Strukturen lassen sich zudem potenziell mittels eines sehr schlanken Prozessflusses realisieren und weisen gegenüber der PERC+ Referenz auch keinen erhöhten Verbrauch teurer Materialien wie Silber auf. Daher erscheinen diese Strukturen sehr attraktiv und werden derzeit in höchster Priorität am ISFH entwickelt.

Mögliche Weiterentwicklungen mit noch höherem Wirkungsgradpotenzial sind zum einen die Verwendung dieser Strukturen als untere Solarzelle in einer Tandem-Konfiguration und/oder die Implementierung von POLO-Kontakten für beide Polaritäten („POLO²“).

Auch die Adaption dieser Zellstrukturen für die Anforderungen bei Spezialanwendungen – z. B. die Integration von Bypassdioden in jede Zelle zur Erhöhung des Energieertrages bei der bei *vehicle integrated PV* häufig auftretenden Teilverschattung – ist ein aktuelles Forschungsthema.

The simulation study mentioned above used input parameters mostly determined by experiments at ISFH and aimed at a comparability of the different cell structures. These are shown diagrammatically in Table 2 – together with the current-voltage (I/V) parameters simulated for this purpose.

In the simulation study, the POLO-back-junction (POLO-BJ^[11]) (24.1 %) and the POLO-interdigitated back-contact (POLO-IBC^[12]) structure (25 %) show a significantly higher efficiency potential than the current industry standard PERC+. This is due to the fact that in both structures the passivating POLO contact simultaneously addresses two of the most important recombination loss paths of the PERC+ reference: recombination in the metallized as well as in the passivated areas of the n^+ -doped front side.

Both structures can potentially be achieved by a very straightforward process flow and do not exhibit any increased consumption of expensive materials such as silver compared to the PERC+ reference. Therefore, these structures appear to be very attractive and top priority is currently being given at ISFH to their development.

Possible further developments with even higher efficiency potential are, on the one hand, the use of these structures as bottom solar cells in a tandem configuration and/or the use of POLO contacts for both polarities (“POLO²“).

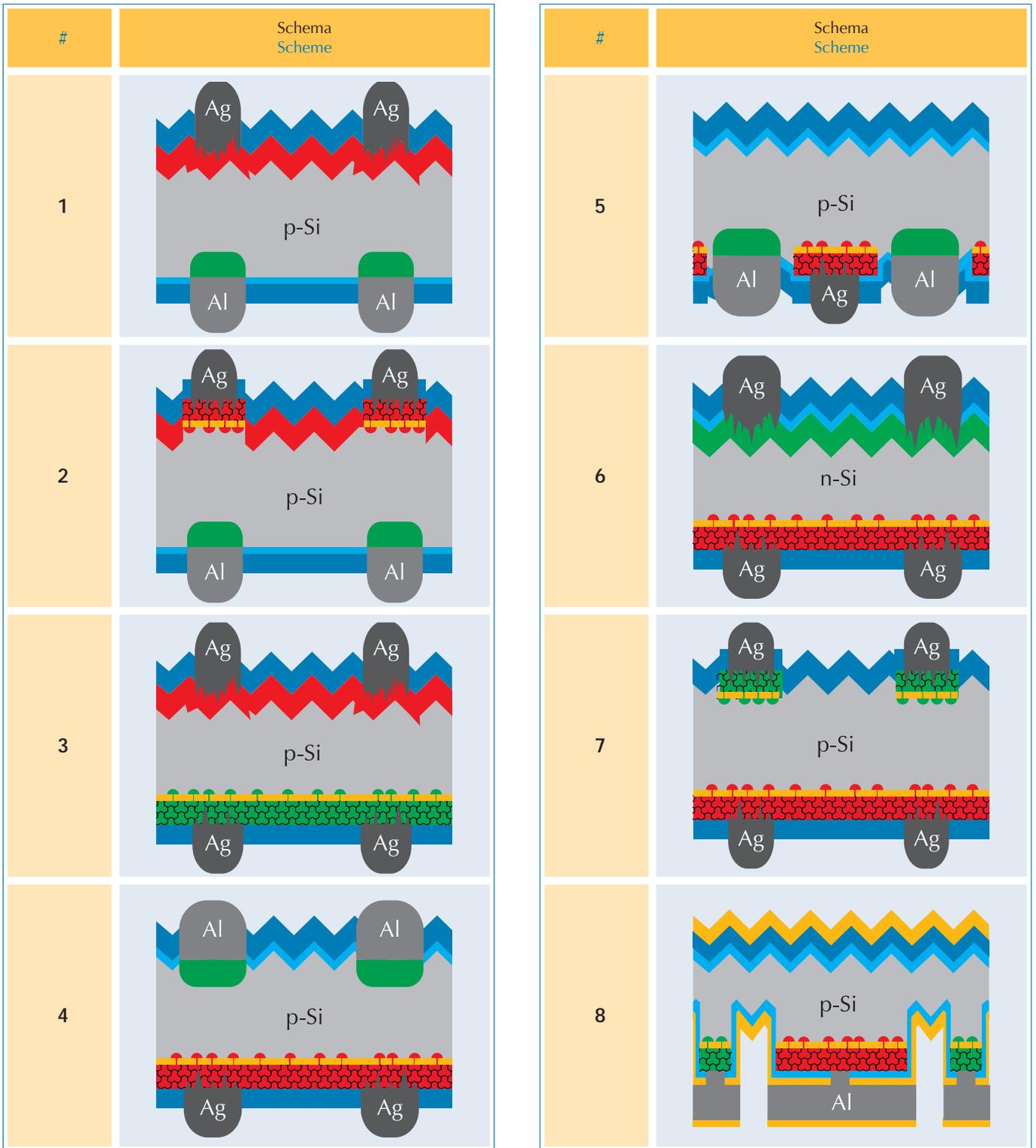
Another current research topic is the adaptation of these cell structures for the requirements of special applications – e.g. the integration of bypass diodes into each cell to increase the energy yield in the partial shading that often occurs in *vehicle integrated PV*.

[11] BJ – Back Junction

[12] IBC – Interdigitated Back Contact

[11] BJ – Back Junction

[12] IBC – Interdigitated Back Contact



Legende/Legend

p-Typ/type c-Si Basis/base
 n⁺-Typ/type c-Si
 n⁺-Typ/type poly-Si

p⁺-Typ/type c-Si
 p⁺-Typ/type poly-Si
 SiO_x

SiN_y
 Al₂O₃
 Metall/Metal

#	Typ Type	η [%]	V_{oc} [mV]	J_{sc} [mA/cm ²]	FF [%]	Passivierende Kontakte für Passivating contacts for
1	PERC+	23,41	687,94	41,15	82,7	keine Polarität no polarity
2	PERC+ POLO	23,82	704,33	40,92	82,64	eine Polarität one polarity
3	{p}POLO FJ	23,64	695,11	41,01	82,92	eine Polarität one polarity
4	POLO BJ	24,07	717,4	40,46	82,93	eine Polarität one polarity
5	POLO IBC	25,00	722,17	41,49	83,43	eine Polarität one polarity
6	TOPCon	24,09	702,76	40,95	83,71	eine Polarität one polarity
7	p-Si POLO ² BJ	24,98	739,9	40,62	83,11	zwei Polaritäten two polarities
8	POLO ² IBC	25,34	41,57	733,6	83,09	zwei Polaritäten two polarities

Tabelle/Table 2: In der Simulationsstudie miteinander verglichene Zellstrukturen mit passivierenden POLO-Kontakten. Ganz oben auf Seite 42 (#1) ist die PERC+ Zellstruktur dargestellt – der letztendliche Vergleichsmaßstab ohne POLO-Kontakte. Die obige Tabelle listet in der gleichen Reihenfolge die simulierten I/V -Parameter auf.

Cell structures with passivating POLO contacts compared with each other in the simulation study. The PERC+ cell structure – the ultimate benchmark without POLO contacts is depicted in the first row on page 42 (#1). The table lists the simulated I/V parameters in the same order.

R. Peibst, B. Lim, C. N. Kruse, S. Schäfer, F. Haase, V. Mertens, H. Schulte-Huxel, B. Min, T. Dullweber, R. Brendel

Einfluss der Eigenschaften von Siliziumnitrid-Dünnschichten auf die Diffusion von Wasserstoff in kristallines Silizium

Wasserstoff ist eine häufige Verunreinigung in kristallinem Silizium und spielt eine wichtige Rolle bei der Passivierung von Ladungsträgerlebensdauer limitierenden Defekten sowohl im Siliziumvolumen als auch an den Oberflächen. Diese Wasserstoff-Passivierung wird in der PV-Industrie häufig angewendet, indem typischerweise wasserstoffreiche Siliziumnitrid-Schichten (SiN_x) auf dem Silizium abgeschieden werden und ein nachfolgender Hochtemperaturschritt durchgeführt wird. Während dieses Hochtemperaturschrittes werden Wasserstoffbindungen im Siliziumnitrid aufgelöst und der frei gewordene Wasserstoff diffundiert zum Teil in das Siliziumvolumen hinein. Jedoch gibt es Hinweise in der Literatur, dass Wasserstoff auch an lichtinduzierten Defekten in Silizium beteiligt ist, welche die Ladungsträgerlebensdauer reduzieren. Besonders Solarzellen, welche auf multikristallinem Silizium (mc-Si) gefertigt wurden, zeigen eine ausgeprägte lichtinduzierte Degradation unter Beleuchtung bei erhöhter Temperatur („Light and elevated Temperature Induced Degradation“, LeTID). Da diese Degradation besonders auf mc-Si Solarzellen mit $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiN}_x$ -passivierter Rückseite auftritt, sollte der schädliche LeTID-Effekt in hocheffizienten mc-Si Solarzellen unbedingt vermieden werden. Voraussetzung dafür ist ein umfassendes Verständnis der grundlegenden, den LeTID-Effekt verursachenden Defektphysik. Erste experimentelle Hinweise deuteten auf eine Beteiligung von Wasserstoff an der LeTID-Defektphysik. Diesem Hinweis sind wir im Detail nachgegangen.

Wir haben den Zusammenhang zwischen der Wasserstoffkonzentration im Siliziumvolumen und dem Ausmaß der LeTID untersucht, indem wir eine breite Variation von SiN_x -Schichten auf mc-Si-Wafern abgeschieden haben. Zudem haben wir dieselbe Variation von SiN_x auf Bor-dotiertem zonengezogenen Silizium („Float-Zone Silizium“, FZ-Si) abgeschieden und daran die Konzentration des während des Hochtemperaturschrittes eindiffundierten Wasserstoffs gemessen. Hierzu haben wir eine neuartige und einfach anzuwendende Methode entwickelt, welche auf der Messung von Widerstandsänderungen aufgrund der Bildung von Bor-Wasserstoff-Paaren basiert^[13]. Schließlich korrelierten wir die gemessenen Wasserstoffkonzentrationen im Silizium mit dem Ausmaß des LeTID-Effekts und konnten so zeigen, dass LeTID und Wasserstoffeintrag direkt zusammenhängen^[14]. Je mehr der Wasserstoff in das Siliziumvolumen eingetragen wird, desto stärker ausgeprägt ist die Degradation.

Impact of silicon nitride thin films on the diffusion of hydrogen into crystalline silicon

Hydrogen is a common impurity in crystalline silicon and plays an important role in the passivation of the charge-carrier-lifetime-limiting defects both in the silicon bulk and also on the surfaces. Hydrogen passivation is widely used within the PV industry, typically by depositing hydrogen-rich silicon nitride films (SiN_x) onto the silicon and carrying out a subsequent high-temperature treatment. During this high-temperature treatment hydrogen bonds are dissociated and the released hydrogen partly diffuses into the silicon bulk. However, there are indications in the literature that hydrogen is also involved in light-induced defects, which reduce charge-carrier lifetime. Especially solar cells produced on multicrystalline silicon (mc-Si) show a pronounced light-induced degradation under illumination at elevated temperature (“Light and elevated Temperature-Induced Degradation“, LeTID). Since this degradation is particularly pronounced on mc-Si solar cells with an aluminum oxide/silicon nitride ($\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiN}_x$) passivated rear side, the detrimental LeTID effect should absolutely be avoided in high efficiency mc-Si solar cells. Prerequisite for this is a comprehensive understanding of the fundamental LeTID defect physics. Initial experimental evidence pointed towards hydrogen being involved in the physics of the LeTID defect. We have investigated this evidence in detail.

We have examined the correlation between the hydrogen concentration in the silicon bulk and the extent of LeTID by depositing a broad variation of SiN_x films onto mc-Si wafers. In addition, we have deposited the same broad variation of SiN_x films onto boron-doped float-zone silicon (FZ-Si) and measured the concentration of hydrogen in-diffused during the high-temperature treatment. For this, we have developed a novel and easy-to-apply methodology which is based on the measurement of base resistivity changes due to the formation of boron-hydrogen pairs^[13]. Finally, we correlated the measured hydrogen concentrations in the silicon with the extent of the LeTID effect and were able to show that there is a direct relationship between LeTID and the introduction of hydrogen^[14]. The more hydrogen is introduced into the silicon bulk, the more pronounced the degradation is.

[13] 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).

[14] Bredemeier D., Walter D.C., Heller R., Schmidt J.; *Impact of Hydrogen-Rich Silicon Nitride Material Properties on Light-Induced Lifetime Degradation in Multicrystalline Silicon*, Phys. Status Solidi RRL, 13(8), 1900201 (2019).

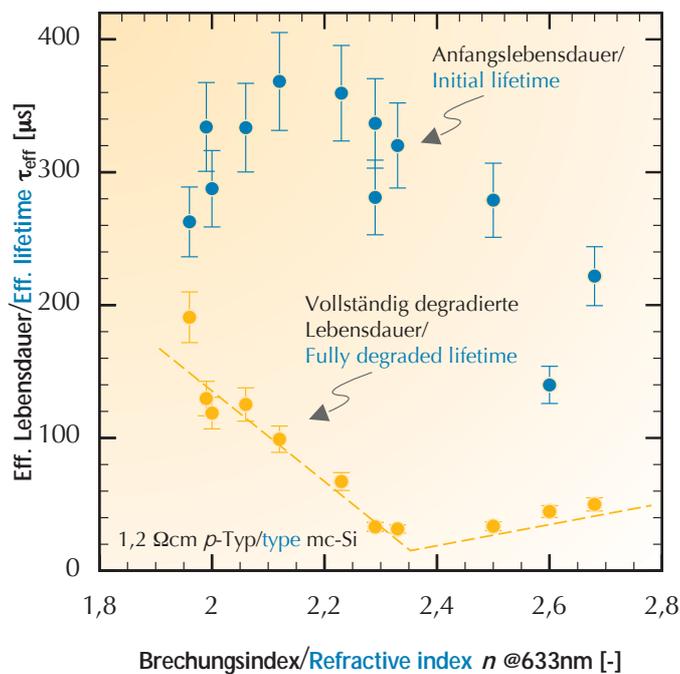
[13] Walter D.C., Bredemeier D., Falster R., Voronkov V.V., Schmidt J.; *Easy-to-apply methodology to measure the hydrogen concentration in boron-doped crystalline silicon*, Sol. Energy Mater. Sol. Cells 200, 109970 (2019).

[14] Bredemeier D., Walter D.C., Heller R., Schmidt J.; *Impact of Hydrogen-Rich Silicon Nitride Material Properties on Light-Induced Lifetime Degradation in Multicrystalline Silicon*, Phys. Status Solidi RRL, 13(8), 1900201 (2019).

Wissenschaftliche Ergebnisse

Abbildung 30 zeigt die bei einer konstanten Überschussladungsträgerdichte von $\Delta n = 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ gemessenen Ladungsträgerlebensdauern sowohl im initialen Zustand (Anfangslebensdauer τ_0) direkt nach dem Hochtemperaturschritt als auch nach vollständiger Degradation (τ_{deg}) bei einer Beleuchtungsstärke von 0,5 Sonnen (Halogenlampenbeleuchtung) und einer Temperatur von 120 °C als Funktion des Brechungsindex der abgeschiedenen Siliziumnitridschichten. Es zeigt sich eine deutliche Abhängigkeit zwischen der vollständig degradierten Lebensdauer und dem Brechungsindex der SiN_x -Schichten. Aus den gemessenen Lebensdauern τ_0 und τ_{deg} wurde die maximale effektive LeTID-Defektdichte

$$N^*_{\text{max}} = 1/\tau_{\text{deg}} - 1/\tau_0$$

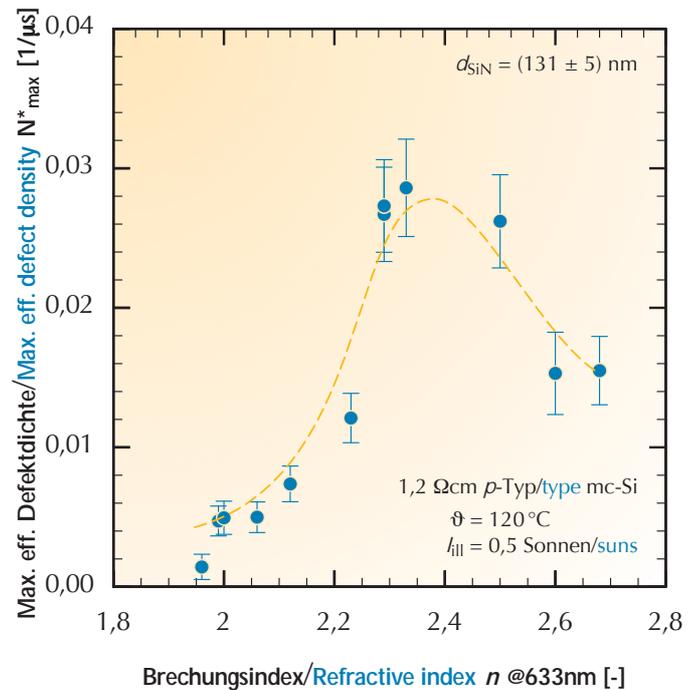


Abbildung/Figure 30: Ladungsträgerlebensdauer sowohl im initialen Zustand (τ_0) direkt nach dem Hochtemperaturschritt als auch nach vollständiger Degradation (τ_{deg}) bei einer Beleuchtungsstärke von 0,5 Sonnen (Halogenlampenbeleuchtung) und einer Temperatur von 120 °C als Funktion des Brechungsindex der abgeschiedenen Siliziumnitridschichten aufgetragen.

Charge-carrier lifetime both in the initial state (τ_0) directly after the high-temperature treatment as well as in a fully degraded state (τ_{deg}) at an illumination intensity of 0.5 suns (halogen lamp illumination) and a temperature of 120 °C plotted against the refractive index of the deposited silicon nitride films.

Figure 30 shows the measured charge-carrier lifetimes at a constant excess charge-carrier density of $\Delta n = 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ in the initial state (τ_0) directly after the high-temperature treatment as well as after complete degradation (τ_{deg}) at an illumination intensity of 0.5 suns (halogen lamp illumination) and at a temperature of 120 °C as a function of the refractive index of the deposited silicon nitride film. A clear dependence is demonstrated between the fully degraded lifetime and the refractive index of the SiN_x layers. The maximum effective LeTID defect density

$$N^*_{\text{max}} = 1/\tau_{\text{deg}} - 1/\tau_0$$



Abbildung/Figure 31: Maximale effektive LeTID-Defektdichte N^*_{max} gegenüber dem Brechungsindex der jeweiligen Siliziumnitridschicht aufgetragen. Das geringste Ausmaß der Degradation wird für SiN_x -Schichten nahe der idealen Stöchiometrie ($n \approx 1,9$) gemessen. Silizium-reiche SiN_x -Schichten mit einem Brechungsindex von $n \approx 2,3$ zeigen die am stärksten ausgeprägte Degradation.

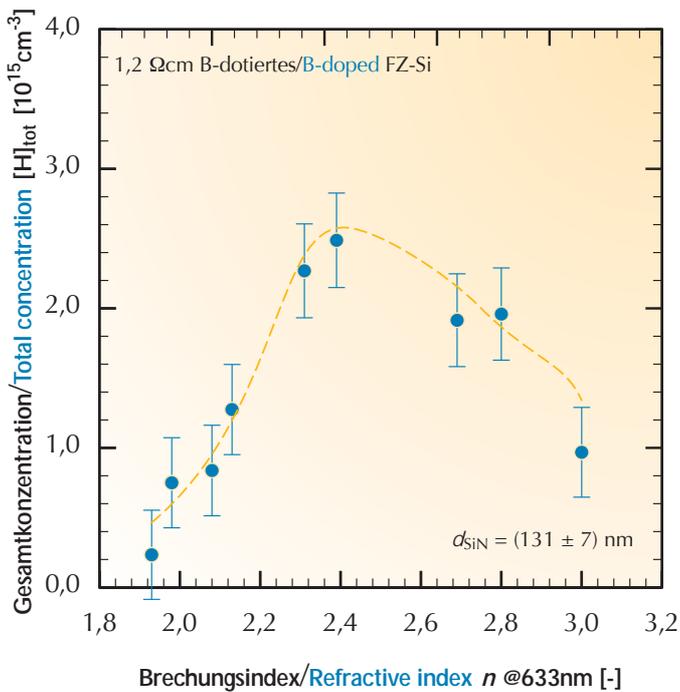
Maximum effective LeTID defect density N^*_{max} plotted against the refractive index of the respective silicon nitride film. The lowest degradation extent is measured for SiN_x films close to the ideal stoichiometry ($n = 1.9$). Silicon-rich SiN_x films with a refractive index of $n \approx 2.3$ show the most pronounced degradation.

bestimmt. Abbildung 31 zeigt N^*_{\max} als Funktion des SiN_x -Brechungsindex. Das geringste Ausmaß der Degradation wird für SiN_x -Schichten nahe der idealen Stöchiometrie, die durch einen Brechungsindex von $n=1,9$ charakterisiert ist, gemessen. Für Silizium-reiche SiN_x -Schichten mit einem Brechungsindex von $n \approx 2,3$ beobachten wir die am stärksten ausgeprägte Degradation.

Wird die Wasserstoffkonzentration in den parallel prozessierten FZ-Si Wafern gemessen und gegenüber dem Brechungsindex der jeweiligen SiN_x -Schicht aufgetragen, so ergibt sich die in Abbildung 32 gezeigte Abhängigkeit. Es zeigt sich, dass SiN_x -Schichten nahe der idealen Stöchiometrie ($n=1,9$) einen minimalen Wasserstoffeintrag ins Silizium-Volumen bewirken. Erhöhen

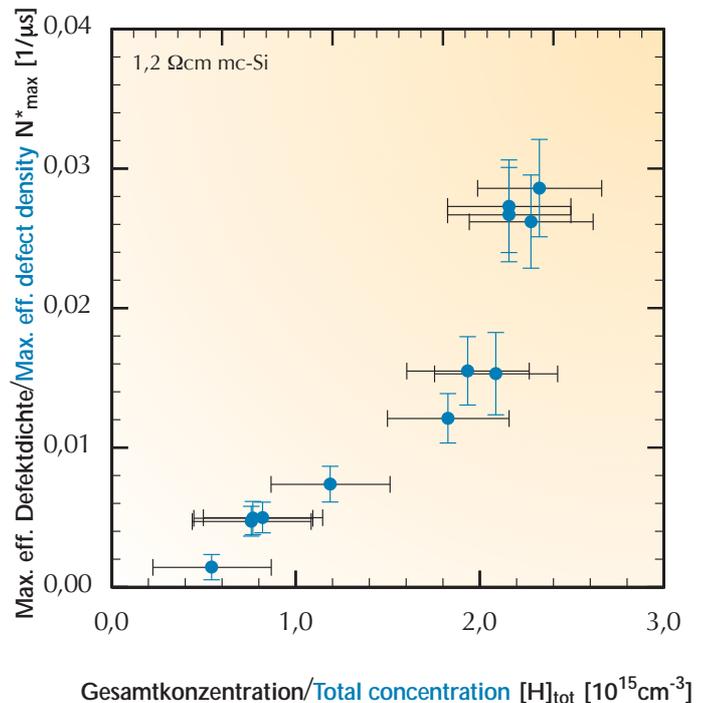
was determined from the measured lifetime values τ_0 and τ_{deg} . Figure 31 shows N^*_{\max} as a function of the SiN_x refractive index. The lowest extent of degradation is measured for SiN_x films close to the ideal stoichiometry which is characterized by a refractive index of $n=1.9$. We observe the most pronounced degradation for silicon-rich SiN_x films with a refractive index of $n \approx 2.3$.

If the hydrogen concentration is measured on parallel-processed FZ-Si wafers and plotted against the refractive index of the respective SiN_x film, this results in the dependence demonstrated in Figure 32. It becomes apparent that SiN_x films close to the ideal stoichiometry introduce a minimal amount of hydrogen into the silicon bulk. However, increasing the silicon content



Abbildung/Figure 32: Gesamte Wasserstoffkonzentration im Siliziumvolumen nach dem Hochtemperaturschritt gegenüber dem Brechungsindex der jeweiligen SiN_x -Schicht aufgetragen. Siliziumnitridschichten nahe der idealen Stöchiometrie ($n \approx 1,9$) führen zu einem minimalen Wasserstoffeintrag in das Siliziumvolumen. Hingegen zeigen SiN_x -Schichten mit einem Brechungsindex von $n \approx 2,3$ einen maximalen Wasserstoffeintrag.

Total hydrogen concentration in the silicon bulk after the high temperature treatment plotted against the refractive index of the respective SiN_x film. Silicon nitride films close to the ideal stoichiometry ($n \approx 1.9$) introduce a minimal amount of hydrogen into the silicon bulk. In contrast, SiN_x films with a refractive index of $n \approx 2.3$ introduce the maximum amount of hydrogen into the silicon bulk.



Abbildung/Figure 33: Maximale effektive LeTID-Defektdichte N^*_{\max} gegenüber der gesamten Wasserstoffkonzentration $[H]_{\text{tot}}$ im Siliziumvolumen aufgetragen. Es zeigt sich eine direkte Korrelation zwischen N^*_{\max} und $[H]_{\text{tot}}$, woraus geschlossen werden kann, dass der Wasserstoff direkt an der LeTID-Defektp Physik beteiligt ist.

Maximum effective LeTID defect density N^*_{\max} plotted against the total hydrogen concentration $[H]_{\text{tot}}$ in the silicon bulk. A direct correlation between N^*_{\max} and $[H]_{\text{tot}}$ is revealed from which a direct involvement of hydrogen in LeTID defect physics can be deduced.

wir jedoch den Siliziumgehalt der SiN_x -Schicht bis zu einem Brechungsindex von $n \approx 2,3$, so wird ein maximaler Wasserstoffeintrag gemessen.

Abbildung 33 zeigt die Abhängigkeit zwischen dem Ausmaß der Degradation N_{max}^* und der eingebrachten Wasserstoffkonzentration $[\text{H}]_{\text{tot}}$. Es zeigt sich eine direkte Korrelation zwischen N_{max}^* und $[\text{H}]_{\text{tot}}$, woraus geschlossen werden kann, dass der Wasserstoff direkt an der LeTID-Defektphysik beteiligt ist.

Aus der von uns nun erstmals direkt nachgewiesenen Beteiligung von Wasserstoff am LeTID-Effekt können einfach umsetzbare technologische Methoden zur Minimierung von LeTID in Solarzellen abgeleitet werden. Entscheidend dabei ist, dass der Solarzellenprozess so angepasst wird, dass ein Minimum an Wasserstoff in das Siliziumvolumen eingebracht wird. Dies kann z.B. durch Anpassung der SiN_x -Zusammensetzung oder durch Einbringen einer die Wasserstoff-Eindiffusion hemmenden Pufferschicht, wie z.B. Al_2O_3 , zwischen Silizium und SiN_x erreicht werden.

of the SiN_x film up to a refractive index of $n \approx 2.3$ results in the maximum hydrogen in-diffusion.

Figure 33 shows the dependence between the extent of degradation N_{max}^* and the introduced hydrogen concentration $[\text{H}]_{\text{tot}}$. It becomes apparent that there is a direct correlation between N_{max}^* and $[\text{H}]_{\text{tot}}$, from which it can be deduced that hydrogen is directly involved in the defect physics of LeTID.

From the involvement of hydrogen in the LeTID defect, which we have directly proved for the first time, easily applicable technological methods for minimizing LeTID in solar cells can be derived. The decisive factor here is that the solar cell process is adapted in such a way that a minimum amount of hydrogen is introduced into the silicon bulk. This can, for example, be achieved by adjusting the SiN_x composition or by introducing a buffer layer inhibiting hydrogen in-diffusion, such as Al_2O_3 , between the silicon bulk and the SiN_x .

Dennis Bredemeier, Dominic Walter, Jan Schmidt

Daidalos-Cloud: Optische Simulationen von PV-Modulen

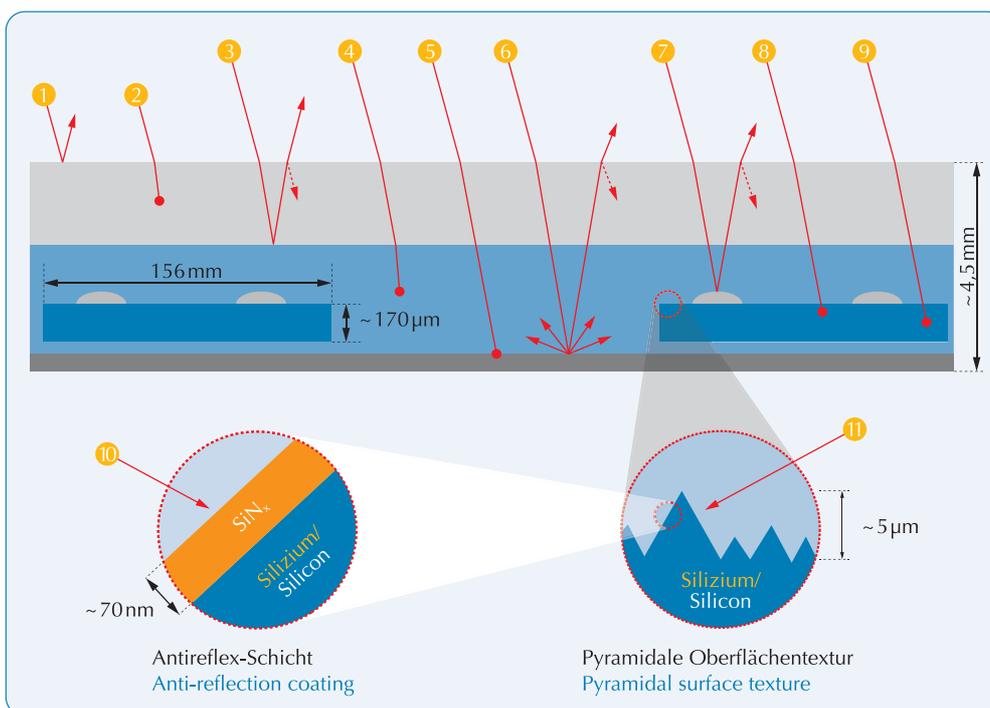
Ein effektives numerisches Simulationsmodell muss die erforderliche Genauigkeit der Ergebnisse mit dem rechnerischen Aufwand in Einklang bringen. Dies wird in der Regel dadurch erreicht, dass man sich auf eine ausreichend genaue Beschreibung der relevanten physikalischen Effekte konzentriert und gleichzeitig die Effekte mit geringer Auswirkung auf die Ergebnisse vernachlässigt. Bei der Modellierung der Optik von Solarzellen und -modulen müssen die in Abbildung 34 dargestellten, physikalischen Effekte berücksichtigt werden:

- Brechung des Lichts an Grenzflächen zwischen verschiedenen Materialien (Strahlen 2 - 9),
- Reflexion von Licht an Grenzflächen zwischen verschiedenen Materialien (Strahlen 1, 3, 6, 7),
- Absorption von Licht in Materialien (Strahlen 2, 4, 5, 8, 9),
- Streuung des Lichts an rauen Oberflächen (Strahl 6),
- Interferenz an dünnen Schichten, z.B. Antireflexions-schichten (Strahl 10),
- Beugung, z.B. an Oberflächentexturen (Strahl 11).

Daidalos-Cloud: Optical simulations of PV modules

An effective numeric simulation model needs to reconcile the required accuracy of the results with the computational effort. This is commonly achieved by focusing on a sufficiently accurate description of relevant physical effects while neglecting those effects with little impact on the results. In modeling the optics of solar cells and modules, the physical effects illustrated in Figure 34 must be considered:

- Refraction of light at interfaces between different materials (rays 2 - 9),
- Reflection of light at interfaces between different materials (rays 1, 3, 6, 7),
- Absorption of light within materials (rays 2, 4, 5, 8, 9),
- Scattering of light at rough surfaces (ray 6),
- Interference at thin films, e.g., anti-reflection coatings (ray 10),
- Diffraction, e.g., at surface textures (ray 11).

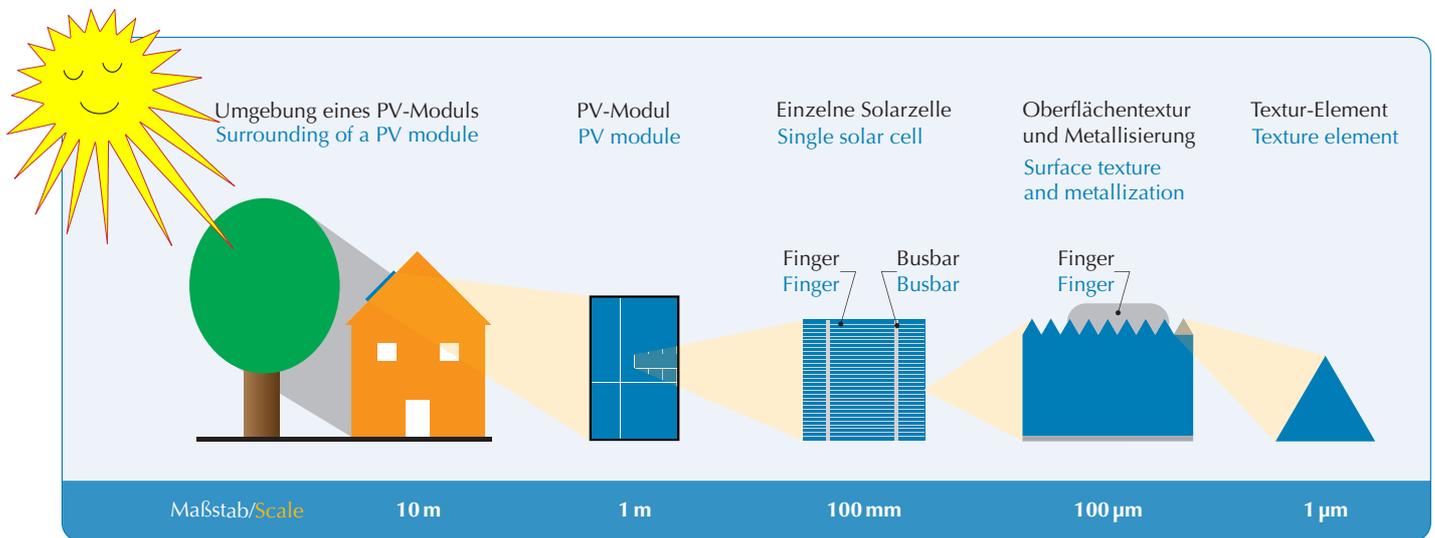


Abbildung/Figure 34: Optische Effekte in einem PV-Modul: Brechung (2-9), Beugung (11), Reflexion (1, 3, 6, 7), Absorption (2, 4, 5, 8, 9), Streuung (6) und Interferenz (10).

Optical effects in a PV module: Refraction (2-9), diffraction (11), reflection (1, 3, 6, 7), absorption (2, 4, 5, 8, 9), scattering (6) and interference (10).

Optische Modelle für PV-Module müssen sich mit dem Zusammenspiel von Objekten auseinandersetzen, deren Größenskala über sechs Größenordnungen reicht, wie in Abbildung 35 dargestellt. So muss beispielsweise das Modul selbst in der Größenordnung Meter modelliert werden. Im Gegensatz dazu liegt die seitliche Ausdehnung der Solarzellen im Modul in der Größenordnung von Zentimetern, während ihre Dicke in der Größenordnung von 100-200 μm liegt. Oberflächentexturen, die die optischen Eigenschaften von Solarzellen erheblich verändern, liegen in der Größenordnung weniger Mikrometer. Dies macht es schwierig, die Geometrie von Solarzellen und -modulen zu modellieren.

Optical models for PV modules have to deal with the interaction of objects whose size scale is of six different orders of magnitude as shown in Figure 35. For instance, the module itself has to be modeled in the order of meters. In contrast, the lateral extent of the solar cells in the module is of the order of centimeters, whereas their thickness is of the order of 100-200 μm . Surface textures, which alter the optical properties of solar cells significantly, are of the order of a few micrometers. This makes it difficult to model the geometry of solar cells and modules.



Abbildung/Figure 35: Größenskala der Objekte in optischen PV-Simulationen. Size scale of objects in optical PV simulations.

Ein gängiger Ansatz für Solarzellen ist die Betrachtung einer Simulationsdomäne, die aus einem Element der Textur (z.B. einer Pyramide) und dem darunterliegenden Teil der Solarzelle besteht, wie in Abbildung 36 dargestellt. Die Simulationsdomäne hat dann Abmessungen von ca. $5\ \mu\text{m} \times 5\ \mu\text{m} \times 170\ \mu\text{m}$. Es werden periodische Randbedingungen angewendet, d.h. es wird von einer unendlichen seitlichen Ausdehnung der Solarzelle ausgegangen. Diese Annahme ist in der Regel gerechtfertigt: Typische Solarzellen haben eine seitliche Ausdehnung von 156 mm, was mehr als vier Größenordnungen größer ist als die seitliche Ausdehnung der Simulationsdomäne. Eine Limitierung dieses Simulationsansatzes wird allerdings deutlich, wenn versucht wird, die Vorderseitenmetallisierung in die Simulationsdomäne zu integrieren, da die Metallisierungsstrukturen viel größer sind als die einzelnen Symmetrieelemente. Die Vorderseitenmetallisierung wird daher in der Regel erst bei der Nach-

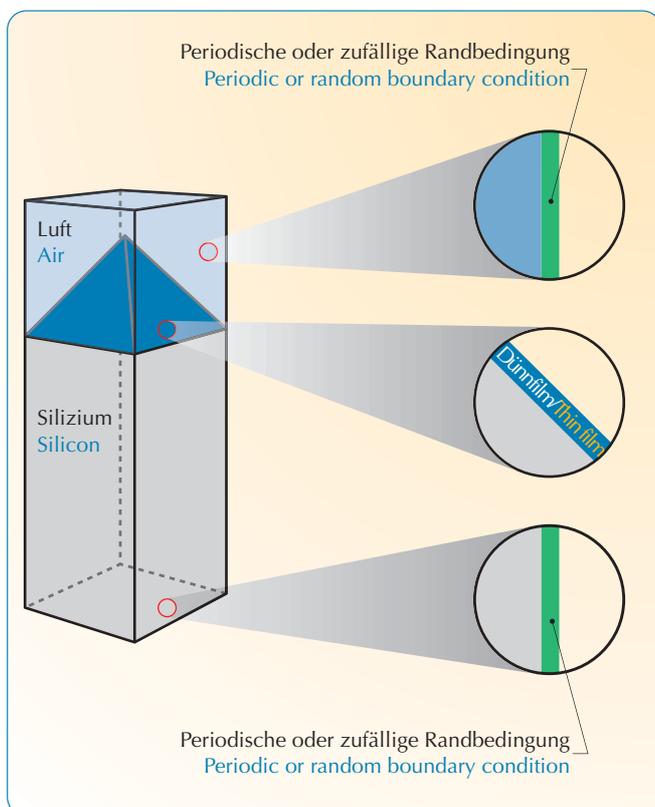
For solar cells, a common approach is the consideration of a simulation domain consisting of one element of the texture (e.g., a pyramid) and the part of the solar cell beneath it, as depicted in Figure 36. The simulation domain then has dimensions of approximately $5\ \mu\text{m} \times 5\ \mu\text{m} \times 170\ \mu\text{m}$. Periodic boundary conditions are applied, which means that the lateral extent of the solar cell is assumed to be infinite. This assumption is usually justified: Typical solar cells have a lateral extent of 156 mm, which is more than four orders of magnitude larger than the lateral extent of the simulation domain. A limitation of the simulation approach becomes obvious when trying to integrate the front surface metallization into the simulation domain, since the metallization structures are much larger than the single symmetry elements. The front surface metallization is therefore usually taken into account during post-processing of the simulation results by reducing the short-circuit current of the solar cell

bearbeitung der Simulationsergebnisse berücksichtigt, indem der ermittelte Kurzschlussstrom der Solarzelle um den Anteil der metallisierten (schattierten) Vorderfläche reduziert wird. Dies wird bei bifazialen Zellen ungenauer, da sie auch auf der Rückseite Metallstrukturen haben, die die Reflexionseigenschaften der Rückseite lokal verändern.

Um die Interaktion von Licht mit einer bifazialen Solarzelle in einem bifazialen Solarmodul adäquat zu simulieren, muss nicht nur das auf die Solarzellen auftreffende Licht berücksichtigt werden, sondern auch das auf die Lücken zwischen den Solarzellen treffende Licht, welches an der Rückseite des Moduls oder von Objekten hinter dem bifazialen Modul reflektiert werden kann. Dies kann durch die Verwendung eines Multi-Domain-Ansatzes erreicht werden, der in Abbildung 37 dargestellt ist. Jede Domäne enthält ein Symmetrieelement (dreidimensional modelliert) und geeignete Randbedingungen, um ihre periodische oder zufällige Wiederholung darzustellen. Um die Interaktion zwischen Objekten in verschiedenen Domänen zu ermöglichen, muss es eine Möglichkeit geben, dass die Strahlen von einer Domäne zur anderen wandern. Aus der Sicht des Strahles muss der Weg durch die verschiedenen Bereiche den Weg durch ein echtes PV-Modul darstellen. Je nach Zellarchitektur sind für die Darstellung eines PV-Moduls bis zu fünf Domänen erforderlich.

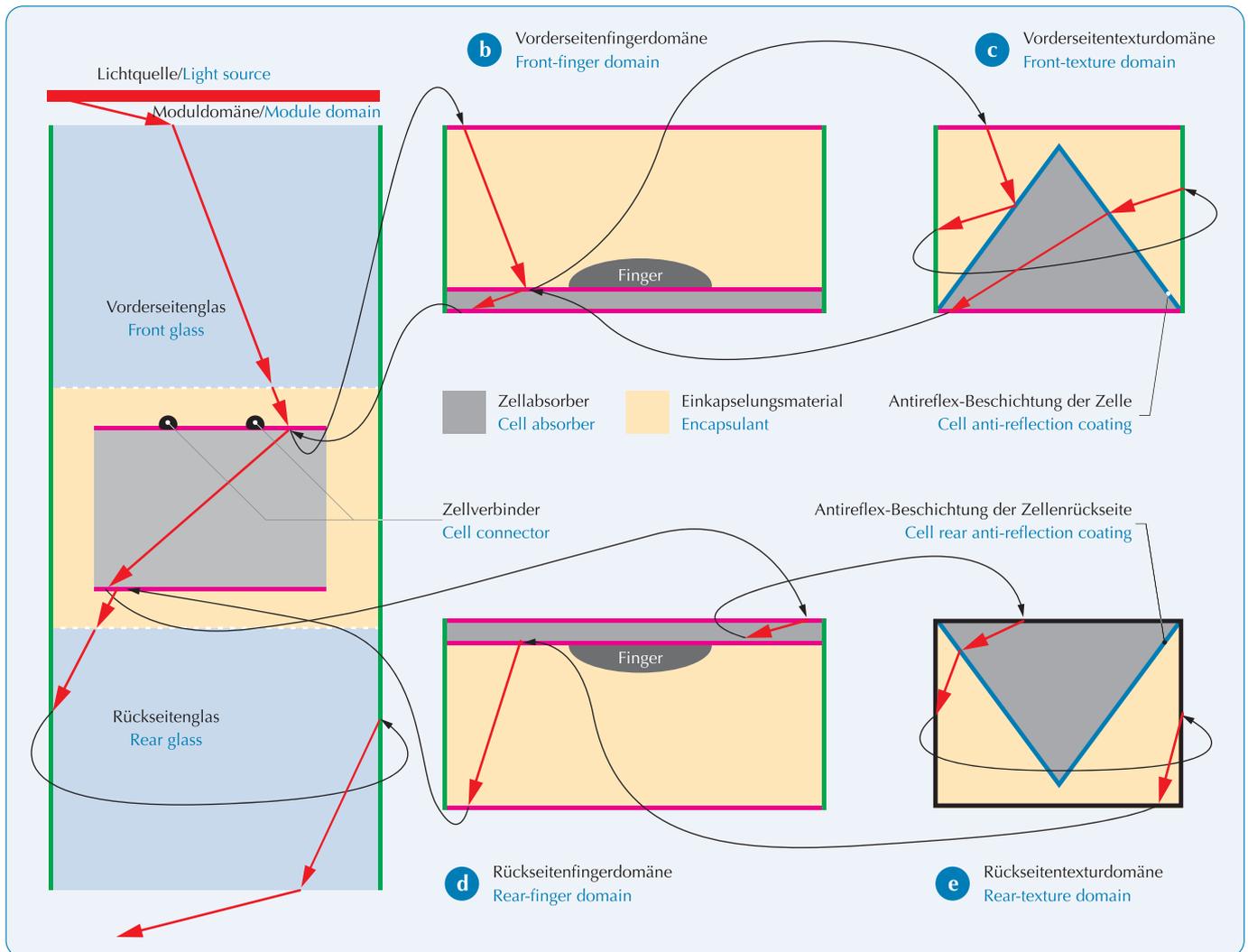
by the fraction of the metalized (shaded) front surface area. This becomes less accurate with bifacial cells as they also have metal structures on the rear side, which change the reflective properties of the rear side locally.

In order to simulate the interaction of light with a bifacial solar cell within a bifacial module adequately, not only incident light on the solar cells must be considered, but also light incident on the gaps between the solar cells, which can be reflected at the rear side of the module or by objects behind the bifacial module. This can be achieved by using a multi-domain approach as illustrated in Figure 37. Each domain contains one symmetry element (modeled three-dimensionally) and appropriate boundary conditions to represent its periodic or random lateral repetition. In order to enable interaction between objects in different domains, there needs to be a way for the rays to travel from one domain to another. From the perspective of the ray, the route through the different domains needs to represent the path through a real PV module. Depending on the cell architecture, up to five domains are required for the representation of a PV module.



Abbildung/Figure 36: Klassische Simulationsdomäne für wafer-basierte Solarzellen.

Classical simulation domain for wafer-based solar cells.

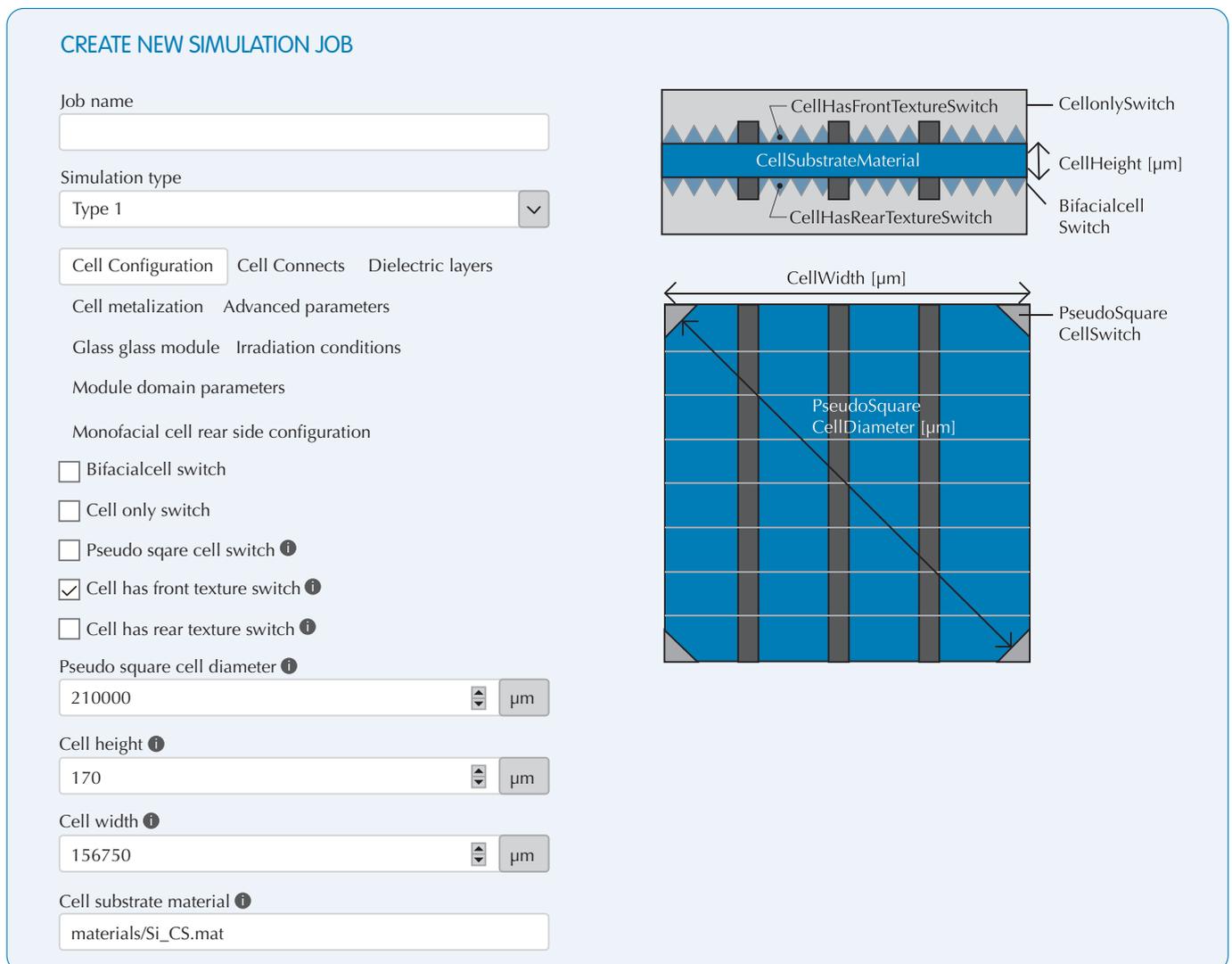


Abbildung/Figure 37: Verschiedene Bereiche des Multi-Domain-Ansatzes für bifaziale Module. Aus der Perspektive des Strahls (rote Pfeile) muss der Weg durch die verschiedenen Bereiche den Weg durch ein echtes PV-Modul darstellen.

Different domains of the multi-domain approach for bifacial modules. From the perspective of the ray (red arrows), the route through the different domains needs to represent the path through a real PV module.

Die erste Domäne wird als *Moduldomäne* bezeichnet. Sie wird von der Lichtquelle bestrahlt und enthält eine ganze Solarzelle und die sie umgebenden Komponenten im Modul. Die zweite Domäne ist die *Vorderseitenfingerdomäne*. Sie enthält das Symmetrieelement, das einen vorderen Finger umgibt. Die dritte Domäne ist die *Vorderseitentexturdomäne*. Sie enthält das Symmetrieelement der Oberflächenstruktur und ihrer Umgebung. Je nach Zellarchitektur werden auch eine *Rückseitentexturdomäne* und eine *Rückseitenfingerdomäne* verwendet. Jede dieser Domänen wendet periodische oder zufällige Randbedingungen an ihren Seitenflächen (grüne Linien) an. Im Gegensatz dazu verbinden Ober- und Unterseite der Domänen **b**-**e** die Domänen. Eine Möglichkeit zur praktischen Umsetzung dieser Verbindung sind Oberflächeneffekte (magenta-farbene Linien), die die Strahlen von einer Domäne in eine andere verschieben.

The first domain is called the *module domain*. It is irradiated by the light source and contains one whole solar cell and its surrounding components in the module. The second domain is the *front-finger domain*. It contains the symmetry element surrounding one front finger. The third domain is the *front-texture domain*. It contains the symmetry element of the surface texture and its surroundings. Depending on the cell architecture, a *rear-texture domain* and a *rear-finger domain* are also used. Each of these domains applies periodic or random boundary conditions at its lateral surfaces (green lines). In contrast, the top and bottom surfaces of domains **b**-**e** connect the domains. One option for a practical realization of this connection is surface effects (magenta lines) which shift rays from one domain to another.



Abbildung/Figure 38: Webinterface zur Parametereingabe in eine Daidalos-Simulation.
Web interface for parameter input in a Daidalos simulation.

Dieses Simulationsmodell ist für jedermann online unter www.isfh.de/daidalos verfügbar. Über die in Abbildung 38 dargestellte Weboberfläche können verschiedene Parameter eingestellt werden, um die Simulation möglichst genau an die jeweiligen PV-Module anzupassen. Anschließend können die Ergebnisse einschließlich einer optischen Verlustanalyse heruntergeladen werden.

Abbildung 39 zeigt beispielhaft eine optische Verlustanalyse für ein bifaciales Modul, das ausschließlich von vorne beleuchtet wird. Hier gibt es drei verschiedene Verlustarten:

- 1) Reflexion des einfallenden Lichts an der Vorderseite
- 2) Absorption in Modulkomponenten abgesehen vom Zellabsorber

This simulation model is available to everyone online at www.isfh.de/daidalos. Using the web interface shown in Figure 38, various parameters can be set to adapt the simulation as closely as possible to the respective PV modules. The results including an optical loss analysis can then be downloaded.

Figure 39 shows an example of an optical loss analysis for a bifacial module that is illuminated exclusively from the front. There are three different types of loss:

- 1) Reflection of the incident light at the front surface
- 2) Absorption in module components apart from the cell absorber

Wissenschaftliche Ergebnisse

und

- 3) Transmission durch das Modul ohne Reflexion in der Umgebung zurück in das Modul.

Dabei ermöglicht die optische Verlustanalyse noch eine genauere Aufschlüsselung nach den verschiedenen Komponenten des PV-Moduls (hier nicht dargestellt).

Wird das Modul zusätzlich noch von hinten beleuchtet, kommen die Verlustarten

- 4) Reflexion des einfallenden Lichts an der Rückseite

sowie die

- 5) Transmission von hinten nach vorn durch das Modul

hinzu. Auch diese Beiträge können in einer optischen Verlustanalyse erfasst werden.

and

- 3) Transmission through the module without reflection from the environment back into the module.

The optical loss analysis enables an even more precise breakdown by the various components of the PV module (not shown here).

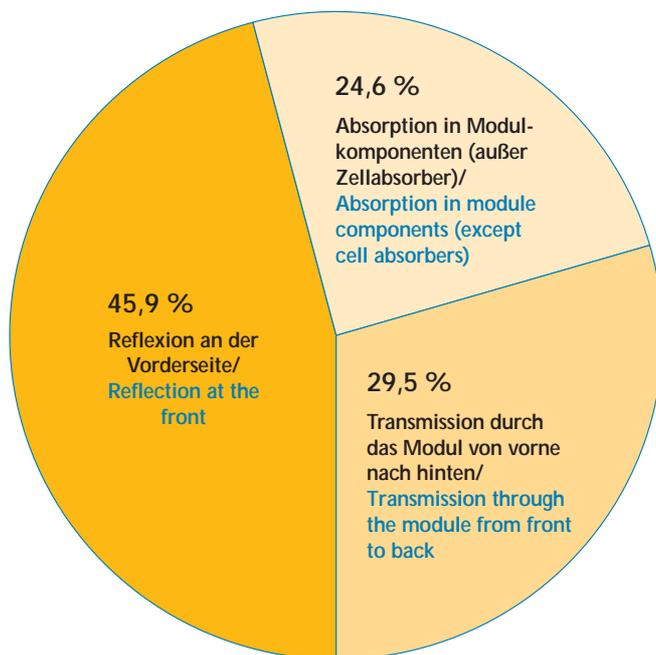
If the module is additionally illuminated from behind, the loss types

- 4) reflection of the incident light at the rear surface

and the

- 5) transmission from the rear to the front through the module

are added. These contributions can also be recorded in an optical loss analysis.



Abbildung/Figure 39: Optische Verlustanalyse für ein bifaciales PV-Modul, das nur von vorne beleuchtet wird.

Optical loss analysis for a bifacial PV module which is illuminated only from the front side.

Erneuerbar versorgtes Niedersachsen 2050 – Sonne und Wind als Rückgrat der Energieversorgung

Die zunehmend bedrohlichen menschengemachten Klima-Veränderungen erfordern eine schnelle Minderung des weltweiten Treibhausgasausstoßes. Die nachhaltige Transformation des Energiesystems hin zu mehr Erneuerbaren Energien nimmt dabei eine Schlüsselfunktion ein, weil sie aus Klimaschutzgründen zum einen unverzichtbar ist, zum anderen aber auch besonders schwer zu bewerkstelligen ist. Der Wechsel von zentralen, konstant produzierenden fossilen Kraftwerken hin zu dezentralen, fluktuierenden Wind- und Solarkraftwerken impliziert grundlegende Änderungen im Energiesystem. Im Rahmen des vom niedersächsischen Umweltministerium in den Jahren 2015 und 2016 veranstalteten *Runden Tisch Energiewende* wurde gezeigt, dass eine solche Transformation innerhalb des Zieldreiecks von Klimaschutz, Wirtschaftlichkeit und Versorgungssicherheit prinzipiell möglich ist^{[15],[16]}.

Die für den *Runden Tisch Energiewende* erstellten Szenariorechnungen werden am ISFH in Zusammenarbeit mit der Leibniz Universität Hannover weitergeführt und fortschreibend aktualisiert. Ziel ist die Ableitung von Entwicklungspfaden für das Energiesystem in Niedersachsen, passend zu den niedersächsischen Klimaschutzziele. Die Szenarien sind keine Vorhersage der Zukunft. Dennoch lassen sich aus ihnen sowohl notwendige Rahmenbedingungen und Richtungen für die Umsetzung der Energiewende als auch wertbringende Entwicklungsoptionen in der Energietechnik ableiten.

Als Eingangsparameter gehen in die Systemanalyse die heutigen und zukünftigen Bedarfe an Elektrizität, Wärme, chemischen Grundstoffen und Mobilität sowie die heutige Struktur des Energiesystems ein. Diese Daten bilden die Grundlage für die Szenariorechnungen. Ausgehend vom heutigen Stand des Energiesystems kann dann für gewählte Randbedingungen ein volkswirtschaftlich optimierter Transformationspfad für das Energiesystem berechnet werden. Dieser gibt Ausbaupfade für die einzelnen, teilweise komplementären Erneuerbare-Energie-Technologien, Speichertechnologien und Sektorkopplungstechnologien an.

Um die Rolle der Solar- und Windenergie für Niedersachsen zu verdeutlichen, stellen wir zwei mögliche Szenarien für die Energieversorgung 2050^[17] vor. Die beiden Szenarien unterscheiden sich dadurch, dass in einem Szenario die Windenergieleistung auf das etwa dreifache des heutigen Wertes beschränkt wurde. Die weiteren Randbedingungen sind gleich gewählt: Im fossilen Energiesektor wurden beispielsweise Kern- und Kohleausstieg

[15] Faulstich M. et. al., *Szenarien zur Energieversorgung in Niedersachsen im Jahr 2050*. (Niedersächsisches Ministerium für Umwelt, Energie und Klimaschutz, Hannover, April 2016, ISBN 978-3-00-052763-0)

[16] Brendel R., Niepelt R., Abschlussbericht zum Auftrag „Zeitlich höher aufgelöste Szenarien“ in: M. Faulstich et. al., *Szenarien zur Energieversorgung in Niedersachsen im Jahr 2050 – Zusatzgutachten zeitlich höher aufgelöste Szenarien*, 61-120, Hannover, Oktober 2016

[17] Brendel R.: *Welche Rolle spielt der Solarstrom in der künftigen Energieversorgung Niedersachsens?*, Vortrag bei den „Solarstromperspektiven für Niedersachsen“, Hannover, 3.6.2019

Renewably supplied Lower Saxony 2050 – Sun and wind as the backbone of energy supply

The increasingly threatening man-made changes to the climate require a rapid reduction in worldwide greenhouse gas emissions. The sustainable transformation of the energy system towards more renewable energy will play a key role in this because, on the one hand, it is indispensable on climate protection grounds and, on the other hand, it is, however, also particularly difficult to achieve. The change from centralized, constantly producing fossil-fuel power stations to decentralized fluctuating wind and solar power stations implies fundamental changes to the energy system. As part of the Lower Saxon Environment Ministry's *Round Table on Energy Transition* held in 2015 and 2016, it was demonstrated that such a transformation is, in principle, possible within the target triangle of climate protection, economic viability and security of supply^{[15],[16]}.

The scenario calculations created for the *Round Table on Energy Transition* continue to be pursued and regularly updated at ISFH in collaboration with the Leibniz University Hanover. The goal is to derive a development trajectory for the energy system in Lower Saxony appropriate to Lower Saxon climate protection objectives. The scenarios are not a prediction of the future. Nevertheless they permit the deduction of both necessary parameters and directions for the implementation of energy transition as well as worthwhile development options in energy technology.

The current and future demand for electricity, heating, chemical base materials and mobility as well as the current structure of the energy system are entered into the system analysis as input parameters. This data forms the basis for the scenario calculations. Based on the current status of the energy system, an economically optimized transformation strategy for the energy system can then be calculated incorporating the chosen parameters. The results indicate expansion strategies for the individual, sometimes complementary renewable energy technologies, storage technologies and integrated energy technologies.

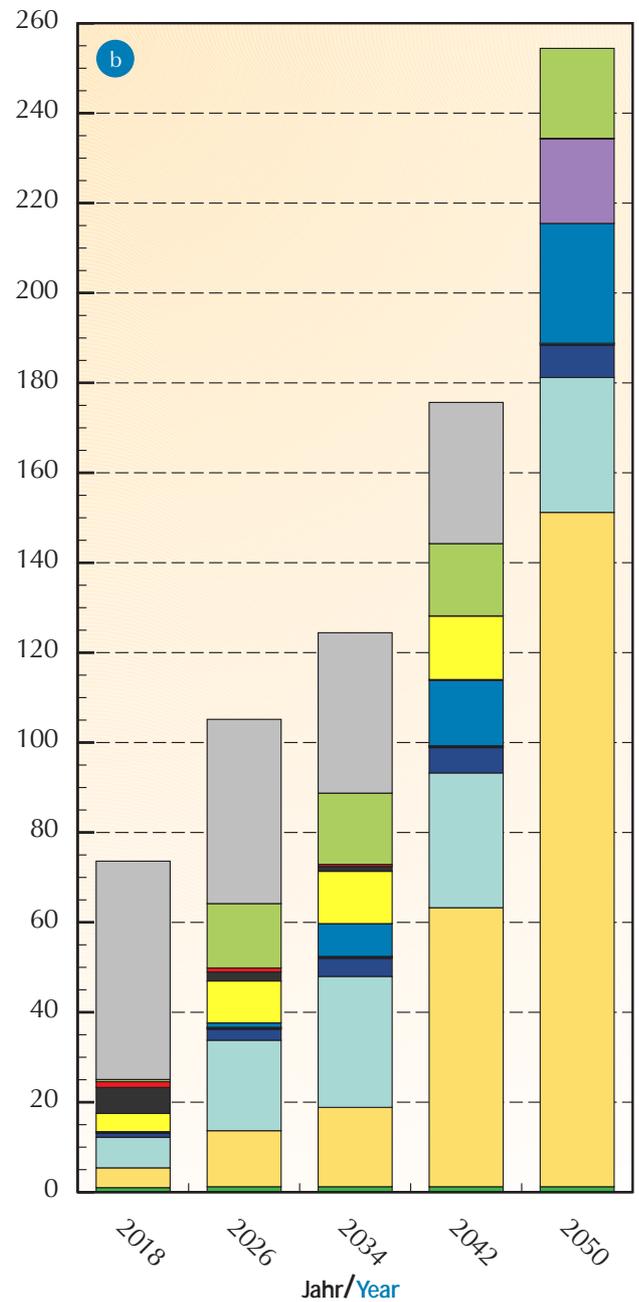
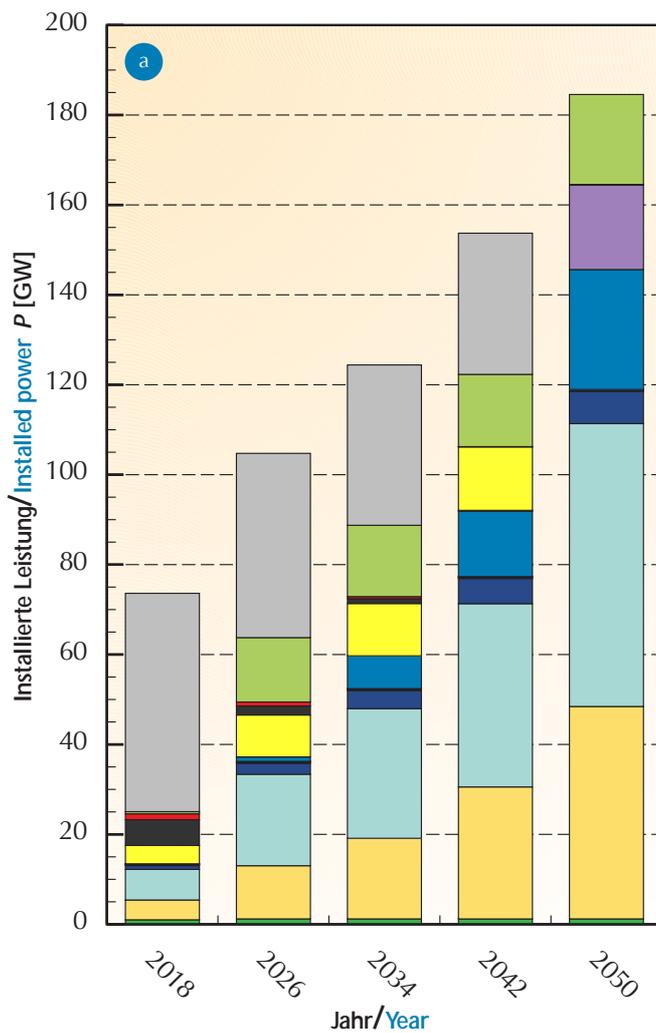
In order to illustrate the role of solar and wind energy for Lower Saxony, we present two possible scenarios for energy supply in 2050^[17]. Both scenarios differ in that in one scenario wind energy yield has been limited to approximately three times the present amount. The other parameters are the same: in the fossil-fuel energy sector, for example, the phasing-out of nuclear and coal in accordance with the recommendations of the Coal Commission have been taken into account. The German offshore expansion potential for wind energy of 54 GW has been fully exhausted with the energy outcome shared between the federal

[15] Faulstich M. et. al., *Scenarios for energy supply in Lower Saxony in the year 2050*. (Lower Saxon' Ministry of Environment, Energy, and Climate Protection, Hanover, April 2016, ISBN 978-3-00-052763-0)

[16] Brendel R., Niepelt R., final report on the order „Zeitlich höher aufgelöste Szenarien“ in: M. Faulstich et. al., *Scenarios zur Energieversorgung in Niedersachsen im Jahr 2050 – Zusatzgutachten zeitlich höher aufgelöste Szenarien*, 61-120, Hannover, October 2016

[17] Brendel R.: *What role does solar power play in Lower Saxony's future energy supply*, lecture (German) at the "Solar Power Perspectives for Lower Saxony", Hannover, 3.6.2019

Abbildung/Figure 40: Installierte Kapazitäten verschiedener Energietechnologien 2018-2050. a) Kostenoptimiertes Szenario für Niedersachsen. b) Kostenoptimiertes Szenario mit zusätzlicher Randbedingung, dass maximal 30 GW Onshore-Windkraft-Anlage installiert werden können. Installed capacities of various energy technologies 2018-2050. a) Cost-optimized scenario for Lower Saxony. b) Cost-optimized scenario with the additional parameter that a maximum of 30 GW of onshore wind power supply can be installed.



Legende/Legend

- | | | |
|-------------------------------|---|---------------------------------|
| Biogas/Biogas | Pumpspeicher/Pump storage | Kohlekraftwerk/Coal power plant |
| PV/PV | Batteriespeicher/Battery storage | Solarthermie/Solar thermal |
| Wind (onshore)/Wind onshore | H ₂ -Elektrolyse/H ₂ electrolysis | Wärmepumpe/Heat pump |
| Wind (offshore)/Wind offshore | H ₂ -Kraftwerk/H ₂ power plant | Gaskessel/Gas boiler |
| Müll/Waste | Gaskraftwerk/Gas power plant | |

gemäß Empfehlungen der Kohlekommission berücksichtigt. Das deutsche Offshore-Ausbaupotenzial von 54 GW wird komplett genutzt und unabhängig von der geografischen Lage nach Bevölkerungsanteil auf die Bundesländer verteilt. Die Sanierungsrate für Bestandsgebäude verdoppelt sich bis 2030 und bleibt danach in dieser Höhe konstant. Der Anteil der E-Mobilität am Personen- und Güterverkehr steigt bis 2050 auf 88%.

Wie im Szenario für den Runden Tisch Energiewende wird angenommen, dass Niedersachsen als Flächenland nicht nur sich selbst, sondern auch anliegende Ballungsgebiete versorgen soll. Dieses Solidarprinzip trägt dem Umstand Rechnung, dass Erneuerbare Energien vor allem in der Fläche gewonnen werden. Der in den Szenarien berücksichtigte Energiebedarf liegt daher 38% über dem in Niedersachsen verursachten Energiebedarf.

Für beide Szenarien wurde dann der jeweils kostengünstigste Transformationspfad, mit dem unter diesen Randbedingungen das Einsparziel erreicht werden kann, ermittelt. In beiden Fällen wird 2050 eine Einsparung von 87,5% der Treibhausgasemissionen gegenüber 1990 erreicht, was in der Mitte des aktuell angestrebten Zielkorridors von 80-95% liegt.

In Abbildung 40 sind die installierten Kapazitäten der zentralen Komponenten der Energieversorgung für beide Szenarien dargestellt. Im kostenoptimierten Szenario in Abbildung 40 (a) findet ein starker Ausbau der Erneuerbaren Energien statt bis auf die sechsfache (Wind) bzw. neunfache (PV) Menge der 2018 installierten Kapazität^[18]. Ebenfalls stark ausgebaut werden die Wärmepumpen, die in Kombination mit Erneuerbarem Strom heute schon eine besonders günstige Möglichkeit zur CO₂-Einsparung darstellen. Die installierte Gesamtleistung über alle Technologien steigt mit dem Ausbau der Erneuerbaren an. Gleichzeitig bleibt die Leistung der flexiblen Energieerzeuger und -wandler (fossile Erzeuger und Wärmepumpen) über lange Zeit konstant. Diese flexibel einsetzbaren Technologien spielen als Partner der fluktuierenden Erneuerbaren eine wichtige Rolle im Energiesystem.

Ab dem Jahr 2030 kommt Wasserstoff als zusätzliche Flexibilitätsoption hinzu. Zunächst wird die Elektrolyse ausgebaut, um grünen Wasserstoff für die stoffliche Nutzung und für den Verkehrssektor zu gewinnen. Später, wenn aufgrund der CO₂-Ziele fossile Spitzenlastkraftwerke keine Alternative mehr sind, kommt die Wasserstoffrückverstromung als zusätzliche Technologieoption hinzu.

Das Szenario in Abbildung 40 (b) nimmt an, dass die Windleistung an Land auf 30 GW beschränkt ist, was in etwa dem Dreifachen des heutigen Ausbaus entspricht. In diesem Szenario wird eine wesentlich höhere Photovoltaikleistung abgerufen, die etwa dem 40-fachen des heutigen Ausbaus entspricht. Im Jahr mit dem höchsten PV-Ausbau 2050 wird zudem eine etwa doppelt so hohe Elektrolyseleistung wie im Vergleichsszenario benötigt, die vor allem im Sommer den Solarstrom in Wasserstoff wandelt, um einen Energievorrat für den folgenden Winter anzulegen.

[18] Energiewendebericht 2019, Herausgeber: Niedersächsisches Ministerium für Umwelt, Energie, Bauen und Klimaschutz, Ministerbüro, Pressestelle Archivstraße 2, 30169 Hannover, April 2020

states in accordance with their share of the population independent of their geographical location. The rate of refurbishment for existing buildings will double by 2030 and afterwards remain constant at this level. The proportion of electrically-powered transportation for moving people and goods will increase by 2050 to 88%.

As in the scenario for the Energy Transition Round Table, it is assumed that Lower Saxony as a rural state should not only supply itself but also adjacent conurbations. This principle of solidarity takes into account the fact that renewable energy is primarily generated in rural areas. The energy demand considered in the scenarios is therefore 38% above the energy demand emanating from Lower Saxony.

For both scenarios the most inexpensive transformation strategy was then ascertained, by which the reduction goal within these parameters can be achieved. In both cases a reduction of 87.5% of greenhouse gas emissions in comparison with 1990 will be achieved in 2050, which lies in the middle of the current target range of 80-95%.

Figure 40 illustrates the installed capacity of centralized energy supply components for both scenarios. In the cost-optimized scenario in Figure 40 (a) a massive expansion of renewable energy generation of up to six times the wind capacity and nine times the PV capacity^[18] would take place compared to the figures already installed in 2018. Similarly the use of heat pumps, which, in combination with renewable electricity, already represent a particularly advantageous option for reducing CO₂, would also be greatly increased. The total installed capacity of all technologies would increase with the expansion of the renewables. At the same time, the output of the flexible energy generators and converters (fossil-fuel generators and heat pumps) would remain constant over a long period. These flexibly deployable technologies play an important role in the energy system as a partner for the fluctuating renewables.

From the year 2030 onwards hydrogen will be used as an additional flexibility option. First electrolysis will be expanded to obtain green hydrogen for use as a raw material and for the transport sector. Later, when CO₂ targets will make fossil-fuel power plants no longer an alternative at times of peak load, hydrogen conversion to electricity will become an additional technology option.

The scenario in Figure 40 (b) assumes that wind power supply on land is limited to 30 GW, which is approximately three times the present amount. In this scenario a considerably higher photovoltaic output will be required, which corresponds to about 40 times the current installations. In the year 2050 with the greatest expansion of PV, in addition approximately twice the amount of electrolysis output will be required compared to the alternative scenario, which will serve to transform solar electricity into hydrogen particularly in the summer in order to create an energy reserve for the following winter.

[18] Energiewendebericht 2019, published by the Ministry for the Environment, Energy, Building and Climate Protection of Lower Saxony, Minister's Office, Press Office Archivstraße 2, 30169 Hannover, April 2020

Die beiden Szenarien zeigen, dass eine Erneuerbare Energieversorgung in Niedersachsen möglich ist, und dass es für dieses Energiesystem große Gestaltungsmöglichkeiten für Politik und Gesellschaft gibt. Die Hauptrollen in der zukünftigen Energieversorgung spielen die Wind- und Solarenergie. Beide Technologien ergänzen sich gut, sind aber auch in großen Teilen untereinander austauschbar. Da sich die volkswirtschaftlichen Kosten der vorgestellten Szenarien mit mehr Wind- oder mehr Solarenergie nicht stark unterscheiden, werden andere Einflussfaktoren wie die Verfügbarkeit von Flächen für Windkraftanlagen und Solarparks oder die Akzeptanz der verschiedenen Technologien in der Bevölkerung maßgeblich für die Gestaltung des Energiesystems sein.

Auffällig ist, dass in beiden Szenarien wesentlich mehr Solarenergie gebraucht wird als heute installiert ist^[W]. Bislang findet Photovoltaik in Niedersachsen vor allem auf den Dächern statt. Nach 20 Jahren EEG sind bislang allerdings noch weit weniger als 5% der Dachflächen mit PV belegt. Auch bei den Freiflächenanlagen besteht Potenzial: Niedersachsen liegt bei den Solarfreiflächen pro Quadratkilometer Landesfläche etwa zwei Drittel unter dem deutschen Durchschnittswert und auf dem drittletzten Platz der Flächenländer. Um die für die Energiewende nötigen Installationszahlen zu erreichen, brauchen wir deutlich mehr Zubau als in der Vergangenheit, sowohl auf den Dächern als auch in der Freifläche.

Fazit

Aus den Rechnungen lassen sich u.a. die folgenden Aussagen ableiten:

- Wind- und Solarenergie können eine nachhaltige Energieversorgung in Niedersachsen bereitstellen.
- Beide Technologien sind zu einem großen Umfang komplementär: Weniger Windenergieausbau führt zu mehr Solarenergieausbau und umgekehrt.
- Für 87,5% Treibhausgaseinsparungen gegenüber 1990 brauchen wir im Jahr 2050 im Vergleich zu heute die 10- bis 40-fache Solarenergieleistung.

Both scenarios demonstrate that a renewable energy supply system is possible in Lower Saxony and that there is great scope for politicians and society to shape this energy system. Wind and solar energy will play the main roles in the future energy supply. Both technologies complement each other well, but are also to a large extent interchangeable. As the economic costs of the scenarios put forward with more wind or more solar energy do not differ greatly, other influencing factors such as the availability of sites for wind turbines and solar farms or the acceptance of the different technologies by the population will be decisive in the design of the energy system.

It is striking that in both scenarios considerably more solar energy is needed than has currently been installed^[W]. Up to now, photovoltaic systems in Lower Saxony have mainly been installed on roofs. However, after 20 years of the Renewable Energies Act (EEG), far less than 5% of the roof surfaces have so far been covered with PV. And there is also potential for ground-mounted systems: Lower Saxony is about two-thirds below the German average for the area of ground-mounted solar systems per square kilometer and ranks third last among the rural federal states. In order to achieve the installation figures necessary for energy transition, we need significantly more new installations than in the past, both on roofs and on ground-mounted sites.

Conclusion

From the calculations the following, inter alia, can be deduced:

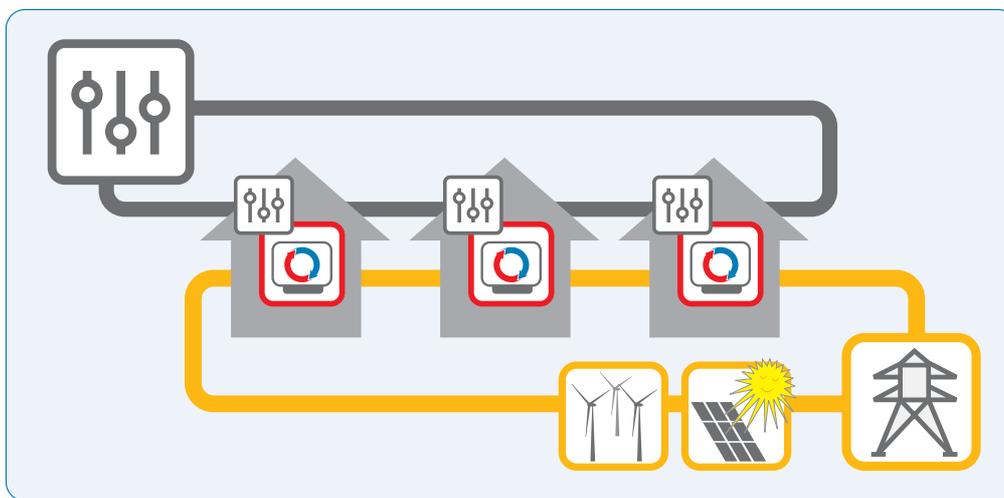
- Wind and solar energy can provide a sustainable energy supply in Lower Saxony.
- Both technologies are, to a great extent, complementary: less expansion of wind energy will require a greater expansion of solar energy and vice versa.
- For a 87.5% reduction in greenhouse gas emissions compared to 1990, we need 10 to 40 times today's solar energy yield in 2050.



Metallwinkel für den Bau eines Wärmepumpenprüfstandes.
Metal brackets for constructing heat pump testing stand.

Heizsystem, thermische und elektrische Speicher sowie Photovoltaikanlagen mit vereinfachten Modellen dargestellt, wie schematisch in Abbildung 42 gezeigt. Somit kann für beliebige Quartiersstrukturen unter Verwendung von Wetterdatensätzen der zeitlich aufgelöste Energiebedarf ermittelt werden. Ein weiterer wichtiger Anwendungsfall ist die Entwicklung und Bewertung von Betriebsstrategien für Wärmepumpenquartiere (s. Abbildung 43). Mit Betriebsstrategien können z.B. WP vorwiegend dann betrieben werden, wenn Strom aus erneuerbaren Energien verfügbar ist.

models, as shown diagrammatically in Figure 42. Thus, the temporally-resolved energy demand can be determined for any district structure using weather data sets. Another important application is the development and evaluation of operating strategies for heat pump districts (see Figure 43). An operating strategy can, for example, be to run the HP's mainly when electricity from renewable energy sources is available.



Abbildung/Figure 43: Schematische Darstellung des Quartiersmodells.
Diagram of the district model.

Die *Solarsiedlung am Ohrberg* liegt in direkter Nachbarschaft zum ISFH und bildet eines der untersuchten Quartiere. Die Siedlung besteht aus 70 Einfamilienhäusern nach Niedrigenergiehaus-Standard und ist um das Jahr 2000 entstanden. Alle Gebäude verfügen über eine Wasser-Wasser-WP, die an ein kaltes Nahwärmenetz angeschlossen ist, und eine Solarthermieanlage. Am Beispiel dieses Quartiers werden mit Hilfe des Simulationsmodells verschiedene Szenarien simuliert, die den erneuerbaren Deckungsanteil des Stromverbrauches, wie in Abbildung 44 gezeigt, erhöhen. Wäre jedes Gebäude mit einer 5 kW_p Photovoltaikanlage ausgestattet, könnten bereits 33% des gesamten Strombedarfes für Haushalte und WP lokal gedeckt werden (Szenario 1). Wird eine prognosebasierte WP-Steuerung umgesetzt, die möglichst viel PV-Strom nutzt, um die WP zu betreiben, erhöht sich der Deckungsgrad auf 39% (Szenario 2). Verwendet man in jedem Gebäude neben der PV-Anlage noch einen Batteriespeicher mit einer Kapazität von 5 kWh , können bereits 53% des Energieverbrauchs solar gedeckt werden (Szenario 3). Eine wesentliche Steigerung des erneuerbaren Deckungsanteils lässt sich aber auch ohne Speicher unter Einbeziehung von Windenergie erreichen. Bereits eine anteilige Windkraftanlagenleistung von 5 kW pro Gebäude ermöglicht einen Deckungsgrad von 72% (Szenario 4). Kombiniert man alle Szenarien, wird ein Deckungsgrad von 88% erreicht (Szenario 5).

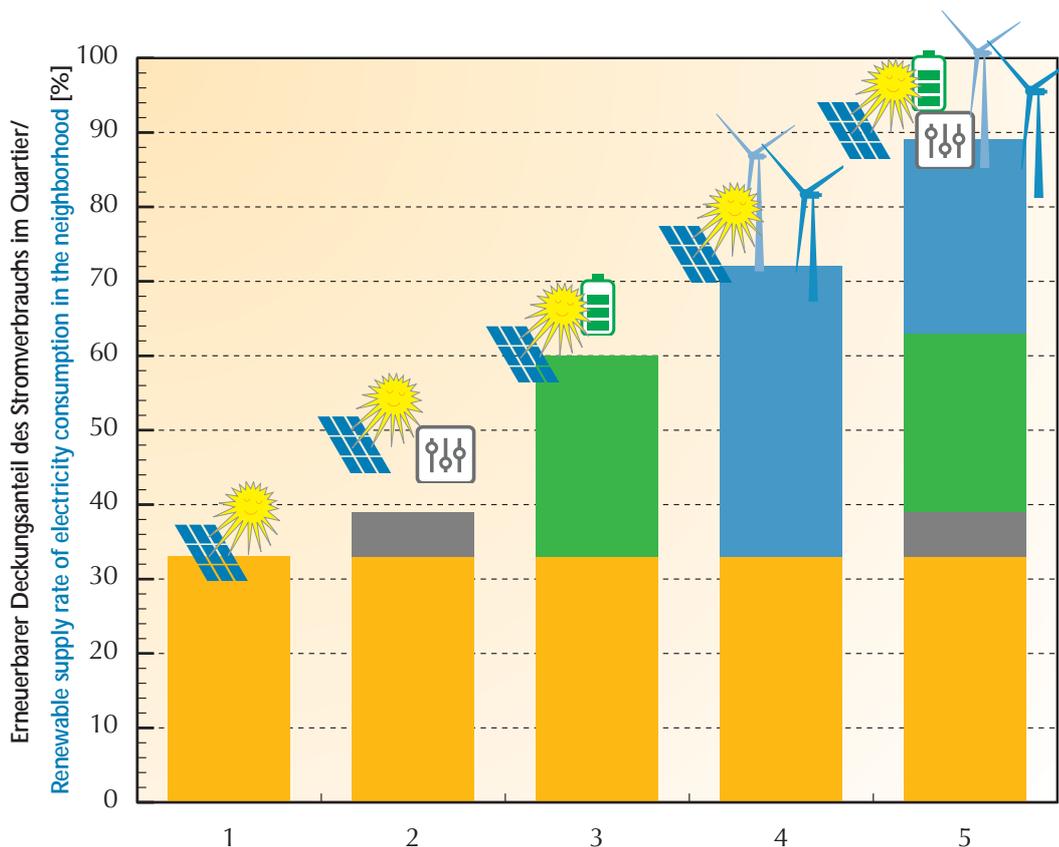
The *Ohrberg Solar Settlement* is located in close proximity to ISFH and is one of the investigated districts. The settlement consists of 70 detached houses built in accordance with the low-energy house standard around the year 2000. All the buildings are equipped with a water-water heat pump connected to a cold local heating network and a solar thermal system. Using this district as an example, various scenarios are simulated with the assistance of the simulation model to increase the share of electricity consumption supplied by renewables, as shown in Figure 44. If each building were equipped with a 5 kW_p photovoltaic system, 33% of the total electricity demand for households and heat pumps could already be supplied locally (scenario 1). If a forecast-based HP control is implemented that uses as much PV electricity as possible to operate the HP, the coverage ratio increases to 39% (scenario 2). If, in addition to the PV system, a battery storage with a capacity of 5 kWh is used in every building, 53% of the energy consumption can already be covered by solar energy (scenario 3). A substantial increase in the renewable supply rate can however, be achieved without storage by using wind energy. Even a prorated wind power plant output of 5 kW per building enables a coverage ratio of 72% (scenario 4). If all scenarios are combined, a coverage ratio of 88% is achieved (scenario 5).

Dass diese Werte auch real erreicht werden können, zeigt das zweite Quartier. Hierbei handelt es sich um die Plus-Energiehaus-Siedlung bei Hühelshart. Die Gebäude dieser Siedlung wurden im Jahr 2016 erbaut und sind mit Luft-Wasser-WP, Batterie- und Pufferspeichern, PV und einem Energiemanagementsystem ausgestattet, das die WP nach PV-Angebot steuert. Im Durchschnitt wird bei diesen Gebäuden ein erneuerbarer Deckungsanteil des Stromverbrauches von 60% erreicht.

Die Ergebnisse aus den existierenden Quartieren zeigen, dass schon heute eine zu hohen Anteilen erneuerbare Energieversorgung von Quartieren mit Wärmepumpen und PV-Anlagen möglich ist. Bereits durch Einsatz geringinvestiver Maßnahmen, wie eines Energiemanagements mit intelligenter WP-Steuerung und Wetter-Prognose, kann der Anteil erneuerbarer Energien im Gebäude gesteigert werden. Unter Verwendung handelsüblicher Speicher und Einbeziehung der Windenergie ist eine vollständige erneuerbare Deckung in greifbarer Reichweite.

The second district shows that these values can also be achieved in reality. This district is the plus energy house settlement near Hühelshart. The buildings in this settlement were built in 2016 and are equipped with air-water heat pumps, battery, and heat storage tanks, PV and an energy management system that controls the heat pumps according to the PV supply. On average, these buildings achieve a 60% renewable share of electricity consumption.

The results from the existing districts show that even today a high proportion of renewable energy use is possible in districts with heat pumps and PV systems. Even the use of low-cost-investment measures such as energy management with intelligent heat pump control and weather forecasting increases the share of renewable energy use in buildings. Using commercially-available storage equipment and including wind energy, a fully renewable supply is within reach.



Abbildung/Figure 44: Erneuerbare Deckungsanteile des Stromverbrauches der Ohrbergsiedlung für verschiedene Szenarien.
Renewable supply rate of the electricity consumption of the Ohrberg settlement for different scenarios.

Tobias Ohrdes, Michael Knoop, Elisabeth Schneider

Spektrales Photogoniometer zur Untersuchung der bidirektionalen Transmissions- und Reflexionsverteilungsfunktion im solaren Spektralbereich

Die Entwicklung von solarenergetischen Komponenten, wie PV-Module und Solar-Kollektoren, wird nicht nur durch die Steigerung ihrer Effizienz, sondern zunehmend auch vom Erscheinungsbild und der Integration in die Gebäudehülle bestimmt. Design, Farbgebung, Glanz und nicht zuletzt Blendung sind architektonische Kriterien, die zukünftig stärker berücksichtigt werden müssen, um beim Bürger eine hohe Akzeptanz der Technologien beim Ausbau der Solarenergienutzung sicherzustellen.

OMT Solutions BV (Eindhoven) baut dazu am ISFH ein Labor zur optischen Charakterisierung von Verglasungen, Fassadenelementen, PV-Modulen und Solarkollektoren auf. Die Anlage wird ab Herbst 2020 für Untersuchungen zur Verfügung stehen.

Das System ist ein Spektralgoniometer, das in der Lage ist, vier Arten von Messungen durchzuführen:

- Messung der spektralen bidirektionalen Reflexions- und Transmissionsverteilungsfunktion (BRDF/BTDF). Bei beliebigem Einfallswinkel des Lichtes wird die Reflexion oder Transmission in einem beliebig anderen Winkel gemessen (Abbildung 45).
- Bidirektionale Oberflächenstreuungs-Reflexions-/Transmissionsverteilungsfunktion (BSSRDF/BSSTDF) bei Proben mit Streuung im Probenvolumen. In diesem allgemeinen Fall tritt die Abstrahlung aus einem anderen Flächenbereich heraus, als die Einstrahlung eingetreten ist (Abbildung 46).
- Spektrale hemisphärisch-gerichtete Transmissions- und Reflexionsmessungen. Für viele Fragestellungen ist es ausreichend, den über alle Raumrichtungen integrierten Transmissions- bzw. Reflexionsgrad in Abhängigkeit vom Einstrahlwinkel zu bestimmen. Wir verwenden einen physikalisch äquivalenten Aufbau, strahlen auf die Probe hemisphärisch aus allen Richtungen gleichmäßig ein und beobachten die Transmission bzw. Reflexion aus einem bestimmten Winkel.
- Kamera-basierte spektrale Abbildung für die Darstellung eines Objektes aus und unter variablen Perspektiven und Beleuchtungsbedingungen.

Die zentrale Komponente für alle Messungen ist eine 270°-Kreisumlaufbahn, auf der mit einem Radius von 2,5m eine Detektor-Plattform mit einem Spektrometersystem und einem spektralen Kamerasystem um die Probe in der Mitte gefahren werden kann (Abbildung 47).

Spectral photogoniometer for the study of bidirectional transmittance and reflectance distribution function measurements in the solar spectral range

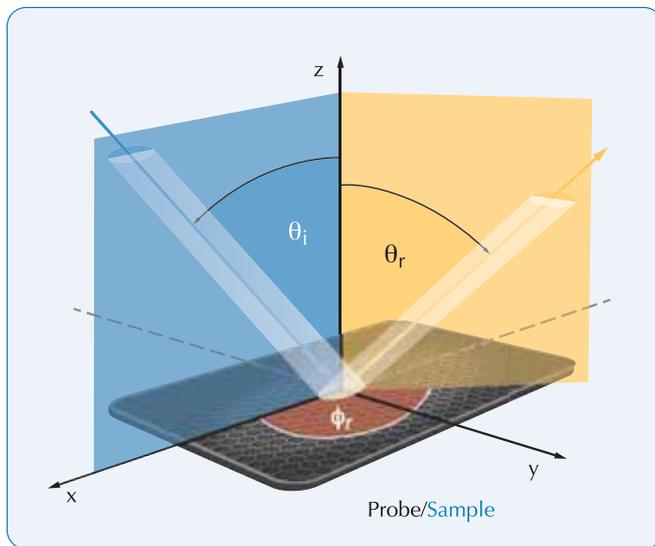
The development of solar-energy components, such as PV modules and solar collectors, is determined not only by increasing their efficiency, but also increasingly by their appearance and integration into the building envelope. Design, coloring, shininess and, last but not least, glare are architectural criteria of which greater account will have to be taken in the future in order to ensure a high level of public acceptance of the technologies when expanding of solar energy use.

OMT Solutions BV (Eindhoven) is setting up a laboratory at ISFH for the optical characterization of glazing, façade elements, PV modules and solar collectors. The plant will be available for research work from autumn 2020.

The system is a spectral goniometer that is able to perform four types of measurements:

- Measurement of the spectral bidirectional reflectance and transmittance distribution function (BRDF/BTDF). At any incidence angle of light, the reflectance or transmittance is measured at any other angle (Figure 45).
- Bidirectional surface scattering reflectance/transmittance distribution function (BSSRDF/BSSTDF) of samples with scattering occurring in the sample volume. In this general case, the emission comes out from a different area than the irradiation has entered (Figure 46).
- Spectral hemispherically-directional transmittance and reflectance measurements. For many questions, it is sufficient to determine the degree of transmittance or reflectance integrated over all spatial directions depending on the incidence angle. We use a physically equivalent structure and irradiate the sample hemispherically and evenly from all directions and observe the transmittance or reflectance from a fixed angle.
- Camera-based spectral imaging for the depiction of an object from variable perspectives under variable lighting conditions.

The central component for all measurements is a 270° circular orbit on which, a detector platform with both a spectrometer system and a spectral camera system with a radius of 2.5 m, can be moved around the sample in the center (Figure 47).



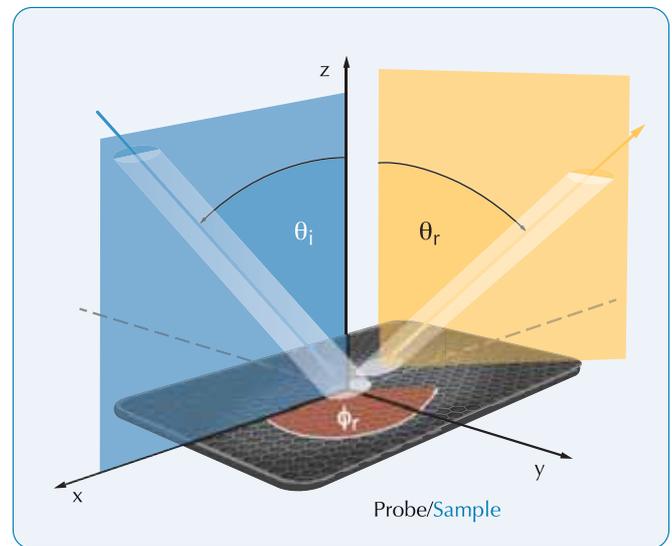
Abbildung/Figure 45: Im Fall matter oder texturierter Oberflächen wird die Reflexion durch die bidirektionale Reflexionsverteilungsfunktion charakterisiert. Bei gegebenem Einfallswinkel der Strahlung reflektiert die Probe in beliebige Raumrichtungen.

In the case of matt or textured surfaces, the reflectance is characterized by the bidirectional reflectance distribution function. At a given incident angle of irradiation, the sample reflects in any direction.

Für Untersuchungen mit BRDF, BTDF, BSSRDF und BSSTDF wird die Probe in der Mitte auf einem dreiaxig steuerbaren Halter positioniert (Abbildung 47). Es können Proben im Format bis $50\text{ cm} \times 50\text{ cm} \times 5\text{ cm}$ und einem Gewicht von bis zu 10 kg untersucht werden. Die Lichtquelle ist stationär. Sie liefert depolarisiertes Licht in der Probenebene auf einer homogen beleuchteten Oberfläche mit einem maximalen Durchmesser von 15 cm, der auch reduziert werden kann.

Das Spektrometersystem besteht aus drei Dioden-Array-Spektrometern, die den gesamten solaren Spektralbereich von 300 nm bis 2500 nm abdecken. Ein entsprechender Spektrometersatz wird als Referenz zur spektralen Überwachung der Lichtquelle installiert, um das Messsignal zu stabilisieren.

Das Spektrometersystem vermisst Teilflächen der Probe mit einem Strahl-Durchmesser von $d=1\text{ cm}$, $d=2\text{ cm}$ oder $d=5\text{ cm}$ im Fall schräger Ausrichtung. Mittels eines Polarisators können Reflexion und Transmission getrennt für die s- oder p-Polarisation gemessen werden. Bei BSSRDF- und BSSTDF-Untersuchungen wird das Spektrometersystem horizontal um $\pm 25\text{ cm}$ verschoben, so dass der Abstand zwischen der Position der Einstrahlung und dem des Messpunktes für Proben, die im Volumen Licht streuen, variiert werden kann.



Abbildung/Figure 46: Im allgemeinen Fall von Volumenstreuung oder texturierten Gläsern tritt die Strahlung auch außerhalb des bestrahlten Bereichs aus.

In the general case of volume scattering or textured glass, the radiation is also emitted outside the irradiated area.

For research on the BRDF, BTDF, BSSRDF and BSSTDF, the sample is positioned in the center on a three-axis controllable holder (Figure 47). Samples of up to $50\text{ cm} \times 50\text{ cm} \times 5\text{ cm}$ and a weight of up to 10 kg can be studied. The light source is stationary. It provides depolarized light at the sample level on a homogeneously illuminated surface with a maximum diameter of 15 cm, which can also be reduced to smaller diameters.

The spectrometer system consists of three diode-array spectrometers covering the complete solar spectral range from 300 nm to 2500 nm. A corresponding spectrometer set is installed as a reference to the spectral monitoring of the light source in order to stabilize the measurement signal.

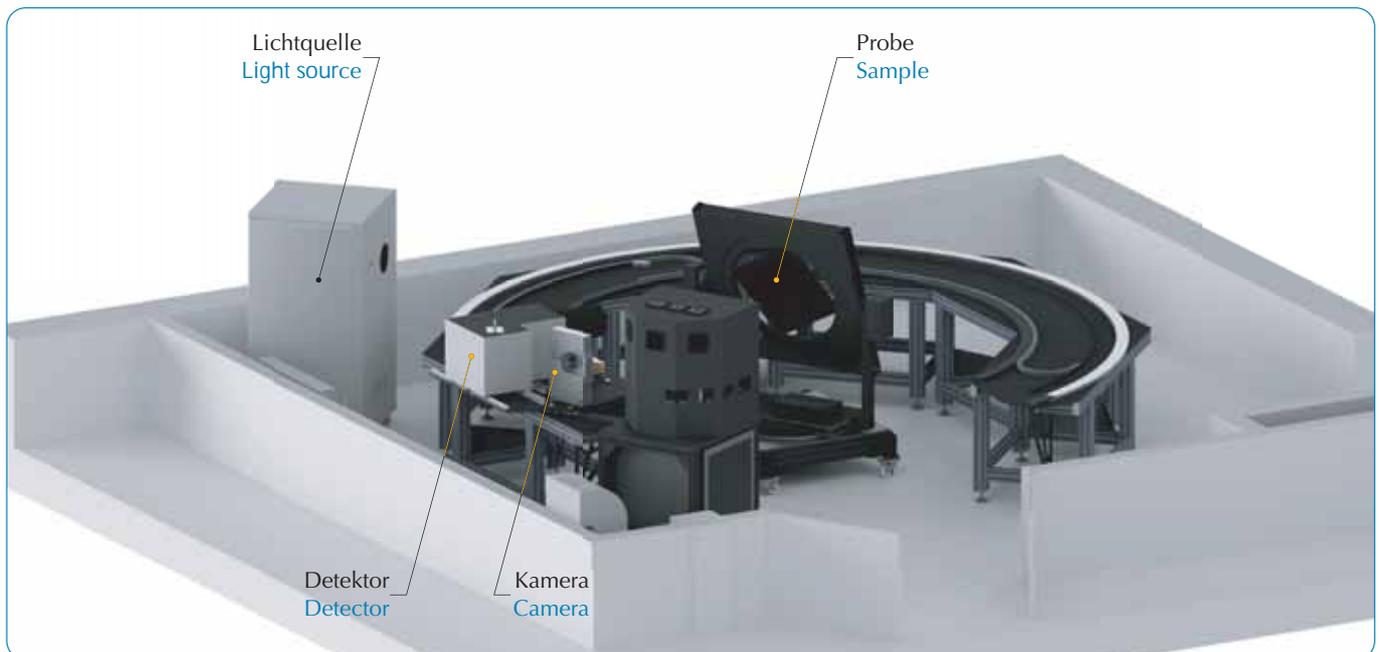
The spectrometer system measures parts of the sample with a spot diameter of $d=1\text{ cm}$, $d=2\text{ cm}$ or $d=5\text{ cm}$ in the event of sloping orientation. Reflectance and transmittance can be measured separately for s or p polarization by using a polarizer. For studying BSSRDF and BSSTDF, the spectrometer system is horizontally adjusted by up to $\pm 25\text{ cm}$ so that the distance between the position of the irradiation and that of the measuring point for light-scattering samples can be varied.

Für Untersuchungen des hemisphärisch-gerichteten Transmissions- und Reflexionsgrades wird anstelle des Probenhalters für BRDF/BTDF eine Ulbricht-Kugel positioniert (Abbildung 48).

Die Anordnung ermöglicht Untersuchungen an Proben von 100cm^2 bis einigen Quadratmetern. Die integrierende optische Kugel mit einem Innendurchmesser von 60 cm und einer Proben-Portöffnung von 15 cm Durchmesser wird von innen homogen beleuchtet. Die Variation der Lichtquellenintensität wird mit drei Spektrometern für ein spektrales Referenzsignal von 300 nm bis 2500 nm aufgezeichnet, um die Messung zu stabilisieren. Bei hemisphärisch-gerichteten Transmissionsmessungen kann der Erfassungswinkel durch Bewegen der Detektor-Plattform auf der Kreisbahn kontinuierlich variiert werden (Abbildung 48). Für hemisphärischgerichtete Reflexionsmessungen wird die Detektor-Plattform hinter die Ulbricht-Kugel gefahren. Auf der Rückseite der Kugel werden computergesteuerte Ports für ausgewählte Reflexionswinkel geöffnet. Die hemisphärisch-gerichtete Reflexion kann für die Winkel 8° , 15° , 30° , 45° , 60° und 70° gemessen werden.

For studies of hemispherically-directional transmittance and reflectance, an integrating optical sphere is positioned in place of the sample holder for BRDF/BTDF (Figure 48).

The configuration allows the study of samples ranging in size from 100cm^2 to a few square meters. The integrating optical sphere with an inner diameter of 60 cm and a sample port opening of 15 cm diameter is homogeneously illuminated from the inside. Variation in the light source intensity is recorded with three spectrometers for a spectral reference signal of 300 nm to 2500 nm in order to stabilize the measurement. For hemispherically – directional transmittance measurements, the detection angle can be continuously varied by moving of the detector platform on the circular path (Figure 48). For hemispherically – directional reflectance measurements, the detector platform is moved behind of the integrating optical sphere. On the back of the sphere, computer-controlled ports are opened for selected reflectance angles. The hemispherically-directional reflectance can be measured for the angles of 8° , 15° , 30° , 45° , 60° and 70° .



Abbildung/Figure 47: Konfiguration für BRDF- und BSSRDF-Messungen. Die Lichtquelle und das Detektionssystem befinden sich in der linken hinteren Ecke bzw. in der linken Mitte. Die Probe in der Raummitte kann in drei Achsen gedreht werden.

Configuration for BRDF and BSSRDF measurements. The light source and the detection system are located at the left back corner or in the left center. The sample at room center can be rotated in three axis.

Wissenschaftliche Ergebnisse

Für eine detaillierte Beurteilung des Erscheinungsbildes eines Objektes aus verschiedenen Blickwinkeln, insbesondere seiner Oberfläche, ist auf der Detektor-Plattform des Goniometers ein Kamerasystem mit Filterrad montiert, um in 10-nm-Intervallen mit 41 Bandfiltern im Bereich zwischen 400 nm und 800 nm spektral- und orts aufgelöste Daten zu erfassen. Die Daten werden für die Farbe Weiß kalibriert, so dass die Bestimmung der orts aufgelösten Farbwerte möglich ist. Das Kamerasystem kann in Kombination mit dem Probenhalter für BRDF/BTDF (gerichtete Einstrahlung) sowie mit der Ulbricht-Kugel (diffuse Einstrahlung) verwendet werden.

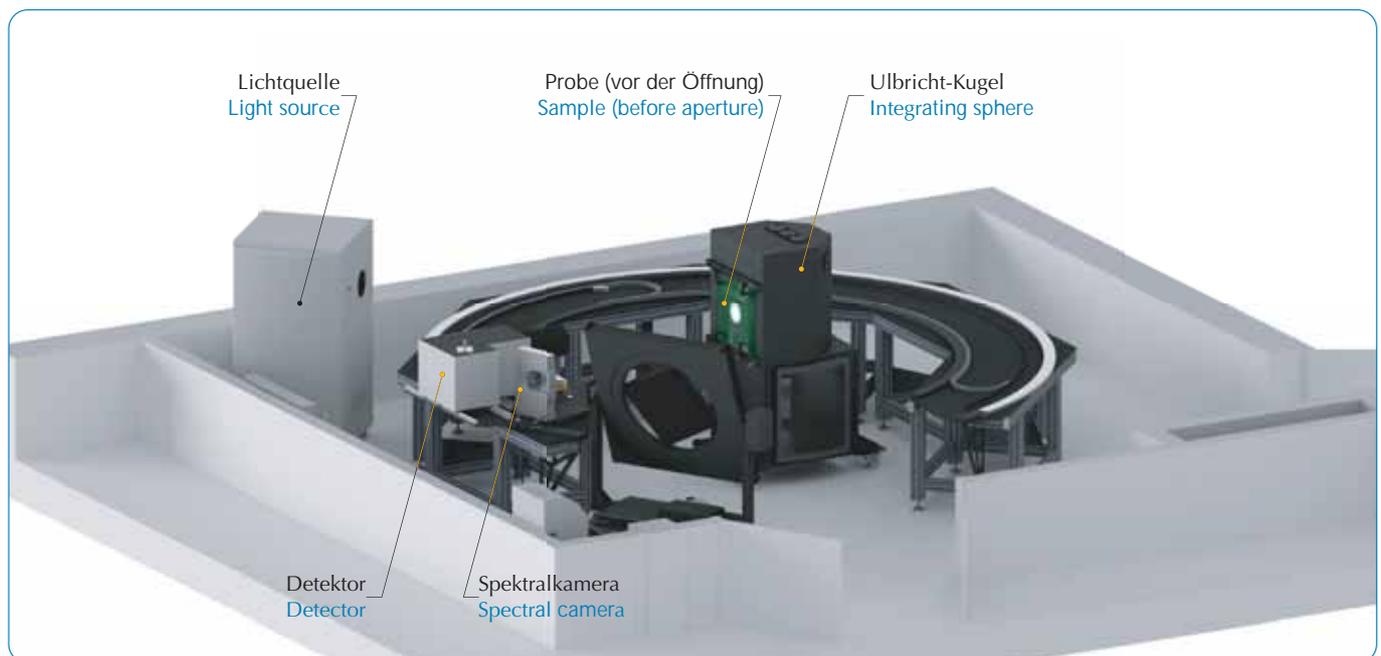
BSSRDF und BSSTDF können mit dem Kamerasystem gemessen werden, indem eine Fläche von bis zu 500 mm × 500 mm auf der Probe erfasst wird, während die Probe in der Mitte des Aufnahmegebietes beleuchtet wird.

Wir danken dem *Bundesministerium für Wirtschaft und Energie* (BMWi) für die Förderung des Projekts NextStep (Förderkennzeichen 0324171C), mit dessen Mitteln die Anlage finanziert wurde.

For a detailed assessment of the appearance of an object from different angles, in particular its surface, a camera system with a filter wheel is mounted on the detector platform of the goniometer to collect spectrally and spatially-resolved data with 41 band filters ranging between 400 nm and 800 nm at 10 nm intervals. The data is calibrated for the color white so that the determination of spatially-resolved color values is possible. The camera system can be used in combination with the sample holder for BRDF/BTDF (directed irradiation) as well as with the integrating sphere (diffuse irradiation).

BSSRDF and BSSTDF can be measured with the camera system by capturing an area of up to 500 mm × 500 mm on the sample, while illuminating the sample at the center of the exposure field.

We would like to thank the *Federal Ministry for Economic Affairs and Energy* (BMWi) for funding the NextStep project (Funding reference number 0324171C), with whose resources the plant was financed.



Abbildung/Figure 48: Konfiguration für hemisphärische – gerichtete Transmissions- und Reflexionsmessungen. Das Detektionssystem befindet sich in der linken Mitte. Die Probe (grün) wird an der Ulbricht-Kugel in der Raummitte montiert.

Configuration for hemispherically – directional transmittance and reflectance measurements. The detection system is located at the left center. The sample (green colored) is mounted on the integrating sphere at room center.

Rolf Reineke-Koch, Peter van Nijnatten

Stagnationssichere Absorberbeschichtung

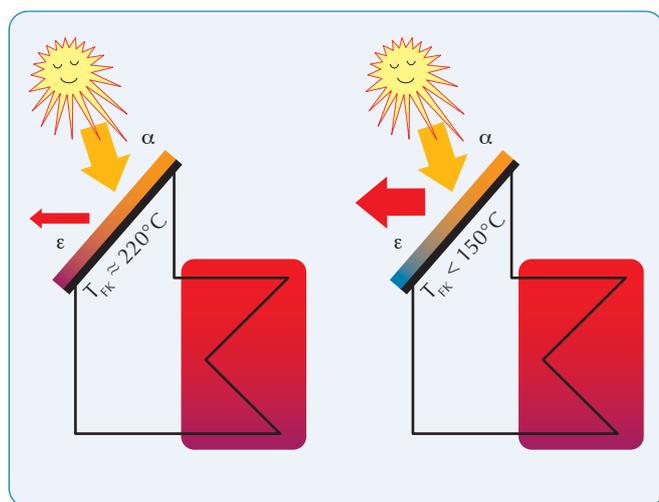
Die regenerative Wärmeerzeugung ist bereits seit vielen Jahren ein Schwerpunkt in der aktuellen Forschung und trägt zur Dekarbonisierung der Energiewirtschaft bei. Hierbei spielen auch Solarkollektoren zur Trinkwassererwärmung und Raumheizungsunterstützung eine wichtige Rolle. Die Effizienz der auf dem Markt verfügbaren Solarkollektoren ist durch ihre solare Absorption von 95% und durch die verbesserte Minimierung der Wärmeverluste bereits auf einem sehr hohen Niveau angekommen. Eine hohe Effizienz der Solarkollektoren stellt das Heizungssystem jedoch auch vor Herausforderungen. Besonders in den Sommermonaten übersteigt das Angebot der solar gewonnenen Wärme oft den Bedarf und die Speicherkapazität eines Hauses, sodass der Solarkreislauf abgeschaltet werden muss. In dieser Zeit treten je nach Bauart des Kollektors Temperaturen von 180°C bis 220°C auf, die zu einem Verdampfen des Wärmeträgerfluides und zu hohen thermischen Belastungen an den Solarkreislaufkomponenten führen. Um Beschädigungen am Heizungssystem während des sogenannten Stagnationsfalles zu vermeiden, ist die Installation von verschiedenen Schutzvorrichtungen sowie ein erhöhter Wartungsaufwand nötig. Dies führt zu einer erheblichen und unerwünschten Erhöhung der spezifischen Systemkosten.

Eine Lösung für dieses Problem wurde in Zusammenarbeit mit der Viessmann Werke GmbH entwickelt und besteht darin, Flachkollektoren mit einer speziellen Absorberbeschichtung zu versehen, die ihre infrarot-optischen Eigenschaften in Abhängigkeit der Absorbertemperatur verändern. Diese sogenannten *thermochromen Absorberbeschichtungen* haben im typischen

Stagnation proof absorber coating

Renewable heat generation has been a focus of current research for many years and is contributing to the decarbonization of the energy sector. In this, solar collectors are also playing an important role in assisting the provision of domestic hot water and space heating. The efficiency of the solar collectors, available on the market, has already reached a very high level due to their solar absorption of 95% and the improved minimization of heat losses. However, the high efficiency of solar collectors also presents the heating system with challenges. Particularly in the summer months, the supply of solar heat often exceeds the demand and storage capacity of a house, so that the solar circuit must be switched off. During this time temperatures of 180°C to 220°C occur depending on the type of collector, which lead to evaporation of the heat transfer fluid and high thermal loads on the solar-circuit components. In order to avoid damage to the heating system during stagnation, the installation of various protective devices and increased maintenance are necessary. This leads to a considerable and undesirable increase in the specific system costs.

A solution to this problem was developed in cooperation with Viessmann Werke GmbH and consists in providing flat-plate collectors with a special absorber coating, which changes their infrared optical properties depending on the absorber temperature. These so-called *thermochromic absorber coatings* have a comparably high solar absorption capacity at the typical operating range of a flat-plate collector and, in contrast to a standard flat-plate collector, a temperature-dependent emissivity of heat radiation in the infrared spectral range. If a collector threatens



Abbildung/Figure 49: Skizze eines solar unterstützten Heizungssystems zur Veranschaulichung des Stagnationsproblems. Links: Durch die konstant hohe solare Absorption α und geringe Emission der Wärmestrahlung ϵ können sich Standard-Flachkollektoren bis zu 220°C aufheizen. Rechts: Durch den Einsatz eines thermochromen Flachkollektors steigt mit zunehmender Absorbertemperatur die Emission der Wärmestrahlung an, sodass die maximale Flachkollektortemperatur (T_{FK}) auf unter 150°C reduziert werden kann.

Sketch of a solar-assisted heating system to illustrate the stagnation problem. Left sketch: Due to the constantly high solar absorption α and low emission of heat radiation ϵ , standard flat-plate collectors can heat up to 220°C. Right sketch: By using a thermochromic flat-plate collector, the emission of heat radiation rises with increasing absorber temperature, so that the maximum flat-plate collector temperature (T_{FK}) can be reduced to below 150°C.

Wissenschaftliche Ergebnisse

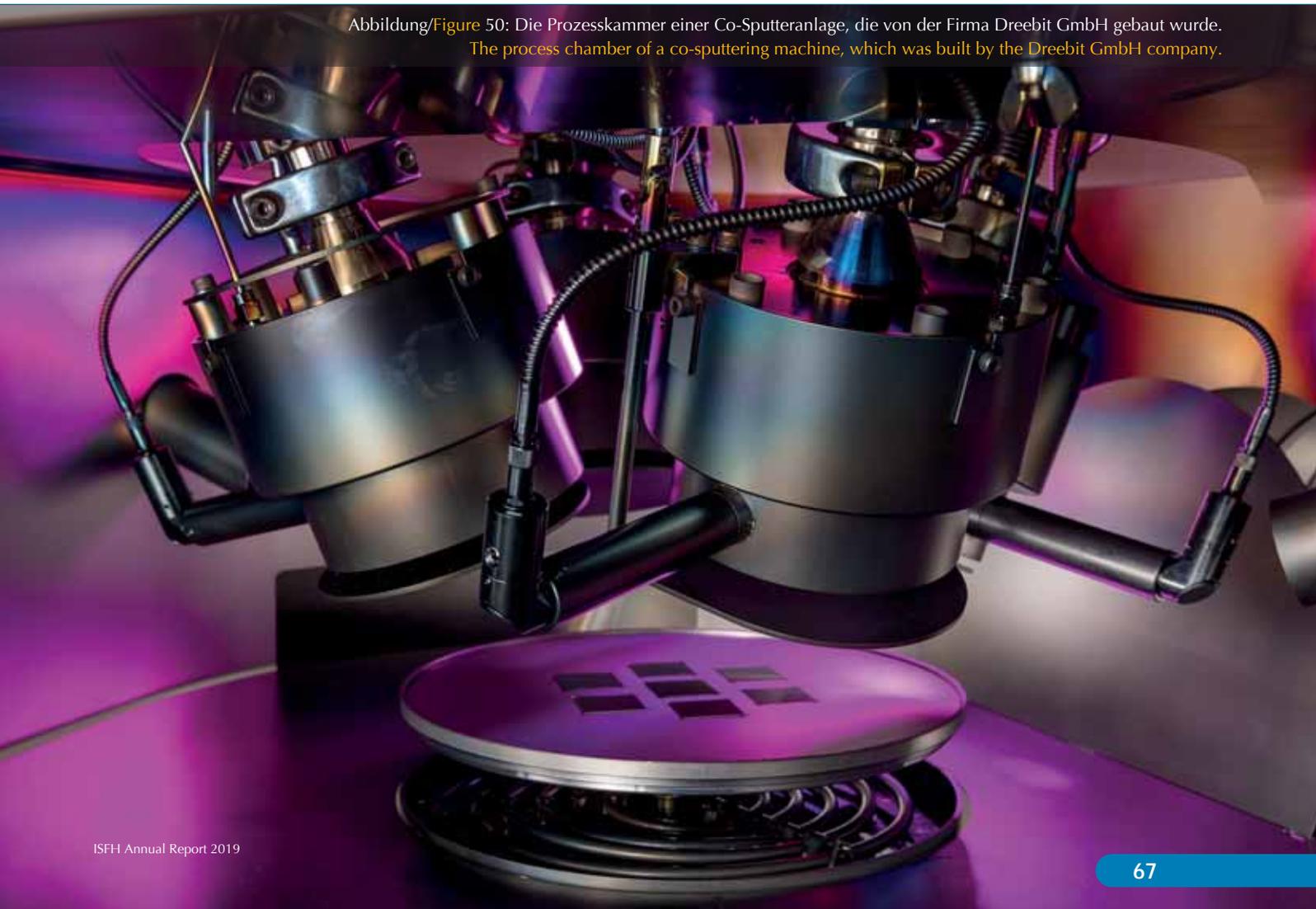
Betriebsbereich eines Flachkollektors ein vergleichbar hohes solares Absorptionsvermögen und im Gegensatz zu einem Standard-Flachkollektor eine temperaturabhängige Emissivität der Wärmestrahlung im infraroten Spektralbereich. Droht ein Kollektor im Stagnationsfall zu überhitzen, wird durch die Erhöhung der Emissivität vermehrt Wärme abgestrahlt, sodass die maximale Stagnationstemperatur des Kollektors deutlich reduziert wird (Abbildung 49). Dieser Effekt sorgt für eine signifikante Abschwächung der einwirkenden Temperaturbelastungen und erlaubt dadurch den Einsatz weniger temperaturbeständiger Materialien. Dies ermöglicht eine Kostensenkung sämtlicher solarthermischer Systemkomponenten, die somit die Wirtschaftlichkeit einer solaren Heizungsunterstützung attraktiver gestaltet.

Auf der Suche nach neuen geeigneten Materialien, die als stagnationssichere Absorberbeschichtungen in Frage kommen, sind Eisensulfide (FeS_x) näher in den Fokus gerückt. Sowohl die Verfügbarkeit und gute Umweltverträglichkeit als auch die physikalischen Eigenschaften bieten eine gute Alternative zu den bisher eingesetzten Chrom- und Vanadium-Verbindungen.

to overheat in the event of stagnation, the rise in emissivity causes an increased heat emission, so that the maximum stagnation temperature of the collector is significantly reduced (Figure 49). This effect ensures a significant reduction in the temperature loads acting on the material and thus allows the use of less temperature-resistant materials. This makes it possible to reduce the costs of all solar-thermal system components, thus making the cost-effectiveness of a solar-assisted heating more attractive.

In the search for new suitable materials that can be used as stagnation-proof absorber coatings, iron sulfides (FeS_x) are receiving closer attention. Both the availability and good environmental compatibility as well as the physical properties offer a good alternative to the chromium and vanadium compounds previously used.

Abbildung/Figure 50: Die Prozesskammer einer Co-Sputteranlage, die von der Firma Dreebit GmbH gebaut wurde.
The process chamber of a co-sputtering machine, which was built by the Dreebit GmbH company.

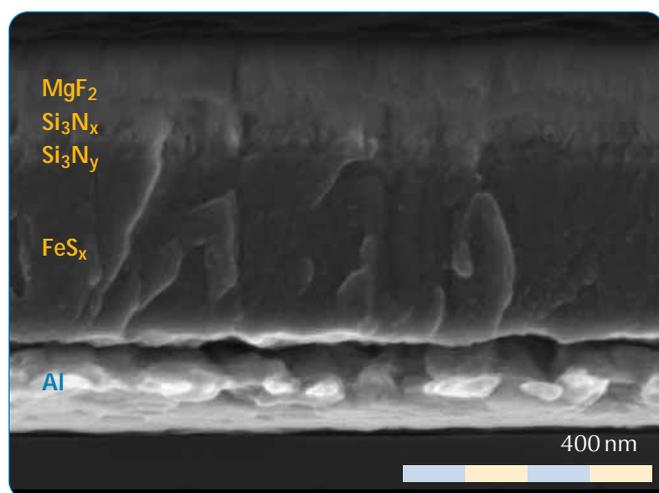


Die Herstellung eines FeS_x -basierten Solarabsorbers erfolgt mit Hilfe eines industrienahen Magnetron-Sputterprozesses (Abbildung 50), bei dem eine etwa 350 nm dünne FeS_x -Schicht auf einem Aluminium-Substrat abgeschieden wird. Zusätzlich aufgetragene Deckschichten aus Si_3N_x und MgF_2 (Abbildung 51) sorgen zudem für eine verbesserte solare Absorption von 97,7%, die sich in Form eines niedrigen Reflektivitätsverlaufes im solaren Spektralbereich bemerkbar macht (Abbildung 52). Im infraroten Spektralbereich (2.500 nm bis 17.000 nm) sorgt generell eine hohe Reflektivitätskurve für eine geringe Emissivität der Wärmestrahlung. Durch die thermochromen Eigenschaften der FeS_x -Beschichtung wird eine reversible temperaturabhängige Reduktion der IR-Reflektivität erreicht.

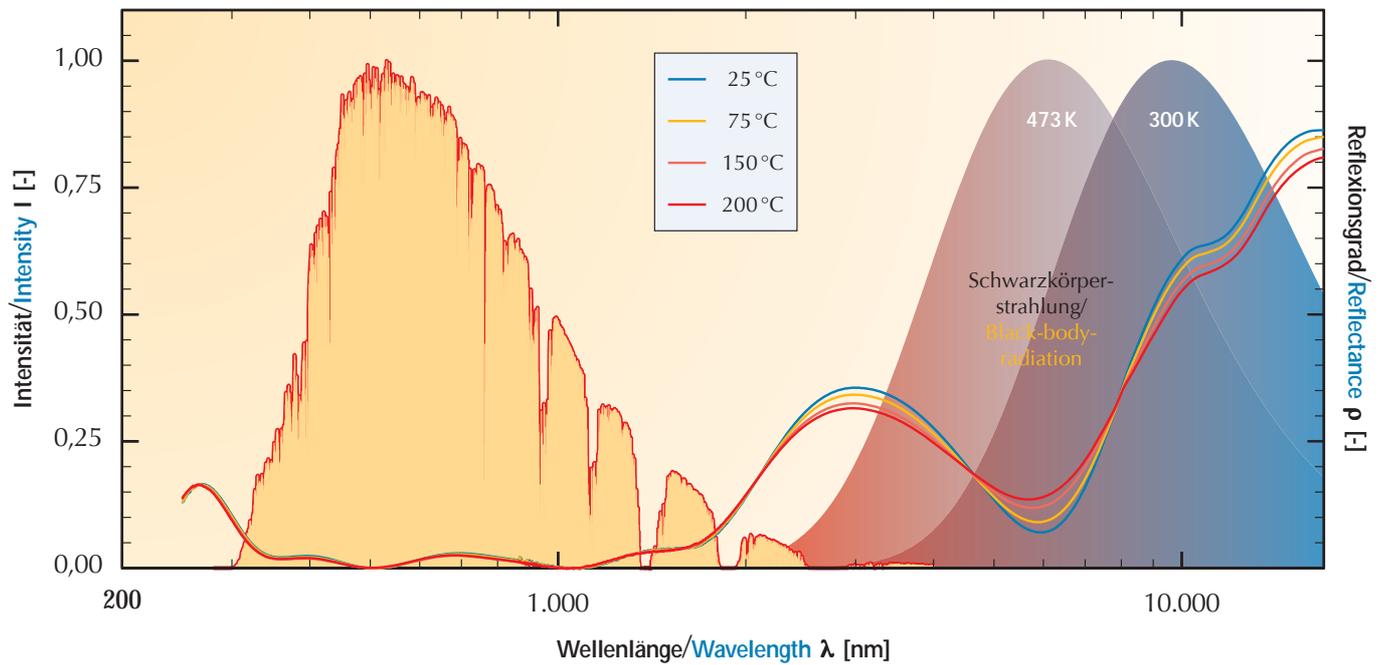
Zusätzlich sorgt ein Minimum in der Reflektivitätskurve bei etwa 6 μm bereits bei niedrigen Absorbentemperaturen (25 °C) für eine leicht erhöhte Emissivität der Wärmestrahlung. Steigt die Absorbentemperatur an, so verschiebt sich das Maximum der Schwarzkörperstrahlung zu kleineren Wellenlängen (Wien'sches

A FeS_x -based solar absorber is manufactured using a conventional industrial magnetron-sputtering process (Figure 50), in which an approximately 350 nm FeS_x layer is deposited on an aluminum substrate. Additional covering layers of silicon nitride (Si_3N_x) and magnesium fluoride (MgF_2) (Figure 51) provide an improved solar absorption of 97.7%, which becomes noticeable in the form of a low-reflectivity curve in the solar spectral range (Figure 52). In the infrared spectral range (2,500 nm to 17,000 nm) a high reflectivity curve generally ensures a low emissivity of heat radiation. Due to the thermochromic properties of the FeS_x coating, a reversible temperature-dependent reduction of infrared reflectivity is achieved.

In addition, a minimum in the reflectivity curve of about 6 μm ensures a slightly increased emissivity of the thermal radiation even at low absorber temperatures (25 °C). If the absorber temperature now rises, the maximum blackbody radiation shifts to smaller wavelengths (Wien's displacement law) in the range of the minimum of the reflectivity curve. The emissivity of the heat



Abbildung/Figure 51: Elektronenmikroskopische Aufnahme vom Schichtaufbau eines thermochromen FeS_x -Absorbers auf einem Si-Substrat. Zentraler Bestandteil ist hierbei eine FeS_x -Schicht, die sich auf einer Al-Schicht befindet. Zusätzlich ist eine Deckschicht aus zwei Si_3N_x -Schichten mit unterschiedlichen Brechungsindizes und einer MgF_2 -Schicht aufgetragen. Electron microscopy image of the layer structure of a thermochromic FeS_x absorber on a Si substrate. The central element here is a FeS_x layer, which is located on an Al film. In addition, a surface layer of two Si_3N_x layers with different refractive indices and an MgF_2 layer are applied.



Abbildung/Figure 52: Temperaturabhängige Reflexionsspektren von einem FeS_x-Solarabsorber. Im solaren Spektralbereich ist eine sehr niedrige Reflektivität zu beobachten, die zu einer hohen solaren Absorption führt. Im infraroten Spektralbereich wird die Emissivität zum einen durch die temperaturabhängige Änderung der IR-Reflektivität und zum anderen über ein Minimum in der Reflektivitätskurve bei etwa 6 μm in Kombination mit einer Überlagerung der Schwarzkörperstrahlung beeinflusst, die sich mit steigender Temperatur zu kleineren Wellenlängen verschiebt (Wien'sches Verschiebungsgesetz).

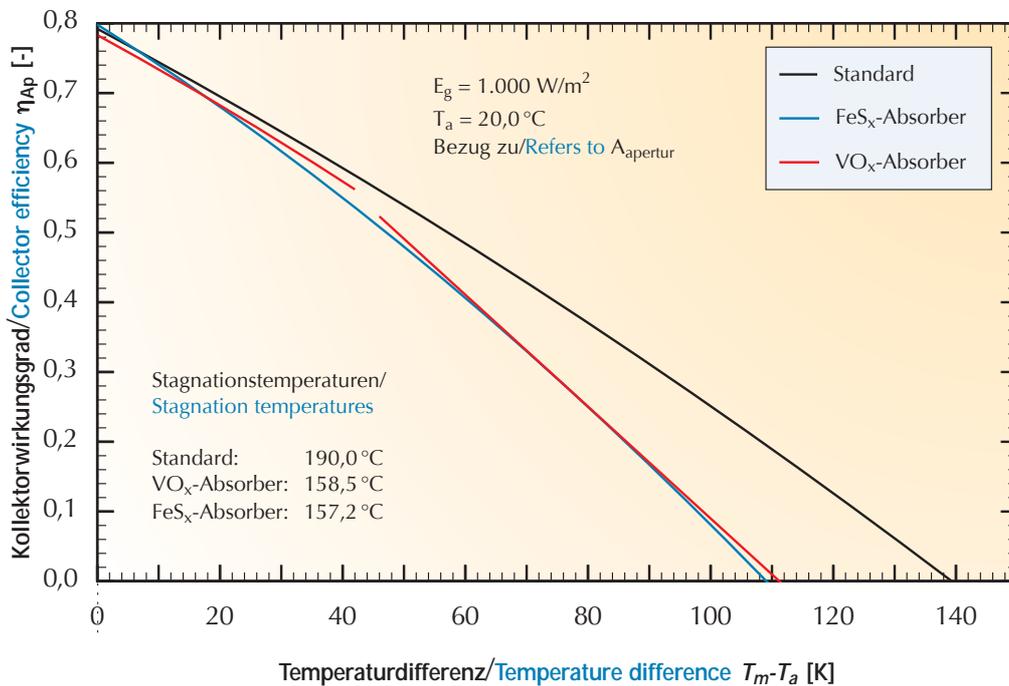
Temperature-dependent reflection spectra of a FeS_x solar absorber. In the solar spectral range a very low reflectivity can be observed, which leads to a high solar absorption. In the infrared spectral range the emissivity is influenced, on the one hand, by the temperature-dependent change in IR reflectivity and, on the other hand, by a minimum in the reflectivity curve of about 6 μm in combination with a superposition of blackbody radiation, which shifts with increasing temperature to smaller wavelengths (Wien's displacement law).

Verschiebungsgesetz) in den Bereich des Minimums der Reflektivitätskurve. Durch die zunehmende Überlagerung der Schwarzkörperstrahlung mit dem Minimum der Reflektivitätskurve lässt sich die Emissivität der Wärmestrahlung signifikant steigern.

Durch ein am ISFH entwickeltes eindimensionales Kollektormodell konnte der Kollektorwirkungsgrad von einem Solarkollektor mit FeS_x-Beschichtung modelliert werden (Abbildung 53). Hierbei zeigt der FeS_x-Kollektor einen sehr ähnlichen Verlauf der Wirkungsgradkennlinie wie der bisher eingesetzte VO_x-Kollektor. Eine gleichartige Leistungsfähigkeit im Betrieb ist daher zu erwarten.

radiation can be significantly increased by the enhanced superposition of blackbody radiation with the minimum of the reflectivity curve.

A one-dimensional collector model developed at ISFH enabled, the collector efficiency of a solar collector with a FeS_x coating to be modelled (Figure 53). The FeS_x collector thus shows a very similar efficiency curve to the vanadium oxide (VO_x) collector previously used. Therefore a similar performance is to be expected in operation.



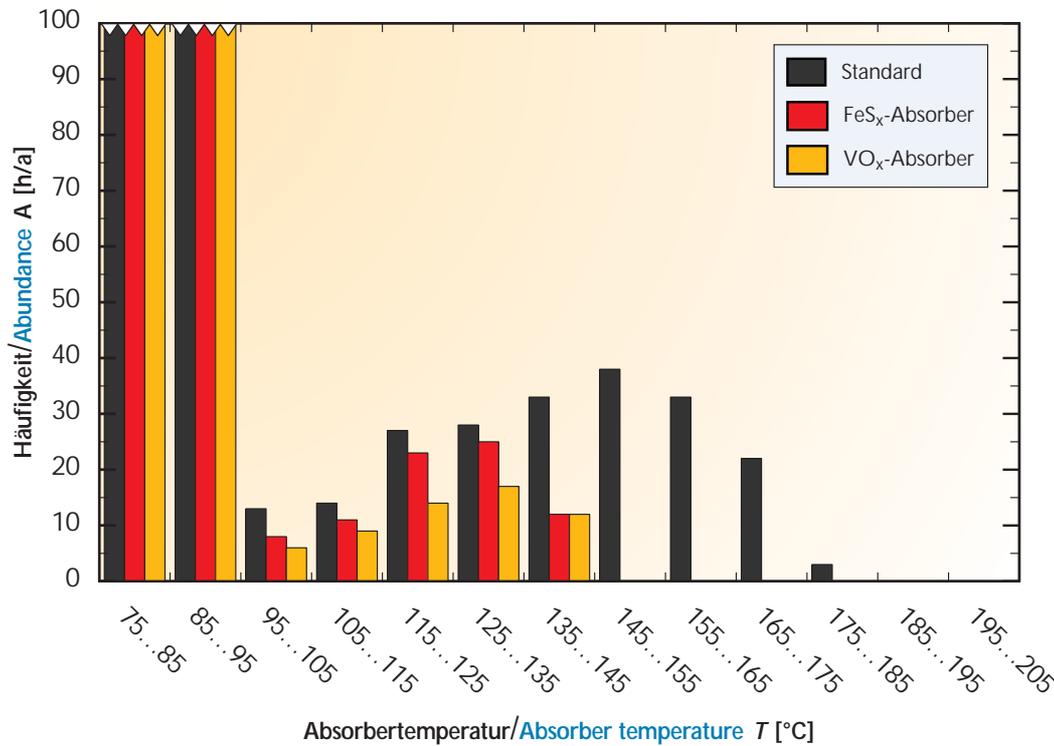
Abbildung/Figure 53: Kollektorstückwirkungsgradkennlinien von einem Standard-, einem thermochromen VO_x- und einem thermochromen FeS_x-Flachkollektor, die durch ein am ISFH entwickeltes eindimensionales Kollektormodell modelliert wurden. Zusätzlich sind die jeweilig berechneten Stagnationstemperaturen (nach DIN EN ISO 9806:2018) dargestellt.

Collector efficiency curves of a standard, a thermochromic VO_x- and a thermochromic FeS_x-flat-plate collector, modeled by a one-dimensional collector model developed at ISFH. In addition, the respective calculated stagnation temperatures (according to DIN EN ISO 9806:2018) are shown.

Darüber hinaus wurden dynamische Systemsimulationen mit Hilfe der Software TRNSYS für ein standardisiertes Einfamilienhaus mit solarer Trinkwassererwärmung und Raumheizungsunterstützung am Standort Würzburg durchgeführt. Dazu wurden die jährlichen Häufigkeiten der auftretenden Absorbertemperaturen ermittelt, um die Temperaturbelastungen des neuentwickelten thermochromen FeS_x-basierten Kollektors direkt mit dem bisher eingesetzten VO_x-basierten Kollektor und einem Standard-Kollektor vergleichen zu können (Abbildung 54). Hierbei konnte festgestellt werden, dass die Dauer der Stagnation, definiert durch eine Kollektortemperatur von über 120 °C, für einen FeS_x-basierten Kollektor um 68% und für einen bisher eingesetzten VO_x-basierten Kollektor um 76% gegenüber einem Standard-Kollektor reduziert wird.

Furthermore, dynamic system simulations were carried out with the help of the TRNSYS software for a standardized detached house with solar-assisted domestic hot water and space heating at the Würzburg site. For this purpose, the annual frequency distribution of the absorber temperatures occurring were determined in order to be able to compare the temperature loads of the newly-developed thermochromic FeS_x-based collector directly with the VO_x-based collector previously used and a standard collector (Figure 54). It was found that the duration of stagnation, as defined by a collector temperature of over 120 °C, is reduced by 68% with a FeS_x-based collector and 76% with a VO_x-based collector previously used compared to a standard collector.

Wissenschaftliche Ergebnisse



Abbildung/Figure 54: Häufigkeitsverteilung der Absorbtemperatur eines solaren Kombisystems am mitteleuropäischen Standort Würzburg für einen Standard-, einen thermochromen FeS_x- und einen thermochromen VO_x-Flachkollektor. Die Häufigkeit der Absorbtemperaturen zwischen 75 °C und 95 °C liegt mit 200 bis 300 h/a weit über den Häufigkeiten der anderen Temperaturbereiche.

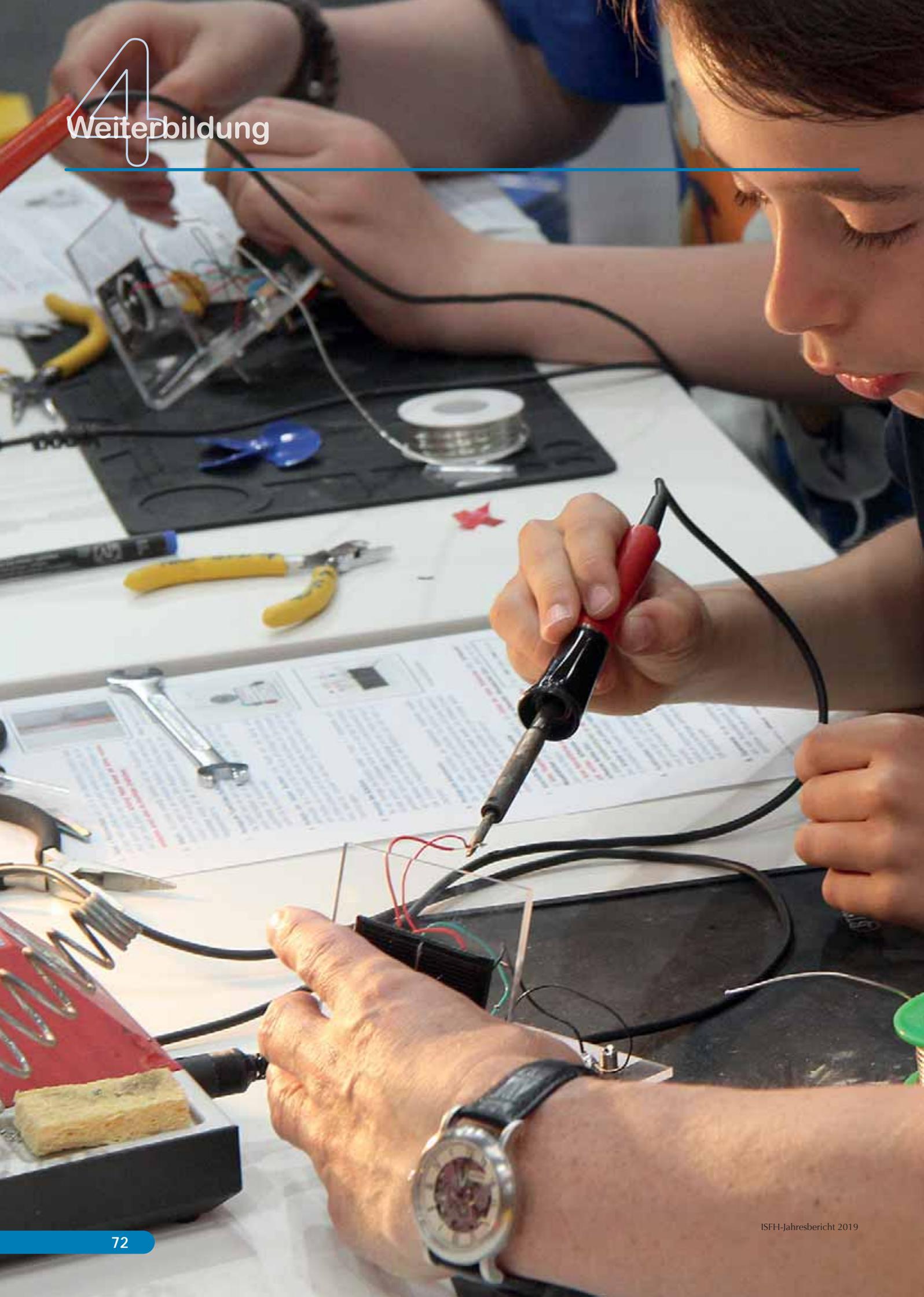
Frequency distribution of the absorber temperature for a solar combined system at the Central European site in Würzburg, for a standard, a thermochromic FeS_x and a thermochromic VO_x-flat-plate collector. The frequency of absorber temperatures between 75 °C and 95 °C is with 200 to 300 h/a far above the frequencies of the other temperature ranges.

Gleichzeitig liegt die prozentuale Erhöhung des konventionellen Nachheiz-Energiebedarfes im Vergleich zu einem Standard-Kollektor bei nur sehr geringen 2,9% (FeS_x) bzw. 1,2% (VO_x). Insgesamt konnte eine vergleichbare Leistungsfähigkeit der neu-entwickelten thermochromen FeS_x-Absorber realisiert werden, das zu einem ähnlichen Stagnationsverhalten führen würde. Jedoch sticht dieser vor allem durch einen vereinfachten Produktionsprozess hervor.

At the same time, the percentage increase in the conventional reheating energy demand is only a very small 2.9% (FeS_x) or 1.2% (VO_x) compared to a standard collector. Overall, a comparable performance of the newly developed thermochromic FeS_x absorbers could be achieved, which would lead to similar stagnation behavior. However, it stands out primarily due to a simplified production process.

Wir danken dem BMWi für die Förderung des Verbundprojekts ProTASK (FZ 0325858) und unserem Projektpartner Viessmann Werke GmbH für die gute Zusammenarbeit.

We thank the BMWi for supporting of the ProTASK joint project (FZ 0325858) and our project partner Viessmann GmbH for their good collaboration.





Akademische Ausbildung

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

Im Jahr 2019 wurden vom ISFH eine Reihe von Lehrveranstaltungen an der Leibniz Universität Hannover und niedersächsischen Fachhochschulen durchgeführt:

→ Vorlesung und Übungen „Physik der Solarzelle“

*Dozent: Prof. Dr.-Ing. Rolf Brendel,
Dr. Carsten Schinke, 4 SWS^[20]
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 „Defekte in Halbleitern“

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

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

→ ISFH-Kolloquium „Solarenergieforschung“

*Verschiedene externe Dozenten, 2 SWS.
Organisation: Dr. Rolf Reineke-Koch*

Institut für Solarenergieforschung Hameln. Externe Referenten berichten über aktuelle Forschungsergebnisse aus den Bereichen Photovoltaik, Solarthermie und Energiesysteme. Die behandelten Themen und die Termine werden jeweils in der Rubrik „Infothek/Termine“ auf den Internetseiten des ISFH (www.isfh.de) veröffentlicht.

Academic education

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

In 2019 a number of teaching events were held at the Leibniz Universität Hannover and Lower Saxon' technical colleges by ISFH:

→ Course and exercises “Physics of solar cells”

*Lecturer: Prof. Dr.-Ing. Rolf Brendel,
Dr. Carsten Schinke, 4 SCH^[20].
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 “Defects in semiconductors”

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

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

→ ISFH colloquium “Solar energy research”

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

External speakers report on the latest research results from the areas of photovoltaics, solar heating and energy systems. The subjects covered as well as the terms can be found in the category “Media/Events” on the ISFH web-site (www.isfh.de).

[20] SWS – Semesterwochenstunden

[20] SCH – Semester credit hours

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

*Dozent: 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 „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.

→ **Blockveranstaltung: „Labor- und Simulationspraxis Solarenergie“**

*Dozent: Dr. Carsten Schinke, 4 SWS.
Fakultät für Mathematik und Physik,
Leibniz Universität Hannover.*

Die Lehrveranstaltung in Form einer einwöchigen Blockveranstaltung in den Semesterferien führt in die Grundlagen der Photovoltaik ein. Anhand von Experimenten im Labor lernen die Studierenden moderne Messtechnik kennen, die in der Photovoltaikforschung zum Einsatz kommt. Auf Basis der gewonnenen Messdaten werden im zweiten Teil der Veranstaltung im Rahmen einer Computerübung Solarzellen simuliert. Die Laborversuche finden am Institut für Solarenergieforschung Hameln (ISFH) statt, die Computerübung im PC-Pool der Abteilung Solarenergie am Institut für Festkörperphysik. Die Lehrveranstaltung richtet sich sowohl an Bachelor- als auch Masterstudierende.

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

*Lecturer: 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 “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.

→ **Block event: “Laboratory and simulation practice solar energy”**

*Lecturer: Dr. Carsten Schinke, 4 SCH.
Faculty of Mathematics and Physics,
Leibniz Universität Hannover.*

The course in the form of a one-week block course during the semester break introduces the basics of photovoltaics. By means of experiments in the laboratory, students learn about modern measurement technology used in photovoltaic research. Based on the measurement data obtained, solar cells are simulated in the second part of the course as part of a computer exercise. The laboratory experiments take place at the Institute for Solar Energy Research Hameln (ISFH), the computer exercise in the PC pool of the Solar Energy Department at the Institute for Solid State Physics. The course is aimed at both bachelor and master students.

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

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

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

→ **Vorlesung und Übung „Solarenergie II: Komponenten und Systeme“**

*Dozent: Prof. Dr.-Ing. Oliver Kastner,
Dipl.-Ing. Ruben Steinhoff, 3 SWS.
Fakultät für Maschinenbau,
Leibniz Universität Hannover.*

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

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

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

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

In dieser Lehrveranstaltung erlernen und vertiefen die Studierenden anhand des Themas der Energiekonversion aus erneuerbaren und konventionellen Quellen Präsentationstechniken 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

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

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

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

→ **Course and Exercise “Solar energy II: Components and Systems”**

*Lecturer: Prof. Dr.-Ing. Oliver Kastner,
Dipl.-Ing. Ruben Steinhoff, 3 SCH.
Faculty of Mechanical Engineering,
Leibniz Universität Hannover.*

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

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

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

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

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

Weiterbildung

Energie werden behandelt, wie beispielsweise Verbrennung fossiler Rohstoffe und erneuerbare Wärmequellen.

→ Vorlesung und Übung „MOS-Transistoren und Speicher“

*Dozent: 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 „Bipolarbauelemente“

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

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

→ 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 St. Petersburg.*

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

→ Course and exercise “MOS transistors and memory devices”

*Lecturer: 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 “Bipolar devices”

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

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

→ Course “Physics of Integrated Circuit Technology”

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

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.

NILS – Eine Lernwerkstatt für Schüler und Lehrer

Die Niedersächsische Lernwerkstatt für solare Energiesysteme (NILS) besteht seit 2001 und ist ein Kooperationsprojekt des Niedersächsischen Kultusministeriums und dem ISFH. Sie dient der im Klimaschutzaktionsplan Niedersachsen formulierten Aufgabenstellung der Förderung des Austausches zwischen Wissenschaft und Schulen. Sie ist dem Aufgabenbereich der Bildung für Nachhaltige Entwicklung (BNE) des Kultusministeriums zugeordnet.

Die NILS ist ein anerkannter außerschulischer Lernort und fördert als Lernlabor des ISFH, welches An-Institut der Universität Hannover ist, die Bildung im mathematisch-naturwissenschaftlich-technischen Bereich (MINT). Durch die Vernetzung mit den Schulen im BNE-Verbund erfolgt auf regelmäßig stattfindenden Treffen ein weitreichender Austausch von Erfahrungen auf Bezirks- und Landesebene.

Das Angebot der Lernwerkstatt wird von einem Team aus fünf Personen realisiert, die sich an je einem Tag in der Woche der Lernwerkstatt widmen. Das Team besteht dabei aus zwei Mitarbeitern des ISFH und drei abgeordneten Lehrkräften. Die Lernwerkstatt bietet Programme für die Grundschule, Sekundarstufe I und II und auch für die berufliche Bildung an. Auch für die Weiterbildung von Lehrkräften gibt es erprobte und bewährte Veranstaltungskonzepte.



Abbildung/Figure 56: Ladestation für ein solar betriebenes Elektroauto. Diese Station wurde im Rahmen des Zukunftstages am ISFH von den Teilnehmern aufgebaut.

Charging station for a solar-powered electric car. This station was erected by participants as part of the Future Day at ISFH.

NILS – A learning workshop for school students and teachers

The Lower Saxon Learning Workshop for Solar Energy Systems (NILS) has existed since 2001 and is 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 an exchange between science and schools. It is attributed to the area of responsibility of the Education for Sustainable Development (BNE) department of the Ministry of Education.

NILS is a recognized extracurricular place of learning and promotes education in the science, technology, engineering and mathematics (STEM) field as a learning laboratory of ISFH, which is an attached institute of the University of Hanover. Through networking with schools in the BNE association, an extensive exchange of experiences takes place at regular meetings at a regional and provincial level.

The work of the Learning Workshop is carried out by a team of five people who each devote one day a week to the Learning Workshop. The team comprises two ISFH employees and three seconded teachers. The Learning Workshop offers programs for primary schools and lower and upper secondary school classes as well as vocational training. There are also tried and tested event concepts for further training for teachers.



Abbildung/Figure 57: Der neue kleine Solarflitzer, der in der Lernwerkstatt montiert wird.

The new small solar speedster which is assembled in the Learning Workshop.



Abbildung/Figure 58: Tag der Talente: Eine NILS-Lehrerin erklärt das „Aufweichen“ von Plexiglas mit einem Glühdraht, um einen Halter für eine Solarzelle zu biegen.

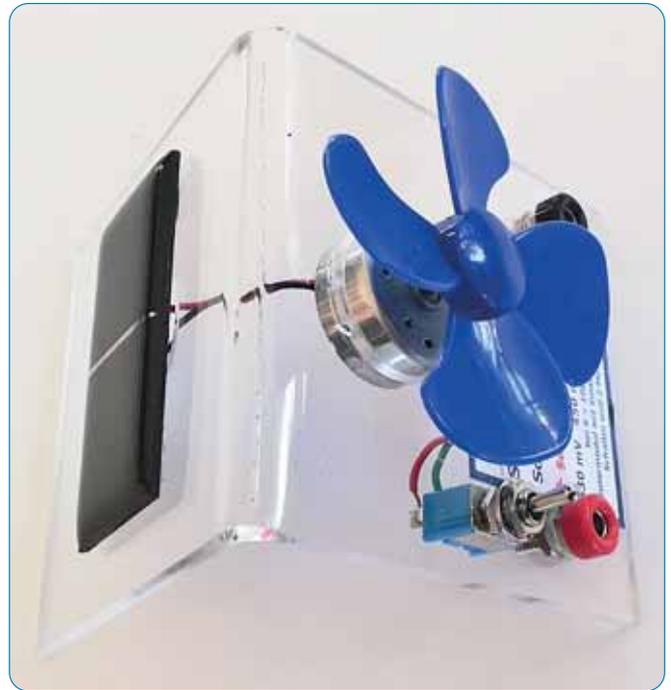
Day of Talents: A NILS teacher explains the “softening” of perspex with a filament to bend a holder for a solar cell.

Zukunftstag

Wie schon in den vergangenen Jahren waren die Plätze am Zukunftstag (28.3.2019) sehr begehrt. Dies mag auch daran liegen, dass sich mittlerweile herumgesprochen hat, dass es am ISFH in Zusammenarbeit mit der hauseigenen Werkstatt für den Zukunftstag ganz besonders pfiffige Projekte gibt. In diesem Jahr bauten die Teilnehmer ein Auto zusammen, das als Energiespeicher einen Gold-Cap-Kondensator enthält. Zusätzlich haben die Teilnehmer in der Werkstatt ein Carport mit Solardach für das Auto hergestellt. So konnten die Teilnehmer mit den Früchten ihrer Laborarbeit auch zu Hause eigene Experimente zum Thema Elektromobilität durchführen.

Tag der Talente

Premiere hatte in diesem Jahr eine Teilnahme am Tag der Talente in Wunstorf. Dort gibt es einen sehr aktiven Kooperationsverbund, dessen Ziel es ist, den Teilnehmern ein zusätzliches fächer-, jahrgangs-, klassen- und schulübergreifendes Angebot bereitzustellen, das Schüler*innen die Möglichkeit gibt, ihren über den Schulunterricht hinausgehenden Interessen und Begabungen nachzugehen. Die Lernwerkstatt des ISFH kann aufgrund ihres Angebotes einen wesentlichen Beitrag zur Förderung begabter Schüler*innen liefern. Der angebotene Workshop ist auf reges Interesse gestoßen und lässt eine verstärkte Kooperation der Lernwerkstatt mit Begabungsverbänden sehr sinnvoll erscheinen.



Abbildung/Figure 59: Im Rahmen von NILS-Workshops werden solche Selbstbau-Module angefertigt.

Do-it-yourself modules like this are constructed as part of NILS workshops.

Future Day

As in previous years, places at Future Day (28.3.2019) were much in demand. This may well be because it has now got about that particularly ingenious projects are devised for Future Day at ISFH in cooperation with the in-house workshop. This year the participants assembled a car which included a Gold Cap condenser for energy storage. In addition, the participants constructed a carport with a solar roof for the car at the workshop. Thus the participants were also able to use the fruits of their laboratory work to carry out their own experiments at home on the subject of electromobility.

Day of Talents

This year was the premiere for our participation in the Day of Talents in Wunstorf. There there is a very active cooperation network, the aim of which is to provide the participants with an additional offer overarching subjects, school years and schools, which gives school students the possibility to pursue their own interests and talents beyond the scope of school lessons. The Learning Workshop of ISFH can, through its work, make a substantial contribution towards encouraging gifted school students. The workshop provided met with keen interest and justifies greater cooperation between the Learning Workshop and associations for the gifted.

Peer-Projekt

2019 konnten die ersten Ansätze für ein Peer-Projekt ausgebaut werden. Dabei nehmen die Grundschüler von verschiedenen Grundschulen an Projekttagen zur Solarenergie teil, wobei die Projekttag im Wesentlichen von Schüler*innen der Sekundarstufe I von weiterführenden Schulen betreut, organisiert und durchgeführt werden. Das Material stellt dabei die Lernwerkstatt zur Verfügung (Sonnenfängerbox) und die Schulung der Schüler*innen findet ebenfalls durch die Lernwerkstatt statt. Auch hier erscheint die Kooperation mit Begabungsverbänden sehr sinnvoll.

IdeenExpo

Nach den positiven Erfahrungen 2017 auf der IdeenExpo war die Lernwerkstatt auch 2019 wieder mit einem Stand auf Deutschlands größtem Jugendevent vertreten. Auch 2019 haben wir auf der IdeenExpo Workshops angeboten, in denen die jugendlichen Besucher Solarmodule bauen konnten. Betreut wurden die Workshops gemäß des Peer-Teaching-Ansatzes von älteren Schüler*innen, die vom Goethe-Gymnasium aus Hildesheim und vom Hölty-Gymnasium aus Wunstorf stammten. Wie schon 2017 waren die Workshops immer komplett belegt. Die 300 vorbereiteten Bausätze wurden restlos verbaut.

Neben den Workshops sind auf der *IdeenExpo 2019* erstmalig von uns „Exponate zum Anfassen“ präsentiert worden. Aufgrund der Erfahrungen bei den zurückliegenden IdeenExpos sind komplett neue Exponate konzipiert worden, die den Kindern und Jugendlichen die rasche Erfassung der Kernbotschaften besonders einfach machen.

So gab es den „Schwebenden Ball“, der mit Hilfe photovoltaisch erzeugten Stroms in der Schwebelage gehalten wird, eine Solartankstelle, einen „Sonnenscheinsimulator“, der die Kraft des Lichtes

Peer Project

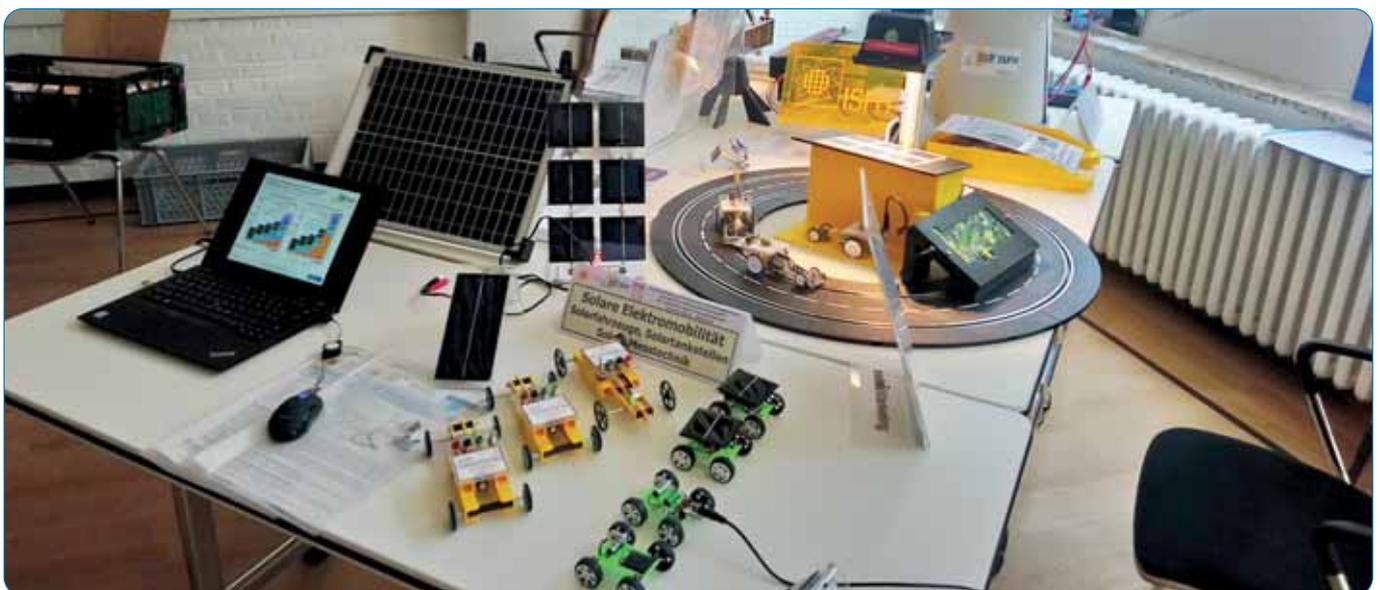
In 2019 the first steps were taken towards a peer project. In this primary school students from various primary schools participate in project days on solar energy, during which the project days are largely supervised, organized and carried out by school students from the lower classes of secondary schools. The materials (sun-catcher boxes) are made available by the Learning Workshop and the teaching of the school students is also carried out by the Learning Workshop. Here again, cooperation with associations for the gifted seems very sensible.

Ideas Expo

After the positive experiences at the Ideas Expo in 2017 the Learning Workshop was also represented again in 2019 with a stand at Germany's largest youth event. In 2019 we also ran workshops at the Ideas Expo, in which the young visitors were able to build solar modules. In accordance with the peer-teaching approach, the workshops were supervised by older school students from the Goethe-Gymnasium in Hildesheim and the Hölty-Gymnasium in Wunstorf. As in 2017 the workshops were always filled to capacity. The 300 prepared construction kits were all deployed.

Apart from the workshops we presented "hands-on exhibits" at the 2019 Ideas Expo for the first time. On the basis of experiences at previous Ideas Expos, completely new exhibits were devised which make it particularly easy for children and young people to obtain a rapid appreciation of the core messages.

There was, for example, the "Suspended Ball", which is kept in suspense with the assistance of photovoltaically-produced electricity, a "Sunshine Simulator", which demonstrates the power of light by means of small moving wind turbines and a station for



Abbildung/Figure 60: Der Info-Stand der Lernwerkstatt NILS auf der Landestagung „Bildung für nachhaltige Entwicklung (BNE)“. The information stand of the NILS Learning Workshop at the provincial conference "Education for Sustainable Development (BNE)".



Abbildung/Figure 61: Der Niedersächsische Umweltminister am „schwebenden Ball“: Olaf Lies beim Versuch, einen kleinen Styropor-Ball mit einem „Solarbläse“ in der Schwebe zu halten. Der Versuch war erfolgreich!

The Lower Saxon Environment Minister on the “Suspended Ball”: Olaf Lies attempting to keep a small polystyrene ball in suspence with a “solar blower”. The attempt was successful!

anhand von bewegten kleinen Windrädern zeigt, eine Station zur Bestimmung des Wirkungsgrades und eine Solarrennbahn zu sehen und im wahrsten Sinne des Wortes zu erfahren.

Sommerfest der Universität Hannover

Gern werden seitens der Leibniz Universität in Hannover bei der Lernwerkstatt Exponate zur Ausstellung für verschiedene Veranstaltungen nachgefragt. So auch im Jahr 2019, wo wir gleich mit zwei Exponaten vertreten waren. Einmal mit der „Solarrennbahn“ und zum anderen mit der „Kraft der Sonne“.

10 Jahre Schülerinnenseminar

Einmal im Jahr bietet die Lernwerkstatt in Kooperation mit der Agentur für Arbeit und der Weserbergland AG ein Schülerinnenseminar an und das schon seit 2009, ein Grund zum Feiern! Dieses Schülerinnenseminar ist ein Berufsorientierungsangebot speziell für Mädchen ab der 9. Klasse. Es dient dazu, Mädchen für Ausbildungsberufe und Studiengänge im technischen und naturwissenschaftlichen Bereich zu motivieren. Neben der Durchführung eines technischen Projektes in der Lernwerkstatt lernen die Mädchen das Institut kennen und erhalten die Möglichkeit mit Wissenschaftlerinnen zu sprechen und somit persönliche Kontakte zu knüpfen. Das NILS-Team freut sich sehr über das Jubiläum.

determining the efficiency of PV systems and a solar race track, which could be seen and experienced in the truest sense.

Hanover University Summer Festival

The Leibniz University in Hanover likes asking the Learning Workshop for exhibits for presentation at various events. This occurred again in the year 2019 when we were represented with two exhibits at the same time. There was first of all the “Solar Race Track” and then the “Power of the Sun”.

10 Years of Seminars for Female School Students

Once a year the Learning Workshop runs a seminar for female school students in cooperation with the Employment Office and the Weserbergland AG and this has been happening since 2009, a reason for celebration! This Seminar for Female School Students is a career orientation event specially for girls from Class 9 upwards. It serves to motivate girls for job qualification and university courses in the technical and scientific field. Apart from carrying out a technical project in the Learning Workshop, the girls become acquainted with the Institute and receive the opportunity to talk to female scientists and thus to make personal contacts. The NILS team is very happy about this anniversary.

Lehrerfortbildungen

2019 gab es zahlreiche Lehrerfortbildungen:

- Zweitägige Fortbildung für Lehrkräfte beim Landkreis Marburg, Schwerpunkt Solare Elektromobilität und den Solarcup Hessen (Mai 2019)
- Fortbildung am Robert-Havemann-Gymnasium Berlin, Schwerpunkt Quantenphysik und h -Bestimmung mit SUSE- Geräten (Mai 2019)
- Fortbildung einer Gruppe chinesischer Berufsschullehrkräfte im ISFH gemeinsam mit Dr. Bianca Lim im (August 2019)
- Informationsstand auf der Landestagung *Bildung für nachhaltige Entwicklung* (BNE). Hier informierten sich die Kolleg*innen an einem Informationsstand über das Angebot der Lernwerkstatt (August 2019).
- Fortbildung auf dem MNU-Tag (*Verband zur Förderung des MINT-Unterrichts*) in Hannover mit einem Workshop, in dem ein kleines Solarmodul gebaut und erprobt wurde (September 2019)
- Fortbildung an der Grundschule *An der alten Feuerwache* Berlin, Schwerpunkt Ausbildung der Kolleg*innen an der Sonnenfängerbox GS (November 2019)

Teacher Training Courses

In 2019 there were numerous teacher training courses:

- Two-day teacher training course in Landkreis Marburg with a focus on Solar Electro-Mobility and the Hessen Solar Cup (May 2019)
- Training course at the Robert-Havemann-Gymnasium, Berlin with a focus on Quantum Physics and calculation of h with SUSE equipment (May 2019)
- Training course for a group of Chinese vocational college teachers at ISFH together with Dr. Bianca Lim (August 2019)
- Information stand at the *Education for Sustainable Development* (BNE) provincial conference. Here the colleagues informed themselves at an information stand about the work of the Learning Workshop (August 2019)
- Training course at the MNU-Conference (*Association for the Promotion of STEM teaching*) in Hanover with a workshop at which a small solar module was built and tested (September 2019)
- Training course at the *Old Fire Station* primary school, Berlin, with a focus on training colleagues with the GS sun-catcher box (November 2019)



Abbildung/Figure 62: Bunte Solarlampen mit Energiespeicherung. Die Lampen werden von den Schüler*innen aus Obst- bzw. Gemüsegläsern angefertigt. Die Elektronik mit Speicher und Leuchtdiode ist jeweils im Deckel der Gläser untergebracht.

Colored solar lamps with energy storage. The lamps are produced by school students from fruit or vegetable jars. The electronics with storage and a light-emitting diode are each accommodated in the lids of the jars.



Abbildung/Figure 63: Schülerinnenseminar am ISFH. Einer der NILS-Lehrer beim Rundgang durch Labore des ISFH mit Schülerinnen.
Seminar for female school students at ISFH. One of the NILS teachers on a tour of ISFH laboratories with school students.



Abbildung/Figure 64: Zusammenbau eines Solarmobils mit einem GoldCap-Kondensator als „Tank“.
Assembly of a solar car with a GoldCap capacitor as a “tank”.

Arbeit im NILS-Labor

Neben den Highlights des Jahres wurden wieder viele Gruppen an Grundschulen betreut und zahlreiche Klassen der Sekundarstufe I in den Räumen des ISFH empfangen. Für alle Besuchsgruppen erstellt die Lernwerkstatt ein ganz individuelles Programm. So nehmen die Besuchsgruppen in der Regel an einer Führung durch das Institut teil und hören im Vortragsraum des Institutes einen Vortrag, der speziell auf die Wünsche der Besuchsgruppe abgestimmt wird.

Besonders interessant für die Schüler*innen ist jedoch immer die praktische Arbeit im Labor. Hier wird von den Schüler*innen häufig ein spezielles Lehr-Modul gebaut, da dieses durch die vorhandenen Messbuchsen weitere Messungen ermöglicht. Neben diesem Modul bauen die Schüler*innen neuerdings auch ein kleines Solarmobil, bei dem sie Erfahrungen mit dem Speichern von Solarenergie sammeln.

Ganz besonders freuen wir uns darüber, dass die Bingo-Umweltstiftung die Kosten für die Bausätze von insgesamt sieben Klassen des Hölty-Gymnasiums Wunstorf übernommen hat.



Work in the NILS Laboratory

Apart from the year's highlights many groups were once again mentored at primary schools and numerous lower secondary school classes were hosted at ISFH premises. For all visiting groups the Learning Workshop prepares a completely individual program. Visiting groups usually take part in a guided tour of the Institute and listen to a talk in the Institute's lecture hall which is specially tailored to the wishes of the visiting group.

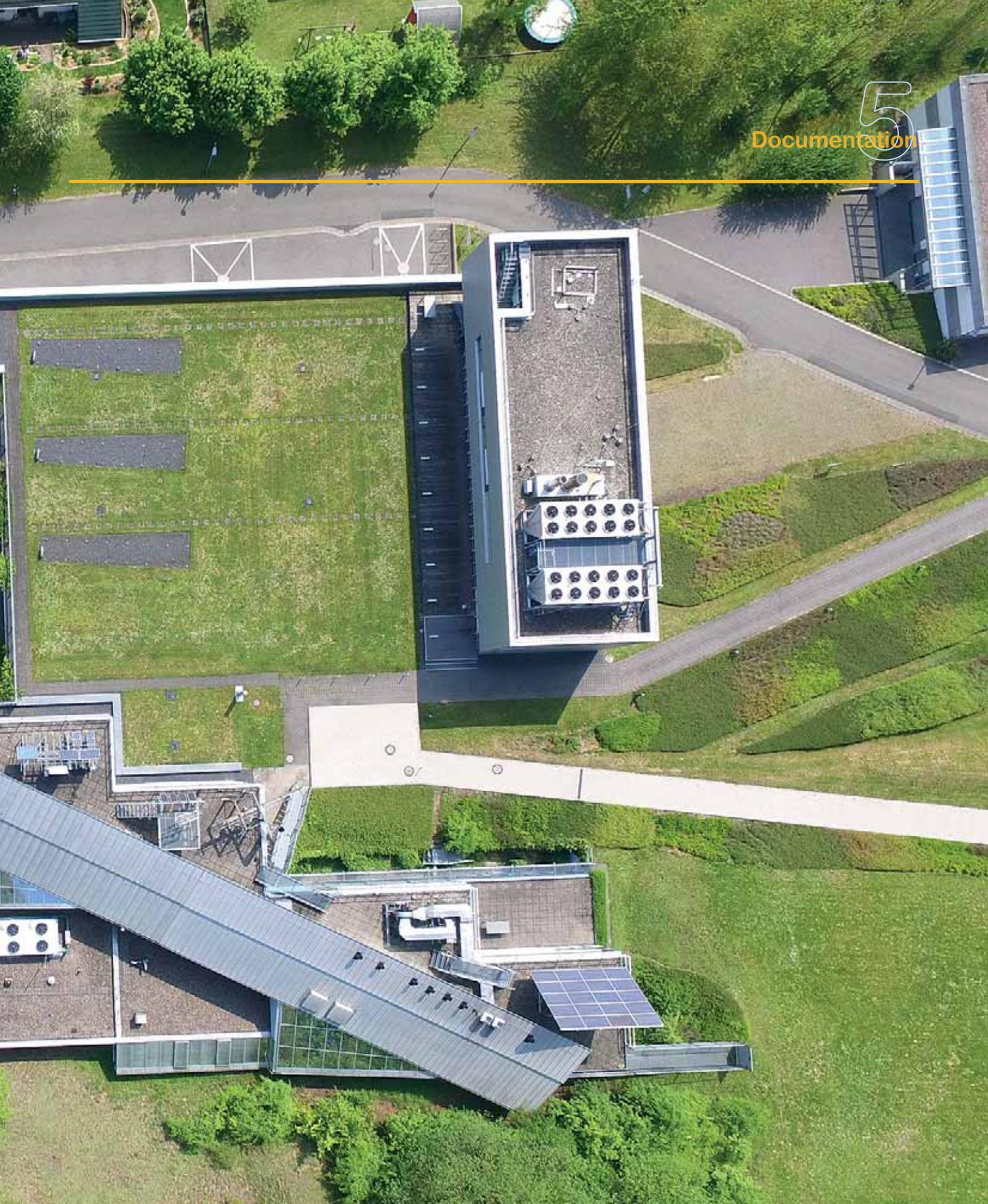
For the school students what is particularly interesting, however, is always the practical work in the laboratory. In this a special teaching-module is often built as this enables further measurements to be taken through the available measuring sockets. In addition to this module, the students are now also building a small solar mobile, where they are gaining experience with the storage of solar energy.

We are particularly pleased that the Bingo Environmental Foundation has taken on the costs for the construction kits for a total of seven classes of the Hölty-Gymnasium Wunstorf.

Frank Tittel, Rüdiger Schanz, Volker Napp, Roland Goslich

5 Dokumentation





Ansicht des Hauptgebäudes und des *SolarTeC* aus der Vogelperspektive.
Bird's eye view of the main building and the *SolarTeC*.

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

Inland/National

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg (INATECH); Freiburg

Deutsches Biomasseforschungszentrum gGmbH (DBFZ); Leipzig

Fachhochschule Dortmund, Fachbereich Architektur; Dortmund

Fachhochschule Nordhausen; Nordhausen

Forschungszentrum Jülich GmbH, Projektträger Jülich (PTJ); Jülich

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

Fraunhofer-Institut für Bauphysik (IBP); Stuttgart

Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme (ISE); Freiburg

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

Helmholtz-Zentrum Berlin für Materialien und Energie GmbH; Berlin

Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg (HAW); Hamburg

Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin (HTW); Berlin

Hochschule Weserbergland (HSW); Hameln

Industrie- und Handelskammer Hannover (IHK); Hannover

Institut für Gebäudeenergetik, Thermotechnik und Energiespeicherung (IGTE); Stuttgart

International Solar Energy Research Center Konstanz (ISC); Konstanz

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

Leibniz Universität Hannover, Institut für Antriebssysteme und Leistungselektronik (IAL); Hannover

Leibniz Universität Hannover, Institut für Hochfrequenztechnik und Funksysteme (HFT); Hannover

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

Leibniz Universität Hannover, Institut für Mikroelektronische Systeme (IMS); Hannover

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

Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB); Braunschweig

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

TU Bergakademie Freiberg (IAP); Freiberg

TU Bergakademie Freiberg, Institut für Wärmetechnik und Thermodynamik; Freiberg

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

Universität Konstanz, Fachbereich Physik; Konstanz

Universität Potsdam; Potsdam-Golm

Universität Stuttgart, Institut für Maschinenelemente (IMA); Stuttgart

Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie gGmbH; Wuppertal

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

Berner Fachhochschule (BHF); Burgdorf, Schweiz

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

Case Western Reserve University; Cleveland, USA

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

Centre Suisse d'Electronique et de Microtechnique Sa – Recherche et Developpement (csem); Neuchatel, Schweiz

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

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

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

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 Centre (CENER); Sarriguren, Spanien

National Renewable Energy Laboratory (NREL); Golden, USA

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

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

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

RISE Research Institutes of Sweden; Borås, Schweden

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 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

3M Deutschland GmbH; Neuss	DIN CERTCO Gesellschaft für Konformitätsbewertung mbH; Berlin
a2 – solar Advanced and Automotive Solar Systems GmbH; Erfurt	Eilenburger Fenstertechnik GmbH & Co. KG; Eilenburg
Aerial PV Inspection GmbH; Aachen	EMPUR Produktions GmbH; Buchholz-Mendt
AkoTec Produktionsgesellschaft mbH; Angermünde	Energieservice Westfalen-Weser GmbH; Kirchlengern
aleo solar GmbH; Prenzlau	Energy Glas Glasbeschichtungsgesellschaft mbH & Co. KG; Wolfhagen
ANTEC Solar GmbH; Arnstadt	Entwicklung und Fertigung Eßbach GmbH & Co. KG; Freiberg
ArcelorMittal Construction Deutschland GmbH; Sanderdorf-Brehna	Flachglas Sachsen GmbH; Grimma
Architektenkammer Niedersachsen; Hannover	FOSTA-Forschungsvereinigung Stahlanwendung e.V.; Düsseldorf
Architektur- und TGA-Planungsbüro Carsten Grobe Passivhaus; Hannover	FRÄNKISCHE Rohrwerke Gebr. Kirchner GmbH & Co. KG; Königsberg/Bayern
Arcon-Sunmark GmbH; Regensburg	Franz-Kühnemann Stiftung; Hannover
ATHE-Therm Heizungstechnik GmbH; Emmerthal	Gebr. Tuxhorn GmbH & Co. KG; 33659
Atlas Material Testing Technology GmbH; Linsengericht	Gemeinnützige Wohnungsbaugenossenschaft Hannover-Ost eG; Hannover
blue energy systems GmbH; Rösrath	GeoClimaDesign AG; Fürstenwalde/Spree
Bosch Thermotechnik GmbH; Wetztingen	GeoEn Energy Technologies GmbH; Berlin
Bundesverband Flächenheizung u. -kühlung e.V.; Neuenkirchen-Vörden	GEWO – Gesellschaft für Wohnen und Bauen mbH; Nordhorn
Bundesverband Wärmepumpe; Berlin	Gigahertz-Optik GmbH; Türkenfeld
centrotherm international AG; Blaubeuren	Goldbeck GmbH; Hirschberg
Clina Heiz- und Kühlelemente GmbH; Berlin	Gundlach Bau und Immobilien GmbH & Co. KG; Hannover
Consolar Solare Energiesysteme GmbH; Lörrach	h.a.l.m. elektronik gmbh; Frankfurt am Main
Continental Automotive GmbH; Regensburg	hanova WOHNEN GmbH; Hannover
Corona Solar GmbH; Hannover	Hanwha Q Cells GmbH; Bitterfeld-Wolfen
CreaPhys/Mbraun; Dresden	Heimkehr Wohnungsgenossenschaft eG; Hannover
CS Wismar GmbH; Wismar	Heraeus Deutschland GmbH & Co. KG; Leverkusen

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

Ingenieurbüro Mencke & Tegtmeyer GmbH; Hameln	pv-tools GmbH; Hameln
InnoLas Solutions GmbH; Krailling	PVF-Vertriebs GmbH; Neufinsing
Instrument Systems Optische Messtechnik GmbH; München	Rena Technologies GmbH; Gütenbach
janßen energieplanung; Hannover	RESOL – Elektronische Regelungen GmbH; Hattingen
juwi AG; Wörrstadt	Ritter XL Solar; Dettenhausen
Kälte Klima GmbH; Hameln	Schlenk Metallfolien GmbH & Co. KG; Roth-Barnsdorf
Klimaschutz- und Energieagentur Niedersachsen GmbH (KEAN); Hannover	SCHMID Group Gebr. SCHMID GmbH; Freudenstadt
Klimaschutzagentur Weserbergland; Hameln	Schmöle GmbH; Menden
Konvortec GmbH; Schermbeck	Schüco International KG; Bielefeld
KSG Kreissiedlungs GmbH des Landkreises Hameln-Pyrmont; Hameln	Sika Deutschland GmbH; Bad Urach
Lunovon GmbH; Konstanz	Singulus Technologies AG; Kahl am Main
MBJ Services GmbH; Hamburg	SMA Solar Technology AG; Niestetal
meravis Wohnungsbau & Immobilien GmbH; Hannover	SolMetall GmbH; Spenge
Meyer Burger AG; Hohenstein-Ernstthal	Solvis GmbH; Braunschweig
Narva Lichtquellen GmbH & Co. KG; Brand-Erbisdorf	SpaceTech GmbH; Immenstaad
neonsee GmbH; Konstanz	Stiebel Eltron GmbH & Co. KG; Holzminden
NICE Solar Energy GmbH; Schwäbisch Hall	StreetScooter GmbH; Aachen
Optimel Schmelzgußtechnik GmbH; Iserlohn	Systema Pohl GmbH; Henstedt-Ulzburg
OSRAM GmbH; Augsburg	tec5 AG; Oberursel
Oventrop GmbH & Co. KG; Olsberg	TÜV Rheinland Energie und Umwelt GmbH; Köln
Oxford PV Germany GmbH; Brandenburg a.d. Havel	UNIWELL Rohrsysteme GmbH & Co. KG; Ebern
PAW GmbH & Co. KG; Hameln	Uponor GmbH; Haßfurt
PI Photovoltaik-Institut Berlin AG; Berlin	UV Messtechnik Opsytec Dr. Gröbel GmbH; Ettlingen
PLASUS GmbH; Mering	VEKA AG; Sendenhorst
pro Klima GbR bei der Stadtwerke Hannover AG; Hannover	Viega Technology GmbH & Co. KG; Attendorn
	Viessmann Werke GmbH & Co. KG; Allendorf

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

Voss electronic GmbH; Kirchheim

Wacker Chemie AG; Burghausen

Wagner Solar GmbH; Kirchhain

Wavelabs Solar Metrology Systems GmbH; Leipzig

Weiss Umwelttechnik GmbH; Reiskirchen-Lindenstruth
who Ingenieurgesellschaft mbH; Lübeck

Wohnungsgenossenschaft Hameln – WGH eG; Hameln

Ausland/International

Apollon Solar; Saint-Priest, Frankreich

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

Cencorp Oyj; Mikkeli, Finnland

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

Kiwa Cermet Italia; Cormano (MI), Italien

Meyer Burger AG; Thun, Schweiz

Pasan SA; Neuchâtel, Schweiz

Protech; Vilnius, Litauen

Savosolar Oy; Mikkeli, Finnland

Sinton Instruments; Boulder, USA

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

SoLayTec B.V.; Eindhoven, Niederlande

SoliTek Cells JSC; Vilnius, Litauen

SOLTILES SAS; Ramonville-St-Agne, Frankreich

TECNAN – NANOMAT; Los Arcos, Spanien

Ulbrich of Austria GmbH; Müllendorf, Österreich

Viessmann France SAS; Faulquemont, Frankreich

Institutsmitgliedschaften/Institute memberships

Arbeitsgemeinschaft Erneuerbare Energie (AEE); Gleisdorf, Österreich

Bundesverband Solarwirtschaft e.V. (BSW); Berlin

Deutsche Industrieforschungsgemeinschaft Konrad Zuse e.V.; Berlin

ForschungsVerbund Erneuerbare Energien (FVEE); Berlin

Informationsdienst Wissenschaft e.V. (idw); Bochum

Innovationsnetzwerk Niedersachsen; Hannover

International Solar Energy Society (ISES); Freiburg

Klimaschutzagentur Weserbergland; Hameln

Laboratorium für Nano- und Quantenengineering (LNQE); Hannover

Leibniz Forschungszentrum Energie 2050 (LiFE 2050); Hannover

Weserbergland AG; Hameln

Institutskolloquien/*Institute colloquia*

Altmann S.: *EEG and beyond: Wie kann es ohne Förderung weitergehen?* GreenVesting Solutions GmbH, Cölbe. (Instituts-Kolloquium), ISFH, Emmerthal, 16.5.2019

Ernst M.: *Cell-to-module-yield: Verfahren zur Vorhersage von jährlichen Ertragsverlusten und Gewinnen, die durch das Design von Solarmodulen und Materialien unter realistischen Umgebungsbedingungen verursacht werden.* Energy Change Institute, Australian National University (ANU), Canberra, Australien. (Instituts-Kolloquium), ISFH, Emmerthal, 17.9.2019

Gäbler A.: *Teilautarke Häuser in der Praxis (II): Ergebnisse aus den Projekten EAH-Plus Monitoring und Eversol-MFH.* TU Bergakademie Freiberg, Institut für Wärmetechnik und Thermodynamik, Freiberg. (Instituts-Kolloquium), ISFH, Emmerthal, 8.10.2019

Hofmann M.: *Modellierung der Solarstrahlung für die Simulation von PV-Systemen.* Institut für Klimatologie und Meteorologie der Leibniz Universität Hannover (LUH) sowie Valentin Software GmbH, Berlin. (Instituts-Kolloquium), ISFH, Emmerthal, 29.1.2019

John S.: *Towards 30% power conversion efficiency in thin silicon photonic crystal solar cells.* University of Toronto, Toronto, Kanada. (Instituts-Kolloquium), ISFH, Emmerthal, 25.6.2019

Knies J.: *Planungsstufe 0 – Neue Ansätze in der Wärmeplanung.* Institut für Angewandte Photogrammetrie und Geoinformatik (IAPG), Jade Hochschule, Jade. (Instituts-Kolloquium), ISFH, Emmerthal, 2.4.2019

Maass P.: *Stability of electricity grids under fluctuating power input from renewable energy sources.* Universität Osnabrück, Fachbereich Physik, Osnabrück. (Instituts-Kolloquium), ISFH, Emmerthal, 22.5.2019

Pätzold U.: *Towards high performance perovskite-based tandem PV.* Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Karlsruhe. (Instituts-Kolloquium), ISFH, Emmerthal, 5.7.2019

Pelda J.: *Vorstellung des Projekts DEKADE-F-Wärme.* Hochschule für Angewandte Wissenschaft und Kunst (HAWK), Göttingen. (Instituts-Kolloquium), ISFH, Emmerthal, 24.9.2019

Reckzügel M.: *Wärmekompass und Abwärmepotenzial – der Weg zu energetischen Nachbarschaften.* Hochschule Osnabrück, Fakultät Ingenieurwissenschaften und Informatik, Osnabrück. (Instituts-Kolloquium), ISFH, Emmerthal, 19.3.2019

Salaymeh A.: *Wärmepumpentechnologie zur Nutzung von Energie aus Abwasser in Fernwärmesystemen.* Hochschule für Angewandte Wissenschaft und Kunst (HAWK), Göttingen. (Instituts-Kolloquium), ISFH, Emmerthal, 24.9.2019

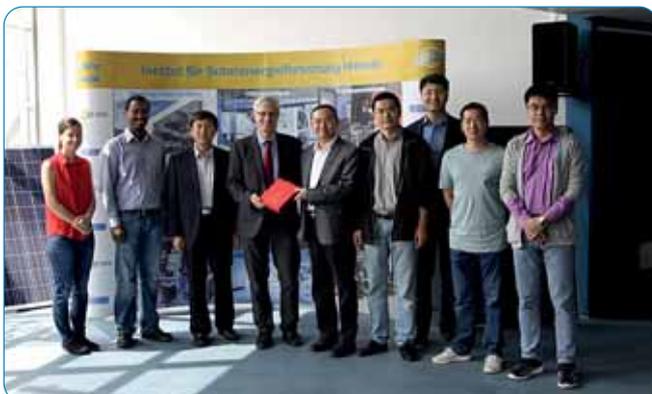
Silverman T.: *Cracked cells, strategic reflection, and brief shadows.* National Renewable Energy Laboratory (NREL), Golden, Colorado, USA. (Instituts-Kolloquium), ISFH, Emmerthal, 14.5.2019

Storch T.: *Teilautarke Häuser in der Praxis (I): Ergebnisse aus den Projekten EAH-Plus Monitoring und Eversol-MFH.* TU Bergakademie Freiberg, Institut für Wärmetechnik und Thermodynamik, Freiberg. (Instituts-Kolloquium), ISFH, Emmerthal, 8.10.2019

Stradins P.: *c-Si single junction and tandem activities at NREL.* National Renewable Energy Laboratory (NREL), Golden, Colorado, USA. (Instituts-Kolloquium), ISFH, Emmerthal, 5.6.2019

Usami N.: *Overview of photovoltaic research at Nagoya University.* Nagoya University, Nagoya, Japan. (Instituts-Kolloquium), ISFH, Emmerthal, 12.4.2019

Walla P.J.: *Ein neues Lichtsammelkonzept für hocheffiziente Solarkonzentration.* Institut für Physikalische und Theoretische Chemie, Technische Universität Braunschweig, Braunschweig. (Instituts-Kolloquium), ISFH, Emmerthal, 4.6.2019



Eine chinesische Delegation unter Leitung von Prof. Yaohua Li besucht das ISFH im Juli 2019.

[A Chinese delegation led by Prof. Yaohua Li visiting ISFH in July 2019.](#)

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

Bredemeier D.: European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition; Mitglied des Scientific Committee

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Chhugani B.: IEA TASK 60 „PVT Systems: Application of PVT Collectors and New Solutions in HVAC Systems“; Mitglied

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

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

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

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

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

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

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

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

Köntges M.: PV Module Technology & Applications Forum 2019; Mitglied des Tagungsbeirates

Mitarbeit in Fachgremien/Membership in professional bodies

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

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

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

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

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

Lampe C.: Global Solar Certification Network; Mitglied

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

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

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; Mitglied des Scientific Committee

Schmidt J.: IEEE Journal of Photovoltaics; Editor

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

Schmidt J.: npv workshop; Mitglied im Organisationskomitee

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



Der Niedersächsische Wissenschaftsminister Björn Thümler mit seiner Besuchsdelegation vor dem Hauptgebäude am Hang des Ohrberges.
Lower Saxon' Science Minister, Björn Thümler with his visiting delegation in front of the main building on the slopes of the Ohrberg.

Ausstellungen & Fachtagungen/Fairs & congresses

Hannover Industriemesse 2019, Hannover, 1.-5.4.2019; Mitaussteller

High Efficiency Approaches in Crystalline Silicon PV, Le Bourget du Lac (Frankreich), 25.9.2019; Mitorganisator

IdeenExpo 2019, Hannover, 15.-23.6.2019; Mitaussteller

International Conference on Crystalline Silicon Photovoltaics (SiliconPV) 2019, Leuven (Belgien), 8.-10.4.2019; Mitorganisator

ISH – Water. Energy. Life, Frankfurt am Main, 11.-15.3.2019; Messe Frankfurt Exhibition GmbH

PV for Transport, Workshop zum IEA Task 17 im Rahmen der Intersolar Europe 2019, München, 15.-17.5.2019; Organisator

SiliconFOREST (Fortschritte in der Entwicklung von Solarzellen-Strukturen und -Technologien), Falkau, 24.-27.2.2019; Mitorganisator

Solarpraktikum für Schülerinnen („10 Jahre MINT-Seminare“), Emmerthal, 4.9.2019; Veranstalter

Sommerfest Leibniz Universität Hannover, Hannover, 4.7.2019; Mitveranstalter

Transformation des Energiesystems, 9. Ringvorlesung, Hannover, 24.4.-19.6.2019; Mitorganisator

Umwelttage Weserbergland, Hameln, 4.-8.9.2019; Mitaussteller

Zukunftstag für Mädchen und Jungen, Emmerthal, 28.3.2019; Veranstalter

Ein Spaß für Groß und Klein: Die Solarrennbahn des ISFH bei dem Sommerfest auf dem Campus der Leibniz Universität in Hannover. Fun for young and old: ISFH solar racecourse at the summer party on the campus of the Leibniz University in Hannover.



Veröffentlichungen in referierten Zeitschriften/Peer-reviewed publications

Bliss M., Betts T., Gottschalg R., Salis E., Mülleijans H., Winter S., Kroeger I., Bothe K., Hinken D., Hohl-Ebinger J.: *Interlaboratory comparison of short-circuit current versus irradiance linearity measurements of photovoltaic devices*. Solar Energy, 182, 256-263, 10.1016/j.solener.2019.02.031, (04/2019)

Bothe K., Herlufsen S., Murphy J.D.: *Impact of iron on the room temperature luminescence efficiency of oxygen-containing precipitates in silicon*. Semiconductor Science and Technology, 34 (3), 35030, 10.1088/1361-6641/ab0518, (03/2019)

Bredemeier D., Walter D.C., Heller R., Schmidt J.: *Impact of Hydrogen-Rich Silicon Nitride Material Properties on Light-Induced Lifetime Degradation in Multicrystalline Silicon*. physica status solidi (RRL) – Rapid Research Letters, 13 (8), 1900201, 10.1002/pssr.201900201, (08/2019)

Campa A., Smole F., Folchert N., Wietler T., Min B., Brendel R., Topic M.: *Detailed Analysis and Understanding of the Transport Mechanism of Poly-Si-Based Carrier Selective Junctions*. IEEE Journal of Photovoltaics, 9 (6), 1575-1582, 10.1109/JPHOTOV.2019.2943610, (11/2019)

Gemmel C., Hensen J., Kajari-Schröder S., Brendel R.: *Detachment yield statistics for kerfless wafering using the porous silicon process*. Solar Energy Materials and Solar Cells, 202, 110061, 10.1016/j.solmat.2019.110061, (11/2019)

Halbich M.-U., Zielke D., Gogolin R., Sauer-Stieglitz R., Lövenich W., Schmidt J.: *Improved surface passivation and reduced parasitic absorption in PEDOT:PSS/c-Si heterojunction solar cells through the admixture of sorbitol*. Scientific Reports, 9 (1), 9775, 10.1038/s41598-019-46280-y, (07/2019)

Helmich L., Walter D.C., Schmidt J.: *Direct Examination of the Deactivation of the Boron-Oxygen Center in Cz-Si Solar Cells Under Regeneration Conditions via Electroluminescence*. IEEE Journal of Photovoltaics, 9 (6), 1472-1476, 10.1109/JPHOTOV.2019.2926855, (11/2019)

Hinken D., Kröger I., Winter S., Brendel R., Bothe K.: *Determining the spectral responsivity of solar cells under standard test conditions*. Measurement Science and Technology, 30 (12), 125008, 10.1088/1361-6501/ab34ef, (12/2019)

Holleman C., Haase F., Schäfer S., Krügener J., Brendel R., Peibst R.: *26.1 %-efficient POLO-IBC cells: Quantification of electrical and optical loss mechanisms*. Progress in Photovoltaics: Research and Applications, 27 (11), 950-958, 10.1002/pip.3098, (11/2019)

Louvet Y., Fischer S., Furbo S., Giovannetti F., Helbig S., Köhl M., Mugnier D., Philippen D., Veynandt F., Vajen K.: *Economic comparison of reference solar thermal systems for households in five European countries*. Solar Energy, 193, 85-94, 10.1016/j.solener.2019.09.019, (11/2019)

Müller S., Giovannetti F., Reineke-Koch R., Kastner O., Hafner B.: *Simulation study on the efficiency of thermochromic absorber coatings for solar thermal flat-plate collectors*. Solar Energy, 188, 865-874, 10.1016/j.solener.2019.06.064, (08/2019)

Peibst R., Rienäcker M., Min B., Klamt C., Niepelt R., Wietler T.F., Dullweber T., Sauter E., Hübner J., Oestreich M., Brendel R.: *From PERC to Tandem: POLO- and p+/n+ Poly-Si Tunneling Junction as Interface Between Bottom and Top Cell*. IEEE Journal of Photovoltaics, 9 (1), 49-54, 10.1109/JPHOTOV.2018.2876999, (01/2019)

Rienäcker M., Warren E.L., Schnabel M., Schulte-Huxel H., Niepelt R., Brendel R., Stradins P., Tamboli A.C., Peibst R.: *Back-contacted bottom cells with three terminals: Maximizing power extraction from current-mismatched tandem cells*. Progress in Photovoltaics: Research and Applications, 27 (5), 410-423, 10.1002/pip.3107, (05/2019)

Salis E., Pavanello D., Kröger I., Winter S., Bothe K., Hinken D., Gandy T., Hohl-Ebinger J., Friesen G., Dittmann S., Dubard J., Mülleijans H.: *Results of four European round-robins on short-circuit current temperature coefficient measurements of photovoltaic devices of different size*. Solar Energy, 179, 424-436, 10.1016/j.solener.2018.10.051, (02/2019)

Schäfer S., Haase F., Hollemann C., Hensen J., Krügener J., Brendel R., Peibst R.: *26 %-efficient and 2 cm narrow interdigitated back contact silicon solar cells with passivated slits on two edges*. Solar Energy Materials and Solar Cells, 200, 110021, 10.1016/j.solmat.2019.110021, (9/2019)

Schinke C., Franke M., Bothe K., Nevas S.: *Implementation and uncertainty evaluation of spectral stray light correction by Zong's method*. Applied Optics, 58 (36), 9998-10009, 10.1364/AO.58.009998, (12/2019)

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 Journal of Photovoltaics, 9 (6), 1497-1503, 10.1109/JPHOTOV.2019.2937223, (11/2019)

Schulte-Huxel H., Blankemeyer S., Morlier A., Brendel R., Köntges M.: *Interconnect-shingling: Maximizing the active module area with conventional module processes*. Solar Energy Materials and Solar Cells, 200, 109991, 10.1016/j.solmat.2019.109991, (09/2019)

Veröffentlichungen in referierten Zeitschriften/Peer-reviewed publications

VanSant K.T., Simon J., Geisz J.F., Warren E.L., Schulte K.L., Ptak A.J., Young M.S., Rienäcker M., Schulte-Huxel H., Peibst R., Tamboli A.C.: *Toward Low-Cost 4-Terminal GaAs//Si Tandem Solar Cells*. ACS Applied Energy Materials, 2 (4), 2375-2380, 10.1021/acsaem.9b00018, (04/2019)

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*. Solar Energy Materials and Solar Cells, 200, 109970, 10.1016/j.solmat.2019.109970, (09/2019)

Wietler T.F., Min B., Reiter S., Larionova Y., Reineke-Koch R., Heinemeyer F., Brendel R., Feldhoff A., Krügener J., Tetzlaff D., Peibst R.: *High Temperature Annealing of ZnO: Al on Passivating POLO Junctions: Impact on Transparency, Conductivity, Junction Passivation, and Interface Stability*. IEEE Journal of Photovoltaics, 9 (1), 89-96, 10.1109/JPHOTOV.2018.2878337, (01/2019)

Winter M., Walter D., Bredemeier D., Schmidt J.: *Light-induced lifetime degradation effects at elevated temperature in Czochralski-grown silicon beyond boron-oxygen-related degradation*. Solar Energy Materials and Solar Cells, 201, 110060, 10.1016/j.solmat.2019.110060, (10/2019)

Andere Veröffentlichungen/Other publications

Bartels T., Brinkmann S., Gerstenberg A., Lummitsch S., Mitzkat J., Pomowski H.: *Die Kraft der Sonne*. in „Unterwegs im Landkreis Hameln-Pyrmont“, Landkreis Hameln-Pyrmont (Hrsg.), 50-51, Holzminden, (11/2019)

Bordihn S., Min B., Peibst R., Brendel R.: *Modelling of Passivation and Resistance of n-Type poly-Si Layers by Trained Artificial Neural Networks*. Proceedings of the 36th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, 10.4229/EUPVSEC-20192019-2BO.3.1, Marseille, Frankreich, (09/2019)

Bothe K., Hinken D.: *Precise and accurate solar cell measurements at ISFH CalTeC*. Photovoltaics International, 43, (09/2019)

Bredemeier D., Walter D.C., Heller R., Schmidt J.: *Impact of Silicon Nitride Film Properties on Hydrogen In-Diffusion into Crystalline Silicon*. Proceedings of the 36th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, 10.4229/EUPVSEC20192019-2AO.4.4, Marseille, Frankreich, (09/2019)

Fischer S., Bachmann S., Schiebler B., Giovannetti F., Köhl M.: *40% Reduktion des solaren Wärmepreises durch die Kombination unterschiedlicher Optimierungsmaßnahmen*. Tagungsunterlagen Symposium Solarthermie und innovative Wärmesysteme 2019, Bad Staffelstein, (05/2019)

Francke H., Kastner O., Meixner J., Shao H.: *Effizienter Strom-einsatz zur Bereitstellung geothermischer Wärme*. Die Energie-wende – smart und digital, Beiträge zur FVEE-Jahrestagung 2018, Berlin, (03/2019)

Halbich M.-U., Sauer-Stieglitz R., Lövenich W., Schmidt J.: *Improving Organic-Silicon Heterojunction Solar Cells through the Admixture of Sorbitol to PEDOT:PSS*. Proceedings of the 36th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, 10.4229/EUPVSEC20192019-2CO.9.6, Marseille, Frankreich, (09/2019)

Jäger P., Baumann U., Dullweber T.: *Impact of the thermal budget of the emitter formation on the pFF of PERC+ solar cells*. AIP Conference Proceedings (SiliconPV 2019, The 9th International Conference On Crystalline Silicon Photovoltaics), 2147 (1), 140005, 10.1063/1.5123892, Leuven, Belgien, (04/2019)

Kajari-Schröder S.: *Contain the lead*. Nature Energy, 4 (7), 534-535, 10.1038/s41560-019-0414-2, (07/2019)

Knoop M., Littwin M., Ohrdes T., Kastner O.: *Gebäudeversorgungskonzepte mit PV, Batterie, Wärmepumpe und Blockheizkraftwerk – Energetische Kennwerte und CO₂-Wirkung*. Tagungsunterlagen 34. PV-Symposium 2019, Bad Staffelstein, (03/2019)

Lachowicz A., Christmann G., Descoedres A., Min B., Bordihn S., Peibst R., Nicolay S., Ballif C.: *Metallization Grid on Azo by Electrodeposition of Copper*. Proceedings of the 36th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, 10.4229/EUPVSEC20192019-3BV.1.28, Marseille, Frankreich, (09/2019)

Lampe C., Kirchner M., Littwin M., Giovannetti F., Asenbeck S., Fischer S.: *Experimentelle Untersuchungen an Testfeldern mit SOLINK-photovoltaisch-thermischen Kollektoren*. Tagungsunterlagen Symposium Solarthermie und innovative Wärmesysteme 2019, Bad Staffelstein, (05/2019)

Andere Veröffentlichungen/Other publications

Larionova Y., Schulte-Huxel H., Min B., Hartmann S., Turçu M., Kluge T., Mehlich H., Brendel R., Peibst R.: *Screen Printed Double-Side Contacted POLO-Cells with Ultra-Thin Poly-Si Layers and Different Transparent Conductive Oxides*. Proceedings of the 36th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, 10.4229/EUPVSEC20192019-2BO.2.6, Marseille, Frankreich, (09/2019)

Lim B., Merkle A., Peibst R., Dullweber T., Wang Y.C., Zhou R.: *Beyond boron-oxygen deactivation: Industrially feasible LID-free p-type Czochralski silicon*. Photovoltaics International, 42, (03/2019)

Mercker O., Hüsing F., Kastner O., Pärtsch P.: *Flächenreduktionspotenzial solarthermisch unterstützter Erdwärmekollektoren zur Beheizung eines repräsentativen Mehrfamilienhauses mit 8 Wohneinheiten*. Tagungsband 2. Regenerative Energietechnik-Konferenz, RET.Con 2019, Institut für Regenerative Energietechnik, Prof. Dr.-Ing. Viktor Wesselak, 978-3-940820-14-3, Nordhausen, (02/2019)

Müller S., Reineke-Koch R., Giovannetti F., Hafner B., Kastner O.: *Feldversuch mit thermochromen Flachkollektoren in heizungsunterstützten Solaranlagen*. Tagungsunterlagen Symposium Solarthermie und innovative Wärmesysteme 2019, Bad Staffelstein, (05/2019)

Müller S., Reineke-Koch R., Giovannetti F., Kastner O., Hafner B.: *Simulationsstudie zur Leistungsfähigkeit hochselektiver und thermochromer Absorberbeschichtungen für solarthermische Kollektoren*. Tagungsband 2. Regenerative Energietechnik-Konferenz, RET.Con 2019, Nordhausen, (02/2019)

Ohrdes T., Büchner D., Zobel M., von Appen J., Rehault N., Xhonneux A., Wagner A., Büttner B.: *Smarte Gebäude im Energiesystem*. Die Energiewende – smart und digital, Beiträge zur FVEE-Jahrestagung 2018, Berlin, (03/2019)

Richter S., Larionova Y., Großer S., Menzel M., Schulte-Huxel H., Peibst R., Brendel R., Hagendorf C.: *Evaluation of localized vertical current formation in carrier selective passivation layers of silicon solar cells by conductive AFM*. AIP Conference Proceedings (SiliconPV 2019, The 9th International Conference On Crystalline Silicon Photovoltaics), 2147 (1), 040017, 10.1063/1.5123844, Leuven, Belgien, (04/2019)

Rudolph M., Kruse C., Wolter H., Wolpensinger B., Baumann U., Bräunig S., Ripke M., Falcon T., Brendel R., Dullweber T.: *PERC+ solar cells with screen-printed dashed Ag front contacts*. AIP Conference Proceedings (SiliconPV 2019, The 9th International Conference On Crystalline Silicon Photovoltaics), 2147 (1), 060001, 10.1063/1.5123861, Leuven, Belgien, (04/2019)

Schneider E., Littwin M., Knoop M., Pärtsch P., Kastner O., Ohrdes T.: *Entwicklung und messwertbasierte Parametrierung eines vereinfachten Gebäudemodells für die Quartiersmodellierung*. Tagungsunterlagen Symposium Solarthermie und innovative Wärmesysteme 2019, Bad Staffelstein, (05/2019)



In diesem Jahr war das ISFH auf der Weltleitmesse für Wasser, Wärme, Klima (ISH) in Frankfurt erstmals mit einem eigenen Stand vertreten.

This year ISFH was represented for the first time with its own stand at the world's leading fair for water, heating and air conditioning (ISH) in Frankfurt.

Andere Veröffentlichungen/Other publications

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., Cano A.F., Domínguez-García J.L.: *Super PV Project – Innovative and High-Quality PV Systems to Regain Leadership of European PV Businesses on the World Market*. Proceedings of the 36th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, 10.4229/EUPVSEC20192019-7DV.2.1, Marseille, Frankreich, (09/2019)

Veith-Wolf B.A., Schmidt J.: *Low-temperature silicon surface passivation for bulk lifetime studies based on Corona-charged Al₂O₃*. AIP Conference Proceedings (SiliconPV 2019, The 9th International Conference On Crystalline Silicon Photovoltaics), 2147 (1), 050011, 10.1063/1.5123860, Leuven, Belgien, (04/2019)

Vogt M.R., Witteck R., Gewohn T., Schulte-Huxel H., Schinke C., Bothe K., Brendel R.: *Ray Tracing of Complete Solar Cell Modules*. OSA Advanced Photonics Congress AP 2019, Burlingame, USA, (08/2019)

Vogt M.R., Witteck R., Gewohn T., Schulte-Huxel H., Schinke C., Köntges M., Bothe K., Brendel R.: *Boosting PV Module Efficiency Beyond the Efficiency of Its Solar Cells – A Raytracing Study with Daidalos Now Available to the Scientific Community*. Proceedings of the 36th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, 10.4229/EUPVSEC20192019-4BO.11.3, Marseille, Frankreich, (09/2019)

Walter D.C., Helmich L., Pernau T., Romer O., Schmidt J.: *Comparing Cz-Si PERC Solar Cells from Various Manufacturers Regarding BO-Related Light-Induced Degradation and Regeneration*. Proceedings of the 36th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, 10.4229/EUPVSEC20192019-2CV.2.101, Marseille, Frankreich, (09/2019)

Weiland F., Kirchner M., Rensinghoff V., Giovannetti F., Kastner O., Ridder D., Tekinbas Y., Hachul H.: *Performance assessment of solar thermally activated steel sandwich panels with mineral wool core for industrial and commercial buildings*. Journal of Physics: Conference Series (CISBAT 2019), 1343, 012098, 10.1088/1742-6596/1343/1/012098, Lausanne, Schweiz, (09/2019)

Weiland F., Kirchner M., Rensinghoff V., Giovannetti F., Kastner O., Ridder D., Tekinbas Y., Hachul H.: *Solarthermisch aktivierte Stahlsandwich-elemente mit Mineralwollkern für den Industrie- und Gewerbebau*. Tagungsunterlagen Symposium Solarthermie und innovative Wärmesysteme 2019, Bad Staffelstein, (05/2019)

Wetzel G., Krügener J., Peibst R., Dietrich A., Nacke B., Osten J.H.: *Simulation of solar cell performance based on in the field measured ambience parameters*. AIP Conference Proceedings (SiliconPV 2019, The 9th International Conference On Crystalline Silicon Photovoltaics), 2147 (1), 020020, 10.1063/1.5123825, Leuven, Belgien, (04/2019)

Vorträge/Presentations

Becker C., Albrecht S., Glunz S., Kajari-Schröder S., Wolter S., Rau U., Partzold U., Dyakonov V., Ahlswede E., Powalla M.: *Tandemsolarzellen mit Perowskiten – Die neuen Stars der Photovoltaik*. FVEE-Jahrestagung 2019: Energy Research for Future – Forschung für die Herausforderungen der Energiewende, ForschungsVerbund Erneuerbare Energien, Berlin, 22.-23.10.2019

Bordihn S., Min B., Peibst R., Brendel R.: *Modelling of Passivation and Resistance of n-Type poly-Si Layers by Trained Artificial Neural Networks*. 36th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, WIP – Renewable Energies, Marseille, Frankreich, 9.-13.9.2019

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*. FVEE-Jahrestagung 2019: Energy Research for Future – Forschung für die Herausforderungen der Energiewende, ForschungsVerbund Erneuerbare Energien, Berlin, 22.-23.10.2019

Bredemeier D., Walter D., Heller R., Schmidt J.: *Impact of SiN_x:H Material Properties on Light and Elevated Temperature Induced Degradation (LeTID) in Mc-Si*. SiliconPV 2019, 9th International Conference on Crystalline Silicon Photovoltaics, PSE Conferences & Consulting GmbH, Leuven, Belgien, 8.-10.4.2019

Vorträge/Presentations

Bredemeier D., Walter D.C., Schmidt J.: *Impact of Silicon Nitride Film Properties on Hydrogen In-Diffusion into Crystalline Silicon*. 36th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, WIP – Renewable Energies, Marseille, Frankreich, 9.-13.9.2019

Brendel R.: *Welche Rolle spielt der Solarstrom in der künftigen Energieversorgung Niedersachsens?* Solarstrom-Perspektiven für Niedersachsen, Klimaschutz- und Energieagentur Niedersachsen (KEAN), Hannover, 3.6.2019

Brendel R., Niepelt R., Rockendorf G.: *Solarenergieforschung in und für Niedersachsen*. Kooperationspotentiale der Norddeutschen Energieforschung, Energie-Forschungszentrum Niedersachsen (EFZN), Hannover, 19.9.2019

Büchner D., Mercker O.: *OptDienE – Optionen zum netzdienlichen Betrieb von Einzelraumfeuerstätten*. 8. Statuskonferenz Energetische Biomassenutzung, Leipzig, 17.-18.9.2019

Büttner B., Stephan A., Kastner R., Klinker F., Lenz V., Giovanetti F., Knoop M., Kuhn T., Bueno B., Krause M., Robinius M., Kotzur L., Rongstock R.: *Potenziale im Gebäudesektor für effiziente Energieverwendung*. FVEE-Jahrestagung 2019: Energy Research for Future – Forschung für die Herausforderungen der Energiewende, ForschungsVerbund Erneuerbare Energien, Berlin, 22.-23.10.2019

Dotzauer M., Gils H.C., Wittwer C., Brendel R., Niepelt R., Linsse J., Robinius M., Fuss M., Brown T.: *Der Stromsektor als Rückgrat der zukünftigen Energieversorgung*. FVEE-Jahrestagung 2019: Energy Research for Future – Forschung für die Herausforderungen der Energiewende, ForschungsVerbund Erneuerbare Energien, Berlin, 22.-23.10.2019

Dullweber T.: *PERC+POLO solar cells minimizing carrier recombination at the Ag front contact with simulated efficiency potential up to 23.8%*. 29th International PV Science and Engineering Conference (PVSEC-29), Xi'an, China, 4.-8.11.2019

Fischer S., Bachmann S., Schiebler B., Giovannetti F., Köhl M.: *40% Reduktion des solaren Wärmepreises durch die Kombination unterschiedlicher Optimierungsmaßnahmen*. Symposium Solarthermie und innovative Wärmesysteme, Conexio GmbH, Bad Staffelstein, 21.-23.5.2019

Gemmel C., Kajari-Schröder S., Brendel R.: *Statistics of the Detachment Yield for Crystalline Silicon Layer Transfer Using the Porous Silicon Process*. SiliconPV 2019, 9th International Conference on Crystalline Silicon Photovoltaics, PSE Conferences & Consulting GmbH, Leuven, Belgien, 8.-10.4.2019

Giovannetti F.: *Experimental Investigations on Photovoltaic-Thermal Arrays Designed for the Use as Heat Pump Source*. ISES Solar World Congress and IEA Solar Heating and Cooling (SHC) Conference, International Solar Energy Society, Santiago, Chile, 4.-7.11.2019



ISFH-Vortragende auf der 46th IEEE Photovoltaic Specialist Conference (PVSC) in Chicago (v.l.n.r.): J. Schmidt, M. Rienäcker, V. Titova, F. Haase, R. Witteck.

ISFH speakers at the 46th IEEE Photovoltaic Specialist Conference (PVSC) in Chicago (f.l.t.r.): J. Schmidt, M. Rienäcker, V. Titova, F. Haase, R. Witteck.

Vorträge/Presentations

Giovanetti F.: *Improved flat plate collector with heat pipes for overheating prevention in solar thermal systems*. ISES Solar World Congress and IEA Solar Heating and Cooling (SHC) Conference, International Solar Energy Society, Santiago, Chile, 4.-7.11.2019

Giovanetti F.: *Performance assessment of solar thermally activated steel sandwich panels with mineral wool core for industrial and commercial buildings*. CISBAT Conference „Climate Resilient Cities – Energy Efficiency & Renewables in the Digital Era“, EPFL-ENAC-LESO-PB, Lausanne, Schweiz, 4.-6.9.2019

Giovanetti F.: *Solare Wärme in Gewerbe und Industrie: Chancen und Erfolgsbeispiele*. e.coBizz-Fachforum der Klimaschutzagentur Hannover „Solare Energiewende vom Firmendach“, Hannover, 17.9.2019

Giovanetti F.: *Solarthermische Kollektoren der nächsten Generation*. Green Building Forum – Regenerative Wärmeerzeugung und digitale Planung, Hochschule für angewandte Wissenschaft und Kunst Hildesheim/Holzminde/Göttingen (HAWK), Holzminde, 10.4.2019

Goslich R.: *Einblicke in die Solarenergie*. TU9-ING-Studienwoche „Energietechnologie“, Leibniz Universität Hannover, Hannover, 27.8.2019

Haase F., Hollemann C., Schäfer S., Krügener J., Brendel R., Peibst R.: *Transferring the record p-type Si POLO-IBC cell technology towards an industrial level*. 46th IEEE Photovoltaic Specialist Conference (PVSC), Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), Chicago (IL), USA, 16.-21.6.2019

Haase F., Peibst R.: *PERC and beyond – next generation modules, what can we expect?* pv magazine Webinar, pv magazine, 9.5.2019

Halbich M.-U., Sauer-Stieglitz R., Lövenich W., Schmidt J.: *Improving Organic-Silicon Heterojunction Solar Cells through the Admixture of Sorbitol to PEDOT:PSS*. 36th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, WIP – Renewable Energies, Marseille, Frankreich, 9.-13.9.2019

Helmich L.: *In-situ EL-Charakterisierung der Regeneration von Cz-Si-Solarzellen*. SiliconFOREST 2019, Falkau, 24.-27.2.2019

Helmich L., Walter D.C., Schmidt J.: *Direct Examination of the Boron-Oxygen Deactivation Via Electroluminescence Characterization of Cz-Si Solar Cells Under Regeneration Conditions*. SiliconPV 2019, 9th International Conference on Crystalline Silicon Photovoltaics, PSE Conferences & Consulting GmbH, Leuven, Belgien, 8.-10.4.2019

Helmich L., Walter D.C., Schmidt J.: *Direct Examination of the Boron-Oxygen Deactivation Via Electroluminescence Characterization of Cz-Si Solar Cells Under Regeneration Conditions*. NanoDay 2019, Laboratorium für Nano- und Quantenengineering (LNQE), Hannover, 10.10.2019

Hinken D., Bothe K.: *Challenges and solutions for contacting advanced busbar designs at ISFH CalTeC*. 46th IEEE Photovoltaic Specialist Conference (PVSC), Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), Chicago (IL), USA, 16.-21.6.2019

Hollemann C.: *>26 % POLO-IBC-Solarzellen*. SiliconFOREST 2019, Falkau, 24.-27.2.2019

Hollemann C., Haase F., Rienäcker M., Barnscheidt V., Krügener J., Folchert N., Brendel R., Richter S., Großer S., Peibst R.: *Optimization and characterization of POLO solar cells*. 29th International PV Science and Engineering Conference (PVSEC-29), National Renewable Energy Laboratory (NREL), Winter Park (CO), USA, 4.-7.8.2019

Jäger P., Mertens V., Baumann U., Dullweber T., Brendel R.: *Impact of the Thermal Budget of the Emitter Formation on the pFF of PERC+ Solar Cells*. SiliconPV 2019, 9th International Conference on Crystalline Silicon Photovoltaics, PSE Conferences & Consulting GmbH, Leuven, Belgien, 8.-10.4.2019

Kajari-Schröder S., Gemmel C., Hensen J., Strey J., Brendel R.: *High-Quality Kerfless Wafers from the Porous Silicon Layer Transfer Process*. 2019 MRS Fall Meeting & Exhibit, Materials Research Society, Boston (MA), USA, 1.-6.12.2019

Knoop M., Littwin M., Ohrdes T., Kastner O.: *Gebäudeversorgungskonzepte mit PV, Batterie, Wärmepumpe und Blockheizkraftwerk – Energetische Kennwerte und CO₂-Wirkung*. 34. PV-Symposium, Conexio GmbH, Bad Staffelstein, 19.-21.3.2019

Lachowicz A., Christmann G., Descoedres A., Min B., Bordihn S., Peibst R., Nicolay S., Ballif C.: *Metallization Grid on AZO by Electrodeposition of Copper*. 36th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, WIP – Renewable Energies, Marseille, Frankreich, 9.-13.9.2019

Lampe C., Kirchner M., Littwin M., Giovanetti F., Asenbeck S., Fischer S.: *Experimentelle Untersuchungen an Testfeldern mit SOLINK-photovoltaisch-thermischen Kollektoren*. Symposium Solarthermie und innovative Wärmesysteme, Conexio GmbH, Bad Staffelstein, 21.-23.5.2019

Vorträge/Presentations

Larionova Y., Schulte-Huxel H., Min B., Hartmann S., Turcu M., Kluge T., Mehlich H., Brendel R., Peibst R.: *Screen Printed Double-Side Contacted POLO-Cells with Ultra-Thin Poly-Si Layers and Different Transparent Conductive Oxides*. 36th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, WIP – Renewable Energies, Marseille, Frankreich, 9.-13.9.2019

Lim B., Wietler T., Schlatmann R., Stannowski B., Würfel U., Ding K., Paetzold U.W.: *Wege zur Industrialisierung von c-Si/Perowskit-Tandemsolarzellen*. FVEE-Jahrestagung 2019: Energy Research for Future – Forschung für die Herausforderungen der Energiewende, ForschungsVerbund Erneuerbare Energien, Berlin, 22.-23.10.2019

Mathiak G., Herrmann W., Reil F., Morlier A., Großer S., Pander M., Schindler S., Turek M., Ebert M.: *Durable PV Modules – Requirements for the Module Design and Aspects of Reliability Testing Techniques*. 36th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, WIP – Renewable Energies, Marseille, Frankreich, 9.-13.9.2019

Mercker O., Büchner D.: *Simulationsstudie zum Einfluss von Einzelraumfeuerungsstätten auf die Strom- und Gasnachfrage-spitzen repräsentativer Gebäude in TRNSYS*. 8. Statuskonferenz Energetische Biomassenutzung, Leipzig, 17.-18.9.2019

Mercker O., Hüsing F., Kastner O., Pärish P.: *Flächenreduktionspotenzial solarthermisch unterstützter Erdwärmekollektoren zur Beheizung eines repräsentativen Mehrfamilienhauses mit 8 Wohneinheiten*. 2. Regenerative Energietechnik-Konferenz, RET.Con 2019, Hochschule Nordhausen, Nordhausen, 7.-8.2.2019

Müller S., Reineke-Koch R., Giovannetti F., Hafner B., Kastner O.: *Feldversuch mit thermochromen Flachkollektoren in heizungsunterstützten Solaranlagen*. Symposium Solarthermie und innovative Wärmesysteme, Conexio GmbH, Bad Staffelstein, 21.-23.5.2019

Müller S., Reineke-Koch R., Giovannetti F., Kastner O., Hafner B.: *Simulationsstudie zur Leistungsfähigkeit hochselektiver und thermochromer Absorberbeschichtungen für solarthermische Kollektoren*. 2. Regenerative Energietechnik-Konferenz, RET.Con 2019, Hochschule Nordhausen, Nordhausen, 7.-8.2.2019

Niepert R.: *Ausbaupfade für Erneuerbare Energien in Niedersachsen & die Rolle der Solarenergie*. Ringvorlesung „Transformation des Energiesystems“, Leibniz Forschungszentrum Energie 2050 (LiFE2050), Hannover, 19.6.2019

Niepert R.: *Ausbaupfade für Erneuerbare Energien in Niedersachsen & die Rolle der Solarenergie*. Vortrag, Institut für Thermodynamik, Leibniz Universität Hannover (LUH-IfT), Hannover, 28.6.2019

Niepert R., Brendel R.: *Welche Rolle spielt der Solarstrom in der künftigen Energieversorgung Niedersachsens?* Auftaktveranstaltung zur Kampagne „Sonnenzeit“, Klimaschutzagentur Weserbergland, Hameln, 29.8.2019

Niepert R., Brendel R.: *Wind-Solar-Wasserstoff aus Niedersachsen*. 12. Niedersächsische Energietage, Energie-Forschungszentrum Niedersachsen (EFZN), Hannover, 5.-6.11.2019

Ohrdes T.: *Wind-Solar-Wärmepumpen-Quartier (EnEff:Stadt Verbundvorhaben)*. Berliner ENERGIETAGE 2019, Berlin, 20.-22.5.2019

Ohrdes T., Schneider E., Knoop M., Bast O., Spielmann V.: *Wind-Solar-Wärmepumpen-Quartier – Dynamische Modellierung und messtechnische Evaluation der Strom- und Wärmeversorgung im Quartier*. 5. Dialogplattform Power-to-Heat, Berlin, 12.-13.9.2019

Peibst R.: *Efficient Si Photovoltaics for Electrically Powered Utility Vehicles*. Intersolar Europe 2019, Solar Promotion GmbH, München, 14.-15.5.2019

Peibst R.: *Passivating Contacts – Capable not only for Lab Records but also for Application?* Symposium on high efficiency photovoltaics, University of Toronto, Toronto, Kanada, 27.11.2019

Peibst R.: *PERC ist die Si-Solarzellen-Mainstreamtechnologie – kommt danach noch etwas?* 34. PV-Symposium, Conexio GmbH, Bad Staffelstein, 19.-21.3.2019

Peibst R., Haase F., Schulte-Huxel H., Blankemeyer S., Köntges M., Hollemann C., Brendel R., Wetzel G., Krügener J., Nonnenmacher H.-J., Mehlich H., Stein M., Wecker R., Schiessl A., Süß J., Metzger F., Schreibmüller C., Ding K., Lambert A., Duan W., Mikosch A., Pieters B., Stannowski B., Korte L.: *Efficient Si Photovoltaics for Electrically Powered Utility Vehicles – STREET*. 36th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, WIP – Renewable Energies, Marseille, Frankreich, 9.-13.9.2019

Peibst R., Kruse C., Schäfer S., Mertens V., Dullweber T., Brendel R.: *For none, one or two polarities – how do POLO junctions fit best into industrial Si solar cells?* 36th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, WIP – Renewable Energies, Marseille, Frankreich, 9.-13.9.2019

Reineke-Koch R.: *Überhitzungsschutz für Solarkollektoren – neue Lösungswege*. Solarwärme Tagung 2019, Schweizerischer Fachverband für Sonnenenergie (Swissolar), Bern, Schweiz, 29.11.2019

Vorträge/Presentations

Richnow H.H., Shao H., Kolditz O., Saadat A., Schmidt D., Henninger S., Kastner O., Kohl T., Schill E., Bauer S., Dahmke A., Staudacher L.: *Wärmespeicher im urbanen Untergrund – CO₂-freie Wärmeversorgung der Stadt*. FVEE-Jahrestagung 2019: Energy Research for Future – Forschung für die Herausforderungen der Energiewende, ForschungsVerbund Erneuerbare Energien, Berlin, 22.-23.10.2019

Richter S., Larionova Y., Großer S., Hähnel A., Hagendorf C.: *Evaluation of Localized Vertical Current Formation in Carrier Selective Passivation Layers of Silicon Solar Cells by TEM and Conductive AFM*. SiliconPV 2019, 9th International Conference on Crystalline Silicon Photovoltaics, PSE Conferences & Consulting GmbH, Leuven, Belgium, 8.-10.4.2019

Rienäcker M., Warren E.L., Wietler T.F., Tamboli A.C., Peibst R.: *Three-Terminal Bipolar Junction Bottom Cell as Simple as PERC: Towards Lean Tandem Cell Processing*. 46th IEEE Photovoltaic Specialist Conference (PVSC), Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), Chicago (IL), USA, 16.-21.6.2019

Rudolph M., Kruse C., Hannebauer H., Baumann U., Bräunig S., Ripke M., Falcon T., Brendel R., Dullweber T.: *PERC+ Solar Cells with Screen-Printed Dashed Ag Front Contacts*. SiliconPV 2019, 9th International Conference on Crystalline Silicon Photovoltaics, PSE Conferences & Consulting GmbH, Leuven, Belgium, 8.-10.4.2019

Schäfer S., Haase F., Hollemann C., Hensen J., Krügener J., Brendel R., Peibst R.: *26 %-Efficient and 2 cm Narrow Interdigitated Back Contact Silicon Solar Cells with Passivated Slits on Two Edges*. SiliconPV 2019, 9th International Conference on Crystalline Silicon Photovoltaics, PSE Conferences & Consulting GmbH, Leuven, Belgium, 8.-10.4.2019

Schmidt J.: *Surface Passivation of Crystalline Silicon Solar Cells: Past, Present and Future*. SiliconPV 2019, 9th International Conference on Crystalline Silicon Photovoltaics, PSE Conferences & Consulting GmbH, Leuven, Belgium, 8.-10.4.2019

Schmidt J.: *Surface Passivation of Crystalline Silicon Solar Cells: Past, Present and Future*. Aalto University, Espoo, Finland, 14.11.2019

Schmidt J., Bredemeier D., Walter D.C.: *Fundamental Physics behind the Light-induced Degradation of Multicrystalline Silicon Solar Cells*. 46th IEEE Photovoltaic Specialist Conference (PVSC), Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), Chicago (IL), USA, 16.-21.6.2019

Schneider E., Littwin M., Knoop M., Pärish P., Kastner O., Ohrdes T.: *Entwicklung und messwertbasierte Parametrierung eines vereinfachten Gebäudemodells für die Quartiersmodellierung*. Symposium Solarthermie und innovative Wärmesysteme, Conexio GmbH, Bad Staffelstein, 21.-23.5.2019

Schulte-Huxel H.: *3-Terminal Si-basierte Tandem-Solarzellen und -Module*. SiliconFOREST 2019, Falkau, 24.-27.2.2019

Schulte-Huxel H.: *Interconnect-shingling: Maximizing the active module area to surpass 22% module efficiency with bifacial contacted solar cells*. 29th International PV Science and Engineering Conference (PVSEC-29), Xi'an, China, 4.-8.11.2019

Schulte-Huxel H., Blankemeyer S., Brendel R., Köntges M.: *Interconnect-Shingling: Maximizing the Active Module Area with Conventional Module Processes*. SiliconPV 2019, 9th International Conference on Crystalline Silicon Photovoltaics, PSE Conferences & Consulting GmbH, Leuven, Belgium, 8.-10.4.2019

Szarka N., Dotzauer M., Liebetrau J., Thrän D., Krautkremer B., Mercker O., Matschoss P., Dahmen N., Steubing M., Arnold K.: *Bioenergie – intelligenter Baustein für ein nachhaltiges Energiesystem*. FVEE-Jahrestagung 2019: Energy Research for Future – Forschung für die Herausforderungen der Energiewende, ForschungsVerbund Erneuerbare Energien, Berlin, 22.-23.10.2019

Titova V.: *Solarzellen mit TiO₂-basierten passivierenden Kontakten*. SiliconFOREST 2019, Falkau, 24.-27.2.2019

Titova V., Flathmann C., Seibt M., Schmidt J.: *Correlation of electronic and microscopic properties of TiO_x/Al-based electron-selective contacts in silicon solar cells*. 46th IEEE Photovoltaic Specialist Conference (PVSC), Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), Chicago (IL), USA, 16.-21.6.2019

Ulbikas J., Ulbikaite V., Denafas J., Witteck R., Köntges M., Topič M., Frontini F., Bonomo P., Macé P., Bolt P.J., Ulyashin A., Haarberg T., Palitzsch W., Terheiden B., Weiss I., Cano A.F.: *SUPER PV project – Developing innovative PV systems for cost reduction and enhanced performance*. 46th IEEE Photovoltaic Specialist Conference (PVSC), Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), Chicago (IL), USA, 16.-21.6.2019

Ulbikas J., Ulbikaite V., Denafas J., Witteck R., Köntges M., Topič M., Frontini F., Bonomo P., Saretta E., Macé P., Bolt P.J., Ulyashin A.G., Haarberg T., Palitzsch W., Terheiden B., Weiss I., Cano A.F., Domínguez-García J.L.: *Super PV Project – Innovative and High-Quality PV Systems to Regain Leadership of European PV Businesses on the World Market*. 36th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, WIP – Renewable Energies, Marseille, Frankreich, 9.-13.9.2019

Vorträge/Presentations

VanSant K., Warren E., Rienäcker M., Schulte-Huxel H., Peibst R., Geisz J., Stradins P., Tamboli A.: *Performance Comparison of III-V/Si Tandem Solar Cells in the Three-Terminal Configuration*. 2019 MRS Fall Meeting & Exhibit, Materials Research Society, Boston (MA), USA, 1.-6.12.2019

Veith-Wolf B., Schmidt J.: *Low-Temperature Silicon Surface Passivation for Bulk Lifetime Studies Based on Corona-Charged Al₂O₃*. SiliconPV 2019, 9th International Conference on Crystalline Silicon Photovoltaics, PSE Conferences & Consulting GmbH, Leuven, Belgium, 8.-10.4.2019

Vogt M.R., Witteck R., Gewohn T., Schulte-Huxel H., Schinke C., Bothe K., Brendel R.: *Ray tracing of complete solar cell modules*. OSA Advanced Photonics Congress 2019, The Optical Society (OSA), Burlingame (CA), USA, 29.7.-1.8.2019

Vogt M.R., Witteck R., Gewohn T., Schulte-Huxel H., Schinke C., Köntges M., Bothe K., Brendel R.: *Boosting PV Module Efficiency Beyond the Efficiency of Its Solar Cells – A Raytracing Study with Daidalos Now Available to the Scientific Community*. 36th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, WIP – Renewable Energies, Marseille, Frankreich, 9.-13.9.2019

Walter D., Bredemeier D., Falster R., Voronkov V., Schmidt J.: *Easy-to-Apply Methodology to Measure the Hydrogen Concentration in Boron-Doped Crystalline Silicon*. SiliconPV 2019, 9th International Conference on Crystalline Silicon Photovoltaics, PSE Conferences & Consulting GmbH, Leuven, Belgium, 8.-10.4.2019

Walter D.C., Helmich L., Pernau T., Romer O., Schmidt J.: *Comparing Cz-Si PERC Solar Cells from Various Manufacturers Regarding BO-Related Light-Induced Degradation and Regeneration*. 36th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, WIP – Renewable Energies, Marseille, Frankreich, 9.-13.9.2019

Wehmeier N., Kiefer F., Brendemühl T., Mettner L., Haase F., Peibst R., Kajari-Schröder S., Holthausen M., Mader C., Daeschlein C., Wunnicke O.: *Inkjet-Printing of Phosphorus- and Boron-Doped Liquid Silicon Ink for Interdigitated Back Contact Solar Cells*. SiliconPV 2019, 9th International Conference on Crystalline Silicon Photovoltaics, PSE Conferences & Consulting GmbH, Leuven, Belgium, 8.-10.4.2019

Weiland F., Kirchner M., Rensinghoff V., Giovannetti F., Kastner O., Ridder D., Tekinbas Y., Hachul H.: *Solarthermisch aktivierte Stahlsandwich-elemente mit Mineralwollkern für den Industrie- und Gewerbebau*. Symposium Solarthermie und innovative Wärmesysteme, Conexio GmbH, Bad Staffelstein, 21.-23.5.2019

Wern B., Lenz V., Sperber E., Saadat A., Schmidt D., Engelmann P., Giovannetti F., Schmidt F., Hering D., Xhonneux A., Jordan M., Strunz S., Ebert H.-P.: *Wärmebereitstellung in Privathaushalten – Lösungen für eine CO₂-freie Energiebereitstellung*. FVEE-Jahrestagung 2019: Energy Research for Future – Forschung für die Herausforderungen der Energiewende, Forschungsverbund Erneuerbare Energien, Berlin, 22.-23.10.2019

Wetzel G., Krügener J., Peibst R., Dietrich A., Nacke B., Osten H.-J.: *Simulation of Solar Cell Performance Based on in the Field Measured Ambience Parameters*. SiliconPV 2019, 9th International Conference on Crystalline Silicon Photovoltaics, PSE Conferences & Consulting GmbH, Leuven, Belgium, 8.-10.4.2019

Whitehead R., VanSant K., Rienäcker M., Geisz J., Tamboli A.: *Optimizing the top cell absorbing layer thickness in 4T GaAs on Si tandem solar cells*. 2019 MRS Fall Meeting & Exhibit, Materials Research Society, Boston (MA), USA, 1.-6.12.2019

Winter M., Bordihn S., Peibst R., Schmidt J.: *Degradation and Regeneration of n⁺-Poly-Si on Oxide Surface Passivation under Illumination and Dark Annealing on p-Type Cz-Si*. 36th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, WIP – Renewable Energies, Marseille, Frankreich, 9.-13.9.2019

Winter M., Bordihn S., Peibst R., Schmidt J.: *Degradation and Regeneration of n⁺-Poly-Si on Oxide Surface Passivation under Illumination and Dark Annealing on p-Type Cz-Si*. NanoDay 2019, Laboratorium für Nano- und Quantenengineering (LNQE), Hannover, 10.10.2019

Winter M., Walter D., Bredemeier D., Schmidt J.: *Absence of Light and Elevated Temperature Induced Degradation (LeTID) of the Carrier Lifetime in Boron-Doped Cz-Silicon*. SiliconPV 2019, 9th International Conference on Crystalline Silicon Photovoltaics, PSE Conferences & Consulting GmbH, Leuven, Belgium, 8.-10.4.2019

Wirth H., Vehse M., Rau B., Peibst R., Colsmann A., Stephan A., Lechner P.: *Integrierte Photovoltaik*. FVEE-Jahrestagung 2019: Energy Research for Future – Forschung für die Herausforderungen der Energiewende, Forschungsverbund Erneuerbare Energien, Berlin, 22.-23.10.2019

Witteck R.: *UV radiation hardness of PERC modules*. SiliconFOREST 2019, Falkau, 24.-27.2.2019

Witteck R., Jäger P., Rudolph M., Mehlich H., Köntges M., Dullweber T., Brendel R., Schulte-Huxel H., Sperlich H.-P., König M., Köhler G., Landgraf D.: *UV-stable surface passivation for crystalline silicon cells in solar modules with UV light transmitting encapsulation materials*. 46th IEEE Photovoltaic Specialist Conference (PVSC), Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), Chicago (IL), USA, 16.-21.6.2019

Studien- & Bachelorarbeiten/Seminar & bachelor papers

Biel F.: *Entwicklung und Bewertung von Betriebsstrategien für Wärmepumpen in Kombination mit Photovoltaikanlagen*, (Bachelorarbeit), Life Sciences, Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg (HAW), Hamburg, Juni 2019

Gantowski M.: *Experimentelle Untersuchungen zum thermohydraulischen Verhalten solarthermischer Flachkollektoren bei niedrigen Volumenströmen*, (Bachelorarbeit), Fakultät für Maschinenbau, Leibniz Universität Hannover (LUH), Hannover, Mai 2019

Kaeding P.: *Messtechnische Charakterisierung des Strömungsfelds in einer Klimakammer zur Wärmepumpenprüfung*, (Bachelorarbeit), Ingenieurwissenschaften, Hochschule Nordhausen, Nordhausen, September 2019

Kardas S.: *Energiebemessung von Photovoltaikmodulen unter realistischen Einstrahlungsbedingungen*, (Bachelorarbeit), Physik, Leibniz Universität Hannover (LUH), Hannover, September 2019

Külper Y.: *Ertragssimulationen von Bifacialmodulen mittels Raytracing*, (Bachelorarbeit), Physik, Leibniz Universität Hannover (LUH), Hannover, Oktober 2019

Niemann M.: *Bewertung von kostengünstigen Kunststoffrohrlösungen für Solaranlagen mit Überhitzungsschutz als Teil eines innovativen Gesamtkonzepts*, (Bachelorarbeit), Umwelttechnik, Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg (HAW), Hamburg, August 2019

Pombo Abondano L.: *Modellieren des Einflusses von Baumverschattungen auf den Modulertrag in der Fassade*, (Bachelorarbeit), Fächerübergreifender Bachelor (FüBa), Erstfach Physik (Lehramt), Leibniz Universität Hannover (LUH), Hannover, Dezember 2019

Sánchez M.: *Herstellung und Charakterisierung von Inlaminat-Bypassdioden*, (Bachelorarbeit), Physik, Leibniz Universität Hannover (LUH), Hannover, April 2019

Schwekendiek T.: *Konzeptionierung einer Prüfmethode und Planung eines Prüfstands für dezentrale Durchfluss-Trinkwassererwärmer*, (Bachelorarbeit), Green Building, Hochschule für Angewandte Wissenschaften und Kunst (HAWK), Hildesheim, Dezember 2019

Sobottka H.: *Entwicklung eines kennfeldbasierten Wärmepumpenmodells zur Simulation der Energieversorgung von Quartieren*, (Bachelorarbeit), Fakultät für Maschinenbau, Leibniz Universität Hannover (LUH), Hannover, März 2019

Sommer D.: *Analyse und Wirtschaftlichkeit von Gebäudeenergiesystemen mit photovoltaisch-thermischen-Kollektoren (PV-T) in Abhängigkeit des Dämmstandards*, (Bachelorarbeit), Fachbereich Maschinenbau, Leibniz Universität Hannover (LUH), Hannover, Dezember 2019

Tschuch F.: *Überarbeitung und Inbetriebnahme eines Prüfstandes zur mechanischen Belastungsprüfung von Photovoltaik-Modulen und Solarthermie-Kollektoren*, (Bachelorarbeit), Ingenieurwissenschaften, Studiengang Regenerative Energietechnik, Hochschule Nordhausen, Nordhausen, Dezember 2019

van der Veer N.: *Development of a standardized test procedure for the characterization of external domestic hot water modules*, (Bachelorarbeit), Mechanical Engineering, Hanze University of Applied Sciences, Groningen (NL), Juni 2019



Besuch für Prof. Dr.-Ing. Rolf Brendel (links) am Stand des ISFH auf der Hannover Messe 2019: Björn Thümler (Nds. Wissenschaftsminister) und Dr. Sebastian Huster (Aufsichtsratsvorsitzender des ISFH) informieren sich über aktuelle Themen.
Visit for Prof. Dr.-Ing. Rolf Brendel (left) at the ISFH stand at the 2019 Hannover Fair: Björn Thümler (Lower Saxon Science Minister) and Dr. Sebastian Huster (Chairman of the Supervisory Board of ISFH) seeking information about current issues.

Diplom- & Masterarbeiten/Diploma theses & masters

Hartmann S.: *Optimierung der optischen und elektrischen Eigenschaften von gesputterten aluminium-dotierten Zinkoxidschichten für hocheffiziente Silizium-Solarzellen*, (Masterarbeit), Physik, Leibniz Universität Hannover, Hannover, April 2019

Koopmeiners M.: *Aufbau und Charakterisierung eines Outdoor-Teststands für BIPV-Module*, (Masterarbeit), Physik, Leibniz Universität Hannover, Hannover, September 2019

Lampouras I.: *Untersuchung und Optimierung der MAI-Synthese für koaufgedampfte Perovskitsolarzellen*, (Masterarbeit), Studiengang Nanotechnologie, Leibniz Universität Hannover, Hannover, Juli 2019

Renken L.: *Untersuchung der Korrelation zwischen der Nennleistung und der Elektrolumineszenz von PV-Modulen*, (Masterarbeit), Institut für Thermodynamik, Leibniz Universität Hannover, Hannover, November 2019

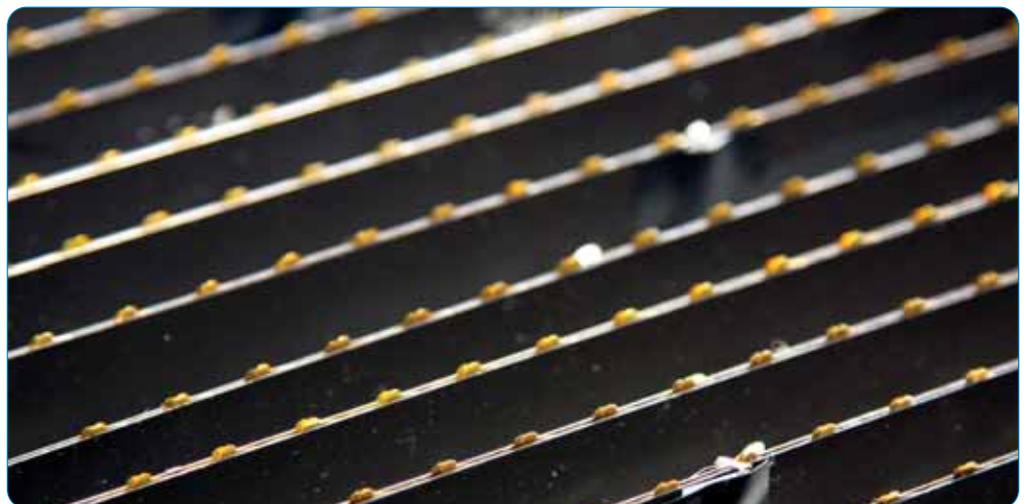
Schädlich S.: *Erstellung eines Messaufbaus zur spektral aufgelösten, winkelabhängigen Messung der Photolumineszenzemission von Siliziumwafern*, (Masterarbeit), Energietechnik, Leibniz Universität Hannover, Hannover, April 2019

Yeo A.A.: *High temperature stable passivation using Al_2O_3/SiN_x stacks for textured p-type silicon surfaces*, (Master), Science in Nanotechnology, Leibniz Universität Hannover, Hannover, November 2019

Doktorarbeiten/Ph.D.-theses

Witteck R.: *Analysis of cell to module losses and UV radiation hardness for passivated emitter and rear cells and modules*. Physik, Leibniz Universität Hannover, 12.3.2019

Eine ISFH-Entwicklung: Messleisten zur temporären elektrischen Kontaktierung von Multibusbar-Solarzellen.
 An ISFH development: Measuring strips for temporary electrical contacting of multibusbar solar cells.



Lehrveranstaltungen/Lectures

Brendel R.: *Physik der Solarzelle*. Vorlesung, Fachbereich Physik, Leibniz Universität Hannover (04/2019-07/2019)

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

Kastner O.: *Solarenergie II – Komponenten und Systeme*. Vorlesung, Studiengänge Maschinenbau und Energietechnik, Leibniz Universität Hannover (04/2019-07/2019)

Krügener J.: *Wirkungsweise und Technologie von Solarzellen*. Übung, Fakultät für Elektrotechnik und Informatik, Leibniz Universität Hannover (10/2019-02/2020)

Peibst R.: *Wirkungsweise und Technologie von Solarzellen*. Vorlesung, Fakultät für Elektrotechnik und Informatik, Leibniz Universität Hannover (10/2019-02/2020)

Schinke C.: *Einführung in die elektronische Messdatenerfassung und -verarbeitung in LabView*. Vorlesung, Fachbereich Physik, Leibniz Universität Hannover (10/2019-01/2020)

Schinke C.: *Labor- und Simulationspraxis Solarenergie*. Blockpraktikum, Fachbereich Physik, Leibniz Universität Hannover (09/2019-09/2019)

Schinke C.: *Physik der Solarzelle*. Übung, Fachbereich Physik, Leibniz Universität Hannover (04/2019-07/2019)

Schmidt J.: *Defekte in Halbleitern*. Vorlesung, Fachbereich Physik, Leibniz Universität Hannover (10/2018-02/2019)

Schulte-Huxel H.: *Physik präsentieren - Physik der Energiekonversion*. Proseminar, Fachbereich Physik, Leibniz Universität Hannover (10/2019-01/2020)

Wietler T.: *Bipolarbauelemente*. Vorlesung, Fakultät für Elektrotechnik und Informatik, Leibniz Universität Hannover (10/2018-01/2019)

Wietler T.: *MOS-Transistoren und Speicher*. Vorlesung, Fakultät für Elektrotechnik und Informatik, Leibniz Universität Hannover (04/2019-07/2019)

Wietler T.: *Physics of Integrated Circuit Technology*. Vorlesung, St. Petersburger Polytechnische Universität „Peter der Große“, St. Petersburg/Russland (04/2019-04/2019)

Preise & Auszeichnungen/Awards

Lampe C., Poster Award, Symposium *Solarthermie und Innovative Wärmesysteme*, für *For R&D on direct integration of hybrid PV/thermal solar collectors in heat pump systems*. Bad Staffelstein, 21.-23.5.2019

Mercker O., Poster Award, Bioenergie – Der X-Faktor, für *Optionen zum netzdienlichen Betrieb von Einzelraumfeuerstätten*. Leipzig, 17.-18.9.2019

Schäfer S., Haase F., Hollemann C., Hensen J., Krügener J., Brendel R., Peibst R., Auszeichnung des Abstracts, The Silicon PV Award 2019, für *26 %-Efficient and 2cm Narrow Interdigitated Back Contact Silicon Solar Cells with Passivated Slits on Two Edges*. SiliconPV 2019, 9th International Conference on Crystalline Silicon Photovoltaics, Leuven, 10.4.2019

Witteck R., Auszeichnung einer Präsentation, Best Student Presentation Award, für *UV-stable surface passivation for crystalline silicon cells in solar modules with UV light transmitting encapsulation materials*. 46. IEEE PVSC 2019 Chicago, USA, 21.6.2019



DEWEZET 21.11.2019

Energieerzeugung an Hausfassaden

Neue Jobs und Geld fürs Solarinstitut

OHR. Das Solarinstitut in Ohr erhält Forschungsgelder und neue Stellen. Im Kern geht es bei zwei Projekten um die Frage: Wie kann man an Hausfassaden am besten Energie erzeugen?

veröffentlicht am 21. 11. 2019 um 06:00 Uhr



Eine Solarfassade am Institut für Solarenergieforschung. Foto: ISFH

Die Energiewende bringt auch für die Solarenergieforschung neue Herausforderungen, zwei davon haben jetzt in Form von neuen Forschungsprojekten ihren Weg nach Ohr zum Institut für Solarenergieforschung (ISFH) gefunden. Beide Projekte zusammen bringen etwa 2,5 Millionen Euro Forschungsmittel des Bundes und etwa sieben neue Arbeitsplätze nach Emmerthal. Die Projekte wurden jetzt begonnen und laufen über drei beziehungsweise fünf Jahre.

Die Frage lautet: Wie kann man möglichst viel Energie auf knappen Flächen gewinnen? „Zum einen geht das durch noch effizientere Solarzellen, zum anderen durch Nutzbarmachung von bisher nicht genutzten Flächen an Fassaden“, erklärt Prof. Rolf Brendel vom ISFH die beiden Vorhaben. Für das Fassaden-Projekt wird am ISFH eigens eine sechs mal zehn Quadratmeter große freistehende Testfassade errichtet.

Das Projekt „Solar-VHF“ dreht sich um die solarthermische Aktivierung vorgehängter, hinterlüfteter Fassaden im Geschosswohnungsbau und wird mit 1,3 Millionen Euro vom Bundesministerium für wirtschaft und Energie (BMWi) gefördert. Die untersuchten Fassaden sind besonders interessant für Neubau- und Sanierungsobjekte, die oft noch große Energiesparpotenziale haben, die ebenfalls erforscht werden sollen.

Doch warum geht es um vorgehängte, hinterlüftete Fassaden? „Weil diese sich aus konstruktiven, bauphysikalischen und montage-technischen Gründen optimal für die Aktivierung eignen. Der zentrale Projektansatz besteht darin, drei unterschiedliche Fassadenverkleidungen aus Glas, Beton und Metall ohne Veränderung der architektonischen Wirkung als Solarabsorber zu verwenden, damit eine unsichtbare Integration und ein optisch ansprechendes Erscheinungsbild erzielt werden“, erklärt Projektleiter Dr. Federico Giovannetti.

Für die Anbindung an die Anlagen der jeweiligen Häuser werden Konzepte untersucht, die eine effiziente Nutzung der Niedertemperaturwärme und -kälte aus der Fassade ermöglichen. Als Wärmeerzeuger wird eine Wärmepumpe eingesetzt, die mit weiteren Quellen (oberflächennahe Geothermie, Eisspeicher) kombiniert werden kann.

Das Projekt „P3T“, das mit 1,2 Millionen Euro vom BMWi gefördert wird, widmet sich der Entwicklung von hocheffizienten Tandemsolarzellen und -modulen, die in Zukunft industriell hergestellt werden können. Das Ziel ist es, großflächige Perowskit-Silizium-Tandemsolarzellen zu entwickeln. Dabei wird der Vorderseiten-Kontakt einer industrietypischen Solarzelle durch ein passivierendes Kontaktschema (polycrystalline silicon on oxide, POLO) ersetzt. Das ISFH entwickelt dazu Aufdampfverfahren für die Herstellung der Perowskitsolarzelle. Ein weiteres Thema ist das Ermitteln und Minimieren von Verlustursachen in Tandemsolarzellen. red

DEWEZET 24.10.2019

Klimapaket: Forscher erhöhen den Druck

Berlin soll ambitioniertere Ziele setzen

VON CHRISTIAN BRANAHL

EMMERTHAL/BERLIN. Mehr Anstrengungen für den Klimaschutz fordert der bundesweite „Forschungsverbund Erneuerbare Energien“. Anlässlich der Jahrestagung – dem Verbund gehört das Institut für Solarenergieforschung (ISFH) Emmerthal an – zeigen die Wissenschaftler „den dringenden Handlungsbedarf auf“. „Das Klimapaket der Bundesregierung ist ein Schritt in die richtige Richtung“, heißt es in der Erklärung. „Um einen angemessenen Beitrag für die Klimaziele von Paris zu leisten, müssen die nationalen Ziele aber wesentlich ambitionierter gesteckt, deutlicher erklärt und zeitnäher umgesetzt werden.“

Der Verbund diskutiert auf seiner Jahrestagung in Berlin, was die Energieforschung beitragen kann, um die Transformationsgeschwindigkeit deutlich zu erhöhen. Es handelt sich um eine bundesweite Kooperation von Forschungsinstituten. Sie erforschen und entwickeln Technologien für erneuerbare Energien, Energieeffizienz, Energiespeicherung und das optimierte technische und sozioökonomische Zusammenwirken aller Systemkomponenten.

Die Wissenschaftler zeigen auf der Tagung, welche Schritte notwendig sind, um neben der Stromversorgung

auch die Sektoren Mobilität sowie Wärme-/Kälte-Versorgung für Gebäude und Industrie auf nachhaltige Technologien umzustellen. Das ISFH ist mit mehreren Forschern in Berlin vertreten. Ihr Leiter und Geschäftsführer Prof. Dr. Rolf Brendel moderiert beispielsweise eine Vortragsrunde zum Thema „Integrierte Photovoltaik“ als einem Bestandteil der Energiewende, seine Kollegin Dr. Bianca Lim referiert zu Tandemsolarzellen. Das ISFH arbeitet längst über die eigenen Forschungsergebnisse mit Schwerpunkt Photovoltaik hinaus fachübergreifend. So gehört das heimische Institut zur im September vorgestellten „Wissenschaftsallianz“, um gemeinsam mit anderen Einrichtungen unter Federführung des Energieforschungszentrums Niedersachsen die Kräfte zu bündeln. Ihr Ziel: Sie wollen die Forschung für Wasserstoff-Technologien für einen höheren Anteil erneuerbarer Energien an der Stromerzeugung stärker vernetzen.

Gegenüber den Medien machten die Tagungsleiter in Berlin deutlich: „Die schleppende Umsetzung der Energiewende zeigt eine deutliche Klimaschutzlücke.“ Der Verbund „empfiehlt daher dringend“, alle politischen Maßnahmen darauf auszurichten, um ein klimaneutrales Energiesystems bis spätestens 2050 zu erreichen.

BRANCHE AKTUELL

ERNEUERBARE ENERGIEN

Neue Herausforderungen für die Forschung

Ergebnisse der Jahrestagung des FVEE 2019

Der Anteil der erneuerbaren Energien am Energiemarkt wächst, aber der Energiebedarf wächst ebenfalls. Der Forschungsbund Erneuerbare Energien (FVEE) muss also nicht nur Lösungen finden, um erneuerbare Energien mit höherem Wirkungsgrad in Strom und Kraftstoffe umzuwandeln, sondern auch die eigenen Zukunfts-Szenarien kontinuierlich dem wachsenden Bedarf anpassen.

Der Energieverbrauch Deutschlands, kann man in drei Sektoren einteilen: Strom, Wärme und Verkehr. Wenn die Erzeugende günstiger sind, müssen die fossilen Energien aus allen drei Sektoren möglichst vollständig verdrängt werden. Lauter sind bisher nur im Stromsektor hinreichende Fortschritte zu erkennen. Das hat darauf zurückzuführen, dass die Förderung der Stromerzeugung aus Solar- und Windenergie für die Bundesregierung relativ einfach zu finanzieren war. Es mussten keine Steuererhöhungen vorgenommen werden, sondern die Kosten der Förderung wurden einfach auf den Strompreis abgemittelt, den alle Verbraucher bezahlen müssen. Der Erfolg übertraf alle Erwartungen, in den vergangenen 20 Jahren wuchs der Anteil der erneuerbaren Energien am Stromaufkommen von 7 auf 38 %. Das entspricht einer Strommenge von 229 TWh. Die Kohlendioxid-Emissionen des Stromsektors sind im gleichen Zeitraum um etwa 40 Mio. T gesunken.

Kaum Fortschritte im Wärmesektor

Im Wärmesektor sieht die Kohlendioxid-Emission nur langsam, denn die Steigerung des Anteils der erneuerbaren Energien ist dort viel aufwendiger. Das betrifft nicht nur die Heizstoffe, sondern auch die Industrie. Allen die chemische Industrie würde, um klimaneutral produzieren zu können, zusätzlich 628 TWh Strom benötigen. Das ist mehr als das Dreifache dessen, was alle Wasserkraftwerke, Biogasanlagen, Solarparks und Windparks heute produzieren. Nicht ganz so viel Strom wird der Verkehrssektor benötigen, aber dafür sehr viel mehr Geld, weil jedes einzelne Elektroauto mit einer hohen Summe bezuschusst werden muss. Die technische Bewältigung der Energiegewinnung ist bereits in Umsetzungen, aber es ist noch unklar, welche Stromerzeugungsarten werden und ob die verfügbaren Flächen in Deutschland für die erneuerbaren Stromer-



Prof. Dr. Hans-Martin Henning, Sprecher der FVEE-Jahrestagung, wie während der Pressekonferenz auf die schwebende Umsetzung der Energieziele hin. Links neben ihm Dr. Harald Söll, Präsident des FVEE.

zeugung ausweichen. Dies war das beherrschende Thema der Pressekonferenz des Forschungsbunds Erneuerbare Energien (FVEE), die Ende Oktober die traditionelle Jahrestagung der Forschungsinstitute in Berlin einleitete. „Wir rechnen mit einem Strombedarf von rund 1000 TWh plus 100 TWh für Kraftstoffe plus 200 TWh für Wasserstoff“, sagte Prof. Dr. Harald Söll, der Sprecher des FVEE. Die systemischen Kraftstoffe müssen ebenso wie der Wasserstoff mit Hilfe von Solar- oder Windstrom erzeugt werden, und wenn die Flächen in Deutschland knapp werden, muss man über den Import dieser oberirdisch getriebenen Energien nachdenken.

Steigende Stromnachfrage

Wie die Energieversorgung in 30 Jahren aussehen wird, zeichnet sich bereits jetzt ab, wenn auch nur in groben Umrissen. Inwiefern schließt nun bezuschulieren, dass wir sehr viel mehr Strom als bisher erzeugen müssen. „Der Stromsektor weist das Rückgrat der zukünftigen Energieversorgung“, stellte Prof. Dr. Christof Wimmer (Fraunhofer ISE) fest. Trotz des wachsenden massiven Ausbaus der Solar- und Windenergieerzeugung wird

Deutschland im Jahr 2050 auf den Import von Strom angewiesen sein. Deutschland wird zwar auch, wie bereits heute schon, je nach Witterung viel Strom exportieren, aber noch viel mehr Strom importieren müssen. Um den Ausstoß von Kohlendioxid auf ein Minimum zu begrenzen, wird sehr viel mehr Strom allein dafür gebraucht, um Wärme zu erzeugen und Fahrzeuge zu bewegen. Die Elektrifizierung der neuen Verkehrstrassen wird fast so viel Strom verbrauchen wie wir heute insgesamt benötigen. Der funktionelle Verbrauch wird durch Sperrmaßnahmen von 500 auf unter 400 TWh gesenkt, aber es kommen etwa 450 TWh durch neue Stromverbraucher hinzu.

Wärmepumpen werden voraussichtlich einen gewaltigen Aufschwung erleben und rund 100 TWh Strom benötigen. Fast doppelt so viel werden elektrisch betriebene Pkw und Lkw beanspruchen. Und weil viele Industrieprozesse auch in Zukunft nicht elektrifiziert werden können, werden weitere 100 TWh benötigt, um Strom direkt in Wärme zu wandeln oder Wasserstoff zu erzeugen. „Der massive Zubau von erneuerbaren Energien bildet die erste Prämisse, denn anders sind die Klimaziele kaum erfüllbar“, resümierte Wimmer. Das bedeutet, dass deutlich mehr Solar- und Windparks gebaut werden müssen, als es zur Zeit der Fall ist. Das ist technisch kein Problem. Aber es wird immer schwieriger, geeignete Flächen zu finden.

Mobilität bleibt Sorgenkind

Oft wird seit der ersten Ölpreiskrise, also seit etwa 50 Jahren, große Anstrengungen unternommen werden, den Kraftstoffverbrauch der Fahrzeuge zu senken, bewegt sich der Energiebedarf der Mobilität noch immer nicht in die richtige Richtung. Dr. Martin Robinius (Fraunhofer IPA) zeigte in Berlin ein Diagramm, das die Wärmehöhen der Treibstoffarten im Vergleich anschaulich darstellt. Die Emissionen stiegen seit 1990 an, erreichten um das Jahr 2000 ihren Höhepunkt und sanken dann kontinuierlich ab. Aber seit dem Minimum, das um das Jahr 2008 herum erreicht wurde, stiegen die Emissionen wieder an und sind heute dort angekommen, wo sie 1990 auch schon waren. Ein Ende des Anstiegs ist nicht in Sicht. Die Mobilität bleibt das Sorgenkind der Klimapolitik. Die Regierung senkt zwar das „spezifische Kohlendioxidemissions des Fahrzeuges“ kontinuierlich ab, aber ohne durchschlagenden Erfolg, denn der Markt bewegt sich beharrlich in die andere Richtung. Nicht

ERNEUERBARE ENERGIEN

BRANCHE AKTUELL

die sparsamsten Autos verzeichnen den größten Zuwachs, sondern die „Sport Utility Vehicle“ (SUV). Allen diese Fahrzeugklasse hat dafür gesorgt, dass die weltweiten Kohlendioxid-Emissionen in den vergangenen zehn Jahren um knapp 500 Millionen Tonnen angestiegen sind. Das ist etwa doppelt so viel, wie der Zuwachs der Lkw-Flotte im gleichen Zeitraum verursacht hat. Die Forschung versucht nun, ihren Beitrag zur Mobilitätswende zu leisten, indem sie die Speicherkapazität und die Lebensdauer der Treibstoffbatterien steigert. Aber das kann nicht alles sein, denn für lange Strecken ist die Elektroauto nicht geeignet, und erst recht nicht für den Schwerlastverkehr. Robinius stellt ein Szenario vor, das für das Jahr 2050 außer dem Strom drei verschiedene Kraftstoffe vorsieht. Ein Stromanteil von 38 % wird ergänzt durch einen Wasserstoffanteil von 36 %. Die Kraftstoffe sollen 17 % beitragen und der Rest entfällt auf „Power-to-Liquid“-Kraftstoffe (PtL, Kohlenstoff). Die Elektroautos, die heute in aller Munde sind, werden also in 30 Jahren nur etwas mehr als ein Drittel des Mobilitätsbedarfs decken. Für den großen Rest werden erneuerbare Kraftstofftechnologien und entsprechend große Produktionskapazitäten benötigt. Die Produktion von Wasserstoff wird sich vervielfachen müssen, weil dieses flüchtige Gas nicht nur für „Wasserstoffeffekt“ benötigt wird, in dem Brennstoffzellen Strom für den Antrieb erzeugen, sondern auch für die Umwandlung von Biomasse in Bio-Kraftstoffe. Als möglicher PtL-Kraftstoff kommt Methanol infrage. Dieser einfache aber Alkohol kann aus Wasserstoff und Kohlendioxid hergestellt werden. Große Mengen Strom aus Solar- und Windenergie werden für die Mobilität in jedem Fall benötigt, entweder um die Batterien zu laden oder um Kraftstoffe herzustellen.

Die Elektroautos, die heute in aller Munde sind, werden also in 30 Jahren nur etwas mehr als ein Drittel des Mobilitätsbedarfs decken. Für den großen Rest werden erneuerbare Kraftstofftechnologien und entsprechend große Produktionskapazitäten benötigt. Die Produktion von Wasserstoff wird sich vervielfachen müssen, weil dieses flüchtige Gas nicht nur für „Wasserstoffeffekt“ benötigt wird, in dem Brennstoffzellen Strom für den Antrieb erzeugen, sondern auch für die Umwandlung von Biomasse in Bio-Kraftstoffe. Als möglicher PtL-Kraftstoff kommt Methanol infrage. Dieser einfache aber Alkohol kann aus Wasserstoff und Kohlendioxid hergestellt werden. Große Mengen Strom aus Solar- und Windenergie werden für die Mobilität in jedem Fall benötigt, entweder um die Batterien zu laden oder um Kraftstoffe herzustellen.

Industrialisierung von Tandemsolarzellen

Die Photovoltaik-Forschung bildet im FVEE einen wichtigen Schwerpunkt. Demnach wurde ausführlich über die Perovskit-Solarzelle berichtet, die in wenigen Jahren kommerziell werden könnte. Der ungewöhnliche Name geht auf ein im Ural abgebautes Mineral zurück, das auch unter dem Namen Kalpanowit (CaTiO₃) bekannt ist. Die Perovskit-Solarzellen weisen die Kristallstruktur dieses Minerals auf, bedürfen allerdings aus anderen Bestandteilen zum einen aus einem organischen Anteil mit Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff und zum anderen aus einem anorganischen Anteil mit Blei, Jod und Brom.



Die Jahrestagung des FVEE findet traditionell in Berliner Umkleekabinen statt, einem ehemaligen Kirchengebäude.

Diese organisch-anorganische Hybridstruktur wurde in Japan erfinden und 2009 mit einem Wirkungsgrad von 3,8 % der Öffentlichkeit vorgestellt. Die Perovskit-Solarzelle erregte Aufsehen, weil es innerhalb weniger Jahre gelang, den Wirkungsgrad auf über 20 % zu steigern. Für die kommerzielle Nutzung spricht, dass zu ihrer Herstellung keine hohe Temperatur erforderlich ist, also im Gegensatz zur Installation Siliziumsolareisen relativ wenig Energie aufgewendet werden muss. Besonders attraktiv erscheint die Kombination mit kristallinem Silizium (c-Si), weil sich die spezialisierte Englischschichten integrieren lassen. Eine solche Tandemsolarzelle arbeitet mit ihrer Siliziumschicht den langwelligeren Teil des Spektrums (rot und infrarot) und mit ihrer Perovskit-Schicht das kurzwellige Licht (blau und grün). Es werden nun Maßnahmen für den Perovskit-Abbau und die Kontaktierung getroffen, die mit der stabilen c-Si-Technologie kompatibel sind und mittels industriell integrierbaren Lösungen hergestellt werden können. „Gerne wird mit dem Ziel, einen besten Kompromiss aus Effektivität und Performance zu erreichen“, erklärte Dr. Bianca Lin Dreißler für Solarenergieforschung, ISE in Berlin. Experimentell wird zur Zeit mit dem Aufbringen von vollständigen Perovskit-Solarzellen. Mit einem speziellen Triebstoffdrucker können sie prinzipiell aber auch gedruckt werden. Im Labor ist es bereits gelungen, reine Perovskit-Solarzellen mit 18,1 % Wirkungsgrad herzustellen.

Nun rückt die Industrialisierung und damit die Markteinführung näher. Die Firma Oxford PV hat zuerst in Brandenburg an der Havel eine Tandem-Solarzellenfertigung (c-Si/Perovskit) auf, um dort jährlich 200 MW zu produzieren. „Der Photovoltaik-Markt ist keine Einbahnstraße mit nur einer Spur, sondern es gibt für verschiedene Anwendungen unterschiedliche Technologien“, fasste Lin die Aktivitäten der Solarzellenforschung zusammen. S. F. F. F. F.

DEWEZET 29.10.2019

Seite 20

WESERBERGLAND

Minister würdigt Solarforschung

Ergebnisse mit weltweiter Bedeutung / Thümler informiert sich bei den Experten in Emmerthal

VON CHRISTIAN BRANAHL

EMMERTHAL. Die internationale Bedeutung des Institutes für Solarenergieforschung (ISFH) in Emmerthal hat der Niedersächsische Minister für Wissenschaft und Kultur, Björn Thümler, gewürdigt. Über das Land hinaus habe es weltweit durch seine Forschungen und Entwicklungen in über 30 Jahren seit Gründung dazu beigetragen, dass die Solarenergie heute Marktreife erzielt habe und Strom dadurch sehr preisgünstig produziert werden könnte, sagte er am Montag bei einem Besuch in Ohr.

Nach einer Führung sprach der Minister hinter verschlossenen Türen mit den Verantwortlichen des Institutes zu der künftigen Rolle des ISFH in der internationalen Solarenergieforschungslandschaft. Über konkrete Ergebnisse ist bislang nichts bekannt. Das Ministerium als Gesellschafter stellt dem Institut mit rund 150 Beschäftigten jährlich 3,6 Millionen Euro zur Verfügung. Im Vorfeld wollte sich Thümler zu einer stärkeren finanziellen Grundförderung nicht äußern, wohl aber stellte er weitere projektbezogene Gelder in Aussicht. „Das Institut bleibt in unserem besonderen Fokus“, sagte Thümler.

Wolfgang Galdorf als stellvertretender Institutsleiter machte zumindest deutlich: „Hier ist die Zukunft.“ Und daran würden die Wissenschaftler weiter schreiben – für eine emissionsfreie und immer kostengünstigere Stromgewinnung gebe es viele weitere Projekte, an denen in Emmer-



„Institut in unserem besonderen Fokus“: Minister Björn Thümler (rechts) informiert sich bei den Solarforschern – hier Susanne Blankemeyer und Dr. Marc Köntges – über die aktuellen Entwicklungen. FOTO: CB

thal gearbeitet werde. Einen Überblick verschafften dem Minister die zuständigen Experten des Institutes. Beispielsweise vermittelte Dr. Raphael Niepelt die Bandbreite der „Spitzentechnologie aus Niedersachsen“ – ob bei der Photovoltaik die Grundlagenforschung über Weltrekorde bei den Solarzellen bis zur Zusammenarbeit mit Maschinenbauern und der Solarindustrie, um die Produkte auf den Markt zu bringen. Hinzu kommen würden Kopplung von Strom und Wärme, die Lang-

zeitspeicherung von Energie und digitale Vernetzung, aber auch die „smarte Integration“ etwa bei Gebäuden oder Fahrzeugen.

„Als eines der ersten europäischen Institute für die Solarenergieforschung hat das ISFH die Entwicklung im Bereich der anwendungsnahen Photovoltaik-Forschung national und international mit geprägt“, hatte die Wissenschaftliche Kommission Niedersachsen in diesem Jahr geurteilt. Im Auftrag des Wissenschaftsministeriums hatte eine

international besetzte Kommission in einem zweijährigen Verfahren unter anderem zwölf vom Land Niedersachsen getragene Forschungseinrichtungen untersucht. Das ISFH sei „ein Aushängeschild der niedersächsischen außeruniversitären Forschung“, heißt es in dem 2019 veröffentlichten Gutachten. Die Kommission empfahl allerdings unter anderem mehr festgestellte Beschäftigte in Emmerthal.

Bei dem Besuch des CDU-Ministers wollten vor Ort auch

die heimischen Landtagsabgeordneten Dirk Adomat (SPD) und Anja Piel (Grüne) nach eigenen Aussagen erneut für eine weitere finanzielle Stärkung des Institutes werben. Thümler verwies im Gespräch mit unserer Zeitung darauf, dass dies sicher wünschenswert sei. Allerdings: Die

3,6 Mio.

Euro beträgt derzeit die jährliche Förderung durch das Land.

Grundförderung des ISFH aus dem Haushalt des Ministeriums sei erst 2017 von 2,7 Millionen Euro jährlich um 900 000 Euro aufgestockt worden. Andere Forschungseinrichtungen in Niedersachsen hätten teilweise bislang noch nicht von einer höheren Förderung profitieren können.

Adomat teilte nach dem Gespräch mit, dass er zusammen mit Piel die Äußerung des Wissenschaftsministers begrüße, wonach Thümler die Notwendigkeit einer weiteren Stärkung des Instituts sehe und die Zusammenarbeit intensivieren wolle. Der SPD-Abgeordnete: „Dies ist ein wichtiger und vor allem richtiger Schritt der Landesregierung.“

WISSENSCHAFT SUCHT ANWENDUNGEN

„Preiswerterer Solarstrom hilft der Energiewende“

Welche Entwicklungen künftig bei der Solarstromerzeugung zu erwarten sind, darüber sprach E&M mit **Roif Brendel** vom Institut für Solarenergieforschung in Hameln (ISFH). **VON RALF KÖRKE**



ZUR PERSON

Roif Brendel, Geschäftsführer ISFH
Roif Brendel, Jahrgang 1961, ist seit 2004 wissenschaftlicher Leiter und Geschäftsführer des Instituts für Solarenergieforschung in Hameln/Ennevald (ISFH), einem An-Institut der Leibniz Universität Hannover. Er ist außerdem Professor an der Fakultät für Mathematik und Physik und Leiter der Abteilung Solarenergie am Institut für Festkörperphysik der Leibniz Universität Hannover. Der Physiker promovierte 1992 an der Technischen Fakultät der Universität Erlangen im Bereich optische Spektroskopie und erforschte dann am Max-Planck-Institut für Festkörperforschung in Stuttgart optische und elektrische Verlustmechanismen in Solarzellen. Danach übernahm Brendel 1997 die Leitung der Abteilung für Thermoelektrik und Photovoltaik des Bayerischen Zentrums für Angewandte Energieforschung e.V. (ZAE Bayern), wo er neue Technologien für die Herstellung von kostengünstigen Solarzellen entwickelte.

Brendel: Prognosen über Antriebspreise abzugeben, fällt mir schwer. Die Lebensperiode hängt nicht allein von der Technik ab, sondern beispielsweise bei Freiflächenanlagen auch von den Pachtpreisen vor Ort. Bei Dachanlagen liegen die Erzeugungspreise derzeit je nach Region in einem Korridor zwischen acht und zwölf Cent pro Kilowattstunde. Wenn wir in die Reichweite von fünf, sechs Cent können, wäre das schon eine enorme Entwicklung. Für vorstellbar halte ich das, will mich aber auf keinen Zeitpunkt dafür festlegen, wann es gelingt.

E&M: Inwiefern können Forschungen mit neuen Materialien diesem Prozess beschleunigen?

Brendel: Die Solarzelle, wie wir sie heute kennen, ist längst nicht mehr vorteilhaft zu verbessern. Wir vom ISFH haben vor Jahren beispielsweise damit beigetragen, dass die Rückseite einer Zelle eine angereicherte Passivierung mit Aluminiumoxid erhielt. Das hat den Wirkungsgrad um rund einen Prozentpunkt erhöht, sprich, in jeder modernen Solarzelle steckt auch ein ordentliches Stück Forschungsarbeit aus dem Westerbundland. Auf der Vorderseite wird bereits mit einer Polysiliziumbeschichtung gearbeitet, um den Wirkungsgrad weiter zu verbessern. Das ist heute auch etwas Neues, aber die Forschungen und die Umsetzungen in die Fertigung laufen. Mich würde es nicht wundern, wenn demnächst die Wafer wieder einmal zu dem Mittelpunkt des Forschungsinteresses rücken würden. Die Wafer sind derzeit noch relativ dick, damit sie beim Verarbeitungsprozess nicht kaputtgehen. Da sehe ich Verbesserungspotenzial. Meine Querschnittsleiter haben sich in den letzten Jahren weiter verändert, die Kosten gehen weiter runter, wenn die Industrie dafür einen entsprechenden Markt sieht.

„Das Bild der Solarzelle wird sich weiter verändern“

E&M: Wird es diesem Markt hierzulande geben, nachdem die Bundesregierung sich im Bundes-Klimapakt von höherem Ausbaudeckel in Höhe von 32.000 Megawatt versprochen hat und nun die installierte Solarleistung bis 2030 auf 98.000 Megawatt ausbauen will?

Brendel: Dem Markt wird es sicherlich gehen. Ich bin froh, dass dieser wilde Ausbaudeckel gibt. Ohne ihn können immer mehr Bundesbürger von der immer preiswerteren Solarerzeugung profitieren, und das möchte ich nicht nur von eigenem Dach, ich setze darauf, dass es wie angekündigt zu Verbesserungen beim Mieterstrom kommt. Der Einsatz der Photovoltaik wird für Tausende von Bundesbürgern eine finanzielle Entlastung und macht die Energiewende positiv erfahrbar. Das hilft der Akzeptanz des gesamten Maßnahmenpakets „Energiewende“.

E&M: Die Abschaffung des 32.000-Megawatt-Deckels ist also die richtige Entscheidung?

Brendel: Auf jeden Fall. Um so einer 100-prozentigen Versorgung mit erneuerbaren Energien zu kommen, brauchen wir einen massiven Ausbau der Photovoltaik. Der Deckel war das völlig falsche Signal, denn der Solarstrom kann so preiswert wie nie ist und noch preiswerter werden wird. Dabei ist

es unverzichtbar, dass der Energieerzeugung für die erneuerbaren Energien erhalten bleibt.

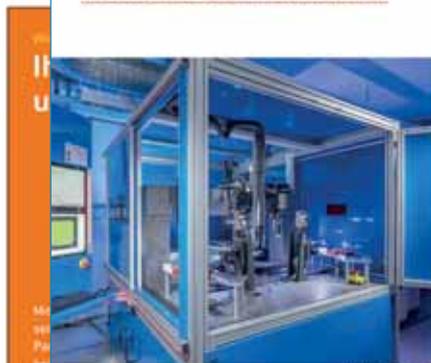
E&M: Im Krisen der erneuerbaren Energien mit derzeit die Sektorkopplung mit oben auf der Agenda. Was ist von der Zuse-Gemeinschaft zu erwarten (siehe Kasten d. Red.), damit diese Entwicklung an Fahrt gewinnt?

Brendel: In der Gemeinschaft arbeiten viele Institute an Projekten zur Transformation unseres Energiesystems. Während bei einigen, so wie bei uns, das Energiesystem schon im Namen steht, verlegt es sich bei anderen immer Technologiefeldern, die einen Querschnittscharakter haben wie etwa Werkstofftechnologie und Digitalisierung. Oder um in den Mittelpunkt zu stellen, kann ich sagen, dass wir uns am ISFH traditionell um die Strom- und Wärmeerzeugung von Gebäuden und Quartieren kümmern. Von uns gibt es Gutachten, die zeigen, dass eine kostengünstige regenerative Wärmeerzeugung einen massiven Ausbau von Wärmepumpen erfordert. Dessen müssen wir noch stärker als den Solar- und Windpiloten ausbauen. Wir brauchen derzeit ein Pro-

„In unseren Laboren haben wir bei Siliziumzellen bereits Wirkungsgrade von rund 26 Prozent erreicht. Was einen wirklich großen Schritt nach vorn bedeutet“

WISSENSCHAFT SUCHT ANWENDUNGEN

WISSENSCHAFT SUCHT ANWENDUNGEN



In den Solarzellenlabor hat es für in einem Laborfeld des ISFH gibt es weitere Ideen für den Wirkungsgrad der Zellen zu erhöhen

bleibung, in der nur Wärmepumpen für die Heizenergie eingesetzt werden sind. Unser Monitoring hat gezeigt, dass sich bereits heute zwei Drittel der Gesamtenergiebedarfs mit erneuerbaren Energien decken lassen – und zwar ohne den riesigen Speicher und in einer 20 Jahre alten Heizung. Das habe ich für eine gute Nachricht, denn viele Wärmepumpen von Umwandlern aus Deutschland gefertigt werden, was Arbeitgeber schafft und sichert.

„Bei der Sektorkopplung hakt es nicht beim Geld“

E&M: Reichen die heute bewilligten Forschungsgelder aus, um das Thema Sektorkopplung dynamisch voranzutreiben?

Brendel: Bei der Sektorkopplung hakt es nicht beim Geld. Sichtlich wünschen sich die Forschungseinrichtungen immer mehr finanzielle Unterstützung, keine Frage. Bei der Sektorkopplung ist es jedoch nicht allein mit Forschung getan. Es hakt immer Erachtem derzeit mehr bei der Ökonomie, der Akzeptanz und dem Befehlswesen. Wenn der Strom der biologisch sehr attraktiven Wärmepumpen über Gebäude mit Algalbiont belegt wird, dann wird der eigentlich dringende erforderliche schnelle Umbau der Heizungsleiter im Land nicht kommen. Über das Volumen für die Forschungsförderung können wir uns nicht beklagen. Für die gemeinwohligsten, unabhängigen Forschungsanstalten, die in der Zuse-Gemeinschaft vereinigt sind, gilt es aber, mehr Patenschaften in der Forschungsförderung zu bekommen. Denn um machen Beschäftigten bei den Rahmenbedingungen zu schaffen.

E&M: Was heißt das konkret?

Brendel: Die Forschungsgemeinschaft in Deutschland ist dankenswerterweise sehr vielfältig, wir profitieren in vielen Kooperationen davon. Bei der Mi-

teilvergabe werden aber wenige organisierte Förderstrukturen im Hinblick auf die Konstellation der Projektförderung deutlich bevorzugt behandelt. Kleineren Institute wie beispielsweise das ISFH bekommen einen großen Teil ihrer Gesamtkosten nicht als Förderungsleistung anerkannt. Das schließt dem Rest ein wenig wie über Eigenmittel finanziert. Das ist schon eine Ungleichbehandlung, die uns das Erhalten im Wachstum hemmt. Und die Forschungsgemeinschaft verliert dadurch die zusätzliche Effizienz, die ein Level Playing Field mit besserer Arbeitsverteilung. Forschungswettbewerb bedingt. Außerdem führt dieses Förderwesen zu einer Konzentration in der Forschungsgemeinschaft und quasi zum Ausschließen des Forschungsmittelstands.

E&M: Was haben Sie aus Sicht des Forschers in dem kommenden zwei, drei Jahren für das Gelingen der Energiewende für wichtig?

Brendel: Die Energiewende hat eine stark technische, aber auch eine stark nicht-technische Seite. Zur nicht-technischen Seite gehört das Umdenken jeder und jedes Einzelnen von uns, aber auch das Schaffen von Organisationsstrukturen, die die Energiewende nicht länger aufwanden. Auf der technischen Seite gibt es auch noch sehr viel zu tun. Wir haben zwar mittlerweile technisch hervorragende Komponenten wie Solarzellen, Windenergieanlagen, Batterien oder Elektrolyseure. Aber diese Technologien sind in zumeist Entwicklung. Wer sich auf dem Forschungsgebiet von gestern bewegt, wird an dem Wirtschaftlichen von morgen sicher nicht teilhaben. Wir brauchen daher bei der Komponentenentwicklung auch in wirtschaftlich schwierigen Zeiten, die beispielsweise die Solarzelle gerade durchmacht, Kreativität und müssen die Expertise in Land behalten und weiterentwickeln. Ohne Top-Berating gibt es auch keine Topprodukte Made in Europe. **E&M**

Die Zuse-Gemeinschaft

Konrad Zuse, Schöpfer des ersten frei programmierbaren Rechners und damit so etwas wie der Vater der heutigen Computertechnik, ist Namensgeber der 2015 gegründeten Zuse-Gemeinschaft, zu der sich mehr als 70 Forschungsinstitute verschiedener Fachrichtungen heranzule vereint haben. Die Institute verstehen sich als die „professionellen und kreativen Mitarbeiter des deutschen Mittelstands“ und als Plattform für industrielle Forschung. Im Gegensatz zu den Hochschulen und den von Bund und Bundesländern gemeinsam geführten Forschungseinrichtungen fehlt den meisten des Bundes nicht grundfinanzierten Instituten der Zuse-Gemeinschaft oft nicht nur der politische Rückhalt, sondern auch eine dauerhafte Förderung über einen eigenen Teil aus dem Bundeshaushalt. Deshalb hat die Zuse-Gemeinschaft ein Positionspapier erarbeitet, um auf den Missstand aufmerksam zu machen. Aus dem Energieerzeuger gehören unter anderem das Institut für Solarenergieforschung (ISFH) und das Bayerische Zentrum für Angewandte Energieforschung e.V. (ZAE) zur Zuse-Gemeinschaft.

DEWEZET 3.12.2019

Anpacker: Aktiv gegen den Klimawandel

VON FRANK HENKE

Der Klimawandel ist nicht nur ein Thema für den UN-Gipfel in Madrid. Auch im Weserbergland bemühen sich Menschen an verschiedenen Stellen, seine Auswirkungen zu begrenzen oder mit seinen Folgen umzugehen.

Neue Energie

Das Thema erneuerbare Energien hat in Hameln-Pyrmont schon seit drei Jahrzehnten eine Prestige-Adresse: das Institut für Solarenergieforschung Hameln (ISFH) am Ohrberg. „In jeder heute verkauften Solarzelle steckt ein gutes Stück niedersächsische Forschung“, sagt Dr. Raphael Niepelt vom ISFH. Die heutige Beschichtung der Solarzellen wurde maßgeblich in Hameln mitentwickelt. Das Institut mit seinen aktuell 160 Mitarbeitern trage dazu bei, die Sonnenenergie günstiger zu machen. Aber auch an Solarthermie und Wärmepumpen wird in Ohr geforscht.

Dennoch: Bei der Nutzung der Solarenergie im Landkreis steht der Wissenschaftler noch „viel Luft nach oben“. Im Niedersachsenvergleich stehe Hameln-Pyrmont – wie auch die Nachbarkreise Holzminden und Schaumburg – nicht gut da, und Niedersachsen wiederum sei dann noch einmal bundesweit „eher hinten an“. Ob auch auf

dem eigenen Hausdach ungenutztes Potenzial schlummert, verrät nun ein Solarportal auf hameln-pyrmont.de. Hier ist für jedes Haus im Landkreis sichtbar, ob und wo sich ein Dach für Photovoltaik oder Solarthermie nutzen ließe.

In der Landschaft auffälliger als Solarpanels sind Windkraftanlagen. 71 drehen sich in Hameln-Pyrmont, verteilt auf die Landkreisläche von 796 Quadratkilometern. Weitere sollen folgen. Sieben davon stehen in Hessisch Oldendorf, 14 in Aerzen, zehn in Bad Pyrmont, 14 in Emmerthal, fünf in Salzhemmendorf, fünf in Hameln und die klar meisten, 22 Anlagen, in Coppenbrügge. Halb so vie-

le wie in Hameln-Pyrmont – nämlich 36, stehen im Landkreis Holzminden.

In Hameln lag der Anteil der regenerativen Energien am Stromverbrauch im Jahr 2015 bei beeindruckenden 56 Prozent, bei der Wärmeerzeugung bei 21 Prozent. Die fünf Hamelner Windkraftanlagen waren damals noch nicht mal in Betrieb. Der Landkreis Hameln-Pyrmont brachte es beim Strom damals sogar auf 58 Prozent regenerative Energie, heißt es in einem Papier zum „Masterplan 100% Klimaschutz“, dem sich die Landkreise Schaumburg, Holzminden und Hameln-Pyrmont verschrieben haben.

Der hohe regenerative Anteil beim Strom erklärt sich jedoch weniger durch rege Wind- und Sonnennutzung: Jährlich werden in Hameln von der Enertec rund 100 000 Tonnen Altholz verbrannt – und damit Strom erzeugt. „Inzwischen dürfte aber auch der Anteil anderer regenerativer Energieträger deutlich gestiegen sein“, sagt Stefan Welling, Klimaschutzbeauftragter der Stadt Hameln.

Anders mobil

Könnte ein Drittel der Bevölkerung in Hameln-Pyrmont auf einen öffentlichen Bus umsteigen, so würde der CO₂-Ausstoß um 10 Prozent sinken. Das zeigt eine Studie des Instituts für Solarenergieforschung Hameln (ISFH).



Das ISFH in Ohr. FOTO: DANA



DEWEZET 22.6.2019



Blick in die Technologiehalle: Die Panoramaaufnahme zeigt die vielfältigen technischen Voraussetzungen am Solarforschungsinstitut.

FOTO: ISFH

Forschungsinstitut als „Aushängeschild“

Expertenkommission stellt ISFH gutes Zeugnis aus / Bereich Photovoltaik national und international mit geprägt

VON CHRISTIAN BRANAHL

EMMERTHAL. Dass die Solarenergie weltweit auf dem Vormarsch ist, sehen die heimischen Wissenschaftler mit als Ergebnis ihrer Arbeit. „An unserem niedersächsischen Institut für Solarenergieforschung in Hameln/Emmerthal (ISFH) arbeiten wir seit über 30 Jahren konsequent an Lösungen für die solaren Beiträge zur Energiewende“, schreibt Prof. Dr.-Ing. Rolf Brendel im soeben veröffentlichten Jahresbericht 2018. Der wissenschaftliche Leiter und Geschäftsführer des Instituts weiter: „Die 30 Jahre Arbeit haben sich gelohnt, denn wir haben wesentlich dazu beitragen können, dass heute kostengünstige solare Systemkonfigurationen angeboten werden.“

Mit Erfolg seien Effizienz, Kosten und Akzeptanz stetig verbessert worden. Solarenergie sei heute die Technologie mit den geringsten Energie-

entstehungskosten. „Und das nicht nur in sonnenreichen Gebieten der Welt, sondern auch bei uns“, erklärt Brendel zum Einsatz in Niedersachsen. „Eine gute Nachricht, weil die Verfügbarkeit von günstigen und nachhaltigen Erzeugungstechnologien den dringend benötigten Umbau unseres Energiesystems enorm erleichtert.“

Dass die Emmerthaler Experten einen besonders guten Ruf genießen, bekommen sie von kompetenter Seite bestätigt. „Als eines der ersten europäischen Institute für die Solarenergieforschung hat das ISFH die Entwicklung im Bereich der anwendungsnahen Photovoltaik-Forschung national und international mit geprägt“, urteilt die Wissenschaftliche Kommission Niedersachsen. Im Auftrag des Wissenschaftsministeriums

hatte eine international besetzte Kommission in einem zweijährigen Verfahren unter anderem zwölf vom Land Nie-

dersachsen getragene Forschungseinrichtungen untersucht. Das ISFH sei „ein Aushängeschild der niedersächsischen außeruniversitären Forschung“, heißt es in dem 2019 veröffentlichten Gutachten.

Themen bergen auch große wirtschaftliche Chancen für den Erfolg unseres Industriestandortes.

Prof. Dr.-Ing. Rolf Brendel
Leiter des ISFH

Laut Jahresbericht standen dem Institut 2018 mit einem Etat von 12,13 Millionen Euro wieder höhere Einnahmen zur Verfügung – die höchste Summe seit dem Rekordjahr 2010. Mit 155 Beschäftigten steigt die Mitarbeiterzahl wieder auf das Niveau früherer Jahre. „Das ISFH forscht auf einem gesellschaftlich höchst relevanten Gebiet, arbeitet stark anwendungsorientiert und da-

bei intensiv mit der Industrie zusammen“, heißt es im Bericht der Kommission, die allerdings mehr festangestellte Beschäftigte in Emmerthal empfiehlt. Über das Institut schreibt sie weiter: „Es ist von großer wirtschaftlicher und wissenschaftlicher Bedeutung für die Region, ferner für die Forschungslandschaft Niedersachsen und für die nationale und europäische Solarenergieindustrie.“

Dass diese Ergebnisse in Emmerthal ein großes Echo finden, ist naheliegend. „Diese positiven Bewertungen sind uns ein Ansporn für die Zukunft“, schreibt Prof. Brendel im Jahresbericht. „Wir hoffen, dass sie auch ein Anlass für eine beherzte Weiterentwicklung und Stärkung des Instituts sein werden, in einer Zeit, in der wir Forschungsergebnisse zur weiteren Reduktion der Kosten von erneuerbaren Energiesystemen dringender brauchen denn je.“

Dass die heimischen For-

scherscher 2018 erneut mit wissenschaftlichen Ergebnissen ihren Teil zur Energiewende beigetragen haben, dokumentieren sie in dem Jahresbericht auf 104 Seiten. „Es gibt für die Forschung noch viel zu tun“, verweist der Leiter auf einzelne Bereiche. Dabei gelte es, Materialien noch billiger zu machen, den Wirkungsgrad von Komponenten durch Kombination von Materialien wesentlich zu steigern oder Photovoltaik-Module vielfältiger herstellen, so dass sie zukünftig auch neue Anwendungen beispielsweise in Elektroautos finden könnten. Eine Energiewende ohne den Wärmebereich, die Kopplung von Strom und Wärme, die Langzeitspeicherung von Energie und digitale Vernetzung werde es nicht geben können. „Also muss hier intensiv entwickelt werden“, erklärt Brendel. „Und alle diese Themen bergen auch große wirtschaftliche Chancen für den Erfolg unseres Industriestandortes.“

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

Dittrich, Arne, M.Sc. Physik, Abteilung Solare Systeme, ☎ 05151-999-635, a.dittrich@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

Gemmel, Catherin, M.Sc., Abteilung Photovoltaik, ☎ 05151-999-430, c.gemmel@isfh.de

Giovannetti, Federico, Dr.-Ing., Diplom-Ingenieur, Abteilungsleiter Solare Systeme, ☎ 05151-999-501, f.giovannetti@isfh.de

Goslich, Roland, Dr., Diplom-Chemiker, Öffentlichkeitsarbeit, ☎ 05151-999-302, r.goslich@isfh.de

Haase, Felix, Dr., Diplom-Physiker, Abteilung Photovoltaik, ☎ 05151-999-313, f.haase@isfh.de

Kajari-Schröder, Sarah, Dr., Diplom-Physikerin, Abteilung Photovoltaik, ☎ 05151-999-414, s.kajari-schroeder@isfh.de

Knoop, Michael, M.Sc.

Köntges, Marc, Dr., Diplom-Physiker, Abteilung Photovoltaik, ☎ 05151-999-432, m.koentges@isfh.de

Kruse, Christian, M.Sc. Physik

Lampe, Carsten, Diplom-Ingenieur, Abteilung Solare Systeme, ☎ 05151-999-522, c.lampe@isfh.de

Lim, Bianca, Dr., Diplom-Physikerin, Abteilung Photovoltaik, ☎ 05151-999-403, b.lim@isfh.de

Mertens, Verena, Dr., Diplom-Chemikerin, Abteilung Photovoltaik, ☎ 05151-999-315, v.mertens@isfh.de

Min, Byungsul, Dr.-Ing., Diplom-Ingenieur, Abteilung Photovoltaik, ☎ 05151-999-644, b.min@isfh.de

Napp, Volker, Oberstudienrat, Lehrerfortbildung, ☎ 05151-999-100, nils@isfh.de

Niepelt, Raphael, Dr., Diplom-Physiker, Abteilung Photovoltaik, ☎ 05151-999-403, r.niepelt@isfh.de

Ohrdes, Tobias, Dr., Diplom-Physiker, Abteilung Solare Systeme, ☎ 05151-999-505, t.ohrdes@isfh.de

Pärisch, Peter, Diplom-Ingenieur, Abteilung Solare Systeme, ☎ 05151-999-645, p.paerisch@isfh.de

Peibst, Robby, Prof. Dr., Diplom-Ingenieur, Abteilung Photovoltaik, ☎ 05151-999-313, r.peibst@isfh.de

Reineke-Koch, Rolf, Dr., Diplom-Physiker, Abteilungsleiter Solare Systeme, ☎ 05151-999-431, r.reineke-koch@isfh.de

Schäfer, Sören, Dr., Diplom-Physiker, Abteilung Photovoltaik, ☎ 05151-999-634, s.schaefer@isfh.de

Schanz, Wolf-Rüdiger, Oberstudienrat, Lehrerfortbildung, ☎ 05151-999-100, nils@isfh.de

Schinke, Carsten, Dr., Diplom-Physiker, Abteilung Photovoltaik, ☎ 05151-999-632, c.schinke@isfh.de

Schmidt, Jan, Prof. Dr., Diplom-Physiker, Abteilungsleiter Photovoltaik, ☎ 05151-999-425, j.schmidt@isfh.de

Schneider, Elisabeth, M.Sc., Abteilung Photovoltaik, ☎ 05151-999-646, e.schneider@isfh.de

Schulte-Huxel, Henning, Dr., M.Sc., Abteilung Photovoltaik, ☎ 05151-999-414, h.schulte-huxel@isfh.de

Tittel, Frank, Oberstudienrat, Lehrerfortbildung, ☎ 05151-999-100, nils@isfh.de

Vogt, Malte Ruben, Dr., M.Sc. Physik, m.r.vogt@tudelft.nl

Walter, Dominic, Dr., Diplom-Physiker, Abteilung Photovoltaik, ☎ 05151-999-424, d.walter@isfh.de

Impressum

Gestaltung/Design

Dipl. Grafik-Designerin Catharina Zeropa-Stangenberg, caze • werbung & kommunikation, Hameln, www.caze.de
Dr. Roland Goslich, ISFH Öffentlichkeitsarbeit

Redaktionsadresse/Editorial office address

Institut für Solarenergieforschung Hameln
– Öffentlichkeitsarbeit –
Am Ohrberg 1
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

30.3.2020

Druck/Print

Wanderer Werbedruck GmbH, Ronnenberg, www.wanderer-druck.de

Papier/Paper

Der Jahresbericht wurde auf chlorfrei gebleichtem Papier gedruckt. Umschlag: Chlorfrei gebleicht, glänzend gestrichen.
[The annual report was printed on chlorine-free bleached paper. Cover: chlorine-free bleached, glossy coated.](#)

Bildquellen/Origin of photo material

Bild A, Seite 8: Fotodesign/BFF Andreas Braun, Hameln. Bilder B, D, 21, 28, 50, Seiten 1, 6, 15, 32/33, 119: Salzmann PhotoDesign, Bad Münde. Bilder E, 7, 76, 80, Seite 93: Jan Blachura, Hannover. Bilder 26, 34-38, 42, 43, 45, 46, 49: Gestaltung und Überarbeitung durch caze • werbung & kommunikation, Hameln. Seite 23: H. Memming, Hamburg. Bilder 47, 48: Peter van Nijnatten, OMT Solutions. Seite 83: Umweltstiftung Niedersachsen. Seiten 84/85: D. Brendel, Hastenbeck. Alle übrigen Bilder: ISFH.

[Image A, page 8: Fotodesign/BFF Andreas Braun, Hameln. Images B, D, 21, 28, 50, pages 1, 6, 15, 32/33, 119: Salzmann PhotoDesign, Bad Münde. Images E, 7, 76, 80, page 93: Jan Blachura, Hannover. Images 26, 34-38, 42, 43, 45, 46, 49: Design and revision by caze • werbung & kommunikation, Hameln. Page 23: H. Memming, Hamburg. Images 47, 48: Peter van Nijnatten, OMT Solutions. Page 83: Umweltstiftung Niedersachsen. Pages 84/85: D. Brendel, Hastenbeck. Alle übrigen Bilder: ISFH.](#)

Urheberrecht/Copyright

Vervielfältigung oder Abdruck von Teilen dieses Berichtes grundsätzlich nur mit vorheriger schriftlicher Einwilligung der Redaktion.
[Duplication or reproduction even of parts of this report only with previous written consent of the editorial office.](#)

Danksagung/Acknowledgment

Allen Mitarbeitern, die zum aktuellen Jahresbericht beigetragen haben, sei an dieser Stelle herzlich gedankt. Ein besonderer Dank geht an Nicholas Moon aus Hameln für seine freundliche und professionelle Unterstützung.

[Thank to all colleagues, who have contributed to this annual report. Our particular gratitude goes to Nicholas Moon from Hameln for his kind and professional support.](#)



Abbildung/Figure 75:

Das Experimentier-Highlight des Jahres: Schüler besuchen den ISFH-Stand auf der *IdeenExpo 2019* und lernen hier beispielsweise, wie der Wirkungsgrad einer Solarzelle bestimmt wird.

The experimentation highlight of the year: school students visiting the ISFH stand at the *2019 IdeenExpo* and, for example, here learning how the efficiency of a solar cell is determined.

Abbildung/Figure 76:

Gruppenfoto anlässlich des Besuchs vom Wissenschaftsminister (v.l.n.r.): Dirk Adomat (MdL), Anja Piel (MdL), Björn Thümler (Niedersächsischer Wissenschaftsminister), Dr. Raphael Niepelt (ISFH), Wolfgang Gaßdorf (ISFH).

Group photo on the occasion of the visit of the Science Minister (f.l.t.r.): Dirk Adomat (Member of the Landtag), Anja Piel (Member of the Landtag), Björn Thümler (Lower Saxon' Minister of Science & Culture), Dr. Raphael Niepelt (ISFH), Wolfgang Gaßdorf (ISFH).

Abbildung/Figure 77:

In diesem Jahr war das ISFH auf der Weltleitmesse für Wasser, Wärme, Klima (ISH) in Frankfurt erstmals mit einem eigenen Stand vertreten.

This year ISFH was represented for the first time with its own stand at the world's leading fair for water, heating and air conditioning (ISH) in Frankfurt.

Abbildung/Figure 78:

Eine Mitarbeiterin vom ISFH gibt Auskunft über FLOIS (Fluorescence Outdoor Inspection System). Das ist das vom ISFH entwickelte Modul Inspektions-System, mit dem Freifeld-PV-Anlagen sehr rasch auf Beschädigungen untersucht werden können.

An ISFH staff member giving information about FLOIS. This is the Fluorescence Outdoor Inspection System developed by ISFH, with which free field PV systems can be checked for damages very rapidly.

Abbildung/Figure 79:

Sportlich, sportlich: Mitarbeiter des ISFH vor/nach ihrer Teilnahme am 32. Hamelner Stadt-Galerielauf im März 2019.

Sporty, sporty: ISFH staff before/after participating in the 32nd Hamelin city gallery run in March 2019.

Abbildung/Figure 80:

Besuch des Niedersächsischen Wissenschaftsministers Björn Thümler (Mitte), hier im *SolarTeC* an einem Modul-Stringer.

Visit of the Lower Saxon Science Minister, Björn Thümler (center), here in the *SolarTeC* at a module stringer.



ISEFH

Innovation with impact

Prüfstand für Durchfluss-Trinkwassererwärmer bis zu einem Durchsatz von 100l/min. inklusive Zirkulation.
Test stand for flow-through drinking water heaters up to a flow rate of 100l/min. including circulation.



Innovation with impact

**Institut für
Solarenergieforschung
Hameln**

2 0 1 9

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