

JAHRESBERICHT

ANNUAL REPORT

202234



An-Institut der

Institut für Solarenergieforschung Hameln



Leibniz
Universität
Hannover

Leitbild

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

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

Ausbildung. Wir geben Studierenden, Techniker*innen, Ingenieur*innen und Wissenschaftler*innen die Chance zur Aus- und Weiterbildung in einer hervorragenden Forschungsinfrastruktur. So geben wir dem Wandel zu einer nachhaltigen Energieversorgung ein solides wissenschaftliches Fundament.

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

Mission statement

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

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

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

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

Innovationwithimpact

Hinweise zu den Umschlagbildern/About the cover images:

- A: Teststand für fassadenintegrierte photovoltaisch-thermische (PVT) Solarmodule.
Test stand for façade-integrated photovoltaic thermal (PVT) solar modules.
- B: Schattenmaske aus Glas für die lokale Abscheidung von polykristallinem Silizium.
Glass shadow mask for the local deposition of polycrystalline silicon.
- C: CO₂-Laser für das Zuschneiden verschiedener Materialien für maßgeschneiderte PV-Module.
CO₂ laser for cutting various materials for customized PV modules.
- D: Verdampfungsanlage für Transport- und Elektroden-schichten.
Evaporation system for transport and electrode layers.
- E: Wissenschaftsminister Falko Mohrs zu Besuch am ISFH.
Minister of Science Falko Mohrs visits ISFH.



A

B

C

D

E



JAHRESBERICHT

ANNUAL REPORT

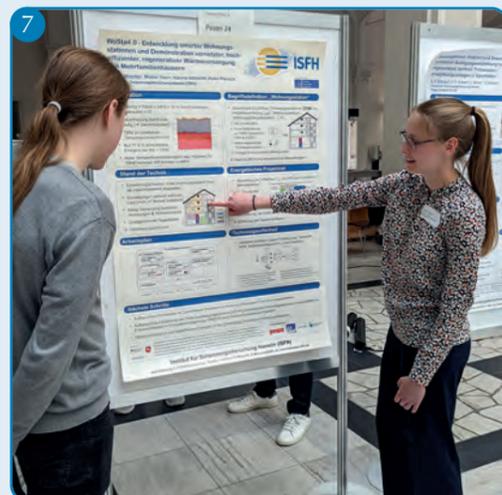


Forschungslinie für die automatisierte Produktion maßgefertigter PV-Module.
Research line for the automated production of customized PV modules.

An-Institut der

Institut für Solarenergieforschung Hameln





Abbildung/Figure 2: Wissenschaftsminister Falko Mohrs legt eine Solarzelle auf den Messtisch im ISFH CalTeC Solar Cells.
Minister of Science Falko Mohrs places a solar cell on the measuring table at ISFH CalTeC Solar Cells.

Abbildung/Figure 3: Die Teilnehmerinnen und Teilnehmer des „Konzernforums Energiemanagement“ der Salzgitter AG zu Besuch am ISFH.
The participants of the „Energy Management Group Forum“ of Salzgitter AG visiting ISFH.

Abbildung/Figure 4: Ministerpräsident Stefan Weil (links) bekommt die am ISFH entwickelte POLO BJ-Solarzelle präsentiert.
Minister President Stefan Weil (left) is presented with the POLO BJ solar cell developed at ISFH.

Abbildung/Figure 5: Dr. Thorsten Dullweber (Mitte) und Prof. Rolf Brendel (links) erläutern Ministerpräsident Stefan Weil (rechts), wie die Flächen von Siliziumwafern in den letzten Jahren zugenommen haben.
Dr. Thorsten Dullweber (center) and Prof. Rolf Brendel (left) explain to Minister President Stefan Weil (right) how the area of silicon wafers has increased in recent years.

Abbildung/Figure 6: Thomas Wagner (rechts) übergibt einen Miniatur-Kollektor an ISFH-Mitarbeiter Julian Jensen (links) für den Einsatz in Ausbildung und Lehre.
Thomas Wagner (right) hands over a miniature collector to ISFH employee Julian Jensen (left) for use in training and teaching.

Abbildung/Figure 7: Karina Albrecht erläutert ihre aktuelle Forschungsarbeit beim „Tag der Energieforschung 2023“.
Karina Albrecht (right) explains her current research work at the „Energy Research Day 2023“.

Streiflichter ♦ At a glance	2
Inhalt ♦ Contents	4
Vorwort ♦ Preface	6
1 Institut für Solarenergieforschung	8
Kurzportrait ♦ Brief portrait	8
Organisation ♦ Organization	11
Abteilung Photovoltaik ♦ Photovoltaics department	11
Abteilung Solare Systeme ♦ Solar systems department	15
Calibration & Test Center (CalTeC)	17
Zentrale Dienste ♦ Central services	19
Aufsichtsrat ♦ Supervisory Board	21
Wissenschaftlicher Beirat ♦ Scientific Advisory Board	22
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 ♦ Photovoltaics department	34
Plasma-unterstützte chemische Gasphasenabscheidung von SiO_xN_y Grenzflächenoxiden für <i>n</i> -Typ Polysilizium passivierende Kontakte	34
Plasma enhanced chemical vapor-deposition of SiO_xN_y for <i>n</i>-type polysilicon on oxide passivating contacts	
Drastische Reduktion des Silberverbrauches durch Aluminiummetallisierung – Lösungen zur Modulintegration neuartiger POLO Back Junction-Solarzellen	37
Drastic reduction in silver consumption through aluminum metallization - solutions for module integration of novel POLO back junction solar cells	
Innovative schnelle Charakterisierungsmethode zum Finden von Fehlern in großen PV-Anlagen	40
Innovative, fast characterisation method for finding faults in large PV systems	
3D-Lamination für die flexible Produktion von verschiedenartig gekrümmten PV-Modulen	43
3D lamination for flexible manufacturing of variously curved PV modules	

Abteilung Solare Systeme ♦ Solar systems department	46
Viel Sonne in Niedersachsen - Ein detaillierter Blick auf die niedersächsischen Dächer	46
Lots of sun in Lower Saxony - A detailed look at the roofs of Lower Saxony	
Einsatz der Building Information Modeling-Methode (BIM) am Beispiel einer innovativen PVT-Fassade	49
Building Information Modeling method (BIM) for an innovative PVT façade	
Effiziente Trinkwarmwasserbereitung in Mehrfamilienhäusern mit Wärmepumpen	52
Efficient domestic hot water preparation in multi-family houses with heat pumps	
Teststand für Protonen-Austausch-Membran-Elektrolyseure	56
Testbench for Proton Exchange Membrane electrolyzers	
4 Weiterbildung ♦ Education	60
Akademische Ausbildung ♦ Academic education	60
NILS – Die Lernwerkstatt am ISFH ♦ NILS – The Learning Workshop at ISFH	64
5 Dokumentation ♦ Documentation	72
Partner aus Universitäten & Forschungseinrichtungen ♦ Partners from universities & research facilities	72
Inland ♦ National	72
Ausland ♦ International	73
Partner aus Industrie, Planung & Entwicklung ♦ Partners from industry, planning & development	74
Inland ♦ National	74
Ausland ♦ International	77
Institutsmitgliedschaften ♦ Institute memberships	78
Mitarbeit in Fachgremien ♦ Membership in professional bodies	78
Ausstellungen & Fachtagungen ♦ Fairs & congresses	79
Veröffentlichungen in referierten Zeitschriften ♦ Peer-reviewed publications	79
Andere Veröffentlichungen ♦ Other publications	81
Vorträge & Poster ♦ Oral & visual presentations	82
Studien- & Bachelorarbeiten ♦ Student research projects & bachelor theses	86
Diplom- & Masterarbeiten ♦ Diploma & master theses	86
Doktorarbeiten ♦ Ph.D. theses	87
Lehrveranstaltungen ♦ Lectures	87
Preise & Auszeichnungen ♦ Awards	87
6 Presse ♦ Press	88
Streiflichter ♦ At a glance	96
7 Autoren ♦ Authors	98
8 Impressum ♦ Impress	99

Der Anteil erneuerbarer Energie an der Stromerzeugung in Deutschland betrug 2023 nach den neusten Zahlen der AG Energiebilanzen e. V. ermutigende 53%. Die Erneuerbaren deckten aber nur 20% unseres Primärenergieaufwands, denn unsere Energie beziehen wir nicht nur aus der Steckdose, sondern auch aus der Gasleitung und an der Tankstelle. Wir sind daher noch ziemlich weit davon entfernt, die Energiewende zu vollenden.

Besonders beim Heizen und beim Verkehr sind wir noch viel zu fossil unterwegs. Um hier besser zu werden und erneuerbare Energie nutzen zu können, brauchen wir eine Elektrifizierung dieser Bereiche durch Wärmepumpen und E-Mobilität. In Verbindung mit dem weiteren Ausbau der erneuerbaren Energien, der im letzten Jahr rasant an Fahrt aufgenommen hat, können wir so die Energiewende deutlich voranbringen.

Strom aus Photovoltaik (PV) ist heute schon die günstigste Energieform und wird Dank des weiteren technischen Fortschritts auch die Energiequelle der Menschheit werden. Ohne Photovoltaik gibt es kein kostengünstiges und umweltfreundliches Energiesystem.

Photovoltaikzellen mit hohem Wirkungsgrad in Bruchteilen einer Sekunde zu produzieren, ist eine Hochtechnologie, in deren Entwicklung der asiatische Wettbewerb jährlich viele Milliarden Euro investiert. Das ist sinnvoll, denn die Photovoltaik ist unser 'Öl der Zukunft'. Sie hat deshalb ein enormes wirtschaftliches Potenzial und bietet ein strategisches Machtpotenzial, das umso größer ist, je monopolisierter das High-Tech-Wissen um Grundlagen und Fertigungstechnologie ist. Jetzt werden die Märkte verteilt. In diesem Wettstreit steht Europa derzeit nicht gut da. Umso wichtiger ist es, jetzt Forschung und Fertigung in Europa voran zu bringen.

Dies hat die niedersächsische Landesregierung erkannt. Das ISFH und seine vorwiegend niedersächsischen Forschungspartner erhielten im Jahr 2023 Projektzusagen über insgesamt 22 Millionen Euro vom Land aus dem Programm zukunft.niedersachsen. Damit werden wir in den kommenden fünf Jahren unser Know-how über kostengünstige und materialsparende Fertigung sehr effizienter Solarzellen aus kristallinem Silizium weiter ausbauen. Wir werden endlich unsere 15 Jahre alte Fertigungslinie durch eine hochmoderne voll digitalisierte Fertigungslinie für Solarzellen ersetzen und so die Attraktivität des Standorts wesentlich steigern. Für die Förderungen im Forschungsbereich regenerative Gebäudeenergieversorgung kann die im April 2023 neu gegründete Arbeitsgruppe 'Wärmepumpen' Infrastruktur zur Vermessung von Wärmepumpen aufbauen, welche stark von unseren Industriepartnern nachgefragt wird.



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

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

According to the latest figures from AG Energiebilanzen e. V., renewable energy accounted for an encouraging 53% of electricity generation in Germany in 2023. However, renewables only covered 20% of our primary energy consumption, as we get our energy not only from the power socket, but also from the gas pipeline and at the car filling station. We are therefore still a long way from completing the energy transition.

Especially when it comes to heating and transportation, we are still using far too much fossil energy. To improve here and be able to use more renewable energy, we need to electrify these areas through heat pumps and e-mobility. In conjunction with the further expansion of renewable energies, which has picked up speed rapidly in the last year, we can make significant progress with the energy transition.

Electricity from photovoltaics (PV) is already the cheapest form of energy today and, thanks to further technical progress, will also become the energy source of mankind. Without photovoltaics, there can be no cost-effective and environmentally friendly energy system.

Producing high-efficiency photovoltaic cells with high yield in fractions of a second is a high technology in whose development Asian competitors invest many billions of euros every year. This makes sense, because photovoltaics is the 'oil of the future'. It has enormous economic potential and also offers strategic power potential, which is all the greater the more monopolized the high-tech knowledge of basic principles and production technology is. The markets are now being distributed! Europe is currently not in a good position on this. The current situation makes it all the more important to intensify research and fabrication in Europe!

The state government of Lower Saxony has recognized this. ISFH and its predominantly Lower Saxon research partners have received project commitments totaling 22 million euros in 2023. Over the next five years, we will use this to further expand our expertise in the cost-effective and material-saving production of highly efficient solar cells made from crystalline silicon. To this end, we are now in the position to replace our 15-year-old production line with a state-of-the-art, fully digitalized production line for solar cells, thereby significantly increasing the attractiveness of the site. For funding in the research area of renewable building energy supply, the 'Heat Pumps' working group, which was newly established in April 2023, can now build up infrastructure for measuring heat pumps, which is in high demand from our industrial partners."

Die modernisierte Forschungsinfrastruktur wird mit zusätzlichem Aufwand für deren langfristigen Unterhalt verbunden sein. Wir alle am ISFH hoffen deshalb sehr, dass die schon erfolgte Weichenstellung hin zu einer Stärkung des Instituts für Solarenergieforschung im nächsten Jahr durch eine angepasste institutionelle Förderung vollends abgesichert werden kann. So aufgestellt werden wir auch die Ansiedlung von PV-Industrie, die eines des Kernziele des 8. Energieforschungsprogramms des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz ist, sehr effizient unterstützen können.

Eine andere stärkende Entwicklung ist, dass die Leibniz Universität Hannover (LUH) ihre Energieforschung zu einem ihrer Forschungsschwerpunkte erklärt hat. Mit der LUH ist das ISFH durch gemeinsame Berufungen und durch gemeinsame Projektforschung seit vielen Jahren verbunden. Der Themenschwerpunkt des diesjährigen Tags der Energieforschung der LUH wird die Solarenergie sein. Eine gestärkte Energieforschung der LUH und die neue Forschungsinfrastruktur des ISFH sind gut für beide Seiten, denn beide Seiten haben sich ergänzende Kompetenzen und Ziele: Hier exzellente Grundlagenforschung, dort exzellente angewandte Forschung. Hier und dort exzellente Ausbildung. Hier und dort eine fruchtbare Wirtschaftskooperation, welche die Energiewende voranbringt: *Innovation with impact*.

Allen, die zu dem heute schon Erreichten beigetragen haben, danke ich herzlichst. Besonders danken möchte ich dieses Jahr für die große Unterstützung des niedersächsischen Ministeriums für Wissenschaft und Kultur durch Förderungen aus dem Programm zukunft.niedersachsen. Ich danke sehr für die Unterstützung aus dem niedersächsischen Umwelt- und dem niedersächsischen Wirtschaftsministerium im Hinblick auf eine regionale PV-Ansiedlung. Alle unsere Arbeiten fußen auf einer langjährigen Kooperation mit Firmen des Maschinenbaus und Firmen aus den mit unserer Forschung verbundenen Branchen Solarenergie, Heizungstechnik und Energiewirtschaft. Viele dieser Projekte wurden vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz gefördert. Die von der Europäischen Union geförderten Projekte waren von großer Bedeutung für unsere internationale Vernetzung. Schließlich ist die Energiewende kein nationales, sondern ein weltweites Projekt. Und last but not least: Die direkte Finanzierung von Entwicklungsaufträgen durch unsere Industriepartner hält uns in Bezug auf die Marktrelevanz unserer Forschung auf Kurs.

Mein besonderer Dank gilt den Mitarbeiter*innen unseres Instituts für die erzielten Erfolge unter immer herausfordernderen Umständen.

Ihnen, liebe Leserinnen und Leser, wünsche ich viel Vergnügen bei der Lektüre unseres Jahresberichts, der Ihnen ausgewählte Ergebnisse unserer Forschung zu den Themen Photovoltaik und regenerative Gebäudeenergieversorgung präsentiert.

4. April 2024

The modernized infrastructure will entail additional costs for its long-term maintenance. All of us at ISFH therefore very much hope that the course that has already been set to strengthen the Institute for Solar Energy Research can be fully secured next year through adjusted institutional funding. This way, we will be able to efficiently support the establishment of the PV industry, which is incidentally one of the core objectives of the 8th Energy Research Program of the Federal Ministry of Economic Affairs and Climate Action.

Another strengthening development is that Leibniz Universität Hannover (LUH) has declared its strong energy research to be one of its research priorities. ISFH has been linked to LUH for many years through joint professorships and joint project research. The focus of this year's LUH Energy Research Day will be solar energy. The strengthened energy research at LUH and the new research infrastructure that strengthens ISFH are good for both sides. Both sides have complementary skills and goals: Excellent basic research here, excellent applied research there. Excellent education here and there. Here and there a fruitful economic cooperation that advances the energy transition: *Innovation with impact*.

I would like to sincerely thank everyone who has contributed to what has already been achieved today. I would particularly like to mention the support of the Lower Saxony Ministry of Science and Culture for the funding from the zukunft.niedersachsen program. Thanks also for the strong support from the Lower Saxony Ministry of the Environment and the Lower Saxony Ministry of Economics with regard to the establishment of regional PV production. All of our work is based on many years of cooperation with mechanical engineering companies and companies from the solar energy, heating technology and energy industry sectors associated with our research. Most of our projects have been funded by the Federal Ministry for Economic Affairs and Climate Action. The projects funded by the European Union were also of great importance, especially for our international networking. After all, the energy transition is not a national project, but a global one. And last but not least: Direct funding from industry partners keeps us on track concerning the market relevance of our research.

My special thanks go to the employees of our institute for the successes achieved under increasingly challenging circumstances.

I hope you, dear readers, enjoy reading our annual report, which presents selected results of our research on the topics of photovoltaics and renewable building energy supply.

April 4, 2024

1

Institut für Solarenergieforschung

Kurzportrait

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

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

Das ISFH besteht aus den beiden Abteilungen Photovoltaik und Solare Systeme sowie der unabhängigen Prüfstelle ISFH CalTeC. In der Photovoltaikforschung gehören grundlegende Materialuntersuchungen ebenso zu den Aufgaben wie die Entwicklung von Prozessen und Anlagen für die Herstellung von Solarzellen. Das Hauptinteresse gilt der Entwicklung neuer Silizium-Solarzellen mit Wirkungsgraden von mehr als 24%, hocheffizienten Tandem-Solarzellen und der zugehörigen PV-Modultechnologie. Übergeordnetes Ziel ist das Senken der Produktionskosten von Solarzellen und PV-Modulen.

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

Das ISFH ist Mitglied der Zuse-Gemeinschaft, einem technologie- und branchenoffenen Verband unabhängiger Industrieforschungseinrichtungen. Ferner ist das Institut Mitglied im Forschungsverbund Erneuerbare Energien (FVEE), einem Zusammenschluss außeruniversitärer deutscher Forschungsinstitute, der seine Forschungstätigkeiten auf nationaler Ebene im Bereich der erneuerbaren 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).

Brief portrait

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

ISFH is a non-university research institute of the State of Lower Saxony with the legal status of a non-profit limited liability company. 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.

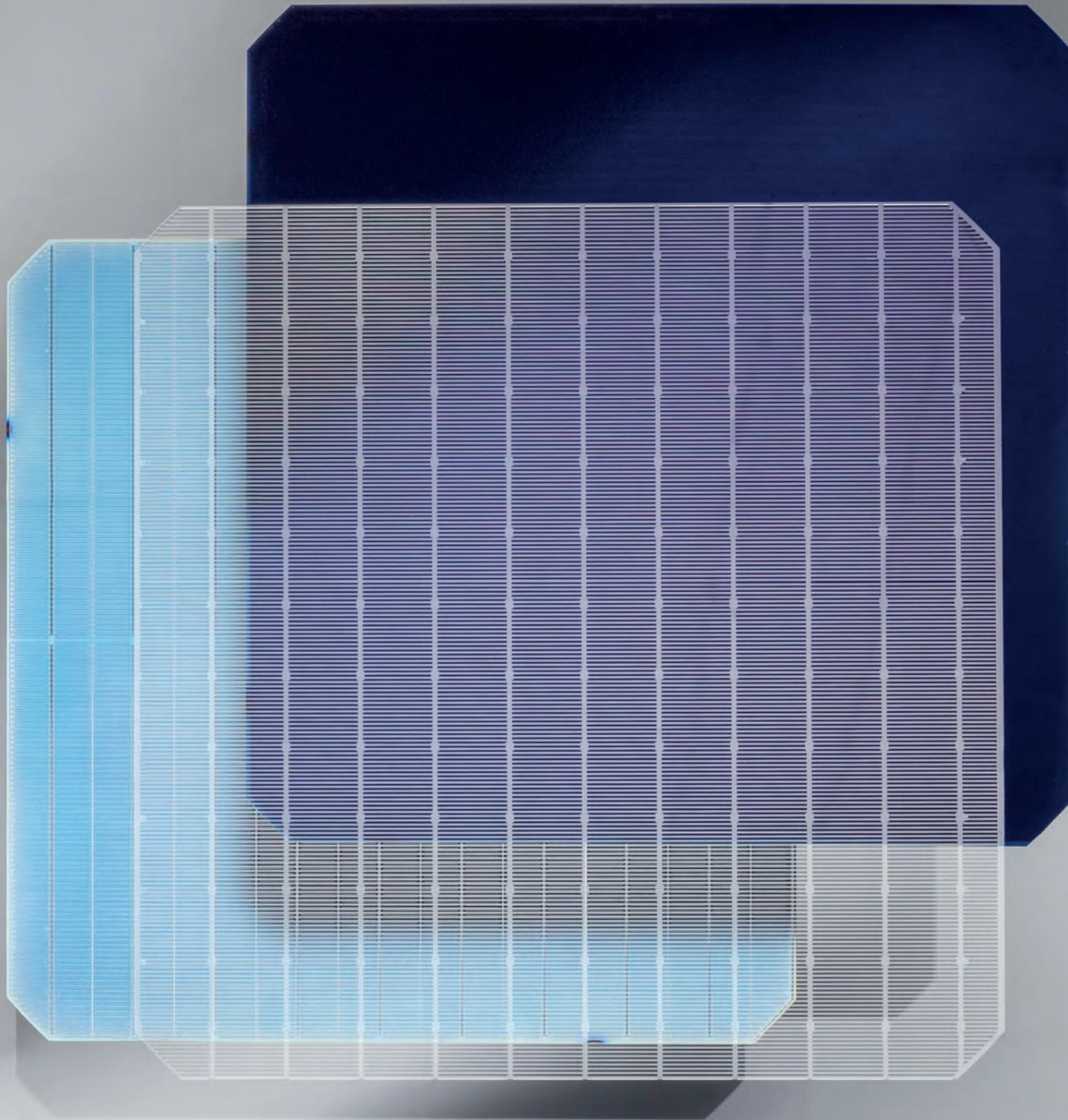
ISFH is made up of the Photovoltaics and Solar systems departments as well as the independent test center ISFH CalTeC. Photovoltaic research includes the basic study of material properties as well as the development of processes and equipment for manufacturing solar cells. The main interest is the development of new silicon solar cells with efficiencies of more than 24%, high-efficiency tandem solar cells and the related PV module technology. Above all, the aim is to reduce production costs for solar cells and PV modules.

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

ISFH is a member of the Zuse Association, a technology- and industry-open association of independent industrial research institutions. Furthermore, the institute is a member of the Renewable Energy Research Association (FVEE), an association of German non-university research institutes coordinating renewable 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).



Hauptgebäude des Instituts für Solarenergieforschung Hameln.
Impression of the main building of the Institute for Solar Energy Research Hameln.



Schattenmaske aus Glas für die lokale Abscheidung von polykristallinem Silizium und die damit hergestellte Rückkontakt-Solarzelle.
Glass shadow mask for the local deposition of polycrystalline silicon and the resulting back contact solar cell.

Organisation

Abteilung Photovoltaik

Leitung: *Dr. Karsten Bothe (VERTRÄGE & IP-MANAGEMENT)*
Dr. Thorsten Dullweber (INFRASTRUKTUR)
Prof. Dr. Jan Schmidt (PERSONAL)

In der Abteilung werden neue Technologien und Methoden entwickelt, mit denen höchsteffiziente Solarzellen und PV-Module industriell noch kostengünstiger, ressourcenschonender und rascher hergestellt werden können. Das Kompetenzspektrum reicht von der Untersuchung grundlegender Verlust- und Degradationsmechanismen über die Entwicklung von Messmethoden bis zu unterschiedlichen Aspekten der industriellen Umsetzung unserer Technologieentwicklungen. Die flexible, maßgeschneiderte Herstellung von PV-Modulen für unterschiedlichste Anwendungen ist ein wachsender Schwerpunkt.

Organization

Photovoltaics department

Heads: *Dr. Karsten Bothe (CONTRACTS & IP MANAGEMENT)*
Dr. Thorsten Dullweber (INFRASTRUCTURE)
Prof. Dr. Jan Schmidt (HUMAN RESOURCES)

The department develops new technologies and methods with which highly efficient solar cells and PV modules can be produced industrially even more cost-effectively, resource-efficiently and quickly. The spectrum of expertise ranges from the investigation of fundamental loss and degradation mechanisms to the development of measurement methods and various aspects of the industrial implementation of our technological developments. The flexible, customized production of PV modules for a wide range of applications is a growing focus.

Photovoltaik-Materialforschung/Photovoltaics materials research

Leitung/Head: *Prof. Dr. Jan Schmidt*

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

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

Solarzellencharakterisierung & Simulation/Solar cell characterization & simulation

Leitung/Head: *Dr. Karsten Bothe*

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

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

Industrielle Solarzellen/Industrial solar cells

Leitung/Head: Dr. Thorsten Dullweber

Die Arbeitsgruppe entwickelt Verbesserungen von Silizium-Solarzellen mit einem industrietypischen Herstellungsprozess hinsichtlich Wirkungsgradsteigerung und Kostenreduktion. Im Fokus gegenwärtiger Forschungsaktivitäten mit Industriepartnern steht dabei die Entwicklung neuer PECVD-Herstellungsprozesse für passivierende Kontakte auf Basis von polykristallinem Silizium auf Oxid (POLO) und deren Integration in industrielle Rückkontakt-Solarzellen in Kooperation mit Firmen aus der Photovoltaik-Industrie.

The 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 the development of new PECVD manufacturing processes for passivating contacts based on polycrystalline silicon on oxide (POLO) and their implementation in industrial interdigitated back contact (IBC) solar cells in cooperation with companies from the photovoltaic industry.

Solarzellen der nächsten Generation/Next generation solar cells

Leitung/Head: Prof. Dr. Robby Peibst

Den Schwerpunkt der Arbeit dieser Gruppe bildet die Entwicklung von Tandem-Solarzellen, bei denen eine Silizium-Bottom-Solarzelle mit einem anderen Absorbermaterial kombiniert wird. Dazu werden passivierende Kontakte auf Basis von polykristallinem Silizium auf Oxid (POLO) integriert, um die in der Silizium-Solarzelle erzeugten Ladungsträger möglichst verlustfrei zu extrahieren und effizient zur Top-Solarzelle weiterzuleiten. Die Forschungsfragen erstrecken sich dabei von grundlegenden Aspekten wie dem Interface zwischen beiden Subzellen oder der Bauelementphysik neuartiger 3-Terminal-Tandemzellen zu den Herausforderungen der Industrialisierung der Silizium- und Perovskit-Technologie. Zusätzlich arbeitet die Gruppe an der konzeptionellen Weiterentwicklung von Silizium-basierten Solarzellen.

The focus of this group's work is the development of tandem solar cells in which the silicon bottom solar cell is combined with another absorber material. Passivating contacts based on polycrystalline silicon on oxide (POLO) are integrated to extract the charge carriers generated in the silicon solar cell as loss-free as possible and to transfer them efficiently to the top solar cell. The research questions range from fundamental aspects such as the interface between the two subcells or the device physics of novel 3-terminal tandem cells to the challenges of industrializing silicon and perovskite technology. In addition, the group works on conceptual further developments of silicon-based solar cells.

Außenteststand im Aufbau.
Outdoor test stand under construction.



Photovoltaik-Spezialmodulbau/Photovoltaics special module production

Leitung/Head: Dr. Henning Schulte-Huxel

In der Arbeitsgruppe werden neue, kosteneffiziente Technologien für die flexibilisierte Herstellung von maßgefertigten PV-Modulen entwickelt. Dabei stehen besondere Anwendungsfelder wie zum Beispiel PV-Module für Fahrzeuge (VIPV) oder Gebäude-integrierte PV-Module (BIPV) im Mittelpunkt des Interesses. Neben verschiedenen Verbindungstechniken wie z. B. Laserlöten, Laserschweißen, Kontaktlöten, Ultraschalllöten und Leitkleben entwickelt die Gruppe zusammen mit Partnern digitale Methoden und Know-how für eine hochautomatisierte Produktion von maßgeschneiderter PV.

The working group develops new, cost-efficient technologies for the flexibilized production of custom-made PV modules. Special fields of application such as PV modules for vehicles (VIPV) or building-integrated PV modules (BIPV) are the main research subjects. In addition to using various interconnection techniques such as laser soldering, laser welding, contact soldering, ultrasonic soldering and conductive bonding, the group is working with partners to develop digital methods and expertise for the highly automated production of customized PV.

Photovoltaik-Zuverlässigkeit/Photovoltaics reliability

Leitung/Head: Dr. Marc Köntges

Die Gruppe konzipiert Methoden zum Auffinden von Schäden in PV-Modulen und PV-Systemen. Schwerpunkt sind bildgebende Verfahren, wie beispielsweise die kamerabasierte und kontaktlose Elektrolumineszenz oder Photolumineszenz am PV-Modul. Diese Methoden werden für den größtenteils automatisierten Einsatz in Freiflächenanlagen weiterentwickelt. In der Arbeitsgruppe werden zudem die Grundlagen des Aufbaus und der Charakterisierung von terrestrischen Tandem-PV-Modulen untersucht. Außerdem werden Auftragsarbeiten zur Fehleranalyse von PV-Modulen mit beschleunigten Alterungstests und Standardprüfungen gemäß der Norm IEC 61215 durchgeführt.

The group develops methods for detecting damage in PV modules and PV systems. The focus is on imaging techniques, such as camera-based and contactless electroluminescence or photoluminescence on PV modules. These methods are further developed for the mostly automated use in ground-mounted systems. Additionally, the fundamentals of the construction and characterization of terrestrial tandem PV modules are investigated. Contract work is being carried out for fault analysis of modules with accelerated aging tests and standard tests in accordance to standard IEC 61215.



Teststand für fassadenintegrierte photovoltaisch-thermisch (PVT) Solarmodule.
Test stand for façade-integrated photovoltaic thermal (PVT) solar modules.

Abteilung Solare Systeme

Leitung: *Dr.-Ing. Federico Giovannetti (F&E-KOORDINATION)*
Dr. Raphael Niepelt (F&E-KOORDINATION & INFRASTRUKTUR)

Die Forschungsaktivitäten der Abteilung umfassen die Integration erneuerbarer Energie in effiziente, 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. Neben Modellierung und Laboruntersuchungen ist die wissenschaftliche Begleitung von Pilotanlagen und Feldtests zur Sicherstellung der erwarteten Qualität eine wesentliche Aufgabe.

Solar systems department

Heads: *Dr.-Ing. Federico Giovannetti (R&D COORDINATION)*
Dr. Raphael Niepelt (R&D-COORDINATION & INFRASTRUCTURE)

The research activities of the department include the integration of renewable energy into efficient, cost-effective and reliable energy systems to supply buildings and districts. For this purpose, components with improved properties as well as new system combinations are being developed. These are proven and implemented in cooperation with our partners from industry. In addition to modeling and laboratory experiments, the scientific monitoring of pilot plants and field tests to ensure the expected quality is an essential task.

Materialien/Materials

Leitung/Head: *Dr. Dominic Walter (komm.)*

Das Arbeitsfeld dieser Arbeitsgruppe umfasst die Entwicklung von Beschichtungen, die Prüfung von Alterungs- und Korrosionsbeständigkeit sowie die materialwissenschaftliche und optische Charakterisierung einschließlich spektraler Ellipsometrie vom UV- bis mittleren Infrarot-Bereich. Ein neuer Themenschwerpunkt sind Beschichtungen für Wasser-Elektrolyseure und die Charakterisierung von PEM-Elektrolyse-Zellen.

The field of work of this working group includes the development of coatings, the testing of ageing and corrosion resistance as well as materials science and optical characterization including spectral ellipsometry from the UV to mid-infrared range. A new focus is on coatings for water electrolyzers and the characterization of PEM electrolysis cells.

Kollektoren/Collectors

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

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

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

Wärmepumpen/Heat pumps

Leitung/Head: M.Sc. Maximilian Loth

Wärmepumpen verbinden die Forschungsgruppen für elektrische und thermische Energiesysteme miteinander. Für diese Arbeitsgruppe ergeben sich daraus interdisziplinäre Fragenstellungen zum optimalen Betriebsverhalten und zur Komponentenwahl einer Wärmepumpe. Dabei ist der Blick auf das Innere der Wärmepumpe gerichtet, also auf Kältemittel, thermodynamischen Kreisprozess und auf die Komponenten einschließlich der Regelung. Für theoretische Analysen steht eine auf Modelica basierende dynamische Simulationsumgebung zur Verfügung. In der Praxis kann zur Charakterisierung von Luft-Wasser- und Sole-Wasser-Wärmepumpen auf Versuchsumgebungen zurückgegriffen werden.

Heat pumps connect the research groups for electrical and thermal energy systems. This working group faces interdisciplinary questions regarding the optimal operating behavior and component selection of a heat pump. The focus is on the inner mechanisms of the heat pump, including refrigerant, thermodynamic cycle, components, and control. For theoretical analyses, a dynamic simulation environment based on Modelica is available. In practice, test environments can be used to characterize air-to-water and ground-to-water heat pumps.

Elektrische Energiesysteme/Electrical energy systems

Leitung/Head: Dr. Raphael Niepelt

Die Arbeitsgruppe forscht an der Integration von erneuerbaren Energien auf Gebäude- und Quartiersebene. Hierbei spielen insbesondere die Kopplung von Strom- und Wärmesektor und die Interaktion von Komponenten wie Photovoltaik-Batteriespeichern, Wärmepumpen und thermischen Speichern eine wichtige Rolle. Es werden intelligente, modellbasierte Steuerungsstrategien und Fehlererkennungsverfahren für einen energieeffizienten und ökonomischen Betrieb solcher Systeme entwickelt. Eingesetzt werden sowohl Simulationen als auch Hardware-in-the-loop-Laboruntersuchungen bis hin zu Feldtests unter realen Bedingungen. Die Arbeitsgruppe verfügt über Laboreinrichtungen zur Abbildung von Energieversorgungssystemen von Ein- und Mehrfamilienhäusern und Erfahrung im energetischen Monitoring von Gebäuden und Quartieren.

The working group conducts research on the integration of renewable energies at the building and neighborhood level. In particular, the coupling of the electricity and heating sectors and the interaction of components such as photovoltaic battery storage systems, heat pumps and thermal storage systems play an important role. Intelligent, model-based control strategies and fault detection methods are being developed for the energy-efficient and economical operation of such systems. Simulations as well as hardware-in-the-loop laboratory investigations up to field tests under real conditions are applied. The working group has laboratory facilities for mapping energy supply systems of single- and multi-family houses and experience in energy monitoring of buildings and neighborhoods.

Thermische Energiesysteme/Thermal energy systems

Leitung/Head: Dipl.-Ing. Peter Pärtsch

Die Entwicklung und Bewertung von Systemen zur effizienten, erneuerbaren Wärmeversorgung von Gebäuden und Quartieren sind Mittelpunkt der Arbeiten dieser Gruppe. Dies umfasst zum einen die hygienisch abgesicherte Absenkung der Versorgungstemperaturen im Gebäude durch innovative Systemschaltungen mit zentralen bzw. dezentralen Durchfluss-Trinkwassererwärmern (Frischwasserstationen bzw. Wohnungsstationen). Zum anderen werden innovative und nachhaltige Wärmequellensysteme für Wärmepumpen mit möglichst hoher Temperatur in der Heizsaison erforscht. Dies sind regenerierte Erdwärmesonden(-felder) und photovoltaisch-thermische Kollektoren sowie ihre Kombination. Übergeordnet ist das Ziel, durch systemtechnische Maßnahmen CO₂-Emissionen einzusparen. Systemsimulation mit TRNSYS und messtechnische Analyse im Labor sowie im Feld sind wesentliche Methoden.

The development and evaluation of efficient and renewable thermal systems for buildings and districts are the focus of the work of this group. On the one hand, this includes the hygienically safe reduction of supply temperatures in the buildings through innovative system concepts with central or decentralized instantaneous water heater (fresh water stations or dwelling stations). On the other hand, important R&D topics are innovative heat source systems for heat pumps with high temperature in the heating season. These are regenerated borehole heat exchanger (arrays), photovoltaic-thermal collectors, and their combination. The overarching goal is to save CO₂ emissions through system engineering measures. System simulation with TRNSYS and metrological analysis in the laboratory as well as in the field are essential methods.

Calibration & Test Center (CalTeC)

Leitung/Head: Dipl.-Ing. Carsten Lampe

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

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

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. Das CalTeC 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]. Ein neuer Schwerpunkt ist die Prüfung und Bewertung von Wärmepumpen nach EN 14511^[6] und EN 16147^[7]. Wir arbeiten aktiv in Normungsgremien mit. Darüber hinaus werden entwicklungsbegleitende Untersuchungen durchgeführt sowie Prüfverfahren weiterentwickelt.

With the flexibilization of the accreditation scope in 2018, the Thermal applications unit of CalTeC offers general testing of thermal energy converters, energy storage and systems as well as components for thermal energy transport. The unit 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]. A new focus is testing and evaluation of heat pumps according to EN 14511^[6] and EN 16147^[7]. In this area, we are actively participating in standardization bodies. 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-Normen. Die Prüfung von Spektralradiometern erfolgt unter Einhaltung der Empfehlung der Commission Internationale de l'Éclairage (CIE) in einer von der Deutschen Akkreditierungsstelle (DAkkS) gemäß ISO 17025^[8] 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 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^[8] certified procedure.

^[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] Luftkonditionierer, Flüssigkeitskühlsätze und Wärmepumpen für die Raumbeheizung und -kühlung und Prozesskühler mit elektrisch angetriebenen Verdichtern

^[7] Wärmepumpen mit elektrisch angetriebenen Verdichtern

^[8] Photovoltaische Einrichtungen

^[1] Solar energy – Collector components and materials

^[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] Air conditioners, liquid chilling packages and heat pumps for space heating and cooling and process chillers using electrically driven compressors

^[7] Heat pumps with electrically driven compressors

^[8] Photovoltaic devices

CalTeC – Reference lamps

Leitung/Head: Dr. Karsten Bothe

Der Bereich Reference lamps bietet die Kalibrierung der spektralen Bestrahlungsstärke von Strahlernormalen zwischen 250 nm und 1700 nm an. In der Regel handelt es sich bei den Strahlernormalen um Wolfram-Halogenlampen mit einer elektrischen Leistung zwischen 250 W und 1000 W. Derartige Strahlernormale werden gerne zur Kalibrierung von Spektralradiometern eingesetzt, da sie ein kontinuierliches Spektrum besitzen und nach einer entsprechenden Einbrennprozedur eine hohe Langzeitstabilität aufweisen. Die Kalibrierung im ISFH CalTeC erfolgt mit einem Substitutionsverfahren.

The Reference lamps unit offers calibration of the spectral irradiance of reference lamps between 250 nm and 1700 nm. Usually tungsten halogen lamps with an electrical output between 250 W and 1000 W are used as reference lamps. Such reference lamps are often used for the calibration of spectroradiometers because they have a continuous spectrum and, after a corresponding burn-in procedure, have a high long-term stability. Calibration at the ISFH CalTeC is carried out using a substitution method.

CalTeC – Optics

Leitung/Head: Dr. Arne Dittrich

Der Bereich Optics des CalTeC bietet mit der flexibilisierten Akkreditierung allgemein die Messung strahlungsphysikalischer Eigenschaften von Beschichtungen und Oberflächen an. Der Bereich ist akkreditiert für Messungen der hemisphärischen Reflexion, der gerichteten Transmission und Reflexion jeweils vom UV-Bereich bis hin zu einer Wellenlänge von 50000 nm, darüber hinaus für die Bestimmung des Brechungsindex und des Extinktionskoeffizienten mittels spektraler Ellipsometrie im Wellenlängenbereich von 240 nm bis 33000 nm. Es werden Prüfungen der Alterungsbeständigkeit von Absorberschichten gemäß dem internationalen Standard ISO 22975-3^[9] angeboten.

In general, the Optics unit of CalTeC, with its flexibilized accreditation, offers the measurement of the radiometric properties of coatings and surfaces. The unit is accredited for measurements of hemispheric reflection and directed transmission and reflection, in each case from the UV range up to a wavelength of 50000 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 33000 nm. Tests of the aging resistance of absorber layers are offered in accordance with the international standard ISO 22975-3^[9].

^[9] Solarenergie – Kollektorbauerteile und Materialien

^[9] Solar energy – Collector components and materials

Hardware-in-the-Loop-Teststand für fassadenintegrierte photovoltaisch-thermisch (PVT) Solarmodule.
Hardware-in-the-loop test stand for façade-integrated photovoltaic thermal (PVT) solar modules.



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 das Sekretariat, das Rechnungswesen, das Personalwesen 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, human resources, 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: OStR a. D. Rüdiger Schanz

Eines der ersten Schülerlabore an einem wissenschaftlichen Forschungsinstitut ist die bereits 2001 am ISFH gegründete Niedersächsische Lernwerkstatt für solare Energiesysteme (NILS). Die Lernwerkstatt ist eine Bildungsinitiative, die vom Kultusministerium des Landes Niedersachsen unterstützt wird. Ziel der Einrichtung ist die Heranführung von Kindern und Jugendlichen an den Themenbereich Energieerzeugung und Energienutzung, insbesondere im Hinblick auf Verfügbarkeit, Nachhaltigkeit, Wirtschaftlichkeit und Klimaschutz.

One of the first school laboratories at a scientific research institute was the Lower Saxon Learning Workshop for Solar Energy Systems (NILS) founded at ISFH as early as 2001. The learning workshop is an initiative which is supported by the Ministry of Education of the State of Lower Saxony. The aim of the workshop is to introduce children and young people to the topic of energy generation and energy use, in particular with respect to its availability, sustainability, economic viability and climate protection.

Die NILS ist außerdem anerkannter außerschulischer Lernstandort im BNE-Verbund^[10] 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.

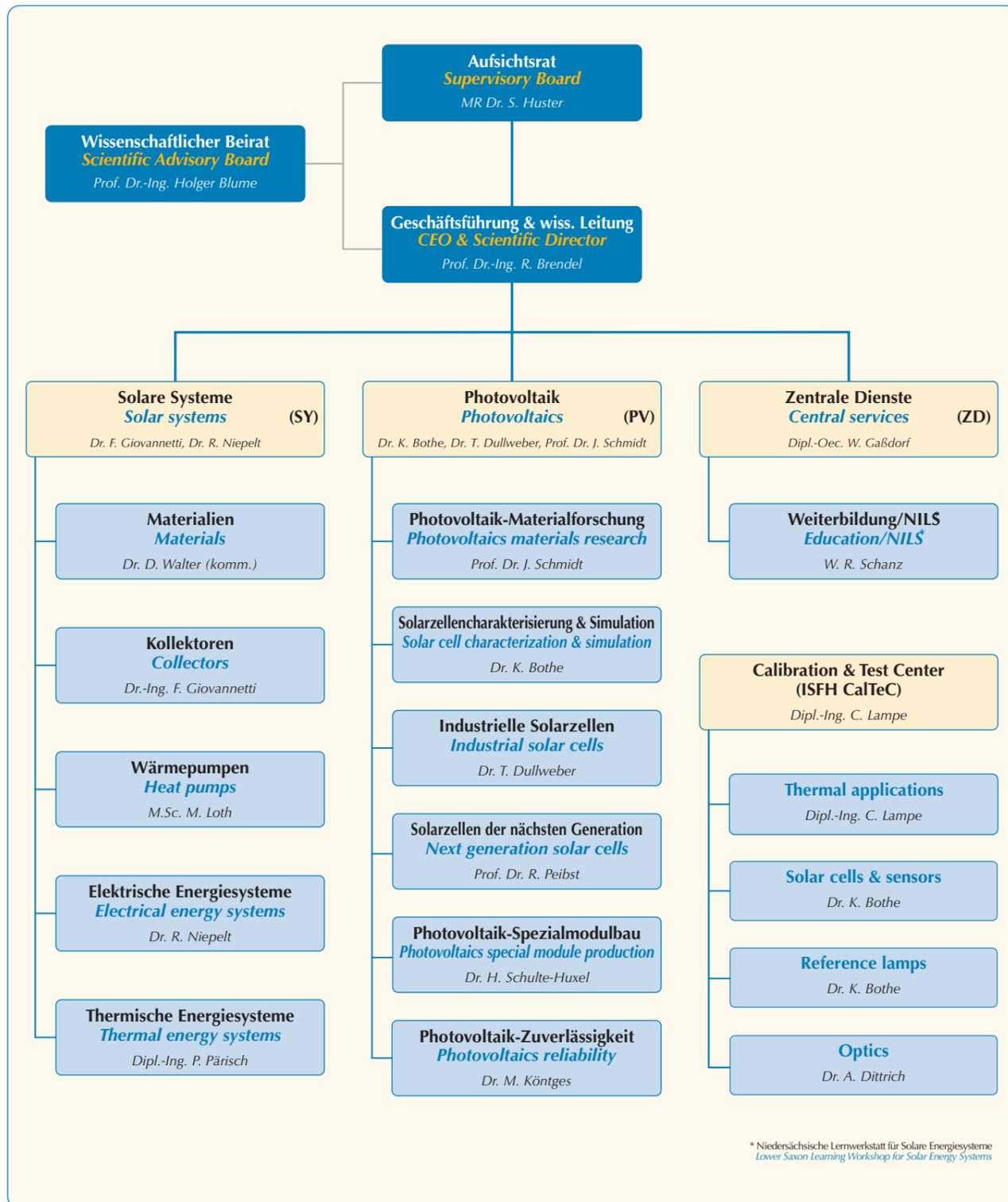
NILS is also an extra-scholastic place of learning in the BNE-Verbund^[10] and promotes education in the science, technology, engineering and mathematics (STEM) sector. As such a place of learning, it is a strong extra-scholastic partner, which, through the use of Lower Saxon teachers, ensures high quality 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.

^[10] Bildung für nachhaltige Entwicklung

^[10] Education for Sustainable Development Association



Das Organigramm des ISFH, Stand 12/2023.

The organization of ISFH, effective 12/2023.

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 4. Juli und 5. Dezember 2023.

Die Mitglieder dieses Gremiums sind:

Mitglieder/Members

Stand/Effective 31.03.2024

- Ministerialrat Dr. Sebastian Huster
Vorsitzender des Aufsichtsrates
Head of the Supervisory Board
Niedersächsisches Ministerium für Wissenschaft und Kultur
Hannover
- Regierungsdirektorin Jana Miksch
Stv. Vorsitzende des Aufsichtsrates
Deputy Head of the Supervisory Board
Niedersächsisches Finanzministerium
Hannover, (bis 6. März 2024/until 6 March 2024)
- Landrat Dirk Adomat
Landkreis Hameln-Pyrmont
- Prof. Dr. Rolf Haug, Institut für Festkörperphysik,
Leibniz Universität Hannover
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 who perform an advisory function. The Board's general meetings were held on 4 July and on 5 December 2023.

The members of the Board are:

- Stephan Kirsch
Niedersächsisches Finanzministerium
Hannover, (seit 6. März 2024/since 6 March 2024)
- Prof. Dr. Bernd Rech
Helmholtz-Zentrum Berlin für Materialien und Energie
Berlin
- Martin Roßmann
Viessmann Climate Solutions SE
Allendorf (Eder)
- Baudirektorin Dr. Anke Grieße
Niedersächsisches Ministerium für Umwelt,
Energie, Bauen und Klimaschutz
Hannover



Wissenschaftlicher Beirat

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

Die Mitglieder des Beirates sind anerkannte Wissenschaftler*innen aus Forschung und Industrie sowie Persönlichkeiten, die aus ihrer Berufserfahrung besondere Kenntnisse in den Arbeitsfeldern des ISFH haben.

Der Beirat hielt seine jährliche Sitzung am 16. November 2023. 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 are nominated by the Lower Saxon Minister for Science and Culture.

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

The Advisory Board held its annual meeting on 16 November 2023. The members of the Scientific Advisory Board were:

Mitglieder des Wissenschaftlichen Beirats des ISFH v.l.n.r. / Members of the ISFH Scientific Advisory Board from left to right: Dr. Kai Schiefelbein, Dr. Helge Haverkamp, Prof. Dr.-Ing. Katharina Klemt-Albert, Prof. Dr.-Ing. Annika Raatz, Dr. Lars Oberbeck, Gerald Müller, Prof. Dr. Frithjof Staiß, Dr. Jutta Trube und Prof. Dr.-Ing. Philipp Geyer.



Mitglieder/Members

Stand/Effective: 31.12.2023

- Prof. Dr.-Ing. Holger Blume
Vorsitzender
Head
Leibniz Universität Hannover, Institut für Mikroelektronische Systeme (IMS)
Hannover
- Dr. Jutta Trube
stv. Vorsitzende
Deputy Head
bis Januar 2024 bei VDMA e. V. Photovoltaik Produktionsmittel
Frankfurt am Main
- Dr. Gunter Erfurt
Meyer Burger Technology AG
Thun, Schweiz
- Prof. Dr.-Ing. Philipp Geyer
Leibniz Universität Hannover, Institut für Nachhaltige Gebäudetechnologie
Hannover
- Dr. Michel Haller
SPF Institut für Solartechnik, OST, Ostschweizer Fachhochschule
Rapperswil, Schweiz
- Dr. Helge Haverkamp
centrotherm international AG
Blaubeuren
- Dr. Winfried Hoffmann
ASE
Hanau
- Prof. Dr.-Ing. Katharina Klemt-Albert
RWTH-Aachen, Institut für Baumanagement, Digitales Bauen und Robotik im Bauwesen
Aachen
- Dipl.-Ing. Gerald Müller
Viessmann Climate Solutions SE
Allendorf (Eder)
- Dr. Delfina Muñoz
National Institute for Solar Energy (INES)
Le Bourget du Lac, Frankreich
- Dr. Lars Oberbeck
Total S. A.
Paris, Frankreich
- Prof. Dr.-Ing. Annika Raatz
Leibniz Universität Hannover, Institut für Montagetechnik
Hannover
- Dr. Kai Schiefelbein
Stiebel-Eltron GmbH & Co. KG
Holzminden
- Prof. Dr. Frithjof Staiß
Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW)
Stuttgart
- Prof. Dr. Arthur Weeber
TNO Energy Transition - Solar Energy, Petten
Niederlande

Das Institut in Zahlen

Haushalt & Personal

Das Institut für Solarenergieforschung Hameln/Emmerthal (ISFH) ist eine gemeinnützige Gesellschaft, deren alleiniger Gesellschafter das Land Niedersachsen ist. Die institutionelle Förderung erfolgt aus dem Haushalt des Ministeriums für Wissenschaft und Kultur und deckt im Berichtsjahr 24% des Gesamt- etats (Einnahmen im Jahr 2023) von 15,1 Millionen Euro ab.

Neben dieser institutionellen Förderung durch das Land Niedersachsen erzielt das Institut Drittmittel aus öffentlicher Forschungsförderung des Bundes, des Landes Niedersachsen und der Europäischen Union (EU). Die Einnahmen aus der öffentlichen Projektforschung betragen im Berichtsjahr 8,6 Millionen Euro, davon ist der größte Teil Verbundforschung mit der Industrie. Hinzu kommen direkte industrielle Drittmittel aus Dienstleistungen und Auftragsforschung in Höhe von 2,9 Millionen Euro.

Zum Ende des Jahres 2023 waren 161 Personen am ISFH beschäftigt. Bei der Mehrzahl der Beschäftigten handelt es sich um wissenschaftliches und technisches Personal sowie im Rahmen von Forschungsprojekten Promovierende. In der Gruppe der Studierenden sind alle Personen zusammengefasst, die ein Praktikum absolvieren oder eine Studien-, Bachelor- bzw. Masterarbeit an Universitäten oder Fachhochschulen anfertigen und im Rahmen ihrer wissenschaftlichen Ausbildung am ISFH beschäftigt werden.

Das Gelände der Institut für Solarenergieforschung GmbH am Ohrberg umfasst insgesamt eine Fläche von 32 000 m². Darauf stehen vier Forschungsgebäude mit einer Gesamtnutzfläche von 7 500 m². Zusätzlich gibt es auf dem Freigelände bzw. auf den Dachflächen die Möglichkeit, Außenversuche auf 2 000 m² Testfläche durchzuführen.

Statistics of the Institute

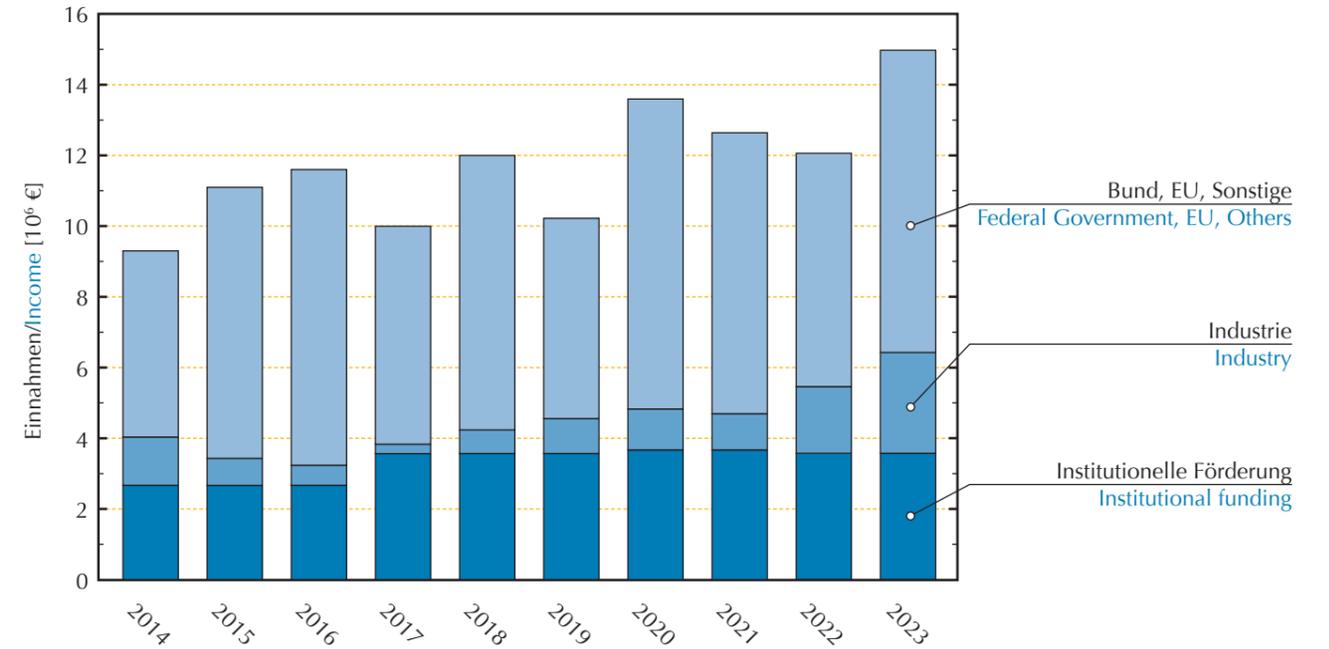
Budget & personnel

The Institute for Solar Energy Research Hamelin (ISFH) is a non-profit organization whose sole proprietor is the State of Lower Saxony. Institutional funding comes from the budget of the Ministry for Science and Culture and makes up 24% of the total budget (income in 2023) of €15.1 million for the reporting year.

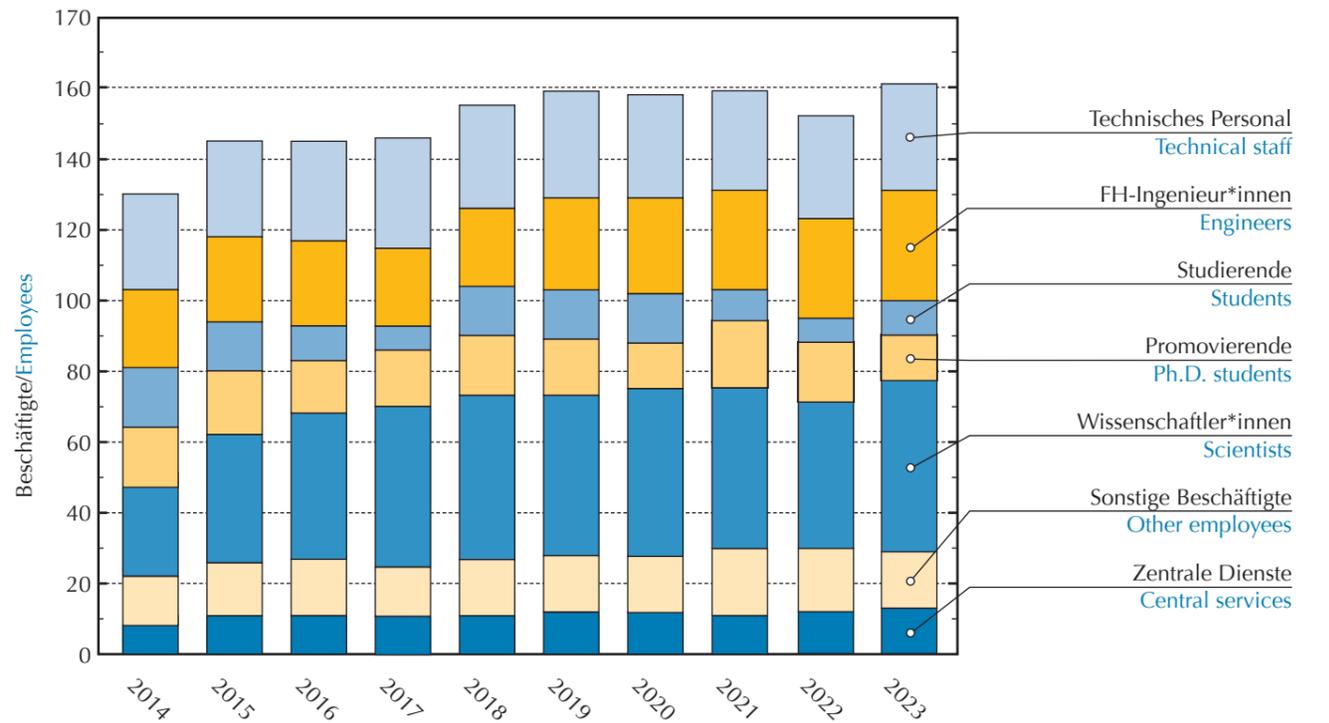
In addition to this institutional support from the State Government of Lower Saxony, the Institute receives so-called third-party funding from public research sponsors such as the Federal Government, the State Government of Lower Saxony or the European Union (EU). The income from public research projects was €8.6 million in the reporting year, the majority of which was joint research with the industry. In addition, direct industrial third-party funding also comes from services and contract research amounting to €2.9 million.

At the end of 2023 ISFH had 161 employees. The majority of the staff consists of scientific and technical personnel and Ph.D. students to undertake research projects. The students comprise undergraduates from universities or technical colleges employed at ISFH as part of their scientific training.

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



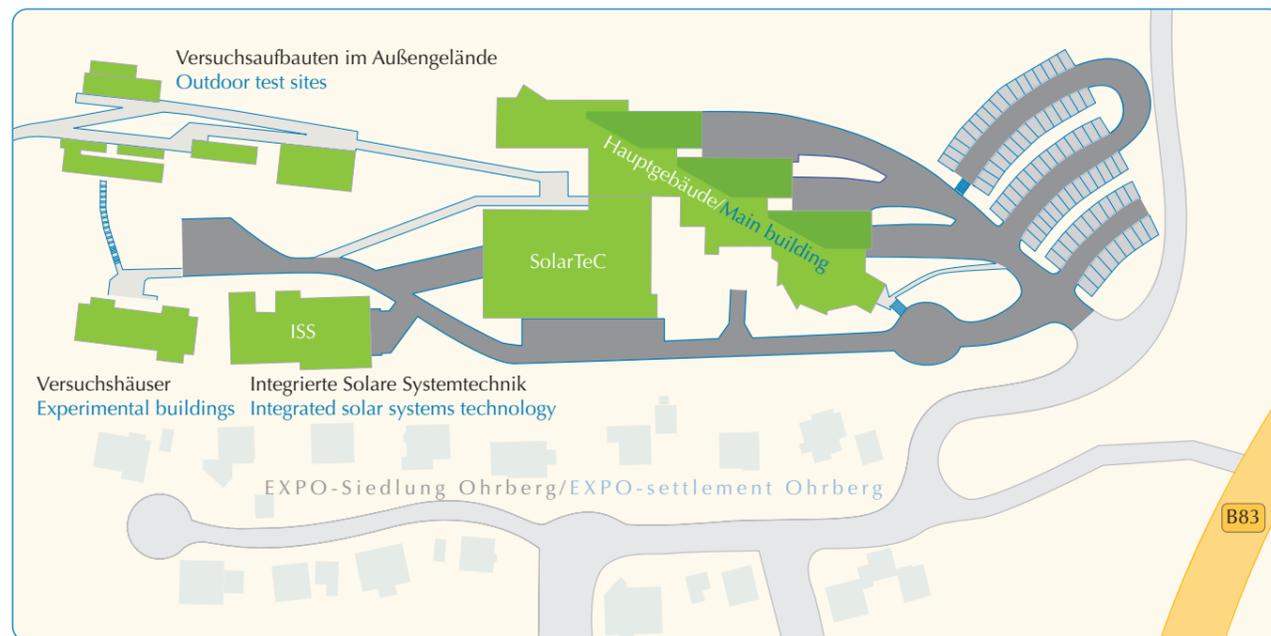
Der Haushalt des ISFH nach Einnahmequellen aufgeschlüsselt. ISFH budget broken down into funding sources.



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

Flächenkategorie Area category	Fläche/Area [m ²]
Grundstück Property	31 812
Hauptgebäude Main building	4 358
Technologiehalle (SolarTeC) Technology hall (SolarTeC)	1 957
Laborgebäude (ISS) Laboratory building (ISS)	623
Versuchshäuser Experimental buildings	510
Versuchsaufbauten im Außengelände Outdoor test sites	557
Versuchsflächen auf dem Hauptgebäude Experimental areas on the main building	654
Versuchsflächen auf dem SolarTeC Experimental areas on SolarTeC	316

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



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

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

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

Am 13. November 2023 fand am ISFH die jährliche Mitgliederversammlung des Fördervereins statt. Auf Einladung des Vereins hat im Anschluss daran ein öffentlicher Vortrag von Dr. Jens Clausen, Senior Researcher bei Bordestep Institut für Innovation und Nachhaltigkeit gemeinnützige GmbH, zum Thema „Wärmeplanung, Wärmenetze, Wärmepumpen. Was ändert das neue Heizungsgesetz?“ stattgefunden. Darin hat Herr Clausen die verschiedenen Optionen einer zukünftig klimaverträglichen Wärmeversorgung aufgezeigt und bewertet.

Bei der klimaverträglichen Wärmeversorgung spielt nicht nur die Verfügbarkeit von Technologien, sondern auch die Skalierbarkeit der Nutzung der verschiedenen Wärmequellen eine wichtige Rolle. Außerdem ist die kommende Transformation mit zahlreichen Herausforderungen verbunden, Gewohnheiten und Routinen des Heizens zu ändern. Information und Kommunikation werden damit fast genauso wichtig wie die verschiedenen Technologien.

Im Jahr 2023 hat der Förderverein die Anschaffung eines Virtual Reality (VR) Systems gefördert. Das VR-System bietet die Möglichkeit einer digitalen Besichtigung oder Untersuchung eines digitalen Zwillings einer Anlage, wie zum Beispiel die solaraktivierte Fassade am Dänischen Pavillon in Hannover. Das System wird bei Veranstaltungen am Institut oder bei Vorlesungen in Hochschulen eingesetzt werden und wird dabei helfen, die Erfahrung am ISFH über BIM-Anwendungen im Bereich Solarenergie zu vertiefen.

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

The aim of the 'Friends' is the support of the Institute for Solar Energy Research (ISFH) in Hameln. This includes both financial support and assistance with maintaining contacts between ISFH and industry.

- The challenges to research define the tasks for the Friends:
- To communicate the 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' political and economic networks.
 - Use of its own facilities (resources and networks) to integrate the Institute better into the region.

On 13 November 2023, the annual general meeting of the Friends of the ISFH took place. At the invitation of the association, a public lecture by Dr. Jens Clausen, Senior Researcher at Bordestep Institut für Innovation und Nachhaltigkeit gemeinnützige GmbH, on the topic "Heat supply planning, heating networks, heat pumps. What will the new heating law change?". Mr. Clausen presented and evaluated the various options for a future climate-friendly heat supply.

Not only the availability of technologies, but also the scalability of the use of different heat sources is key to a climate-friendly heat supply. In addition, the coming transformation is associated with numerous challenges to change heating habits and routines. Information and communication will therefore be almost as important as the various technologies.

In 2023, the Friends have funded the purchase of a virtual reality (VR) system. The VR system offers the possibility of a digital tour or examination of a digital twin of a system, such as the solar-activated facade on the Danish Pavilion in Hannover. The system will be used at events at the institute or at some lectures in universities and will help to deepen the experience at ISFH on BIM applications in the field of solar energy.

1 Institut für Solarenergieforschung

Mitglieder/Members

Stand/Effective: 31.12.2023

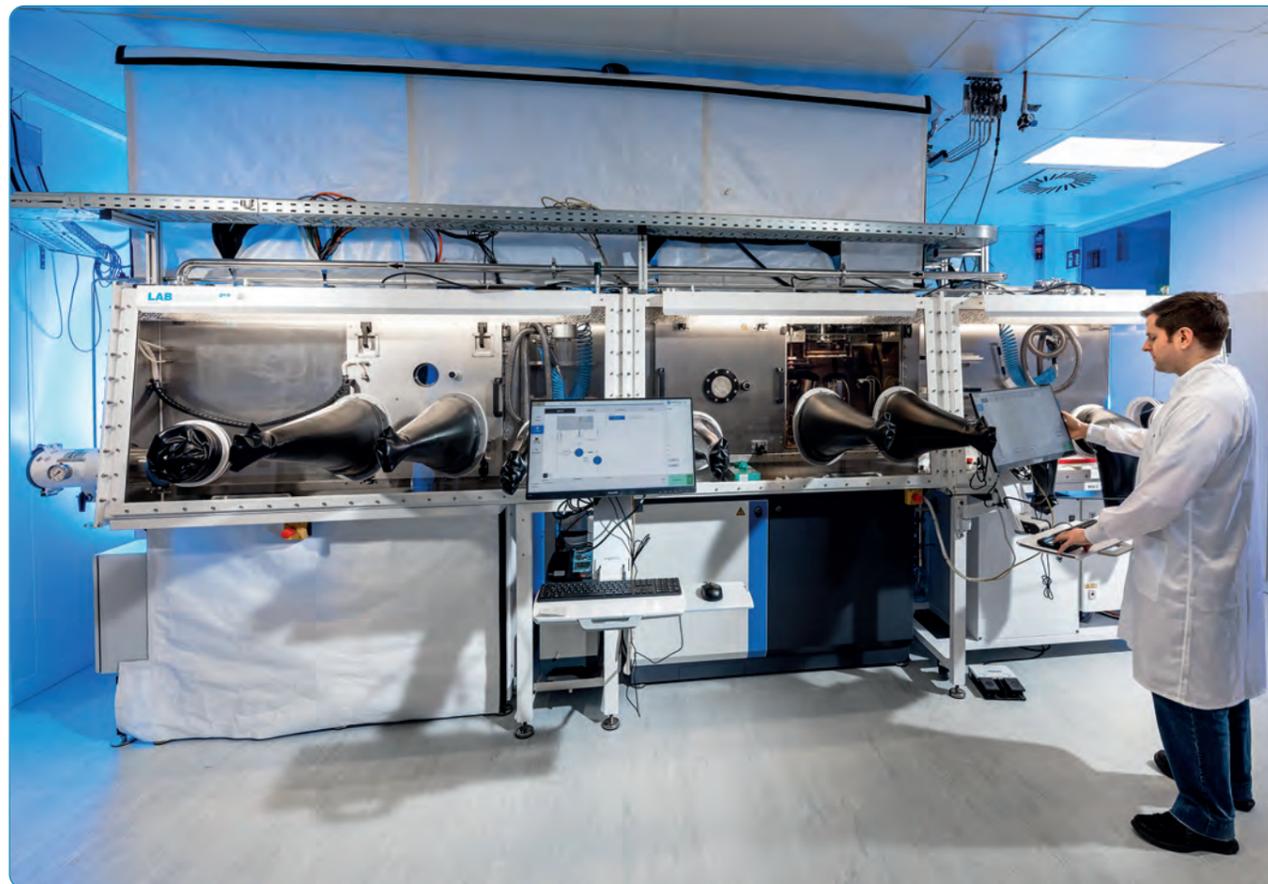
Firmen & Körperschaften/Companies & Corporations

- BHW Bausparkasse AG, Hameln
- C.W. Niemeyer GmbH & Co. KG, Hameln
- Dr. Paul Lohmann GmbH & Co. KGaA, Emmerthal
- elektroma GmbH, Hameln
- Gemeinde Emmerthal, Emmerthal
- Hochschule Weserbergland (HSW), Hameln
- Ingenieurbüro Mencke & Tegtmeyer GmbH, Hameln
- Innung SHK Hameln (Sanitär/Heizung), Hameln
- Klimaschutzagentur Weserbergland, Hameln
- Kreishandwerkerschaft Hameln-Pyrmont, Hameln
- KSG Kreissiedlungsgesellschaft mbH des Landkreises Hameln-Pyrmont, Hameln
- NWDH Holding AG, Hameln
- PAW GmbH & Co. KG, Hameln
- proKlima – Der enercity-Fonds, Hannover
- pv-tools GmbH, Hameln

- riha WeserGold Getränkeindustrie GmbH & Co. KG, Rinteln
- Sparkasse Hameln-Weserbergland, Hameln
- Stadt Hameln, Hameln
- Stadtwerke Bad Pyrmont GmbH, Bad Pyrmont
- Stadtwerke Hameln Weserbergland GmbH, Hameln
- Stadtwerke Rinteln GmbH, Rinteln
- Steinmann BAU GmbH, Emmerthal
- Stiebel Eltron GmbH & Co. KG, Holzminden
- Viega GmbH & Co. KG, Attendorn
- Westfalen Weser Netz GmbH, Paderborn
- Zacharias Gebäudetechnik GmbH, Hameln

Natürliche Personen/Natural persons

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



Verdampfungsanlage für Transport- und Elektrodenschichten von Perowskit-Solarzellen.

Evaporation system for transport and electrode layers of perovskite solar cells.



Automatisierte Produktion maßgefertigter PV-Module.
Automated production of customized PV modules.

Abteilung Photovoltaik

Forschungsthemen

- Industriennahe Technologie- und Prozessentwicklung zur kostengünstigen Herstellung von Hocheffizienz-Solarzellen und PV-Modulen
- Hocheffiziente Solarzellen mit poly-Si-on-Oxide (POLO)-Kontakten
- Hocheffiziente Perowskit-Silizium-Tandem-Solarzellen
- Verlust- und Sensitivitätsanalyse von Solarzellen auf Basis von Solarzellensimulationen und präzise gemessenen Eingangsparametern
- Kamerabasierte Charakterisierung von Silizium-Materialien, Solarzellen und PV-Modulen
- Oberflächenpassivierung von Silizium-Solarzellen (SiO_2 , SiN_x , A_2O_3 , poly-Si)
- Analyse von Defekten in Silizium und Perowskiten und ihren Auswirkungen auf Solarzellen- und PV-Moduleigenschaften
- Neuartige Verbindungstechniken für PV-Module
- Langzeitstabilität von Solarzellen und PV-Modulen
- Mechanische Eigenschaften von PV-Modulen
- Fahrzeugintegrierte Photovoltaik (VIPV)
- Gebäudeintegrierte Photovoltaik (BIPV)
- Bauelement- und Prozesssimulation

Dienstleistungen

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

Apparative Ausstattung

- 800-m²-Solar-Technikum (SolarTeC) für die Prozessierung von Solarzellen auf industriennahen Anlagen (Batch- und Inline-Nasschemie, Diffusions- und Oxidationsöfen, Direkt-Plasma-beschichtungsanlage (PECVD), Siebdrucker, Feueröfen)
- Reinraumlabore für Siliziumtechnologie (nasschemische Prozesse)
- Laserlabor mit mehreren Laser-Materialbearbeitungssystemen
- Niederdruck chemische Gasphasenabscheidung (LPCVD) von dotierten amorphen Silizium-Schichten
- PECVD-Anlagen für Abscheidung dotierter amorpher Silizium-Schichten
- Thermische und plasmaunterstützte Atomlagenabscheidung (ALD)
- Ultraschnelle ALD-Abscheidung
- Ko-Verdampfung von Perowskiten
- Nasschemische Abscheidung von Perowskiten

Photovoltaics department

Research topics

- Industry-oriented development of technology and processes for the cost-efficient production of high-efficiency solar cells and PV modules
- High-efficiency solar cells with poly-Si-on-oxide (POLO)-contacts
- High-efficiency perovskite-silicon tandem solar cells
- Loss and sensitivity analysis of solar cells on the basis of solar cell modeling using precisely measured input parameters
- Camera-based characterization of silicon materials, solar cells and PV modules
- Surface passivation of silicon solar cells (SiO_2 , SiN_x , A_2O_3 , poly-Si)
- Analysis of defects in silicon and perovskites and their impact on solar cell and PV module properties
- Innovative interconnection techniques for PV modules
- Long-term stability of solar cells and PV modules
- Mechanical properties of PV modules
- Vehicle-integrated photovoltaic (VIPV)
- Building-integrated photovoltaics (BIPV)
- Device and process simulation

Services

- Calibration of solar cells
- Calibration of solar irradiance sensors
- Testing of spectroradiometers
- Calibration of reference lamps
- Characterization of solar cells and PV modules
- Customized PV modules

Equipment & facilities

- 800m² solar technology center (SolarTeC) for the processing of solar cells using industrial equipment (batch and inline wet chemical tools, diffusion and oxidation furnace, direct plasma enhanced chemical vapor deposition (PECVD), screen printer, firing furnace)
- Clean room laboratories for silicon technology (wet chemical processes)
- Laser laboratory with several laser material processing systems
- Low-pressure chemical vapor deposition (LPCVD) of doped amorphous silicon layers
- PECVD tools for the deposition of doped amorphous silicon layers
- Thermal and plasma-assisted atomic layer deposition (ALD)
- Ultra-fast ALD
- Co-evaporation of perovskites
- Wet-chemical deposition of perovskites

- Sequentielle Abscheidung von Perowskiten
- Integrierte Hochraten-Durchlauf-Aufdampf- und Sputteranlage
- Ionenimplanter (gemeinsame Nutzung mit dem MBE-Institut der LUH und anderen Nutzern des LNQE)
- Verbindungs- und PV-Modultechnologie: Stringer, Löttechnik, Laminator
- Klimakammern sowie UV- und Halogenlampen-Bestrahlungsplätze
- Transportsimulation von PV-Modulen (Shaker)
- PV-Modulflasher, Elektrolumineszenz- und UV-Fluoreszenz-messplatz für PV-Module
- Isolationsprüfplatz für PV-Module
- Sonnensimulatoren und spektrale Empfindlichkeitsmessung für 6"-Solarzellen und PV-Module
- Vollautomatisiertes integriertes Solarzellen-Charakterisierungstool (LOANA)
- Kamerabasierte Elektro- und Photolumineszenz für Solarzellen und Wafer
- Voll integriertes Analysetool für Mehrfachsolarzellen (LOANA-mj)
- IV-Charakterisierung für Perowskit-Solarzellen in inerter Atmosphäre
- Quasistatische Messung der Photoleitung (QSSPC)
- Absolute Photolumineszenz für Perowskit-Charakterisierung
- 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
- Praxistaugliches, elektrisch betriebenes leichtes Nutzfahrzeug als Demonstrator für Fahrzeug-integrierte Photovoltaik mit Einspeisung ins Hochvoltbordnetz

Glanzlichter

- Einfacher Prozess für stabile Ladungsträgerlebensdauern im Millisekundenbereich in Ga-dotiertem Cz-Si
- POLO BJ-Solarzelle mit LPCVD-poly-Si erreicht 24,2% Wirkungsgrad
- POLO IBC-Solarzelle mit lokaler PECVD-SiON/n-a-Si-Abscheidung durch Schattenmaske erzielt 23,8% Wirkungsgrad
- Pk-Si-Tandem-Solarzelle mit Al-p+-Löcherkontakten erzielt einen Wirkungsgrad von 28,6% und eine Leerlaufspannung von 1,95 V (in Zusammenarbeit mit dem Helmholtz-Zentrum Berlin)
- Prototyp zur neuen Messmethode Lichtinduzierte Elektrolumineszenz erfolgreich im Solarpark angewendet

- Sequential deposition of perovskites
- Integrated high-rate inline deposition and sputtering system
- Ion implanter (together with the MBE Institute of the LUH and other users of the LNQE)
- PV module technology: stringer, soldering equipment, laminator
- Climate chambers as well as UV- and halogen-lamp irradiation chambers
- Transport simulation for PV modules (Shaker)
- PV module flasher, electroluminescence and UV-fluorescence set-ups for PV module characterization
- Isolation test stand for PV modules
- Solar simulators and spectral response set-ups for 6"-solar cells and PV modules
- Fully-automated integrated solar cell characterization tool (LOANA)
- Camera-based electro- and photoluminescence equipment for solar cells and wafers
- Fully integrated analysis tool for multijunction solar cells (LOANA-mj)
- IV characterization for perovskite solar cells in inert atmosphere.
- Quasi-steady-state photoconductance (QSSPC)
- Absolute photoluminescence for characterization of perovskites
- Microwave-detected photoconductance decay (MW-PCD)
- Temperature- and injection-dependent lifetime spectroscopy (TIDLS)
- Capacitance-voltage measurements (CV)
- Doping profile measurement by ECV method
- Optical and scanning electron microscopy
- Energy-dispersive X-ray analysis and diffraction (EDX and XRD)
- Raman spectrometer and X-ray diffractometer
- Measurement set-up for temperature-dependent Hall measurements
- Practical, electrically-powered light commercial vehicle as demonstrator for vehicle-integrated photovoltaics with feed-in to high-voltage on-board network

Highlights

- Simple process for stable charge carrier lifetimes in the millisecond range in Ga-doped Cz-Si
- POLO BJ solar cell with LPCVD-poly-Si achieves 24.2% efficiency
- POLO IBC solar cell with local PECVD-SiON/n-a-Si deposition by shadow mask achieves 23.8% efficiency
- Pk-Si tandem solar cell with Al-p+ hole contacts achieves an efficiency of 28.6% and an open-circuit voltage of 1.95 V (in collaboration with the Helmholtz-Zentrum Berlin)
- Prototype for the new measurement method light-induced electroluminescence successfully applied in the solar park

Abteilung Solare Systeme

Forschungsthemen

- Regenerative Versorgungskonzepte für Ein- und Mehrfamilienhäuser sowie Quartiere
- Solarthermische Kollektoren für neue Anwendungsgebiete (Kollektorfelder für Wärmenetze, Prozesswärme, Wärmepumpenquelle)
- Photovoltaisch-thermische (PVT)-Kollektoren für kombinierte Strom- und Wärmeerzeugung
- Solarthermische Aktivierung von Komponenten der Gebäudehülle
- Neu- und Weiterentwicklung von Verfahren zur Prüfung, Effizienz- und Ertragskontrolle von Wärmeerzeugern und -zentralen
- Hygienisch gesicherte Absenkung der Versorgungstemperaturen für Trinkwarmwasser
- Optimierung der Wärmeverteilung in Mehrfamilienhäusern mit smarten Wohnungsstationen
- Entwicklung von Simulationsmodellen
- Entwicklung von innovativen Absorber- und Glasbeschichtungen
- Entwicklung von Komponenten für die Wasser-Elektrolyse, insbesondere PEM-Elektrolyse, Korrosionsforschung, elektrochemische Kinetik

Dienstleistungen

- EN ISO/IEC 17025 akkreditiertes Prüfzentrum
- Norm-Prüfungen und Prüfungen nach SolarKeymark-Regeln an thermischen Energiewandlern, Energiespeichern und Systemen sowie Komponenten zum thermischen Energietransport
- Norm-Prüfungen der strahlungsphysikalischen Eigenschaften von Beschichtungen und Oberflächen
- 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 Wohnungsstationen
- Charakterisierung von Dämmungen, Wärmerohren, Speicheranschlüssen, Wohnungsstationen
- Wissenschaftliche Begleitung industrieller Entwicklungen mit experimentellen Methoden und Simulationen sowie Feldtests
- Energiesystemmodellierung und -monitoring
- Auslegung von Erdwärmesondenfeldern mit (solarer) Regeneration
- Hochvakuum-Beschichtungen für Flachgläser, Bleche und plane Elektroden

Apparative Ausstattung

- Innenprüfstände mit zwei Sonnensimulatoren für Leistungs- und Gebrauchstauglichkeitstests, bis 1.200 W/m²
- Prüfanlagen für Druck-, Sog- und Schubprüfungen an Solarmodulen
- Prüfstand für Luft/Wasser-, Wasser/Wasser- und Sole/Wasser-Wärmepumpen im dynamischen Betrieb bis 30 bzw. 60 kW_{th}

Solar systems department

Research topics

- Renewable energy supply concepts for buildings and districts
- Solar thermal collectors for new applications (collector fields for solar district heating, industrial processes, source for heat pumps)
- Photovoltaic-thermal (PVT)-collectors for combined electricity and heat generation
- Solar thermal activation of components of the building envelope
- New and further development of methods for testing procedures and automatic efficiency and yield control of heat generators and stations
- Hygienically secured reduction of supply temperatures for drinking water
- Optimization of heat distribution in apartment buildings with smart heat transfer stations
- Development of simulation models
- Development of innovative coatings for absorbers and glazing
- Development of components for water electrolysis, in particular PEM electrolysis, corrosion research, electrochemical kinetics

Services

- ISO/IEC 17025-accredited test laboratory
- Standard tests and tests in accordance with the SolarKeymark rules on thermal energy converters, thermal storages and systems as well as systems and components for transfer of thermal energy
- Standard tests of radiometric properties of coatings and surfaces
- Characterization of air/water heat pumps up to 30 kW_{th}, and water/water and brine/water heat pumps up to 60 kW_{th}
- Characterization of central domestic hot water modules with a maximum flow rate of 100 l/min with adjustable circulation load
- Characterization of decentral heat transfer stations
- Characterization of insulation materials, heat pipes, storage tank connections, decentral domestic hot water modules
- Scientific support of industrial developments using experimental methods and simulation studies as well as field tests
- Energy system modeling and monitoring
- Design of borehole heat exchanger fields with (solar) regeneration
- High-vacuum coatings for flat glasses, sheets and plane electrodes

Equipment & facilities

- Indoor test facilities with two sun simulators for performance and reliability tests, up to 1.200 W/m²
- Test facilities for pressure, suction and thrust loads on solar modules
- Test facility for air/water-, water/water- and brine/water heat-pumps in dynamic operation up to 30 and 60 kW_{th}, respectively

- Testdächer mit 400 m² Nutzfläche für Gebrauchstauglichkeitstests an Sonnenkollektoren und Systemen sowie Leistungstests an Kollektoren bis 180 °C
- Zwei nachführbare Außenprüfstände mit 20 m² Nutzfläche
- Prüfstand für Systemtests an Solaranlagen nach EN 12976
- Prüfstände für Wärmespeicher, Reglerprüfstand nach EN 12977
- Begehbare Klimakammern (75 m³ und 180 m³)
- Vakuum-Beschichtungsanlagen (Sputtern, PECVD)
- Wasser-Elektrolyse-Teststand für drei PEM-Elektrolysezellen mit 25 cm² bzw. 100 cm² Elektrodenfläche
- Optisches Labor für Transmissions- und Reflexionsmessungen spektral aufgelöst (UV-VIS-NIR-MIR), spektrale Ellipsometrie (0,24 µm bis 33 µm) mit Proben temperierung
- Spektral-Gonioradiometer mit 2,5 m Radius für Messungen der bidirektionalen Reflexions- und Transmissions-Verteilungsfunktion (BRDF, BTDF)
- Ulbricht-Kugel für spektrale Transmissions- und Reflexionsmessungen von großformatigen, Licht-streuenden Proben
- Bestimmung der Oberflächen-Rauheit
- Kontaktwinkel-Messung, dynamisch
- Testanlagen für Alterungsuntersuchungen an Glas- und Absorber-Oberflächen (Kondensat, Temperatur, korrosive Medien)
- Leistungs- und Gebrauchstauglichkeitsuntersuchungen an Wärmerohren
- Prüfstände für Dämmstoffe (Gebrauchstauglichkeit, Wärmeleitfähigkeit)
- Hardware-in-the-Loop-Experimentalanlagen regenerativer Strom/Wärmesysteme
- Prüfstand zur Bewertung von Wärmeübergabestationen (bis 100 l/min) inkl. Zirkulation
- Hardware-in-the-Loop-Outdoor-Teststand für großformatige, solarthermische und photovoltaische Fassaden (bis 50 m²)
- Clamp-on-Messsysteme für die minimalinvasive Messung von thermischen Lastgängen, insbesondere von Trinkwasserinstallationen

Glanzlichter

- Versorgungskonzept mit 130 m² solarthermisch aktiver Betonfassade als Wärmepumpenquelle
- Entwicklung und experimentelle Validierung von Modellen zur Abbildung, Planung und Betrieb gebäudeintegrierter solarer Technologien in der BIM-Umgebung
- Bestimmung der Komfortgrenzen menschlicher Wahrnehmung bezüglich Temperaturschwankungen unter der Dusche
- Erarbeitung optimaler Installations- und Betriebsempfehlungen für wohnungsinterne Trinkwasserinstallationen unter Berücksichtigung von Hygiene, Energieeffizienz und Komfort in TRNSYS
- Entwicklung energie-optimierter Wärmeversorgungskonzepte mit Wärmepumpen von Mehrfamilienhaus-Neubauten mit Fußbodenheizung in TRNSYS
- Techno-ökonomische Optimierung von mit PVT regenerierten, mitteltiefen, schrägen Erdwärmesonden für ein geplantes Plusenergiequartier in TRNSYS

- 400 m² test roofs for reliability tests on collectors and systems as well as performance tests on solar collectors up to 180 °C
- Two outdoor solar-tracking test stands with an effective area of 20 m²
- Test facility for solar systems in accordance with EN 12976
- Test facilities for thermal storage tanks, control test facility (EN 12977)
- Walk-in climate chambers (75 m³ and 180 m³)
- Vacuum deposition facilities (sputtering and PECVD)
- Water electrolysis test rig for three PEM electrolysis cells with 25 cm² and 100 cm² electrode area
- Optical laboratory for spectrally-resolved transmission and reflection measurements (UV-VIS-NIR-MIR), spectral ellipsometry (0.24 µm to 33 µm) including temperature control of samples
- Spectral-gonioradiometer with a radius of 2.5 m for measurements of bidirectional reflectance and transmittance distribution function (BRDF, BTDF)
- Integrating sphere for spectral transmittance and reflectance measurements of large, light scattering samples
- Determination of surface roughness
- Contact angle measurement, dynamic
- 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
- Hardware-in-the-loop outdoor test facility for large-sized solar thermal and photovoltaic facades (up to 50 m²)
- Clamp-on measuring systems for minimally invasive measurement of thermal load profiles, especially in drinking water installations

Highlights

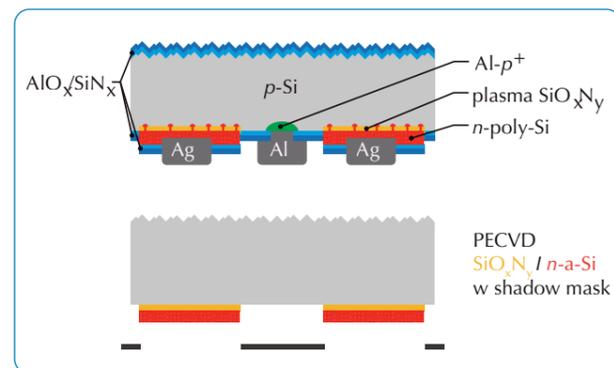
- Realization of a multi-family house based on the ISFH supply concept with 130 m² solar-thermally active concrete façade as heat pump source
- Development and experimental validation of models for mapping, planning and operation of building-integrated solar technologies in the BIM environment
- Determination of the comfort limits of human perception with regard to temperature fluctuations in the shower
- Development of optimal installation and operating recommendations for drinking water installations in flats, taking into account hygiene, energy efficiency and comfort in TRNSYS
- Development of energy-optimised heat supply concepts with heat pumps for new multi-family houses with underfloor heating in TRNSYS
- Techno-economic optimisation of medium-depth, inclined geothermal probes regenerated with PVT for a planned Plus-Energy district in TRNSYS

Abteilung Photovoltaik

Plasma-unterstützte chemische Gasphasenabscheidung von SiO_xN_y Grenzflächenoxiden für n -Typ Polysilizium passivierende Kontakte

Passivierende Kontakte auf der Basis von Polysilizium (Poly-Si) in Kombination mit einem 1 bis 2 nm dicken Siliziumoxid an der Grenzfläche sind in den letzten Jahren zu einer der wichtigsten Technologien für industrielle Solarzellen geworden. Verschiedene Methoden zur Herstellung von Grenzflächenoxiden sowie amorphem Silizium sind in der Literatur beschrieben und liefern hervorragende Ergebnisse. Wir verwenden die plasmaunterstützte chemische Gasphasenabscheidung (PECVD) für beide Schichten in einem Prozessschritt, da dies einen sehr schlanken Prozessablauf ermöglicht. Wir entwickeln die POLO-IBC-Solarzelle^[11] unter Verwendung der strukturierten Abscheidung von PECVD-Grenzflächenoxid und amorphem Si vom n -Typ (n -a-Si) durch eine Glasschattenmaske^{[12][13][14][15]}.

Das Schema ist in Abbildung 21 dargestellt. Wir verwenden einen p -Typ-Siliziumwafer und passivieren die p -Typ-Bereiche auf der Rückseite und der texturierten Vorderseite mit einem Stapel aus $\text{AlO}_x/\text{SiN}_x$. Die n -Typ-Poly-Si-Bereiche auf der Rückseite werden mit einem Stapel $\text{AlO}_x/\text{SiN}_x$ als Wasserstoffquelle abgedeckt. Der passivierte n -Typ-Kontakt wird mit siebgedrucktem Silber hergestellt, der p -Typ-Kontakt mit siebgedrucktem Al auf den Laserkontaktöffnungen während eines Feuerschritts.



Photovoltaics department

Plasma enhanced chemical vapor-deposition of SiO_xN_y for n -type polysilicon on oxide passivating contacts

The passivating contacts based on polysilicon (poly-Si) combined with a 1 to 2 nm thick interfacial silicon oxide have become one of the mainstream technologies for industrial solar cells within the last years. Different techniques for interfacial oxide fabrication as well as amorphous Si deposition have been reported to yield excellent results in literature. We apply plasma-enhanced chemical vapor deposition (PECVD) processing for both layers in one processing step because this allows a very lean process flow. We develop the POLO IBC solar cell^[11] using the structured deposition of PECVD interfacial oxide and n -type amorphous Si (n -a-Si) through a glass shadow mask^{[12][13][14][15]}.

The schematic is shown in Figure 21. We use a p -type silicon wafer and passivate the p -type regions on the rear and the textured front side using a stack of $\text{AlO}_x/\text{SiN}_x$. The n -type poly-Si regions on the rear are covered by a stack of $\text{AlO}_x/\text{SiN}_x$ as hydrogen source. The n -type passivated contact we form using screen-printed silver, the p -type contact by screen-printed Al on laser contact openings during a fast firing step.

Abbildung/Figure 21: Querschnitt der POLO-IBC-Solarzelle und schematische Darstellung der strukturierten PECVD-Abscheidung durch die Glasschattenmaske.

Cross section of the POLO IBC solar cell and a schematic of the structured PECVD depositions through the glass shadow mask.

^[11] IBC steht für Interdigitated Back Contact. Bei diesem Solarzellentyp befinden sich beide Arten von Metallkontakten auf der Rückseite, wodurch eine Abschattung der Vorderseite durch Metallfinger vermieden wird. Die POLO IBC-Solarzelle zielt auf die Integration eines n -Typ Passivierungskontakts ab, wobei viele Merkmale der PERC+-Zellen beibehalten werden.

IBC stands for interdigitated back contact. This type of solar cell has both types of metal contacts on the back side, eliminating shading of the front side due to metal fingers. The POLO IBC solar cell aims at integration of an n -type passivating contact while retaining many features from PERC+ cells.

^[12] E. E. Bende, 7th Metallization and Interconnection Workshop, Konstanz, Germany, 2017.

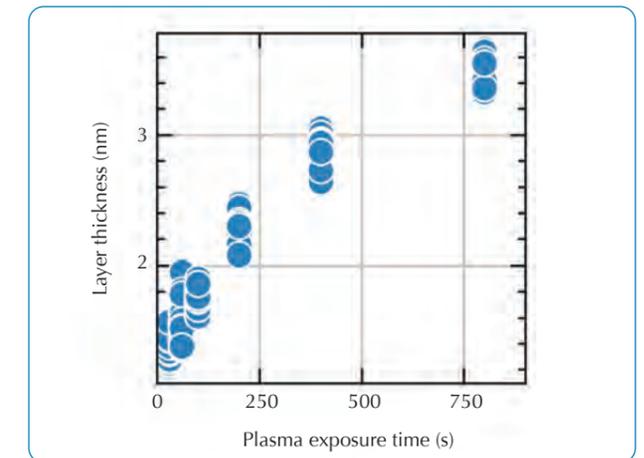
^[13] F. Haase, C. Hollemann, S. Schäfer, J. Krügener, R. Brendel, R. Peibst, Proc. 46th IEEE PVSC, Chicago, IL, USA, 2019, 2200-2206, doi: <https://doi.org/10.1109/PVSC40753.2019.8980960>

^[14] T. Dullweber, M. Stöhr, V. Mertens, N. Ambrosius, H. Haverkamp, presented at SNEC, Shanghai, China, 2021.

^[15] V. Mertens, S. Schäfer, M. Stöhr, A. Mercker, A. Köhler, L. Mettner, R. Brendel, N. Ambrosius, T. Pernau, H. Haverkamp, T. Dullweber, Proc. 40th EUPVSEC, 2023, 1BO3.3.

Um das PECVD SiO_xN_y -Oxid an der Grenzfläche zu charakterisieren, haben wir die Abhängigkeit der Plasmaexpositionszeit von der Oxiddicke untersucht und eine annähernd lineare Abhängigkeit festgestellt (Abbildung 22).

In order to characterize the interfacial PECVD SiO_xN_y oxide, we investigated the dependence of plasma exposure time on oxide thickness and determine an approximately linear dependence (Figure 22).



Abbildung/Figure 22: Untersuchung der SiO_xN_y Dicke für verschiedene Plasmaexpositionszeiten für eine vollflächige Plasmaoxidation mit Distickstoffoxid als Oxidationsmittel. Die SiO_xN_y Dicke wurde mittels Laserellipsometrie bestimmt (8x8 Messpunkte)

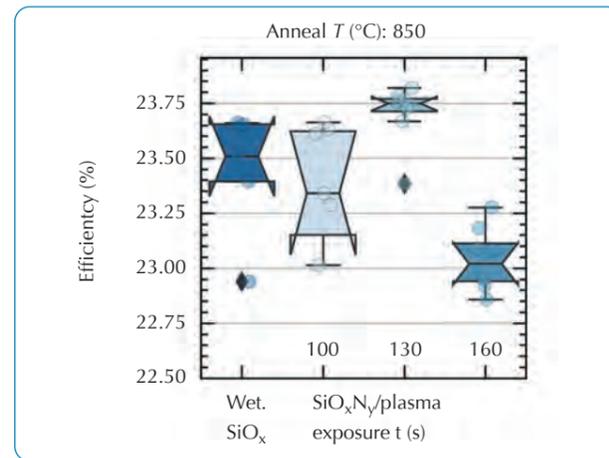
Study of SiO_xN_y thickness with varying plasma exposure time for full area plasma oxidation using N_2O as oxidant. The thickness of SiO_xN_y was determined by laser ellipsometry mappings (8x8 points).

Der aktuelle Entwicklungsstand unserer Solarzellen wird beispielhaft in einem Experiment gezeigt, in dem wir unsere SiO_xN_y -Oxiddicke durch Variation der N_2O -Plasmaexpositionszeiten optimieren (Abbildung 23). Wir verwenden 100s, 130s und 160s für die SiO_xN_y -Bildung, was zu Oxiddicken von etwa 1,4 bis 2 nm führt. Als Referenzgruppe nutzen wir ein nasschemisches Oxid mit einer Dicke von 1,7 nm. Dieses erreicht einen mittleren Wirkungsgrad von 23,5% bei einem Serienwiderstand von 0,68 $\text{Ohm}\cdot\text{cm}^2$ und einer Leerlaufspannung V_{oc} von 715 mV. Bei den PECVD- SiO_xN_y -Gruppen steigt der mittlere Wirkungsgrad von 23,3% auf 23,7% und sinkt mit zunehmender Plasmaexpositionszeit wieder auf 23,0%. Ein genauerer Blick auf die IV-Parameter zeigt, dass der Serienwiderstand mit zunehmender Plasmaexpositionszeit monoton ansteigt, was wir auf eine Verringerung des Oxidaufbruchs an der Grenzfläche zurückführen. Die Leerlaufspannung durchläuft ein Optimum, das bei 716 mV beginnt, dann auf 721 mV ansteigt und mit zunehmender Plasmaexpositionszeit wieder auf 719 mV sinkt. Wir vermuten, dass dieser V_{oc} -Trend eine optimale Menge an Phosphor-Indiffusion an der SiO_xN_y -c-Si-Grenzfläche widerspiegelt.

The current status of our solar cells is shown exemplarily in an experiment, where we optimize our SiO_xN_y oxide thickness by variation of N_2O plasma exposure times (Figure 23). We use 100s, 130s and 160s for SiO_xN_y formation, which results in oxide thicknesses from roughly 1.4 to 2 nm. As reference group we process a wet-chemical oxide with thickness of 1.7 nm. This reaches a median efficiency of 23.5% with series resistance of 0.68 $\text{Ohm}\cdot\text{cm}^2$ and an open-circuit voltage V_{oc} of 715 mV. For the PECVD SiO_xN_y groups, the median efficiency increases from 23.3% to 23.7% and decreases again to 23.0% with increasing plasma exposure time. A closer look on the IV parameters reveals that the series resistance monotonously rises with increasing exposure time, which we attribute to a reduction of interfacial oxide break-up. The open-circuit voltage goes through an optimum starting from 716 mV, then increasing to 721 mV and decreasing again to 719 mV with increasing plasma exposure time. We speculate that this V_{oc} trend reflects an optimum amount of in-diffusion of phosphorus at the SiO_xN_y -c-Si interface.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass wir zeigen, dass die Feinabstimmung der Plasmaexpositionszeit eine Option darstellt, um einen möglichst guten Passivierungsgrad für den n -Typ-Poly-Si-Passivierungskontakt zu erreichen und gleichzeitig einen ausreichenden Stromtransport durch das Grenzflächenoxid zu gewährleisten. Eine ähnliche Studie zur Variation der Plasmaexpositionszeit führten wir auch für SiO_x durch, das aus Sauerstoffplasma als umweltfreundliche Alternative zu N_2O gewachsen wurde (hier nicht gezeigt). Unter optimalen Bedingungen erreichten wir für das SiO_x

In summary, we demonstrate the fine tuning of PECVD plasma exposure time as an option for the n -type poly-Si passivating contact to reach a passivation level as good as possible while still having a sufficient current transport through the interfacial oxide. A similar study for variation of plasma exposure time we also performed for SiO_x grown from oxygen plasma as an environmentally friendly alternative to N_2O (not shown here). Under optimum conditions we achieved solar cell efficiencies up to 23.7% for the SiO_x which is similar to the results for the SiO_xN_y , so in principle both oxidants, oxygen and nitrous oxide, can provide a high-quality interfacial oxide for passivating contacts.



Abbildung/Figure 23: Wirkungsgradergebnisse von POLO IBC-Solarzellen für das SiO_xN_y-Experiment mit Variation der Distickstoffoxid-Plasmaexpositionszeit.
Efficiency results for SiO_xN_y experiment with variation of N₂O plasma exposure times on POLO IBC solar cells.

Solarzellenwirkungsgrade von bis zu 23,7%, was den Ergebnissen für das SiO_xN_y ähnlich ist, so dass im Prinzip beide Oxidationsmittel, Sauerstoff und Distickstoffoxid, ein hochwertiges Grenzflächenoxid für die Passivierung der Kontakte liefern können.

Wir danken dem Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz für die Förderung des Forschungsprojekts POPEI (FKZ 03EE1102E) und der Europäischen Kommission für die Förderung des Projekts IBC4EU im Rahmen des Horizon Europe Programms für Forschung und Innovation (2021-2027) unter der Fördervereinbarung Nr. 101084259 und unseren Partnern centrotherm AG, LPKF Laser& Electronics und RENA für die gute Zusammenarbeit.

We would like to thank the German Ministry of Economic Affairs and Climate Action for funding the research project POPEI (FKZ 03EE1102E) and the European Commission for funding the research project IBC4EU within the Horizon Europe Programme for Research and Innovation (2021-2027) under grant agreement No 101084259 and our partners centrotherm AG, LPKF Laser& Electronics and RENA for the good cooperation.

Verena Mertens, Silke Dorn, Yevgeniya Larionova, Welmoed Veurman, Thorsten Dullweber

Drastische Reduktion des Silberverbrauches durch Aluminiummetallisierung – Lösungen zur Modulintegration neuartiger POLO Back Junction-Solarzellen

Drastic reduction in silver consumption through aluminum metallization - solutions for module integration of novel POLO back junction solar cells

Um die Herstellung von PV-Modulen im Multi-Terawatt-Maßstab zu erreichen, ist es notwendig, den Silberverbrauch je PV-Modul-Leistung deutlich zu reduzieren^[16]. Viele Konzepte für hocheffiziente Solarzellen verwenden ein siebgedrucktes Silber(Ag)-Fingergitter auf beiden Seiten der Solarzellen^[16]. Um den Silberverbrauch zu reduzieren, ohne auf siebgedruckte Metallkontakte zu verzichten, ist ein Ansatz Aluminium(Al)-Kontakte zu verwenden. Dieser Ansatz wird bereits auf der Rückseite der passivierten Emittter- und Rückseitensolarzellen (PERC+) verwendet, deren Marktanteil allerdings rückläufig ist. Die POLO Back-Junction (POLO BJ) Solarzelle^{[17], [18]} verwendet diese Al-Kontakte auf der Vorderseite und verspricht gleichzeitig hohe Wirkungsgrade unter Beibehaltung des schlanken Prozessflusses des PERC+-Konzepts. Kürzlich demonstrierten wir eine POLO BJ-Solarzelle mit einem Wirkungsgrad von 24,2%, die noch weiter verbessert werden kann. Im Vergleich zu anderen hocheffizienten Solarzellenkonzepten bietet POLO BJ die neuartige Option, Al-Finger auf beiden Solarzellenoberflächen und somit für beide Polaritäten zu verwenden^[19].

To achieve multi-terawatt scale manufacturing of PV modules, it is necessary to significantly reduce the amount of silver consumed per PV module power^[16]. Many high-efficiency solar cell concepts use a screen-printed silver (Ag) finger grid on both sides of the solar cells^[16]. To reduce silver consumption while still using screen-printed metal contacts, one approach is to use aluminum (Al) contacts. This approach is already used on the rear side of the out-phasing mainstream passivated emitter and rear solar cells (PERC+). The POLO back junction (POLO BJ) solar cell^{[17], [18]} uses these Al contacts on its front side and at the same time promises to achieve high efficiencies while keeping the lean process flow of the PERC+ concept. Recently, we demonstrated a 24.2% efficient POLO BJ solar cell with room for further improvement. Compared to other high-efficiency solar cell concepts, POLO BJ offers the novel option to use Al fingers on both solar cell surfaces and thus for both polarities^[19].

Zur Entnahme der erzeugten elektrischen Leistung und um sie im Langzeitbetrieb zu schützen, müssen die Solarzellen für die Integration ins PV-Modul kontaktiert, verschaltet und verkapselt werden. Allerdings muss das Standardverfahren der PV-Industrie zur Kontaktierung der Al-Metallisierung erheblich angepasst werden. Bei PERC+-Solarzellen enthält das Al-Gitter Ag-Strukturen, die als Lötunkte dienen. Diese können bis zu 10 mm x 4 mm groß sein, was für die Anwendung auf der Vorderseite aufgrund von Abschattungen nicht praktikabel ist, wie in Abb. 24 gezeigt.

To extract the generated power cells and protect them during long-term application, the solar cells need to be contacted, interconnected, and encapsulated within a PV module. However, the standard process of the PV industry to contact the Al metallization needs to be significantly adapted. On PERC+ solar cells, the Al grid contains Ag structures known as solder pads. These can measure up to 10mm x 4mm, which is unfeasible for front side application due to shading, as shown in Fig. 24.

Darüber hinaus führt die Verwendung von Ag-Lötunkten zu einem hohen Serienwiderstand, da das Al-Ag-Eutektikum einen spezifischen Widerstand aufweist, der um eine Größenordnung höher ist als der der Al-Metallisierung^[20]. Infolgedessen ist ein großer Überlappungsbereich zwischen den Ag-Lötunkten und dem Al-Gitter erforderlich. Die Abhängigkeit des Widerstands von der Geometrie der Lötunkte wird in Abb. 25 analysiert. Der Widerstand sinkt mit zunehmender Strukturlänge der Lötunkte

Additionally, the inclusion of Ag pads results in a high series resistance due to the Al-Ag eutectic having a specific resistance about one order of magnitude higher than that of the Al metallization^[20]. As a result, an extended overlapping area between the Ag pad and the Al grid is necessary. The dependence of the resistance on the geometry of the solder pads is analyzed in Fig. 25. The resistance decreases as the pad length and thus the length of the overlapping region between the Ag and Al metallization increases. To reduce power loss resulting from the contacting of the metal grid to below 0.5%, 30 or more overlap regions are required according to electrical simulations, as opposed to the three or four that are required for larger size solder pads.

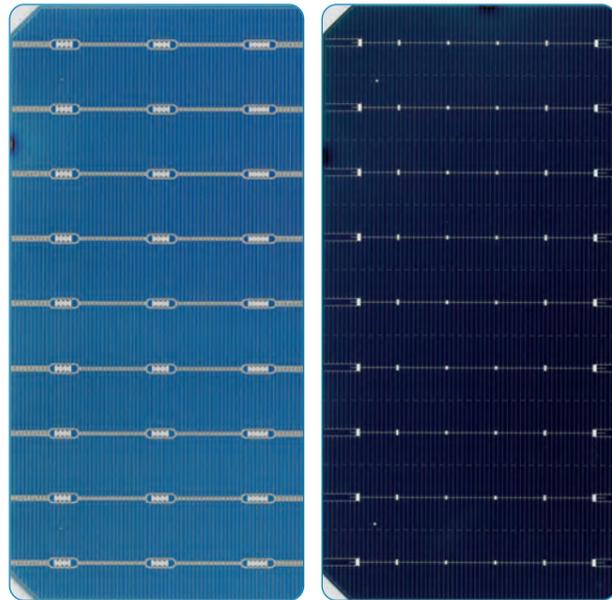
^[16] Y. Zhang, M. Kim, L. Wang, P. Verlinden, B. Hallam, Energy Environ. Sci. 14 (2021) 5587–5610. <https://doi.org/10.1039/D1EE01814K>.

^[17] R. Brendel, C. Kruse, A. Merkle, H. Schulte-Huxel, F. Haase, R. Peibst, Proceedings of the 35th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Brussels, Belgium, pp. 39-46 (2018).

^[18] B. Min, L. Nasebandt, C. Hollemann, D. Brede-meier, L. Thiemann, T. Brendemühl, K. Bothe, R. Peibst, R. Brendel, Proceedings of the 8th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, Milan, Italy, pp.107-109 (2022).

^[19] B. Min, N. Wehmeier, H. Schulte-Huxel, R. Witteck, T. Brendemühl, T. Daschinger, F. Haase, Y. Larionova, L. Nasebandt, K. Tsuji, M. Dhamrin, R. Peibst, R. Brendel, Proceedings of the 38th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, pp. 158-161 (2021).

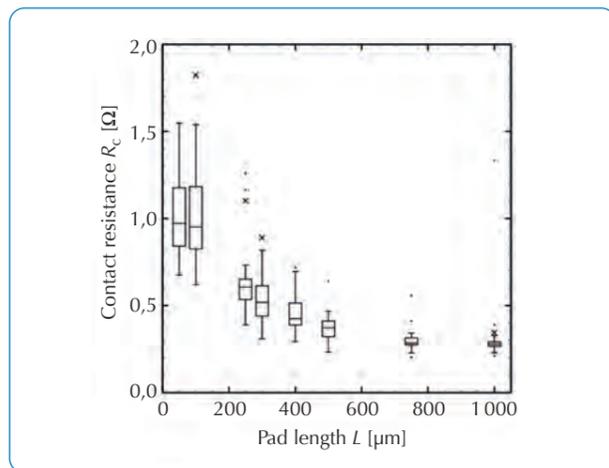
^[20] J.J. van den Broek, A.G. Dirks, P.E. Wierenga, Thin Solid Films 130 (1985) 95–101. [https://doi.org/10.1016/0040-6090\(85\)90299-8](https://doi.org/10.1016/0040-6090(85)90299-8).



Abbildung/Figure 24: Foto von einem Ausschnitt der Rückseite (links) und der Vorderseite (rechts) einer kommerziellen bifacialen PERC+-Solarzelle. Photo of a section of the back (left) and front (right) of a commercial bifacial PERC+ solar cell.

und damit der Länge des Überlappungsbereichs zwischen der Ag- und Al-Metallisierung. Um die Verlustleistung, die durch die Kontaktierung des Metallgitters entsteht, auf unter 0,5% zu reduzieren, sind nach elektrischen Simulationen 30 oder mehr Überlappungsbereiche erforderlich, im Gegensatz zu den drei oder vier, die bei größeren Lötspunkten erforderlich sind.

Diese Anzahl von Überlappungsbereichen liegt in der Regel in der Größenordnung der Anzahl von Fingern pro Halbzelle und führte zur Entwicklung eines neuen Metallgitters. Es besteht aus einem hochleitenden Ag-Busbar, der jeden Finger kontaktiert, ähnlich wie auf der Vorderseite von Ag-gedruckten Solarzellen (siehe Abb. 24 rechts). Das Design zielt darauf ab, einen niedrigen Kontaktwiderstand zu erreichen, indem die Kontaktflächen zwischen dem Ende



Abbildung/Figure 25: Boxplot des Kontaktwiderstands R_c in Abhängigkeit von der Padlänge L , d. h. der Länge des Überlappungsbereichs zwischen dem Al-Busbars und den Ag-Pads.

Boxplot of the contact resistance R_c in dependence of the pad length L , i.e. the length of the overlap region between the Al busbar and the Ag pads.

des Al-Fingers und dem schmalen Ag-Busbar erweitert werden (siehe Abb. 26). Durch die Verbreiterung der Abschnitte können wir die Widerstandsverluste im Vergleich zu Al-Busbars sowie deren Abschattung reduzieren. Außerdem haben wir eine lötbare Kontaktstruktur implementiert, die für die automatische Integration von PV-Modulen weiter verbessert werden kann.

Durch die Vergrößerung der Kontaktlänge des Al-Fingers zum Ag-Busbar konnte der Serienwiderstandsbeitrag der Al-Ag-Legierung auf Werte zwischen $15 \text{ m}\Omega \text{ cm}^2$ und $35 \text{ m}\Omega \text{ cm}^2$ reduziert werden. Das neue Busbar-Design hat eine Gesamtabschattung von etwa 1,5%, die geringer ist als die durch die Verbindungsdrähte verursachte Abschattung.

Wir danken dem Land Niedersachsen und dem Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) für die Förderung unter den Förderkennzeichen 03EE1012A (NanoPERC) und 03EE1150A (Apolon).

Enlarging the contact length of the Al finger to the Ag busbar has reduced the series resistance contribution of the Al-Ag alloy to a range between $15 \text{ m}\Omega \text{ cm}^2$ and $35 \text{ m}\Omega \text{ cm}^2$. The new busbar design has an overall shading of approximately 1.5%, which is lower than the shading caused by the interconnecting wires.

We thank the state of Lower Saxony and the Federal Ministry for Economic Affairs and Climate Action (BMWK) for funding under grant number 03EE1012A (NanoPERC) and 03EE1150A (Apolon).



Abbildung/Figure 26: Vergrößerung eines alternativen Designs des Al-Gitters mit Ag-Pads für lötbare Kontakte. Anstelle eines von einem Al-Busbar umgebenen Lötspads verwenden wir einen schmalen Ag-Busbar mit Lötspads und passen den Schnittpunkt zwischen dem Ag-Busbar und dem Al-Finger an.

Magnification of an alternative design of the Al grid with Ag pads for solderable contacts. Instead of using a solder pad surrounded by an Al busbar we use a narrow Ag busbar with solder pads and adapt the intersection between the Ag busbar and the Al finger.

Henning Schulte-Huxel, Thomas Daschinger, Till Brendemühl, Byungsul Min

Innovative schnelle Charakterisierungsmethode zum Finden von Fehlern in großen PV-Anlagen

In großen PV-Anlagen können einzelne defekte PV-Module deutlich mehr Leistungsverluste erzeugen als es ihrer eigenen, einzelnen Leistung entspricht. Es gibt daher ein großes Interesse an schnellen und kostengünstigen Methoden zum Auffinden von fehlerhaften PV-Modulen in großen PV-Systemen und -Kraftwerken. Das Light-Induced Electroluminescence (LIEL)-Tool wurde am ISFH zusammen mit der Aerial PV Inspection GmbH im Rahmen eines ZIM-geförderten Projektes (FKZ KK5291101BS1) entwickelt. Die LIEL-Methode kann die gleiche Anzahl von Fehlermustern in PV-Modulen detektieren wie der goldene Messstandard Elektrolumineszenz (EL).

Abbildung 27 zeigt die Anwendung des LIEL-Systems in einem großen PV-Kraftwerk. Diese neue Messtechnik kann auf PV-Module mit parallel verschalteten Solarzellensträngen in einem PV-Modul angewendet werden. Nahezu alle derzeit auf dem Markt befindlichen PV-Modultypen basieren auf Halb-Zellen, die in einer Serien-Parallel-Schaltung zusammengeschaltet sind, und erfüllen daher diese Bedingung. Abbildung 28 zeigt das Messprinzip: Es wird ein LED-Blitzlichtimpuls auf eine PV-Modulhälfte angewendet, um einen elektrischen Strom durch die andere, parallel geschaltete PV-Modulhälfte zu treiben. Dadurch wird der andere Teil



Abbildung/Figure 27: LIEL-System in Aktion in einem großen PV-Kraftwerk.

Innovative, fast characterisation method for finding faults in large PV systems

In large-scale PV systems, individual defective PV modules can generate significantly more power losses than their own individual output. There is therefore great interest in fast and cost-effective methods for detecting faulty PV modules in large-scale PV systems and power plants. The Light-Induced Electroluminescence (LIEL) tool has been developed at ISFH together with Aerial PV Inspection GmbH within a ZIM funded project (FKZ KK5291101BS1). The LIEL system can detect the same number of fault patterns in PV modules as the gold measurement standard electroluminescence (EL).

Figure 27 shows the application of the LIEL tool in a large-scale PV power plant. This new measurement technique can be applied to PV modules with parallel interconnected solar cell strings in one PV module. Nearly all current PV module types on the mainstream market are based on half-cut solar cells being interconnected in a series-parallel interconnection and therefore fulfil this condition. Figure 28 depicts the measurement principle: an LED flash light pulse on one PV module half is used to drive an electric current through the other parallel connected PV module half. This excites the other part to electroluminescence. To get a full electroluminescence image of both PV module halves, two images have to

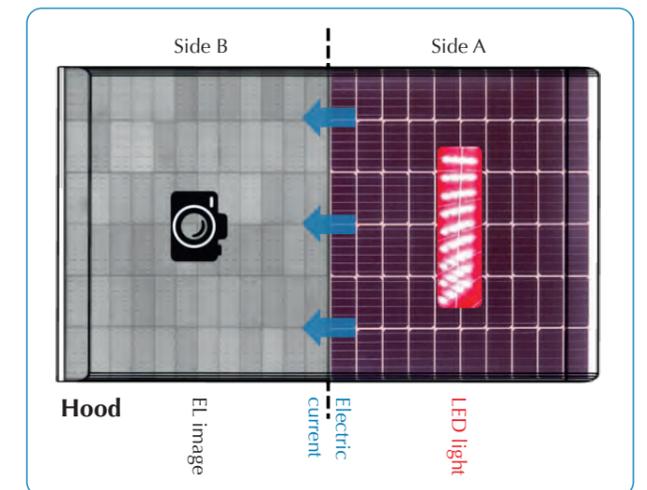
LIEL system in action on a large-scale PV power plant.

zur Elektrolumineszenz angeregt. Um ein vollständiges Elektrolumineszenzbild von beiden PV-Modulhälften zu erhalten, müssen zwei Bilder aufgenommen werden. Abbildung 29 zeigt ein Beispiel für ein LIEL-Bild, das aus zwei LIEL-Messungen eines PV-Moduls zusammengesetzt wurde. Das LIEL-Bild zeigt viele gut erkennbare gebrochene Solarzellen in dem PV-Modul. Auf einem Lichtbildfoto kann man diese Fehler nicht erkennen.

Das LIEL-Tool hat noch weitere herausragende Eigenschaften. Das Gerät kann sowohl bei Tag als auch bei Nacht eingesetzt werden. Es ist nicht notwendig, bestimmte Einstrahlungsbedingungen abzuwarten, wie dies bei anderen gängigen Charakterisierungsmethoden wie Thermografie, nächtlicher Elektrolumineszenz oder Photolumineszenz bei Tag der Fall ist. Das Tool kann flexibel an alle PV-Modulgrößen angepasst werden und ist ausreichend tolerant gegenüber Fehlpositionierungen (± 2 cm) auf den PV-Modulen. Die Methode funktioniert ohne Abschalten des Wechselrichters. Es können sogar PV-Modulstränge erkannt werden, die fälschlicherweise nicht an den Wechselrichter angeschlossen sind. Ein nicht angeschlossenes PV-Modul wird durch ein Bild angezeigt, das eine sehr intensive Lumineszenz im Vergleich zu kontaktierten PV-Modulen zeigt.

be taken. Figure 29 shows an example of a LIEL image composed of two LIEL measurements of one PV module. The LIEL image shows many well detectable broken solar cells in the PV module. These faults cannot be recognised on a photograph.

The LIEL tool has also other outstanding characteristics. The tool can be used at day and night time. There is no need to wait for certain irradiation conditions as with other common characterisation methods like thermography, night-time electroluminescence or day-time photoluminescence. The tool can be flexibly adapted to all PV module sizes and it is sufficiently tolerant of incorrect positioning (± 2 cm) on the PV modules. The method works without switching off the inverter. It can even recognise PV module strings that are incorrectly not connected to the inverter. An unconnected PV module is indicated by an image that shows a very intense luminescence compared to contacted PV modules.



Abbildung/Figure 28: Schema des Messverfahrens, mit der gleichen Ausrichtung wie in Abb. 27.

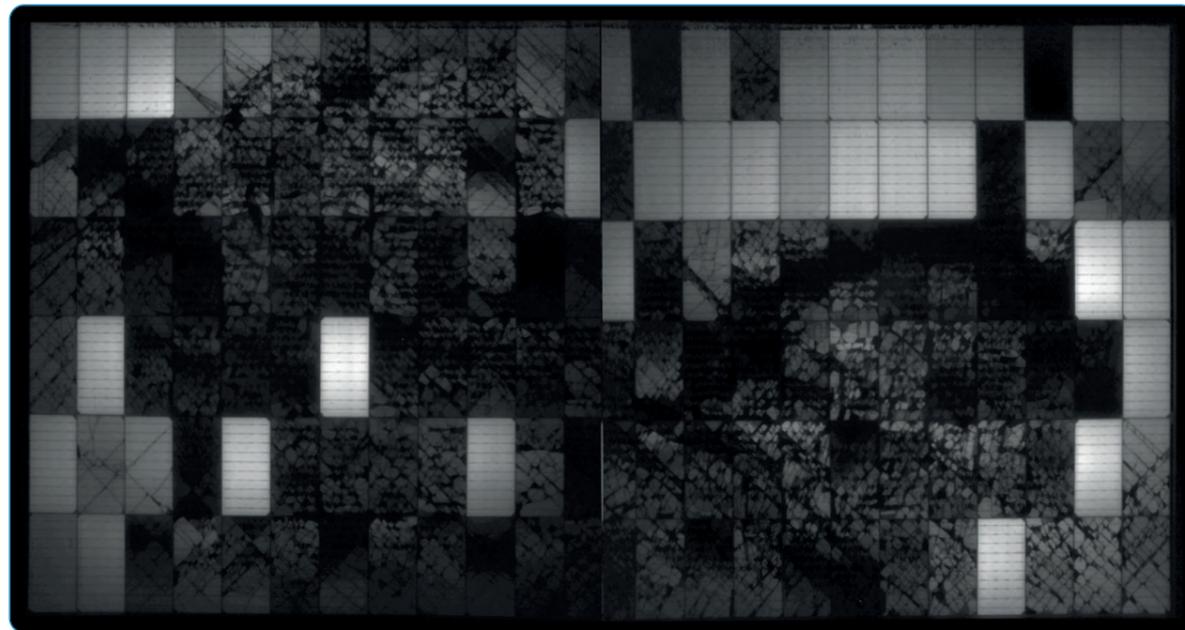
Scheme of the measurement method, with the same orientation as in Fig. 27.

Das Tool ermöglicht schnelle Messzeiten von 12 Sekunden pro PV-Modul, einschließlich der Bewegung des Messwerkzeugs von PV-Modul zu PV-Modul und der Aufnahme von Bildern von zwei PV-Modulhälften. Die Technik ist im Freiland Einsatz mechanisch robust und kann für einen Flug verpackt werden. Der Zeitaufwand für das Auf- und Umpacken pro Einsatz beträgt weniger als 2 Stunden. Außerdem muss für den Messvorgang kein elektrischer Anschluss geöffnet werden. Damit können keine gealterten Verbindungen unterbrochen oder Fehler bei der Neuverdrahtung der PV-Module gemacht werden. Für die Kosten der LIEL-Anwendung ist es von Vorteil, dass keine Elektrofachkraft benötigt wird.

It allows fast measurement times of 12 s per PV module including movement of the measurement tool from PV module to PV module and taking images of two PV module halves. The system is mechanically robust in open-air use and can be packed for a flight. The overhead time for setting up and repacking per use is less than 2 hours. Furthermore, no electrical connection needs to be opened for the measuring procedure. Therewith no aged connectors can be broken and no mistakes can be made during rewiring of the PV modules. For the costs of LIEL application it is beneficial that no qualified electrician is needed.

Ein Prototyp des LIEL-Systems ist am ISFH im Einsatz. Derzeit wird das System mit Auslegern angepasst, um alle PV-Module eines Kraftwerks mit der LIEL-Messhaube zu erreichen. Unser Partner Aerial PV Inspection GmbH wird ein LIEL-System für den produktiven Einsatz bauen und dieses zur Analyse von PV-Kraftwerken bei zukünftigen Inspektionen einsetzen. Die neue LIEL-Technologie ist eine sehr effiziente Ergänzung zu den Standard-Charakterisierungsmethoden. Ihre größte Stärke ist es, eine große Anzahl von Stichproben in einem großen PV-Kraftwerk mit sehr geringem Aufwand durchzuführen.

One prototype LIEL system is used at ISFH. Currently the system is adapted with booms to reach all PV modules of a power plant with the LIEL measurement hood. Our partner Aerial PV Inspection GmbH will build a LIEL system for productive use and use it to analyse PV power plants in future inspections. The new LIEL technology provides a very efficient addition to the standard characterisation methods. Its greatest strength is to measure a great number of random samples in a large PV power plant with very small effort.



Abbildung/Figure 29: LIEL-Bild eines defekten PV-Moduls.
LIEL image of defective PV module.

3D-Lamination für die flexible Produktion von verschiedenartig gekrümmten PV-Modulen

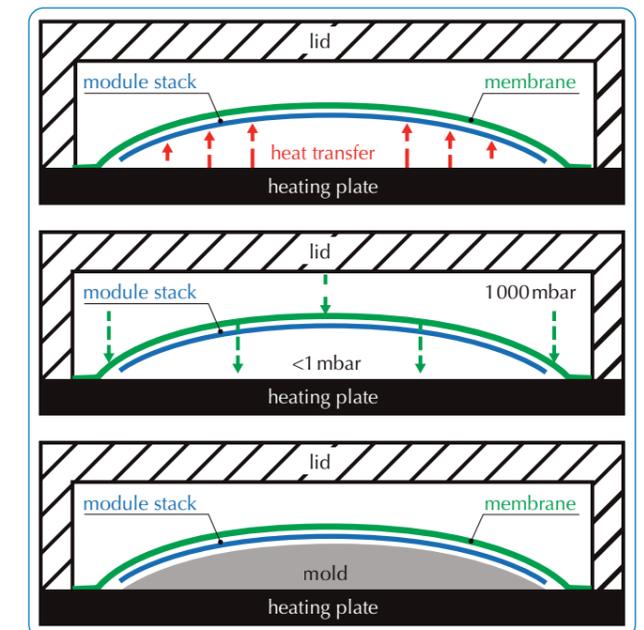
3D lamination for flexible manufacturing of variously curved PV modules

Das kontinuierliche Wachstum des Photovoltaiksektors (PV) hat zur Entwicklung neuer Anwendungen von Photovoltaik (PV) geführt, wie z. B. gebäudeintegrierte PV (BIPV) und fahrzeugintegrierte PV (VIPV). Diese Anwendungen erfordern ein angepasstes Design der PV-Module in Bezug auf Materialzusammensetzung und Form^{[21][22]}. Gebogene PV-Module zur Integration in komplexe Gebäudehüllen oder Fahrzeugkarosserien stellen ein neues Feld mit potenziell hohem Marktvolumen dar.

The continuous growth of the photovoltaics (PV) sector has led to the development of new PV applications, such as building-integrated PV (BIPV) and vehicle-integrated PV (VIPV). These applications require adapted PV module designs in terms of material composition and shape^{[21][22]}. Curved PV modules for integration into complex building skins or vehicle bodies represent a new field with potentially high market volume.

Im Allgemeinen können diese gebogenen PV-Module aufgrund ihrer dreidimensionalen Beschaffenheit nicht mit denselben Anlagen wie flache Standard-PV-Module hergestellt werden. Während des Laminationsprozesses müssen Druck und Wärme auf das PV-Modul übertragen werden. Ersteres birgt die Gefahr der Verformung eines dreidimensionalen PV-Moduls, zweiteres wird durch den reduzierten direkten Kontakt zwischen den flachen Heizelementen und dem gebogenen PV-Modul stark behindert, wie in Abb. 30 dargestellt. Der Wärmetransport kann die mechanische Belastung im Vergleich zu einem herkömmlichen Platten-Membran-Laminator verringern^[23]. Die Wärmeübertragung zwischen den flachen Heizelementen und dem gekrümmten Modulstapel bleibt jedoch eine Herausforderung. Metallische oder metallhaltige Formen zur mechanischen Unterstützung verbessern die Wärmeleitung (vgl. Abb. 30)^[24]. Allerdings erfordert jedes individuell geformte Substrat eine individuelle und teure Form, was für maßgeschneiderte PV-Module, wie sie für BIPV verwendet werden, nicht wirtschaftlich ist.

In general, these curved PV modules cannot be produced using the same equipment as for flat standard PV modules due to their three-dimensional nature. During the lamination process mechanical load and heat need to be transferred to the PV module. The first risks deformation of a 3D PV module and the second is severely hindered by the reduced direct contact between the heat transfer elements and the curved PV module, as depicted in Fig. 30. A double-membrane laminator can reduce mechanical load compared to a conventional plate-membrane laminator^[23]. However, heat transfer between flat heating elements and curved module stack remains challenging. Metallic or metal-containing molds for mechanical support improve the heat conduction (cf. Fig. 30)^[24]. However, every individually shaped substrate requires a unique and expensive mold, which is not feasible for custom-made PV modules as used for BIPV.



Abbildung/Figure 30: Drei Herausforderungen bei der 3D-Lamination von gekrümmten PV-Modulen: Wärmeübertragung von der flachen Heizplatte auf den gebogenen Modulstapel (oben), Membrandruck (Mitte) und individuell geformte Wärmeübertragungsformen (unten).
Three challenges of 3D lamination of curved PV modules: heat transfer from flat heating plate to curved module stack (top), membrane pressure (middle) and individually shaped heat transfer molds (bottom).

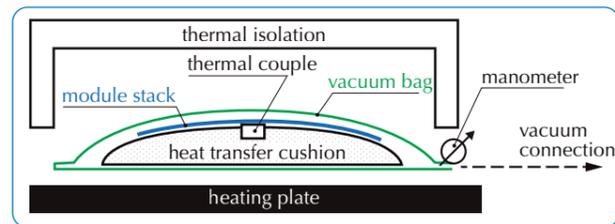
^[21] Commault et al., Appl. Sci. 2021, 11, 11598, doi: 10.3390/app112411598

^[22] Kuhn et al., Energy & Buildings Vol. 214, 2020, doi: 10.1016/j.enbuild.2020.110381

^[23] Govaerts et al., WCPEC-8, 2022, doi: 10.4229/WCPEC-82022-3CO.5.3

^[24] Neven-du Mont et al., PVinMotion, 2023

Als alternative Lösung haben wir verformbare Wärmetransferkissen als flexible Wärmetransferform entwickelt, die sowohl die mechanische Stabilität der dreidimensional geformten PV-Modulstruktur als auch die Wärmeübertragung vom Heizelement auf das PV-Modul während der Lamination unterstützen, und dieses Verfahren zum Patent angemeldet ^[25]. Für die Herstellung der Wärmetransferkissen werden hitzebeständige Polymerfolien oder Textilien, wie z. B. Leinen, verwendet, die mit Aluminiumgranulat gefüllt werden. Diese Kissen werden auf die Heizplatte eines herkömmlichen Platten-Membran-Laminators gelegt und so geformt, dass sie der negativen Form des Substrats des PV-Moduls entsprechen. Das Substrat und der PV-Modulstapel, d. h. die Solarzellen, das Einkapselungsmaterial und die Vorderseitenabdeckung, werden dann, wie in Abb. 31 skizziert, auf die Kissen gelegt und sind bereit für die Lamination.



Zur Erprobung des Konzepts haben wir eine Pkw-Motorhaube als Substrat verwendet. Abb. 32 zeigt, dass das Einkapselungsmaterial gleichmäßig über die gesamte Oberfläche geschmolzen ist. Dies beweist eine gleichmäßige Wärmeübertragung selbst unter den kritischen Bedingungen, die durch die Krümmung und die komplexe hohle Stützstruktur auf der Rückseite des Substrats verursacht werden (siehe Abb. 32 rechts). Darüber hinaus werden dank der mechanischen Unterstützung durch die Wärmetransferkissen keine Verformungen des Stahlsubstrats durch den aufgebrachtten Druck



Abbildung/Figure 32: Links: Vorderseite eines VIPV-Moduls auf der Basis einer Pkw-Motorhaube, das mit halbierten Rückkontakt-Solarzellen ausgestattet ist, was zu einem farblich einheitlichen Erscheinungsbild führt. Rechts: die Rückseite mit der Stützstruktur.

As an alternative solution, we developed deformable heat transfer cushions as a flexible heat transfer mold to support both the mechanical stability of the 3D-shaped PV module structure and the heat transfer from the heating element to the PV module during lamination and filed a patent for this method ^[25]. Heat-resistant polymer films or textile fabrics, such as linen, filled with aluminum granulate, are used to make the heat transfer cushions. These cushions are placed on the heating plate of a conventional plate-membrane laminator and shaped to match the negative shape of the PV module's substrate. The substrate and the PV module stack, i.e. the solar cells, encapsulation materials, and front side cover, are then placed on top of the cushions, as sketched in Fig. 31, and are ready for lamination.

Abbildung/Figure 31: Skizzierter Versuchsaufbau für den 3D-Laminationsprozess mit Hilfe von Wärmetransferkissen als flexible Wärmetransferform zwischen flacher Heizplatte und gebogenem Modulstapel in einem Vakuumsack.

Sketched experimental setup for the 3D lamination process with the help of heat transfer cushions as a flexible heat transfer mold between flat heating plate and curved module stack in a vacuum bag.

As a proof-of-concept, we used a car hood as a substrate. Figure 32 shows that the encapsulant melted evenly over the entire surface. This demonstrates a uniform heat transfer even under the critical conditions caused by the curvature and complex hollow supporting structure on the rear side of the substrate (see Fig. 32 right). Additionally, no deformations of the steel substrate due to the applied pressure during lamination is observed thanks to mechanical support by the heat transfer cushions. Our method thus enables the lamination of 3D-shaped PV modules in a conventio-



Left: Front side of a VIPV module based on a passenger car hood equipped with half-cut back contact solar cells resulting in a uniform color appearance. Right: its rear side with the supporting structure.

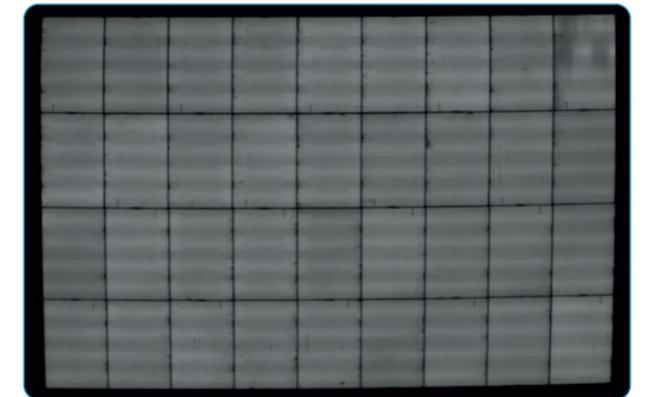
^[25] "FlexHTM Verfahren zur Aufbringung einer Solarzellenlaminiierung auf ein einfach oder mehrfach gekrümmtes Flächenelement", patent number DE 10 2022 104 261 B3

während der Lamination beobachtet. Unsere Methode ermöglicht somit die Lamination von dreidimensional geformten PV-Modulen in einem herkömmlichen Platten-Membran-Laminator. Das Elektrolumineszenz (EL) Bild in Abb. 33 bestätigt eine rissfreie Lamination, da kein Bruch der Solarzellen in der Matrix sichtbar ist. Das in Abb. 32 gezeigte PV-Modul hat eine gemessene Leistung von 98 W und einen Wirkungsgrad von 21,3 %.

Abbildung/Figure 33: Elektrolumineszenzbild eines VIPV-Moduls auf der Basis von Rückkontakt-Solarzellen auf einem Ausschnitt einer Pkw-Motorhaube, das zeigt, dass die Solarzellen nach der Lamination mit Wärmetransferkissen keine Risse haben.

Electroluminescence image of a VIPV module based on back contact solar cells on a cutout of a passenger car hood showing the absence of solar cell breakage after lamination with heat transfer cushions.

nal plate-membrane laminator. The electroluminescence (EL) image in Fig. 33 confirms a crack-free lamination, as no solar cell breakage in the matrix is visible. The PV module shown in Fig. 32 has a measured power of 98 W and an efficiency of 21.3 %.



Da VIPV-Module während des Betriebs im Vergleich zu Standard-PV-Modulen rauerer mechanischen Belastungen ausgesetzt sind, wurde ein Vibrationstest an einer PV-aktivierten Motorhaube durchgeführt. Der Test basiert auf dem Vibrationstest für Fahrzeugteile gemäß ISO 16750-3 ^[26] und wurde 24 Stunden lang bei einer Umgebungstemperatur von 25 °C durchgeführt. Nach dem Test wurde weder mit bloßem Auge noch auf EL-Bildern eine visuelle Verschlechterung des Stahlsubstrats, der Solarzellen oder ihrer Verschaltung festgestellt. Dies deutet auf ein strukturell solides PV-Modul ohne Sollbruchstellen aus dem Vakuumlaminationsprozess hin. Die Leistungsver schlechterung des getesteten VIPV-Moduls aufgrund der Vibrationstests betrug weniger als 3 %.

Das hier vorgestellte 3D-Laminationsverfahren ist nicht auf die Herstellung von VIPV-Modulen beschränkt, sondern kann aufgrund seiner geometrischen Flexibilität für die Herstellung von 3D-geformten PV-Modulen für jede Anwendung genutzt werden. Eine weitere Anwendung, die derzeit untersucht wird, ist die strukturierte gebäudeintegrierte Photovoltaik.

Die Autoren bedanken sich für die Förderung durch das Horizon 2020 Programm der Europäischen Union für Forschung, technologische Entwicklung und Demonstration unter Grant Agreement Nr. 857793 (HighLite), das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz im Rahmen des Forschungsprojektes AluPV (FKZ 03EN1069A) und das Land Niedersachsen.

As VIPV modules are exposed to rougher mechanical impacts during operation compared to standard PV modules, a vibration test was conducted on a PV-activated car hood. The test is based on the random vibration test for vehicle equipment as defined in ISO 16750-3 ^[26], and was conducted for 24 hours at an ambient temperature of 25 °C. No visual degradation of the steel substrate, the solar cells or their interconnection is detected after the test, either with the naked eye or on EL images. This indicates a structurally sound PV module without predetermined breaking points from the vacuum lamination process. The power degradation of the tested VIPV module due to the vibration testing was less than 3 %.

The 3D lamination process presented here is not limited to the production of VIPV modules but can be used for creating 3D-shaped PV modules for any application due to its geometric flexibility. An additional application, which is currently investigated, is structured building-integrated photovoltaics.

The authors appreciate the funding by the European Union's Horizon 2020 Programme for research, technological development and demonstration under Grant Agreement no. 857793 (HighLite), the German Federal Ministry for Economic Affairs and Climate Action within the research project AluPV (Contract no. 03EN1069A) and the German State of Lower Saxony.

^[26] "Road vehicles – Environmental conditions and testing for electrical and electronic equipment – Part 3: Mechanical loads", ISO/FDIS 16750-3:2007

Wiebke Wirtz, Jens Eilrich, Arnaud Morlier, Sonja Bräunig, Susanne Blankemeyer, Kevin Meyer, Henning Schulte-Huxel

Abteilung Solare Systeme

Viel Sonne in Niedersachsen - Ein detaillierter Blick auf die niedersächsischen Dächer

Mit der Novellierung des Niedersächsischen Klimaschutzgesetzes hat sich das Land Niedersachsen zum Ziel gesetzt bereits im Jahr 2040 Treibhausgasneutralität zu erreichen. Eine Maßnahme auf diesem Weg ist die Deckung des Energiebedarfs durch erneuerbare Energien, wobei der Photovoltaik eine große Bedeutung zukommt. Bis zum Jahr 2035 sollen insgesamt 65 GW PV-Leistung in Niedersachsen aufgebaut werden, wovon nur 15 GW mit Freiflächenanlagen realisiert werden sollen. Somit rücken bereits versiegelte Flächen wie beispielsweise Dächer, Fassaden oder Parkplätze in den Fokus der Betrachtung.

Wir haben das auf den in Niedersachsen vorhandenen Dachflächen realisierbare Photovoltaik-Potenzial abgeschätzt und vor dem Hintergrund des Ausbauziels bewertet. Die Grundlage hierfür bilden niedersachsenweite dreidimensionale Gebäudedaten. Unsere Simulation platziert in einem ersten Schritt PV-Module auf allen Dachflächen und schätzt so für jedes Dach die maximal installierbare PV-Leistung ab. Um die Flächenbelegung zu maximieren nehmen wir für Flachdächer an, dass eine Ost-West-Aufständigung der PV-Module mit einem Anstellwinkel von 15° gewählt wird. Da die Gebäudedaten keine detaillierten Informationen zu vorhandenen Einschränkungen der Eignung wie beispielsweise Statik, Dachfenster oder Kamine enthalten, ist diese Abschätzung eine obere Grenze für das PV-Potenzial. Auf der Basis von Literaturwerten nehmen wir an, dass 50% des auf diese Weise ermittelten PV-Potenzials tatsächlich realisiert werden kann.



Abbildung/Figure 34: Darstellung der mittels CityPV berechneten Jahressumme der solaren Einstrahlung für einen Ausschnitt aus der Innenstadt von Hannover. (Datenquelle Gebäudegeometrien: CC-BY-4.0 – Bereich Geoinformation – LH Hannover)
Illustration of the annual sum of insolation calculated using CityPV for a section of the city center of Hannover. (Data source building geometries: CC-BY-4.0 - Geoinformation department - LH Hannover)

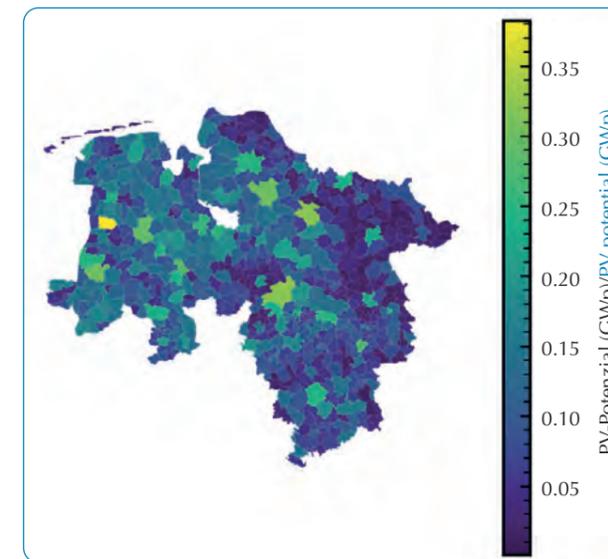
Solar systems department

Lots of sun in Lower Saxony - A detailed look at the roofs of Lower Saxony

With the amendment of the Lower Saxony Climate Protection Act, the state of Lower Saxony has set itself the goal of achieving greenhouse gas neutrality by 2040. One measure on this path is to cover energy requirements with renewable energies, with photovoltaics playing a major role. A total of 65 GW of PV capacity is to be installed in Lower Saxony by 2035, of which only 15 GW is to be realized with ground-mounted systems. This means that already sealed surfaces such as roofs, façades and parking lots will become the focus of attention.

We have estimated the photovoltaic potential that can be realized on the roof surfaces available in Lower Saxony and evaluated it against the background of the expansion target. Our study is based on three-dimensional building data from across Lower Saxony. In a first step, our simulation places PV modules on all roof surfaces and thus estimates the maximum installable PV output for each roof. In order to maximize the area coverage, we assume for flat roofs that an east-west elevation of the PV modules with an angle of 15° is selected. As the building data does not contain any detailed information on existing limitations to suitability such as statics, skylights or chimneys, this estimate is an upper limit for the PV potential. Based on literature values, we assume that 50% of the PV potential determined in this way can actually be realized.

In einem zweiten Schritt berechnen wir mittels der in Kooperation mit der Leibniz Universität Hannover entwickelten Software CityPV die solare Einstrahlung für jedes niedersächsische Dach und damit den erzielbaren Jahresertrag einer PV-Anlage. Abbildung 34 zeigt beispielhaft für einen Ausschnitt aus der Innenstadt von Hannover die Jahressumme der solaren Einstrahlung und deren Verteilung auf Dächer mit verschiedenen Ausrichtungen und Neigungen. Bei dieser Berechnung zeigt sich, dass Verschattung vor allem die in blau dargestellten Fassadenflächen mit geringer Einstrahlung betrifft. Daher haben wir die niedersachsenweite Betrachtung der Dachflächen vereinfacht und Verschattung zunächst vernachlässigt. Dadurch sinkt der notwendige Rechenaufwand erheblich, die erzielbaren Erträge werden aber leicht überschätzt.



In a second step, we use the CityPV software developed in cooperation with the Leibniz University of Hanover to calculate the solar irradiation for each roof in Lower Saxony and thus the achievable annual yield of a PV system. Figure 34 shows an example of the annual total of solar irradiation and its distribution on roofs with different orientations and inclinations for a section of the city center of Hanover. This calculation shows that shading mainly affects the façade areas with low irradiation shown in blue. For this reason, we have simplified the Lower Saxony-wide consideration of roof surfaces and initially neglected shading. This considerably reduces the necessary calculation effort, but the achievable yields are slightly overestimated.

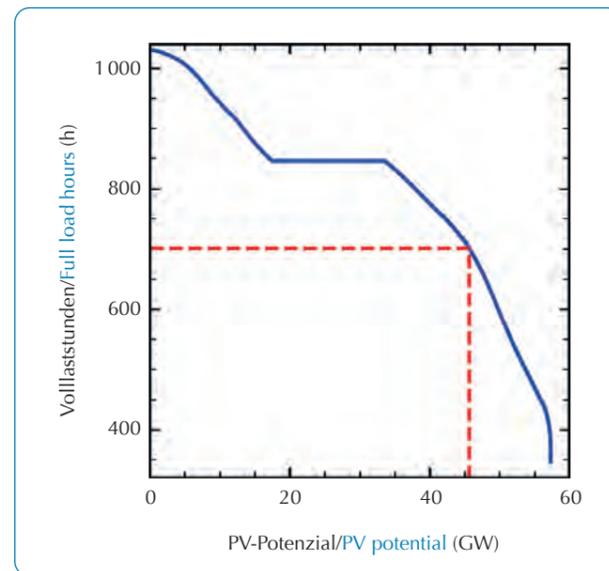
Abbildung/Figure 35: Darstellung des nach Postleitzahlgebieten aufsummierten PV-Potenzials in Niedersachsen.
Presentation of the PV potential in Lower Saxony aggregated up by zip code area.

So erhalten wir eine Liste aller niedersächsischen Dachflächen inklusive ihrer jeweiligen maximalen Anzahl an PV-Modulen und deren realisierbaren PV-Leistungen. In Abbildung 35 haben wir diesen Datensatz nach Postleitzahlgebieten aufgeteilt und für jedes Gebiet die Summe der realisierbaren PV-Leistung angegeben. Würden alle Dachflächen in Niedersachsen mit dem realisierbaren Potenzial maximal belegt, ließe sich eine PV-Leistung von 57,3 GW installieren. Außerdem haben wir für jede einzelne Dachfläche in Niedersachsen die Volllaststunden berechnet. Die Volllaststunden geben an, welche Energiemenge in Kilowattstunden pro installiertem Kilowatt PV-Leistung erzielt werden kann. Sie ergeben sich aus der in Abbildung 34 dargestellten Jahressumme der Einstrahlung und der angenommenen Effizienz der PV-Module. Daran lässt sich ablesen, wie gut einzelne Dachflächen für den Ausbau von Photovoltaik geeignet sind und auf welcher Teilmenge der niedersächsischen Dachflächen der Ausbau nicht mehr wirtschaftlich wäre.

This gives us a list of all roof areas in Lower Saxony, including their respective maximum number of PV modules and thus the realizable PV power. In Figure 35, we have divided this data set according to zip code areas and indicated the total realizable PV power for each area. If all roof areas in Lower Saxony were occupied with the maximum realizable potential, a PV capacity of 57.3 GW could be installed. We have also calculated the full load hours for each individual roof area in Lower Saxony. The full load hours indicate the amount of energy in kilowatt hours that can be generated per installed kilowatt of PV power. They result from the annual total of irradiation shown in Figure 34 and the assumed efficiency of the PV modules. The number of full load hours shows how suitable individual roof areas are for the expansion of photovoltaics and on which part of the roof areas in Lower Saxony the expansion would no longer be economical.

In Abbildung 36 haben wir die Dachflächen zunächst entsprechend ihrer Volllaststunden absteigend geordnet und den Wert der Volllaststunden gegenüber dem kumulierten PV-Potenzial aufgetragen. Wären alle Dächer gleichermaßen gut für PV geeignet, würde sich eine horizontale Linie konstanter Volllaststunden ergeben. Es zeigt sich jedoch, dass die Dachflächen mit den höchsten Volllaststunden ein knappes Gut sind. Würden alle Dächer mit PV ausgebaut die ost-, süd- oder westwärts ausgerichtet sind, dann ließen sich auf diesen Dachflächen insgesamt 45,6 GW PV-Leistung installieren. Dies lässt sich dadurch erklären, dass die Ausrichtung von Dächern über die vier Haupthimmelsrichtungen annähernd gleichverteilt ist und somit bei Ausschluss der Norddächer etwa ein Viertel der maximalen Kapazität entfällt. Wie der rot gestrichelten Linie in Abbildung 36 entnommen werden kann, entspricht das Potenzial von 45,6 GW einem PV-Ausbau auf allen Dachflächen mit mehr als 700 Volllaststunden.

In Figure 36, we have first sorted the roof areas in descending order according to their full load hours and plotted the value of the full load hours against the cumulative PV potential. If all roofs were equally suitable for PV, a horizontal line of constant full load hours would result. However, it can be seen that the roof areas with the highest full load hours are a scarce commodity. If all roofs facing east, south or west were fitted with PV, a total of 45.6 GW of PV capacity could be installed on these roof areas. This can be explained by the fact that the orientation of roofs is roughly evenly distributed across the four main cardinal directions, meaning that around a quarter of the maximum capacity would be lost if north-facing roofs were excluded. As can be seen from the red dashed line in Figure 36, the potential of 45.6 GW corresponds to a PV expansion on all roof areas with more than 700 full load hours.



Abbildung/Figure 36: Volllaststunden der niedersächsischen Dächer gegenüber dem kumulierten PV Potenzial aufgetragen (blau). Die rot gestrichelte Linie zeigt das kumulierte PV-Potenzial, wenn alle ost-, süd- und westwärts gerichteten Dächer ausgebaut werden. Dies entspricht dem PV-Ausbau auf allen Dachflächen mit mehr als 702 Volllaststunden. Full load hours of roofs in Lower Saxony plotted versus the cumulative PV potential (blue). The red dashed line shows the cumulative PV potential if all east-, south- and west-facing roofs were expanded. This corresponds to the PV expansion on all roof areas with more than 702 full load hours.

Im Ergebnis zeigt diese Studie, dass die mit dem Niedersächsischen Klimagesetz angestrebte Größenordnung von 50 GW installierter PV-Leistung auf niedersächsischen Dächern möglich ist. Hierfür müssen allerdings mindestens alle Dachflächen mit mehr als 700 Volllaststunden herangezogen werden. Um die 50 GW sicher zu erreichen sollten weitere Flächenpotenziale beispielsweise an Fassaden erschlossen oder die Effizienz der eingesetzten PV-Module verbessert werden. Das ISFH arbeitet sowohl an der Entwicklung von kostengünstigeren PV-Lösungen für Fassaden als auch an PV-Modulen der nächsten Generation mit deutlich höheren Wirkungsgraden.

As a result, this study shows that the target of 50 GW of installed PV capacity on roofs in Lower Saxony set out in the Lower Saxony Climate Act is possible. To achieve this, at least all roof areas with more than 700 full load hours must be used. In order to reach 50 GW safely, further potential areas should be developed, for example on facades, or the efficiency of the PV modules used should be improved. ISFH is working both on the development of more cost-effective PV solutions for façades and on next-generation PV modules with significantly higher efficiencies.

Dennis Bredemeier, Marlon Schlemminger, Philip Kühne, Tobias Wietler, Raphael Niepelt und Rolf Brendel

Einsatz der Building Information Modeling-Methode (BIM) am Beispiel einer innovativen PVT-Fassade

Zur Reduzierung der CO₂-Emissionen im Gebäudebereich ist ein erheblicher Ausbau der verfügbaren regenerativen Energien, wie z. B. Solarenergie, sowohl im Bestand als auch für Neubauten erforderlich. Die Kombination aus photovoltaisch-thermischen (PVT) Kollektoren und Wärmepumpen kann dazu einen signifikanten Beitrag leisten. Hierzu bietet die Fassade ein vielversprechendes ungenutztes Potenzial und konstruktive Synergien, die zur Kosteneinsparung führen können.

Im BMWK-Forschungsprojekt „BIMPV“ (FKZ 03EN1010B) wird eine neuartige PVT-Fassade geplant, aufgebaut und vermessen. Zentrale Aufgabe ist dabei die Abbildung der Fassade mit der Methode des Building Information Modeling (BIM), um die Akzeptanz von gebäudeintegrierter Solarenergie durch die Vereinfachung und Digitalisierung von Prozessen zu erhöhen. Das Prinzip von BIM ist in Abbildung 37 visualisiert: alle lebenszyklusrelevanten Informationen eines Gebäudes werden zentral, modellbasiert, digital und konsistent erfasst, verwaltet und zwischen allen Projektbeteiligten ausgetauscht.

Abbildung/Figure 37: Building Information Modeling (BIM), zentrale Informationsverwaltung auf Modell-Basis. Building Information Modeling (BIM), the networking of processes and of project participants.

Die Anwendung der BIM-Methode im Bereich der Solarenergie befindet sich noch in einem frühen Stadium und ist ein aktuelles Forschungsthema. In der Planungsphase ermöglicht BIM zum Beispiel eine frühzeitige Berücksichtigung der Solarenergie in der integralen Konzeption des Gebäudes mit seinem Energieversorgungssystem. Für den Betrieb bietet sich die BIM-Methode als innovativer und effektiver Ansatz für die Überwachung der Anlagen an.

Die verfügbaren BIM-Komponenten-Modelle für photovoltaische oder solarthermische Kollektoren sind weder vollständig noch einheitlich parametrisiert. Für PVT existierte zu Projektbeginn gar kein BIM-Modell. Im Rahmen des Projekts haben wir deshalb auf Basis der Standard-Klasse „ifcSolarDevice“ der „Industrial Foundation Classes“ (IFC) vom Kompetenznetzwerk buildingSMART ein detailliertes BIM-Modell für PVT-Kollektoren entwickelt. Dafür haben wir eine geeignete Parametrierung basierend auf vorhandenen Quellen^{[27],[28],[29],[30]} umgesetzt.

^[27] Product data exchange in Building Services Solar collectors 2006 (Part 19)

^[28] Kramer, K., 2020. Status Quo of PVT Characterization (IEA SHC)

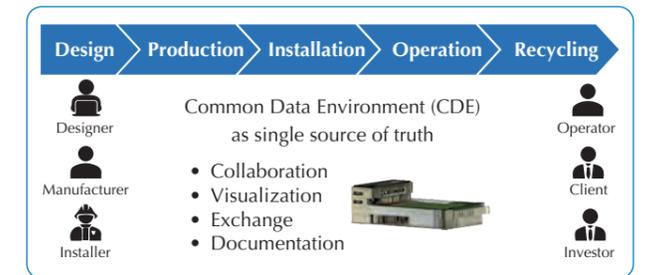
^[29] buildingSMART, 2021. The International Home of BIM, online available at <https://www.buildingsmart.org/>, last updated on 04.11.2021, last checked on 09.11.2021

^[30] BIPVBOOST, 2019. Information modelling/management for BIPV cost reduction. Digital adoption plan and guideline for a data-driven BIPV process and optimization strategies 2019.

Building Information Modeling method (BIM) for an innovative PVT façade

In order to reduce CO₂ emissions in the building sector, a considerable expansion of available renewable energies such as solar energy is required for both existing and new buildings. The combination of photovoltaic-thermal (PVT) collectors and heat pumps can make a significant contribution to this. The façade offers promising untapped potential and design synergies that can lead to cost savings.

In the BMWK research project “BIMPV” (grant 03EN1010B), a new type of PVT façade is being planned, constructed and measured. The central task is to use the Building Information Modeling (BIM) method in order to increase the acceptance of building-integrated solar energy through the simplification and digitalization of processes. The principle of BIM is visualized in Fig. 37: all information relevant to the life cycle of a building is recorded, managed and exchanged between all project participants in a centralized, model-based, digital and consistent manner.



The application of the BIM method in the field of solar energy is still at an early stage and is a current research topic. In the planning phase, for example, BIM enables solar energy to be considered at an early stage in the integral design of the building and its energy supply system. For operation, the BIM method offers an innovative and effective approach for monitoring the systems.

The BIM models available for photovoltaic or solar thermal collectors are neither complete nor uniformly parameterized. At the beginning of the project, there was no BIM model for PVT. We therefore developed a detailed BIM model for PVT based on the standard Industrial Foundation Classes (IFC) class “ifcSolarDevice” from the competence network buildingSMART as part of the project. For this we implemented a suitable parameterization based on existing sources^{[27],[28],[29],[30]}.

Effiziente Trinkwarmwasserbereitung in Mehrfamilienhäusern mit Wärmepumpen

Das novellierte Gebäudeenergiegesetz (GEG 2024) gibt vor, dass neu eingebaute Heizungsanlagen mindestens 65% der bereitgestellten Wärme aus erneuerbaren Quellen erzeugen. Dadurch rücken Wärmepumpen sowie ihre hybriden Einsatzkonzepte in den Fokus des Wärmemarktes, da sie die Erschließung erneuerbarer Wärmequellen bzw. von Umweltwärme (aus Boden, Luft oder Wasser) ermöglichen. Die Effizienz thermischer Systeme mit Wärmepumpen wurde bereits in den letzten Jahren verstärkt erforscht. Ein Forschungsthema am ISFH ist das hohe Temperaturniveau in Heizungszentralen von Mehrfamilienhäusern, wo aufgrund der hygienischen Anforderungen an die Trinkwassererwärmung Temperaturen von bis zu 65°C verlangt werden.

Um die Hygieneanforderungen zu erfüllen und gleichzeitig das Temperaturniveau in den Wärmezentralen von Mehrfamilienhäusern zu reduzieren, verbreiten sich seit einigen Jahren zwei Technologien von Durchfluss-Trinkwassererwärmern (DTE): 1) Zentrale DTE (sogenannte „Frischwasserstationen“) ermöglichen die hydraulische Trennung von Trinkwarmwasser (TWW) und Pufferspeicher, wodurch die Schichtung im Speicher verbessert werden kann, jedoch weiterhin eine Zirkulation erforderlich ist. 2) Dezentrale DTE (sogenannte „Wohnungsstationen“) ermöglichen die hydraulische Trennung bis kurz vor den Zapfstellen in der Wohnung (z. B. Wasserhähne oder Duschen), womit eine Trinkwasserzirkulation von der Wärmezentrale bis in die einzelnen Wohnungen obsolet wird. Mit letzterer Technologie kann das Temperaturniveau in der Wärmezentrale signifikant (um mindestens 10K) gesenkt werden. Die hygienisch und energetisch optimale Betriebsweise dieser beiden Technologien ist aktueller Forschungsgegenstand.

Vor diesem Hintergrund wurde eine Simulationsstudie zur TWW-Bereitung in hochgedämmten Mehrfamilienhäusern mit Wärmepumpen durchgeführt, um die Auswirkungen niedrigerer Temperaturniveaus bei der Trinkwassererwärmung auf die Effizienz des Wärmepumpenbetriebs sowie des Gesamtsystems zu untersuchen. Diese gekoppelten Jahressimulationen eines detaillierten 3D-Gebäudemodells samt Anlagentechnik zur Wärmeversorgung wurden mit einem Zeitschritt von 1 min durchgeführt.

Abbildung 41 zeigt die untersuchten Konzepte nebst ihren Varianten. Oben links (DLE) erfolgt die TWW-Bereitung rein elektrisch mit Elektro-Durchlauferhitzern. Oben rechts (FWS4L) wird eine zentrale DTE ohne elektrische Nacherwärmung genutzt. Unten links (WST2L) liegt eine dezentrale DTE mit/ohne elektrische Nacherwärmung und Zwei-Leiter-Netz (d. h. gemeinsames Rohrleitungspaar für Heizungs- und TWW-Wärme) vor. Unten rechts (WST4L) ist eine dezentrale DTE mit/ohne elektrische Nacherwärmung und Vier-Leiter-Netz (d. h. zwei separate Rohrleitungspaare für die Heizungs- und TWW-Wärme) gezeigt.

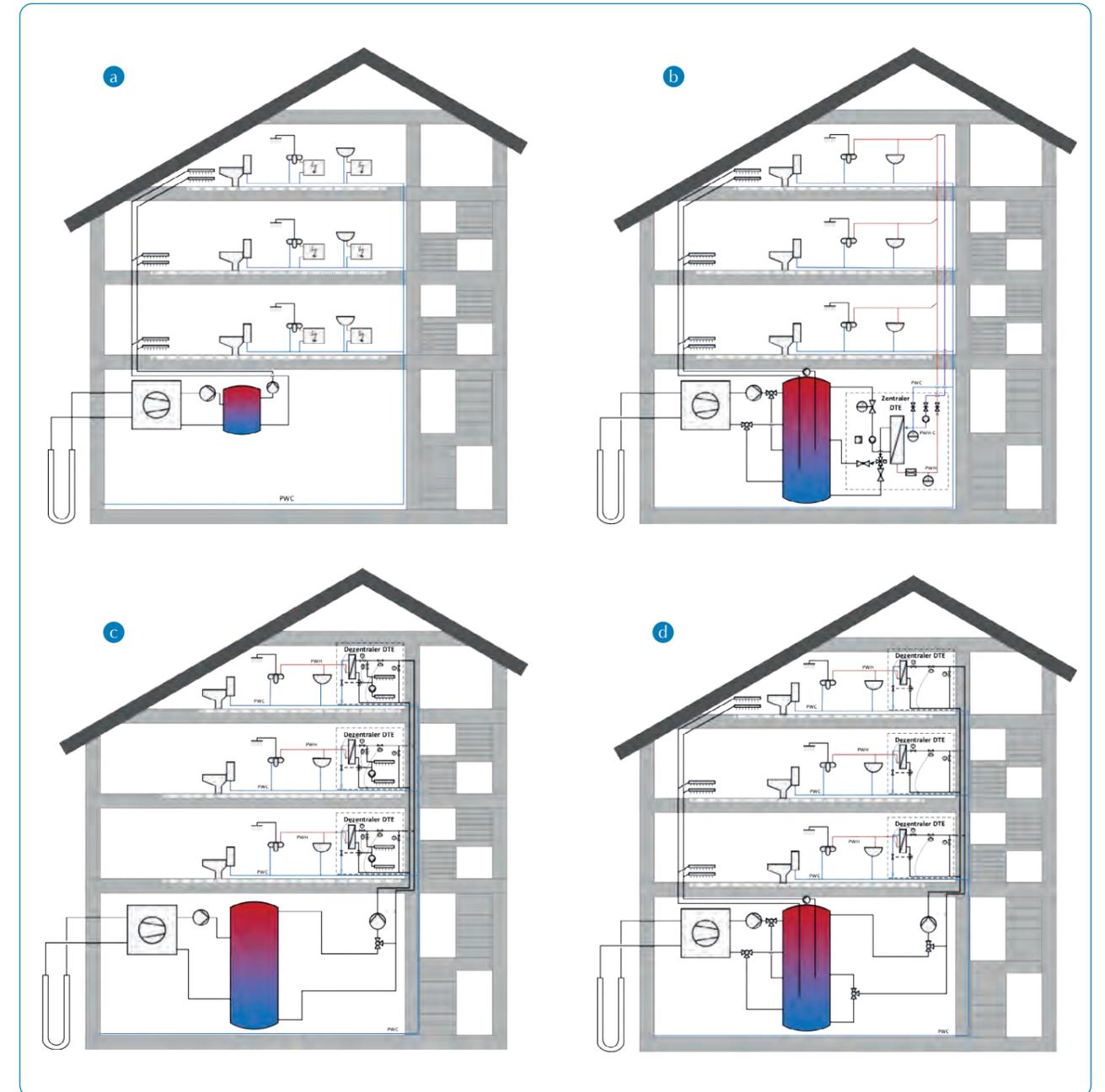
Efficient domestic hot water preparation in multi-family houses with heat pumps

The amended Building Energy Act (GEG 2024) requires that newly installed heating systems must generate at least 65% of the provided heat from renewable sources. As a result, heat pumps and their hybrid application concepts are moving into the focus of the heating market, as they enable the tapping of renewable heat sources or environmental heat (from the ground, air or water). The efficiency of thermal systems with heat pumps has been increasingly researched in recent years. One research topic at ISFH is the high temperature level in central heating systems in multi-family houses, where temperatures of up to 65°C are required due to the hygienic requirements for heating drinking water.

In order to meet hygiene requirements and at the same time reduce the temperature level in the central heating systems of multi-family houses, two technologies of instantaneous water heaters (IWH) have been gaining ground for several years. 1) Central IWH (so-called “domestic hot water modules”) enable the hydraulic separation of domestic hot water (DHW) and buffer cylinder, which can improve the stratification in the cylinder, but circulation is still required. 2) Decentralized IWH (so-called “dwelling stations”) enable hydraulic separation up to just before the taps (or showers) in the dwelling, making DHW circulation from the central heating system to the individual dwellings obsolete. With the latter technology, the temperature level in the central heating system can be lowered significantly (by at least 10K). The hygienically and energetically optimal operation of these two technologies is currently the subject of research.

Against this background, a simulation study on DHW heating in highly insulated multi-family houses with heat pumps was carried out in order to investigate the effects of lower temperature levels in DHW heating on the efficiency of heat pump operation and the overall system. These coupled annual simulations of a detailed 3D building model including system technology for heat supply were carried out with a time step of 1 min.

Figure 41 shows the investigated concepts and their variations. At the top left (DLE), domestic hot water (DHW) heating is purely electric with electric instantaneous water heaters (IWH). At the top right (FWS4L), a central IWH without electric reheating is used. At the bottom left (WST2L) is a decentralized IWH with/without electric reheating and a two-pipe network (i.e. joint pipe pair for heating and DHW heat). At the bottom right (WST4L), a decentralized IWH with/without electrical reheating and a four-pipe network (i.e. two separate pipe pairs for heating and DHW heat) is shown.



Abbildung/Figure 41: Untersuchte Konzepte zur TWW-Bereitung.

- a) Dezentrale Elektro-Durchlauferhitzer (DLE)
- b) Zentraler Durchfluss-Trinkwassererwärmer (FWS4L)
- c) Dezentrale Durchfluss-Trinkwassererwärmer (WST2L)
- d) Dezentrale Durchfluss-Trinkwassererwärmer (WST4L)

Investigated DHW-preparation concepts

- a) Decentral electric instantaneous water heater (DLE)
- b) Central instantaneous water heater (FWS4L)
- c) Decentral instantaneous water heater (WST2L)
- d) Decentral instantaneous water heater (WST4L)

Darüber hinaus haben wir bei verschiedenen Konzepten die TWW-Austrittstemperaturen aus der Frischwasserstation, die Zirkulationsrücklauftemperaturen zur Frischwasserstation oder die Vorlauftemperaturen zu den Wohnungsstationen variiert. Tabelle 1 fasst die untersuchten Szenarien zusammen.

In addition, we varied the DHW outlet temperatures from the domestic hot water module, the circulation return temperatures to the domestic hot water module and the flow temperatures to the dwelling stations for various concepts. Table 1 summarizes the scenarios investigated.

Tabelle/Table 1: Übersicht der untersuchten Wärmesystemvarianten.

Overview of the heating system variations examined.

Konzept Heating system	Austrittstemperatur Outlet temperature	Zirkulationsrücklauf-T Circulation return temperatures	Vorlauftemperatur Flow temperature
FWS4L	60 °C	55 °C	
FWS4L	55 °C	50 °C	
FWS4L	48 °C	45 °C	
WST2L	45 °C	-	52 °C
WST2L	-	-	45 °C
WST2L	-	-	38 °C (mit elekt. Nacherwärmung/with electrical reheating)
WST4L	45 °C	-	52 °C
WST4L	-	-	45 °C
WST4L	-	-	38 °C (mit elekt. Nacherwärmung/with electrical reheating)

Die Ergebnisse sind in Abbildung 42 dargestellt. Verglichen wurden die Gesamtstromverbräuche des Wärmepumpen-Kompressors (grauer Balkenanteil), der dezentrale elektrische Nachheizbedarf (blauer Balkenanteil) und sämtlicher Pumpen (gelber Balkenanteil). Abbildung 42 zeigt zusätzlich die Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe, d. h. das Verhältnis von Kondensatorwärmeabgabe zum Kompressorstromverbrauch (grüne Dreiecke), und die Jahresarbeitszahl des Gesamtsystems, d. h. das Verhältnis von TWW-Nutzwärme und Raumheizwärmebedarf zum Gesamtstromverbrauch (schwarze Quadrate).

The results are shown in Figure 42. The total electricity consumption of the heat pump compressor (grey bar), the decentralized electrical reheating requirement (blue bar) and all pumps (yellow bar) were compared. Figure 42 also shows the seasonal performance factor of the heat pump, i.e. the ratio of condenser heat output to compressor electricity consumption (green triangles), and the seasonal performance factor of the overall system, i.e. the ratio of DHW useful heat and space heating demand to total electricity consumption (black squares).

Es zeigt sich, dass der höchste Gesamtstromverbrauch und somit die niedrigste Systemeffizienz bei dem Konzept mit direktelektrischer TWW-Bereitung auftritt. Zugleich ist dies auch das Szenario mit der höchsten Wärmepumpeneffizienz, da in diesem Fall die Wärmepumpe lediglich zur Versorgung der niedrigen Vorlauftemperaturen der Fußbodenheizung zwischen 25 und 35 °C eingesetzt wird.

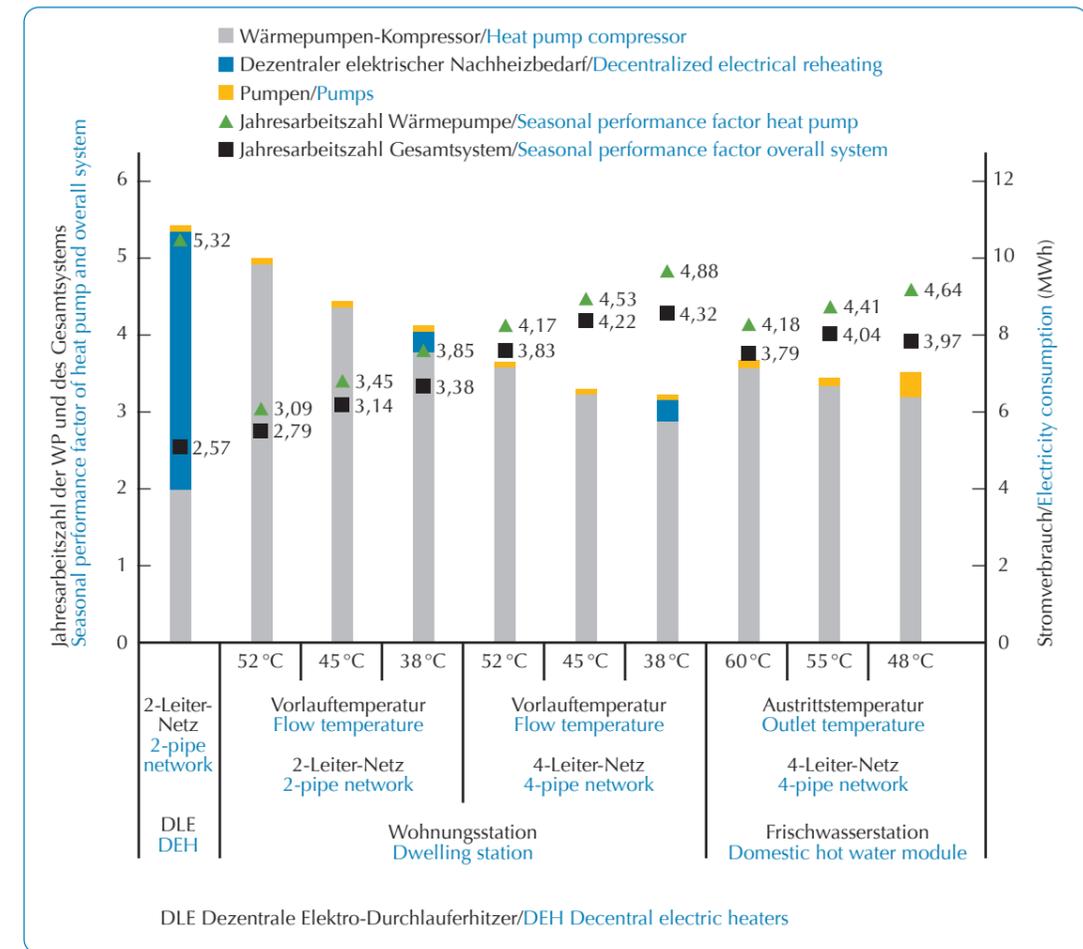
It can be seen that the highest total electricity consumption and therefore the lowest system efficiency occurs in the concept with direct electric instantaneous water heating. At the same time, this is also the scenario with the highest heat pump efficiency, as in this case the heat pump is only used to supply the low flow temperatures of the underfloor heating between 25 and 35 °C.

Den geringsten Gesamtstromverbrauch und somit die höchste Systemeffizienz weist die dezentrale DTE mit 38 °C Austrittstemperatur und elektrischer Nacherwärmung auf. In unserer Studie ist dies die Variante mit der zweithöchsten Wärmepumpeneffizienz.

The decentralized instantaneous water heaters with an outlet temperature of 38 °C and electrical reheating has the lowest total electricity consumption and therefore the highest system efficiency. In our study, this is the option with the second-highest heat pump efficiency.

Generell sind die Wohnungsstationsvarianten mit Vier-Leiter-Netz effizienter als mit Zwei-Leiter-Netz, da die niedrigen Temperaturanforderungen der Fußbodenheizung bei der Wärmepumpe „ankommen“. Außerdem zeigt sich, dass die zentralen Frischwasserstations-Varianten nur geringfügig ineffizienter als die dezentralen Wohnungsstations-Varianten sind. Ebenso allgemein lässt sich feststellen, dass die Absenkung der Systemtemperaturen stets zur Steigerung der Wärmepumpen- und der Systemeffizienz führen – selbst wenn dann eine dezentrale elektrische Nacherwärmung notwendig wird.

In general, the dwelling station variants with a four-pipe network are more efficient than those with a two-pipe network, as the low temperature requirements of the underfloor heating “reach” the heat pump. In addition, it can be seen that the central domestic hot water module variations are only slightly less efficient than the decentralized dwelling station variations. It can also be generally stated that lowering the system temperatures always leads to an increase in heat pump and system efficiency - even if decentralized electrical reheating is then necessary.



Abbildung/Figure 42: Stromverbrauch und Effizienz der untersuchten Konzepte.

Electric energy demand and efficiency of investigated concepts.

Die Autoren danken für die Förderung des dem Beitrag zugrundeliegenden Vorhabens WP-HYG mit Mitteln des eneracity-Fonds proKlima.

The authors would like to thank the eneracity fund proKlima for funding the WP-HYG project on which this article is based.

Oliver Mercker, Modar Yasin, Christoph Büttner, Peter Pärish

Teststand für Protonen-Austausch-Membran-Elektrolyseure

Aufgrund von veränderlichem Wetter ist die Bereitstellung von erneuerbaren Energien aus Windenergie oder Photovoltaik tageszeitlichen und jahreszeitlichen Schwankungen unterworfen. Dennoch werden diese Energiequellen in Zukunft den weitaus größten Anteil der in Deutschland generierten erneuerbaren Energie bereitstellen. Für eine zeitlich unabhängige Versorgung mit regenerativ gewonnenem Strom ist eine Speicherung dieses Stroms unerlässlich. Neben Batteriespeichern kann die Wasserelektrolyse eingesetzt werden um mit Hilfe von regenerativ erzeugtem Strom „grünen“ Wasserstoff zu produzieren, welcher anschließend unter Verwendung einer Brennstoffzelle wieder in elektrische Energie umgewandelt werden kann. Die stoffliche Speicherung der Energie in Form von Wasserstoff hat zusätzlich den Vorteil, dass Wasserstoff als Industrierohstoff eine zentrale Rolle bei einer Vielzahl von Industrieprozessen spielt und somit auch für die Dekarbonisierung des Industriestandorts Deutschland unabdingbar ist.

Bei den Komponenten der Wasserelektrolyseure gibt es ein hohes Kostensenkungspotenzial. Zum einen werden teilweise sehr teure Materialien wie z. B. Iridium verwendet, zum anderen kommen stellenweise sehr massive Komponenten zum Einsatz. Am ISFH nutzen wir die jahrzehntelange Erfahrung im Bereich Materialforschung und Beschichtungstechnologien dafür, diesen Materialverbrauch zu reduzieren, dadurch die Kosten zu senken und grünen Wasserstoff - auch aus kommerzieller Sicht - interessant zu machen. Als Einstieg in dieses für das ISFH neue Forschungsgebiet wurde ein eigens entworfener Teststand für Wasserelektrolyseure und dessen Komponenten aufgebaut.

Ausgelegt ist der Teststand für die Charakterisierung von Protonen-Austausch-Membran-Elektrolyseuren (proton exchange membrane electrolysis – PEM-Elektrolyse). Im Gegensatz zur klassischen Elektrolyse mit wässrigem Elektrolyten zeichnet sich diese Art der Elektrolyse durch einen Feststoff-Elektrolyten in Form einer protonenleitenden Membran aus. Das für die Elektrolyse benötigte Wasser wird typischerweise auf Anodenseite der Elektrolysezelle eingeleitet. An der Oberfläche der Membran befindet sich eine Katalysatorschicht an der die Wassermoleküle durch eine angelegte Spannung in Wasserstoff und Sauerstoff zerlegt werden. Die Wasserstoffkerne, die Protonen, wandern anschließend durch die Membran hindurch und bilden auf der Kathodenseite der Elektrolysezelle, erneut an einer Katalysatoroberfläche, molekularen Wasserstoff.

Auch am ISFH-Teststand ist lediglich die Anodenseite der Elektrolysezelle an einen Wasserkreis angeschlossen. Neben der Elektrolysezelle besteht dieser Wasserkreis im Wesentlichen aus einem Gas-Wasser-Separator, einer Pumpe, einer Ionentauscher-Kartusche und einer Heizung. Diese Komponenten wurden dabei so ausgewählt, dass das Wasser im Kreis mit keinen metallischen

Testbench for Proton Exchange Membrane electrolyzers

Due to variable weather conditions, the supply of renewable energy from wind or photovoltaics is subject to daily and seasonal fluctuations. Nevertheless, these energy sources will provide by far the largest share of renewable energy generated in Germany in the future. Storing this electricity is essential for a reliable supply of electricity generated from renewable sources. In addition to battery storage, water electrolysis can be used to produce “green” hydrogen using electricity generated from renewable sources, which can then be converted back into electrical energy using a fuel cell. The physical storage of energy in the form of hydrogen has the additional advantage that hydrogen as an industrial raw material plays a central role in a large number of industrial processes and is therefore also indispensable for the decarbonization of Germany as an industrial location.

There is great potential for reducing the cost of water electrolyser components. On the one hand, some of the materials used are very expensive, such as iridium, and on the other hand, some of the components used are very massive. At ISFH, we are using our decades of experience in materials research and coating technologies to reduce this material consumption, thereby lowering costs and making green hydrogen interesting - also from a commercial perspective. A specially designed test bench for water electrolyzers and their components was set up as an introduction to this new field of research for ISFH.

The test bench is designed for the characterization of proton exchange membrane electrolyzers (PEM electrolysis). In contrast to classic electrolysis with an aqueous electrolyte, this type of electrolysis is characterized by a solid electrolyte in the form of a proton-conducting membrane. The water required for electrolysis is typically introduced on the anode side of the electrolysis cell. On the surface of the membrane there is a catalyst layer on which the water molecules are broken down into hydrogen and oxygen by an applied voltage. The hydrogen nuclei, the protons, then migrate through the membrane and form molecular hydrogen on the cathode side of the electrolysis cell, again on a catalyst surface.

On the ISFH test bench, only the anode side of the electrolysis cell is connected to a water circuit. In addition to the electrolysis cell, this water circuit essentially consists of a gas-water separator, a pump, an ion exchanger cartridge and a heater. These components were selected so that the water in the circuit does not come into contact with any metallic components and therefore contains a very low concentration of metallic impurities. Only the electrolysis cell with its metallic elements can contribute to the metallic contamination of the water circuit through degradation processes, such as corrosion within the cell. This makes it possible to use trace element analyses of the water to specifically investigate degradation processes within the electrolysis cell. Despite the installation of metal-free components and the use of PTFE hose lines and plastic

Komponenten in Kontakt kommt und somit eine sehr geringe Konzentration an metallischen Verunreinigungen enthält. Lediglich die Elektrolysezelle kann mit ihren metallischen Elementen durch Abbauprozesse, beispielsweise Korrosion innerhalb der Zelle, zur metallischen Verunreinigung des Wasserkreises beitragen. Dies erlaubt es, mit Hilfe von Spurenelementanalysen des Wassers gezielt Abbauprozesse innerhalb der Elektrolysezelle zu untersuchen. Trotz des Einbaus von metallfreien Komponenten und der Verwendung von PTFE-Schlauchleitungen und Kunststoff-Verschraubung kann der Teststand dabei in einem Temperaturbereich von Raumtemperatur bis 80°C betrieben werden.

screw connections, the test stand can be operated in a temperature range from room temperature to 80 °C.



Abbildung/Figure 43: Teststand für die Charakterisierung von Protonen-Austausch-Membran-Elektrolyseuren mit drei Elektrolyse-Zellen.

Test bench for the characterization of proton exchange membrane electrolyzers with three electrolysis cells.

3 Wissenschaftliche Ergebnisse

Scientific results

Die produzierten Gase, Sauerstoff und Wasserstoff, werden zunächst getrocknet bevor anschließend Temperatur und die erzeugten Gasvolumina bestimmt werden. Zusätzlich wird zur Untersuchung des sogenannten „Gas crossovers“ der Wasserstoffgehalt im Sauerstoffstrom sowie der Sauerstoffgehalt im Wasserstoffstrom durch Gassensoren analysiert. Wie bereits oben im Wasserkreis beschrieben, ist die Kathodenseite des Elektrolyseurs ebenfalls metallfrei gehalten, was es erlaubt, auch das durch die Membran hindurchdringende Wasser mit Hilfe von Spurenelementanalysen zu untersuchen. Trotz der dafür notwendigen Kunststoff-Verschraubungen erlaubt es der Aufbau bei einem Wasserstoffdruck von bis zu 8 bar betrieben zu werden, wobei die Sauerstoff-Seite der Elektrolysezelle stets bei Umgebungsdruck verweilt.

Betrieben wird die Elektrolyse durch einen Potentiostaten, der bei einer maximalen Betriebsspannung von 10V einen maximalen Strom von 300A liefern kann. Damit ist es möglich am ISFH-Elektrolyse-Teststand betriebsnahe Messungen an Elektrolyse-Einzelzellen mit einer aktiven Fläche von bis zu etwa 100cm² durchzuführen.

Der Teststand für Protonen-Austausch-Membran-Elektrolyseure wurde im Rahmen des Projektvorhabens „Evaluation von Produktions- und Charakterisierungstechniken der Photovoltaik für die Wasserelektrolyse“ (pv4h2) (FKZ ZN3708) aufgebaut, welches mit Mitteln des Niedersächsischen Vorab gefördert wurde.

The gases produced, oxygen and hydrogen, are first dried before the temperature and the volumes of gas produced are determined. In addition, the hydrogen content in the oxygen stream and the oxygen content in the hydrogen stream are analyzed by gas sensors to investigate the so-called “gas crossover”. As already described above in the water circuit, the cathode side of the electrolyser is also kept metal-free, which makes it possible to examine the water passing through the membrane using trace element analyses. Despite the plastic screw connections required for this, the design allows operation at a hydrogen pressure of up to 8 bar, whereby the oxygen side of the electrolysis cell always remains at ambient pressure.

The electrolysis is operated by a potentiostat, which can supply a maximum current of 300 A at a maximum operating voltage of 10 V. This enables the ISFH electrolysis test bench to carry out near-operational measurements on individual electrolysis cells with an active area of up to around 100 cm².

The test bench for proton exchange membrane electrolysers was set up as part of the project “Evaluation of photovoltaic production and characterization techniques for water electrolysis” (pv4h2) (FKZ ZN3708), which was funded by the Niedersächsisches Vorab.

Dominic Walter, Frank Wunsch



CO₂-Laser für das Zuschneiden verschiedener Materialien für maßgeschneiderte PV-Module.
CO₂ laser for cutting various materials for customized PV modules.

Akademische Ausbildung

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

Im Jahr 2023 wurden an der Leibniz Universität Hannover eine Reihe von Lehrveranstaltungen durchgeführt:

- Vorlesung und Übungen „Physik der Solarzelle“
Dozenten: Prof. Dr.-Ing. Rolf Brendel,
Dr. Carsten Schinke, 4 SWS^[1]
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.

- Vorlesungsreihe: „Erneuerbare Energien“
Vorlesungseinheit Photovoltaik:
Dr. Dennis Bredemeier
1 VL + 1 Übung + 1 Praktikum
Vorlesungseinheit Niedertemperatur Solarthermie:
Julian Jensen
2 VL + 2 Übungen + 1 Praktikum
Fakultät für Maschinenbau, Institut für Thermodynamik
Leibniz Universität Hannover

Die Vorlesungen soll den Studierenden einen Überblick über die verschiedenen Arten der erneuerbaren Energieerzeugung geben. Themengebiete sind u.a. Energiewandlung, Solarenergie, Wärmepumpen, Biomasse und Windenergie. Das ISFH führt die beiden Vorlesungen „Photovoltaik“ und „Niedertemperatur-Solarthermie“ durch, in denen die Grundlagen der Technologie sowie deren Anwendungsfelder vermittelt werden. Zusätzlich werden zu den beiden Vorlesungseinheiten Praktika angeboten, in denen die Studierenden die Möglichkeit haben eine photovoltaische Zelle zu charakterisieren und einen solarthermischen Kollektor im Sonnensimulator zu vermessen. Weiterhin wird eine Exkursion am ISFH angeboten, in der den Studierenden die derzeit relevanten Forschungsbereiche am Institut präsentiert werden. Die Inhalte der Vorlesungsreihe richten sich an Studierende aus den Ingenieurwissenschaften ab dem fünften Semester.

^[1] SWS – Semesterwochenstunden

Academic education

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

In 2023, a number of courses were held at Leibniz University Hannover:

- Course and exercises “Physics of solar cells”
Lecturers: Prof. Dr.-Ing. Rolf Brendel,
Dr. Carsten Schinke, 4 SCH^[30].
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.

- Series of courses: “Renewable Energies”
Course unit “Photovoltaics”:
Dr. Dennis Bredemeier
1 lecture + 1 exercise + 1 practical course
Course unit “Low Temperature Solar Thermal”:
Julian Jensen
2 lectures + 2 exercises + 1 practical course
Faculty of Mechanical Engineering, Institute of Thermodynamics
Leibniz Universität Hannover

This series of courses is designed to give students an overview of the different types of renewable energy generation. Topics include energy conversion, solar energy, heat pumps, biomass and wind energy. ISFH conducts two lectures, “Photovoltaics” and “Low Temperature Solar Thermal”, which teach the fundamentals of the technology as well as its fields of application. In addition to the two lecture units, practical courses are offered in which students have the opportunity to characterize a photovoltaic cell and to measure a solar thermal collector in the solar simulator. Furthermore, an excursion to the ISFH is offered, in which the currently relevant research areas at the institute are presented to the students. The contents of the series of courses are aimed at engineering students from the fifth semester onwards.

^[30] Semester credit hours

- Vorlesung „Charakterisierung von Halbleitern und Solarzellen“
Dozent: Prof. Dr. Jan Schmidt, 2 SWS.
Fakultät für Mathematik und Physik,
Leibniz Universität Hannover.

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

- Vorlesung „Grundlagen der Halbleiterphysik“
Dozent: Prof. Dr. Jan Schmidt, 2 SWS.
Fakultät für Mathematik und Physik,
Leibniz Universität Hannover.

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

- Proseminar „Physik präsentieren – Physik der Energiekonversion“
Dozent: Prof. Dr.-Ing. Rolf Brendel, 2 SWS.
Fakultät für Mathematik und Physik,
Leibniz Universität Hannover.

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

- Course “Characterization of semiconductors and solar cells”
Lecturer: Prof. Dr. Jan Schmidt, 2 SCH.
Faculty of Mathematics and Physics,
Leibniz Universität Hannover.

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

- Course “Fundamentals of semiconductor physics”
Lecturer: Prof. Dr. Jan Schmidt, 2 SCH.
Faculty of Mathematics and Physics,
Leibniz Universität Hannover.

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

- Proseminar “Presenting physics – Physics of energy conversion”
Lecturer: Prof. Dr.-Ing. Rolf Brendel, 2 SCH.
Faculty of Mathematics and Physics,
Leibniz Universität Hannover.

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

- Vorlesung und Übungen „Wirkungsweise und Technologie von Solarzellen“

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

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

- Vorlesung „Bipolarbauelemente“

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

Die Vorlesung behandelt zunächst die physikalischen Grundlagen der Halbleiterelektronik wie Ladungsträger im Halbleiter, Stromtransportmechanismen, Generations- und 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 und Übungen „MOS-Transistoren und Speicher“

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

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

- Course and exercises "Operating principle and technology of solar cells"

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

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

- Course "Bipolar devices"

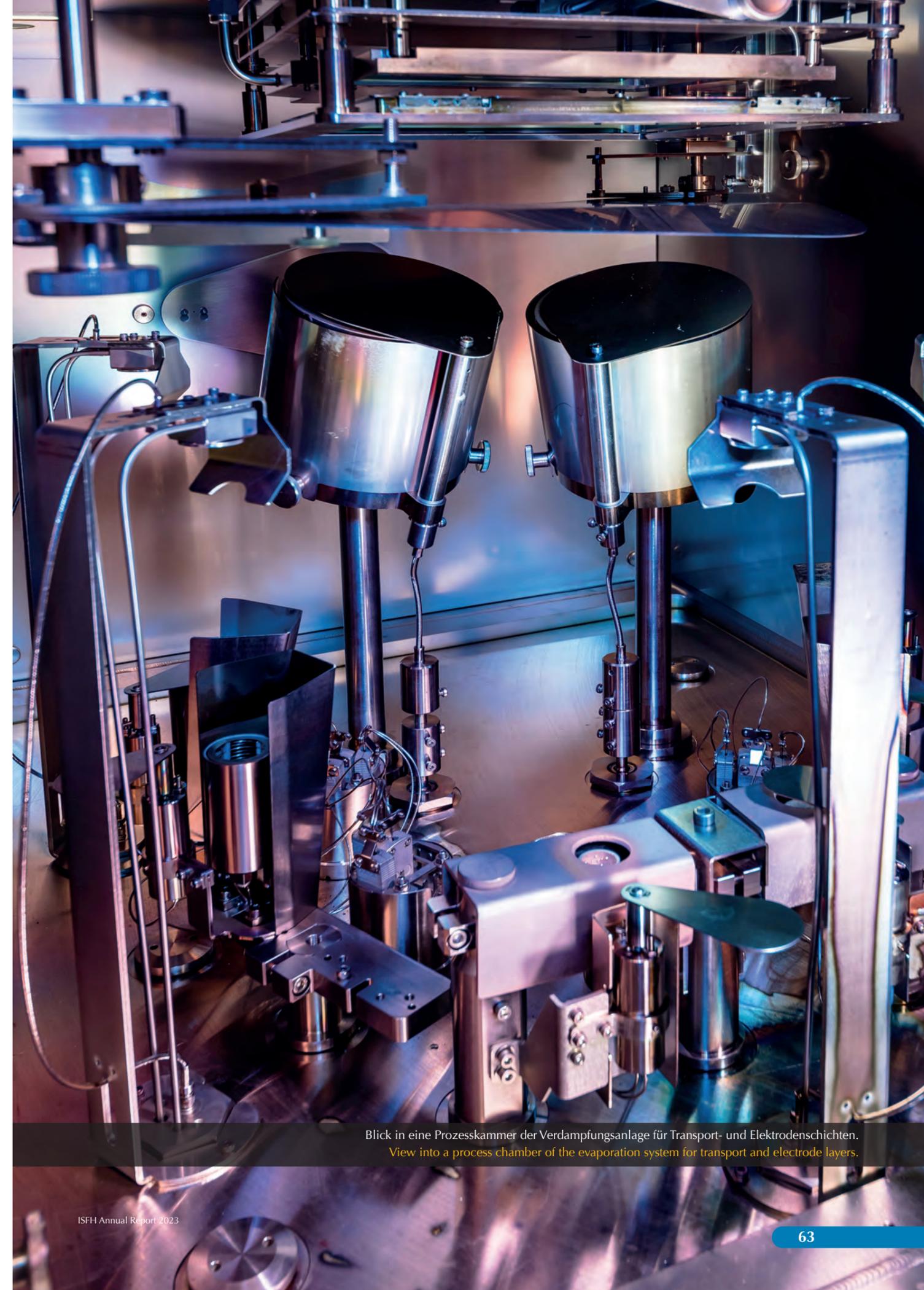
Lecturers: Prof. Dr.-Ing. Tobias Wietler,
Dr.-Ing. Jan Krügener, 4 SCH.
Faculty of Electrical Engineering and Computer Science,
Leibniz Universität Hannover.

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

- Course and exercise "MOS transistors and memory devices"

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

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



Blick in eine Prozesskammer der Verdampfungsanlage für Transport- und Elektrodenschichten.
View into a process chamber of the evaporation system for transport and electrode layers.

NILS – Die Lernwerkstatt am ISFH

Die Lernwerkstatt NILS ist ein anerkannter außerschulischer Lernort und wurde am 1. August 2001 als Kooperationsprojekt des Niedersächsischen Kultusministeriums mit dem ISFH gegründet. Sie dient gemäß der im damaligen Klimaschutzaktionsplan Niedersachsen formulierten Aufgabenstellung der Förderung des Austausches zwischen Wissenschaft und Schulen und ist heute dem Aufgabenbereich der Bildung für nachhaltige Entwicklung (BNE) des Kultusministeriums zugeordnet. Durch die Vernetzung mit den Schulen und Lernorten im niedersächsischen BNE-Verband erfolgt auf regelmäßig stattfindenden Tagungen ein weitreichender Austausch von Informationen auf Bezirks- und Landesebene.

NILS hat motivierende Lernangebote im mathematisch-naturwissenschaftlich-technischen Bereich (MINT) und ist Mitglied im Bundesverband der Schülerlabore LeLa (Lernort Labor). Für die Lernwerkstatt sind drei Lehrer*innen, die an einem Wochentag ans NILS-ISFH abgeordnet sind, und ein ISFH-Physik-Lehrer in Teilzeit tätig. Nach Bedarf unterstützen ein*e Bundesfreiwilligendienstler*in und Wissenschaftler*innen des Instituts die Arbeit. NILS bietet passende Kurse von der Grundschule bis zur beruflichen Aus- und Weiterbildung von Lehrer*innen an.

Besuchstage des NILS-Labors am ISFH sind Mittwoch und Donnerstag. NILS ist ebenfalls außerhalb des Instituts tätig. Beispielsweise werden in Schulen Solarprojekte oder Fortbildungsveranstaltungen für Lehrer*innen durchgeführt. Auf der Homepage von NILS können sich Interessierte über freie Termine informieren und Material zur Solarenergie erhalten.

Umbau des NILS-Labors im Herbst 2023

Auf Grund der hohen Anfrage der Schülerseminare sowie der Lehrkräftefortbildungskurse wurde das NILS-Labor am Standort des ISFH im Herbst 2023 umgebaut und modernisiert.

Bei normalen Klassengrößen von ca. 25 Schülerinnen und Schülern werden die Klassen in zwei Gruppen eingeteilt. Während eine Gruppe im Labor arbeitet, erwartet die andere Gruppe ein Programm im Vortragsraum des ISFH. Inhalt des Programms ist die Vorstellung des Instituts und die Durchführung kleinerer Experimente. Anschließend werden die Schüler*innen durch einzelne Labore geführt und besichtigen die Außenanlage. Nach einer Pause wechseln die Gruppen.

Solarforschungstage mit Grundschulklassen und 5.-Klässler*innen Nachhaltigkeit experimentell erleben

Der Begriff „Nachhaltigkeit“ etabliert sich immer mehr im Alltag. So wird auch in den Solarworkshops für die Jüngeren deutlich, dass die erneuerbaren Energiequellen, allen voran die Photovoltaik- und Solaranlagen, den Schüler*innen sofort in den Sinn kommen, sobald das Thema Energie angesprochen wird.

NILS – The Learning Workshop at ISFH

The NILS learning workshop is a recognized extracurricular place of learning and was founded on 1 August 2001 as a cooperation project between the Lower Saxony Ministry of Education and the ISFH. It serves the terms of reference formulated in the then-current Climate Protection Action Plan for Lower Saxony of promoting the exchange between science and schools and is today attributed to the area of responsibility of the Education for Sustainable Development (ESD) department of responsibility of the Ministry of Education. Through networking with schools and places of learning in the Lower Saxony ESD Association an extensive exchange of information takes place at regularly held conferences at provincial and state level.

NILS has motivational programs in the sciences, technology, engineering and mathematics (STEM) field and is a member of the federal association of school laboratories (LeLa). Three teachers, who are seconded to NILS-ISFH for one day a week and a part-time physics teacher hired by ISFH, work for the learning workshop. Whenever necessary, a federal voluntary service worker and scientists from the institute support the work as required. NILS offers suitable courses from elementary school to professional training and further education for teachers.

Visiting takes place to the NILS laboratory at ISFH on Wednesday and Thursday. NILS is also active outside the institute. For example, solar projects or training events for teachers are carried out in schools. Interested parties can find out about available dates and obtain material on solar energy on the NILS website.

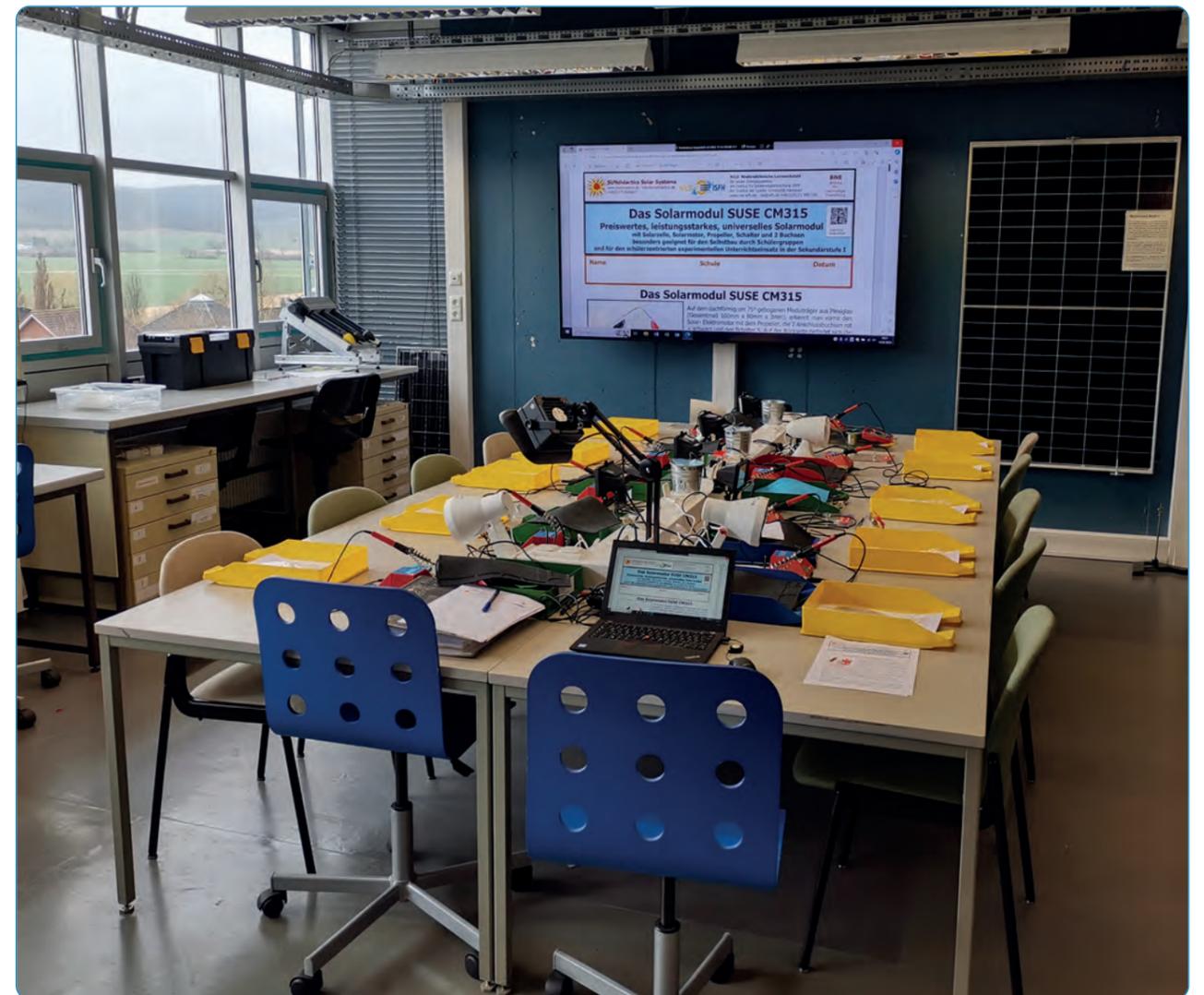
Renovation of the NILS laboratory in fall 2023

Due to the high demand from student seminars and teacher training courses, the NILS laboratory at the ISFH was renovated and modernized in fall 2023.

With normal class sizes of around 25 students, the classes are divided into two groups. While one group works in the laboratory, the other group attends a program in the ISFH lecture room. The content of the program is the presentation of the institute and the performance of small experiments. The students are then guided through individual laboratories and visit the outdoor facilities. After a break, the groups switch.

Solar research days with elementary school classes and 5th graders - experience sustainability experimentally

The term “sustainability” is becoming more and more established in everyday life. In the solar workshops for younger children, it becomes clear that renewable energy sources, especially photovoltaic and solar systems, immediately come to mind as soon as the topic of energy is mentioned.



Abbildung/Figure 46: Das renovierte NILS-Labor.

The renovated NILS laboratory.

Die Experimente mit verschiedenen Solarmodulen ermöglichen den Schüler*innen einen handlungsorientierten Zugang zu Kernfragen, wie die Möglichkeiten der Energiespeicherung, der Weiterentwicklung von Solarzellen und die Elektromobilität.

The experiments with various solar modules give the students an action-oriented approach to key issues such as the possibilities of energy storage, the further development of solar cells and electromobility.

Grundschulen aus dem Landkreis Hameln-Pyrmont, aber auch aus der Region Hannover, nutzen die NILS-Angebote am ISFH oder für einen Schulprojekttag. Einige Grundschulen nehmen gerne die Gelegenheit wahr und bauen im Rahmen der NILS-Veranstaltungen Solarmodule. Dadurch wird zum einen die Feinmotorik geschult, zum anderen die Umsetzung von Anleitungen in die Praxis gefördert und das fertige Solarmodul verstärkt nachhaltig den positiven Bezug der Schüler*innen zu Photovoltaikanlagen.

Elementary schools from the Hameln-Pyrmont district, but also from the Hanover region, take advantage of the NILS offers at ISFH or for a school project day. Some elementary schools like to take the opportunity to build solar modules as part of the NILS events. On the one hand, this trains fine motor skills, on the other hand it promotes the implementation of instructions in practice and the finished solar module strengthens the students positive relationship to photovoltaic systems in the long term.

Begabtenförderung im Rahmen von Kooperationsprojekten

Bewährte Kooperationsprojekte wurden in diesem Jahr fortgesetzt. So wurde die Begabtenförderung im Rahmen der Talenttage in Hameln unterstützt. Diese großangelegte Veranstaltung entsteht durch die Kooperation von mehreren Grundschulen, Gymnasien, IGS und KGS.

Das Drehtürprojekt an der KGS Bad Münde dient ebenfalls der Begabtenförderung, seine Teilnehmerinnen und Teilnehmer haben sich unter anderem mit den Möglichkeiten der Solarenergienutzung befasst und damit auch ihre Mitschüler*innen aus anderen Klassen bei einer Präsentation begeistert.

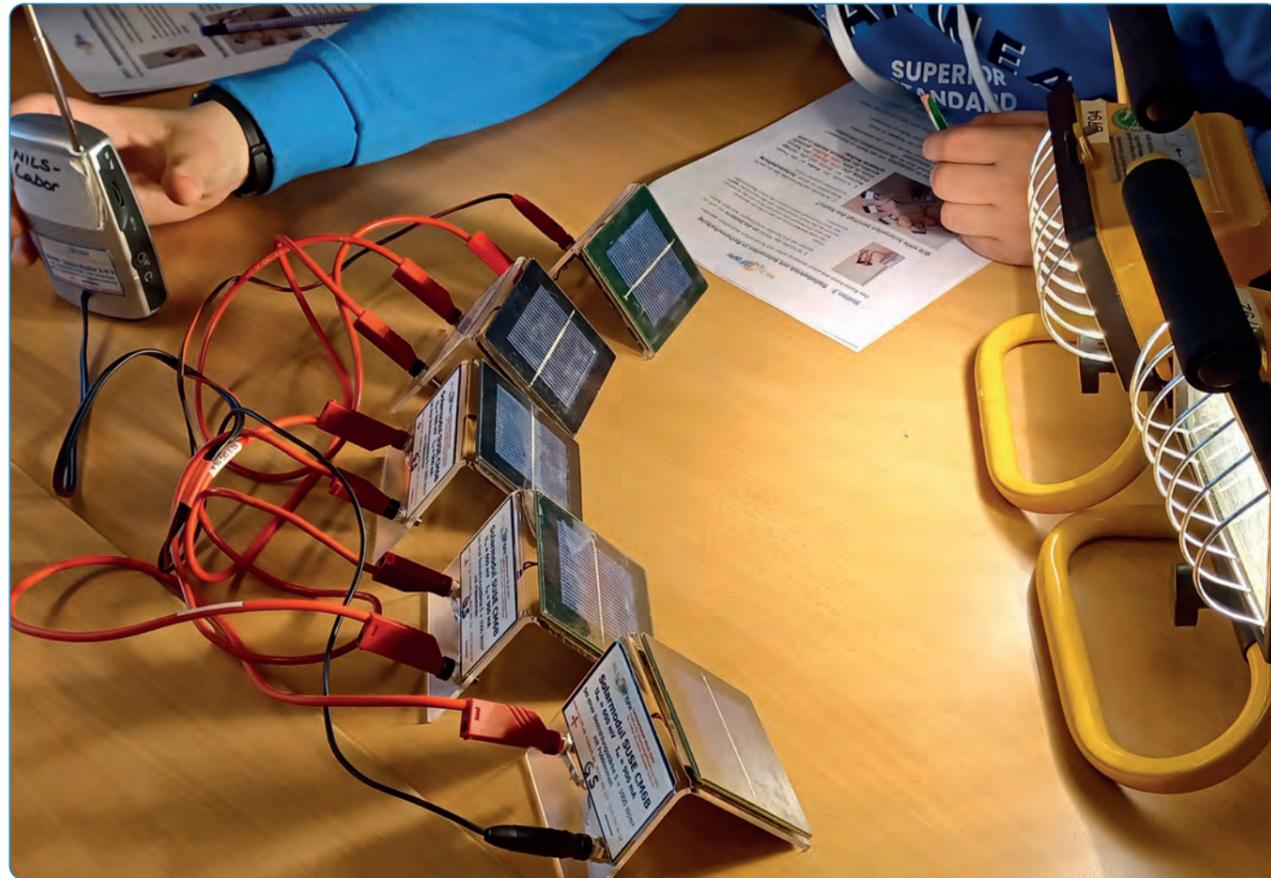
Im Rahmen eines der Kooperationsprojekte mit dem Schülerforschungszentrum Hameln-Pyrmont wurde die Erstellung einer Photovoltaikanlage aus gespendeten kleinen Solarzellen initiiert. Die Schüler*innen des Viktoria-Luise-Gymnasiums Hameln wollen auf diese Weise eine Smartphone-Ladestation für ihre Schulgemeinschaft selbst herstellen.

Support for gifted students as part of cooperation projects

Established cooperation projects were continued this year. For example, the promotion of gifted children was supported as part of the Talent Days in Hameln. This large-scale event is the result of cooperation between several elementary schools, high schools, IGS (integrated comprehensive school) and KGS (co-operative comprehensive school).

The revolving door project at the KGS Bad Münde also serves to promote talent; its participants looked at the possibilities of using solar energy, among other things, and also inspired their classmates from other classes during a presentation.

As part of one of the cooperation projects with the Hameln-Pyrmont Student Research Center, the creation of a photovoltaic system from donated small solar cells was initiated. The students at Viktoria-Luise-Gymnasium Hameln want to use this to produce a smartphone charging station for their school community.



Abbildung/Figure 47: Schüler*innen lösen das Problem, ein Radio mit Solarenergie zu betreiben, mit einer selbst zusammengestellten Reihenschaltung von Solarzellen.

Students solve the problem of operating a radio with solar energy using a self-assembled series connection of solar cells



Abbildung/Figure 48: Während einer Führung schauen sich die Schüler*innen den Streetscooter an.

During a tour, the students take a look at the Streetscooter.

Zukunftstag 2023 am NILS-ISFH

Die altersgemischte Gruppe von Schülerinnen und Schülern am Zukunftstag 2023 hat sich diesmal schwerpunktmäßig mit der Elektromobilität beschäftigt.

Für die weiterführenden Schulen in Hameln hat das NILS als Besuchsprogramm einen Schwerpunkt im Bereich der Elektromobilität entwickelt, bei dem Schüler*innen im Labor ein Solarauto bauen. Mit Hilfe eines Solarmoduls, welches auf dem selbstgebaute Modellauto montiert wird, wird durch die Lichtbestrahlung der elektrische Speicher (Goldcap, z. B. 3,3V; 5 Farad) gefüllt. Ist der Speicher aufgeladen, fährt das Auto nach Umlegen eines Schalters los. Dies zeigt den Bezug zwischen Modell und Realität. Unterstützt wird diese Thematik durch die Vorführung des Streetscooters des ISFH. Hierbei handelt es sich um ein Forschungsprojekt, bei dem ein Lieferwagen mit hocheffizienter fahrzeugintegrierter Photovoltaik ausgestattet wurde. So kann die aus dem Sonnenlicht konvertierte Energie in das Hochvolt-Bordnetz eingespeist und damit direkt zur Reichweitenverlängerung genutzt werden.

Auf Grund der langen Anfahrtszeit für Schulen aus Hannover oder Hildesheim, war NILS im November und Dezember 2023 an zwei Gymnasien auswärts tätig. An diesen Projekttagen konnten über 250 Schülerinnen und Schüler der 7./8. Jahrgänge der Kooperationsschulen, dem Goethegymnasium Hildesheim und

Future Day 2023 at NILS-ISFH

The mixed-age group of students on Future Day 2023 focused on electromobility this time.

For middle schools in Hameln, NILS has developed a visit program focusing on electromobility, in which students build a solar car in the laboratory. With the help of a solar module, which is mounted on the self-built model car, the electrical storage (Goldcap, e. g. 3.3V; 5 Farad) is filled by the light source. Once the battery is charged, the car drives off after a switch is flipped. This demonstrates the relationship between the model and reality. This topic is supported by the demonstration of the Streetscooter from the ISFH. This is a research project in which a delivery van has been equipped with highly efficient vehicle-integrated photovoltaics. This means that the energy generated from sunlight can be fed into the high-voltage electrical system and used directly to extend the vehicle's range.

Due to the long travel time for schools from Hanover or Hildesheim, NILS was active at two grammar schools in November and December 2023. On these project days, over 250 students from the 7th and 8th grades of the cooperating schools, Goethegymnasium Hildesheim and Höltz-Gymnasium Wunstorf, were able to build a solar car. The car will then be used for further experiments in physics lessons. The Bingo-Umwelt-Stiftung covered

Hölty-Gymnasium Wunstorf ein Solarauto bauen. Das Auto wird dann für weitere Experimente im Physikunterricht genutzt. Die Bingo-Umwelt-Stiftung trug die Kosten für die Bausätze, so dass die Schüler*innen das Auto nach Abschluss des Projektes als bleibende Erinnerung mit nach Hause nehmen können. Besonders wichtig ist es, Schüler*innen einen positiven Zugang zum Themengebiet der Solarenergie zu ermöglichen, damit sie im Erwachsenenalter selbstbestimmt nachhaltige Entscheidungen treffen können.

In den Kooperationsschulen unterstützt NILS die Kolleg*innen in ihrem Anliegen, modernen experimentellen Physikunterricht anzubieten. Es bietet sich an, bei dem Thema „Elektrizität“ die Solarzelle eingehend messtechnisch zu behandeln. Dazu stellt NILS einen Lehrgang und Arbeitsblätter bereit und berät die Lehrer*innen bei Fragen und Anliegen.

Überregionale Kooperationen von NILS-ISFH 2023

Neben den regionalen und landesweiten solardidaktischen Aktivitäten ist NILS auch deutschlandweit und im EU-Ausland aktiv tätig. NILS bekommt viele Anfragen von Lehrkräften, Schulen, Schulträgern, privaten und öffentlichen Bildungsträgern, Hochschulen und Klimaschutzagenturen. Neben langfristigen Kooperationen gab es 2023 viele neue Kontakte mit Schulen und Hochschulen, die Interesse am Einsatz von NILS-Konzepten und NILS-Experimentiergeräten hatten.



the costs of the kits so that the students can take the car home with them as a lasting souvenir once the project is complete. It is particularly important to give students a positive approach to the topic of solar research so that they can make self-determined, sustainable decisions as adults.

In the cooperating schools, NILS supports the teachers in their efforts to offer modern experimental physics lessons. It is a good idea to deal with the topic of "electricity" in detail using measurement technology. NILS provides a course and worksheets for this purpose and advises teachers on questions and concerns.

Supraregional cooperations of NILS-ISFH in 2023

In addition to the regional and state-wide solar didactic activities, NILS is also active throughout Germany and in other EU countries. NILS receives many inquiries from teachers, schools, school boards, private and public educational institutions, universities and climate protection agencies. In addition to long-term collaborations, there were many new contacts with schools and universities interested in using NILS concepts and NILS experimental equipment in 2023.

Abbildung/Figure 49: Schüler*innen bauen mit Hilfe des NILS-Teams ein kleines Solarauto.
Students build a small solar car with the help of the NILS team.

Bayern

Ostbayerische Technische Hochschule: Auch 2023 gab es eine enge Kooperation mit der Ostbayerischen Technischen Hochschule in Regensburg. Unter anderem kamen NILS-PV-Konzepte und NILS-PV-Experimentiergeräte in studentischen Praktika zum Einsatz.

Institution Solar für Kinder in München: Seit vielen Jahren besteht eine enge Kooperation mit der Institution Solar für Kinder in München, welche 2023 vertieft wurde.

Mittelschule Hammelburg: Die enge, langjährige Zusammenarbeit mit der Mittelschule Hammelburg wurde auch 2023 gepflegt.

Baden-Württemberg

Theodor-Heuss-Gymnasium in Freiburg: Eine solardidaktische Kooperation gab es mit dem Theodor-Heuss-Gymnasium in Freiburg.

Berlin

Robert-Havemann-Gymnasium in Berlin-Karow: Seit vielen Jahren pflegt NILS eine enge Kooperation mit dem Robert-Havemann-Gymnasium in Berlin-Karow. Vor Ort wurde ein Solar-Schülerlabor eingerichtet und zusätzlich mehrere Lehrkräftefortbildungskurse mit NILS-PV-Experimentiergeräten und NILS-Konzepten durchgeführt. Außerdem gab es unterschiedliche Kooperationen mit PV-Unterrichtsprojekten.

Bavaria

Ostbayerische Technische Hochschule (university of applied sciences): In 2023, there was again a close cooperation with the Ostbayerische Technische Hochschule in Regensburg. Among other things, NILS PV concepts and NILS PV experimental devices were used in student internships.

Institution Solar for Children in Munich: There has been close cooperation with the institution Solar for Children in Munich for many years, which was intensified in 2023.

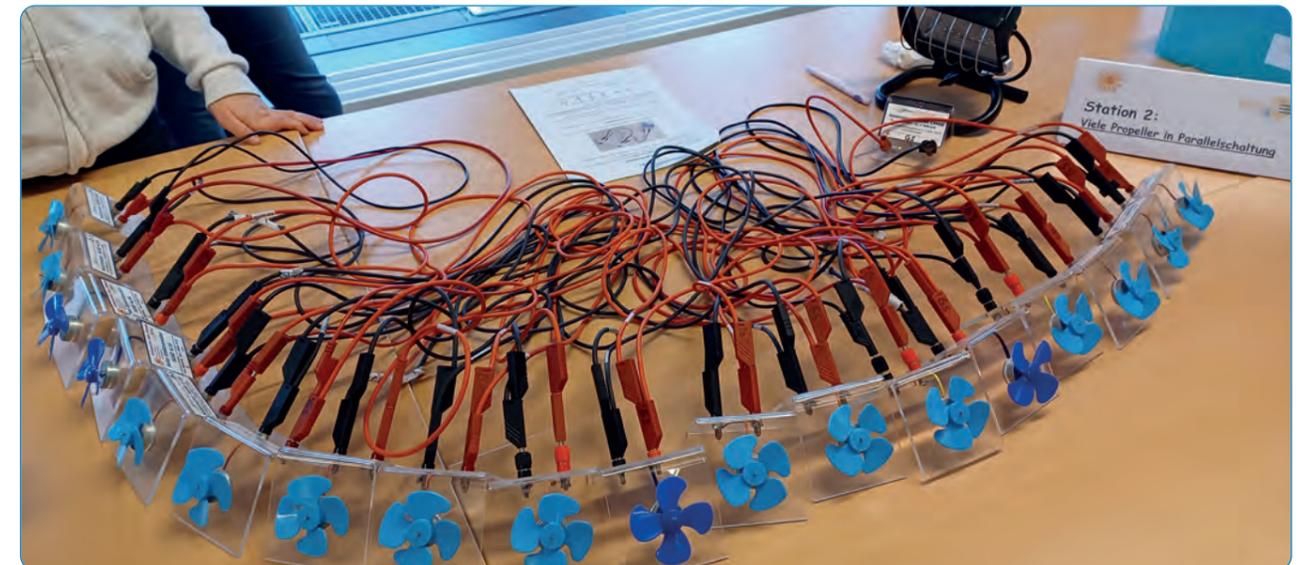
Hammelburg secondary school: The close, long-standing collaboration with Hammelburg secondary school was also maintained in 2023.

Baden-Württemberg

Theodor-Heuss-Gymnasium (grammar school) in Freiburg: There was a solar didactic cooperation with the Theodor-Heuss-Gymnasium in Freiburg.

Berlin

Robert-Havemann-Gymnasium (grammar school) in Berlin-Karow: NILS has been working closely with the Robert-Havemann-Gymnasium in Berlin-Karow for many years. A solar school laboratory has been set up on site and several teacher training courses with NILS PV experimental equipment and NILS concepts have also been held. There were also various collaborations with PV teaching projects.



Abbildung/Figure 50: Eine Solarzelle betreibt mit einer Parallelschaltung viele Propeller.

A solar cell powers many propellers with a parallel connection.

Brandenburg

Gymnasium Angermünde: Am Gymnasium Angermünde gab es mehrere Kooperationen mit NILS-Konzepten und NILS-PV-Experimentiersystemen.

Torhorst-Gesamtschule in Oranienburg: Auch an der Torhorst-Gesamtschule in Oranienburg gab es mehrere Kooperationen mit NILS-Konzepten und NILS-PV-Experimentiersystemen.

Niedersachsen

Neben vielen Schulen in der Region, die regelmäßig mit Schülergruppen das NILS-ISFH besuchen, gab es ebenfalls Kooperationen mit dem Schülerforschungszentrum Hameln, dem Campe-Gymnasium in Holzminden und dem Gymnasium Winsen. Außerdem gab es weitere Kooperationen mit der Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover und der Klimaschutzagentur Weserbergland.

Stadt Hildesheim: Die Stadt Hildesheim hat als Schulträger mit der Unterstützung von NILS die Basis für ein Solar-Schülerlabor mit NILS-Konzepten und NILS-Experimentiergeräten an einer berufsbildenden Schule installiert.

Grundschule in der Steinbreite in Hannover: Eine Kooperation im Bereich Grundschule gab es mit der Grundschule in der Steinbreite in Hannover.

Nordrhein-Westfalen

Pictorius-Berufskolleg in Coesfeld: Seit vielen Jahren kooperiert NILS mit dem Pictorius-Berufskolleg in Coesfeld. Dort werden im Unterricht und in Praktika solardidaktische Konzepte und Experimentiergeräte von NILS eingesetzt.

Schule in Billerbeck: Eine solardidaktische Kooperation gab es mit einer Schule in Billerbeck.

Sachsen

Oberschule Weischlitz: NILS hat mit der Oberschule Weischlitz kooperiert. Es wurden solardidaktische Konzepte und PV-Experimentiergeräte von NILS eingesetzt.

Finnland

Novida in Lieto: Ende 2023 hat sich eine solardidaktische Kooperation mit einer berufsbildenden Schule Novida-in Lieto in Finnland entwickelt. Ein Solar-Schülerlabor wurde mit NILS-Experimentiergeräten sowie mit NILS-Konzepten ausgestattet.

Brandenburg

Gymnasium Angermünde: There were several collaborations with NILS concepts and NILS-PV experimental systems at Gymnasium Angermünde.

Torhorst Gesamtschule in Oranienburg: The Torhorst-Gesamtschule in Oranienburg also had several collaborations with NILS concepts and NILS-PV experimental systems.

Lower Saxony

In addition to many schools in the region, which regularly visit the NILS-ISFH with groups of students, there have also been collaborations with the Hameln Student Research Center, the Campe-Gymnasium (grammar school) in Holzminden and the Gymnasium Winsen. There were further collaborations with the Gottfried Wilhelm Leibniz University of Hannover and the Weserbergland Climate Protection Agency.

City of Hildesheim: With the support of NILS, the city of Hildesheim, as the school board, has installed the basis for a solar school laboratory with NILS concepts and NILS experimental equipment at a vocational school.

Grundschule in der Steinbreite in Hanover: There was a cooperation in the elementary school sector with the Grundschule in der Steinbreite in Hanover.

North Rhine-Westphalia

Pictorius vocational school in Coesfeld: NILS has been cooperating with the Pictorius vocational school in Coesfeld for many years. Solar didactic concepts and experimental equipment from NILS are used there in lessons and practical courses.

School in Billerbeck: There was a solar didactic cooperation with a school in Billerbeck.

Saxony

Oberschule Weischlitz: NILS has cooperated with the Oberschule Weischlitz. Solar didactic concepts and PV experimental equipment from NILS were used.

Finland

Novida in Lieto: At the end of 2023, a solar didactic cooperation was established with a vocational school Novida in Lieto in Finland. A solar student laboratory was equipped with NILS experimental equipment and NILS concepts.



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

Inland/National

bifa Umweltinstitut GmbH; Augsburg	Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin (HTW); Berlin
Carl von Ossietzky Universität Oldenburg; Oldenburg	International Solar Energy Research Center Konstanz (ISC); Konstanz
Center for Applied Energy Research e.V. (CAE); Würzburg	IWW Rheinisch-Westfälisches Institut für Wasserforschung gGmbH; Mühlheim an der Ruhr
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), Institut für Vernetzte Energiesysteme; Oldenburg	Karlsruhe Institute of Technology (KIT) - Institute of Microstructure Technology; Eggenstein-Leopoldshafen
Forschungszentrum Jülich GmbH, Institut für Energie- und Klimaforschung (IEK-5); Jülich	Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG); Hannover
Forschungszentrum Jülich GmbH, Projektträger Jülich (PTJ); Jülich	Leibniz Universität Hannover, Institut für anorganische Chemie (ACI); Hannover
Fraunhofer-Center für Silizium-Photovoltaik (CSP); Halle (Saale)	Leibniz Universität Hannover, Institut für Antriebssysteme und Leistungselektronik (IAL); Hannover
Fraunhofer-Einrichtung für Energieinfrastrukturen und Geothermie (IEG); Bochum	Leibniz Universität Hannover, Institut für elektrische Energiesysteme (IfES); Hannover
Fraunhofer-Institut für Bauphysik (IBP); Stuttgart	Leibniz Universität Hannover, Institut für Festkörperphysik (FKP); Hannover
Fraunhofer-Institut für Energiewirtschaft und Energiesystemtechnik (IEE); Kassel	Leibniz Universität Hannover, Institut für Materialien und Bauelemente der Elektronik (MBE); Hannover
Fraunhofer-Institut für Mikrostruktur von Werkstoffen und Systemen (IMWS); Halle (Saale)	Leibniz Universität Hannover, Institut für Mikroelektronische Systeme (IMS); Hannover
Fraunhofer-Institut für Nachrichtentechnik, Heinrich-Hertz-Institut (HHI); Berlin	Leibniz Universität Hannover, Institut für Mineralogie; Hannover
Fraunhofer-Institut für Organische Elektronik, Elektronenstrahl- und Plasmatechnik (FEP); Dresden	Leibniz Universität Hannover, Institut für Montagetechnik (match); Garbsen
Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme (ISE); Freiburg	Leibniz Universität Hannover, Institut für Physikalische Chemie und Elektrochemie (PCI); Hannover
Georg-August-Universität Göttingen, Geowissenschaftliches Zentrum; Göttingen	Leibniz Universität Hannover, Institut für Thermodynamik (IfT); Garbsen
Georg-August-Universität Göttingen, Institut für Materialphysik; Göttingen	Leibniz Universität Hannover, Institut für Umweltplanung (IUP); Hannover
Georg-August-Universität Göttingen, IV. Physikalisches Institut; Göttingen	
Helmholtz-Zentrum Berlin für Materialien und Energie GmbH; Berlin	

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

Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB); Braunschweig	Technische Universität Clausthal, Institut für deutsches und internationales Berg- und Energierecht (IBER); Clausthal-Zellerfeld
Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule (RWTH), Institut für Baumanagement, Digitales Bauen und Robotik im Bauwesen (ICoM); Aachen	Technische Universität Clausthal, Institut für Elektrische Energietechnik und Energiesysteme (IEE); Clausthal-Zellerfeld
Technische Universität Bergakademie Freiberg, Fakultät für Chemie und Physik, Institut für Angewandte Physik; Freiberg	Technische Universität Clausthal, Institute of Subsurface Energy Systems (ITE); Clausthal-Zellerfeld
Technische Universität Braunschweig, Institut für Energie- und Systemverfahrenstechnik (INES); Braunschweig	Universität Kassel, Fachbereich 16 Elektrotechnik/Informatik, Fachgebiet Intelligente Eingebettete Systeme; Kassel
Technische Universität Braunschweig, Institut für Technische Chemie (ITC); Braunschweig	Universität Kassel, Institut für Thermische Energietechnik, Fachgebiet Solar- und Anlagentechnik; Kassel
Technische Universität Chemnitz, Institut für Physik Optik und Photonik kondensierter Materie (OPKM); Chemnitz	Universität Konstanz, Fachbereich Physik; Konstanz
Technische Universität Clausthal, Forschungszentrum Energiespeichertechnologien (EST); Goslar	Universität Potsdam, Institut für Physik und Astronomie, Physik weicher Materie; Potsdam-Golm
Technische Universität Clausthal, Institut für Aufbereitung, Deponietechnik und Geomechanik (IFAD); Clausthal-Zellerfeld	Universität Stuttgart, Institut für Gebäudeenergetik, Thermotechnik und Energiespeicherung (IGTE); Stuttgart
Technische Universität Clausthal, Institut für Chemische und Elektrochemische Verfahrenstechnik (ICVT); Clausthal-Zellerfeld	Universität Stuttgart, Institut für Maschinenelemente (IMA); Stuttgart

Ausland/International

Aalto University; Aalto; Finnland	Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC); Madrid; Spanien
Arbeitsgemeinschaft Erneuerbare Energie (AEE); Gleisdorf; Österreich	Conservatoire national des arts et métiers (CNAM); Paris; Frankreich
AS Metroser; Tallinn; Estland	CSEM SA – Recherche et Développement; Neuchâtel; Schweiz
Australian National University (ANU); Canberra; Australien	Czech Metrology Institute (CMI); Brno; Tschechien
Berner Fachhochschule (BHF); Burgdorf; Schweiz	École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL), Institute of Microengineering (IMT); Neuchâtel; Schweiz
Case Western Reserve University; Cleveland; USA	Fachhochschule Nordwestschweiz; Muttenz; Schweiz
CERTISOLIS TC; Frankreich	

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

Ausland/International

Inclusive Movement for Bosnia and Herzegovina (IMBiH); Washington; United States	National Renewable Energy Laboratory (NREL); Golden; USA
Institut für Energiesysteme und Fluid-Engineering (IEFE); Winterthur; Schweiz	Netherlands Organisation for Applied Scientific Research (TNO); Den Haag; Niederlande
Institut für Solartechnik Prüfung Forschung (SPF); Rapperswil; Schweiz	RISE Research Institutes of Sweden AB; Borås; Schweden
Institut National de l’Energie Solaire (CEA INES); Le Bourget-du-Lac; Frankreich	Scuola universitaria professionale della Svizzera italiana (SUPSI); Canobbio; Schweiz
Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial Esteban Terradas (INTA); Madrid; Spanien	SPF Institut für Solartechnik; Rapperswil; Schweiz
Instituto Português da Qualidade (IPQ); Caparica; Portugal	Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK); Ankara; Türkei
Interuniversity Microelectronics Centre (IMEC); Leuven; Belgien	University of Luxembourg, Laboratory for Photovoltaics; Belvaux; Luxembourg
L’Institut PhotoVoltaire d’Île-de-France (IPVF); Antony; Frankreich	University of Warwick, School of Engineering; Coventry; Großbritannien
Laboratoire national de métrologie et d’essais (LNE); Paris; Frankreich	Univerza v Ljubljani; Ljubljana; Slowenien
National Physical Laboratory (NPL); Teddington; Großbritannien	VSL B.V.; JA Delft; Niederlande

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

Inland/National

3D-Micromac AG; Chemnitz	albert.ing GmbH; Frankfurt am Main
Aerial PV Inspection GmbH; Aachen	Architektenkammer Niedersachsen; Hannover
AkoTec Produktionsgesellschaft mbH; Angermünde	Architektur- und TGA-Planungsbüro Carsten Grobe Passivhaus; Hannover

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

Inland/National

Baltic Renewable Partners GmbH & Co. KG; Neustadt in Holstein	GASAG Solution Plus GmbH; Berlin
Bundesverband Wärmepumpe; Berlin	Gebr. SCHMID GmbH; Freudenstadt
centrotherm international AG; Blaubeuren	Gehrmann & Hinrichs GmbH u. Co. KG; Husum
Clina Heiz- und Kühlelemente GmbH; Berlin	GeoEn Energy Technologies GmbH; Berlin
Comgy GmbH; Berlin	GEWO – Gesellschaft für Wohnen und Bauen mbH; Nordhorn
Consolar Solare Energiesysteme GmbH; Lörrach	GGEW Gruppen-Gas und Elektrizitätswerk Bergstraße AG; Bensheim
CreaPhys GmbH; Dresden	Gigahertz Optik GmbH; Türkenfeld
Cupasol GmbH; Ravensburg	Gundlach Bau und Immobilien GmbH & Co. KG; Hannover
Daldrup & Söhne AG; Ascheberg Westfalen	H. Anger's Söhne Bohr- und Brunnenbaugesellschaft mbH; Hessisch Lichtenau
Delta Systemtechnik GmbH; Celle	h.a.l.m. elektronik gmbh; Frankfurt am Main
DME consult GmbH; Rosenheim	Henkel AG & Co. KGaA; Düsseldorf
Ecotopia Dienstleistungsgenossenschaft Hannover eG; Hannover	HighLine Technology GmbH; Freiburg im Breisgau
Ecovillage Hannover eG; Hannover	iNeG IngenieurNetzwerk Energie eG; Bad Iburg
Eilenburger Fenstertechnik GmbH & Co. KG; Eilenburg	Ingenieurbüro Mencke & Tegtmeyer GmbH; Hameln
Eisenhuth GmbH & Co. KG; Osterode	Innovative WärmeNetze GmbH; Berlin
Energielenker; Münster	Instrument Systems GmbH; München
Energy Glas Glasbeschichtungsgesellschaft mbH & Co. KG; Wolfhagen	janßen energieplanung; Hannover
Enerpipe GmbH; Hilpoltstein	juwi AG; Wörrstadt
EnPV GmbH; Karlsruhe	Klimaschutz- und Energieagentur Niedersachsen GmbH (KEAN); Hannover
Fachverband Baustoffe und Bauteile für vorgehängte hinterlüftete Fassaden e.V. (FVHF); Berlin	Klimaschutzagentur Weserbergland; Hameln
Flachglas Sachsen GmbH; Grimma	Konvortec GmbH; Schembeck
Flachglas Sülzfeld GmbH; Sülzfeld	KUGU Home; Berlin

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

Inland/National

Lang Hugger Rampp GmbH; München	Ronge GmbH; Alfeld / Leine
LPKF Laser & Electronics AG ; Garbsen	Semikron Danfoss Elektronik GmbH & Co. KG; Nürnberg
LuxChemtech GmbH; Freiberg	SigmaHeat GmbH; Hannover
malotech GmbH; Beelen	Sika Deutschland GmbH; Bad Urach
MBJ Solutions GmbH; Ahrensburg	SM InnoTech GmbH & Co. KG; Bocholt
Meyer Burger (Germany) GmbH; Hohenstein-Ernstthal	SMA Solar Technology AG; Niestetal
Meyer Burger (Industries) GmbH; Freiberg	solarnative GmbH; Frankfurt
MN Metall GmbH; Neustadt in Holstein	Solvis GmbH; Braunschweig
Narva Lichtquellen GmbH & Co. KG; Brand-Erbisdorf	Splus2 GmbH; Mönchengladbach
nD-Enerserve GmbH; Hannover	Stadtwerke Mühlhausen GmbH; Mühlhausen
nD-System GmbH; Rösrath	Stadtwerke Neuruppin GmbH; Neuruppin
NICE Solar Energy GmbH; Schwäbisch Hall	Stadtwerke SH GmbH & Co. KG; Rendsburg
Optimel Schmelzgußtechnik GmbH; Iserlohn	Stadtwerke Solingen GmbH ; Solingen
Oventrop GmbH & Co. KG; Olsberg	Stiebel Eltron GmbH & Co. KG; Holzminden
Oxford PV Germany GmbH; Brandenburg a.d. Havel	Stiftung Umweltenergierecht ; Würzburg
PA-ID Process GmbH; Kleinostheim	Sunmaxx PVT GmbH; Dresden
PAW GmbH & Co. KG; Hameln	SURTECO GmbH; Buttenwiesen
PEWO Energietechnik GmbH; Elsterheide	Systea Pohl GmbH; Henstedt-Ulzburg
Pforzheimer Bau und Grund GmbH; Pforzheim	Taconova GmbH; Singen
PI Photovoltaik-Institut Berlin AG; Berlin	Talis Holzhäuser; Husum
pro Klima GbR bei der Stadtwerke Hannover AG; Hannover	TESVOLT AG; Lutherstadt Wittenberg
RENA Technologies GmbH; Gütenbach	Teutoburger Energie Netzwerk eG; Hagen a.T.W.
RESOL – Elektronische Regelungen GmbH; Hattingen	TOMASIC Engineering GmbH; Niederstotzingen

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

Inland/National

Trianel GmbH; Aachen	VHF Plan Liesenhoff; Malente
TÜV Rheinland AG; Köln	Viega GmbH & Co. KG; Attendorf
Uponor GmbH; Haßfurt	VISCODA GmbH; Hannover
Vaillant GmbH; Remscheid	Wavelabs Solar Metrology Systems GmbH; Leipzig
varmeco GmbH & Co.KG; Kaufbeuren	who Ingenieurgesellschaft mbH; Lübeck
VDE Renewables GmbH; Alzenau	WIP - Renewable Energies; München

Ausland/International

Applied Materials, Inc.; Santa Clara; United States	NorSun AS; Oslo; Norwegen
Applied Research Institute for Prospective Technologies (protech); Vilnius; Litauen	SolarCleanso S.a.r.l.; Grass; Luxemburg
Becquerel Institute; Brüssel; Belgien	Soli Tek R&D, UAB; Vilnius; Litauen
Copprint Technologies Ltd.; Jerusalem; Israel	Taconova Group AG; Zürich; Schweiz
DualSun; Marseille; Frankreich	TripleSolar; Amsterdam; Niederlande
Energyra Europe B.V.; RG Westknollendam; Niederlande	UAB Valoe Cells; Vilnius; Litauen
FuturaSun srl; Cittadella; Italien	Valoe Oyj; Mikkeli; Finnland
ion beam services S.A.; Peynier; Frankreich	Voltec Solar; Dinsheim Sur Bruche; Frankreich
Kalyon PV Factory; Ankara; Türkei	

Institutsmitgliedschaften/Institute memberships

Arbeitsgemeinschaft Erneuerbare Energie (AEE); Gleisdorf, Österreich

Bundesverband Solarwirtschaft e.V. (BSW); Berlin

Deutsche Industrieforschungsgemeinschaft Konrad Zuse e.V.; Berlin

European Solar PV Industry Alliance (www.solaralliance.eu)

ForschungsVerbund Erneuerbare Energien (FVEE); Berlin

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

International Photovoltaic Power Generation and Smart Energy Conference & Exhibition (SNEC); Mitglied des Scientific Committee

Informationsdienst Wissenschaft (idw); Bochum

Innovationsnetzwerk Niedersachsen; Hannover

International Solar Energy Society (ISES); Freiburg

Klimaschutzagentur Weserbergland; Hameln

Laboratorium für Nano- und Quantenengineering (LNQE); Hannover

Leibniz Forschungszentrum Energie 2050 (LiFE 2050); Hannover

Weserbergland AG; Hameln

Mitarbeit in Fachgremien/Membership in professional bodies

Bothe K.: Kommission Elektrotechnik Elektronik Informations-technik (DKE) – AK 373.0.10 „Solarzellen, Wafer und Module“; Mitglied | European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition; Mitglied des Scientific Committee | Fachausschuss: Hochfrequenz und Optik im Deutschen Kalibrierdienst (DKD); Mitglied | Fachausschuss: Messunsicherheit im Deutschen Kalibrierdienst (DKD); Mitglied | Working Group 2: „Modules, non-concentrating“ of the Technical Committee 82 of the International Electrotechnical Commission (IEC); Mitglied | Working Group 8: PV Cell of the Technical Committee 82 of the International Electrotechnical Commission (IEC); Mitglied

Brendel R.: Forschungsnetzwerk Erneuerbare Energien des BMWK; Mentor der Abreitsgruppe „Kristallines Silizium - Neue Ansätze“ | ForschungsVerbund Erneuerbare Energien, Berlin; Mitglied des Direktoriums | Institut für Festkörperphysik, Fakultät für Mathematik und Physik, Leibniz Universität Hannover; Vorstand | KIT Scientific Advisory Board for the Research Field Energy; Mitglied | Laboratorium für Nano- und Quantenengineering der Leibniz Universität Hannover (LNQE); Mitglied | Leibniz Forschungszentrum Energie 2050, Leibniz Universität Hannover (LiFE); Vorstand | Progress in Photovoltaics, Wiley and Publishers; Mitglied des Editorial Board | Solar-Rapid Research Letters, Wiley-VCH; Mitglied des Editorial Board

Byckov A.: 2. Niedersächsischer Wärmepumpentag; Mitglied des Organisationskomitees

Dullweber T.: BCworkshop; Mitglied des Organisationskomitees | Energy Award, Westfalen Weser Energie GmbH & Co. KG, Paderborn; Jurymitglied | European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition; Mitglied des Scientific Committee | International Photovoltaic Power Generation and Smart Energy Conference & Exhibition (SNEC); Mitglied des Scientific Committee | International Technology Roadmap for Photovoltaic (ITRPV); Mitglied | Photovoltaics International; Mitglied des Editorial Advisory Boards

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

Giovannetti F.: BSW, Fachgruppe Markt und Wirtschaftlichkeit und Fachgruppe Prozesswärme; Mitglied | Deutsche Solarthermie-Technologieplattform (DSTTP); Mitglied des Beirats | International Conference on Solar Energy in Buildings and Industry; Mitglied des Scientific Committee | Norddeutsche Wärmeforschung; Mitglied des Tagungsbeirates | Symposium Solarthermie und innovative Wärmesysteme, Bad Staffelstein; Mitglied des Tagungsbeirates

Hüsing F.: 2. Niedersächsischer Wärmepumpentag; Mitglied des Organisationskomitees

Jensen J.: IEA Task 68 „Efficient Solar District Heating Systems“; Mitglied

Köntges M.: IEA TASK 13 „Performance and Reliability of Photovoltaic Systems“; Mitglied | PV-Symposium, Bad Staffelstein; Mitglied des Tagungsbeirates | Sachverständigenkreis Photovoltaik; Mitglied

Lampe C.: Arbeitsausschuss NA 041-01-45 (Wassererwärmer) im DIN/NHRS, zugleich nationaler Spiegelausschuss zu CEN/TC 164/WG10; Mitglied / stellv. Obmann | Arbeitsausschuss NA 041-01-56 (Solaranlagen) im DIN/NHRS, zugleich nationaler Spiegelausschuss zu CEN/TC 312 und ISO/TC 180; Mitglied | CEN/TC 312/WG 1 „Solar Collectors“; Mitglied | Erfahrungsaustauschkreis der Prüflaboratorien „Thermische Solaranlagen und ihre Bauteile der Inspektoren“ (EK-TSuB-I), unter Leitung von DIN CERTCO Gesellschaft für Konformitätsbewertung mbH; Mitglied | Erfahrungsaustauschkreis der Prüflaboratorien „Thermische Solaranlagen und ihre Bauteile“ (EK-TSuB), unter Leitung von DIN CERTCO Gesellschaft für Konformitätsbewertung mbH; Mitglied | GSCN (Global Solar Certification Network) Member of Quality Assurance committee; Mitglied | ISO/TC 180/WG 3 „Collector components and materials“; Mitglied | ISO/TC 180/WG 4 „Solar collectors“; Mitglied | Richtlinienausschuss VDI 4190 „Solarthermische Anlagen“; Mitglied | SKN (Solar Keymark Network); Mitglied

Lim B.: European Technology & Innovation Platform Photovoltaics (ETIP PV); Mitglied des Steering Committee

Loth M.: Niedersächsischer Wärmepumpenpreis 2023; Jurymitglied | Zukunftsregion Weserbergland plus; Mitglied der Steuerungsgruppe

Niepelt R.: LEE-Arbeitskreis Solarenergie; Mitglied

Peibst R.: International Conference on Crystalline Silicon Photovoltaics (SiliconPV); Mitglied des Executive Committee

Schiebler B.: IEA Task 68 „Efficient Solar District Heating Systems“; Mitglied

Schmidt J.: European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition; Mitglied des Scientific Committee | IEEE Journal of Photovoltaics; Editor | Institut für Festkörperphysik, Fakultät für Mathematik und Physik, Leibniz Universität Hannover; Vorstand | International Workshop on Crystalline Silicon Solar Cells (CSSC); Mitglied des International Advisory Committee | npv workshop; Mitglied im Organisationskomitee | SiliconFOREST (Fortschritte in der Entwicklung von Solarzellen-Strukturen und -Technologien), Doktoranden- und Diplomanden-Workshop; Mitglied des Programmkomitees

Ausstellungen & Fachtagungen/Fairs & congresses

BCworkshop 2023, 29. bis 30.11.2023, Veranstalter und Mitorganisator



Veröffentlichungen in referierten Zeitschriften/Peer-reviewed publications

Bothe K., Hinken D., Brendel R.: „Extended FF and VOC Parameterizations for Silicon Solar Cells“, IEEE Journal of Photovoltaics 13 (6), 787-792 (2023). DOI: 10.1109/JPHOTOV.2023.3309932.

Brendel R.: „Analytic Efficiency Optimization of Solar Cells under Light Concentration in the Framework of the Single-Diode Model“, Solar RRL 7 (17), 2300279 (2023). DOI: 10.1002/solr.202300279.

Veröffentlichungen in referierten Zeitschriften/Peer-reviewed publications

Brinkmann M., Haase F., Bothe K., Bittkau K., Lambert A., Duan W., Ding K., Sperlich H.-P., Waltinger A., Schulte-Huxel H.: „Impact of the contacting scheme on I-V measurements of metallization-free silicon heterojunction solar cells“, EPJ Photovolt 14, 18 (2023). DOI: 10.1051/epjpv/2023009.

Chhugani B., Pärish P., Helmling S., Giovannetti F.: „Comparison of PVT-heat pump systems with reference systems for the energy supply of a single-family house“, Solar Energy Advances 3, 100031 (2023). DOI: 10.1016/j.seja.2022.100031.

Flathmann C., Meyer T., Titova V., Schmidt J., Seibt M.: „Composition and electronic structure of SiO_x/TiO_y/Al passivating carrier selective contacts on n-type silicon solar cells“, Scientific Reports 13 (1), 3124 (2023). DOI: 10.1038/s41598-023-29831-2.

Green M. A., Dunlop E. D., Siefert G., Yoshita M., Kopidakis N., Bothe K., Hao X.: „Solar cell efficiency tables (Version 61)“, Progress in Photovoltaics: Research and Applications 31 (1), 3-16 (2023). DOI: 10.1002/pip.3646.

Green M. A., Dunlop E. D., Yoshita M., Kopidakis N., Bothe K., Siefert G., Hao X.: „Solar cell efficiency tables (version 62)“, Progress in Photovoltaics: Research and Applications 31 (7), 651-663 (2023). DOI: 10.1002/pip.3726.

Grimm B., Wolter S. J., Schmidt J.: „Contactless quasi-steady-state photoconductance (QSSPC) characterization of metal halide perovskite thin films“, Scientific Reports 13 (1), 11163 (2023). DOI: 10.1038/s41598-023-37745-2.

Herz M., Friesen G., Jahn U., Koentges M., Lindig S., Moser D.: „Identify, analyse and mitigate—Quantification of technical risks in PV power systems“, Progress in Photovoltaics: Research and Applications 31 (12), 1285-1298 (2023). DOI: 10.1002/pip.3633.

Hinken D., Schinke C., Bothe K., Brendel R.: „Multi-Spectrum Method for the Determination of the Spectral Responsivity and the Short-Circuit Current of Photovoltaic Devices“, Solar RRL 7 (13), 2300240 (2023). DOI: 10.1002/solr.202300240.

Liu Q., Weiland F., Pärish P., Kracht N., Huang M., Ptak T.: „Influence of site characteristics on the performance of shallow borehole heat exchanger arrays: A sensitivity analysis“, Geothermics 114, 102785 (2023). DOI: 10.1016/j.geothermics.2023.102785.

Madumelu C., Cai Y., Hollemann C., Peibst R., Hoex B., Hallam B. J., Soeriyadi A. H.: „Assessing the stability of p+ and n+ polysilicon passivating contacts with various capping layers on p-type wafers“, Solar Energy Materials and Solar Cells 253, 112245 (2023). DOI: 10.1016/j.solmat.2023.112245.

Niepelt R., Schlemminger M., Bredemeier D., Peterssen F., Lohr C., Bensmann A., Hanke-Rauschenbach R., Brendel R.: „The influence of falling costs for electrolyzers on the location factors for green hydrogen production“, Solar RRL 7 (17), 2300317 (2023). DOI: 10.1002/solr.202300317.

Peibst R., Haase F., Min B., Hollemann C., Brendemühl T., Bothe K., Brendel R.: „On the chances and challenges of combining electron-collecting n-POLO and hole-collecting Al-p+ contacts in highly efficient p-type c-Si solar cells“, Progress in Photovoltaics: Research and Applications 31 (4), 327-340 (2023). DOI: 10.1002/pip.3545.

Schiebler B., Köhler J., Wagner L., Jensen J., Giovannetti F.: „Heat pipe collectors with overheating prevention in a cost-optimized system concept: Monitoring of system performance and stagnation loads under real conditions“, Solar Energy Advances 3, 100040 (2023). DOI: 10.1016/j.seja.2023.100040.

Schinke C., Pollex H., Hinken D., Wolf M., Bothe K., Kröger I., Nevas S., Winter S.: „Corrigendum: Calibrating spectrometers for measurements of the spectral irradiance caused by solar radiation (2020 Metrologia 57 065027)“, Metrologia 60 (1), 19501 (2023). DOI: 10.1088/1681-7575/acaa40.

Schulte-Huxel H., Witteck R., Blankemeyer S., Köntges M.: „Optimal interconnection of three-terminal tandem solar cells“, Progress in Photovoltaics: Research and Applications 31 (12), 1350-1359 (2023). DOI: 10.1002/pip.3643.

Tous L., Govaert J., Harrison S., Carrière C., Barth V., Giglia V., Buchholz F., Chen N., Halm A., Faes A., Nogay G., Quest H., Roessler T., Fellmeth T., Reinwand D., Stolzenburg H., Schindler F., Mittag M., Morlier A., Bokalic M., Brecl K., Kikelj M., Topic M., Kester J., Wendlandt S., Galiazzo M., Voltan A., Galbiati G., Ortiga M. E., Torregrosa F., Grimm M., Denafas J., Radavicius T., Lukinskas P., Savisalo T., Regrettier T., Gordon I.: „Overview of key results achieved in H2020 HighLite project helping to raise the EU PV industries' competitiveness“ Progress in Photovoltaics: Research and Applications 31 (12), 1409-1427 (2023). DOI: 10.1002/pip.3667.

Winter M., Walter D. C., Schmidt J.: „Impact of Fast-Firing Conditions on Light- and Elevated-Temperature-Induced Degradation (LeTID) in Ga-Doped Cz-Si“, IEEE Journal of Photovoltaics 13 (6), 849-857 (2023). DOI: 10.1109/JPHOTOV.2023.3304118.

Zhang Y., Monokroussos C., Wilterdink H., Müllejans H., Pavanello D., Yoshita M., Yamagoe K., Ramspeck K., Hinken D., Bothe K., Fujita Y., Arnoux G., Pinto F., Ambigapathy R., Gao Q., Shi Q., Chen Y. F., Ping Y.: „Interlaboratory comparison of voltage sweep methods used for the electrical characterization of encapsulated high-efficiency c-Si solar cells“, Progress in Photovoltaics: Research and Applications 31 (3), 237-250 (2023). DOI: 10.1002/pip.3630.

Andere Veröffentlichungen/Other publications

Bongs C., Fugmann H., Krause M., Kracht N.: „Wärmepumpen – aktuelle Entwicklungen und Lösungen für den Gebäudebestand“, In: Forschung für die Wärmewende – klimaneutral, effizient und flexibel (FVEE Themen 2022), 102-107. Berlin, Germany (2023).

Büttner B., Wurdinger K., Vehse M., Pflugradt N., Yasin M., Groß B.: „Gebäudebestand der Zukunft – Smarte Energieeffizienz“, In: Forschung für die Wärmewende – klimaneutral, effizient und flexibel (FVEE Themen 2022), 108-116. Berlin, Germany (2023).

Cadenbach A. M., Weismann S., Gebhardt H., Oliva A., Schiebeler B., Schüwer D.: „Neubau und Transformation hocheffizienter Wärmenetze im Kontext der Dekarbonisierung und Flexibilisierung unserer Energiesysteme“, In: Forschung für die Wärmewende – klimaneutral, effizient und flexibel (FVEE Themen 2022), 90-95. Berlin, Germany (2023).

Dullweber T., Mertens V., Stöhr M., Langlois J., Mettner L., Baumann U., Haase F., Brendel R., Libal J., Vogt A., Ambrosius N., Pernau T., Haverkamp H.: „Towards high-efficiency POLO IBC solar cells based on a PERC+ processing technology“. Photovoltaics International Volume 49.

Ernst T., Lim B., Schinke C., Puknat R., Gewohn T., Niepelt R.: „Viability of Various Temperature Models for Façade PV in Moderate Climates“, In: Proceedings of the 40th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, 20456. Lisbon, Portugal (2023). DOI: 10.4229/EUPVSEC2023/4DV.4.24.

Hüsing F., Giovannetti F., Bongs C., Klinker F., Lenz V.: „Wärmepumpen machen Umweltwärme in Gebäuden nutzbar – der Schlüssel zu einer nachhaltigen Wärmeversorgung“, In: Forschung für die Wärmewende – klimaneutral, effizient und flexibel (FVEE Themen 2022), 47-53. Berlin, Germany (2023).

Lenz V., Hartmann I., Eggert D., Bongs C., Mattmüller J., Thomas S.: „Lösungsansätze für die schnelle Umstellung von 20 Mio. Einzelgebäudeheizungen von fossil auf erneuerbar“, In: Forschung für die Wärmewende – klimaneutral, effizient und flexibel (FVEE Themen 2022), 23-29. Berlin, Germany (2023).

Mertens V., Dorn S., Langlois J., Stöhr M., Larionova Y., Brendel R., Ambrosius N., Vogt A., Pernau T., Haverkamp H., Dullweber T.: „Study of Different Interfacial Oxides for Industrial N-Poly Si Passivation on Polo-IBC Solar Cells“, In: Proceedings of the 40th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, 20015.

Lisbon, Portugal (2023). DOI: 10.4229/EUPVSEC2023/1BO.3.3.
Min B., Haase F., Brendemühl T., Tsuji K., Dhamrin M., Peibst R., Brendel R.: „All-Aluminum Screen-Printed POLO Back Junction Solar Cells“, In: Proceedings of the 40th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, 20044. Lisbon, Portugal (2023). DOI: 10.4229/EUPVSEC2023/1CV.3.2.

Min B., Mertens V., Larionova Y., Pernau T., Haverkamp H., Dullweber T., Peibst R., Brendel R.: „224.2%-Efficient POLO Back Junction Solar Cell with Industrial PECVD AlO_x/SiN_y Passivation“, In: Proceedings of the 40th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, 20003. Lisbon, Portugal (2023). DOI: 10.4229/EUPVSEC2023/1AO.5.2.

Schmidt D., Estevam-Schmiedt J., Stryi-Hipp G., Chhugani B., Hoffmann P., Wagner O., Brinner A.: „Umsetzung der urbanen Wärmewende im Quartier“, In: Forschung für die Wärmewende – klimaneutral, effizient und flexibel (FVEE Themen 2022), 35-38. Berlin, Germany (2023).

Schossig P., Kost C., Herkel S., Szarka N., Pregger T., Gils H. C., Niepelt R., Hagemeyer V., Krüger C., Binder J.: „Klimaneutrale Wärmeversorgung – Bedeutung für die Energiewende und Herausforderungen bei Technik, Wirtschaftlichkeit und Regulierung“, In: Forschung für die Wärmewende – klimaneutral, effizient und flexibel (FVEE Themen 2022), 11-15. Berlin, Germany (2023).

Szarka N., Lenz V., Hartmann I., Kutne P., Mercker O., Wern B., Jordan M.: „Systemdienliche Wärmeversorgung aus Biomasse“, In: Forschung für die Wärmewende – klimaneutral, effizient und flexibel (FVEE Themen 2022), 65-73. Berlin, Germany (2023).

Timilsina K.: „PVT-Wärmepumpensysteme für die optimale Nutzung von Solarenergie und Umweltwärme“. Solarbrief des Solarfördervereins SFV e.V. 3-2023.

Wirtz W., Eilrich J., Morlier A., Bräunig S., Blankemeyer S., Schulte-Huxel H.: „3D Lamination for Flexible Manufacturing of Various Shaped VIPV Modules“, In: Proceedings of the 40th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, 20332. Lisbon, Portugal (2023). DOI: 10.4229/EUPVSEC2023/4BV.3.41.

Wurdinger K., Büchner D., Mercker O., Lenz V.: „Biomasse-Hybridheizung: ein Beitrag zur Versorgungssicherheit“, In: Tagungsband der 6. Regenerative Energietechnik Konferenz in Nordhausen, 204-208. Nordhausen, Germany (2023).

Vorträge & Poster/Oral and visual presentations

Albrecht K.: „Einfluss von Temperaturschwankungen auf das Komfortempfinden beim Duschen unter Betrachtung spezifischer Merkmale von Testpersonen“. 1. Konferenz zur Norddeutschen Wärmeforschung. Göttingen, Germany.

Albrecht K.: „Influence of specific characteristics of subjects and environmental conditions on comfort level during showering“. International scientific conference on the Built Environment in Transition (CISBAT). Lausanne, Switzerland.

Albrecht K.: „Messergebnisse, Analysen und Bewertung normativer Auslegungsempfehlung für regenerative, zentrale Trinkwassererwärmungsanlagen in Sporthallen“. Tag der Energieforschung der LUH. Hannover, Germany.

Albrecht K.: „WoSta4.0 - Entwicklung smarter Wohnungsstationen und Demonstration vernetzter, hocheffizienter, regenerativer Wärmeversorgung von Mehrfamilienhäusern“. Tag der Energieforschung der LUH. Hannover, Germany.

Baumann S.: „Perovskite/silicon tandem solar cells with front side metallization applied prior to top cell fabrication enabling high curing temperatures“. 50. IEEE Photovoltaic Specialists Conference (PVSC). San Juan, Puerto Rico.

Bordihn S.: „Überblick Photovoltaiklieferkette und Chancen einer Produktionswiederansiedlung in Niedersachsen“. 6. Niedersächsisches Forum Solarenergie. Online Event.

Born H., Krause M., Weiland F.: „Urban Ground Heat- Heat transition in existing urban neighbourhoods“. European Geothermal Heat Pump Days. Berlin, Germany.

Bothe K.: „Extended FF-Voc parameterization for silicon solar cells“. 50. IEEE Photovoltaic Specialists Conference (PVSC). San Juan, Puerto Rico.

Bredemeier D., Schlemminger M., Kühne P., Wietler T., Niepelt R., Brendel R.: „Viel Sonne in Niedersachsen - Ein detaillierter Blick auf Solarenergiepotenziale auf Dächern und Fassaden“. 15. Niedersächsische Energietage. Hannover, Germany.

Brockmann L.: „Optical characterization and loss simulation of encapsulation materials and back sheets for PERC+ solar module“. 50. IEEE Photovoltaic Specialists Conference (PVSC). San Juan, Puerto Rico.

Brockmann T. L.: „Optical simulation study: current mismatch of 2T perovskite/silicon tandem solar modules under outdoor conditions“. tandemPV Workshop 2023. Chambéry, France.

Büttner C.: „Solarthermisch Aktivierung von hinterlüftete Fassaden als Quelle für Wärmepumpensysteme: Umsetzung in einem Demonstrationsgebäude“. 33. Symposium Solarthermie und innovative Wärmesysteme. Bad Staffelstein, Germany.

Chhugani B.: „Dekarbonisierung von Wärmeversorgungssystemen in Bestands-Einfamilienhäusern durch PVT-Wärmepumpensysteme“. TGA-Kongress 2023. Berlin, Germany.

Chhugani B.: „Photovoltaik-Thermie (PVT) als Energiequelle für Wärmepumpensysteme“. Solar Winter School, Weiterbildungsprogramm LUH / HSH. Emmerthal, Germany.

Chhugani B.: „PVT-Kollektoren: Strom und Wärme für Wärmepumpen“. KHS-Wärmepumpenforum 2023. Fulda, Germany.

Chhugani B., Büttner C., Pärish P., Giovannetti F.: „Photovoltaic-Thermal (PVT) collectors as monovalent or bivalent heat sources for heat pumps in new multi-family houses“. ISES Solar World Congress 2023. New Delhi, Indien.

Clausing R.: „Utilizing a soft IZO sputtering process to contact buffer-free semitransparent perovskite pin solar cells“. 50. IEEE Photovoltaic Specialists Conference (PVSC). San Juan, Puerto Rico.

Ernst T.: „Viability of the Faiman Temperature Model for Façade PV in Moderate Climate“. 40th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition. Lisbon, Portugal.

Frick E.: „Einfluss der realen Windgeschwindigkeit auf die Leistung solarthermisch aktiver Fassaden“. 33. Symposium Solarthermie und innovative Wärmesysteme. Bad Staffelstein, Germany.
Frick E.: „Thermisch aktivierte hinterlüftete Fassaden für Mehrfamilienhäuser“. 1. Konferenz zur Norddeutschen Wärmeforschung. Göttingen, Germany.

Frick E., Kirchner M., Giovannetti F.: „Influence of the natural wind speed on the performance of solar thermal façades“. ISES Solar World Congress 2023. New Delhi, Indien.

Giovannetti F.: „Die Fassade als Energiequelle in Wärmepumpensystemen“. 2. VDI-Fachkonferenz „Fassaden im Neubau und Bestand“. Hamburg, Germany.

Giovannetti F.: „Die Rolle der Solarthermie im Energiesystem“. Solar Winter School, Weiterbildungsprogramm LUH / HSH. Emmerthal, Germany.

Giovannetti F.: „Energiefragen und Solarpotential“. NLD-Workshop „Ressource Kulturerbe - Strukturen nachkriegsmoderner Architektur verstehen und weaternutzen“. Hildesheim, Germany.

Vorträge & Poster/Oral and visual presentations

Grimm B.: „Injection-dependent Carrier Lifetime Measurement of Metal Halogenide Perovskites using the QSSPC Method“. tandemPV Workshop 2023. Chambéry, France.

Haase F.: „Aluminum Doped Zinc Oxide as Bottom Oxide and Recombination Layer for Silicon Heterojunction/Perovskite Tandem Cells“. tandemPV Workshop 2023. Chambéry, France.

Huang M.: „In-Situ-Monitoring eines Wärmepumpensystems mit PVT-Kollektoren und Erdwärmequellen für Heizung und Kühlung“. Tag der Energieforschung der LUH. Hannover, Germany.

Huang M.: „Langzeiteffizienz von Erdwärmepumpen und Nachhaltigkeit von EWS-Feldern eines Bürogebäudes“. Tag der Energieforschung der LUH. Hannover, Germany.

Huang M.: „Technisch und ökonomisch nachhaltige Dimensionierung eines mit PVT-Kollektoren solar regenerierten Erdwärmesondenfelds zur Versorgung eines Quartiers mit kalter Nahwärme“. Tag der Energieforschung der LUH. Hannover, Germany.

Huang M., Kracht N., Weiland F., Liu Q., Ptak T., Pärish P.: „Langzeitmonitoring und Betriebsoptimierung von Erdwärmesondenfeldern für Wärme- und Kälteversorgung eines Bürogebäudes“. Geothermiekongress 2023. Essen, Germany.

Hüsing F.: „Effizienzüberwachung von Wärmepumpenheizungsanlagen – Integration in den Planungs- und Installationsprozess“. Mess- und Steuerungstechnik für Wärmepumpen - Wärmepumpen zukunftssicher installieren und betreiben. Bremerhaven, Germany.

Hüsing F.: „Erdreich, Dach, Fassade – woher kommt die Wärme für Gebäude? Innovative Systeme für die Quellwärmeerschließung“. ENERGIETAGE 2023. Online Event.

Hüsing F.: „PV+Wärmepumpe – so geht die Zukunft“. KHS-Wärmepumpenforum 2023. Fulda, Germany.

Hüsing F.: „Wärmepumpen-Initiative Niedersachsen (WIN) – Netzwerk für eine effiziente und klimaneutrale Wärmeversorgung“. SIZ energieplus - Workshopreihe „Nachhaltige Wärmeversorgung mittels Wärmepumpe: Anwendung – Qualitätssicherung – Quartiersversorgung“. Online Event.

Hüsing F., Loth M.: „Trinkwassererwärmung mit Wärmepumpen – Effizienzbewertung für Systeme mit großen Pufferspeichern“. Deutsche Kälte- und Klimatagung 2023. Hannover, Germany.

Jensen J.: „Einfluss der realen Windgeschwindigkeit auf die Leistung solarthermisch aktiver Fassaden“. Tag der Energieforschung der LUH. Hannover, Germany.

Jensen J.: „Smarte Kollektoren – Wie wir in Zukunft die Überhitzung solarthermischer Kollektoren verhindern“. Solar Winter School, Weiterbildungsprogramm LUH / HSH. Emmerthal, Germany.

Jensen J.: „Solare Wärmenetze: Eine Analyse von Machbarkeitsstudien und bereits realisierten Anlagen“. Tag der Energieforschung der LUH. Hannover, Germany.

Jensen J.: „Sonnenkollektoren in Wärmenetzen: Eine Analyse von Machbarkeitsstudien und bereits realisierten Großprojekten“. 1. Konferenz zur Norddeutschen Wärmeforschung. Göttingen, Germany.

Köhler A., Dittrich A., Walter D., Wünsch F., Helmich L., Reineke-Koch R.: „Wasserelektrolyse am Institut für Solarenergieforschung“. Jahrestreffen der Wissenschaftsallianz Wasserstofftechnologien. Hannover, Germany.

Köntges M.: „Aktuelle Photovoltaik Technologien und besondere Anwendungen“. Elektrotechnik Herbstseminar Niedersächsisches Landesamt für Bau und Liegenschaften. Bad Nenndorf, Germany.

Köntges M.: „Schäden, Ausfallraten und Degradation in PV-Anlagen“. Elektrotechnik Herbstseminar Niedersächsisches Landesamt für Bau und Liegenschaften. Bad Nenndorf, Germany.

Köntges M.: „Solarenergieforschung am ISFH“. Elektrotechnik Herbstseminar Niedersächsisches Landesamt für Bau und Liegenschaften. Bad Nenndorf, Germany.

Köntges M.: „Wandel der politischen Rahmenbedingungen für Photovoltaik (in Niedersachsen) 2023/24“. Elektrotechnik Herbstseminar Niedersächsisches Landesamt für Bau und Liegenschaften. Bad Nenndorf, Germany.

Köntges M.: „Wandel der politischen Rahmenbedingungen für Photovoltaik in Niedersachsen 2022/2023. Aktuelle Photovoltaik Modul-Technologien Schäden, Ausfallraten und Degradation in PV-Anlagen“. Solar Winter School, Weiterbildungsprogramm LUH / HSH. Emmerthal, Germany.

Kracht N.: „Feasibility study of an innovative drilling method for inclined medium-deep borehole heat exchangers in a 5th generation district heating concept“. 9th International Conferences on Smart Energy Systems. Copenhagen, Denmark.

Kracht N.: „Langzeiteffizienz der Erdwärmepumpen und Nachhaltigkeit der Erdwärmesondenfelder für Nichtwohngebäude“. 33. Symposium Solarthermie und innovative Wärmesysteme. Bad Staffelstein, Germany.

Vorträge & Poster/Oral and visual presentations

Kracht N.: „Technisch und ökonomisch nachhaltige Dimensionierung eines mit PVT-Kollektoren solar regenerierten Erdwärmesondenfelds zur Versorgung eines Quartiers mit kalter Nahwärme“. 33. Symposium Solarthermie und innovative Wärmesysteme. Bad Staffelstein, Germany.

Kracht N., Weiland F.: „Feasibility study of an innovative drilling method for inclined medium-deep borehole heat exchangers in a 5th generation district heating concept“. European Geothermal Heat Pump Days. Berlin, Germany.

Lim B.: „Innovationen in der Photovoltaik“. Status quo, Innovationen und aktuelle Herausforderungen in der Photovoltaik - Teil 1 der Veranstaltungsreihe „Photovoltaik in der Kommune: Handlungsperspektiven vor Ort und in der Region. Online Event.

Liu Q., Weiland F., Huang M., Kracht N., Schuba S.-Y., Pärish P., Ptak T.: „Sustainable operation of a borehole heat exchanger field in a vocational school considering groundwater flow“. Geothermiekongress 2023. Essen, Germany.

Mandow W.: „Einsatz der BIM-Methode bei gebäudeintegrierten solaren Technologien“. 1. Konferenz zur Norddeutschen Wärmeforschung. Göttingen, Germany.

Mandow W.: „Einsatz der BIM-Methode bei gebäudeintegrierten solaren Technologien am Beispiel einer innovativen PVT-Fassade“. 33. Symposium Solarthermie und innovative Wärmesysteme. Bad Staffelstein, Germany.

Mandow W., Kirchner M., Giovannetti F., Edenhofner F., Maier T.: „Characterization and parametrization of a photovoltaic-thermal façade in the context of Building Information Modeling“. ISES Solar World Congress 2023. New Delhi, Indien.

Mercker O.: „Entwicklung smarterer Wohnungsstationen und Vergleich vernetzter, regenerativer Wärmeversorgung von Mehrfamilienhäusern“. TGA-Kongress 2023. Berlin, Germany.

Mercker O., Yasin M., Albrecht K., Pärish P.: „WoSta4.0 - Entwicklung smarterer Wohnungsstationen und Demonstration vernetzter, hocheffizienter, regenerativer Wärmeversorgung von Mehrfamilienhäusern“. 13. Projektleitungstreffen der Forschungsinitiative Energiewendebauen. Dresden, Germany.

Mercker O., Yasin M., Büttner C., Pärish P.: „Energetische Bewertung von Maßnahmen zur hygienischen Absenkung der TWW-Temperatur in MFH mit Wärmepumpen“. 15. EffizienzTagung klimaneutral Bauen+Modernisieren. Hannover, Germany

Mertens V.: „Study of Different Interfacial Oxides for Industrial N-Polysilicon Passivation on Polo-IBC Solar Cells“. 40th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition. Lisbon, Portugal.

Min B.: „23.5 %-efficient POLO back junction solar cell with industrial PECVD AlO_x/SiN_y passivation“. 40th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition. Lisbon, Portugal.

Min B.: „All-aluminum screen-printed POLO back junction solar cells“. 40th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition. Lisbon, Portugal.

Niepelt R.: „Forschungsbedarfe bei Wärmepumpen aus Sicht des Energiesystems“. 1. Konferenz zur Norddeutschen Wärmeforschung. Göttingen, Germany.

Niepelt R.: „Trends und Herausforderungen der Energiesystemtransformation“. Solar Winter School, Weiterbildungsprogramm LUH / HSH. Emmerthal, Germany.

Niepelt R., Peterssen F., Parziale R., Mahner A., Brendel R.: „Lokal, regional oder international: Energiesysteme mit Wasserstoff“. Jahrestreffen der Wissenschaftsallianz Wasserstofftechnologien. Hannover, Germany.

Niepelt R., Peterssen F., Parziale R., Mahner A., Schomburg L., Bredemeier D., Brendel R.: „Lokal, regional oder international: Energiesysteme mit Wasserstoff“. Tag der Energieforschung der LUH. Hannover, Germany.

Pärish P.: „Bestands-Neubaumix mit Erdwärmeversorgung – Erfahrungsbericht“. 14. Norddeutsche Geothermietagung. Hannover, Germany.

Pärish P.: „Energieeffizienz bei der Trinkwassererwärmung in Hotels“. Netzwerk-Abschlusstreffen für Hotel- und Gastronomiebetriebe organisiert durch die Klimaschutzagentur Weserbergland. Online Event.

Pärish P.: „Multi-criteria comparison of various drinking water installations for low-temperature supply systems in apartments“. International scientific conference on the Built Environment in Transition (CISBAT). Lausanne, Switzerland.

Pärish P.: „Multikriterieller Eignungsvergleich wohnungsinterner Trinkwasserinstallationsarten für Niedertemperatur-Versorgungssysteme in Mehrfamilienhäusern“. TGA-Kongress 2023. Berlin, Germany.

Vorträge & Poster/Oral and visual presentations

Pärish P.: „PVT-Kollektoren: eine Wärmequelle für Wärmepumpen im Bestand“. Aktionswoche 2023 „Berlin spart Energie. Online Event.

Pärish P.: „PVT-Wärmepumpenlösungen für Wohn- und Nichtwohngebäude“. Webinar des Bundesverbands der Gebäudeenergieberater, Ingenieure und Handwerker e.V. Online Event.

Pärish P.: „Solarthermie und Wärmepumpe?“. Jahrestreffen des Nordsolar e.V. Springe, Germany.

Pärish P., Ptak T., Kracht N., Liu Q., Huang M., Weiland F., Schuba S.-Y.: „GeoResume - Nachhaltige Bewirtschaftung großer oberflächennaher Geothermieanlagen durch Regeneration mit Solar-, Umwelt- und Abwärme“. SIZ energieplus - Workshopreihe „Nachhaltige Wärmeversorgung mittels Wärmepumpe: Anwendung – Qualitätssicherung - Quartiersversorgung“. Online Event.

Patel N., Bittkau K., Sovetkin E., Pieters B. E., Ding K., Peibst R., Fischer H., Reinders A.: „Systems analysis of an onboard PV system on a demonstrator light commercial vehicle“. 40th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition. Lisbon, Portugal.

Rienäcker M.: „Integration of Photonic Crystals in Highly Efficient POLO²-IBC Cells – Interplay between Structural, Optical and Electrical Properties“. SiliconPV 2023 - 13th International Conference on Silicon Photovoltaics. Delft, The Netherlands.

Rienäcker M.: „Towards a three-terminal perovskite/silicon tandem solar cell with highest efficiency“. 50. IEEE Photovoltaic Specialists Conference (PVSC). San Juan, Puerto Rico.

Schiebler B.: „Solarthermische Großanlagen in Wärmenetzen: Eine Analyse von Machbarkeitsstudien und bereits realisierten Projekten“. 33. Symposium Solarthermie und innovative Wärmesysteme. Bad Staffelstein, Germany.

Schiebler B., Saade G., Jensen J., Kirchner M., Giovannetti F., Brokamp N.: „Solare Wärmenetze: Eine Analyse von Machbarkeitsstudien und bereits realisierten Großprojekten“. 13. Projektleitungstreffen der Forschungsinitiative Energiewendebauen. Dresden, Germany.

Schlemminger M., Bredemeier D., Mahner A., Niepelt R., Breitner M. H., Brendel R.: „Storage Requirements in Urban Energy Systems for the Integration of Rooftop Photovoltaics“. International Renewable Energy Storage Conference IRES 2023. Aachen, Germany.

Schomburg L., Mahner A., Bredemeier D., Niepelt R.: „Interaktiv das Energiesystem der Zukunft entdecken“. Die Nacht, die Wissen schafft 2023. Hannover, Germany.

Schuba S.: „Messergebnisse und Auslegungsempfehlungen für regenerative, zentrale Trinkwassererwärmungsanlagen in Sporthallen“. TGA-Kongress 2023. Berlin, Germany.

Schuba S., Kuhlen J.: „Messergebnisse, Analysen und Bewertung normativer Auslegungsempfehlung für regenerative, zentrale Trinkwassererwärmungsanlagen in Sporthallen“. Projektleitertreffen Begleitforschung Energiewendebauen. Bamberg, Germany.

Schuba S. Y.: „Messergebnisse, Analyse und Bewertung normativer Auslegungsempfehlungen für regenerative, zentrale Trinkwassererwärmungsanlagen in Sporthallen“. 33. Symposium Solarthermie und innovative Wärmesysteme. Bad Staffelstein, Germany.

Schulte-Huxel H.: „Entwicklungen bei Modultechnik und ihre Gestaltung Innovationen und Trends im Bereich BIPV“. Fortbildungsveranstaltung der Ämter für Bau- und Kunstpflege der Ev.-Luth. Landeskirche Hannovers. Loccum, Germany.

Schulte-Huxel H.: „Kristalline Silizium Photovoltaik, aktuelle Entwicklungen, Trends und Anwendungen“. Seminar des Arbeitskreis Maschinen- und Elektrotechnik staatlicher und kommunaler Verwaltungen organisiert durch das Niedersächsische Landesamt für Bau und Liegenschaften (NLBL). Online Event.

Schulte-Huxel H.: „Screen-Printed Front Side Al Metallization: Requirements on Solder Pad Design“. SiliconPV 2023 - 13th International Conference on Silicon Photovoltaics. Delft, The Netherlands.

Schwuchow A., Chhugani B., Pärish P.: „Thermohydraulische Auslegung und Simulation von Nahwärmenetzen mit Open Source Python-Packages“. Geothermiekongress 2023. Essen, Germany.

Steckenreiter V.: „Electroluminescence Imaging of Defects and Time Resolved Degradation in Perovskite Solar Cells“. tandemPV Workshop 2023. Chambery, France.

Timilsina K., Chhugani B., Pärish P.: „In-situ monitoring of a Photovoltaic-Thermal (PVT) collector heat pump system with ground sources used for heating and cooling applications“. ISES Solar World Congress 2023. New Delhi, Indien.

Timilsina K. S.: „In-Situ-Monitoring eines Wärmepumpensystems mit PVT-Kollektoren und Erdwärmequellen für Heizung und Kühlung“. 33. Symposium Solarthermie und innovative Wärmesysteme. Bad Staffelstein, Germany.

Veurman W., Kern J., Müller M., Peibst R., Haase F., Kajari-Schröder S.: „Light dependency for current-voltage curve hysteresis in perovskite solar cells modelled by slow-shallow trap states“. Perovskite Solar Cells and Optoelectronics Conference (PSCO). Oxford, United Kingdom.

Winter M.: „Impact of Fast-Firing on LeTID in Ga-Doped Cz-Si“. SiliconPV 2023 - 13th International Conference on Silicon Photovoltaics. Delft, The Netherlands.

Wirtz W.: „3D lamination for flexible manufacturing of variously curved VIPV modules“. 40th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition. Lisbon, Portugal.

Wurdinger K., Büchner D., Mercker O., Lenz V.: „Biomasse-Hybridheizung: ein Beitrag zur Versorgungssicherheit“. 6. Regenerative Energietechnik Konferenz in Nordhausen (6. RET.Con 2023). Nordhausen, Germany.

Xu C.: „Crack Analysis of Interconnect-Shingled Half-Cell Solar Modules“. 40th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition. Lisbon, Portugal.

Xu C., Min B., Reineke-Koch R., Dittrich A.: „Extended Tauc-Lorentz model (XTL) with log-normal distributed bandgap energies for optical permittivity in polycrystalline semiconductors“. 12th Workshop on Spectroscopic Ellipsometry (WSE). Prague, Czech Republic.

Yasin M.: „Entwicklung smarter Wohnungsstationen und Demonstration vernetzter, hocheffizienter, regenerativer Wärmeversorgung von Mehrfamilienhäusern“. 1. Konferenz zur Norddeutschen Wärmeforschung. Göttingen, Germany.

Yasin M.: „Entwicklung smarter Wohnungsstationen und Demonstration vernetzter, hocheffizienter, regenerativer Wärmeversorgung von Mehrfamilienhäusern, WoSta4.0“. 33. Symposium Solarthermie und innovative Wärmesysteme. Bad Staffelstein, Germany.

Studien- & Bachelorarbeiten/Student research projects & bachelor theses

Boretzky J.: „Experimentelle Bestimmung der Dämpfung von Temperaturschwankungen in Trinkwarmwasserinstallationen“, (Studienarbeit), Leibniz Universität Hannover, Hannover, 2023

Radonova M. G.: „Ermittlung geeigneter Leistungsparameter von schaltenden Sonnenkollektoren anhand dynamischer Systemtests“, (Bachelorarbeit), Leibniz Universität Hannover, Hannover, Oktober 2023

Schattmann F.: „T.Analyse zeitlich aufgelöster Verbrauchsdaten von Mehrfamilienhäusern in Niedersachsen“, (Bachelorarbeit), Leibniz Universität Hannover, Hannover, 2023

Diplom- und Masterarbeiten/Diploma & master theses

Cholibois K.: „Estimation of energy production from roof and wall mounted solar panels in Longyearbyen (Svalbard)“, (Masterarbeit), Leibniz Universität Hannover, Hannover, Mai 2023

Modi H. S.: „Modeling and Experimental Validation of unglazed Photovoltaic-Thermal (PVT) collector for dynamic simulation in TRNSYS“, (Masterarbeit), Universität Freiburg, Freiburg, 2023

Pflüger L.: „Charakterisierung radiometrischer Messgeräte und Messung solarer Bestrahlungsstärken zur Verbesserung der Datengrundlage für Photovoltaik-Ertragssimulationen“, (Masterarbeit), Leibniz Universität Hannover, Hannover, Juli 2023

Schwuchow A.: „Thermohydraulische Auslegung und Simulation von Nahwärmenetzen mit Open Source Python-Packages“, (Masterarbeit), TU Berlin, Berlin, September 2023

Walter J.: „Untersuchung des Einflusses von Durchfluss-Trinkwassererwärmern auf die Effizienz von (regenerativen) Wärmehäusern in der Simulationsumgebung TRNSYS“, (Masterarbeit), Leibniz Universität Hannover, Hannover, Juli 2023

Doktorarbeiten/Ph.D. theses

Diederich M.: „Process development and optical simulation of fully evaporated perovskite solar cells“, Physik Leibniz Universität Hannover, Hannover, 13.02.2023

Gewohn T.: „Coloring photovoltaic modules using printed textiles: Fabrication, validation and the prediction of appearance & energy yield“, Physik Leibniz Universität Hannover, Hannover, 20.07.2023

Lehrveranstaltungen/Lectures

Brendel R.: „Physik der Solarzelle“, Vorlesung, Fakultät für Mathematik und Physik, Leibniz Universität Hannover, (04/2023-07/2023)

Schmidt J.: „Charakterisierung von Halbleitern und Solarzellen“, Vorlesung, Fakultät für Mathematik und Physik, Leibniz Universität Hannover, (04/2023-07/2023)

Brendel R.: „Physik präsentieren“, Proseminar, Fakultät für Mathematik und Physik, Leibniz Universität Hannover, (10/2023-01/2024)

Schmidt J.: „Grundlagen der Halbleiterphysik“, Vorlesung, Fakultät für Mathematik und Physik, Leibniz Universität Hannover, (10/2023-01/2024)

Jensen J.: „Niedertemperatur Solarthermie“, Vorlesung, Fakultät für Maschinenbau, Leibniz Universität Hannover, (05/2023-05/2023)

Wietler T.: „MOS-Transistoren und Speicher“, Vorlesung, Fakultät für Elektrotechnik und Informatik, Leibniz Universität Hannover, (04/2023-07/2023)

Jensen J.: „Niedertemperatur Solarthermie“, Vorlesung, Fakultät für Maschinenbau, Leibniz Universität Hannover, (11/2023-12/2023)

Wietler T.: „Bipolarbauelemente“, Vorlesung, Fakultät für Elektrotechnik und Informatik, Leibniz Universität Hannover, (10/2023-01/2024)

Peibst R.: „Wirkungsweise und Technologie von Solarzellen“, Vorlesung, Fakultät für Elektrotechnik und Informatik, Leibniz Universität Hannover, (10/2023-01/2024)

Preise & Auszeichnungen/Awards

Kracht N., Poster Award, Symposium Solarthermie und Innovative Wärmesysteme für „Technisch und ökonomisch nachhaltige Dimensionierung eines mit PVT-Kollektoren solar regenerierten Erdwärmesondenfelds zur Versorgung eines Quartiers mit kalter Nahwärme“, Bad Staffelstein, 09.05.2023

Deister Weser Zeitung (DeWeZet) vom 30.01.2023

Hier ist nichts nur Fassade

Forschungsprojekt am ISFH: Gebäudeintegrierte Solarenergie - so wird an den Wänden Strom und Wärme produziert

VON BIRTE HANSEN-HÖCHE

Schwarze Kollektoren in Alu-Rahmen gefasst - das ist die Optik, in der Photovoltaik- und Solarthermieanlagen häufig daherkommen. Dass es auch anders geht, zeigen Projekte, an denen am Institut für Solarenergieforschung Hameln (ISFH) gearbeitet wird. Eine Rolle spielt dabei auch hauchdünne geschnittene Stein.

EMMERHAL. Dafür, dass an diesem Institut mehr als anderswo dafür getan wird, Sonneneinstrahlung zu nutzen und Strom und Wärme zu produzieren, ist es im Empfangsbereich des ISFH ein klassischer Wintertag recht kühl und dunkel. Auch hier rüttelt der Einsparwille an Komfortzonen. Energie sparen und vor allem andere als die endlichen Quellen nutzen - das ist das Feld, auf dem sich die etwa 150 Mitarbeitenden des ISFH bewegen.

Tags, an denen die Sonne, wenn überhaupt, in flacher Kurve über den Himmel wandert und Solarthermie oder Photovoltaik lassen sich auf den ersten Blick nicht besonders wirksam miteinander verknüpfen. Es sei denn, die Kollektoren wurden nicht aus dem Dach montiert, sondern an der Fassade angebracht, oder sie sind die Fassade. Der geringe Einstrahlwinkel erlaubt eine effizientere Nutzung der Solarstrahlung in den Übergangsmonaten und im Winter - dann, wenn der Wärmebedarf am höchsten ist. „Fassadeintegrierte Solarenergie bietet ein bislang ungenutztes Potenzial, um neue, optisch ansprechende Lösungen in Mehrfamilienhäusern umzusetzen“, heißt es im Jahresbericht 2021 des ISFH. Deren Forscherin die beiden Wissenschaftlichen Mitarbeiter Edward Frick und Wael Mandow seit über einem Jahr, an BISE. Bi steht für Building Integrated, SE für solar energy, auf



Der wissenschaftliche Mitarbeiter Edward Frick promoviert zum Thema „Fassadenintegrierte Solarthermie“. Am ISFH sind mehrere Test-Module aufgebaut.

Deutsch „Gebäudeintegrierte Solarenergie“. Manchmal bleibt das B auch erhalten und steht dann für „Bauwerkintegrierte“ Solarenergie - das sei eigentlich sogar die bessere Bezeichnung, sagt Bianca Lim, denn: „Wir denken groß.“ Groß meint Brücken oder Schallschutzwände. Frick ist Partner aber, mit denen Frick und Mandow zusammenarbeiten, geht es vorwiegend um Wohnhäuser. Zwei Wohnungsunternehmen, drei Fassadenhersteller, ein weiteres Wissenschaftliches Institut (Fraunhofer Institut für Bauphysik) sind die Partner des Forschungsprojekts „SolarVHF“, das sich mit

der Entwicklung von solarthermisch aktiven Fassaden beschäftigt und für zunächst drei Jahre mit 1,5 Millionen Euro vom Bund gefördert wird. „In den allermeisten Themen könnten wir uns endlos damit beschäftigen“, sagt Bianca Lim lachend über die kaum zu stoppende Forscherbegeisterung, die nach drei Jahren selten gesehen wird. Frick und Mandow sind die Partner des Forschungsprojekts „SolarVHF“, das sich mit

diese dünne Schicht - nicht mal einen halben Millimeter dick - sorgt dafür, dass 50 Prozent der Energie im Vergleich mit einem Modul ohne Stainsschicht verloren gehen. „50 Prozent“, wiederholt Bianca Lim - das sei immer schmerzhaft. Aber: „Wir sehen Potenzial“, dass mehr übrig bleibt. Andererseits - wenn die Perspektive geändert wird - lässt sich derselbe Umstand auch so ausdrücken: „Wenn man keine Steinplatte auf einem PV-Modul, sondern nur die Fassade hätte, hätte man gar keinen Strom.“ So heißt das Ziel: Effizienz steigern, zum einen über eine höhere Fastproduktion der Solarzellen selbst, zum anderen über die Art der Beschichtung, die sich möglichst wenig sichtbar in die Fassade einfügt.

An der Fassadenteststation des ISFH kommt ein rahmenloses Glas-Glas-Modul, bei dem die PV-Zellen nicht sichtbar sind und das spezifisch für die Gebäudeintegration entwickelt wurde, zum Einsatz. Die grauen Module am Fassadenteststand haben eine zusätzliche weiß bedruckte sehr dünne Glasplatte auf der Vorderseite - fürs Auge bleibt es Grau. Wael Mandow erläutert das Besondere des von ihm betreuten Projekts: Der Wärmetauscher ist an dieser Fassadenteststation (PVT-Fassade), so dass neben der solaren Wärme auch die Umgebungswärme als Quelle für die Wärmepumpe genutzt wird und die Fassade so sogar auch „nachts arbeiten kann“. Kabel, Strahlungs- und Windensoren, Temperaturfühler, Rohre, wie sie an dieser und weiteren Testwänden zu sehen sind, gäbe es am Wohnhaus natürlich nicht. Sie dienen der Datensammlung und dem Abgleich zwischen Modell und Wirklichkeit.

folgerlebnis. Zwei sind es bisher im Projekt „SolarVHF“: ein Demo-Gebäude mit einer aktivierten Beton-Fassade wird aktuell in Pforzheim gebaut, ein weiteres mit einer aktivierten Metall-Fassade ist für Hannover geplant. Frick begeistert, dass die Fassadensysteme in Kombination mit einer Solar-Wasser-Wärmepumpe die Größe der benötigten Erdwärmequelle drastisch reduzieren können. Vor allem in Mehrfamilienhäusern in urbanen Gebieten wird der Einsatz solcher Technologien dadurch erst ermöglicht. „In Pforzheim konnte die Größe des nötigen Erdwärmesondenfeldes durch die aktivierte Fassade zürück um die Hälfte reduziert werden.“

Einige Meter weiter auf dem ISFH-Gelände ragt eine weitere Testwand in die Höhe, mit der die Wärmeversorgung eines Mehrfamilienhauses simuliert wird. Links eine solarthermisch aktive Isolierglasfassade (22 Quadratmeter), rechts eine solarthermisch aktive Metallfassade (20 Quadratmeter). An beiden wird ebenfalls getestet, „wie sich die Fassaden in der Praxis verhalten“. Weiterdies wie Temperaturen, Windgeschwindigkeiten, Einstrahlung werden gemessen und in der Simulation verwendet. Tatsächlich nützt diese Jahreszeit mit dem niedrigen Sonnenstand der Energiegewinnung über die Fassaden: Die Strahlen (so die Sonne denn scheint) treffen dann nahezu senkrecht auf die Module - eine höhere Effizienz ist die Konsequenz. Der Entwicklung neuer Systeme wie dieser fühlen sich die Forschenden mit Leidenschaft für physikalische Prozesse verpflichtet, für eine kostenoptimierte Produktion in größeren Mengen dagegen sind sie als mit öffentlichen Mitteln finanziertes Institut nicht zuständig. „Geht das auch günstiger?“ sei manchmal eine Frage der Partner am Ende eines Projekts, erzählt Bianca Lim. In solchen Gesprächen wird auf dafür erforderliche Vertragsvereinbarungen mit privatwirtschaftlichen Produzenten verwiesen - zu dem Zeitpunkt haben dann aber die Forschenden wahrscheinlich längst wieder neue offene Fragen im Kopf und Projekte im Auge, mit denen sie Antworten liefern wollen.

Zukunft made in HM

Mit Forschung für den Wandel

BERTE HANSEN-HÖCHE

LOKALREDAKTION

Vielleicht nicht love, aber future „is in the air“ bei einem Gang über das Testgelände des Solarforschungsinstituts Hameln an Ohrborg. Während sich viele Menschen angesichts der Klimaveränderungen und deren Folgen Sorgen machen und sich häufig hilflos und ratlos fühlen, leisten die etwa 150 Forscherinnen und Forscher am ISFH mit ihrer Arbeit täglich ihre Beiträge zu einer anderen Lebenswirklichkeit.

„sätzlich endlich sind, gepaart mit den Gedanken an Abhängigkeiten von Gas und Öl liefernden Ländern und deren Machthabern, treiben viele Menschen um Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler können mit ihren Forschungsprojekten die Basis schaffen, auf der wir uns künftig bewegen werden.“

Wie großartig die Vorstellung und wie riesig das Potenzial der vorgestellten ISFH-Projekte sind: PV-Module, die Strom und Wärme produzieren, sind in der Lage, die Fassade eines Gebäudes zu ersetzen und so die Energieversorgung zu sichern. Die Fassade eines Gebäudes wird so zu einer Solarzelle, die Strom und Wärme produziert. Die Fassade eines Gebäudes wird so zu einer Solarzelle, die Strom und Wärme produziert.

Deister Weser Zeitung (DeWeZet) vom 03.04.2023

Chance für Solarfabrik in Hameln?

Niedersachsen sorgt sich um Abhängigkeit von China - Solarforscher sollen helfen

VON THOMAS THIMM

„Jahresumsatz in Niedersachsen - dieses Projekt der ISFH ist ein wichtiger Baustein für die Entwicklung der Solarindustrie in Niedersachsen.“

AMHÖVER/HAMELN. Der Ulrike-Jörg hat gezeigt, wie es sein kann, wenn man sich in wirtschaftliche Abhängigkeit begibt. Niedersachsen will nun verhindern, dass er allent Chinas Einfluss auf die deutsche Solarindustrie zu groß wird - und will eine Solarfabrik zurück ins Land holen. Die Regierung in Hannover will sich dafür selbst an ihnen beteiligen. Vorbild ist er Anteil des Landes am Ausbau von Solaranlagen.

Niedersachsen Energieminister Christian Meyer (Grüne) ist Holzmoden kann sich eine Beteiligung des Bundeslandes an einer Solarfabrik vorstellen. „Das Land ist bereit, als Minderheitsgesellschafter in einem Anteil von 20 Prozent am Unternehmen teilzunehmen - ähnlich wie bei VW“, sagte Meyer bei „Nordwestwind“, das Konsortium der Investoren. „Wir sind auf einem guten Weg“, sagt Geschäftsführer Lohar Heide. So ganz zufrieden ist er trotzdem nicht. Dächer von Gewerbe- und Industriegebäuden, die Platz für große, leistungsstarke Anlagen bieten, bleiben vielfach noch ungenutzt. Die nächsten Zweidrittel mit Werten über 50 Megawatt gab es in der Region Hannover und



Von der Forschung in die Produktion: Die Solarforscher vom ISFH in Emmertal sollen bei der Energiewende helfen. FOTO: ADRIAN STROCK

Meyer an, dass das Institut für Solarenergieforschung in Emmertal vom Land eine Förderung erhalten werde, um noch in diesem Jahr eine Muster-Solarfabrik aufzubauen. „Ebenso wie Meyer hat sich auch Wirtschaftsminister Olaf Lies (SPD) für eine Beteiligung des Landes am Aufbau einer

Produktion von Solaranlagen ausgesprochen. Die Kapazitäten müssen im Gigawattbereich liegen, damit das Projekt wirtschaftlich Sinn macht. „Nicht nur die Importabhängigkeit von chinesischen Solarzellenherstellern zu verringern. Lies will in Niedersachsen in einem

ersten Schritt eine Fertigung zur Montage von Solarmodulen aufbauen - später soll auch die Herstellung der Solarzellen selbst folgen. Die Bundesregierung will den Ausbau der Solarstromerzeugung in Deutschland stark beschleunigen. Bis 2030 soll die installierte Leistung um

jährlich 22 Gigawatt auf insgesamt 215 Gigawatt steigen, auch in Niedersachsen gibt es hohe Ausbauleistungen. Doch die dafür benötigten Solarmodule stammen bislang größtenteils aus chinesischer Fertigung, was angesichts wachsender geopolitischer Spannungen ein Risiko darstellt. „Wir wollen mit der deutschen Wirtschaftsmacht als Industriemacht in der Welt mithalten“, warnt bereits „Solite der



Das Institut für Solarenergieforschung bei Hameln soll eine Muster-Solarfabrik aufbauen. FOTO: ADRIAN STROCK

Offensive für mehr Solarstrom in Niedersachsen sind in vergangenen Jahren so viele Fotovoltaikanlagen installiert worden wie lange nicht. 600 Megawatt kamen neu dazu - das ist laut Klimaschutz- und Energieagentur der höchste Wert seit zehn Jahren. „Wir sind auf einem guten Weg“, sagt Geschäftsführer Lohar Heide. So ganz zufrieden ist er trotzdem nicht. Dächer von Gewerbe- und Industriegebäuden, die Platz für große, leistungsstarke Anlagen bieten, bleiben vielfach noch ungenutzt. Die nächsten Zweidrittel mit Werten über 50 Megawatt gab es in der Region Hannover und

den Ennstal. Es folgen weitere Kreise im Westen wie etwa Osnabrück und die Grafschaft Bentheim sowie Göttingen im Süden. Im Osten und in Küstennähe sind die Flächen für die Installation von Solaranlagen begrenzt. Die Region Hannover folgt gemeinsam mit den Kreisen Osterholz, Cloppenburg, Verden und Diepholz dabei. Nach Angaben der Klimachutzagentur erzwangen in Niedersachsen bislang rund 250.000 Anlagen Solarstrom.

Davon seien in zurückliegenden Jahren 45.000 errichtet worden, darunter auch vierhundert Stützpfeiler mit deren Hilfe ansonsten die Sonne zur Nutzung nutzbar. Die Hälfte der installierten Leistung auf Ein- und Zweifamilienhäusern entfällt auf Freiflächen. Die Klimachutzagentur will die Freiflächenverteilung ausgleichen, damit die Solarerzeugung in Niedersachsen gleichmäßig verteilt werden kann. Hier in der Region sind im Vergleich mit anderen Bundesländern weniger Freiflächen vorhanden.

Ein beachtlicher Teil der Klimaveränderung in Deutschland wird durch die Erzeugung von Solarstrom bewirkt werden. Die Industrie versucht, an China verkauften Marktanteile wieder zu erobern. Auch mehrere des Instituts für Solarenergieforschung Hameln (ISFH) mit Sitz in Emmertal. Wo in Niedersachsen eine solche Fabrik angesiedelt werden könnte, ist noch lange keine Sache. Die Hameln-Pyramontener Bundesabgeordnete Martina Lotte Wulf (CDU) sagte auf Anfrage, dass sie Zeitung, dass sie sich „sichtlich gerne für einen Standort in der Nähe des ISFH interessieren möchte.“ Im Gespräch mit der Deister Weser Zeitung sagte Wulf: „Es ist ein harter Wettbewerb der Regionen zu erwarten. Das ISFH ist aber ein gutes Argument für unsere Region und Hameln-Pyramont als Standort für eine solche Solarfabrik.“

Das ISFH ist ein gutes Argument für Hameln-Pyramont als Standort für eine solche Solarfabrik. Martina Lotte Wulf (CDU), Bundestagsabgeordnete

Das ISFH ist ein gutes Argument für Hameln-Pyramont als Standort für eine solche Solarfabrik. Martina Lotte Wulf (CDU), Bundestagsabgeordnete

Das ISFH ist ein gutes Argument für Hameln-Pyramont als Standort für eine solche Solarfabrik. Martina Lotte Wulf (CDU), Bundestagsabgeordnete

Das ISFH ist ein gutes Argument für Hameln-Pyramont als Standort für eine solche Solarfabrik. Martina Lotte Wulf (CDU), Bundestagsabgeordnete

Das ISFH ist ein gutes Argument für Hameln-Pyramont als Standort für eine solche Solarfabrik. Martina Lotte Wulf (CDU), Bundestagsabgeordnete

Das ISFH ist ein gutes Argument für Hameln-Pyramont als Standort für eine solche Solarfabrik. Martina Lotte Wulf (CDU), Bundestagsabgeordnete

Deister Weser Zeitung (DeWeZet) vom 08.04.2023

Wulf setzt sich für Solarfabrik in Hameln ein

CDU-Bundestagsabgeordnete sieht Institut für Solarenergieforschung als Standortvorteil

VON THOMAS THIMM

Ein beachtlicher Teil der Klimaveränderung in Deutschland wird durch die Erzeugung von Solarstrom bewirkt werden. Die Industrie versucht, an China verkauften Marktanteile wieder zu erobern. Auch mehrere des Instituts für Solarenergieforschung Hameln (ISFH) mit Sitz in Emmertal. Wo in Niedersachsen eine solche Fabrik angesiedelt werden könnte, ist noch lange keine Sache. Die Hameln-Pyramontener Bundesabgeordnete Martina Lotte Wulf (CDU) sagte auf Anfrage, dass sie Zeitung, dass sie sich „sichtlich gerne für einen Standort in der Nähe des ISFH interessieren möchte.“ Im Gespräch mit der Deister Weser Zeitung sagte Wulf: „Es ist ein harter Wettbewerb der Regionen zu erwarten. Das ISFH ist aber ein gutes Argument für unsere Region und Hameln-Pyramont als Standort für eine solche Solarfabrik.“

Das ISFH ist ein gutes Argument für Hameln-Pyramont als Standort für eine solche Solarfabrik. Martina Lotte Wulf (CDU), Bundestagsabgeordnete

Das ISFH ist ein gutes Argument für Hameln-Pyramont als Standort für eine solche Solarfabrik. Martina Lotte Wulf (CDU), Bundestagsabgeordnete

Das ISFH ist ein gutes Argument für Hameln-Pyramont als Standort für eine solche Solarfabrik. Martina Lotte Wulf (CDU), Bundestagsabgeordnete

Das ISFH ist ein gutes Argument für Hameln-Pyramont als Standort für eine solche Solarfabrik. Martina Lotte Wulf (CDU), Bundestagsabgeordnete

Das ISFH ist ein gutes Argument für Hameln-Pyramont als Standort für eine solche Solarfabrik. Martina Lotte Wulf (CDU), Bundestagsabgeordnete



Für die Energiewende in Deutschland wird sehr viel Solarstrom notwendig sein - die Forscher des Instituts für Solarenergieforschung in Emmertal sollen helfen, eine Solarfabrik zu bauen. FOTO: ADRIAN STROCK

Bei Privatimmobilien habe ich Lauf einer selbst in Auftrag gegebenen Umfrage jedoch beim Ausbau ist die Anzahl für Hameln oder Emmertal gegeben. Stimm aus Sonnenkraft ist ein wesentlicher Teil angewiesen.

Bei Privatimmobilien habe ich Lauf einer selbst in Auftrag gegebenen Umfrage jedoch beim Ausbau ist die Anzahl für Hameln oder Emmertal gegeben. Stimm aus Sonnenkraft ist ein wesentlicher Teil angewiesen.

Bei Privatimmobilien habe ich Lauf einer selbst in Auftrag gegebenen Umfrage jedoch beim Ausbau ist die Anzahl für Hameln oder Emmertal gegeben. Stimm aus Sonnenkraft ist ein wesentlicher Teil angewiesen.

Bei Privatimmobilien habe ich Lauf einer selbst in Auftrag gegebenen Umfrage jedoch beim Ausbau ist die Anzahl für Hameln oder Emmertal gegeben. Stimm aus Sonnenkraft ist ein wesentlicher Teil angewiesen.

Bei Privatimmobilien habe ich Lauf einer selbst in Auftrag gegebenen Umfrage jedoch beim Ausbau ist die Anzahl für Hameln oder Emmertal gegeben. Stimm aus Sonnenkraft ist ein wesentlicher Teil angewiesen.

Bei Privatimmobilien habe ich Lauf einer selbst in Auftrag gegebenen Umfrage jedoch beim Ausbau ist die Anzahl für Hameln oder Emmertal gegeben. Stimm aus Sonnenkraft ist ein wesentlicher Teil angewiesen.

Bei Privatimmobilien habe ich Lauf einer selbst in Auftrag gegebenen Umfrage jedoch beim Ausbau ist die Anzahl für Hameln oder Emmertal gegeben. Stimm aus Sonnenkraft ist ein wesentlicher Teil angewiesen.

Bei Privatimmobilien habe ich Lauf einer selbst in Auftrag gegebenen Umfrage jedoch beim Ausbau ist die Anzahl für Hameln oder Emmertal gegeben. Stimm aus Sonnenkraft ist ein wesentlicher Teil angewiesen.

Bei Privatimmobilien habe ich Lauf einer selbst in Auftrag gegebenen Umfrage jedoch beim Ausbau ist die Anzahl für Hameln oder Emmertal gegeben. Stimm aus Sonnenkraft ist ein wesentlicher Teil angewiesen.

Bei Privatimmobilien habe ich Lauf einer selbst in Auftrag gegebenen Umfrage jedoch beim Ausbau ist die Anzahl für Hameln oder Emmertal gegeben. Stimm aus Sonnenkraft ist ein wesentlicher Teil angewiesen.

Bei Privatimmobilien habe ich Lauf einer selbst in Auftrag gegebenen Umfrage jedoch beim Ausbau ist die Anzahl für Hameln oder Emmertal gegeben. Stimm aus Sonnenkraft ist ein wesentlicher Teil angewiesen.

Bei Privatimmobilien habe ich Lauf einer selbst in Auftrag gegebenen Umfrage jedoch beim Ausbau ist die Anzahl für Hameln oder Emmertal gegeben. Stimm aus Sonnenkraft ist ein wesentlicher Teil angewiesen.

Bei Privatimmobilien habe ich Lauf einer selbst in Auftrag gegebenen Umfrage jedoch beim Ausbau ist die Anzahl für Hameln oder Emmertal gegeben. Stimm aus Sonnenkraft ist ein wesentlicher Teil angewiesen.

Bei Privatimmobilien habe ich Lauf einer selbst in Auftrag gegebenen Umfrage jedoch beim Ausbau ist die Anzahl für Hameln oder Emmertal gegeben. Stimm aus Sonnenkraft ist ein wesentlicher Teil angewiesen.

Bei Privatimmobilien habe ich Lauf einer selbst in Auftrag gegebenen Umfrage jedoch beim Ausbau ist die Anzahl für Hameln oder Emmertal gegeben. Stimm aus Sonnenkraft ist ein wesentlicher Teil angewiesen.

Bei Privatimmobilien habe ich Lauf einer selbst in Auftrag gegebenen Umfrage jedoch beim Ausbau ist die Anzahl für Hameln oder Emmertal gegeben. Stimm aus Sonnenkraft ist ein wesentlicher Teil angewiesen.

Bei Privatimmobilien habe ich Lauf einer selbst in Auftrag gegebenen Umfrage jedoch beim Ausbau ist die Anzahl für Hameln oder Emmertal gegeben. Stimm aus Sonnenkraft ist ein wesentlicher Teil angewiesen.

Bei Privatimmobilien habe ich Lauf einer selbst in Auftrag gegebenen Umfrage jedoch beim Ausbau ist die Anzahl für Hameln oder Emmertal gegeben. Stimm aus Sonnenkraft ist ein wesentlicher Teil angewiesen.

Bei Privatimmobilien habe ich Lauf einer selbst in Auftrag gegebenen Umfrage jedoch beim Ausbau ist die Anzahl für Hameln oder Emmertal gegeben. Stimm aus Sonnenkraft ist ein wesentlicher Teil angewiesen.

Bei Privatimmobilien habe ich Lauf einer selbst in Auftrag gegebenen Umfrage jedoch beim Ausbau ist die Anzahl für Hameln oder Emmertal gegeben. Stimm aus Sonnenkraft ist ein wesentlicher Teil angewiesen.

Bei Privatimmobilien habe ich Lauf einer selbst in Auftrag gegebenen Umfrage jedoch beim Ausbau ist die Anzahl für Hameln oder Emmertal gegeben. Stimm aus Sonnenkraft ist ein wesentlicher Teil angewiesen.

Bei Privatimmobilien habe ich Lauf einer selbst in Auftrag gegebenen Umfrage jedoch beim Ausbau ist die Anzahl für Hameln oder Emmertal gegeben. Stimm aus Sonnenkraft ist ein wesentlicher Teil angewiesen.

Bei Privatimmobilien habe ich Lauf einer selbst in Auftrag gegebenen Umfrage jedoch beim Ausbau ist die Anzahl für Hameln oder Emmertal gegeben. Stimm aus Sonnenkraft ist ein wesentlicher Teil angewiesen.

Bei Privatimmobilien habe ich Lauf einer selbst in Auftrag gegebenen Umfrage jedoch beim Ausbau ist die Anzahl für Hameln oder Emmertal gegeben. Stimm aus Sonnenkraft ist ein wesentlicher Teil angewiesen.

Bei Privatimmobilien habe ich Lauf einer selbst in Auftrag gegebenen Umfrage jedoch beim Ausbau ist die Anzahl für Hameln oder Emmertal gegeben. Stimm aus Sonnenkraft ist ein wesentlicher Teil angewiesen.

Bei Privatimmobilien habe ich Lauf einer selbst in Auftrag gegebenen Umfrage jedoch beim Ausbau ist die Anzahl für Hameln oder Emmertal gegeben. Stimm aus Sonnenkraft ist ein wesentlicher Teil angewiesen.

Deister Weser Zeitung (DeWeZet) vom 15.04.2023

Weil: Nähe zum ISFH gut für Solarfabrik

Ministerpräsident besucht Solarforscher am Ohrberg – die sollen den Weg in die Zukunft zeigen

VON THOMAS THIMM

Niedersachsen will eine Solarfabrik im Land aufbauen. Die Solarforschung findet am Ohrberg bei Hameln statt. Welche Chancen hat Hameln auf die Ansiedlung der Solarfabrik? Ministerpräsident Stephan Weil war am Freitag zu Gast – wir haben ihn danach gefragt.

OHR/HAMELN. Vor 20 Jahren gab es in Hameln schon einmal die Idee zum Bau einer Solarfabrik: Damals wollte der Mineralölkonzern British Petroleum 40 Millionen Euro in Hameln investieren und in einer Solarfabrik 100 Arbeitsplätze schaffen. Doch kurz vor knapp stoppte der Konzern das Projekt, weil die damalige BP-Spitze im Mai 2003 befand, dass „sich die Produktion neuartiger Solar-Elemente nicht lohne“. Heute wäre man in Niedersachsen froh, eine Solarfabrik in Hameln zu haben.

Unter dem Eindruck des Ukraine-Krieges sind Politiker jeglicher Couleur zu der Einsicht gelangt, dass es der deutschen Volkswirtschaft besser tut, wenn man sich nicht in wirtschaftliche Abhängigkeiten begibt. Das Land Niedersachsen will nun verhindern, dass vor allem Chinas Einfluss auf die deutsche Solarindustrie zu groß wird – und will eine Solarfabrik zurück ins Land holen. Zur Vorbereitung soll das Institut für Solarenergieforschung Hameln (ISFH) mit Sitz in Ohr eine Muster-Solarfabrik aufbauen. Dieses Projekt wird vom Land Niedersachsen gefördert.

Ministerpräsident Stephan Weil (SPD) hat deshalb am Freitag das ISFH besucht, um dort mit den Forschern den Aufbau einer Solarwirtschaft in Niedersachsen zu erörtern. Institutsleiter Professor Rolf Brendel führte den Ministerpräsidenten durch die Labore am Ohrberg und erläuterte dabei Chancen und Herausforderungen auf dem Weg zu einer niedersächsischen Solarindustrie und zu einer starken Solarenergienutzung. Weil und Brendel tauschten sich im nichtöffentlichen Teil des Besuchs auch zur möglichen Rolle des ISFH beim Aufbau einer Solarwirtschaft in Niedersachsen aus – was dabei besprochen wurde, dazu gibt



Hoher Besuch im ISFH (v. li.): Institutsleiter Prof. Rolf Brendel und Dr. Thorsten Dullweber erläutern Ministerpräsident Stephan Weil (SPD) die neuesten Forschungen am Institut.

FOTO: DANA

es keine weiteren Äußerungen für die Presse und die Öffentlichkeit, wie Brendel auf Nachfrage der Dewezet sagte. Zur Frage eines Standortes für die geplante Solarfabrik sagte Weil auf Nachfrage der Dewezet: „Dynamische Industrien profitieren immer von

wissenschaftlicher Nachbarschaft und Hilfe. Die unmittelbare Nähe zum ISFH wäre für einen Investor ein ganz besonderer Vorteil.“ Allerdings gebe es noch weitere Standortfaktoren wie Gewerbeflächen und Preise. ISFH-Chef Brendel stellte ebenfalls heraus,

dass aus seiner Sicht die „Nähe von ISFH-Expertise, -Messtechnik und -Ausbildungskapazitäten sicher ein Vorteil“ wäre. Und adressierte bei Weil, dass er das Institut vergrößern und modernisieren wolle – was ohne Geld vom Land nicht funktionieren würde.

Zur geplanten Musterfabrik des ISFH sagte Brendel gegenüber unserer Zeitung, dass neue Technologien üblicherweise in drei Stufen eingeführt würden: Erstens mittels einer Labor-Demonstration auf industrierelevanten Maschinen mit Versuchszahlen von einigen 100 bis einigen 1000 Solarzellen pro Woche, zweitens mittels einer voll automatisierten Demonstrationslinie mit einer Kapazität von 300 bis 400 Megawatt pro Jahr und drittens mittels einer wirtschaftlich betreibbaren Produktionsstätte mit einer Produktionskapazität von mehreren Gigawatt pro Jahr.

Die beiden niedersächsischen Minister Christian Meyer (Energie/Grüne) und Olaf Lies (Wirtschaft/SPD) können sich eine Beteiligung des Landes an einer Solar-Modul-Produktion vorstellen. „Das Land wäre bereit, als Gesellschafter mit einem Anteil von 20 Prozent einzusteigen – ähnlich wie bei VW“, sagte Meyer jüngst. Demnach kontaktiert die Landesregierung bereits interessierte Unternehmen, ob sie auf geeigneten Flächen eine größere Produktion aufbauen wollten. Lies will in Niedersachsen in einem ersten Schritt eine Fertigung zur Montage von Solarmodulen aufbauen – später soll auch die Herstellung der Solarzellen selbst folgen.

Vorteile für Hameln

Unsere Region sollte für Solarfabrik kämpfen

Das Thema Solarfabrik in Niedersachsen nimmt Fahrt auf, der Besuch des Ministerpräsidenten bei den Solarforschern am Hamelner Ohrberg dokumentiert dies deutlich. Die rot-grüne Landesregierung insgesamt, Stephan Weil selbst, der Energieminister Christian Meyer aus Holzminde und auch Wirtschaftsminister Olaf Lies rühren für dieses ehrgeizige Projekt die Werbetrommel.

Es wird richtigerweise nicht mehr diskutiert, ob es einen Klimawandel gibt, sondern notwendigerweise, wie schnell wir als Volkswirtschaft darauf reagieren müssen. Der Weg von fossilen zu regenerativen Energiequellen ist hinlänglich beschrieben. Am heutigen Sonnabend besiegelt Deutschland zudem das endgültige Aus für die Atomkraft, weil Tschernobyl und Fukushima bewiesen haben, dass diese Technik eben auch gefährlich ist. Sonne, Wind & Co. sind die Energiequellen der Moderne. Es ist sinnvoll, dass Rot-Grün in Niedersachsen eigene Produktionskapazitäten schaffen will – und weniger von China abhängig sein zu wollen, ist klug.

Es dürfte klar sein, dass vor allem der Investor entscheiden wird, wo die Solarfabrik

KOMMENTAR
THOMAS THIMM
CHEFREDAKTION



entstehen wird. Doch ist nicht zu unterschätzen, welche Kraft Standort-Empfehlungen der Landespolitik haben. Deshalb darf man Stephan Weils Fürsprache für Hameln positiv aufnehmen. Alle politischen, wissenschaftlichen und gesellschaftlichen Kräfte der Region sollten sich nun zusammenschließen, um für dieses gemeinsame Ziel des Wirtschaftsstandortes Hameln zu kämpfen.

Für Hameln als Standort der Solarfabrik sprechen mehrere Faktoren. In allererster Linie natürlich die Nähe zu den Solarforschern des ISFH am Ohrberg – immerhin gehört das Institut neben dem Fraunhofer-Institut in Freiburg und dem International Solar Energy Research Center Konstanz zu den Top-3-Solarinstituten Deutschlands. Aber auch die Nähe zur Hochschule Weserbergland und dessen Energieinstitut ist ein weiterer Pluspunkt. ISFH und Hochschule – zwei wichtige wissenschaftliche Begleiter für einen Solarfabrik-Investor in Hameln.

Deister Weser Zeitung (DeWeZet) vom 15.04.2023

Zeit der Atomkraft endet: Solar gehört die Zukunft

Ministerpräsident würdigt Forscher am Ohrberg / Debatte um AKW-Aus dauert an

VON THOMAS THIMM,
CHRISTIAN BRANAHL
UND STELLA VENOHR

Besser kann man die Energiewende nicht dokumentieren: Am heutigen Sonnabend verabschiedet sich Deutschland endgültig von der Atomkraft – gestern hat Niedersachsens Ministerpräsident Stephan Weil die Solarforscher des ISFH besucht, um zu erörtern, wie man im Land eine Solarproduktion aufbauen kann.

BERLIN/HANNOVER/HAMELN/EMMERTHAL. Deutschland geht am Sonnabend einen historischen Schritt und schaltet seine letzten drei Atomkraftwerke ab. Damit endet ein Zeitalter der Atomkraft, die gesellschaftlich und politisch immer wieder für Kontroversen gesorgt hat. Und auch wenn es noch immer Debatten gibt – der Weg in die moderne Energiegewinnung aus regenerativen Quellen wie Sonne und Wind hat in Gesellschaft, Politik und Wirtschaft längst Einzug gehalten. So ist es auch erklärtes politisches Ziel der rot-grünen Landesregierung in Niedersachsen, möglichst schnell eine eigene Solarproduktion aufzubauen.

Dabei helfen sollen die Wissenschaftler des Instituts für Solarenergieforschung Hameln (ISFH) mit Sitz am Ohrberg, von denen Ministerpräsident Stephan Weil (SPD) am Freitag bei seinem Besuch sagte: „Sie betreiben hier High-End-Forschung, das ist es, was wir in Niedersachsen brauchen.“ Dem ISFH kommt bei der Planung und Errichtung einer niedersächsischen Solarfabrik eine Schlüsselrolle zu. Zur Standortfrage sagte Regierungschef Weil gegenüber unserer Zeitung: „Die unmittelbare Nähe zum ISFH wäre für einen Investor ein ganz besonderer Vorteil.“ ISFH-Chef Prof. Rolf Brendel stellte ebenfalls heraus, dass aus seiner Sicht die „Nähe von ISFH-Expertise, -Messtechnik und -Ausbildungskapazitäten sicher ein Vorteil“ wäre.



Stephan Weil (li.) zu Gast in einem der drei renommiertesten Solarforschungsinstitute Deutschlands: ISFH-Leiter Prof. Rolf Brendel überreichte ihm in Ohr ein Solarmodul.

FOTO: DANA

Unterdessen dauert die bundesweite Debatte um die Kernenergie an. Selbst einen Tag vor dem wohl endgültigen Atomausstieg stemmte sich die Union noch mal gegen die Abschaltung der letzten Kraftwerke. „Es ist ein schwarzer Tag für Deutschland“, sagte CDU-Chef Friedrich Merz am Freitag dem Hörfunksender NDR Info. Die Meiler Isar 2, Ennsland und Neckarwestheim 2 hätten eigentlich schon Ende vergangenen Jahres vom Netz gehen sollen. Wegen des russischen Angriffskrieges gegen die Ukraine und der dadurch ausgelösten Energiekrise beschloss die Ampel-Koalition im vergangenen Jahr jedoch, die drei letzten Kraftwerke über den Winter weiterlaufen zu lassen. Am Samstag sollen sie nun endgültig heruntergefahren werden.

Die FDP kritisierte ebenfalls

die Abschaltung und pochte darauf, dass nukleare Energie nachhaltig und gut fürs Klima sei. Nach Ansicht von Umweltministerin Steffi Lemke ist Atomkraft jedoch keine gute Option für die Klimaretting. „Denn sie ist zu teuer, zu langsam, zu gefährlich und wegen des enormen Kühlwasserbedarfs nicht robust gegen die Klimakrise“, sagte die Grünen-Politikerin der Deutschen Presse-Agentur. Auch die Hameln-Pyramonte Landtagsabgeordnete Britta Kellermann, atompolitische Sprecherin der Fraktion von Bündnis 90/Die Grünen im niedersächsischen Landtag, wies die Darstellung der FDP zurück. „Atomenergie hat in der Energiearchitektur der Zukunft keinen Platz mehr“, meinte Kellermann, die auch verdeutlichte: „Die Endlagerfrage ist noch immer nicht gelöst, der

Atom Müll stapelt sich in den Zwischenlagern.“

Während die Debatte politisch während der vergangenen Tage immer wieder schwelte, haben sich die Betreiber lange im Voraus auf den Stichtag vorbereitet. Das von Preussen Elektra betriebene AKW Grohnde war bereits Ende 2021 vom Netz gegangen. Dort laufen die Vorbereitungen für den Rückbau. Der frühere Grohnder Anlagenleiter Michael Bongartz, der inzwischen der Geschäftsführung von Preussen Elektra angehört, wird am Samstag in Isar 2 die letzte Schicht begleitet. Er sagt: „Ich weiß aus eigener Erfahrung aus Grohnde, dass das kein schöner Moment ist, wenn man sein Kraftwerk, für das man Jahrzehnte gearbeitet hat, zum letzten Mal abfährt.“

TAGESTHEMA | 2
LOKALES | 9, 21

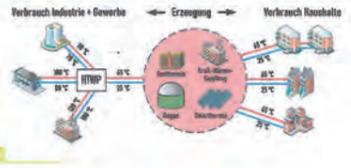
LeibnizCampus | Transformation der Energiewende

Die Wärmepumpe

Dreh- und Angelpunkt der Wärmewende



Abbildung 1 Formelrezept schematisch Quelle: eigene Darstellung



Um die Dekarbonisierung unserer Energiewirtschaft umsetzen zu können, muss der Bedarf an Wärme und Kühlung vollständig ohne die Emission von Treibhausgasen gedeckt werden. Nach gegenwärtigen Stand des Wissens und der Technik kann dies vor allem durch Wärmepumpen geleistet werden, die gerade im Niedertemperaturbereich mit wenig zusätzlicher elektrischer Energie Wärme zum Heizen und zur Warmwasserbereitung bereitstellen können. Der Betrieb der Wärmepumpen kann mit Hilfe von regenerativ erzeugtem Strom erfolgen, was eine sehr wichtige Kopplung zwischen dem Strom- und dem Wärmevektor ermöglicht. Die Wärmepumpen können dabei dezentral oder in Fernwärmenetzen eingesetzt werden. Welche Beiträge zu beiden Einsatzgebieten durch die

LUFT geleistet werden, wird im Folgenden beschrieben. Da Wärme und Kälte bislang aber noch weitgehend durch fossile Energien bereitgestellt werden, was über 30 Prozent der derzeitigen Treibhausgasemissionen verursacht, und da Wärmepumpen und ihre Möglichkeiten sowohl in Industrie, Handwerk und bei privaten Haushalten noch wenig bekannt sind, wird sich die LUFT auch der Verbesserung der Wärmeversorgung in Gebäuden. Die hierzu notwendige Einengung der Wärme stammt derzeit aus wenigen Wärmequellen, typischerweise fossil betriebenen Heizkraftwerken, siehe Bild 2. Um die Fernwärmenetze zukünftig mit möglichst vielen klimaneutralen Wärmequellen zu versorgen, ist die Erzeugung von Wärme aus erneuerbaren oder industriellen Abwärmepotentialen zu fördern, muss die Betriebstemperatur der Fernwärmenetze von derzeit ca. 100 °C auf zum Beispiel 70 °C abgesenkt werden. Als zusätzlicher Nutzen lassen sich durch die Wärmerückgewinnung der kilometerlangen Rohrleitungen des Netzes verringern. Für die Gebäudeheizung und für die Warmwasserbereitung, also für die meisten Nutzer des Fernwärmenetzes sind die geringeren Temperaturen ausreichen. Um diese Temperaturen zu erreichen, sind die Wärmepumpen in der Lage, die Wärme aus der Luft zu gewinnen. Die Wärme aus der Luft zu gewinnen ist eine umweltfreundliche Alternative zu fossilen Brennstoffen. Die Wärmepumpen sind in der Lage, die Wärme aus der Luft zu gewinnen. Die Wärme aus der Luft zu gewinnen ist eine umweltfreundliche Alternative zu fossilen Brennstoffen.

Am Institut für Solarenergieforschung (ISFH) werden Wärmepumpen seit 15 Jahren als Bestandteil moderner Wärmeverbundsysteme untersucht. Zentrale Themenkomplexe sind die systemische Integration, eine nachhaltige Quellverfügbarkeit und die verlässliche Bewertung und Qualitätskontrolle von Wärmepumpensystemen. Am Wärmepumpenstandort des ISFH (siehe Bild 4) werden Wärmepumpen und -systeme nach etablierten Normen geprüft oder im Hardware-in-the-Loop-Verfahren unter dynamischen Umgebungsbedingungen untersucht. Das Monitoring realer Anlagen ermöglicht die Bewertung von Wärmepumpen im Feld.



Abbildung 2 Die Am Institut für Solarenergieforschung (ISFH) werden Wärmepumpen seit 15 Jahren als Bestandteil moderner Wärmeverbundsysteme untersucht. Foto: ISFH

Wärmeverbundsysteme und Temperaturverläufe verwendet. Kältemittel betrieblen Wärme aus ihrem kalten Inneren in die wärmere Umgebung, während Wärmepumpen Wärme aus der Umgebung auf ein höheres Temperaturniveau bringen und damit zum Beispiel ein Gebäude beheizen. Die Wärmepumpe ist in Bild 3 zu sehen. Im Inneren einer Wärmepumpe schließt ein Arbeitsfluid (Kältemittel), welches für den Energieertrag zwischen dem Verdichter und dem Kompressor, im Bild dargestellten Apparaten des Wärmepumpen-Technikums (WT) zusammen. Das Fluid wird im Verdichter durch den Druck erhöht. Nun ist eine Verdichtung bei höherer Temperatur möglich, bei der Wärme auf der Heizseite abgegeben wird. Durch die anschließende Druckreduzierung (Drosselung) auf dem niedrigsten Druck liegt das Kältemittel wieder im Ausgangszustand vor und kann erneut Wärme aufnehmen. Die Wärme, entgegen des natürlichen Temperaturverlaufs, von einem niedrigeren auf ein höheres Temperaturniveau zu transportieren (Lippenprinzip) muss also Energie für den Verdichter aufgewendet werden. Wird der verdichtete Me-

Wärmeverbundsysteme und Temperaturverläufe verwendet. Kältemittel betrieblen Wärme aus ihrem kalten Inneren in die wärmere Umgebung, während Wärmepumpen Wärme aus der Umgebung auf ein höheres Temperaturniveau bringen und damit zum Beispiel ein Gebäude beheizen. Die Wärmepumpe ist in Bild 3 zu sehen. Im Inneren einer Wärmepumpe schließt ein Arbeitsfluid (Kältemittel), welches für den Energieertrag zwischen dem Verdichter und dem Kompressor, im Bild dargestellten Apparaten des Wärmepumpen-Technikums (WT) zusammen. Das Fluid wird im Verdichter durch den Druck erhöht. Nun ist eine Verdichtung bei höherer Temperatur möglich, bei der Wärme auf der Heizseite abgegeben wird. Durch die anschließende Druckreduzierung (Drosselung) auf dem niedrigsten Druck liegt das Kältemittel wieder im Ausgangszustand vor und kann erneut Wärme aufnehmen. Die Wärme, entgegen des natürlichen Temperaturverlaufs, von einem niedrigeren auf ein höheres Temperaturniveau zu transportieren (Lippenprinzip) muss also Energie für den Verdichter aufgewendet werden. Wird der verdichtete Me-

Transformation der Energiewende | LeibnizCampus

Wärmeverbundsysteme und Temperaturverläufe verwendet. Kältemittel betrieblen Wärme aus ihrem kalten Inneren in die wärmere Umgebung, während Wärmepumpen Wärme aus der Umgebung auf ein höheres Temperaturniveau bringen und damit zum Beispiel ein Gebäude beheizen. Die Wärmepumpe ist in Bild 3 zu sehen. Im Inneren einer Wärmepumpe schließt ein Arbeitsfluid (Kältemittel), welches für den Energieertrag zwischen dem Verdichter und dem Kompressor, im Bild dargestellten Apparaten des Wärmepumpen-Technikums (WT) zusammen. Das Fluid wird im Verdichter durch den Druck erhöht. Nun ist eine Verdichtung bei höherer Temperatur möglich, bei der Wärme auf der Heizseite abgegeben wird. Durch die anschließende Druckreduzierung (Drosselung) auf dem niedrigsten Druck liegt das Kältemittel wieder im Ausgangszustand vor und kann erneut Wärme aufnehmen. Die Wärme, entgegen des natürlichen Temperaturverlaufs, von einem niedrigeren auf ein höheres Temperaturniveau zu transportieren (Lippenprinzip) muss also Energie für den Verdichter aufgewendet werden. Wird der verdichtete Me-



Abbildung 3 Funktionsweise einer klimaneutralen Wärmepumpe Quelle: eigene Darstellung (Idee von ISFH, IS)

Wärmeverbundsysteme und Temperaturverläufe verwendet. Kältemittel betrieblen Wärme aus ihrem kalten Inneren in die wärmere Umgebung, während Wärmepumpen Wärme aus der Umgebung auf ein höheres Temperaturniveau bringen und damit zum Beispiel ein Gebäude beheizen. Die Wärmepumpe ist in Bild 3 zu sehen. Im Inneren einer Wärmepumpe schließt ein Arbeitsfluid (Kältemittel), welches für den Energieertrag zwischen dem Verdichter und dem Kompressor, im Bild dargestellten Apparaten des Wärmepumpen-Technikums (WT) zusammen. Das Fluid wird im Verdichter durch den Druck erhöht. Nun ist eine Verdichtung bei höherer Temperatur möglich, bei der Wärme auf der Heizseite abgegeben wird. Durch die anschließende Druckreduzierung (Drosselung) auf dem niedrigsten Druck liegt das Kältemittel wieder im Ausgangszustand vor und kann erneut Wärme aufnehmen. Die Wärme, entgegen des natürlichen Temperaturverlaufs, von einem niedrigeren auf ein höheres Temperaturniveau zu transportieren (Lippenprinzip) muss also Energie für den Verdichter aufgewendet werden. Wird der verdichtete Me-

Wärmeverbundsysteme und Temperaturverläufe verwendet. Kältemittel betrieblen Wärme aus ihrem kalten Inneren in die wärmere Umgebung, während Wärmepumpen Wärme aus der Umgebung auf ein höheres Temperaturniveau bringen und damit zum Beispiel ein Gebäude beheizen. Die Wärmepumpe ist in Bild 3 zu sehen. Im Inneren einer Wärmepumpe schließt ein Arbeitsfluid (Kältemittel), welches für den Energieertrag zwischen dem Verdichter und dem Kompressor, im Bild dargestellten Apparaten des Wärmepumpen-Technikums (WT) zusammen. Das Fluid wird im Verdichter durch den Druck erhöht. Nun ist eine Verdichtung bei höherer Temperatur möglich, bei der Wärme auf der Heizseite abgegeben wird. Durch die anschließende Druckreduzierung (Drosselung) auf dem niedrigsten Druck liegt das Kältemittel wieder im Ausgangszustand vor und kann erneut Wärme aufnehmen. Die Wärme, entgegen des natürlichen Temperaturverlaufs, von einem niedrigeren auf ein höheres Temperaturniveau zu transportieren (Lippenprinzip) muss also Energie für den Verdichter aufgewendet werden. Wird der verdichtete Me-



Abbildung 4 DESWENDE im Einsatz beim Tag der offenen Tür im Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWi) Foto: ISFH

Wärmeverbundsysteme und Temperaturverläufe verwendet. Kältemittel betrieblen Wärme aus ihrem kalten Inneren in die wärmere Umgebung, während Wärmepumpen Wärme aus der Umgebung auf ein höheres Temperaturniveau bringen und damit zum Beispiel ein Gebäude beheizen. Die Wärmepumpe ist in Bild 3 zu sehen. Im Inneren einer Wärmepumpe schließt ein Arbeitsfluid (Kältemittel), welches für den Energieertrag zwischen dem Verdichter und dem Kompressor, im Bild dargestellten Apparaten des Wärmepumpen-Technikums (WT) zusammen. Das Fluid wird im Verdichter durch den Druck erhöht. Nun ist eine Verdichtung bei höherer Temperatur möglich, bei der Wärme auf der Heizseite abgegeben wird. Durch die anschließende Druckreduzierung (Drosselung) auf dem niedrigsten Druck liegt das Kältemittel wieder im Ausgangszustand vor und kann erneut Wärme aufnehmen. Die Wärme, entgegen des natürlichen Temperaturverlaufs, von einem niedrigeren auf ein höheres Temperaturniveau zu transportieren (Lippenprinzip) muss also Energie für den Verdichter aufgewendet werden. Wird der verdichtete Me-

Wärmeverbundsysteme und Temperaturverläufe verwendet. Kältemittel betrieblen Wärme aus ihrem kalten Inneren in die wärmere Umgebung, während Wärmepumpen Wärme aus der Umgebung auf ein höheres Temperaturniveau bringen und damit zum Beispiel ein Gebäude beheizen. Die Wärmepumpe ist in Bild 3 zu sehen. Im Inneren einer Wärmepumpe schließt ein Arbeitsfluid (Kältemittel), welches für den Energieertrag zwischen dem Verdichter und dem Kompressor, im Bild dargestellten Apparaten des Wärmepumpen-Technikums (WT) zusammen. Das Fluid wird im Verdichter durch den Druck erhöht. Nun ist eine Verdichtung bei höherer Temperatur möglich, bei der Wärme auf der Heizseite abgegeben wird. Durch die anschließende Druckreduzierung (Drosselung) auf dem niedrigsten Druck liegt das Kältemittel wieder im Ausgangszustand vor und kann erneut Wärme aufnehmen. Die Wärme, entgegen des natürlichen Temperaturverlaufs, von einem niedrigeren auf ein höheres Temperaturniveau zu transportieren (Lippenprinzip) muss also Energie für den Verdichter aufgewendet werden. Wird der verdichtete Me-



Abbildung 5 Demonstration der DESWENDE-Wärmepumpe. Foto: ISFH

Wärmeverbundsysteme und Temperaturverläufe verwendet. Kältemittel betrieblen Wärme aus ihrem kalten Inneren in die wärmere Umgebung, während Wärmepumpen Wärme aus der Umgebung auf ein höheres Temperaturniveau bringen und damit zum Beispiel ein Gebäude beheizen. Die Wärmepumpe ist in Bild 3 zu sehen. Im Inneren einer Wärmepumpe schließt ein Arbeitsfluid (Kältemittel), welches für den Energieertrag zwischen dem Verdichter und dem Kompressor, im Bild dargestellten Apparaten des Wärmepumpen-Technikums (WT) zusammen. Das Fluid wird im Verdichter durch den Druck erhöht. Nun ist eine Verdichtung bei höherer Temperatur möglich, bei der Wärme auf der Heizseite abgegeben wird. Durch die anschließende Druckreduzierung (Drosselung) auf dem niedrigsten Druck liegt das Kältemittel wieder im Ausgangszustand vor und kann erneut Wärme aufnehmen. Die Wärme, entgegen des natürlichen Temperaturverlaufs, von einem niedrigeren auf ein höheres Temperaturniveau zu transportieren (Lippenprinzip) muss also Energie für den Verdichter aufgewendet werden. Wird der verdichtete Me-

„Aufholjagd“ bei der Solarproduktion

Zwei Minister überbringen ISFH-Forschern Förderbescheid / Ziel: Photovoltaik-Industrie in Niedersachsen

VON CHRISTIAN BRANAHL

Gleich zwei Minister der niedersächsischen Landesregierung zu Gast beim Institut für Solarenergieforschung in Emmerthal – und das mit dem symbolischen Förderbescheid über fast zwei Millionen Euro. Die Wissenschaftler am Ohrberg sollen durch ihre Forschung mit dazu beitragen, dass Unternehmen in Niedersachsen Photovoltaikanlagen produzieren.

EMMERTHAL. Die Landesregierung misst dem Institut für Solarenergieforschung (ISFH) in Emmerthal eine hohe „strategische Bedeutung“ bei, um die Photovoltaik-Industrie in Niedersachsen wieder anzukurbeln. Dazu beitragen soll das Projekt „Artemis“, für das Umweltminister Christian Meyer (Grüne) und Wissenschaftsminister Falko Mohrs (SPD) am Montag den Förderbescheid mit einem Umfang von knapp zwei Millionen Euro an ISFH-Geschäftsführer Prof. Dr. Rolf Brendel übergeben haben. Beide Landespolitiker bezeichneten es als wichtig, dass auch in Niedersachsen Solarmodule gefertigt werden müssten, um sich aus der Abhängigkeit von Asien und vor allem von China zu lösen, gleichzeitig die ehrgeizigen Ziele der Energiewende zu bewältigen. Nachdem zuletzt eine Solarfabrik im Landkreis oder Weserbergland in die Debatte gekommen war, gab sich Meyer dazu am Montag zurückhaltender. „Das Weserbergland hat zunächst einmal gute Standortbedingungen durch das Solarforschungsinstitut“, meinte der aus Holzminnen stammende Minister. „Am Ende entscheiden natürlich die großen Unternehmen.“

Rund 90 Prozent der Solarmodule in Deutschland stammen inzwischen aus Asien. „Europa braucht ganz dringend eine eigene PV-Produktion“, erklärte Meyer laut Mitteilung. „Frühere Bundesregierungen haben die PV-Industrie aus Deutschland vertrieben, das wollen wir jetzt wieder heilen.“ Bei der „Spitzenforschung“ am Ohrberg gehe es um die effiziente Fertigung von Solarzellen, die besonders umweltfreundlich seien, weil sie weniger Ressourcen verbrauchten und länger haltbar seien, und einen hohen Wirkungsgrad haben sollten. Damit solle es attraktiv werden, mit diesen modernen in Emmerthal entwickelten Techniken auch eine Massenfertigung durch die Solarindustrie zu ermöglichen, sagte Meyer gegenüber unserer Zeitung: „Es muss unser Ziel sein, dass die vielen guten Solarzellen, die wir uns auf die Dächer schrauben, möglichst made in Niedersachsen sind.“

Dafür gebe es bei Unternehmen „auf jeden Fall“ ein großes Interesse, sagte der Minister. Die Landesregierung führe eine ganze Reihe von Gesprächen mit interessierten Investoren. Diese wollten aber gute Rahmenbedingungen haben – dazu gehöre gute Forschung ebenso wie finanzielle Unterstützung von Land und Bund. Nach den Worten von Meyer wird es mindestens eine Bewerbung, vielleicht auch mehrere Bewerbungen für ein Programm des Bundes mit Standorten in Niedersachsen geben. „Um die Energiewende zu schaffen, brauchen wir die besten Solarzellen, die wir uns auf die Dächer schrauben, möglichst made in Niedersachsen sind.“



Abbildung 6 Die Minister Christian Meyer (2. von links) und Falko Mohrs (3. v. li.) lassen sich am ISFH praxisnahe Forschungsergebnisse von Dr. Henning Schulte-Huxel (links), Leiter der Gruppe „Spezialmodulbau“ in der Photovoltaik-Abteilung, vorstellen; mit dabei Institutsleiter Prof. Dr. Rolf Brendel (rechts). FOTO: CA

hochstem Niveau anerkannt, sondern liefert auch einen maßgeblichen Beitrag zum Vorhaben der Landesregierung, in Niedersachsen wieder Photovoltaik-Fertigung anzukurbeln. „Bereits seit Februar wird am ISFH im Rahmen des Forschungsprojekts „Apolon“, das vom Bund gefördert wird, daran gearbeitet, PV-Module entsprechend dem Bedarf von Investoren langfristig wettbewerbsfähig auszuwickeln. Um diese Technologieentwicklung am ISFH noch ein-

mal zu beschleunigen, fördert das Land nun das ergänzende Projekt „Artemis“ mit rund 1,97 Millionen Euro aus dem „Wirtschaftsförderfonds“ des Ministeriums für Umwelt, Energie und Klimaschutz. Institutsleiter Brendel sagte, dass sein Haus mit den Beschäftigten „darauf brennt“, diesen Prozess einer kostengünstigen Entwicklung zu unterstützen. Der Name „Artemis“, stehe nicht nur für das Projekt, sondern auch für die griechische Göttin der Jagd. „Diese Doppeldeutigkeit ha-

ben wir gewählt, weil wir mit unserer Forschung uns schon in einer Aufholjagd in Bezug auf die Umsetzung der Forschungsergebnisse befinden“, sagte er. „Wir müssen die Produkte, die es schon sehr gut aus Asien zu kaufen gibt, technologisch so verbessern, dass wir im Wettbewerb bestehen können.“ Es wäre großartig, wenn die laufenden neuen Entwicklungen aus verschiedenen Projekten in Emmerthal künftig in Niedersachsen gefertigt würden. Brendel: „Das ist unser Ziel.“

Deister Weser Zeitung (DeWeZet) vom 25.06.2023 - Sonderausgabe

Wie Pioniere auf die Energie der Zukunft setzten

Kurz nach Inbetriebnahme des AKW begannen bereits in den 1980er Jahren die Planungen für das Institut für Solarenergieforschung

VON CHRISTIAN BRANAHL

Die Dewezet im Mit-einander mit Visionären: Die Zukunft gehört der Solarenergie – was heute als Programm gilt, erschien in den 1980er Jahren vielen Menschen als Utopie. Kaum war in Grohnde das AKW ans Netz gegangen, begannen die Planungen für das Institut für Solarenergieforschung, das in Sichtweite des Reaktors in Emmerthal entstand.

Der Zeit bei der Gründung weit voraus – und heute wegweisend für die Nutzung der erneuerbaren Energie: das Institut für Solarenergieforschung (ISFH) in Emmerthal mit seinen inzwischen rund 150 Beschäftigten. Als der frühere niedersächsische Ministerpräsident Ernst Albrecht 1985 bei der Eröffnung des AKW Grohnde ein Hohelied auf die Kernkraft anstimmte, war nicht zu erahnen, dass er kurze Zeit später den Weg freimachte für die Solarenergie. Und: Als Wegbereiter gilt ausgerechnet mit Professor Dr. Hellmut Glubrecht ein Wissenschaftler, der in den 1970er Jahren stellvertretender Generaldirektor der internationalen Atomenergieorganisation der UNO in Wien war. Später erinnerte er sich an die Gespräche, wie er den damaligen Ministerpräsidenten Ernst Albrecht überzeugen konnte, mit dem Institut nicht auf die „Atomkraft als Energie von gestern, sondern mit der Solartechnik in all ihren Formen auf die Energie der Zukunft zu setzen“.



Auf Wachstumskurs: das Institut für Solarenergieforschung gestaltet die Energiewende mit. FOTO: DAHA

Dr. Rolf Brendel, seit 2004 wissenschaftlicher Leiter und Geschäftsführer des ISFH. „Heute ernten wir die Früchte: In fast allen modernen Photovoltaikmodulen werden Forschungsergebnisse des ISFH genutzt.“ Das zeige: Forschung sei ein Schlüssel für die Bewältigung der Herausforderungen der Energiewende. Brendel: „Und weil die Energiewende dringend ist, müssen wir die Forschungsanstrengungen enorm steigern, damit die Kosten schnell weiter sinken und wir entfallende Arbeitsplätze durch zukunftssichere ersetzen können.“ Der Institutsleiter („Die Physik ist gnädig“) verweist darauf, dass die Solarforscher noch weit entfernt von den maximal möglichen Wirkungsgraden für die Strom- und Wärmeenergieerzeugung seien und zudem viele Möglichkeiten hätten, zukünftig Materialmengen und -kosten einzusparen.

stoben, geht als geistiger Vater und Initiator in die Geschichte des ISFH ein, war zunächst seit 1987 dessen Gründungsgeschäftsführer. Große Rückendeckung erhielt er aus Emmerthal vom früheren Gemeindefraktordirektor Martin Delker und vom Landtagsabgeordneten Fritz Saacke, um die Forschungseinrichtung am Ohrberg zu etablieren. In dem damaligen Dewezet-Chefredakteur Hermann A. Griesser fanden die drei Akteure („Das Trio der Pioniere“, schrieb er einst über sie) einen Mitspre-

ter und Fürsprecher. Keine Gelegenheit ließ er sich entgehen, um als Zeitung selbst die Position für die Zukunftstechnologie vor Ort einzunehmen. Dabei erwies sich Glubrecht gar nicht einmal als Atomgegner, wie er in einem Dewezet-Interview zu verstehen gab. Schon 1987 warnte er vor der „weltweiten Klimakatastrophe“, weil fossile Energien Kohlendioxid freisetzen. „Die Gründung des Instituts für Solarenergieforschung durch das Land Niedersachsen war damals eine weitsichtige Pioniertat!“, erklärt heute Prof.

Glubrecht, inzwischen ver-

storbener, geht als geistiger Vater und Initiator in die Geschichte des ISFH ein, war zunächst seit 1987 dessen Gründungsgeschäftsführer. Große Rückendeckung erhielt er aus Emmerthal vom früheren Gemeindefraktordirektor Martin Delker und vom Landtagsabgeordneten Fritz Saacke, um die Forschungseinrichtung am Ohrberg zu etablieren. In dem damaligen Dewezet-Chefredakteur Hermann A. Griesser fanden die drei Akteure („Das Trio der Pioniere“, schrieb er einst über sie) einen Mitspre-

Deister Weser Zeitung (DeWeZet) vom 25.06.2023 - Sonderausgabe

Forscher drängen auf Solarfabrik

So wollen die Wissenschaftler des Emmerthaler Instituts die technologischen Voraussetzungen schaffen

VON CHRISTIAN BRANAHL

Solarstromanlagen auf dem eigenen Dach des Eigenheimes boomen – doch die Technik dafür kommt hauptsächlich aus China. Mit Blick auf eine stärkere Unabhängigkeit bei der Energieerzeugung fordert auch das Institut für Solarenergieforschung in Emmerthal mehr heimische Produktion.

EMMERTHAL. Für eine Stärkung der Photovoltaik-Industrie in Niedersachsen spricht sich erneut das Institut für Solarenergieforschung (ISFH) in Emmerthal aus. In seinem jüngst vorgestellten Jahresbericht für 2022 hebt Prof. Dr. Rolf Brendel als wissenschaftlicher Leiter und Geschäftsführer den Beitrag des Instituts für das Gelingen der Energiewende hervor. „Heute sind wir von PV-Modulen aus China doppelt so abhängig wie wir es vom Erdgas aus Russland waren“, schreibt er im Vorwort. „Es ist daher ein vorrangiges Ziel unserer Arbeit, den schnellen Wandel durch technologische Beiträge zum Aufbau einer hiesigen Photovoltaikfertigung gezielt zu unterstützen.“



Das Solarforschungsinstitut in Emmerthal fordert den Einsatz für eine Photovoltaikindustrie in Niedersachsen. Beispielsweise verweisen die Wissenschaftler auf technologische Ergebnisse der Einrichtung am Ohrberg, die mit dazu beitragen können. FOTO: CHRISTIAN BRANAHL

Niedersachsen betont haben. Bereits seit Februar wird am ISFH im Rahmen eines vom Bund geförderten Forschungsprojekts daran gearbeitet, PV-Module entsprechend dem Bedarf von Investoren langfristig wettbewerbsfähig auszuwickeln. Zusätzlich fördert das Land ein ergänzendes Projekt mit rund 1,97 Millionen Euro. Dabei soll die Technologie zur silberarmen Herstellung von Solarzellen entwickelt werden, die höhere Wirkungsgrade als die aktuell verwendeten Solarzellen besitzen, aber genauso einfach in der Herstellung sind. Wie es im Juli in einer Mitteilung weiter dazu hieß, stellen das Wissenschafts- und das Umweltministerium damit „gemeinsam die Weichen für die angestrebte Wiederansiedlung von Photovoltaik-Industrie in Niedersachsen“. Zufrieden zeigt sich Brendel im Jahresbericht, dass im Koalitionsvertrag der Landesregierung eine Stärkung des ISFH ausdrücklich genannt sei. „So



Prof. Dr. Rolf Brendel sieht es als ein vorrangiges Ziel des Instituts, durch technologische Beiträge den Aufbau einer hiesigen Photovoltaikfertigung gezielt zu unterstützen. FOTO: CHRISTIAN BRANAHL

hoffen wir, dass viele unserer ehrgeizigen Zukunftsplanungen in Bezug auf eine Anpassung der institutionellen Förderung sowie Investitionen in Forschungsinfrastruktur und Forschungsgebäude möglich werden“, schreibt der Leiter. Nach seinen Angaben ist die Zahl der Anfragen an das

offensichtlich einen Bedarf für Photovoltaik, die vielseitiger gestaltet werden könne und beispielsweise für den Einsatz auf denkmalgeschützten Gebäuden geeignet sei. Eine Forschungslinie für die Herstellung von solchen PV-Modulen sei derzeit am ISFH im Aufbau, außerdem eine neue Gruppe „Photovoltaik-Spezialmodulbau“ eingerichtet. Weiteres Thema der heimischen Forscher: Wärmepumpensysteme, welche die erhöhten Anforderungen an eine Wärmeversorgung mit stark reduzierten Emissionen erfüllen, werden immer häufiger genutzt. Das Institut kommt nach den Worten seines Leiters dem erhöhten Entwicklungsbedarf mit der Gründung einer neuen Gruppe „Wärmepumpen“ entgegen. Grundsätzlich stellt Brendel fest: „Eine Stärkung der Photovoltaik- und der Wärmepumpen-Industrie in Niedersachsen hätte eine wirklich große Wirkung.“



Abbildung/Figure 61: Verena Steckenreiter (2. von rechts) zeigt den Mitglieder*innen des Aufsichtsrats eine Perovskit-Solarzelle.
Verena Steckenreiter (2nd from right) shows the members of the Supervisory Board a perovskite solar cell.

Abbildung/Figure 62: Gewinnerhaus des Lebkuchenhausbau-Wettbewerbs auf der ISFH-Weihnachtsfeier 2023.
Winning house of the gingerbread house building competition at the ISFH Christmas party 2023.

Abbildung/Figure 63: Umweltminister Christian Meyer (links), Wissenschaftsminister Falko Mohrs (rechts) und Prof. Rolf Brendel bei der offiziellen Übergabe eines Förderbescheids über 2 Mio. Euro.
Minister of the Environment Christian Meyer (left), Minister of Science Falko Mohrs (right) and Prof. Rolf Brendel at the official handover of a €2 million grant.

Abbildung/Figure 64: Dr. Henning Schulte-Huxel (links) erläutert Umweltminister Christian Meyer (2. v. l.) und Wissenschaftsminister Falko Mohrs (2. v. r.) Aspekte der PV-Modulentwicklung am ISFH.
Dr. Henning Schulte-Huxel (left) explains aspects of PV module development at ISFH to Minister of the Environment Christian Meyer (2nd from left) and Minister of Science Falko Mohrs (2nd from right).

Abbildung/Figure 65: Das Fußball-Team von „Energie Solar“ nach dem Gewinn des MaPhy-Fakultäts-Fußballturniers.
The „Energie Solar“ soccer team after winning the MaPhy faculty soccer tournament.

Abbildung/Figure 66: v.l.n.r.: Das 25-köpfige Team „Solar Dragons“ bei der 19. Hamelner Drachenboot Fun-Regatta auf dem Wasser.
The 25-strong „Solar Dragons“ team on the water at the 19th Hameln Dragon Boat Fun Regatta.

Blankemeyer, Susanne, Abteilung Photovoltaik
☎ 05151-999-429, blankemeyer@isfh.de

Bräunig, Sonja, Abteilung Photovoltaik
☎ 05151-999-314, braeunig@isfh.de

Bredemeier, Dennis, Dr., Abteilung Photovoltaik
☎ 05151-999-414, bredemeier@isfh.de

Brendel, Rolf, Prof. Dr.-Ing., Institutsleiter
☎ 05151-999-100, r.brendel@isfh.de

Brendemühl, Till, Dipl.-Ing. (FH), Abteilung Photovoltaik
☎ 05151-999-315, brendemuehl@isfh.de

Büttner, Christoph, M.Sc., Abteilung Solare Systeme
☎ 05151-999-647, buettner@isfh.de

Daschinger, Thomas, M.Sc., Abteilung Photovoltaik
☎ 05151-999-632, daschinger@isfh.de

Dorn, Silke, M.Eng. (FH), Abteilung Photovoltaik
☎ 05151-999-215, dorn@isfh.de

Dullweber, Thorsten, Dr.-Ing., Abteilung Photovoltaik
☎ 05151-999-642, dullweber@isfh.de

Gaßdorf, Wolfgang, Diplom-Ökonom, Stv. Institutsleiter
☎ 05151-999-405, w.gassdorf@isfh.de

Giovannetti, Federico, Dr.-Ing., Abteilung Solare Systeme
☎ 05151-999-501, f.giovannetti@isfh.de

Eilrich, Jens, B.Eng, Abteilung Photovoltaik
☎ 05151-999-314, eilrich@isfh.de

Kirchner, Maik, Dipl.-Ing., Abteilung Solare Systeme
☎ 05151-999-523, kirchner@isfh.de

Köntges, Marc, Dr., Abteilung Photovoltaik
☎ 05151-999-432, m.koentges@isfh.de

Kühne, Philip, M.Sc., Abteilung Solare Systeme
☎ 05151-999-505, kuehne@isfh.de

Larionova, Yevgeniya, Dr., Abteilung Photovoltaik
☎ 05151-999-423, larionova@isfh.de

Mandow, Wael, Dr.-Ing., Abteilung Solare Systeme
☎ 05151-999-523, mandow@isfh.de

Mercker, Oliver, M.Eng., Abteilung Solare Systeme
☎ 05151-999-631, mercker@isfh.de

Mertens, Verena, Dr., Abteilung Photovoltaik
☎ 05151-999-315, v.mertens@isfh.de

Min, Byungsul, Dr., Abteilung Photovoltaik
☎ 05151-999-414, min@isfh.de

Morlier, Arnaud, Dr., ehemals Abteilung Photovoltaik

Meyer, Kevin, Dr., Abteilung Photovoltaik
☎ 05151-999-315, meyer@isfh.de

Napp, Volker, Oberstudienrat, Lehrkräftefortbildung
☎ 05151-999-100, nils@ifsh.de

Niepelt, Raphael, Dr., Abteilung Solare Systeme
☎ 05151-999-505, niepelt@isfh.de

Pärisch, Peter, Dipl.-Ing., Abteilung Solare Systeme
☎ 05151-999-648, p.paerisch@isfh.de

Schanz, Wolf-Rüdeger, OStR a. D., Lehrkräftefortbildung
☎ 05151-999-100, nils@ifsh.de

Schlemminger, Marlon, M.Eng., Abteilung Solare Systeme
schlemminger@isfh.de

Schulte-Huxel, Henning, Dr., Abteilung Photovoltaik
☎ 05151-999-414, schulte-huxel@isfh.de

Tittel, Frank, Oberstudienrat, Lehrkräftefortbildung
☎ 05151-999-100, nils@ifsh.de

Veurman, Welmoed, M.Sc., Abteilung Photovoltaik
☎ 05151-999-429, veurman@isfh.de

Walter, Dominic, Dr., Abteilung Solare Systeme
☎ 05151-999-424, walter@isfh.de

Wersebe-Wetzig, Vivienne, Studienrätin, Lehrkräftefortbildung
☎ 05151-999-100, nils@ifsh.de

Wietler, Tobias, Prof. Dr.-Ing., Abteilung Photovoltaik
☎ 05151-999-313, wietler@isfh.de

Wirtz, Wiebke, M.Sc., Abteilung Photovoltaik
☎ 05151-999-303, wirtz@isfh.de

Wünsch, Frank, Dr., Abteilung Solare Systeme
☎ 05151-999-424, wuensch@isfh.de

Yasin, Modar, Dr.-Ing., Abteilung Solare Systeme
☎ 05151-999-631, yasin@isfh.de

Gestaltung/Design
Dipl. Grafik-Designerin Catharina Zeropa-Stangenberg, caze • werbung & kommunikation, Hameln, www.caze.de

Redaktionsadresse/Editorial office address
Institut für Solarenergieforschung Hameln
Am Ohrberg 1
31860 Emmerthal

Telefon (0 49) 05151-999-100
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
07.04.2024

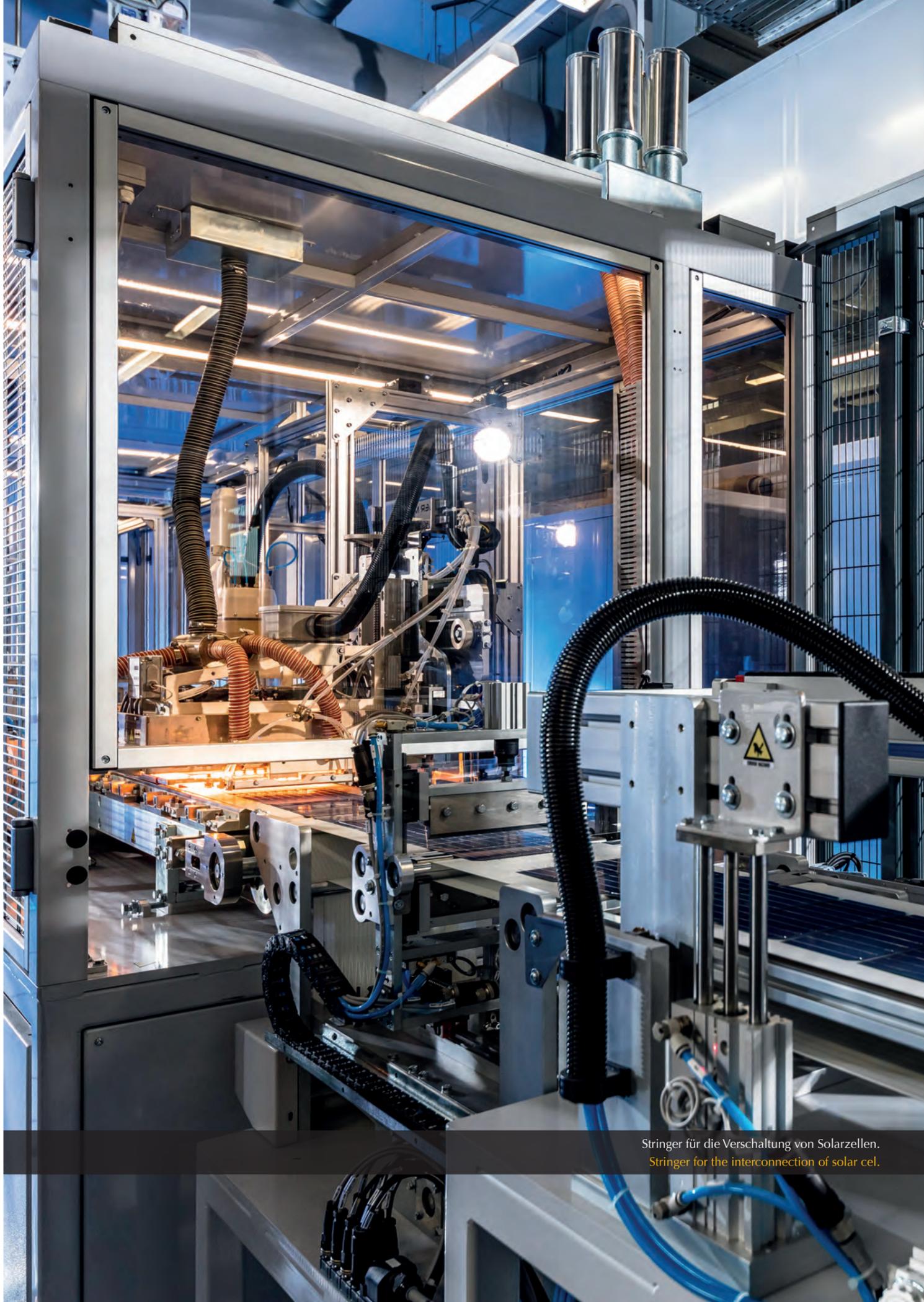
Druck/Print
Wanderer Werbedruck GmbH, Ronnenberg, www.wanderer-druck.de

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 image material
Bilder: A, B, C, D, 1, 8, 10, 11, 12, 13, 19, 20, 26, 39, 43, 44, 45, 51,67 Salzmann PhotoDesign, Hameln
Bilder: 2, 4, 5 blachura|photography, Hannover
Bilder: E, 9, 63, 64 SPANKA FOTOGRAFIE, Garbsen und blachura|photography, Hannover
Bilder: 16, 17, 18, 21, 30, 31, 37, 38, 41, 42 Überarbeitung durch caze • werbung & kommunikation, Hameln
Bild: 40 © albert.ing GmbH, Frankfurt am Main
Bild: 52 Kopecek
Bild: 62 Wolpensinger, ISFH
Alle übrigen Bilder: ISFH
Images: A, B, C, D, 1, 8, 10, 11, 12, 13, 19, 20, 26, 39, 43, 44, 45, 51,67 Salzmann PhotoDesign, Hameln
Images: 2, 4, 5 blachura|photography, Hannover
Images: E, 9, 63, 64 SPANKA FOTOGRAFIE, Garbsen und blachura|photography, Hannover
Images: 16, 17, 18, 21, 30, 31, 37, 38, 41, 42 Überarbeitung durch caze • werbung & kommunikation, Hameln
Image: 40 © albert.ing GmbH, Frankfurt am Main
Image: 52 Kopecek
Image: 62 Wolpensinger, ISFH
All other images: ISFH

Urheberrecht/Copyright
Vervielfältigung oder Abdruck von Teilen dieses Berichtes grundsätzlich nur mit vorheriger schriftlicher Einwilligung der Redaktion.
Duplication or reproduction even of parts of this report only with previous written consent of the editorial office.

Danksagung/Acknowledgment
Allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern, die zum aktuellen Jahresbericht beigetragen haben, sei an dieser Stelle herzlich gedankt.
Thank to all colleagues, who have contributed to this annual report.



Stringer für die Verschaltung von Solarzellen.
Stringer for the interconnection of solar cel.



**Institut für
Solarenergieforschung
Hameln**

2023/2024

Am Ohrberg 1
D-31860 Emmerthal

Telefon +49 (0) 5151-999-100

Telefax +49 (0) 5151-999-400

eMail info@isfh.de

Internet www.isfh.de



ISSN 1613-5970