ISFH

JAHRESBERICHT

2007



An-Institut der

Institut für Solarenergieforschung Hameln

Leibniz Universität Hannover

Hinweise zu den Umschlagbildern/About the cover images:

A: Computersimulation des im Bau befindlichen Technikums vor dem Bestandsgebäude.
A: Computer simulation of the technology hall under construction in front of the existing building.

B: Vakuumröhrenkollektorfeld bei der Leistungszertifizierung im Strahlungsfeld.
B: Vacuum tubing collector field under radiation during certification.

C: Diffusionsofen im Reinraum.
C: Diffusion oven in the clean room.

D: Belastungstest eines Flachbettkollektors.
D: Static loading test of a flat bed collector.

E: Christian Wulff, Ministerpräsident von Niedersachsen, im Gespräch mit Dr. Roland Goslich am ISFH-Stand auf der „IdeenExpo“ in Hannover.
E: Christian Wulff, Prime Minister of Lower Saxony, talking to Dr. Roland Goslich at the ISFH stand at the “IdeenExpo” in Hanover.



JAHRESBERICHT 2007

ANNUAL REPORT



Einrichtung des Strukturierungsprozesses am Nanosekunden-Laser.
Setup of the structuring process at the nanosecond laser.

Associated with

Leibniz Universität Hannover

Institut für Solarenergieforschung Hameln




Rolf Brendel



ISFH





Abb. 1: Gäste und Mitarbeiter des ISFH verfolgen die Grußworte der Festredner zum 20jährigen Bestehen des ISFH auf einer im Foyer des ISFH installierten Videoleinwand.
Fig. 1: Guests and colleagues of the ISFH listen to the greetings of the speakers on the occasion of the 20th anniversary of the ISFH on a huge video screen installed in the foyer of the ISFH.

Abb. 2: Pressekonferenz am ISFH. Der niedersächsische Wissenschaftsminister Lutz Stratmann und der Institutsleiter des ISFH, Prof. Dr.-Ing. Rolf Brendel beantworten Fragen der Journalisten zur Geschichte des ISFH und dem Neubau des Technikums.
Fig. 2: Press conference at ISFH. The Lower Saxon Minister for Science, Lutz Stratmann and the director of the ISFH, Prof. Dr.-Ing. Rolf Brendel answer questions of journalists concerning the history of the ISFH and the new technology hall being under construction.

Abb. 3: Prof. Dr. Hans Joachim Queisser während seiner Festrede „Die Sonne – Auf Gerechte und Ungerechte".
Fig. 3: Prof. Dr. Hans Joachim Queisser during his speech entitled "The Sun – On Fair and Unfair".

Abb. 4: Grundsteinlegung für das neue Technikum. Minister Lutz Stratmann (rechts) und Prof. Dr.-Ing. Rolf Brendel (mitte) mauern gemeinsam die ersten Steine für die Technologiehalle.
Fig. 4: Laying the foundation stone for the new technology hall. Minister Lutz Stratmann (right) and Prof. Dr.-Ing. Rolf Brendel are laying the first few bricks for the hall.

Abb. 5: Ursula Wehrmann (Fraktionsvorsitzende von B90/Die Grünen), Hartmut Deppmeyer, Fachbereichsleiter Umwelt der Stadt Hameln und Anja Piel (Kreisverbandsvorsitzende von B90/Die Grünen) im Gespräch.
Fig. 5: Ursula Wehrmann (Chairwoman of B90/Green party fraction), Hartmut Deppmeyer, head of the environmental department of the City of Hamelin, and Anja Piel (Chairwoman of B90/Green party alliance) talking to each other.

Abb. 6: Der niedersächsische Wissenschaftsminister Lutz Stratmann bei seinem Grußwort anläßlich des 20sten Jahrestages der Gründung des ISFH.
Fig. 6: The Lower Saxon Minister for Science, Lutz Stratmann during his speech on the occasion of the 20th anniversary of the ISFH.

Abb. 7: Partyzeit – Für die musikalische Untermalung der 20-Jahr-Feier des ISFH sorgte die Gruppe „Swedish Pastry" aus Witten.
Fig. 7 It's party time – The background music was performed by the jazz band "Swedish Pastry" from Witten.

Abb. 8: Gäste und Mitarbeiter des ISFH werden von Dr. Jan Schmidt (rechts) durch einige Labore geführt.
Fig. 8: Guests and colleagues of the ISFH are guided through some of the ISFH's labs by Dr. Jan Schmidt (right).

Abb. 9: Teilnehmer des Workshops „Laser Technology in Photovoltaics“ bei einer Führung durch die Labore des ISFH.
Fig. 9: Participants at the “Laser Technology in Photovoltaics” workshop on a guided tour of the ISFH laboratories.

Abb. 10: Dr. Mathias Pätzold (links) und Prof. Dr. Jochen Fricke (mitte) bei der Besichtigung des neuen Reinraums am ISFH anlässlich der Evaluation durch die Wissenschaftliche Kommission Niedersachsen.
Fig. 10: Dr. Mathias Pätzold (left) and Prof. Dr. Jochen Fricke (center) inspecting the new clean room at ISFH on the occasion of its evaluation by the Lower Saxon Scientific Commission.

Abb. 11: Marie-Luise Kröger, als Lehrerin zuständig für die Grundschulen im NILS-Projekt, beim Live-Interview anlässlich der SOLTEC 2007 auf dem Stand des Lokalsenders „radioaktiv“.
Fig. 11: Marie-Luise Kröger, the teacher responsible for elementary schools in the NILS project, during a live interview at the local radio station “radioaktiv”, on their stand at SOLTEC 2007.

Abb. 12: Blick in den Diffusionsofen im neuen Reinraum. Im Vordergrund Silicium Wafer auf einer Halterung beim Einfahren in den Ofen.
Fig. 12: View into the diffusion oven in the new clean room. In the foreground is a silicon wafer on a mounting being placed in the oven.

Abb. 13: Prof. Dr. Jochen Fricke lässt sich von einem Mitarbeiter des ISFH Messungen am Elektronenmikroskop erläutern.
Fig. 13: Measurements on the electron microscope being explained to Prof. Dr. Jochen Fricke by a member of ISFH staff.

Abb. 14: Der Rattenfänger ist wieder in der Stadt – und führt eine Teilnehmergruppe am Workshop „Laser Technology in Photovoltaics“ sicher vom Weserberglandzentrum in Hameln zur Dampferanlegestelle an der Weser. Unterwegs beeindruckt er durch seine Stadtkenntnis, die er humorvoll und zweisprachig zum Besten gibt.
Fig. 14: The Pied Piper is back in town – and leading a group of participants at the “Laser Technology in Photovoltaics” workshop safely from the Weserbergland Center in Hamelin to the landing stage on the Weser. On the way, he makes an excellent impression on the group with his knowledge of the town displayed in a humorous, bilingual presentation.

Abb. 15: Hans-Peter Thul (MdB) besucht den Stand des ISFH auf der SOLTEC und informiert sich bei Dr. Roland Goslich (Öffentlichkeitsarbeit) über neue Herstellungstechnologien in der Photovoltaik.
Fig. 15: Hans-Peter Thul (Member of the Federal Parliament) visiting the ISFH stand at SOLTEC and finding out about new photovoltaic production technology from Dr. Roland Goslich (Public relations).

Abb. 16: Svenja Riekeberg und Florian Jung auf dem Siegerpodest. Beide haben ihre Diplomarbeiten am ISFH angefertigt und sind damit jeweils erste Preisträger des Jahres 2007 beim „E.ON Energy Award“ geworden: Svenja Riekeberg erhielt den mit € 1.000,- dotierten ersten Preis in der Kategorie „Diplomarbeit unter dem Aspekt der Wissenschaft“ und Florian Jung den ersten Preis in der Kategorie „Diplomarbeit unter dem Aspekt der Praxisorientierung“.
Fig. 16: Svenja Riekeberg and Florian Jung on the winners’ platform. Both prepared their diploma theses at ISFH and each was awarded first prize at the 2007 E.ON Energy Awards: Svenja Riekeberg receiving the € 1,000 first prize in the “Diploma thesis from the Scientific Point of View” category and Florian Jung the first prize in the “Diploma thesis from the Practical Applications Point of View” category.



9



10



11

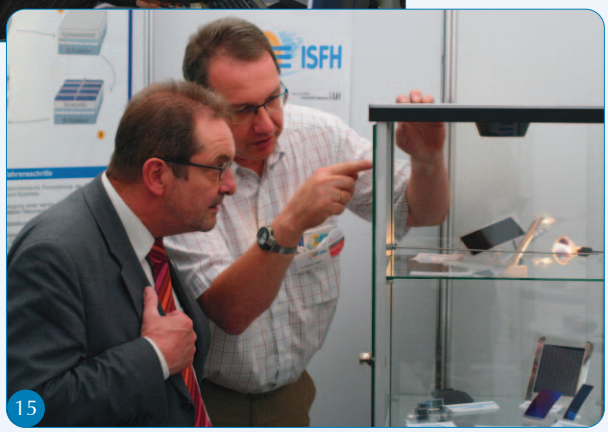
12



14



13



15



16

Inhalt

Contents

Streiflichter - *At a glance* 2
Inhalt - *Contents* 6
Vorwort - *Preface* 8

1 Institut für Solarenergieforschung 10
Kurzportrait - *Brief portrait* 10
Organisation - *Organization* 11
Abteilung Photovoltaik - *Photovoltaics department* 11
Abteilung Solarthermie - *Solar thermal department* 14
Abteilung Wissenschaftliche Dienstleistungen - *Scientific services department* 16
Zentrale Dienste - *Central Services* 18
Aufsichtsrat - *Supervisory Board* 18
Wissenschaftlicher Beirat - *Scientific Advisory Board* 19
Gesellschaft zur Förderung des Instituts für Solarenergieforschung e.V. 20
Society for the Promotion of the Institut für Solarenergieforschung
Das Institut in Zahlen - *Statistics of the Institute* 21

2 Forschungsabteilungen - *Research departments* 22
Abteilung Photovoltaik - *Photovoltaics department* 22
Forschungsthemen - *Research topics* 22
Dienstleistungen - *Services* 22
Apparative Ausstattung - *Equipment & facilities* 22
Glanzlichter - *Highlights* 23

Abteilung Solarthermie - *Solar thermal department* 24
Forschungsthemen - *Research topics* 24
Dienstleistungen - *Services* 24
Apparative Ausstattung - *Equipment & facilities* 24
Glanzlichter - *Highlights* 25

3 Wissenschaftliche Ergebnisse - *Scientific results* 26
Abteilung Photovoltaik - *Photovoltaic department* 26

Einfluss metallischer Verunreinigungen auf den Wirkungsgrad von Siliciumsolarzellen 26
Impact of metallic impurities on the efficiency of silicon solar cells

Effektive Oberflächenpassivierung siebgedruckter Aluminium-dotierter p^+-Emitter für *n*-Typ Siliciumsolarzellen 28
Effective passivation of screen-printed aluminum-doped p^+-emitter surfaces for n-type silicon solar cells

Verlustanalyse von hocheffizienten RISE-EWT-Silicium Wafersolarzellen 32
Loss analysis of highly efficient RISE-EWT silicon wafer solar cells

Optisches Modell zur Beschreibung eines Rückseitenreflektors aus gesintertem porösen Silicium 35
Optical model of sintered porous silicon on the rear of PSI solar cells

Ortsaufgelöste Bestimmung von Rekombinationsstrom und Serienwiderstand durch Kombination kamera-basierter Elektrolumineszenzmessungen mit Lock-in Thermografie 39
Spatially-resolved determination of recombination current density and series resistance by a combined analysis of camera based electroluminescence and lock-in thermography measurements

FEM-Simulation thermomechanischer Spannungen in einem laminierten String 43
FEM-simulation of thermomechanical stress in a laminated string

Qualitätskontrolle von Solarmodulen ... 47
Quality control of solar modules

Abteilung Solarthermie - *Solar thermal department* ... 49
Hocheffiziente Flachkollektoren mit selektiver Doppelverglasung ... 49
High-efficiency flat-plate solar collectors with selectively coated double glazing

Analyse und Vorhersage des Stagnationsverhaltens mittelgroßer thermischer Solaranlagen ... 54
Analysis and prediction of the stagnation behavior of medium-sized collector arrays

4 Weiterbildung - *Education* ... 60
Akademische Ausbildung ... 60
Academic education

NILS - Solarenergie zum Anfassen ... 63
NILS - Accessible Solar Energy

5 Kooperationen - *Cooperations* ... 67
Partner aus Universitäten & Forschungseinrichtungen - *Partners from universities & research facilities* ... 67
Inland - *National* ... 67
Ausland - *International* ... 67

Partner aus Industrie, Planung & Entwicklung - *Partners from industry, planning & development* ... 68
Inland - *National* ... 68
Ausland - *International* ... 69

6 Dokumentation - *Documentation* ... 70
ISFH-Kolloquien - *ISFH-colloquia* ... 70
Gastwissenschaftler - *Guest scientists* ... 70
Mitarbeit in Fachgremien - *Membership of professional bodies* ... 71
Ausstellungen & Fachtagungen - *Fairs & congresses* ... 71
Veröffentlichungen - *Publications* ... 72
Patente - *Patents* ... 73
Fachberichte - *Reports* ... 74
Vorträge - *Presentations* ... 74
Poster - *Posters* ... 75
Diplom- & Studienarbeiten - *Diploma theses & seminar papers* ... 76
Doktorarbeiten - *Theses* ... 77
Lehrveranstaltungen - *Lectures* ... 77
Preise & Auszeichnungen - *Awards* ... 77

7 Presse - *Press* ... 78

8 Autoren - *Authors* ... 83

Streiflichter - *At a glance* ... 84
Impressum - *Imprint* ... 88

Vorwort

Preface

Das Jahr 2007 war für das ISFH ein Jahr des Wachstums.

Die Mitarbeiterzahl stieg um 30% auf jetzt 132 und die Drittmitteleinnahmen des Institutes stiegen um 50%. Angesichts dieses Wachstums war eine bauliche Erweiterung dringend erforderlich. Nach einer sehr positiv verlaufenen Evaluation durch die Wissenschaftliche Kommission des Landes Niedersachsen erhielten wir im Juni 2007 grünes Licht für den Neubau einer Technologiehalle und weiterer Büros unmittelbar neben dem Bestandsgebäude.



Prof. Dr.-Ing. Rolf Brendel, Leiter des Institutes für Solarenergieforschung in Hameln.
Prof. Dr.-Ing. Rolf Brendel, Director of the Institut für Solarenergieforschung in Hamelin.

Für den Bereich Solarthermie wurde die Entwicklung von hocheffizienten Kollektoren als neuer Schwerpunkt definiert, wobei der Fokus insbesondere auf Mehrfachverglasungen liegt. Dafür wurden zahlreiche Prüfeinrichtungen konzipiert und neu aufgebaut. Erste Schritte für die Bearbeitung des Komplexes „Speicherung von Solarwärme“ wurden in Form von Konzeptarbeiten und dem Aufbau von Prüfständen unternommen. Ein Projekt zur Ertragskontrolle und ein weiteres zur Stagnationsproblematik haben wichtige Ergebnisse zur Qualitätssicherung von Sonnenkollektoranlagen erbracht.

Der Aufbau schneller Lasersysteme für das Prozessieren hocheffizienter dünner kristalliner Silicium-Solarzellen hat die Abteilung Photovoltaik weiter vorangebracht. Wir nahmen neue Lasersysteme für das Strukturieren von Silicium, für das Ablatieren von Dielektrika und für das Laserlöten von Modulen in Betrieb. Das bisherige Nadelöhr „Laserprozess“ bei vielen Arbeiten konnte damit erfolgreich beseitigt werden.

Derzeit befinden sich drei der am ISFH entwickelten Zellkonzepte in der Überführung in industrielle Pilotfertigungen. Sicher war die in den letzten Jahren mit Hilfe des Bundesumweltministeriums und des Landes Niedersachsen aufgebaute sehr gute Infrastruktur mitverantwortlich dafür, dass das ISFH im Jahr 2007 den Industrieanteil am Gesamthaushalt zum dritten Mal in Folge auf jetzt 44% fast verdoppeln konnte.

Nach wie vor ist eine der wichtigen Aufgaben des ISFH die Ausbildung von Studierenden, Technikern und Wissenschaftlern. Im letzten Jahr haben 20 junge Akademiker/innen ihre Diplom- oder Promotionsarbeiten am Institut abgeschlossen. Etwa die Hälfte hiervon sind Absolventen/innen der Leibniz Universität Hannover, an der der Institutsleiter die Arbeitsgruppe „Solarenergie“ im Institut für Festkörperphysik unterhält. Erstmals haben wir ein „Photovoltaikpraktikum“ angeboten, das die Studenten in die Herstellung von Solarzellen und deren physikalische Charakterisierung einführt. Daneben beschäftigt das ISFH seit 2007 wieder Auszubildende.

The year 2007 was a year of growth for the ISFH.

The number of employees has increased by 30% to a total of 132 and so-called third-party funding of the Institute has increased by 50%. In view of this growth, an enlargement of the premises was urgently required. After an evaluation procedure by the Scientific Committee of the State of Lower Saxony which arrived at a very positive conclusion, in June 2007 we received the green light for the construction of a technology building and further offices directly beside the existing building.

For the solar heating division: the development of highly-efficient collectors became the new focus of attention with a particular emphasis on multiple glazing. For this purpose, numerous new testing facilities were designed and constructed. Furthermore, the first steps have been taken on the subject of the storage of solar heat in the form of design work and the construction of testing facilities. A project on input/output control and another on the problem of stagnation have brought some important results in the field of ensuring the quality of solar heat collectors.

In the photovoltaics department: one of the focal points of our work has been the construction of fast laser systems for the processing of highly-efficient thin crystalline silicon solar cells. We used new laser systems for the structuring of silicon, the ablation of insulators and for the laser-soldering of solar modules already in use. The previous bottleneck in many activities of laser processing could thus be successfully eliminated.

Currently, three cell concepts developed at ISFH are in the process of being transferred to industrial pilot production. We are sure that the very good infrastructure built up in recent years with the help of the Federal Environment Ministry and the State of Lower Saxony was partly responsible for the fact that in 2007 the ISFH has been able for the third time in succession to almost double the industrial contribution to its total budget to 44%.

The education of students, technicians and scientists is one of the important tasks of the ISFH. In 2007 20 young academics completed their diplomas or doctoral theses at ISFH. About half of these are graduates of the Leibniz Universität Hannover, where the Managing Director of the ISFH heads the “Solar Energy” group in the Institute of Solid-State Physics. For the first time, we offered a practical in photovoltaics at the ISFH. This introduces the students to the production and the physical characterization of solar cells. Since 2007 the ISFH has once again become involved in the training of apprentices.

Vorwort

Im Jahr 2007 organisierte das ISFH eine Reihe von Sonderveranstaltungen zusammen mit Partnern aus Forschung und Industrie. Unser Workshop zum Thema „Ertragskontrolle in solarthermischen Anlagen“ ist auf starkes Interesse in der Bauwirtschaft gestoßen. An der Leibniz Universität Hannover fand die Jahrestagung des „ForschungsVerbundes Sonnenenergie“ (FVS) mit 270 Teilnehmern statt, deren Thema „Produktionstechnologie für die Solarenergie“ lautete. Eine starke Resonanz fand auch der in Hameln abgehaltene internationale Workshop „Laser Technology in Photovoltaics“, an dem 130 Gäste teilnahmen. Dabei wurden an zwei mit Präsentationen reich gefüllten Tagen die Entwicklungen von neuen Laserquellen und Lasersystemen, das Laserbohren, -schneiden, -kontaktieren, die Prozesskontrolle und viele andere Themen diskutiert, die den Einsatz von Lasern in der Photovoltaik so interessant machen. Die Beteiligung an der Hannover Messe, der SOLTEC in Hameln und der „IdeenExpo“ in Hannover waren weitere Aufgaben unserer Öffentlichkeitsarbeit.

Schließlich feierte das ISFH im Jahr 2007 sein zwanzigjähriges Bestehen. Ich habe mich sehr über die Festreden von Minister Stratmann und Prof. Queisser gefreut und auch darüber, dass fast alle bisherigen Institutsleiter der Einladung zum Festakt folgen konnten. Mit 200 Gästen haben wir auf das Erreichte angestoßen. Was das ISFH heute ist, wurde von vielen ISFH-Mitarbeitern/innen, von den bisherigen Institutsleitern und von der das Institut begleitenden Politik in den 20 Jahren geformt. Allen, die dazu beigetragen haben, sei an dieser Stelle nochmals herzlich gedankt. Die Institutsgründung vor 20 Jahren durch das Land Niedersachsen war ein sehr weitsichtiger Akt. Wir empfinden das starke und vorausschauende Engagement in der Vergangenheit als eine Verpflichtung für die Zukunft.

Es war also ein aufregendes, ein sehr volles und auch ein sehr erfolgreiches Jahr. Allen Kollegen/innen, Kunden und Förderern, die mit Kompetenz, Kreativität und Ausdauer zu diesem Erfolg beigetragen haben, danke ich herzlich.

Ihnen, liebe/r Leser/in wünsche ich Freude beim Studieren dieses Jahresberichtes, der einige Schlaglichter auf unsere Arbeit für Sie bereithält.

Hameln, 31.12.2007



Prof. Dr.-Ing. Rolf Brendel

(Institutsleiter und Geschäftsführer)

Preface

In 2007, the ISFH, together with partners from research and industry, organized a multitude of special events. Our workshop concerning “input-output control of solar heating devices” proved to be extremely interesting for the building and construction industry. At the Leibniz Universität Hannover, the annual meeting of the “ForschungsVerbund Sonnenenergie”(FVS, Solar Energy Research Association) took place with 270 guests and with the theme of “Production Technology for Solar Energy”. With 130 participants, the international workshop “Laser Technology in Photovoltaics” met with a great response. Participation in the Hanover fair, the SOLTEC in Hamelin and the “IdeenExpo” in Hanover also formed part of our public relations work.

Finally, in 2007, the ISFH celebrated its 20th anniversary. I was very pleased that the main speakers, Science Minister Stratmann and Prof. Queisser, as well as nearly all the past Directors of the ISFH could be with us on this day. With 200 guests we drank to our achievements. The ISFH as it is today has been formed over 20 years by many ISFH employees, the former Directors and the political situation in which the ISFH has found itself. I hereby warmly thank all of those who have contributed to our success. The founding of the ISFH 20 years ago by the State of Lower Saxony was a very far-sighted act. We consider the strong and foresighted commitment in the past as an obligation for the future.

It has been an exciting, a very full and also a very successful year. I wish to express my sincere thanks to all colleagues and sponsors, who have contributed to this success with their competence, creativity and persistence.

I hope, dear reader, you will enjoy reading this annual report, which presents some important highlights of our work.

1 Institut für Solarenergieforschung

Kurzportrait

Am *Institut für Solarenergieforschung GmbH Hameln (ISFH)* werden innovative Komponenten für die photovoltaische und solarthermische Nutzung der Sonnenenergie entwickelt. Das physikalische Verständnis der Komponenten und die Entwicklung kostengünstiger Herstellungsprozesse stehen im Zentrum unseres Interesses. Die am ISFH hergestellten Komponenten werden in Energiesystemen getestet, denn oft entscheidet erst das Verhalten im System über den Erfolg einer Entwicklung.

Gemeinsam mit unseren Industriepartnern und unseren motivierten Studentinnen und Studenten, die am ISFH ihre Studien-, Diplom- oder Doktorarbeiten anfertigen, fördern wir durch Forschung und Innovation die Solarenergienutzung.

Das ISFH ist ein Forschungsinstitut des Landes Niedersachsen in der Rechtsform einer gemeinnützigen GmbH. Es ist ein An-Institut der „Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover“

Brief portrait

Innovative components for photovoltaic and solar thermal utilization of solar energy are developed at the Institut für Solarenergieforschung GmbH Hameln (ISFH). *The physical understanding of components and the development of cost-saving production processes are in the focus of our interest. The components manufactured at the ISFH are tested in energy systems, for often the behavior inside a system is determining the success of a development.*

Together with our industrial partners and our highly motivated students, who are working for their seminar papers, diplomas or PhD-theses, we support solar energy utilization by research and innovation.

The ISFH is a corporation of the county of Lower Saxony in the legal form of a non-profit organization. It is intensly cooperating with the “Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover”

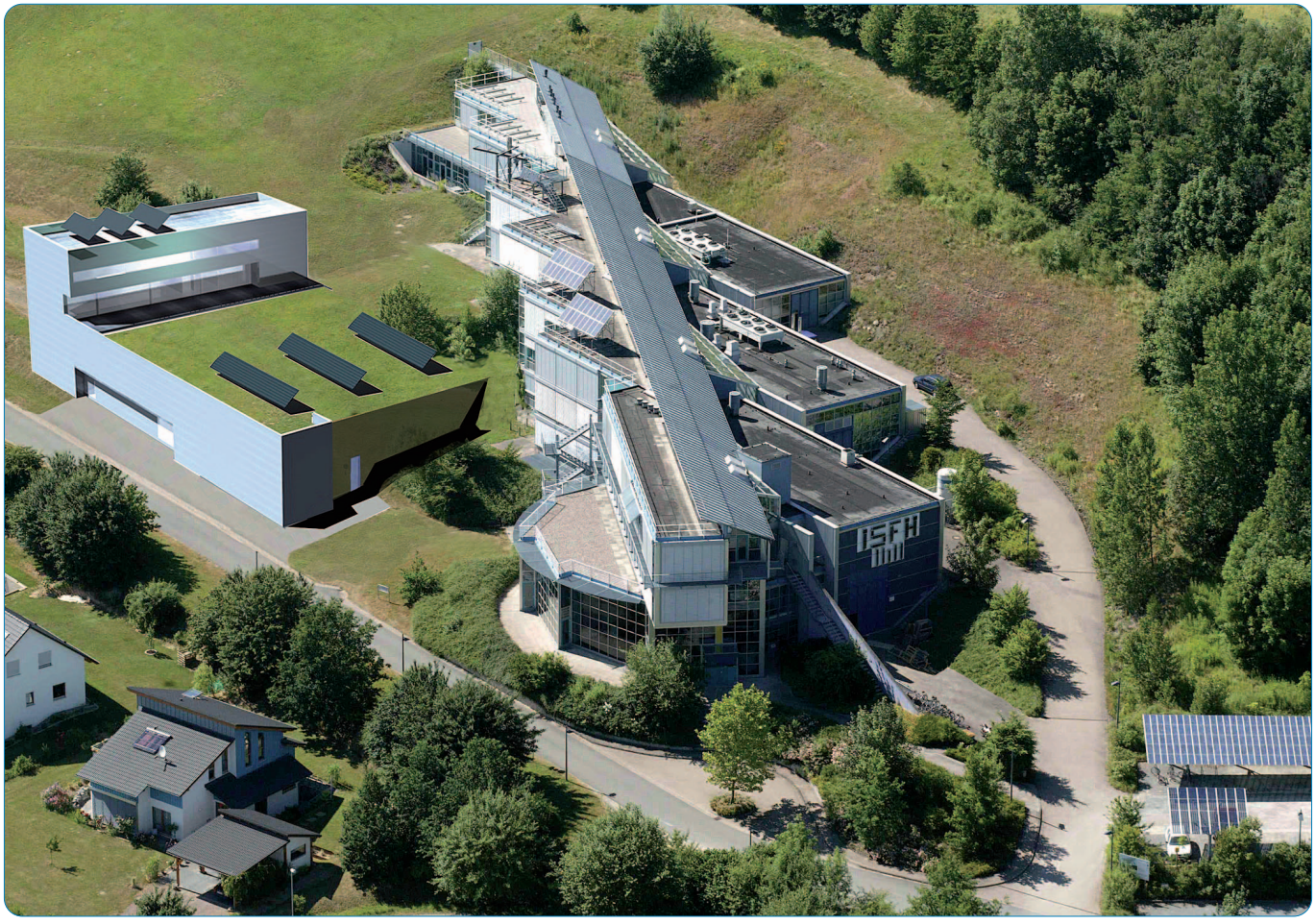


Abb. 17: Eine Computersimulation der neuen Technologiehalle, die derzeit vor dem Bestandsgebäude errichtet wird.
Fig. 17: A computer simulation of the new technology hall that is presently under construction in front of the existing building.

und unterhält weitere Kooperationen mit anderen Universitäten und Fachhochschulen Niedersachsens.

Institutsleiter und Geschäftsführer des ISFH ist Prof. Dr.-Ing. habil. Rolf Brendel, der auch Universitätsprofessor der Fakultät für Mathematik und Physik der Leibniz Universität Hannover ist und dort die Abteilung Solarenergie im Institut für Festkörperphysik leitet.

Das ISFH gliedert sich in die Abteilungen „Photovoltaik", „Solarthermie" und den Bereich „Wissenschaftliche Dienstleistungen".

Grundlegende Materialuntersuchungen gehören ebenso zu unseren Aufgaben in der Photovoltaik, wie die Entwicklung von Prozessen und Anlagen für die Solarzellenherstellung. Das Hauptinteresse gilt der Entwicklung neuer Siliciumsolarzellen mit der zugehörigen Modultechnologie für Wirkungsgrade von 20% mit Si-Wafern und 16% bei den Si-Dünnschichten.

Die Themenschwerpunkte im Bereich Solarthermie sind die aktive Nutzung der thermischen Solarenergie im Temperaturbereich bis etwa 200° C und die passive Solarenergienutzung in Gebäuden. Neue Konzepte für die Gebäudeintegration von Sonnenkollektoren zielen auf Kosteneinsparung durch Synergieeffekte und auf ein verbessertes Preis-Leistungs-Verhältnis.

Das Institut ist Mitglied im „ForschungsVerbund Sonnenenergie" (FVS), einem Zusammenschluss außeruniversitärer deutscher Forschungsinstitute, der auf nationaler Ebene die Forschungstätigkeiten im Bereich der Solarenergie koordiniert, sowie in der EUREC Agency, dem europäischen Zusammenschluss von Forschungseinrichtungen auf dem Gebiet der Solarenergienutzung.

and maintains further cooperations with other universities and technical colleges in Lower Saxony.

Director of the ISFH is Prof. Dr.-Ing. habil. Rolf Brendel. Moreover he is university professor at the faculty of mathematics and physics of the Leibniz Universität Hannover, directing also the department of solar energy in the Institute for Solid State Physics.

The ISFH consists of the departments of "Photovoltaics", "Solar thermal energy conversion" and the division "Scientific services".

Basic research of material properties as well as the development of processes and equipment affiliate to our photovoltaic activities. A major effort in silicon photovoltaics is the development of solar cells including the accompanying module technology aimed at efficiencies of 20% for Si-wafers and 16% for Si-thin-films.

The major topics within the solar thermal division of the ISFH are the active use of thermal solar energy in the temperature range up to 200° C and passive solar energy use in buildings. New concepts for an integration of solar collectors into buildings is aimed at cost reduction through synergy effects and better cost-effectiveness.

The Institute is member of the "ForschungsVerbund Sonnenenergie" (FVS), an association of German research institutes, that do not directly belong to universities. The FVS coordinates solar energy research activities on a national level. Also the ISFH is a member of the "European Renewable Energy Centres Agency" (EUREC), an European association of solar energy research institutes.

Organisation

Abteilung Photovoltaik — *Leitung: Dr. Carsten Hampe*

Wirkungsgrade von Solarzellen, die im Labor erreicht werden, sind gegenwärtig schon sehr beachtlich. Es mangelt aber noch immer an Technologien, mit denen höchsteffiziente Solarzellen industriell hergestellt werden können. Die Arbeitsgruppen der Abteilung Photovoltaik beschäftigen sich mit unterschiedlichen Aspekten der industriellen Umsetzbarkeit von Laborentwicklungen.

Organization

Photovoltaics department — Head: Dr. Carsten Hampe

Efficiencies of solar cells, which have already been achieved in the laboratory are already remarkably high. Still there is a lack of industrially applicable technologies to start mass production of high efficiency solar cells. The working groups of the department of photovoltaics take care for different aspects of industrial applicability of laboratory developments.

1 Institut für Solarenergieforschung

Silicium Wafersolarzellen ***Leitung: Dr. Nils-Peter Harder***

Die Arbeitsgruppe „Silicium-Wafersolarzellen“ beschäftigt sich mit der Entwicklung neuer Verfahren und Prozesse zur Herstellung kostengünstiger hocheffizienter Solarzellen auf der Basis kristalliner Silicium Wafer. Schwerpunkt ist die Anwendung berührungsloser Techniken wie der Lasermaterialbearbeitung, lokaler Nasschemie und Vakuumaufdampfen. Mit solchen Techniken kann den Anforderungen begegnet werden, die immer dünnere Wafer an die Prozesstechnologie stellen.

Silicium Dünnschicht ***Leitung: Dr. Barbara Terheiden***

Die Arbeitsgruppe „Silicium Dünnschicht“ konzentriert sich auf die Herstellung und Charakterisierung von monokristallinen Si-Dünnschichtsolarzellen und -modulen aus Schichttransferprozessen. Dabei werden Technologien eingesetzt, mit denen äußerst material- und energiesparend monokristalline Siliciumschichten mit Dicken weit unter 50 µm hergestellt werden können.

Photovoltaische Materialien ***Leitung: PD Dr. Jan Schmidt***

Ziel der Gruppe „Materialien“ ist es, ein umfassendes Verständnis der Auswirkung von Defekten und Defektreaktionen auf Solarzelleneigenschaften zu entwickeln. Mit Hilfe eines gezielten „Defect Engineering“ wird die Materialqualität der heute in der Photovoltaik eingesetzten mono- und multikristallinen Silicium Wafer verbessert. Ein weiterer Schwerpunkt liegt in der Untersuchung von neuen Ansätzen zur Oberflächenpassivierung.

Module ***Leitung: Dr. Marc Köntges***

Die Arbeitsgruppe „Modul- und Verbindungstechnik“ entwickelt neue Verbindungstechniken für Photovoltaikmodule. Neben den Standardverbindungstechniken werden Laserlöten, Laserschweißen, Leitkleben und andere Lötverfahren untersucht und für die industrielle Modulfertigung vorbereitet. Die Gruppe entwickelt Methoden für das Auffinden von Schäden in Solarmodulen und führt Auftragsarbeiten zur Fehleranalyse von Modulen mit beschleunigten Alterungstests gemäß der Norm IEC 61215–2 durch.

Simulation ***Leitung: Dr. Pietro P. Altermatt***

Die an der Leibniz Universität Hannover ansässige Arbeitsgruppe „Simulation“ entwickelt physikalische Modelle für die Computersimulation von Solarzellen. Damit können Phänomene quantitativ beschrieben werden, deren Kenntnis für die Optimierung von Solarzellen wesentlich sind. So wird nicht nur das physikalische Verständnis von Solarzellen erweitert, sondern es werden auch die limitierenden Verluste in realen Zellen analysiert, und daraus Hinweise für verbesserte Zellstrukturen abgeleitet.

Silicon wafer cells **Head: Dr. Nils-Peter Harder**

The research group “Silicon wafer-based solar cells” develops new concepts and cost efficient process technologies for the production of highly-efficient solar cells. At present, this group has a strong focus on developing non-contact process techniques based on laser material treatment, local wet-chemistry and vacuum evaporation. These techniques are considered to be key technologies for meeting future demands of processing very thin wafers with thicknesses less than 150 µm.

Silicon thin-film cells **Head: Dr. Barbara Terheiden**

The research group “Silicon thin-film cells” is focusing on the manufacture and characterization of monocrystalline silicon thin-film solar cells and modules using layer transfer processes. Here, technologies are being used which allow the production of monocrystalline silicon thin-films of thicknesses far below 50 µm in a material- and energy-saving way.

Photovoltaic Materials **Head: PD Dr. Jan Schmidt**

The aim of the “Photovoltaic materials” research group is to gain a comprehensive understanding of the impact of defects and defect reactions on solar cell characteristics. Defect engineering techniques are being developed to improve significantly the material quality of today’s photovoltaic mono- and multicrystalline silicon wafers. Another focus is on the evaluation of novel surface passivation schemes.

Modules **Head: Dr. Marc Köntges**

The research group “Module and connection technology” is engaged in the development of new connection techniques for solar modules. In addition to standard connection techniques, this division is focusing on laser-soldering, laser-welding, adhesive connecting and other soldering techniques for industrial applications. The group develops methods to find defects in solar modules and accomplishes accelerated ageing tests based on standard IEC 61215-2 on commission to analyze long-term failures in solar modules.

Simulation **Head: Dr. Pietro P. Altermatt**

The “Simulation” research group is located at the Leibniz Universität Hannover and is developing physical models for the numerical simulation of solar cells. This aids in the quantitative description of phenomena which are relevant to cell optimization and the development of novel cell concepts. The physical understanding of cells is being improved while limiting losses in manufactured cells are being analyzed to deduce strategies for cell optimization.



Abb. 18: Strahlengang für die Silicium-Strukturierung mit einem Pikosekunden-Laser.
Fig. 18: Optical setup for structuring silicon with a pico-second laser.

1 Institut für Solarenergieforschung

Abteilung Solarthermie *Leitung: Dipl.-Ing. G. Rockendorf*

Solarthermische Energiesysteme und ihre Komponenten müssen eine hohe Zuverlässigkeit aufweisen, wobei gleichzeitig permanente Anstrengungen zur Kostenreduktion stattfinden. Schließlich sind für die zukünftigen Energieversorgungsaufgaben neue Produkte und Systemkombinationen zu entwickeln. Hieran orientieren sich die Forschungsaktivitäten der Arbeitsgruppen in der Abteilung „Solarthermie“.

Thermische Systeme ***Leitung: Dr. Klaus Vanoli***
Die Aktivitäten dieser Arbeitsgruppe reichen von der Beratung potentieller Investoren und Betreiber über die Konzepterstellung bis hin zur wissenschaftlich-technischen Analyse von solarthermischen Pilot- und Demonstrationsanlagen. Ein Schwerpunkt ist die Entwicklung und Erprobung von Kontrollverfahren zur kostengünstigen Qualitätssicherung und Effizienzsteigerung von Solaranlagen.

Wärmespeicher ***Leitung: Dipl.-Phys. Jörn Scheuren***
Die Gruppe Wärmespeicher stellt sich der Entwicklung und Bewertung von Speichern einschließlich der Wärmeein- und Auskopplung. Die Bestimmung des Wärmeverlusts, der Leistung von Wärmeübertragern und des Schichtungsverhaltens stehen ebenso im Fokus wie neue Konzepte für Speicherbehälter und Systemintegration. Die Einkopplung von Solarwärme in Wärmepumpensysteme über eine erdreichbasierte Zwischenspeicherung ist ebenfalls ein Tätigkeitsgebiet der Speichergruppe.

Kollektoren ***Leitung: Dipl.-Ing. Gunter Rockendorf***
Im Zentrum der Forschung stehen der Sonnenkollektor und der Solarkreislauf. Gebäudeintegration, Kosten- und Materialeinsparung sowie Steigerung der Leistungsfähigkeit von Kollektoren, insbesondere bei erhöhten Temperaturen, sind die wesentlichen Aufgaben. Ferner werden Analysen zum Betrieb von Kollektorkreisläufen in Bezug auf Stagnation, Durchströmung etc. durchgeführt.

Thermische Materialien ***Leitung: Dr. Rolf Reineke-Koch***
Die Arbeitsgruppe Thermische Materialien evaluiert neue Konzepte für Wärmeschutzverglasungen und selektive Beschichtungen für Kollektoren. Die Entwicklung von Beschichtungen, die Prüfung der Alterungs- und Korrosionsbeständigkeit, sowie die materialwissenschaftliche und optische Charakterisierung sind Schwerpunkte dieser Arbeitsgruppe.

Solar thermal department Head: Dipl.-Ing. G. Rockendorf

Solar thermal energy systems and their components must show high reliability, whereas at the same time enormous cost reduction efforts are going to be undertaken. Finally, to conform with future energy supply tasks new products and system combinations are to be developed. This is a good orientation for the research activities of all solar thermal working groups.

Thermal systems **Head: Dr. Klaus Vanoli**
The activities of the thermal systems group range from general consultancy for potential investors and operators to conception and design and the scientific and technological analysis of solar-thermal pilot and demonstration plants. Currently, work is focusing on the development and testing of both procedures and devices suitable for cost-effective function-control and solar-yield supervision for in-situ quality assurance.

Thermal storage **Head: Dipl.-Phys. Jörn Scheuren**
Development and evaluation of thermal storages including heat transfer in and out of the storage describe the main field of activity of this research group. The determination of heat losses, the performance of heat exchanger and the thermal stratification behavior is as well in the focus as the development of new concepts for tanks and system combinations. A further research field is the integration of solar heat into heat pump systems via an intermediate storage in the ground.

Thermal collectors **Head: Dipl.-Ing. Gunter Rockendorf**
The group stands for research on solar collectors and the collector circuit. Building integration, cost and material saving and the efficiency improvement of solar collectors, especially at higher temperatures, are the fundamental tasks. In addition, analyses with regard to stagnation behavior, flow problems etc. are worked out, in order to improve the operation behavior of collector circuits.

Thermal materials **Head: Dr. Rolf Reineke-Koch**
The thermal materials group is developing new concepts for thermal insulation glass materials and for selective coatings for usage in thermal collectors. The main focus is on the development of coatings, the testing of their ageing and corrosion performance, as well as their optical and material characterization.



Abb. 19: Vorbereitung eines Flachkollektors für einen mechanischen Belastungstest.
Fig. 19: Preparation of a flat plate collector on a strain test device.

1 Institut für Solarenergieforschung

Abteilung Wissenschaftliche Dienstleistungen

Scientific services department

Prüfzentrum Solarthermie
Leitung: Dipl.-Ing. Carsten Lampe

Das Prüfzentrum bietet als eine der großen europäischen Prüfstellen einen Fundus an Erfahrungen in allen Bereichen des thermischen Solarkollektors und der Solaranlage. Neben normgerechten Prüfungen nach den europäischen Standards EN 12975 und EN 12976 und der Mitarbeit in Normungsgremien werden entwicklungsbegleitende Untersuchungen durchgeführt sowie Prüfverfahren weiterentwickelt.



Abb. 20: Montagearbeiten an einem Vakuumröhrenfeld auf einem Testdach.
Fig. 20: Installation work at a vacuum collector field on one of the test roofs.

Solar thermal test center
Head: Dipl.-Ing. Carsten Lampe

The test center as one of the major testing centers in Europe offers a wide range of different tests and much expertise with thermal solar collectors and solar thermal systems. In addition to doing tests in accordance with the European standards of EN 12975 and EN 12976 and collaboration with the committee for standardization we provide our knowledge for accompanying product development. Furthermore, test procedures are developed and improved.

PV-Charakterisierung
Leitung: Dr. Karsten Bothe

Die Aufgabe der Arbeitsgruppe PV-Charakterisierung ist es, neue Methoden und Geräte zur Verfügung zu stellen, die notwendig sind, um in Zusammenarbeit mit der Simulationsgruppe ein umfassendes Verständnis der am ISFH entwickelten Siliciumsolarzellen zu erzielen. Die Gruppe bietet der Photovoltaikindustrie ihre Messmöglichkeiten und Analysekenntnisse als Serviceleistung an.

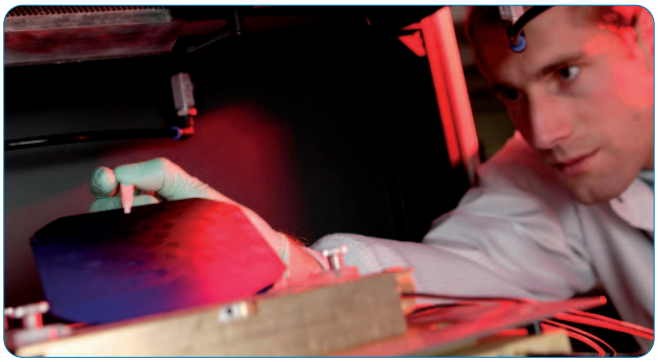


Abb. 21: Probenvorbereitung an der Lock-In Thermografie.
Fig. 21: Measurement setup at lock-in thermography.

PV-characterization
Head: Dr. Karsten Bothe

The objective of this group is to aquire a sound understanding of the silicon solar cells developed at ISFH. Therefore measurement and evaluation techniques are being refined, new setups are being established and measurements are being analyzed in collaboration with the simulation group. The cell characterization group offers its facilities and experience as a service to the photovoltaic industry.

Weiterbildung/NILS
Leitung: Dr. Klaus Vanoli

Das ISFH führt Fortbildungsprogramme für Lehrer verschiedener Schultypen durch. Diese Veranstaltungen sind Teil des NILS-Projektes, einer bundesweit einmaligen Bildungsinitiative, die vom Kultusministerium des Landes Niedersachsen unterstützt wird.



Abb. 22: Wissbegierige Kinder einer Grundschule beim Institutsrundgang.
Fig. 22: Inquisitive children of an elementary school during their guided tour through the Institute.

Education-NILS
Head: Dr. Klaus Vanoli

The ISFH is conducting education programs for teachers of different school types. These activities are part of the NILS project, a unique education initiative within Germany, which is promoted by the Ministry for Education of Lower Saxony in an exemplary way.

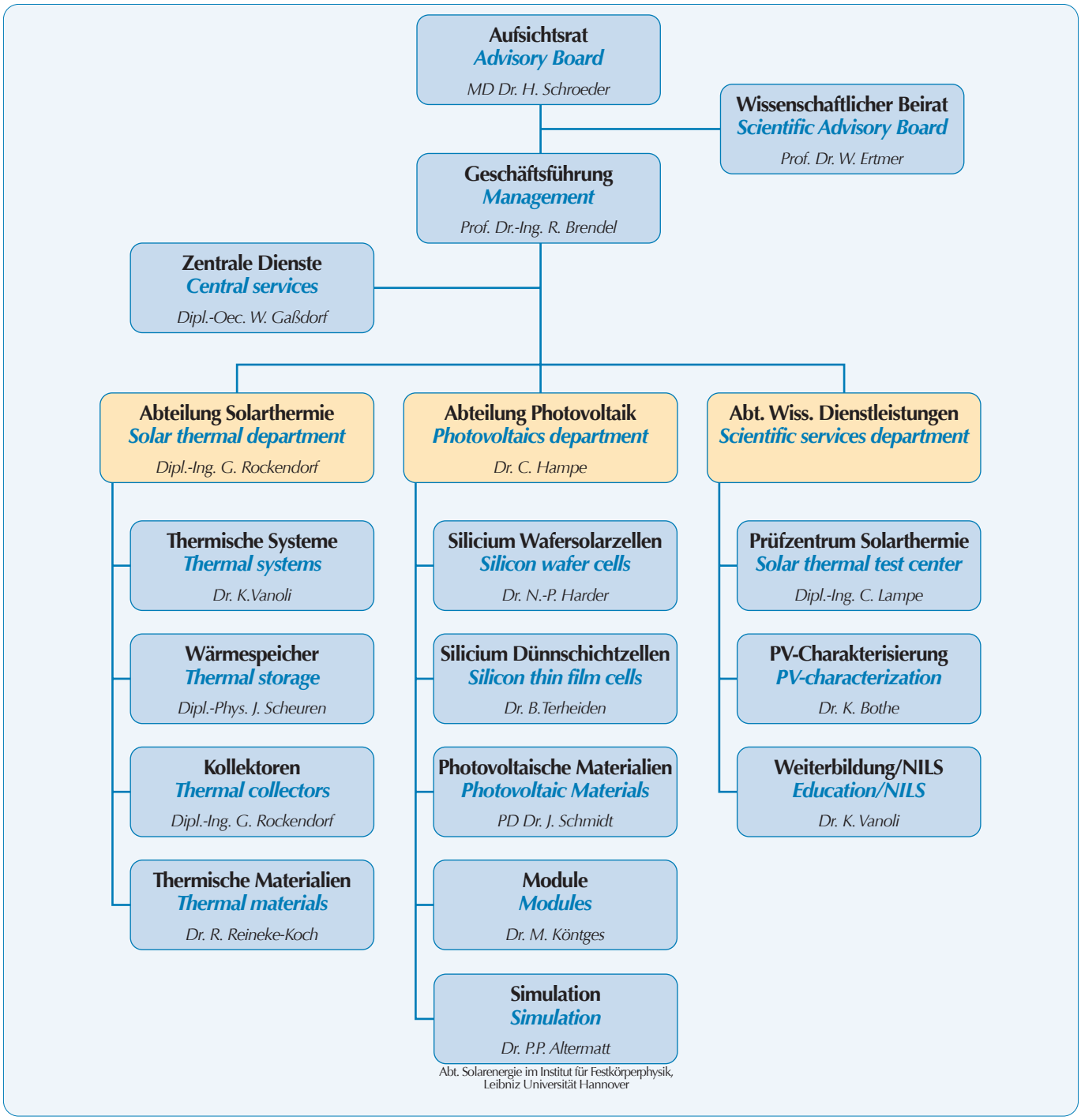


Abb. 23: Das Organigramm des ISFH.
Fig. 23: The organizational structure of the ISFH.

Zentrale Dienste

Die zentralen Dienste umfassen fast die gesamte Infrastruktur des Institutes. Sie bestehen aus einem technischen Bereich mit Mechanikwerkstatt, Elektronikwerkstatt, EDV Support und einem administrativen Bereich, dem die Sekretariate, das Rechnungswesen und die Öffentlichkeitsarbeit zugeordnet sind. Die zentralen Dienste werden von Dipl.-Oec. Wolfgang Gaßdorf geleitet, der gleichzeitig auch stellvertretender Institutsleiter ist.

Central services

The central services comprise a technical section with a mechanical workshop, an electronics workshop, data-processing support and an administrative section consisting of secretarial services and accounts, as well as public relations work. The central services is headed by Dipl.-Oec. Wolfgang Gaßdorf, who also is deputy director of the ISFH.

Aufsichtsrat

Der Aufsichtsrat bestellt, überwacht und berät die Geschäftsführung. Er besteht gemäß dem Gesellschaftervertrag aus bis zu neun Mitgliedern. Ein Teil der Mitglieder wird vom Land Niedersachsen direkt entsandt, die übrigen werden von der Gesellschafterversammlung gewählt. Der Aufsichtsrat lädt zu seinen Sitzungen regelmäßig Gäste ein, die beratende Funktion ausüben. Die Sitzungen des Aufsichtsrates fanden am 4.7.2007 und am 17.12.2007 statt. Die Mitglieder dieses Gremiums sind (Stand 31.12.2007):

Supervisory Board

The Supervisory Board appoints, controls and advises the managing director. According to the Institute's statutes it can consist of up to nine members. Some of the members are appointed by the State of Lower Saxony, the rest being elected by backers' meeting. The Supervisory Board also regularly invites guests to its meetings who perform an advisory function. The Board's general meetings were held on 4 July 2007 and on 17 December 2007. The members of the Board on 31 December 2007 were:

Mitglieder/*Members*

- Ministerialrat Dr. Hans Schroeder
  Vorsitzender des Aufsichtsrates/
  Head of the Supervisory Board
  Niedersächsisches Ministerium für Wissenschaft und Kultur
  Hannover
- Regierungsdirektorin Corinna Kuhny
  Stellvertretende Vorsitzende des Aufsichtsrates/
  Deputy Head of the Supervisory Board
  Niedersächsisches Finanzministerium
  Hannover
- Ministerialdirigent Wolfgang Goldbach
  Niedersächsisches Umweltministerium
  Hannover
- Prof. Dr. Rolf Haug
  Institut für Festkörperphysik
  Leibniz Universität Hannover
- Dr. Winfried Hoffmann
  Applied Materials GmbH & Co. KG
  Alzenau
- Landrat Rüdiger Butte
  Landkreis Hameln-Pyrmont
- Prof. Dr. Jürgen Parisi
  Fachbereich Physik
  Carl von Ossietzky Universität Oldenburg
- Dr. Ulrich Stiebel
  Stiebel Eltron GmbH & Co. KG
  Holzminden

Wissenschaftlicher Beirat

Scientific Advisory Board

Der wissenschaftliche Beirat berät den Aufsichtsrat und die Geschäftsführung des ISFH in allen wissenschaftlichen, technischen und organisatorischen Fragen. Die Beiratsmitglieder werden durch den Aufsichtsrat gewählt.

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

Der Beirat hielt seine jährliche Sitzung am 16.11.2007 im ISFH ab. Die Mitglieder des wissenschaftlichen Beirates sind (Stand 31.12.2007):



Abb. 24: Der wissenschaftliche Beirat besichtigt das Laserlabor des ISFH nach seiner Sitzung.
Fig. 24: The Scientific Advisory Board visiting the ISFH-laser laboratory after its session.

The Scientific Board has an advisory function for the Director and the Supervisory Board of the ISFH on all scientific, technical and organizational issues. The choice of Advisory Board members is made by the Supervisory Board.

The board members are respected scientists from universities and industry as well as other personalities who are familiar with the research topics of the ISFH.

This year's general meeting of the Board was held in ISFH on 16 November 2007. The members of the Scientific Advisory Board on 31 December 2007 were:

Mitglieder/*Members*

- Prof. Dr. Wolfgang Ertmer
  Vorsitzender des Beirates/
  Head of the Scientific Advisory Board
  Institut für Quantenoptik, Leibniz Universität Hannover
- Prof. Dr. Dieter Wolf
  Stellvertretender Vorsitzender des Beirats/
  Deputy Head of the Scientific Advisory Board
  Fachbereich Versorgungstechnik,
  Fachhochschule Braunschweig/Wolfenbüttel
- Prof. Dr. Gottfried H. Bauer
  Stellvertretender Vorsitzender des Beirats/
  Deputy Head of the Scientific Advisory Board
  Fachbereich Physik, Carl von Ossietzky Universität Oldenburg
- Dr. Rainer Brockmann
  EON Westfalen Weser AG, Herford
- Prof. Dr. Karl-R. Hofmann
  Institut für Halbleiterbauelemente und Werkstoffe
  Leibniz Universität Hannover
- Dipl.-Ing. Helmut Jäger
  Solvis GmbH & Co. KG, Braunschweig
- Prof. Dr. Antonio Luque
  Universidad Politécnica de Madrid, Spanien
- Prof. Dr. Robert Mertens
  Interuniversity Microelectronics Center (IMEC) vzw,
  Katholieke Universiteit Leuven, Belgien
- Prof. Dr. Herbert Pfnür
  Institut für Festkörperphysik, Leibniz Universität Hannover
- Prof. Dr. Udo Rindelhardt
  Forschungszentrum Rossendorf, Dresden
- Dr. Thomas Schott
  Zentrum für Sonnenenergie und
  Wasserstoffforschung Baden-Württemberg, Stuttgart
- Dr. Ingo Schwirtlich
  SCHOTT Solar GmbH, Alzenau
- Dipl.-Ing. Rudolf Sonnemann
  Stiebel Eltron GmbH & Co. KG, Holzminden
- Prof. Dr.-Ing. Felix Ziegler
  Institut für Energietechnik, Technische Universität Berlin

Gesellschaft zur Förderung des Instituts für Solarenergieforschung e.V.

Das Anliegen der Gesellschaft[1] ist die Unterstützung der Arbeit der Institut für Solarenergieforschung GmbH Hameln.

Das reicht von finanzieller Förderung der Infrastruktur für die Durchführung von Forschungsprojekten bis zur Unterstützung der Pflege von Kontakten zwischen ISFH und Wirtschaft.

Die Gesellschaft ist bestrebt, der Öffentlichkeit die Arbeiten des ISFH zu vermitteln, da nur durch ein gutes Verständnis der technischen und ökonomischen Zusammenhänge die Akzeptanz für die Nutzung von Solarenergie in Wirtschaft, Politik und Verwaltung weiter vergrößert werden kann.

Mitglieder der Gesellschaft können Firmen, Organisationen und Privatpersonen werden. Die Mitgliederversammlung fand am 6.11.2007 im ISFH statt. Die Mitglieder sind (Stand: 31.12.2007):

Society for the promotion of the Institut für Solarenergieforschung Hameln

The aim of the Friends[1] of the ISFH is the support of the work of the Institut für Solarenergieforschung in Emmerthal.

For this reason the Society partly finances the infrastructure for carrying out scientific projects and supports the maintenance of contacts between the Institute and industry.

The Society endeavors to inform the general public about the work of the ISFH, since only a sophisticated knowledge of the context of solar energy utilization can further increase its acceptance by business, politicians and government.

Companies, organizations and private individuals may become members of the Society. The general meeting of the Society was held in ISFH on 6 November 2007. The members on 31 December 2007 were:

Mitglieder/*Members*

- AME-Technik GmbH, Hameln
- BHW-Holding AG, Hameln
- CW Niemeyer GmbH & Co. KG, Hameln
- Dipl.-Ing. Peter Nasarek, Hameln
- Dr. Paul Lohmann GmbH KG, Emmerthal
- E.ON Westfalen-Weser AG, Hameln
- ELEKTROMA Elektromontagen GmbH, Hameln
- Gemeinde Emmerthal
- Gemeinschaftskernkraftwerk Grohnde GmbH, Emmerthal
- GWS Stadtwerke Hameln GmbH
- Innung Sanitär/Heizung (SHKK), Hameln
- Kreishandwerkerschaft Hameln-Pyrmont
- KSG Kreissiedlungsgesellschaft Hameln-Pyrmont mbH
- m & s messen & ausstellungen, rainer timpe gmbh, Minden
- NWDH Holding AG, Hameln
- Otto Baukmeier Holzbau, Hameln
- PAW Pommerening Armaturenwerk GmbH & Co, Hameln
- Peter Specht, Steuerberatung, Hameln
- proKlima, Der enercity-Fonds, Hannover
- Sparkasse Weserbergland, Hameln
- Stadt Hameln
- Stadtwerke Bad Salzuflen GmbH
- Stadtwerke Rinteln GmbH
- Stadtwerke Uelzen GmbH
- Steinmann BAU GmbH, Emmerthal
- WeserGold Getränkeindustrie GmbH & Co. KG, Rinteln
- Wilkhahn, Wilkening + Hahne GmbH + Co. KG, Bad Münder
- Zacharias Haustechnik GmbH, Hameln



Abb. 25: Der neue Gabelstapler für die mechanische Werkstatt im Außeneinsatz. Er wurde aus Mitteln des Fördervereins finanziert.
Fig. 25: Working with the new forklift of the mechanical workshop. It was financed by the Friends of the ISFH.

1 Gesellschaft zur Förderung des Instituts für Solarenergieforschung e.V., c/o CW Niemeyer GmbH & Co KG, Hans Niemeyer, 1. Vorsitzender, Baustraße 44, 31785 Hameln, Telefon 05151-200 111, Telefax 05151-200 206

Das Institut in Zahlen

Haushalt & Personal

Das Institut für Solarenergieforschung (ISFH) nahm seine Forschungstätigkeit Ende 1987 in Hannover auf. Das Land Niedersachsen unterstützt das ISFH mit institutioneller Förderung aus dem Haushalt des Ministeriums für Wissenschaft und Kultur. Diese Grundfinanzierung deckt im Jahr 2007 32% des Gesamtetats von rund € 7,9 Millionen ab (ohne die € 2 Mio. für den Neubau des Technikums). Neben dieser institutionellen Förderung durch das Land Niedersachsen erzielt das Institut Drittmitteleinnahmen von öffentlichen Forschungsförderern, wie dem Bund, dem Land Niedersachsen oder der Europäischen Union (EU) in Höhe von rund € 1,9 Millionen. Eine große Bedeutung haben Drittmitteleinnahmen aus der Industrie für Auftragsforschung. Im Jahr 2007 dominieren die Einnahmen aus der industriellen Auftragsforschung mit € 3,5 Millionen.

Zum Ende des Jahres 2007 waren am ISFH 132 Personen beschäftigt. Bei der Mehrzahl der Beschäftigten handelt es sich um im Rahmen von Forschungsprojekten zeitlich befristet angestellte Doktoranden sowie wissenschaftliches und technisches Personal. In der Gruppe der studentischen Mitarbeiter sind es Praktikanten, Studienarbeiter und Diplomanden von Universitäten und Fachhochschulen, die im Rahmen ihrer wissenschaftlichen Ausbildung am ISFH beschäftigt werden. Die permanenten Mitarbeiter sichern die Kontinuität der wissenschaftlichen Arbeit und in den zentralen Diensten die Aufrechterhaltung der Infrastruktur.

Statistics of the Institute

Budget & personnel

The Institut für Solarenergieforschung (ISFH) started its research activities at the end of 1987. Basic funding is covered by the budget of the state of Lower Saxony and is 32% of the total budget, which was € 7.9 m in 2007 (not including € 2 m for the new building that is under construction). Besides this institutional sponsorship, 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 sponsors was about € 1.9 m. Of great importance is funding by industry for commissioned research projects. In 2007 the income from industry predominated at € 3.5 m.

At the end of 2007 the ISFH had 132 employees. The majority of the staff is scientific and technical personnel as well as Ph.D. students employed on a temporary basis to undertake research projects. The students involved comprise undergraduate students from universities or technical colleges doing practical work or studying for diplomas. They are supervised in their scientific work at the ISFH. The permanent employees are responsible for the maintenance of the infrastructure in the scientific departments and central services.

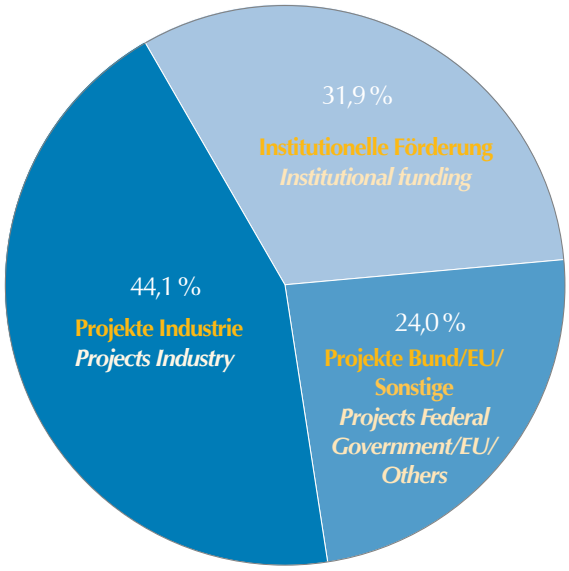


Abb. 26: Die Zusammensetzung des ISFH-Haushaltes nach Einnahmequellen (ohne Bau) im Jahr 2007.
Fig. 26: The structure of the ISFH-budget (without new building) with respect to the funding sources in 2007.

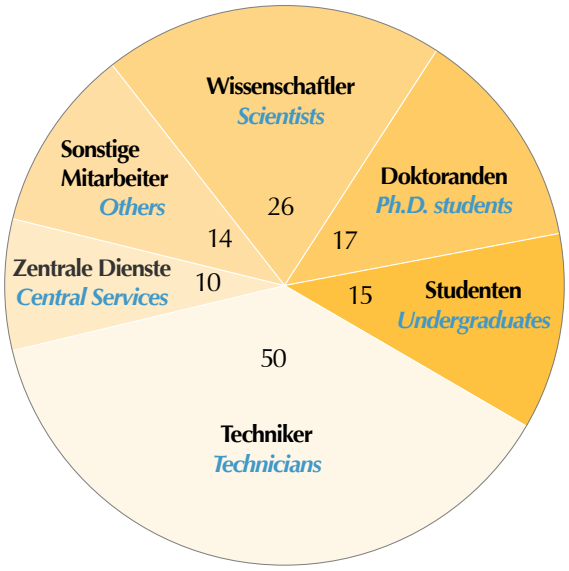


Abb. 27: Die Beschäftigtenzahlen in Mitarbeiterkategorien – die Personalstruktur Ende 2007.
Fig. 27: Number of employees in different categories – structure of personnel at the end of 2007.

Abteilung Photovoltaik

Forschungsthemen

- Hochleistungssiliciumsolarzellen in Rückkontakt- oder Bifacialkonfiguration
- Siliciumdünnschichtsolarzellen und -module nach dem Porösen-Silicium-Prozess (Psi)
- High efficiency – low cost multikristalline Siliciumsolarzellen
- Laserprozesse für kristalline Silicium-Solarzellen
- Inkjet- und Dispensverfahren für Solarzellen
- Berührungsfreie lokale Nasschemie
- Charakterisieren von Solarsiliciummaterialien für verbesserte Solarzellenwirkungsgrade
- Verfahren für oberflächenpassivierende Schichten (SiO_2, SiN_x, SiC_x, a-Si, Al_2O_3)
- Neue kamerabasierte Charakterisierungsverfahren für Si-Materialien, Solarzellen und Module
- Neuartige Verbindungstechnik für PV-Module (alternative Lötverfahren)
- Langzeitstabilität von Solarzellen und PV-Modulen
- Industrienahe Technologie- und Prozessentwicklung
- Ein-, zwei- und dreidimensionale rechnergestützte Simulation neuartiger Solarzellenstrukturen

Dienstleistungen

- Auftragsforschung zu grundlegenden physikalischen Fragestellungen in der Photovoltaik
- Auftragsforschung zu technologieorientierten Fragestellungen in der Photovoltaik
- Klimatests für PV-Module
- Charakterisieren von Solarzellen, Prozessen und Materialien

Apparative Ausstattung

- Reinraumlabore für Siliciumtechnologie bis 156 × 156 mm^2
- Laserlabor mit sieben Lasermaterialbearbeitungssystemen
- Siebdrucktechnologie
- Dotierprofilmessung mit ECV-Profiler
- Remote- und Direkt-Plasmabeschichtungsanlagen, großflächige In-line Remote-Plasmabeschichtungsanlage
- Lampenofen (RTP)
- H_2-Temperofen für 6"-Wafer
- Verbindungs- und Modultechnologie: Löttechnik und Laminator
- Klimakammern sowie UV- und Halogenlampen-Bestrahlungsplatz
- Sonnensimulator (einschließlich intensitätsabhängiger I/U-Kennlinien), spektrale Empfindlichkeit (SR), intensitätsabhängige Leerlaufspannung (Suns-V_{oc}), spektral- und ortsaufgelöste Kurzschlussstrom-Messungen (SR-LBIC), I_{sc}- und V_{oc}-

Photovoltaics department

Research topics

- *High-efficiency silicon solar cells in rear-contact or bifacial configuration*
- *Silicon thin-film solar cells and modules applying the porous silicon process (Psi)*
- *High-efficiency – low-cost multicrystalline silicon solar cells*
- *Laser processing on crystalline Silicon solar cells*
- *Inkjet- and dispens processes*
- *Non-touching local wet chemical processes*
- *Characterization of solar silicon materials to improve cell efficiencies*
- *Methods for surface passivation (SiO_2, SiN_x, SiC_x, a-Si, Al_2O_3)*
- *New camera-based characterization methods for silicon materials, solar cells and modules*
- *Novel interconnection techniques for PV modules (alternative soldering methods)*
- *Long-term stability of solar cells and modules*
- *Industrially feasible technology and process development*
- *One, two- and three-dimensional computer-aided simulations of novel solar cell structures*

Services

- *Research on fundamental questions in the field of photovoltaics*
- *Research on production technology in the field of photovoltaics*
- *Climate tests of PV modules (Humidity-freeze, thermal cycling)*
- *Characterization of solar cells, processes and materials*

Equipment & facilities

- *Clean rooms for silicon technology*
- *Laser laboratory with seven laser material machining systems*
- *Dopant profile measurement using ECV-profiler*
- *Screen-printing technology*
- *Remote and direct plasma deposition systems, large-area in-line remote plasma deposition system*
- *Rapid Thermal Processing (RTP)*
- *Hydrogen furnace for 6"-wafers*
- *Interconnection and module technology: Soldering methods, laminator*
- *Climatic, UV- and halogen-lamp illumination chambers*
- *Sun simulator (including intensity-dependent I/V-curves), spectral response (SR), spectrally and spatially resolved light beam induced current (SR-LBIC), I_{sc}/V_{oc} transient measurement, lock-in infrared thermography, camera-based electroluminescence*

Transientenmessungen, Lock-In Thermografie, kamerabasierte Elektrolumineszenz
- Mikrowellen-detektiertes Photoleitungsabklingen (MW-PCD), Infrarotkamera-Lebensdauertopographie (ILM)
- Quasistatische Photoleitung (QSSPC)
- Injektions- und temperaturabhängige Lebensdauerspektroskopie (TIDLS)
- Aufnahme von Kapazitäts-Spannungs-Kennlinien (C/V)
- Transiente Kapazitäts-Spektroskopie (DLTS)
- Laserstrahlinduzierter Strom (LBIC)
- FTIR-und UV/VIS-Spektrometrie
- Spektralellipsometrie
- Licht- und Rasterelektronenmikroskopie
- Elektronenstrahlinduzierter Strom (EBIC)
- Energiedispersive Röntgenanalyse (EDX)
- Kamerabasierte Photolumineszenz

Glanzlichter

- RISE-EWT-Solarzelle erreicht einen Wirkungsgrad von 21,6% auf 92 cm^2 *p*-Typ Float-Zone Silicium
- RISE-EWT-Solarzelle erreicht einen Wirkungsgrad von 20,4% auf 125 × 125 mm^2 *p*-Typ Float-Zone Silicium
- Deaktivierung der lichtinduzierten Degradation
- Ortsabhängige Analyse der Serienwiderstände mit bildgebenden Verfahren
- Schädigungsfreies lokales Entfernen dielektrischer Passivierschichten auf Silicium durch Einführen eines Pikosekunden-Kurzpulslasers in industrierelevanter Prozesszeit von drei Sekunden für 125 × 125 mm^2 Solarzelle
- Niedersächsisches Forschungsprojekt mit Stiebel Eltron: Entwicklung einer industriell hocheffizienten Rückkontakt-Silicium-Solarzelle
- On-Laminat-Laserlöten von Solarzellenstrings/-modulen

Microwave-detected photoconductance decay (MW-PCD)
- *Infrared lifetime mapping (ILM)*
- *Quasi-steady-state photoconductance (QSSPC)*
- *Injection- and temperature-dependent lifetime spectroscopy (TIDLS)*
- *Capacitance-voltage analysis (CV)*
- *Deep-level transient spectroscopy (DLTS)*
- *Laser-beam-induced-current (LBIC)*
- *FTIR and UV/VIS spectrometry*
- *Spectral ellipsometry*
- *Light and scanning electron microscopy*
- *Electron-beam-induced current (EBIC)*
- *Energy-dispersive x-ray analysis (EDX)*
- *Camera-based photoluminescence*

Highlights

- *RISE-EWT solar cell achieves an efficiency of 21.6% on 92 cm^2 p-type float zone silicon*
- *RISE-EWT solar cell achieves an efficiency of 20.4% on 125 × 125 mm^2 p-type float zone silicon*
- *Deactivation of light induced degradation of O_2-rich p-type Czochralski silicon*
- *Spatial analysis of series resistances using imaging methods*
- *Introduction of a picosecond short pulse LASER allows locally removing dielectric passivation layers without damaging the underlying silicon in an industrially acceptable process time of three seconds on a 125 × 125 mm^2 sized solar cell*
- *Lower Saxony research project with Stiebel Eltron: Development of a industrially highly efficient back contact silicon solar cell*
- *On-laminate-lasersoldering of solar cell strings*

Abteilung Solarthermie

Forschungsthemen

- Analyse des Stagnationsverhaltens in großen thermischen Solaranlagen und Entwicklung von Konzepten zur Vermeidung von Stagnationsschäden
- Entwicklung innovativer Kollektorkonzepte mit dem Schwerpunkt "Hocheffizienzkollektoren"
- Entwicklung und Erprobung von Wärmeversorgungskonzepten unter Einbindung von Wärmepumpen und unabgedeckten Sonnenkollektoren
- Studien mit dem Simulationswerkzeug TRNSYS zur Optimierung thermischer Solaranlagen
- Entwicklung multifunktionaler Verglasungssysteme: Kombinierte Untersuchungen zur passiven Solarenergienutzung, sowie zur Blendungs- und Überhitzungsproblematik, Nutzungs- und Integrationsmöglichkeiten von Mikrostrukturen
- Ertragskontrollverfahren für solarthermische Anlagen
- Messtechnische Betreuung und energetische Analyse von solarthermischen Pilot- und Demonstrationsprojekten
- Entwicklung selektiver Absorptionsschichten für thermische Kollektoren hoher Betriebstemperatur

Dienstleistungen

- Normgerechte Prüfungen kommerzieller Solarkollektoren und Solaranlagen nach DIN EN 12975 und DIN EN 12976, Akkreditierung nach EN 17025 und Durchführung vollständiger Prüfungen für Solar Keymark
- Neu- und Weiterentwicklung von Kollektoren und weiteren Komponenten in Kooperation mit Industriepartnern
- Komponenten- und Systembewertungen im Außentest und unter Laborbedingungen mit zahlreichen Teststänen einschließlich mehrerer Sonnensimulatoren
- Entwicklungsbegleitende Studien mit numerischen Methoden
- Beschleunigte Alterungstests für selektive Absorptionsschichten gemäß dem sog. IEA Task X-Test, Salzsprühnebelprüfung gemäß DIN 50021

Apparative Ausstattung

- Wärmetechnisches Labor mit Kalibrierständen für Temperatur-, Durchfluss-, Solarstrahlungs- und Windgeschwindigkeitssensoren
- Optisches Labor für Transmissions- und Reflexionsmessungen direkt/direkt und direkt/hemisphärisch, spektral aufgelöst (UV-VIS-NIR-MIR) sowie spektrale Ellipsometrie
- Innenprüfstand mit Sonnensimulator („SUSI I"): Thermische Leistungsmessungen nach DIN EN 12975 und ISO 9806, Testfläche bis 3,2 m^2

Solar thermal department

Research topics

- *Analysis of stagnation behavior in large solar thermal systems and development of concepts to avoid stagnation induced damages*
- *Development of innovative collector concepts with emphasis on high efficiency collectors*
- *Development and test of concepts for heat supply systems with heat pumps and uncovered solar collectors*
- *Studies utilizing the simulation tool TRNSYS for the optimization of thermal solar systems*
- *Development of multi-functional glazing systems: Combined analysis of the passive solar energy use and the complex of glare and overheating problems, potential to apply and integrate microstructures*
- *Development of energy output control procedures for solar thermal systems*
- *Monitoring and energy analysis of solarthermal pilot and demonstration projects*
- *Development of selective absorber coatings for high temperature solar thermal collectors*

Services

- *Standard tests of commercial solar thermal collectors and solar thermal systems according to DIN EN 12975 and DIN EN 12976, test laboratory accreditation according to EN 17025 and realization of Solar Keymark tests*
- *New product development and enhancement of collector types and further system components, in cooperation with industry partners*
- *Component- and system-tests under outdoor and indoor conditions with numerous test facilities including several sun simulators*
- *Simulation studies for the scientific steering of industrial development projects*
- *Accelerated ageing tests for selective absorber coatings according to the so-called IEA Task X-procedure, salt spray chamber tests according to DIN 50021*

Equipment & facilities

- *Thermal laboratory with calibration equipment for temperature, mass flow rate, solar irradiance and wind speed sensors*
- *Optics laboratory for transmission and reflection measurements, direct/direct and direct/hemispherical, spectrally resolved (UV-VIS-NIR-MIR) as well as spectral ellipsometry*
- *Indoor test site with sun simulator ("SUSI I"): Thermal performance measurements according to DIN EN 12975 and ISO 9806, test area up to 3.2 m^2*

- Innenprüfstand mit Sonnensimulator („SUSI II"): Stagnations- und Haltbarkeitstests bei Einstrahlungswerten bis 1200 W/m^2, mit höherem UV-Anteil und höherer Betriebstemperatur verglichen mit „SUSI I"
- Zwei baugleiche Experimentierhäuser zur Durchführung von Komponenten- und Systemtests
- Drei Testdächer mit 160 m^2, 100 m^2 und 110 m^2 Nutzfläche, 38° Neigung und Südausrichtung: Gebrauchstauglichkeitsuntersuchungen an Kollektoren und Systemen mit Exposition und Stagnationsbelastung sowie Leistungsmessungen an Kollektoren mit sieben Kreisen bis maximal 10 m^2 und max. 175° C Wärmeträgertemperatur
- Nachführbarer Außenprüfstand für bis zu zwei Kollektoren: Thermische Leistungsmessungen nach DIN EN 12975, Testfläche maximal 12 m^2 mit exakter Sonnennachführung oder vorwählbarem Winkelfehler
- Systemtests an kompletten Solaranlagen nach DIN EN 12976 inklusive Systemleistungsbestimmung nach dem DST-Verfahren
- Prüfstand für Pumpen (Kennlinie, Temperaturbelastung) und für die Temperaturbelastung von Membran-Ausdehnungsgefäßen
- Klimakammer für Tests gemäß IEA Task X und Salzsprühnebelkammer
- Elektronenmikroskopie, EDX
- Hochauflösende Infrarot-Kamera für thermographische Analysen
- Meteorologische Messstation: Global- und Diffusstrahlung (horizontal), Globalstrahlung (45°, Süd), Lufttemperatur und -feuchte, Windgeschwindigkeit und -richtung

Glanzlichter

- Aufbauten neuer Prüfstände für Leistungs- und Gebrauchstauglichkeitsuntersuchungen an Hocheffizienzkollektoren
- Entwicklung eines Verfahrens zur Vorausberechnung der Anlagenbelastung in großen thermischen Solaranlagen
- Durchführung eines Abschlussworkshops zur Entwicklung des ISFH IOC-Verfahrens für die Funktions- und Ertragskontrolle thermischer Solaranlagen
- Verfügbarkeit von Seriengeräten für das IOC-Verfahren
- Optimierung von winkelselektiven Fassadenelementen: Entwicklung und Fertigung von Verglasungs-Prototypen mit integrierter Prismenfolie

- *Indoor test site with sun simulator ("SUSI II"): Tests of stagnation behavior and durability under an irradiance level of up to 1200 W/m^2, with higher UV fraction and operating temperature if compared to "SUSI I"*
- *Two identical experimental houses for tests of components and systems*
- *Three test roofs (160 m^2, 100 m^2 and 100 m^2 respectively), 38° inclination angle, facing south: Reliability tests on collectors and systems with regard to exposure and stagnation conditions as well as thermal performance measurements at solar collectors in 7 independent fluid circuits with a collector area of up to 10 m^2 and a maximum fluid temperature of 175° C*
- *Outdoor test site with two axis tracking platform: Thermal collector performance tests according to DIN EN 12975, maximum test area 12 m^2*
- *Tests on complete solar systems according to DIN EN 12976 including system performance determination based on the DST procedure*
- *Test rigs for pumps (characteristic, high-temperature tests) and for expansion vessels (high temperature tests)*
- *Climate chamber for tests according to IEA Task X-procedure and salt spray chamber*
- *Electron microscopy, EDX*
- *High-definition infrared camera for thermographic analyses*
- *Meteorological station for the measurement of global and diffuse solar irradiance (horizontal), global irradiation (45°, south), air temperature, precipitation, air-velocity and -direction*

Highlights

- *Design and construction of several test facilities for performance and reliability investigations at high efficiency solar collectors*
- *Development of a procedure for the predetermination of the thermal system load in large solar thermal systems*
- *Realization of knowledge dissemination workshop of the ISFH IOC method for the energy output surveillance and operation control of solar thermal systemsP*
- *Availability of industrial products using the IOC method*
- *Optimization of angle selective façade elements: Development and assembly of prototypes with double-pane glazing and integrated prismatic film*

Abteilung Photovoltaik

Photovoltaics department

Einfluss metallischer Verunreinigungen auf den Wirkungsgrad von Siliciumsolarzellen

Impact of metallic impurities on the efficiency of silicon solar cells

Mehr als 50% aller heute produzierten Solarzellen werden aus kostengünstigen multikristallinen Siliciumscheiben hergestellt. Die Qualität des im Blockgussverfahren hergestellten multikristallinen Siliciums wird maßgeblich durch den hohen Kontaminationsgrad mit metallischen Verunreinigungen bestimmt. Insbesondere findet man detektierbare Konzentrationen an Eisen (Fe), Chrom (Cr), Kupfer (Cu), Nickel (Ni), Kobalt (Co), Wolfram (W) und Gold (Au). Über den Einfluss der meisten dieser metallischen Verunreinigungen auf den Solarzellenwirkungsgrad ist jedoch nur wenig bekannt. Um diesen Einfluss besser zu verstehen, haben wir gezielt mit metallischen Verunreinigungen kontaminierte monokristalline Siliciumscheiben beider Leitungstypen mit Hilfe von Ladungsträgerlebensdauermessungen charakterisiert. Die Verunreinigungen wurden der Siliciumschmelze während des Kristallziehprozesses direkt hinzugesetzt und die Metallkonzentrationen wurden mittels Neutronenaktivierungsanalyse bestimmt.

Abb. 28 zeigt das Produkt der gemessenen Ladungsträgerlebensdauer und der Gesamtmetallkonzentration der jeweiligen Siliciumscheibe. Je kleiner dieses Produkt, desto schädlicher ist die metallische Verunreinigung in *p*- bzw. *n*-Typ Silicium.

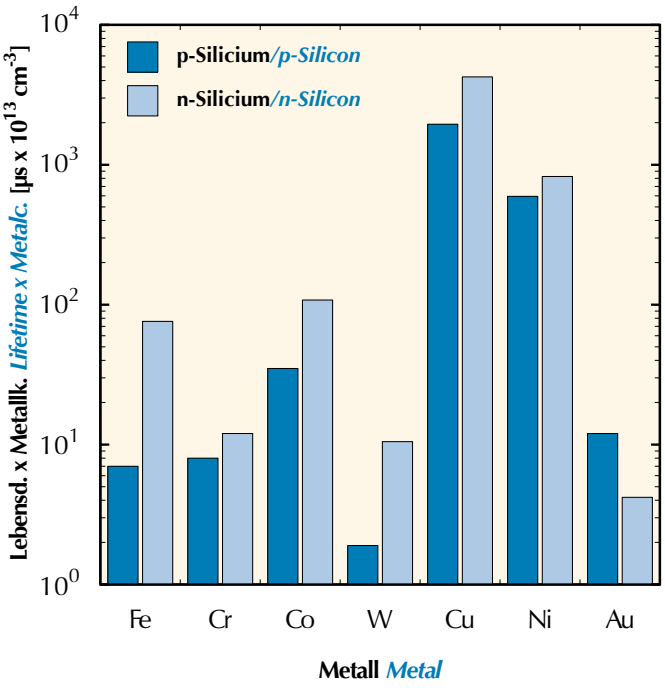


Abb. 28: Rekombinationsaktivität von Fe, Cr, Co, W, Cu, Ni und Au in gezielt kontaminiertem Silicium.
Fig. 28: Recombination activity of Fe, Cr, Co, W, Cu, Ni, and Au in deliberately contaminated silicon.

Wie Abb. 28 zu entnehmen ist, wirken einige Metalle (Fe, Co, W) erheblich schädlicher in *p*-Typ als in *n*-Typ Silicium. Cu und Ni zeigen lediglich einen geringfügigen Einfluss auf die Lebensdauer für Material beider Leitungstypen. Au ist die einzige Verunreinigung, die sich in Abb. 28 schädlicher in *n*- als *p*-Typ Silicium erweist, jedoch wird Gold in der Regel nur in sehr geringen Konzentrationen in kommerziellen Siliciummaterialien nachgewiesen. Dasselbe gilt auch für Wolfram. Stark ist der Einfluss von Chrom, das neben Eisen immer in hohen Konzentrationen in multikristallinem Silicium vorkommt.

Today more than 50% of all commercially-produced solar cells are made from cheap multicrystalline silicon wafers. The quality of this block-cast multicrystalline silicon depends largely on its high contamination level with metallic impurities. In particular, there are detectable concentrations of iron (Fe), chromium (Cr), copper (Cu), nickel (Ni), cobalt (Co), tungsten (W), and gold (Au). However, little is known about the impact of most of these metallic impurities on solar cell efficiency. In order to gain a better understanding of this impact, we characterized monocrystalline silicon wafers, which were intentionally contaminated with metallic impurities, by means of carrier lifetime measurements. The impurities were added directly to the silicon melt during the crystal growth process and the total metal concentrations were determined by neutron activation analysis.

Fig. 28 shows the product of the measured carrier lifetime and the total metal concentration of each silicon wafer. The smaller this product is, the more detrimental is the corresponding metallic impurity in p- and n-type silicon, respectively.

As can be seen from Fig. 28, some metals (Fe, Co, W) have much more detrimental effect on p-type than n-type silicon. Cu and Ni display only a minor impact on the carrier lifetime for both modes of conduction. Au is the only impurity in our study, which is more detrimental to n-type than p-type silicon. However, gold is generally only found in ultra-low concentrations in today's commercial silicon materials, as is also true for tungsten. Chromium also has a significant impact, which, in addition to iron, is usually present in relatively high concentrations in multicrystalline silicon. Importantly, as shown in Fig. 28, chromium is as detrimental to p-type as to n-type silicon. In boron-doped p-type silicon, Cr forms the defect pair CrB with the boron dopant atoms. In order to determine the defect parameters, i.e. the energy levels and capture cross sections for electrons and holes, of Cr in n-type silicon and CrB

Chrom erweist sich nach Abb. 28 als äußerst schädlich in *p*-Typ sowie in *n*-Typ Silicium. In bordotiertem *p*-Typ Silicium bildet Cr dabei mit den Bor-Dotieratomen das Defektpaar CrB. Um die Defektparameter, d.h. Energieniveaus und Einfangquerschnitte für Elektronen und Löcher, von Cr in *n*-Typ Silicium und CrB-Paaren in *p*-Typ Silicium mit verbesserter Genauigkeit zu bestimmen, haben wir die Kapazitätsspektroskopie sowie die temperatur- und injektionsabhängige Lebensdauerspektroskopie miteinander kombiniert[2].

Mit Hilfe numerischer Simulationsrechnungen wurde dann unter Verwendung der neu bestimmten Defektparameter der Einfluss von Cr und CrB-Paaren auf den Wirkungsgrad der in Abb. 29 dargestellten Solarzellenstruktur berechnet und mit dem Einfluss von Fe verglichen. Das Ergebnis ist für den Fall von *n*-Typ und *p*-Typ Silicium mit einem spezifischen Widerstand von 3 Ωcm in Abb. 30 dargestellt. Die Verminderung des Zellwirkungsgrades mit steigender Metallkonzentration beginnt bei unterschiedlichen Schwellwerten für die verschiedenen Verunreinigungen. In *n*-Typ Silicium ist die schädlichste Verunreinigung eindeutig Chrom. Bereits oberhalb einer Schwellwertkonzentration von nur 6×10^{10} cm^{-3} sinkt der Wirkungsgrad unter die 19%-Marke. Im Vergleich dazu liegt der entsprechende Schwellwert für Fe in Silicium bereits oberhalb 10^{12} cm^{-3}. Folglich sind Solarzellen aus *n*-Typ Silicium extrem empfindlich gegenüber Kontaminationen mit Cr, während sie relativ tolerant gegenüber Fe-Kontaminationen sind. In *p*-Typ Silicium ist Fe die schädlichere Verunreinigung, wie den gestrichelten Kurven in Abb. 30 zu entnehmen ist.

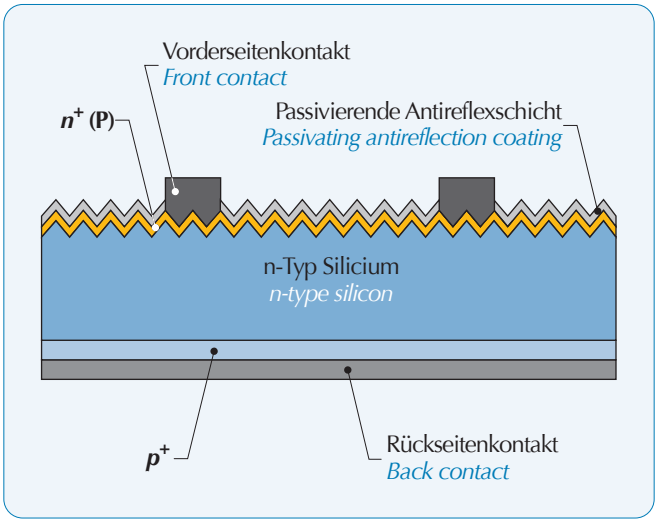


Abb. 29: Simulierte Solarzellenstruktur.
Fig. 29: Simulated solar cell structure.

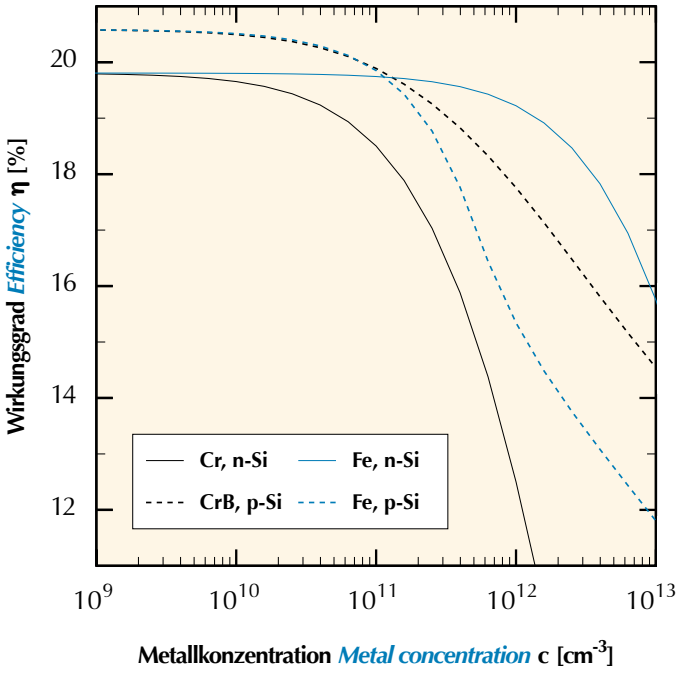


Abb. 30: Berechneter Wirkungsgrad als Funktion der Chrom- und der Eisen-Konzentration für die in Abb. 29 gezeigte Solarzellenstruktur.
Fig. 30: Simulated efficiency as a function of Chromium and Iron concentrations, respectively, for the solar cell structure shown in Fig. 29.

pairs in p-type silicon with improved accuracy, we have combined capacitance spectroscopy with temperature- and injection-dependent lifetime spectroscopy[2].

Using the newly-determined defect parameters, the impact of Cr and CrB pairs on solar cell efficiency was determined by means of numerical simulations of the solar cell structure shown in Fig. 29 and compared to the impact of Fe. Fig. 30 shows the results for n- and p-type silicon, respectively, with a resistivity of 3 Ωcm. The reduction in efficiency with an increasing metal impurity concentration starts at different impurity threshold concentrations. In n-type silicon, the most detrimental contamination is definitely Chromium, which reduces the efficiency to below the 19% level above a threshold concentration of only 6×10^{10} cm^{-3}. In comparison, the corresponding threshold concentration for Fe in silicon is greater than 10^{12} cm^{-3}. In consequence, solar cells made of n-type silicon wafers are extremely sensitive to Cr, whereas they are relatively tolerant to contamination with Fe. In p-type silicon, Fe is the more detrimental impurity, as can be seen from the broken curves in Fig. 30.

In conclusion, our analysis shows that multicrystalline n-type silicon has no fundamental advantage over standard p-type material. The superiority of n-type as opposed to p-type multicrystalline silicon material has often been postulated in recent years[3], however, the impact of chromium as one of the main contaminants in today's multicrystalline silicon has previously been neglected. For

2 Schmidt J., Krain R., Bothe K., Pensl G., Beljakowa S., Journal of Applied Physics, **102**, 123701, (2007)

2 *Schmidt J., Krain R., Bothe K., Pensl G., Beljakowa S., Journal of Applied Physics, **102**, 123701, (2007)*

3 *Cuevas A., Kerr M., Samundsett C., Ferrazza F., Coletti G., Applied Physics Letters, **81**, 4952, (2002)*

Zusammenfassend zeigt unsere Analyse, dass multikristallines *n*-Typ Silicium keinen fundamentalen Vorteil gegenüber dem üblicherweise verwendeten *p*-Typ Silicium besitzt. Die Überlegenheit von multikristallinem *n*-Typ Silicium wurde in den letzten Jahren häufiger postuliert,[3] jedoch ohne Berücksichtigung von Chrom als eine der Hauptverunreinigungen in heute erhältlichem multikristallinen Silicium. Für Solarzellen von dem in Abb. 29 gezeigten Typ zeigen unsere Simulationsrechnungen sogar, dass die Verwendung von *n*-Typ anstelle von *p*-Typ multikristallinem Silicium zu einer Verringerung im Solarzellenwirkungsgrad führt.

solar cells of the type shown in Fig. 29, our simulations clearly show that using n-type instead of p-type multicrystalline silicon would even lead to poorer cell performance.

3 Cuevas A., Kerr M., Samundsett C., Ferrazza F., Coletti G., Applied Physics Letters, **81**, 4952, (2002)

Jan Schmidt, Rafael Krain

Effektive Oberflächenpassivierung siebgedruckter Aluminium-dotierter p^+-Emitter für *n*-Typ Siliciumsolarzellen

Der Grund für die häufige Verwendung von *p*-Typ anstelle von *n*-Typ Silicium-Material in heutigen Solarzellenproduktionslinien ist der weit verbreitete und etablierte Prozess der Phosphordiffusion zur Herstellung des n^+-Emitters. Die p^+-Emitterherstellung bei *n*-Typ Solarzellen erfolgt bei Hocheffizienzsolarzellen über eine Bordiffusion oder einen Silicium-Heteroübergang. Beide Prozesse sind technologisch äußerst anspruchsvoll und werden daher selten eingesetzt. Die hohe Ladungsträgerlebensdauer von Czochralski *n*-Typ Silicium-Material ist ein wesentlicher Vorteil gegenüber dem standardmäßig eingesetzten *p*-Typ Silicium-Material. Große Lebensdauern sind eine wichtige Voraussetzung für das Erreichen höchster Wirkungsgrade.

Eine kostengünstige und industrienahe Alternative zur Bordiffusion, welche bereits bei der am ISFH entwickelten *n*-Typ Silicium-Solarzelle erfolgreich eingesetzt wurde, ist ein siebgedruckter rückseitiger Al-p^+-Emitter. Das für die Herstellung des Al-p^+-Emitters verwendete Verfahren, bei dem die Aluminium-Siebdruckpaste in einem Hochtemperatur-Feuerungsschritt einlegiert wird, ist ein industrielles Standardverfahren zum Herstellen des Rückseitenfeldes („back surface field", BSF) bei herkömmlichen *p*-Typ Silicium-Solarzellen.

Effective passivation of screen-printed aluminum-doped p^+-emitter surfaces for n-type silicon solar cells

The main reason for still using p-type instead of n-type silicon wafers in today's solar cell production is the very common and well-established phosphorus diffusion process for the production of the n^+-emitter. The emitter formation for the fabrication of high-efficiency laboratory n-type solar cells is based on boron diffusion or on a silicon heterojunction. Both processes are technologically extremely demanding and are therefore very uncommon in solar cell production lines. However, the very high and stable carrier lifetimes of n-type Czochralski-grown silicon are a major advantage compared to the typically used p-type silicon material. Very high carrier lifetimes are an indispensable prerequisite to achieving top-level solar cell conversion efficiency.

A cost-effective and industrially feasible alternative to the boron diffusion is a screen-printed rear-side Al-p^+-emitter, which has already been successfully used for the n-type silicon solar cell developed at ISFH. This technology is mainly used for the production of the back surface field (BSF) in conventional p-type silicon solar cells, where the Al-p^+-region is formed by a short high-temperature firing of the screen-printed aluminum-paste.

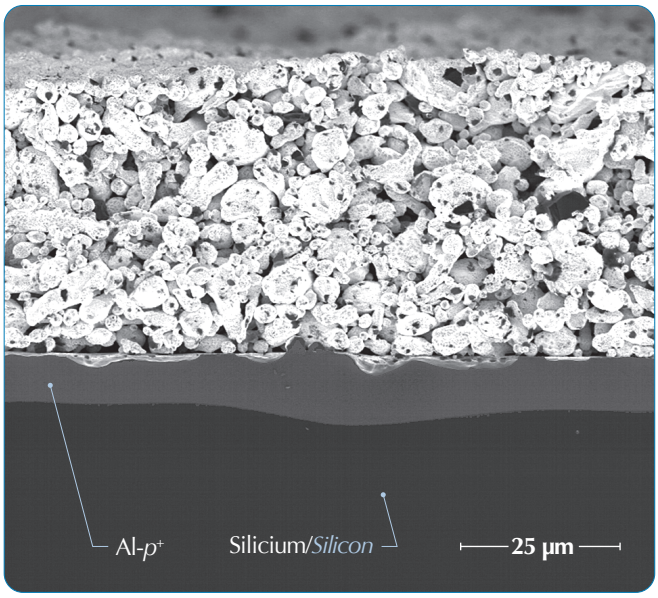


Abb. 31: Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme (REM) eines Al-p^+-Emitters im Querschnitt. Das Al-p^+-Gebiet erscheint als heller Potenzialkontrast unter der Aluminiumpaste. Der Emitter ist 8 µm tief.
Fig. 31: Scanning electron microscopy (SEM) image of a cross-section of an Al-p^+-emitter. Due to the potential contrast the Al-p^+-region appears as a bright strip below the Al-paste. The emitter depth is 8 µm.

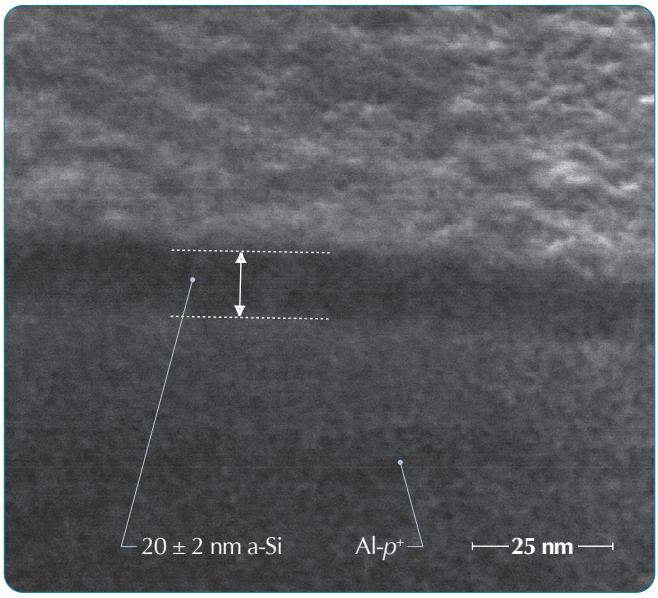


Abb. 32: Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme eines Al-p^+-Emitters im Querschnitt nach dem Abätzen der Al-Paste und Rückätzen des Emitters um ca. 3 µm. Die Oberfläche ist mit einer 20 nm dicken amorphen Silicium-Schicht passiviert.
Fig. 32: The SEM image of a cross-section of an Al-p^+-emitter after the residual Al-paste has been etched off and ~3 µm of the Al-p^+-emitter has been removed. The surface is passivated by a 20 nm thick a-Si layer.

Zur Vergrößerung des Wirkungsgrades einer Solarzelle ist die Passivierung rekombinationsaktiver Oberflächen unerlässlich. Wir haben deshalb ein effektives Verfahren für die Passivierung von siebgedruckten Aluminium-dotierten p^+-Emitteroberflächen für den Einsatz in *n*-Typ Silicium-Solarzellen entwickelt, bei dem mittels plasmaunterstützter chemischer Gasphasenabscheidung dünne Schichten amorphen Siliciums (a-Si) zum Passivieren abgeschieden werden.

Abb. 31 zeigt eine rasterelektronenmikroskopische Aufnahme eines Al-p^+-Emitters im Querschnitt unmittelbar nach dem Feuerschritt. Erkennbar ist der helle Potenzialkontrast des Al-dotierten p^+-Gebietes unterhalb der Al-Paste, die in Form heller Partikel erscheint. Die Emittertiefe wird aus dem REM-Bild zu rund 8 µm bestimmt. Die auf der Al-p^+-Oberfläche abgeschiedene 20 nm dicke a-Si-Schicht ist in Abb. 32 deutlich als dunkler Materialkontrast zu erkennen.

Das am ISFH entwickelte Passivierverfahren[4] basiert auf dem Abätzen der Al-Siebdruckpaste und dem Rückätzen des siebgedruckten Al-dotierten p^+-Gebietes. Abb. 33 zeigt das gemessene Dotierprofil eines siebgedruckten Al-p^+-Emitters mit einer Al-Konzentrationserhöhung an der Oberfläche. Diese Konzentrationserhöhung ist ungünstig für die Passivierung, so dass etwa 3 µm des Emitters abgeätzt und anschließend zur Passivierung mit a-Si beschichtet wurden.

4 Bock R., Schmidt J., Brendel R., Applied Physics Letters, **91**, 112112, (2007)

In order to increase the efficiency of n-type solar cells it is necessary to effectively passivate the surface of the screen-printed Al-p^+-emitter. For this reason, we have developed an effective passivation technique for screen-printed aluminum-doped p^+-emitter surfaces for use with n-type silicon solar cells, where the surface is passivated with a thin amorphous silicon (a-Si) layer applied by means of plasma-enhanced chemical vapor deposition (PECVD).

Fig. 31 shows a cross-sectional scanning electron microscopy image (SEM) of a screen-printed Al-p^+-emitter directly after high-temperature firing. Due to the potential contrast the Al-doped p^+-region is visible as a lighter strip below the Al-paste which appear as bright particles. The emitter-depth is determined from this SEM micrograph to be 8 µm. The PECVD-deposited 20 nm thick a-Si layer is shown in Fig. 32 and appears as a dark material contrast above the Al-p^+-surface.

The key issues of the passivation method[4] developed at ISFH are the removal of the residual Al-paste and the partial removal of the screen-printed Al-p^+-emitter. Fig. 33 shows a measured doping profile of a screen-printed Al-p^+-emitter with a clear concentration peak on the surface. This concentration peak hinders the passivation of the surface, thus about 3 µm of the emitter is removed prior to the a-Si layer deposition.

4 *Bock R., Schmidt J., Brendel R., Applied Physics Letters, **91**, 112112, (2007)*

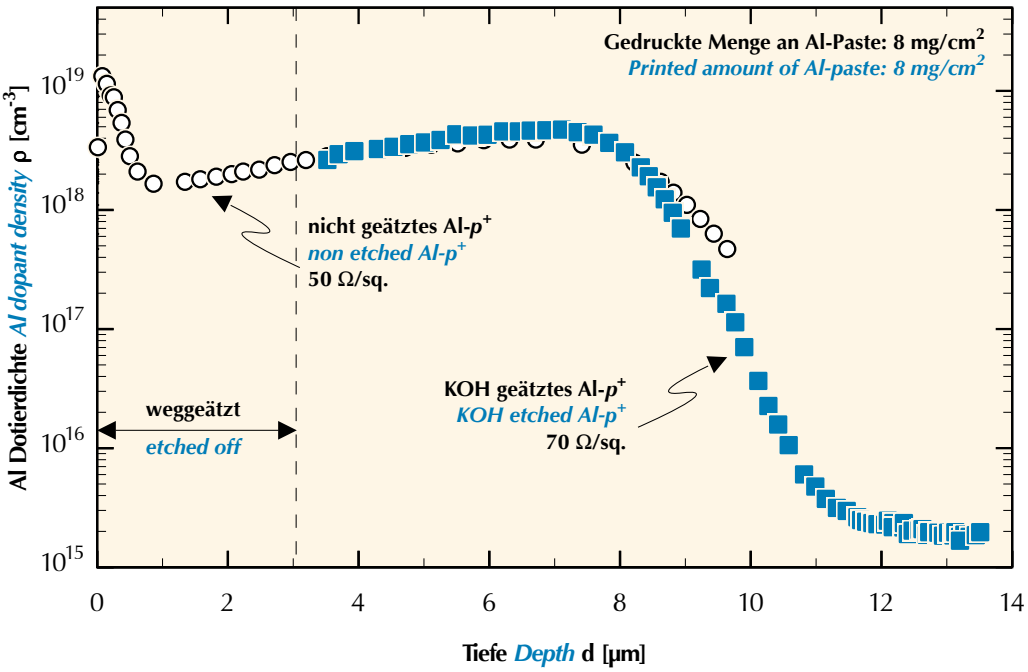


Abb. 33: Dotierprofile eines Al-p^+-Emitters vor und nach dem Rückätzen des Emitters. Etwa 3 µm des Siliciums wurden abgeätzt.
Fig. 33: Doping profiles of a screen-printed Al-p^+-emitter before and after etching in KOH. During the etching ~3 µm of the emitter is removed.

Zur Beurteilung der Passivierqualität dieser Schichten haben wir die Ladungsträgerlebensdauer mit der Photoconductance-Decay-Methode (PCD) gemessen und aus diesen Daten die Sättigungsstromdichte J_{0e} bestimmt. Abb. 34 zeigt die inverse effektive Ladungsträgerlebensdauer $1/\tau_{eff}$ als Funktion der Überschussladungsträgerdichte Δn für eine nicht passivierte, eine mit a-Si passivierte und eine passivierte und getemperte Al-p^+-Emitteroberflä-

We quantified the degree of passivation by measuring the carrier lifetime with the photoconductance decay method (PCD) and extracting the saturation current density J_{0e} from this data. Fig. 34 shows the inverse effective carrier lifetime $1/\tau_{eff}$ as a function of the excess carrier density Δn measured on an non-passivated, a passivated and a passivated and subsequently annealed Al-p^+-emitter surface. A significant reduction of the saturation current

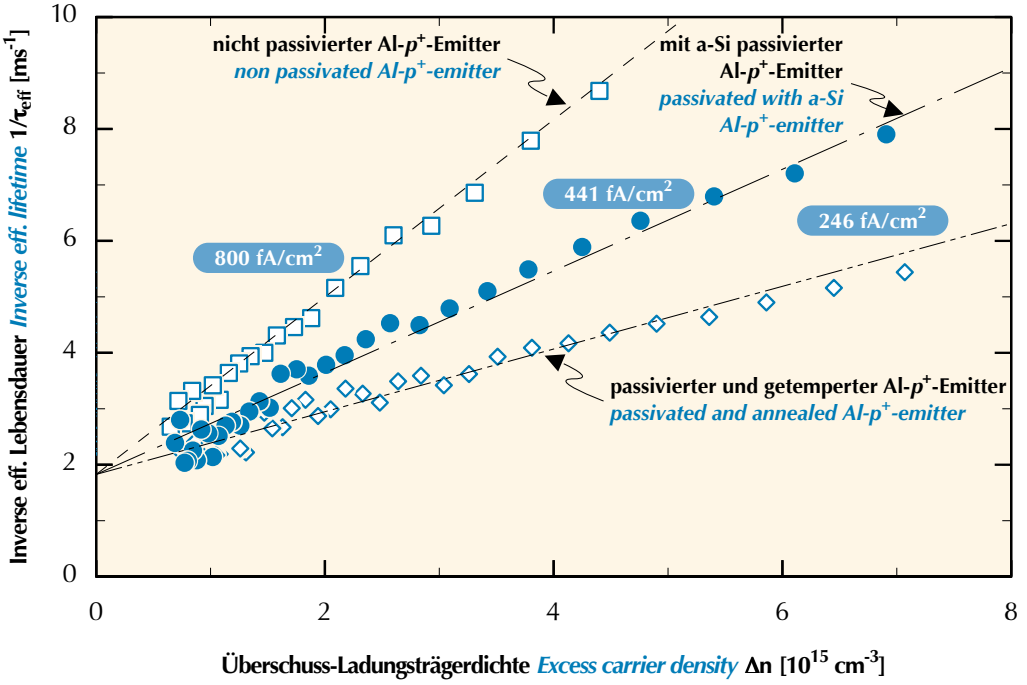


Abb. 34: Gemessene inverse effektive Ladungsträgerlebensdauer $1/\tau_{eff}$ als Funktion der Überschussladungsträgerdichte Δn von asymmetrischen Teststrukturen mit Al-p^+-Emitter auf der Rückseite. Die Vorderseite des Wafers ist mit Siliciumnitrid passiviert.
Fig. 34: Inverse effective lifetime $1/\tau_{eff}$ as a function of the excess carrier density Δn measured from asymmetric test structures with the Al-p^+-emitter on the rear side of the wafer. The front side is well passivated with silicon nitride.

che. Eine erhebliche Minderung der Sättigungsstromdichte von 800 fA/cm^2 auf 441 fA/cm^2 wurde durch die Passivierung der Emitteroberfläche erreicht. Nach dem Temperschritt bei 300° C wurde die bisher geringste Sättigungsstromdichte für einen siebgedruckten Al-p^+-Emitter von nur 246 fA/cm^2 gemessen.

Abb. 35 zeigt das Verhalten der Passivierschichten während des Temperns bei 300° C. Die Sättigungsstromdichte nimmt fortlaufend ab, bis eine minimale Sättigungsstromdichte von 246 fA/cm^2 nach 10 min Tempern erreicht wird. Diese geringe

density from 800 fA/cm^2 to 441 fA/cm^2 was achieved by the a-Si surface passivation. After the annealing step at 300° C the saturation current density decreased further to only 246 fA/cm^2. The measured saturation current densities are the lowest achieved so far for a simple screen-printed Al-p^+-emitter.

Fig. 35 shows the behavior of the passivating layers during annealing at 300° C. The saturation current density decreases with increasing annealing time until the minimal saturation current density of 246 fA/cm^2 is measured after 10 min of annealing. This

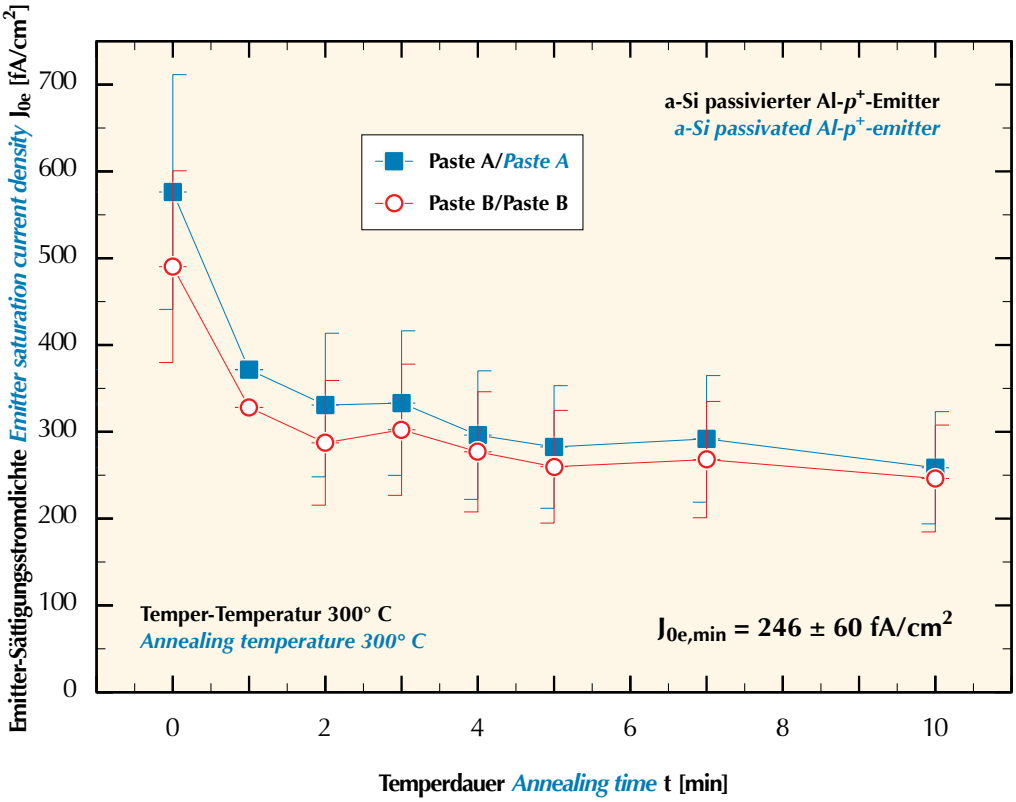


Abb. 35: Abhängigkeit der Sättigungsstromdichte von der Temperdauer bei 300° C. Nach 10 min bei 300° C konnte eine minimale Sättigungsstromdichte von 246 fA/cm^2 gemessen werden, was einer Solarzellen-Leerlaufspannung von 670 mV entspricht.

Fig. 35: Impact of the annealing time at 300° C on the saturation current density J_{0e}. After an annealing period of 10 min at 300° C a very low saturation current density of 246 fA/cm^2 is achieved, corresponding to an implied open-circuit voltage of 670 mV.

Sättigungsstromdichte impliziert eine sehr hohe Leerlaufspannung von 670 mV, welche eine Solarzelle mit derart prozessiertem Emitter erreichen kann. Der neu eingeführte passivierte Al-p^+-Emitter ermöglicht Zellwirkungsgrade von über 20% bei *Verwendung von n*-Typ Silicium Basismaterial.

Die vorliegenden Ergebnisse zeigen, dass der kostengünstige und technologisch einfacher herzustellende siebgedruckte Al-p^+-Emitter von sehr hoher elektronischer Qualität ist und sich als Alternative zur technologisch anspruchsvollen Bordiffusion für die Herstellung hocheffizienter *n*-Typ Silicium-Solarzellen anbietet.

low saturation current density corresponds to a very high implied open-circuit voltage of 670 mV which can be achieved for a solar cell where the introduced passivation method has been implemented. Hence, the newly-introduced passivated Al-p^+-emitter enables cell efficiencies above 20% on n-type silicon material.

The results of these experiments show that the industrially-feasible and technologically-simple screen-printed Al-p^+-emitter is of very high electronic quality. Moreover, we conclude that the screen-printed Al-p^+-emitter can be used as an alternative to the technologically-demanding boron diffusion for the manufacture of high-efficiency n-type solar cells.

Robert Bock, Jan Schmidt

Verlustanalyse von hocheffizienten RISE-EWT-Silicium Wafersolarzellen

Der Hocheffizienzansatz in der Photovoltaik verfolgt das Ziel, die Herstellungskosten für Solarmodule durch die Verminderung von flächenproportionalen Kosten unter anderem durch die möglichst effiziente Ausnutzung des teuren Basismaterials Silicium zu verringern.

Loss analysis of highly efficient RISE-EWT silicon wafer solar cells

The main objective of the high-efficiency approach to silicon photovoltaics is the reduction of production costs of solar modules by decreasing costs proportional to their area and thereby increasing energy conversion efficiency.

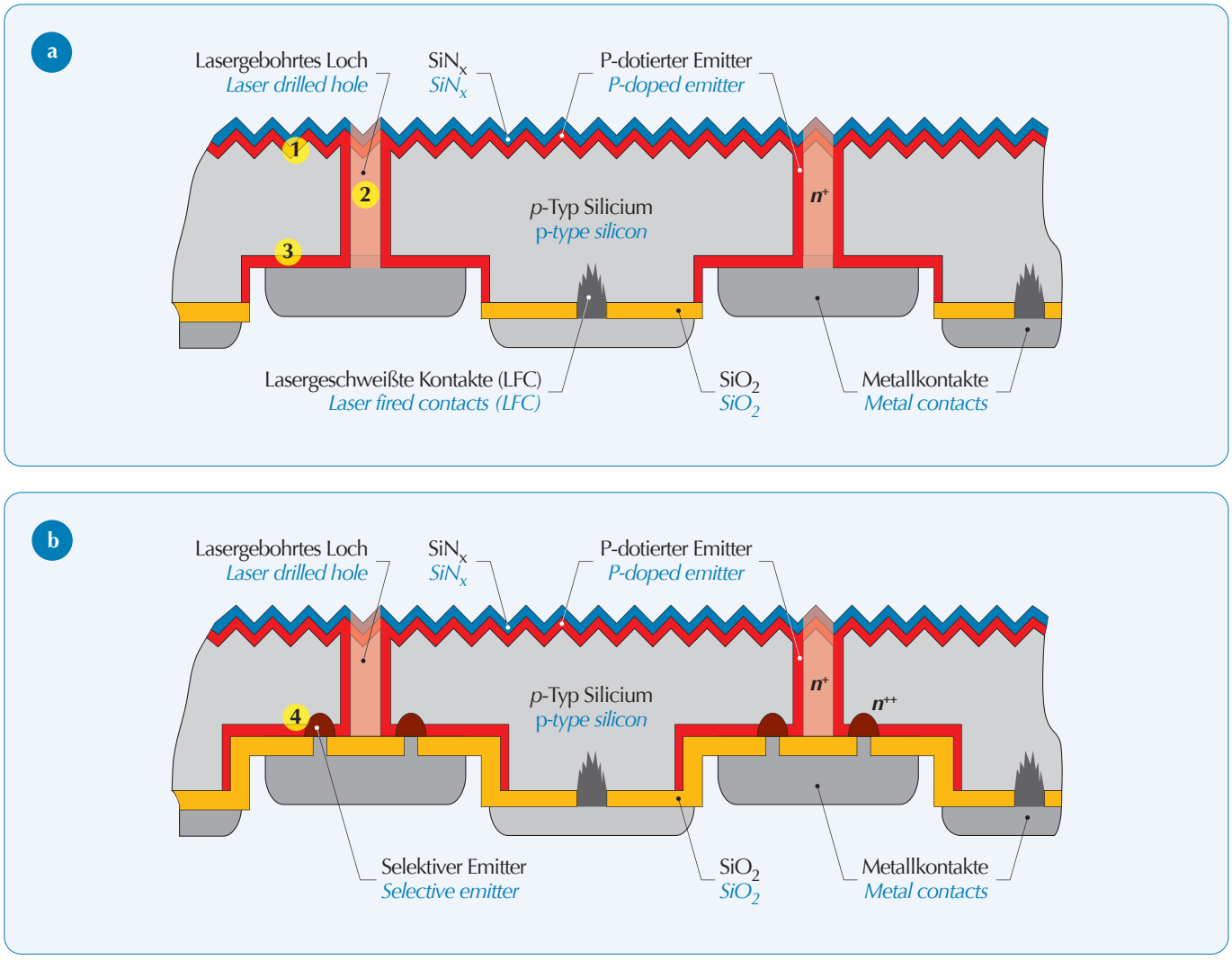


Abb. 36: Querschnitt (a) der „Basis"-RISE-EWT Solarzelle I und der Variation II mit derselben Zellstruktur, aber verschiedenen Emitterprofilen. Die untere Abbildung (b) stellt Variation III mit ganzflächiger Rückseiten-SiO_2-Passivierung einschließlich lokaler Kontaktöffnungen und selektiver Emitterdiffusion dar. Die Nummern 1–4 kennzeichnen die Bereiche des Vorderseiten- (1) Rückseiten- (3) und selektiven Emitters (4) sowie des Emitters in den EWT-Löchern (2).

Fig. 36: Cross section (a) of the standard RISE-EWT solar cell I and variation II with the same cell structure, but different emitter profiles. The lower cross-sectional diagram (b) shows variation III of the same cell concept, but with full rear oxide passivation, including local emitter contact openings and selective emitter diffusion. Labels 1–4 mark the different regions of the emitter: (1) textured and SiN_x-passivated front surface, (2) EWT-holes, (3) rear emitter and (4) selective emitter beneath the metal contacts.

Die Arbeitsgruppe „Silicium-Wafersolarzellen“ hat mit der rückkontaktierten RISE-Solarzelle ein Zellkonzept entwickelt, mit dem hohe Wirkungsgrade bei industrietauglichen und vor allem kostengünstigen Herstellungsprozessen realisierbar sind. Die RISE-EWT (**R**ear **I**nterdigitated **S**ingle **E**vaporation – **E**mitter **W**rap-**T**hrough) Solarzelle weist einen ganzflächigen Vorderseitenemitter auf, der durch lasergebohrte und Phosphor-diffundierte Löcher mit dem kontaktierten Rückseitenemitter verbunden ist. Der Basisprozess zur Herstellung dieser Zelle beinhaltet eine Phosphordiffusion und eine thermische Oxidation und weist damit nur zwei Hochtemperaturschritte auf.

Durch die Integration von typischen Hocheffizienzmerkmalen, wie lokalen Kontaktöffnungen, selektiven Emitterdiffusionen und einer ganzflächig SiO_2-passivierten Rückseite werden verbesserte Leerlaufspannungen V_{oc} und Wirkungsgrade von bis zu 21,6% auf einer beleuchteten Zellfläche von 92 cm^2 erreicht.

Um die Gründe für die verbesserten Spannungen zu verstehen, wird die Gesamtsättigungsstromdichte $J_{0,tot}$ in drei verschiedenen Solarzellen des Typs „I“, „II“ und „III“ (vgl. Abb. 36 und Tab. 1) untersucht. Sättigungsstromdichten sind Verluströme, welche durch Rekombination der Ladungsträger im Volumen oder an den Oberflächen auftreten. Die Einzelbeiträge J_0 werden dabei durch die Charakterisierung von Teststrukturen bestimmt, die gleichzeitig mit den Solarzellen prozessiert werden, so dass Topographie, Diffusionsprofil und Passivierung der Oberflächen denen in den Bereichen 1-4 der Zellen (Abb. 36) entsprechen.

Die Optimierung der Diffusionsprofile in den Emitterbereichen 1-4 hinsichtlich der Oberflächendotierkonzentration ermöglicht die Reduzierung der Rekombinationsströme im Vorderseitenemitter $J_{0e,f}$, im Rückseitenemitter einschließlich der metallisierten Bereiche $J_{0e,r}$ und in den diffundierten Löchern $J_{0e,hole}$. Die Beiträge des Wafervolumens $J_{0,vol}$ und der Basisoberfläche $J_{0,b}$ bleiben hingegen bei allen drei Zellvariationen gleich. Sämtliche fünf, entsprechend der Zellfläche gewichteten Beiträge wie auch die Summe aus den gewichteten Anteilen $J_{0,tot}$ sind in Abb. 37 dargestellt.

Damit können Aussagen bezüglich der Hauptverlustmechanismen in den Zellvariationen getroffen werden. Demnach weist die „Basis“-RISE-EWT Solarzelle I (■ in Abb. 37) mit einem Gesamtsättigungsstrom von $J_{0,tot}$ = 790 fA/cm^2 im Vergleich zu den Zellvariationen II und III die größten Rekombinationsverluste auf. Dominiert werden die Verluste in dieser Zelle durch die Beiträge von Vorder- und Rückseitenemitter $J_{0e,f}$ und $J_{0e,r}$.

*In the Silicon wafer cell“ group, the back-contacted RISE solar cell concept was developed, enabling high energy conversion efficiencies with industrially feasible and cost-effective manufacturing processes. The RISE-EWT (**R**ear **I**nterdigitated **S**ingle **E**vaporation – **E**mitter **W**rap-**T**hrough) solar cell has a full-area front emitter which is electrically connected to the rear emitter by laser-drilled and phosphorous-diffused holes. The basic manufacturing sequence of this solar cell includes one phosphorous diffusion and one thermal oxidation and therefore only two high-temperature process steps.*

By incorporating typical features of high-efficiency solar cells, such as: local contact openings, selective emitter diffusions and full-area rear-side-passivating SiO_2 into the basic cell concept, increased open-circuit voltages and energy conversion efficiencies of up to 21.6% on an illuminated cell area of 92 cm^2 can be achieved.

Tab. 1: Emitterschichtwiderstände der Zellvariationen I–III. Die Emitterbereiche 1–4 sind in Abb. 36 dargestellt.

Tab. 1: Equivalent emitter sheet resistances of cell variations I, II and III. The locations of the emitter regions 1–4 are depicted in Figure 36.

Zelle / *Cell*	Typ / *Type*	R_{sheet} [W/sq.] im Emitter/*in emitter* Region/*Region*			
		1	2	3	4
I	Bild 36a	40	40	40	--
II	Bild 36a	100	40	40	--
III	Bild 36b	40	40	40	20

In order to understand the physical basis of the improved V_{oc}, the total saturation current density $J_{0,tot}$ of three different solar cell variants “I”, “II” and “III” (Fig. 36 and Tab. 1) is investigated. Saturation current densities are current losses due to the recombination of charge carriers in the volume or the surfaces of the cells. We therefore separately determine the saturation current densities J_0 of the surfaces of simulaneously prepared symmetrical test structures that mimic the various surface regions 1-4 (Fig. 36) concerning their topography, passivation and diffusion profiles.

Optimizing the diffusion profiles in the different emitter regions 1-4 in the cells concerning surface doping concentration leads to a reduction of recombination currents in the front emitter $J_{0e,f}$, the rear emitter including the metallized areas $J_{0e,r}$ and in the phosphorous-diffused holes $J_{0e,hole}$. However, the contributions of wafer volume $J_{0,vol}$ and the base surface $J_{0,b}$ remains the same for all three cell variants I–III. All five area-weighted J_0 contributions and the sum of the weighted fractions $J_{0,tot}$ are plotted in Fig. 37.

In this way it is possible to determine the main loss mechanisms in the cell variants. According to this the basic RISE-EWT solar cell I (■ in Fig. 37) with a total saturation current of $J_{0,tot}$ = 790 fA/cm^2 compared to the cell variants II and III displays the highest recombination losses. These losses are dominated by the contributions of the front and rear emitters $J_{0e,f}$ and $J_{0e,r}$.

Solar cell II (■ in Fig. 37) displays an approximately 37% lower $J_{0,tot}$ of 500 fA/cm^2. The decrease in recombination losses is due to a more lightly doped front emitter, equivalent to a sheet resistance of 100 Ω/sq. compared to 40 Ω/sq. in the case

Zelle II (in Abb. 37) weist bereits ein um 37% reduziertes $J_{0,tot}$ von 500 fA/cm^2 auf. Die Verminderung der Rekombinationsverluste ist auf den leichter dotierten Vorderseitenemitter zurückzuführen, der einem Schichtwiderstand von 100 Ω/sq. im Vergleich zu 40 Ω/sq. im Fall von Zelle I entspricht und zu einem deutlich reduzierten Rekombinationsstrom ($J_{0e,f}$) führt. Der geringste Rekombinationsstrom von 260 fA/cm^2 fließt in Zelle III (in Abb. 37).

Die SiO_2-Passivierung des Rückseitenemitters und der selektive Emitter unter den Emitterkontakten führen zu einem deutlich verminderten Rekombinationsstrom ($J_{0e,r}$) im Vergleich zu den Zellen I und II. Zusätzlich führt die hohe Oxidationstemperatur dazu, dass die eindiffundierten Phosphoratome weiter in den Wafer hineindiffundieren, wodurch sich die Oberflächendotierkonzentration absenkt. Das führt zu einer verringerten effektiven Oberflächenrekombinationsgeschwindigkeit und folglich zu verringerten $J_{0e,r}$, $J_{0e,f}$ und $J_{0e,hole}$-Werten. Entsprechend der Verlustanalyse verhalten sich die Leerlaufspannungen und Wirkungsgrade der verschiedenen Zellen (Tab. 2).

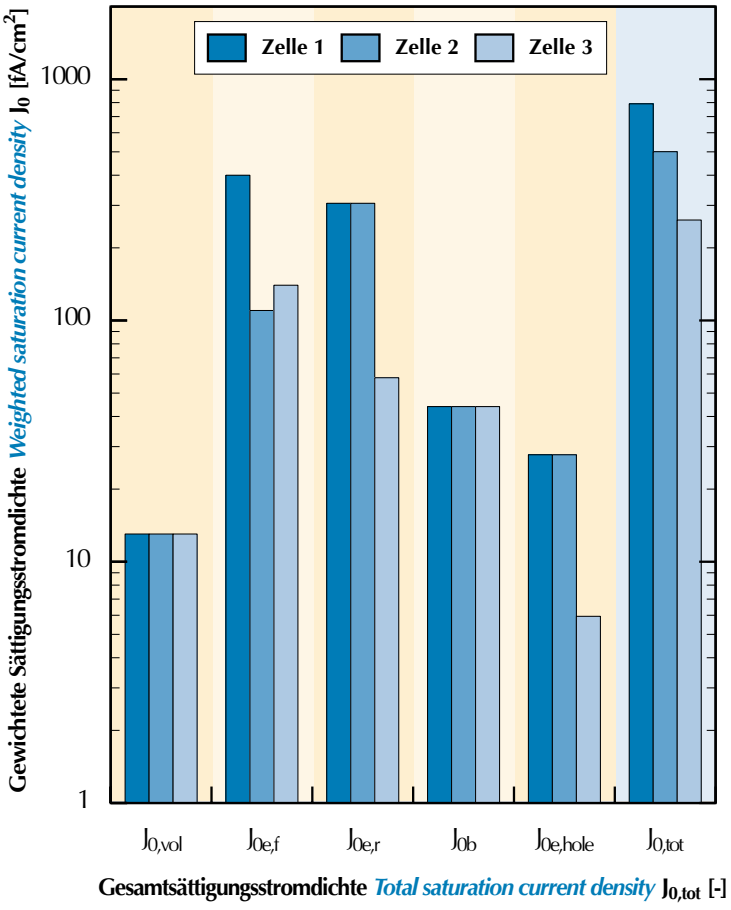


Abb. 37: Flächengewichtete Anteile der verschiedenen Zellregionen zur Sättigungsstromdichte J_0 der Zellvariationen I-III. Der Wert $J_{0,tot}$ ist dabei die Summe der fünf nach Zellflächenanteil gewichteten J_0-Werte.

Fig. 37: Contributions of different cell regions to the saturation current densities J_0 of cell variations I-III. The J_0-values depicted are weighted values of the saturation currents measured on separate test structures. The value $J_{0,tot}$ is the sum of the five individual (weighted) J_0 values.

Aufgrund dieser Zellcharakterisierung konnte eine RISE-EWT Solarzelle mit einem Wirkungsgrad von 21,6% und einer Leerlaufspannung von 678 mV auf einer beleuchteten Fläche von 92 cm^2 hergestellt werden. In dieser Zelle sind eine ganzflächige Rückseitenpassivierung, lokale Kontaktöffnungen und hochdotierte Emitterbereiche unter den Metallkontakten und in den EWT-Löchern implementiert. Die gemessene *I/U*-Kennlinie der Zelle ist in Abb. 38 gezeigt.

Zelle *Cell*	A [cm^2]	η_a [cm^2]	FF [%]	V_{oc} [mV]	J_{sc} [mA/cm^2]
I	92	20	77,3	637	40,6
II	92	20,6	77,5	647	41,1
III	92	21,4	77,1	668	41,5

Tab. 2: Leerlaufspannungen und Wirkungsgrade der Zellvariationen I–III, gemessen auf 92 cm^2 beleuchteter Fläche.

Tab. 2: Open circuit voltages V_{oc} and conversion efficiencies of cell variations I–III on 92 cm^2 illuminated cell area.

of cell I, which produces the markedly reduced recombination current $J_{0e,f}$. The lowest recombination current of 260 fA/cm^2 occurs in solar cell III (in Fig. 37).

The SiO_2-passivation of the rear emitter and the selective emitter beneath the emitter contacts leads to a markedly reduced recombination current $J_{0e,r}$ compared to cells I and II. In addition, the high oxidation temperature leads to a further penetration of the diffused phosphor atoms into the silicon wafer whereby the surface dopant concentration is decreased. This leads to a reduced effective surface recombination velocity and therefore the Figures for the $J_{0e,r}$, $J_{0e,f}$ und $J_{0e,hole}$ are also reduced. The open circuit voltages and conversion efficiencies of cells I–III (Tab. 2) behave according to this loss analysis. On the basis of this solar cell characterization, a RISE-EWT solar cell was manufactured with an energy conversion efficiency of 21.6% and an open circuit voltage of 678 mV on an illuminated cell area of 92 cm^2. This cell includes full-area rear passivation, local contact openings and highly-doped emitter regions beneath the metal contacts and in the EWT-holes. The measured I/V-characteristic of this cell is shown in Fig. 38.

The results achived show the high-efficiency potential of the RISE-EWT solar cell and display absolute record efficiencies for the field of EWT solar cells. The developed manufacturing processes enable the cost-effective production of highly efficient

Die erzielten Ergebnisse zeigen das Hocheffizienzpotenzial der RISE-EWT Solarzelle und stellen im Bereich der EWT-Zellen absolute Rekordwirkungsgrade dar. Die für die Herstellung entwickelten Prozesse ermöglichen das kostengünstige Herstellen hocheffizienter Siliciumsolarzellen und die Überführung des Zellkonzepts in eine industrielle Pilotfertigung.

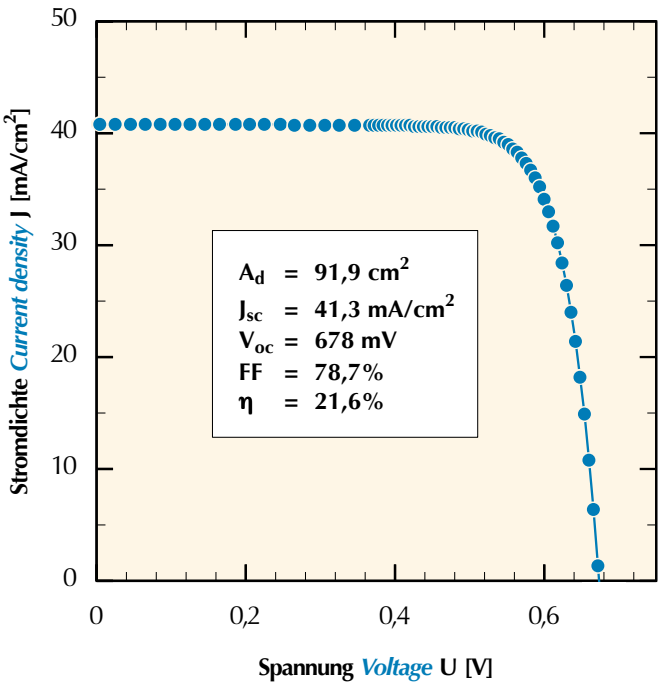


Abb. 38: *I/U*-Kennlinie einer RISE-EWT Solarzelle

Fig. 38: I/V-characteristics of a RISE-EWT silicon solar cell.

silicon solar cells and the transfer of the cell concept to pilot industrial production.

Sonja Hermann, Nils-Peter Harder

Optisches Modell zur Beschreibung eines Rückseitenreflektors aus gesintertem porösen Silicium

Der am ISFH bearbeitete Dünnschichtprozess[5] (PSI, **p**oröses **S**ilicium-**P**rozess) erlaubt die Herstellung einkristalliner Silicium-Solarzellen, die mit einer Dicke unter 30 µm erheblich dünner sind als konventionelle Wafer-basierte Solarzellen mit rund 200 µm Dicke. Dadurch kann der Verbrauch an teurem Siliciummaterial pro Watt Nennleistung drastisch verringert werden. Aufgrund ihrer geringen Dicken benötigen PSI-Solarzellen zum Photoneneinfang Strukturen, die als Lichtfallen dienen und die Absorption in der Solarzelle erhöhen, beispielsweise texturierte Oberflächen.

Beim PSI-Prozess dient eine Schicht aus gesintertem porösem Silicium (SPS, **s**intered **p**orous **s**ilicon) als Sollbruchstelle, die das Ablösen einer wenige Mikrometer dicken, homoepitaktisch aufgewachsenen Siliciumschicht vom Wachstumssubstrat ermöglicht. Hierbei verbleiben Reste des porösen Siliciums an der Rückseite der späteren Solarzelle, wie Abb. 39 zeigt. Diese poröse Schicht ist mit Poren durchsetzt, deren Durchmesser im Bereich von 10 nm bis 100 nm liegt. Licht, das beim ersten

5 Brendel R.: *A novel process for ultrathin monocrystalline silicon solar cells on glass*, Proc. 14th European Photovoltaic Solar Energy Conference, 1354-1357, (1997)

Optical model of sintered porous silicon on the rear of PSI solar cells

*The silicon thin film process[5] worked on at ISFH (PSI, **P**orous **S**ilicon **P**rocess) permits the manufacture of monocrystalline silicon solar cells of a thickness of less than 30 µm. Since these cells are much thinner than conventional wafer-based solar cells with a thickness of about 200 µm, the silicon consumption per Watt peak-power can be drastically reduced. As a result of their reduced thickness PSI solar cells do need appropriate light trapping structures, e.g. textured surfaces to enhance absorption in the solar cell.*

*A layer of sintered porous silicon (SPS, **s**intered **p**orous **s**ilicon) serves as a predetermined breaking point, for the lift off of a thin homo-epitaxially-grown, silicon film from the growth substrate. Residues of the porous silicon are left on the rear of the later solar cell as shown in Fig. 39. This porous layer consists of pores with a diameter in the range of 10 nm to 100 nm. Light that is not absorbed during the first passage through the solar cell can be diffusely scattered by the pores as illustrated in Fig. 39. A large proportion of these diffusely scattered photons is*

5 *Brendel R.: A novel process for ultrathin monocrystalline silicon solar cells on glass, Proc. 14th European Photovoltaic Solar Energy Conference, 1354-1357, (1997)*

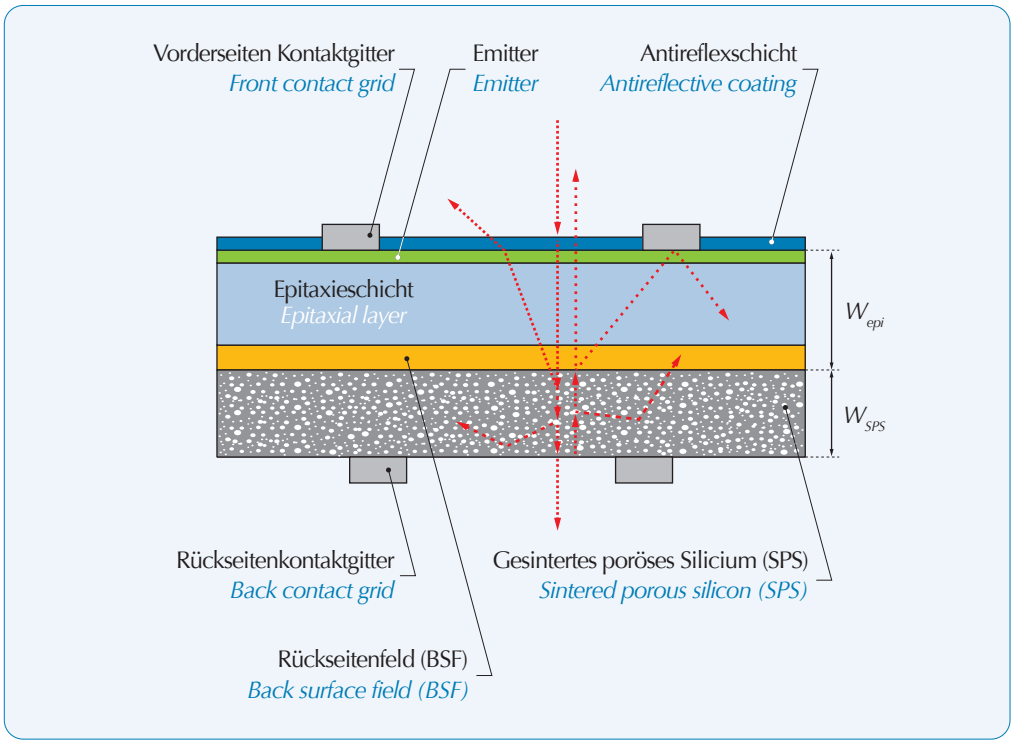


Abb. 39: Schematische Darstellung der Streuung in PSI-Solarzellen mit einem SPS-Rückreflektor. Das hier entwickelte optische Modell beschreibt, wie einfallendes Licht an den Poren der rückseitigen SPS-Schicht gestreut wird und sich anschließend diffus in der Solarzelle ausbreitet.

Fig. 39: Schematic representation of light scattering in PSI solar cells with an SPS back reflector. The optical model developed at ISFH describes how the incident light is scattered on the pores of the rear SPS layer and subsequently spreads within the solar cell.

Einfall in die Solarzelle nicht absorbiert wird, kann an den Poren diffus gestreut werden, wie Abb. 39 verdeutlicht. Ein großer Teil dieser diffus gestreuten Photonen verbleibt aufgrund von Totalreflexion in der Solarzelle und wird entweder erneut gestreut oder absorbiert. Die dadurch erzielte Verlänge-

trapped within the solar cell by total reflectance. These photons may be scattered again or be absorbed. Scattering enhances the mean optical path length of the photons and leads to a higher absorption and thus permits higher efficiencies. The understanding of such multiple scattering events is the basis for

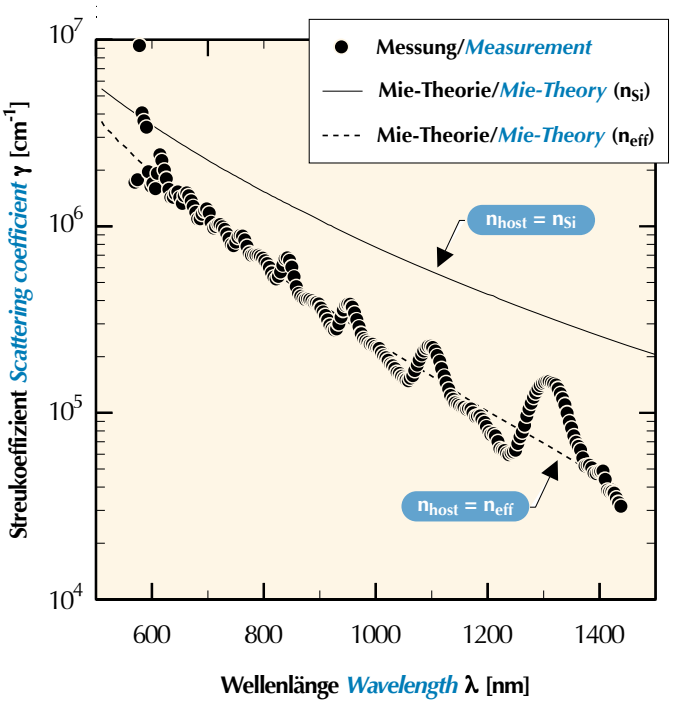


Abb. 40: Der nach der Mie-Theorie berechnete (—) und gemessene (●) Streukoeffizient γ einer freitragenden SPS-Probe. Die Verwendung eines reduzierten, effektiven Brechungsindex n_{eff} für das umgebende Host-Medium führt zu besserer Übereinstimmung als die Verwendung des Brechungsindex n_{Si} von Silicium. Hier wurde für n_{eff} der aus Messungen der direkten Reflexion und Transmission bestimmte Brechungsindex verwendet. Die Oszillationen in der Messkurve rühren von Interferenzen in den gemessenen Spektren her.

Fig. 40: The scattering coefficient γ of a free-standing SPS-sample measured (●) and calculated applying Mie theory (—). Using a reduced effective refractive index n_{eff} for the surrounding host medium instead of the refractive index of silicon n_{Si} gives a better agreement. n_{eff} was determined from the refractive index from measured direct reflection and transmission curves. The oscillations in the measured data of the scattering coefficient result from interference in the measured spectra.

rung der mittleren Weglänge der Photonen führt zu höherer Absorption und ermöglicht somit höhere Wirkungsgrade. Das Verständnis solcher mehrfachen Streuprozesse bildet die Grundlage für die Optimierung der Lichteinkopplung in PSI-Solarzellen durch Streuung. Zu diesem Zweck wurde ein optisches Modell entwickelt, das die oben genannten Vorgänge in PSI-Solarzellen beschreibt.

Da die Poren in SPS eine nahezu sphärische Form aufweisen, ist die Verwendung der Mie-Streutheorie[6] zur Beschreibung der auftretenden Lichtstreuung nahe liegend. Allerdings betrachtet die Mie-Theorie lediglich ein einzelnes Streuzentrum. Die Poren im SPS sind jedoch nicht isoliert, sondern eng benachbart mit einem Abstand, der in der Größenordnung des Porendurchmessers liegt. Unsere Ergebnisse zeigen, dass der Einfluss umgebender Poren auf die Streuung im Rahmen der Mie-Theorie berücksichtigt werden kann. Dies geschieht, indem für die Berechnung der Streueffizienz ein effektiver, durch die poröse Struktur verringerter Brechungsindex für das Streuzentrum (Pore) umgebende Medium angesetzt wird. Der so berechnete Streukoeffizient zeigt eine gute Übereinstimmung mit gemessenen Werten, die aus einer Analyse der direkten, d.h. der gerichteten Reflexion und Transmission freitragender SPS-Schichten gewonnen wurden (Abb. 40).

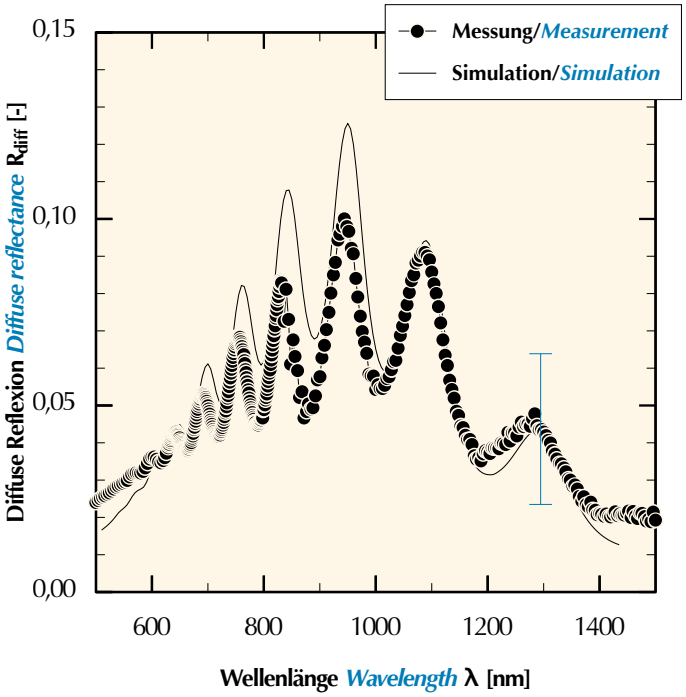


Abb. 41: Die mit dem optischen Modell simulierte (—) und gemessene (●) diffuse Reflexion einer 1 µm dicken freitragenden SPS-Schicht. Die gute Übereinstimmung rechtfertigt die Anwendbarkeit des Modells.

Fig. 41: The measured diffuse reflection (●) of a 1 µm-thick free-standing SPS film, and that simulated using the optical model (—). The good level of agreement justifies the use of the model.

Das optische Modell berechnet zunächst die direkte Reflexion, Transmission und die tiefenabhängige Absorption mit Hilfe der Transfer-Matrix Methode[7]. In diese kohärente Rechnung geht der Streukoeffizient als zusätzlicher Absorptionskoeffizient ein. In einem zweiten Schritt wird die diffus gestreute Strahlung betrachtet. Eine Iteration simuliert die Ausbreitung der diffusen Strahlung in der Solarzelle unter Berücksichtigung von internen Reflexionen an Grenzflächen sowie Mehrfachstreuung und liefert die diffuse Reflexion, Transmission und Absorption. Abb. 41 zeigt den Vergleich zwischen simulierter und gemes-

6 Mie G.: *Beiträge zur Optik trüber Medien, speziell kolloidaler Metallösungen*, Ann. Phys., **25**, 377-445, (1908)

7 Harbecke B.: *Coherent and incoherent reflection and transmission of multilayer structures*, Appl. Phys. B, **39**, 165-170, (1986)

an optimization of light trapping by scattering for PSI solar cells. For this purpose an optical model was developed that depicts the above-mentioned processes.

Since the pores in SPS are nearly spherical Mie scattering theory seems to be the most promising approach to describing the light scattering taking place. However, Mie theory[6] considers only one scattering center. The pores in SPS are indeed not isolated from one other but are close together with a spacing similar to the pore diameter. Our results show that the influence of surrounding pores on scattering events can be taken into account in Mie theory. We do that by calculating the scattering efficiency by applying to the medium around the scattering center (pore) an effective refractive index reduced according to the porous structure. The resulting scattering coefficient reflects the values determined from the analysis of the direct i.e. specular reflection and transmission of free-standing SPS layers (Fig. 40).

In a first step, the optical model calculates direct reflection, transmission and depth-dependent absorption using the transfer matrix method[7]. The scattering coefficient is introduced into this calculation as an additional absorption coefficient. Diffusely scattered radiation is considered in a second step. In an iteration, the spread of the diffuse radiation in the solar cell is simulated taking into account internal reflection at interfaces as well as multiple scattering, and diffuse reflection, transmission

6 *Mie G.:* Beiträge zur Optik trüber Medien, speziell kolloidaler Metallösungen, *Ann. Phys., **25**, 377-445, (1908)*

7 *Harbecke B.:* Coherent and incoherent reflection and transmission of multilayer structures, *Appl. Phys. B, **39**, 165-170, (1986)*

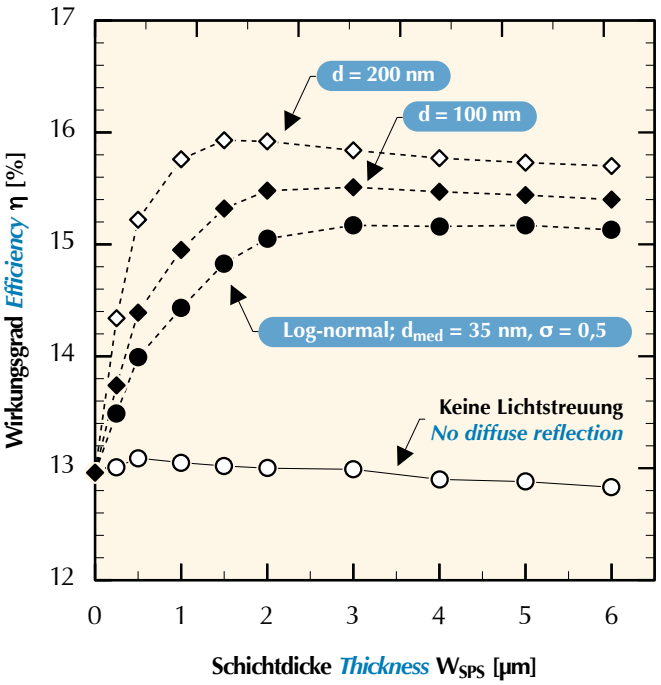


Abb. 42: Einfluss der Dicke der SPS-Schicht auf den Wirkungsgrad von PSI-Solarzellen (s. Abb. 39, W_{SPS} = 10 µm) für verschiedene Porendurchmesser d, sowie eine typische normal-logarithmische Verteilung mit Median d_{med} = 35 nm und Breite σ = 0,5. Der Volumenanteil der Poren in der SPS-Schicht beträgt 20%. Um ausschließlich den Effekt der Streuung zu erfassen, berücksichtigen die Simulationen keine Oberflächentextur.

Fig. 42: The influence of the thickness of the SPS film on the cell efficiency of PSI solar cells (see Fig. 39, W_{SPS} = 10 µm) for a variety of pore diameters d as well as a typical log-normal distribution with a median d = 35 nm and a width σ = 0.5. The pore volume is 20% of the SPS-film. In order to determine scattering effect of the pores, the simulations do not account of surface texture.

sener diffuser Reflexion einer freitragenden SPS-Schicht. Die Simulation deckt sich weitgehend mit der Messung.

In Verbindung mit eindimensionalen Bauelementsimulationen[8] erlaubt das entwickelte optische Modell den Einfluss wichtiger Geometrieparameter, wie beispielsweise die Dicke der rückseitigen SPS-Schicht und die Größe der Poren, auf den Wirkungsgrad von PSI-Solarzellen zu analysieren. Die Ergebnisse einer solchen Simulation für die in Abb. 39 gezeigte Struktur sind in Abb. 42 zu sehen. Der Wirkungsgrad steigt zunächst mit der Dicke der SPS-Schicht an und geht ab einer Schichtdicke von 2 bis 3 µm in eine Sättigung über. Das Niveau dieser Sättigung hängt vom Porendurchmesser ab. Größere Poren streuen das Licht stärker als kleinere, was sich in einem höheren Wirkungsgrad ausdrückt. Der Vergleich mit einem Lambert'schen, also idealen Rückreflektor zeigt, dass ein SPS-Reflektor bereits etwa die Hälfte der im Idealfall möglichen Wirkungsgradsteigerung erzielt.

and absorption are also ascertained. Fig. 41 shows the comparison of simulated and measured diffuse reflection of a free-standing SPS film. The simulation and the measurement agree to a large extent.

From the optical model combined with one-dimensional device simulations[8] the influence of the geometrical parameters of the SPS layer such for example the thickness of the rear SPS layer and the diameter of the pores, on the efficiency of PSI solar cells can be analyzed. In Fig. 42 the results of such a simulation of the structure shown in Fig. 39 are demonstrated. Efficiency is enhanced with the increasing thickness of the SPS layer up to a layer thickness of 2-3 µm when efficiency turns into saturation. The level at which this saturation occurs is dependent on the pore diameter. Larger pores scatter light more efficiently thus resulting in higher solar cell efficiency. A comparison of solar cell efficiency using a Lambert reflector i.e. the ideal reflector, instead of an SPS layer, shows that the SPS-based reflector achieves half of the optimum efficiency increase.

Andreas Wolf, Barbara Terheiden, Rolf Brendel

8 Clugston D.A., Basore P.A.: *PC1D version 5: 32-bit solar cell modelling on personal computers*, Proc. 26th IEEE Photovoltaic Specialists Conference, 207-210, (1997)

8 *Clugston D.A., Basore P.A.:* PC1D version 5: 32-bit solar cell modelling on personal computers, *Proc. 26th IEEE Photovoltaic Specialists Conference, 207-210, (1997)*

Ortsaufgelöste Bestimmung von Rekombinationsstrom und Serienwiderstand durch Kombination kamerabasierter Elektrolumineszenzmessungen mit Lock-in Thermografie

Die Rekombinationsstromdichte und der Serienwiderstand gehören zu den wichtigsten Parametern einer Solarzelle. Da Solarzellen großflächige Bauelemente sind, variieren diese Parameter oft innerhalb der Zellfläche. Die Messung globaler Werte dieser Parameter für die gesamte Zelle ist in diesem Fall unzureichend und lässt meist keine Rückschlüsse auf die Ursachen von schlechten Werten dieser Parameter zu. Um diese Solarzellenparameter schnell und ortsaufgelöst zu bestimmen, kombinieren wir zwei kamerabasierte Methoden: Messungen der strahlenden Rekombination von Ladungsträgern, die durch Aufprägen einer äußeren Spannung injiziert werden und Lock-in Thermografie bei identischen Messbedingungen, um die Rekombinationsstromdichte und den Serienwiderstand von kristallinen Solarzellen ortsaufgelöst zu bestimmen (s. auch Abb. 21).

Die ortsaufgelöste Bestimmung des Serienwiderstandes und der Rekombinationsstromdichte setzt die Kenntnis der ortsaufgelösten Rekombinationsleistungsdichte und Spannung voraus. Erstere messen wir mit Lock-in Thermografie, letztere kann aus Elektrolumineszenzbildern bestimmt werden.

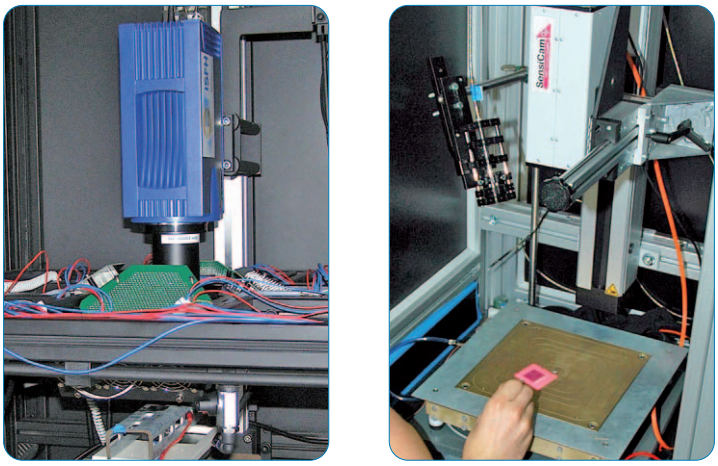


Abb. 43: Messplatz zur Messung der Rekombinationsleistungsdichte (links) und der strahlenden Rekombination (rechts).
Fig. 43: Measurement setup for recording recombination power density (left) and radiative recombination (right).

Bei der Lock-in Thermografie werden durch Anlegen einer Spannung Ladungsträger in die Solarzelle injiziert. Sie rekombinieren im Silicium und geben ihre Energie in Form von Wärme an das Silicium ab. Somit erwärmt sich die Solarzelle, solange die Spannung anliegt. Wird die Spannung rechteckförmig moduliert, kann ein dreieckförmiger zeitlicher Verlauf der Zelltemperatur erzeugt werden. Die Amplitude dieser Temperaturänderung lässt sich durch eine hochsensitive Infrarotkamera aufzeichnen. Da der Anstieg der Zelltemperatur während der „an"-Phase bei geeignet gewählten Messbedingungen linear verläuft, ist die gemessene Amplitude des Temperaturanstiegs der in die Zelle dissipierten Leistung proportional. Die Kamera liefert somit ein Bild, dessen Helligkeitswerte direkt proportional der lokal in die Zelle abgegebenen Heizleistung sind. Durch Vergleich des gemittelten Signals des Lock-in Thermografiebildes mit der insgesamt in die Zelle eingetragene Leistung lassen sich die erzeugten Bilder in Einheiten einer Leistungsdichte [mW/cm^2] skalieren. Abb. 44

Spatially-resolved determination of recombination current density and series resistance by a combined analysis of camera based electroluminescence and lock-in thermography measurements

Recombination current density and series resistance are amongst the most important parameters of a solar cell. As solar cells are large-area devices, these parameters often vary within the cell area. Measuring global values of these parameters for the whole cell is insufficient in this case and, in many cases, does not allow the detection of the reasons for bad values of these parameters. For a fast and spatially-resolved determination of these solar cell parameters, we combine two camera-based characterization methods: measurements of the radiative recombination of charge carriers, excited by an externally applied voltage and lock-in thermography. Both measurements are performed under identical operating conditions for a spatially-resolved determination of the recombination current density and the series resistance of crystalline silicon solar cells (s. Fig. 21 also).

A prerequisite for a spatially-resolved determination of series resistance and recombination current density is knowledge of the spatially-resolved values for recombination power density and voltage. We measure the former using lock-in thermography, while the latter can be determined from electroluminescence images.

In lock-in thermography, charge carriers are injected into a solar cell by applying an external voltage. They recombine in the silicon, thereby dissipating their energy as heat. Thus, as long as the voltage is applied, the solar cell is heating up. With a rectangular modulation of the voltage, a triangular-shaped time variation of the cell temperature can be achieved. The amplitude of this temperature change is recorded by a highly-sensitive infra-red camera. As the temperature rise during each "on"-phase is linear if measurement conditions are chosen correctly, the measured amplitude of the temperature rise is proportional to the power dissipated in the solar cell. The camera therefore creates an image in which the intensity is directly proportional to the heat dissipated locally inside the cell. Comparing the averaged signal of the lock-in thermography image with the power applied to the entire cell, the images can be scaled in units of power density [mW/cm^2]. Fig. 44

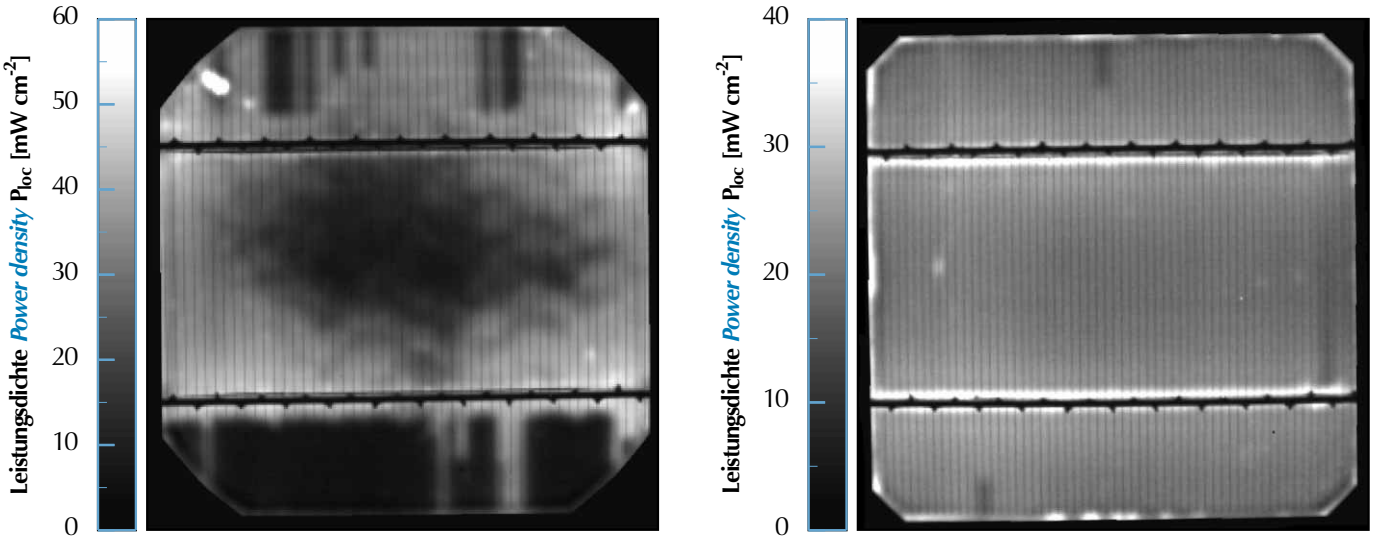


Abb. 44: Rekombinationsleistungsdichte zweier monokristalliner Si-Solarzellen. a) Die linke Zelle zeigt Bereiche mit stark reduzierter Rekombinationsleistung. Die Ursache dieser Reduktion sind erhöhte Serienwiderstände, wie im folgenden gezeigt wird. Auf Grund der hohen Serienwiderstände ist die Spannung am *pn*-Übergang hier reduziert, was zu geringerem Rekombinationsstrom und somit zu geringerer Rekombinationsleistungsdichte in diesen Bereichen führt. b) Shunts und Bereiche mit schlechter Materialqualität oder Oberflächenpassivierung zeigen eine stark erhöhte Rekombinationsleistungsdichte, so beispielsweise an der rechten Zelle in der Nähe der Kontakte zu sehen.
Fig. 44: Recombination power density of two monocrystalline Si-solar cells. a) The left-hand cell shows areas of greatly reduced recombination power. The reason for this reduction is increased series resistance as will be shown below. Due to the high series resistance, the voltage at the pn-junction is reduced which leads to lower values for recombination current and thus a lower recombination power density. b) Shunts and areas with low material quality or surface passivation display a greatly increased recombination power density, as can for example be seen close to the contacts of the right-hand cell.

zeigt exemplarisch die Rekombinationsleistungsdichte für zwei monokristalline Si-Solarzellen.

Um aus einem Bild der Rekombinationsleistungsdichte ein Bild der Rekombinationsstromdichte zu gewinnen, benötigt man die lokale Spannung gemäß I = P/U. Dazu verwenden wir Elektrolumineszenzbilder. Die Intensität der Lumineszenzstrahlung ist proportional dem Produkt aus Elektronen- und Löcherkonzentration ($n_e \times n_h$). Dieses Produkt steigt exponentiell mit der am pn-Übergang anliegenden Spannung an. Daher ist die Anzahl der Photonen, die von der Si-CCD Kamera detektiert werden, ebenfalls exponentiell abhängig von der Spannung am pn-Übergang und somit von der lokalen Spannung in der Solarzelle. Logarithmieren des Elektrolumineszenzsignals und Multiplizieren mit kT liefert ein Bild der lokalen Spannungsvariationen in der Solarzelle:

$$U_{loc} = \ln(S_{EL})\ ekT\ +\ U_0$$

Um absolute Spannungen angeben zu können, werden die Werte dieses Bildes um U_0 verschoben, so dass der Bereich mit der höchsten lokalen Spannung gerade die angelegte Spannung erhält. Die Differenz zwischen angelegter Spannung und lokal auf der Solarzelle gemessener Spannung wird

shows exemplarily the recombination power density for two monocrystalline Si-solar cells.

In order to obtain an image of the recombination current density from an image of the recombination power density, the local voltage is needed, according to I = P/U. For this purpose, we use electroluminescence images. The intensity of the luminescence radiation is proportional to the product of electron- and hole concentrations ($n_e \times n_h$). This product rises exponentially with the voltage at the pn-junction. Therefore, the number of photons detected by the Si-CCD camera is also proportional to the exponential of the voltage at the pn-junction, and thus the local voltage in the solar cell. Taking the logarithm of the electroluminescence signal and multiplying by kT produces an image of the local voltage variation in the solar cell:

$$U_{loc} = \ln(S_{EL})\ ekT\ +\ U_0$$

In order to obtain absolute voltages, the values of this image are shifted by U_0, so that precisely the area with the highest local voltage receives the applied voltage. Fig. 45 shows the difference between applied voltage and locally-measured voltage for two monocrystalline Si-solar cells. The voltage differences are due to the different series resistances in the current

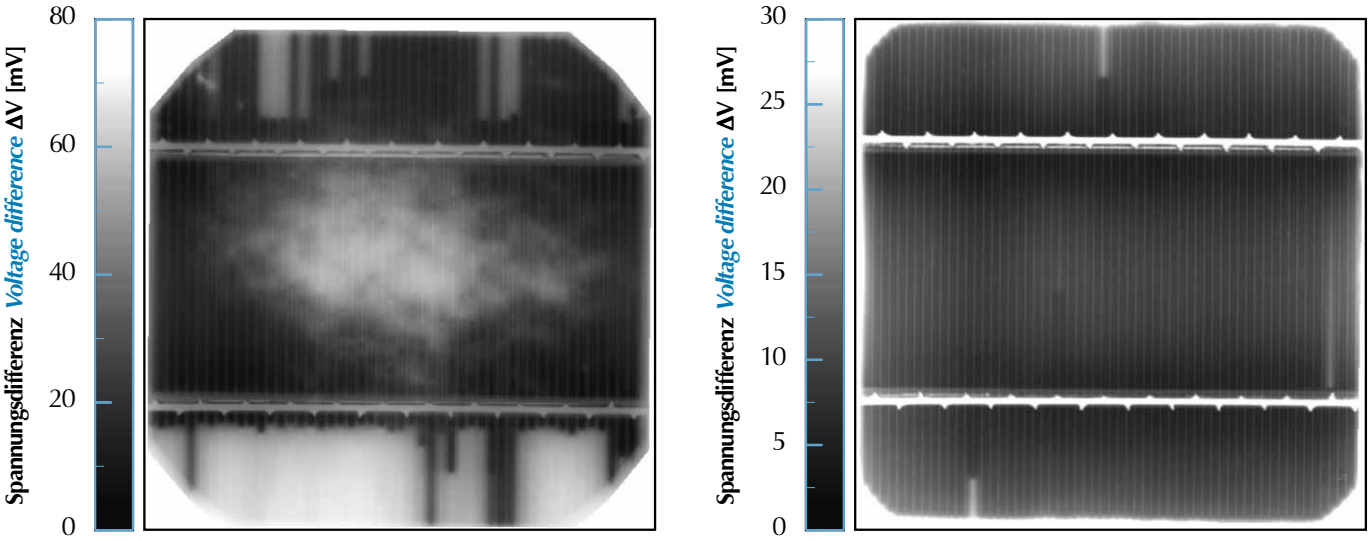


Abb. 45: Differenz zwischen angelegter und lokaler Spannung. Nicht kontaktierte Finger und Bereiche mit erhöhtem Serienwiderstand zeigen besonders große Werte. Dies zeigt sich besonders auf der linken Solarzelle in der Mitte und unten. Die rechte Solarzelle weist nur wenige nicht kontaktierte Finger auf. Außerdem läßt sich ein Anstieg der Werte mit zunehmendem Abstand von den Kontakten auf Grund des Widerstandes der Kontaktfinger feststellen. Dieser Anstieg kann auf der rechten Zelle besser beobachtet werden, da das Bild hier nicht durch die vorhergenannten Effekte dominiert wird.

Fig. 45: Difference between applied and local voltage. Non-contacted grid fingers and areas of increased series resistance produce particularly high values. These effects dominate the image of the left solar cell, whereas only a few non-contacted grid fingers are found on the right cell. Furthermore, with increasing distance from the contacts, voltage difference levels rise due to the resistivity of the grid fingers, which can better be seen on the right cell, as this image is not dominated by the effects mentioned above.

für zwei monokristalline Si-Solarzellen in Abb. 45 exemplarisch gezeigt. Die Spannungsdifferenzen ergeben sich durch die unterschiedlich großen Serienwiderstände im Strompfad zwischen den Kontakten und den unterschiedlichen Positionen auf der Zelle.

Die lokale Rekombinationsstromdichte lässt sich schließlich als Quotient aus lokaler Leistung und lokaler Spannung bestimmen.

Bei der Charakterisierung von Solarzellen definiert man einen „lumped series resistance“ über das Ersatzschaltbild der Solarzelle. Es handelt sich dabei um den Widerstand, der bei einer serienwiderstandsfreien Solarzelle außerhalb der Zelle in den Strompfad eingebaut werden müsste, um die I/U-Kennlinie der realen Solarzelle zu beschreiben. In Analogie zur Messung dieses „lumped series resistance“, bei der der Vergleich einer serienwiderstandsbehafteten und einer serienwiderstandsfreien Kennlinie bei gleichen Stromdichten verwendet wird, kann aus den lokalen Informationen der lokale Serienwiderstand bestimmt werden. Das Paar J_{loc} und V_{loc} entspricht dabei einem Punkt auf einer lokalen, serienwiderstandsfreien Kennlinie.

Dagegen bilden J_{loc} und die angelegte Spannung V_{appl} einen Punkt auf einer lokalen serienwiderstandsbehafteten Kennlinie

path between the contacts and the different positions on the cell.

The local recombination current density is then determined as the ratio of local power density and local voltage.

In the characterization of solar cells, a so-called “lumped series resistance” is defined within the equivalent circuit model. This is a resistance which has to be added externally to convert the I/V-curve of a hypothetical cell without series resistance into the real measured curve. In analogy to the measurement of this lumped series resistance, which is usually performed using a comparison between a series-resistance-free and a series-resistance-bearing I/V-curve at equal current densities, local series resistance can be deduced from the local information gathered above. A pair J_{loc} and V_{loc} corresponds to a point on a series-resistance-free local I/V-curve.

In contrast, J_{loc} and V_{appl} form a point on a local I/V-curve taking account of the series resistance at the same current density. In exactly the same way to the determination of lumped series resistance, the local series resistance $R_{S,loc}$ can be determined as $R_{S,loc} = \Delta V/J_{loc}$. Fig. 46 shows the results for the two solar cells investigated to illustrate this. Whereas the left cell

bei gleicher Stromdichte. Der lokale Serienwiderstand $R_{S.loc}$ errechnet sich dann in vollständiger Analogie zur Bestimmung des „lumped series resistance“ aus $R_{S.loc} = \Delta V/J_{loc}$. Abb. 46 zeigt das Ergebnis für die zwei exemplarisch untersuchten Solarzellen. Während die linke Zelle unter sehr hohen Serienwiderständen leidet, insbesondere im unteren und im mittleren Teil, ist bei der rechten Zelle der Serienwiderstand deutlich geringer.

suffers from very high series resistance, especially in the lower and center parts, the values for local series resistance in the right cell are much lower.

Several reasons are responsible for the greatly increased series-resistance values of the left cell, emphasizing the importance of a spatially-resolved solar cell characterization. Whereas the high series-resistance values in the lower area of the cell are due to a lot of disconnected grid fingers, possibly caused by a

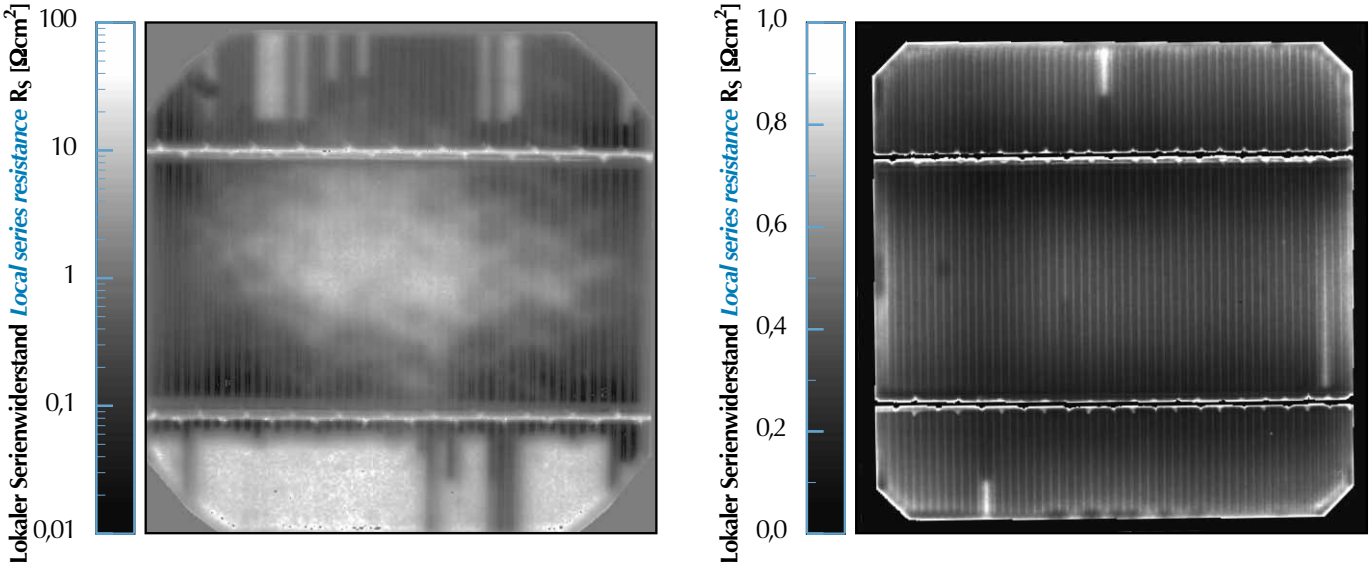


Abb. 46.: Serienwiderstandsbilder der beiden beschriebenen monokristallinen Si-Solarzellen. Weite Bereiche der linken Zelle zeigen extrem hohe Werte des Serienwiderstandes. Damit erreicht die Zelle nur noch rund 11% Wirkungsgrad. Die rechte Zelle hingegen zeigt nur wenige Bereiche mit erhöhtem Serienwiderstand an einzelnen, unterbrochenen Fingern. Ihre Effizienz ist vom Serienwiderstand weitestgehend unbeeinflusst.
Fig. 46: Series resistance images of the two monocrystalline Si-solar cells described here. Large areas of the left-hand cell show extremely high series resistance levels. Therefore, cell efficiency is reduced to 11%. The right-hand cell, in contrast, displays only few areas with increased series resistance at single disconnected grid fingers. The efficiency of this cell is largely unaffected by series resistance.

Mehrere Ursachen sind für die stark erhöhten Serienwiderstände bei der linken Zelle verantwortlich und unterstreichen damit die Bedeutung einer ortsaufgelösten Charakterisierung von Solarzellen. Während die hohen Serienwiderstände im unteren Bereich der Zelle auf eine Vielzahl nicht kontaktierter Finger zurückzuführen sind – möglicherweise Folge eines verstopften Siebes beim Siebdrucken – ist die Ursache der Serienwiderstände im mittleren Zellbereich auf einen stark erhöhten Kontaktwiderstand zwischen Metallisierung und Silicium zurückzuführen. Solche erhöhten Kontaktwiderstände treten oft auf, wenn die Temperatur beim Feuern der Kontakte nach dem Siebdruck zu hoch oder zu niedrig war.

Vergleiche des Mittelwerts des so bestimmten Serienwiderstandes mit dem Serienwiderstand, der für die gesamte Zelle ermittelt wird, ergeben eine gute quantitative Übereinstimmung.

blocked screen in the screen-printing process, the reason for series resistance in the center part of the cell is a very high contact resistance between the silicon material and the metal contacts. Such high contact resistances often arise if the temperature in the contact firing after the screen-printing process was either too high or too low.

A comparison of the mean values of the local series resistance with the lumped series resistance determined for the entire cell shows good quantitative agreement.

The method introduced to determine the distribution of series resistances and recombination current density allows a quick and precise examination of solar cells with the purpose of rapid detection of reasons for reduced solar cell efficiency levels in order to be able to modify the production process

Die hiermit eingeführte Methode zur Bestimmung der Verteilung von Serienwiderstand und Rekombinationsstromdichte erlaubt die Untersuchung von Solarzellen mit dem Ziel, Ursachen für reduzierte Wirkungsgrade von Solarzellen schnell zu finden und den Herstellungsprozess entsprechend modifizieren zu können. Dies ermöglicht kürzere Entwicklungszeiten für neue Solarzellenkonzepte und bessere Möglichkeiten zur Überwachung der Produktion von Solarzellen in industriellem Maßstab.

accordingly. This allows shorter development times for new solar cell concepts and better possibilities for the inspection of solar cell production on an industrial scale.

Klaus Ramspeck, Karsten Bothe, Jan Schmidt, David Hinken, Rolf Brendel

FEM[9]-Simulation thermomechanischer Spannungen in einem laminierten String

Um untersuchen zu können, wie sich wetterbedingte Temperaturschwankungen auf die Funktionsweise eines Solarmoduls auswirken, werden beschleunigte Alterungstests durchgeführt, bei denen das Modul zyklischen Temperaturschwankungen von –40° C bis +80° C bei einer relativen Luftfeuchtigkeit von 85% ausgesetzt ist. Das Ergebnis dieser standardisierten Untersuchungen ist eine Aussage über die photovoltaische Leistung in Abhängigkeit von der Zahl der durchgeführten Zyklen. Oft sind mechanische Belastungen die Ursache für den Leistungsabfall, zum Beispiel Korrosion oder Bruch einer Lötstelle, Bruch eines Verbinders oder das Ausbreiten von Rissen im Silicium. Diese mechanischen Belastungen entstehen vor allem, weil die verschiedenen Materialien (Silicium, Polymere, Glas, Kupfer) mit unterschiedlich starker Ausdehnung auf Temperaturänderung reagieren und damit der Materialverbund mechanisch verspannt wird.

Am ISFH wird ein mathematisches Modell verwendet, das den physikalischen Vorgang der Erhitzung und Abkühlung des Materialverbunds in einem Solarmodul beschreibt. Dieses aus partiellen Differentialglei-

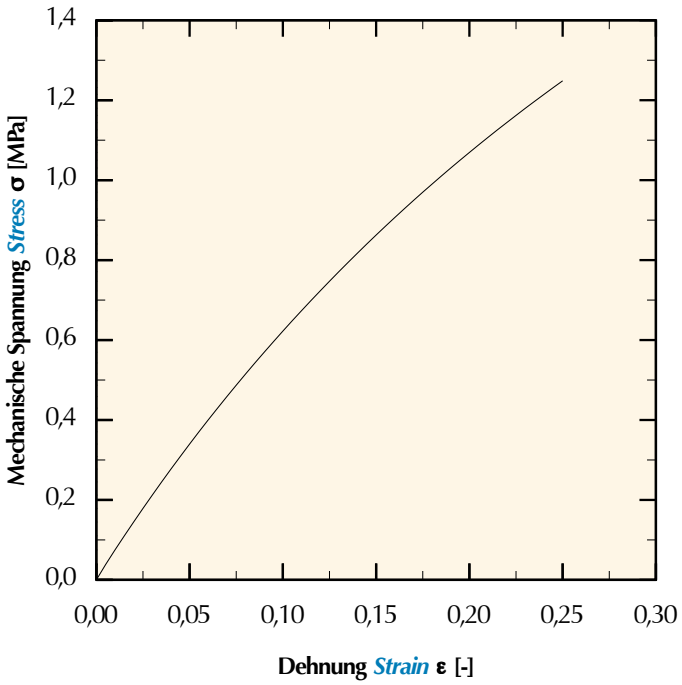


Abb. 47: Spannungs-Dehnung-Kurve der Laminationsfolie bei 20° C.
Fig. 47: Stress-strain-curve of the lamination sheet at 20° C.

9 FEM – Finite-Element-Methode

FEM[9]-simulation of thermomechanical stress in a laminated string

In order to investigate the impact of weather-induced temperature changes on the performance of a solar module, accelerated aging tests are commonly used. In these tests the module is exposed to periodic temperature variations in the range of –40° C to +80° C with a relative humidity of 85% at high temperatures. The results of these standard tests provide evidence about photovoltaic power in relation to the number of cycles performed. Mechanical stress is often responsible for a decrease in the module's electrical performance, for example the corrosion or breaking of a solder joint, fracture of an interconnect, or the spreading of cracks in the silicon. These stresses principally result from changes in temperature because the different materials in the laminated structure (glass, polymer, silicon, copper) expand differently as a result of temperature changes and thus place a mechanical strain on the composite structure.

At ISFH a mathematical model is used to describe the physical process of heating and cooling the different components of the PV module. This model consists of partial differential equations which are solved by the help of Finite Element Analysis.

9 *FEM – Finite-Element-Analysis*

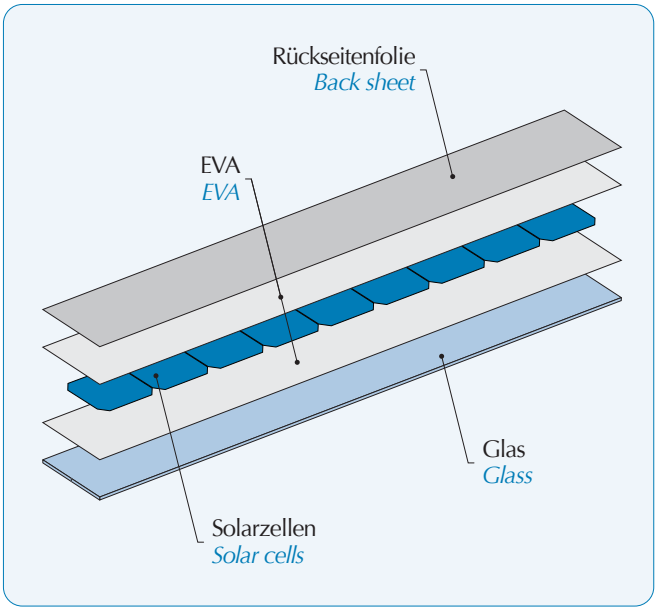


Abb. 48: Geometrisches Modell eines laminierten Solarzellenverbundes (String).
Fig. 48: Geometrical model of a laminated solar cell assembly (string).

chungen bestehende Modell wird mit Hilfe der Finiten-Elemente-Methode (FEM) gelöst. Auf diese Weise kann die Auswirkung einer Temperaturänderung auf das Modul am Computer simuliert werden.

Das thermomechanische Modell beruht auf den Grundgleichungen der Kontinuumsmechanik. Diese bestehen aus Gleichungen zur Massenerhaltung, Impulserhaltung und Materialgesetzen. Die Materialgesetze beschreiben den Zusammenhang zwischen Spannungen und Dehnungen eines Materials. Für linear-elastische Materialgesetze werden die Materialkonstanten

The influence of temperature changes on the module can thus be simulated with a computer.

The thermomechanical model is based on the fundamental equations of continuum mechanics. These consist of conservation of mass, momentum and constitutive laws. The constitutive laws describe the relationship between stress and strain. For linear elastic constitutive laws the material parameters Young's modulus E (coefficient of elasticity), Poisson's ratio ν and the coefficient of thermal expansion α are needed for each material respectively. Expanding the material models to include plasticity or viscoelastic effects requires additional material data which depend on the complexity of the chosen constitutive laws. The material data used in the simulation can be derived from stress-strain-curves from tensile or bending tests (Fig. 47). In addition the different densities ρ are needed for the equations of conservation.

Fig. 48 shows the layout of a string. Using symmetry it is only necessary to examine a quarter of the string by applying symmetric boundary conditions (Fig. 49). In order to avoid rigid body displacement, the outer edge of the string is fixed in direction z. Perfect adhesion between the different materials is assumed.

The results of the simulation for a string without interconnects are shown in Figures 50 and 51. It can be seen from Fig. 50 that the greatest mechanical stresses in laminated cells develop parallel to the surface. When cooling down from a stress-free state, the principal stresses are compressive stresses. Fig. 51 shows the different components which are located on the xy-plane. Interestingly, the position of a cell within the string is irrelevant to the mechanical stresses due to the fact that the stress profile is the same for each laminated cell.

Taking into account the interconnects of back-contact cells, it can again be observed that stress distribution is independent of

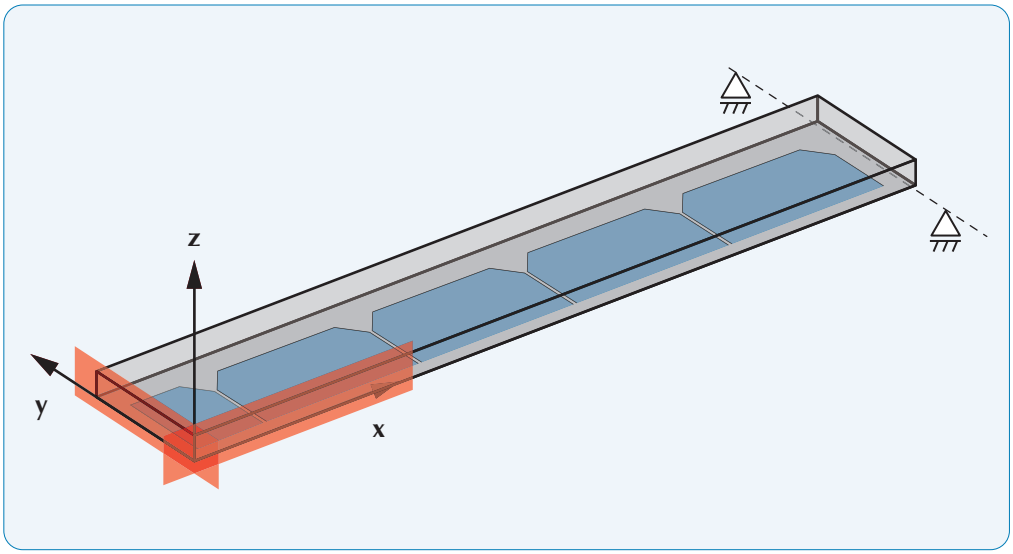


Abb. 49: Geometrie des Viertelstrings mit Randvorgaben.
Fig. 49: Geometry of the quarter string with boundary conditions.

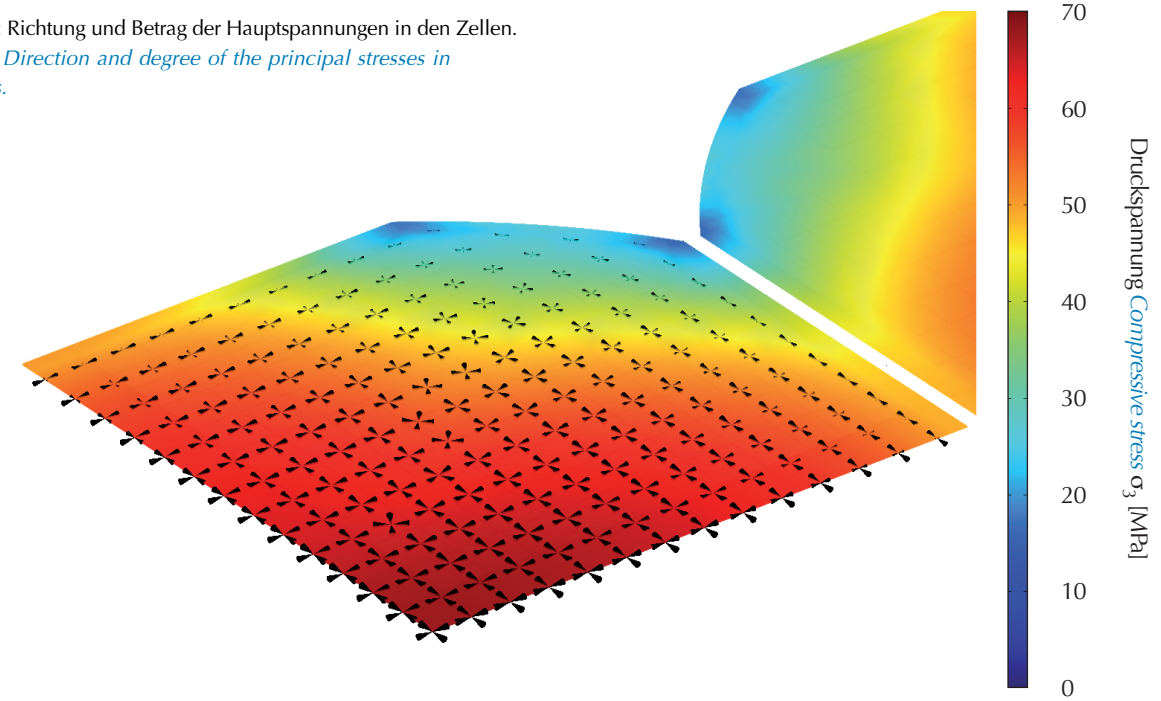


Abb. 50: Richtung und Betrag der Hauptspannungen in den Zellen.
Fig. 50: Direction and degree of the principal stresses in the cells.

E (Elastizitätsmodul), die Querkontraktionszahl ν und der thermische Ausdehnungskoeffizient α für das jeweilige Material benötigt. Bei jeder Art von plastischem Verhalten zusätzlich noch weitere Materialdaten, die wiederum von der Komplexität des Materialmodells abhängen. Die in der Simulation verwendeten Materialdaten lassen sich aus Spannungs-Dehnungs-Kurven von Zug- und Biegeversuchen ermitteln (Abb. 47). Darüber hinaus werden für die Erhaltungsgleichungen die materialabhängigen Dichten ρ benötigt.

In Abb. 48 ist der Aufbau eines Strings dargestellt. Durch das Ausnutzen von Symmetrien reicht es aus, lediglich ein Viertel des Strings zu betrachten und die Symmetrie als Randbedingung vorzugeben (Abb. 49). Um Starrkörperverschiebung zu verhin-

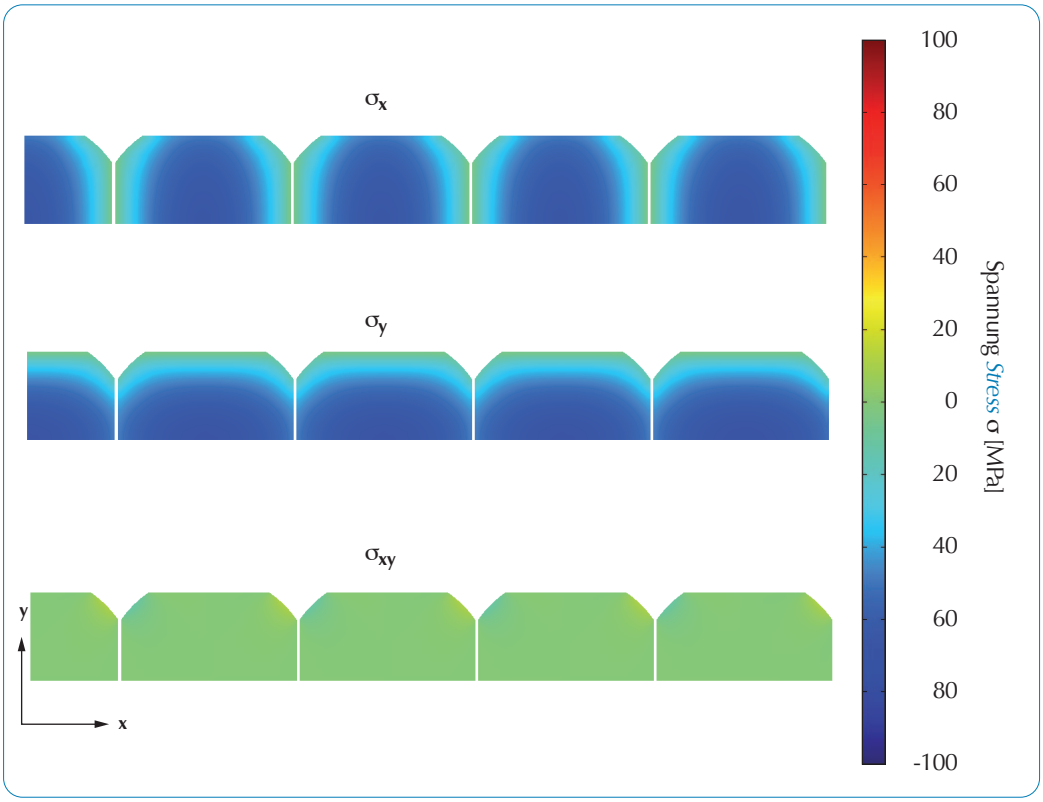


Abb. 51: Simulation von Normal- und Scherspannungen in den Zellen eines Strings ohne Verbinder.
Fig. 51: Simulated normal and shear stresses in the cells of a string without interconnects.

dern, wird der äußere Rand vom String in z-Richtung fixiert. Zwischen den verschiedenen Materialien wird ideales Haften angenommen.

Die Ergebnisse der Simulationen für einen String ohne Verbinder sind in den Abbildungen 50 und 51 gezeigt. Es ist in Abb. 50 erkennbar, dass sich die größten mechanischen Spannungen in den laminierten Zellen parallel zur Oberfläche einstellen. Beim Abkühlen aus einem spannungsfreien Zustand sind die Hauptspannungen Druckspannungen. Abb. 51 zeigt die einzelnen Spannungsanteile, die in der xy-Ebene liegen. Offenbar ist die Position einer Solarzelle innerhalb eines Strings für die mechanischen Spannungen unerheblich, da diese für jede Zelle den gleichen Verlauf zeigen.

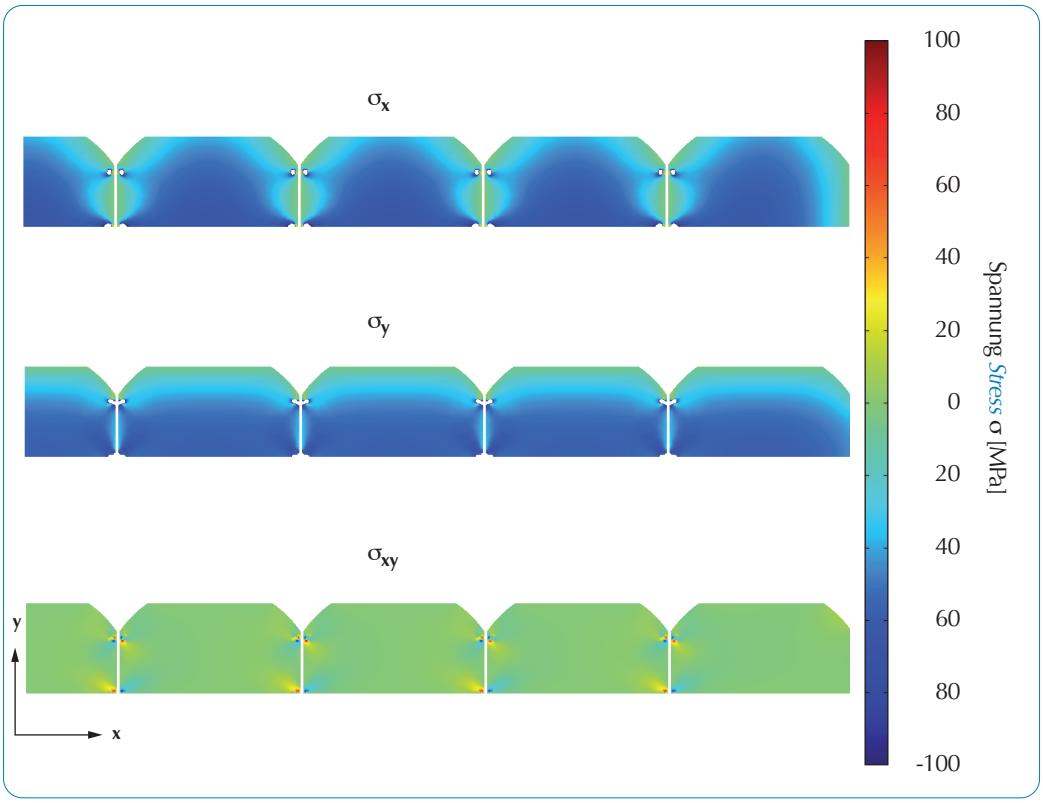


Abb. 52: Normal- und Scherspannungen in den Zellen eines Strings mit Verbindern.
Fig. 52: Simulated normal and shear stresses in the cells of a string with interconnects.

Berücksichtigt man bei der Simulation eines aus rückseitenkontaktierten Zellen bestehenden Strings die Verbinder, so zeigt sich wiederum, dass die Spannungsbelastung einer Zelle unabhängig von deren Position innerhalb des Strings ist (Abb. 52). Allerdings entstehen in der Umgebung der Kontaktfläche zur Lötstelle sehr viel höhere Spannungen im Silicium als bei einem String, der ohne Verbinder simuliert wird. Insbesondere das Auftreten von großen Scherspannungen im Silicium ist problematisch.

Die Simulation ermöglicht, verschiedene Veränderungen der Komponenten im Modulaufbau unter thermomechanischen Gesichtspunkten zu untersuchen. So kann berechnet werden, welche Verbinderform optimal für eine niedrige Zellbelastung ist und ob der Einbau bestimmter Materialien thermomechanisch günstig für künftige Modulbauformen sein wird.

the cell's position within the string (Fig. 52). However, close to the contact areas of the solder joints, higher stresses occur than within a string without interconnects. Especially the occurrence of considerable shear stresses poses problems for silicon.

The simulation allows the investigation of changes to the components of the module considering thermomechanical aspects. It can be calculated which interconnect design is best for minimizing stress in the cells and which materials perform best for future module concepts.

Ulrich Eitner

Qualitätskontrolle von Solarmodulen

Neben der Leistungsbestimmung von Solarmodulen ist die Thermografie und die Elektrolumineszenz ein wichtiges Hilfsmittel, um die Qualität von Solarmodulen beurteilen zu können. Thermografie wird schon seit langem in vielen Industriezweigen eingesetzt, um beispielsweise Materialfehler rasch zu erkennen. Am ISFH wird sie eingesetzt, um Kontaktfehler und Kurzschlüsse in Solarmodulen zu finden. Die Elektrolumineszenz ist geeignet, um Mikrorisse, elektrisch abgetrennte Solarzellenbruchstücke und Metallisierungsfehler im Solarmodul zu finden.

Für beide Verfahren wird an das Solarmodul eine Spannung angelegt, so dass ein Strom in Durchlassrichtung durch die Solarzellen fließt. Das Solarmodul verhält sich in diesem Fall wie eine große Leuchtdiode, deren Emission in einem für das menschliche Auge nicht mehr wahrnehmbaren Wellenlängenbereich liegt. Mit einer Thermokamera wird die Wärmestrahlung des Moduls beobachtet, denn die Wärmestrahlung liefert eine Aussage über lokale Verlustleistungen im Solarmodul. Die Elektrolumineszenzstrahlung, die mit einer handelsüblichen CCD-Kamera beobachtet wird, dient zur Erkennung von elektrisch aktiven und inaktiven Modulteilen.

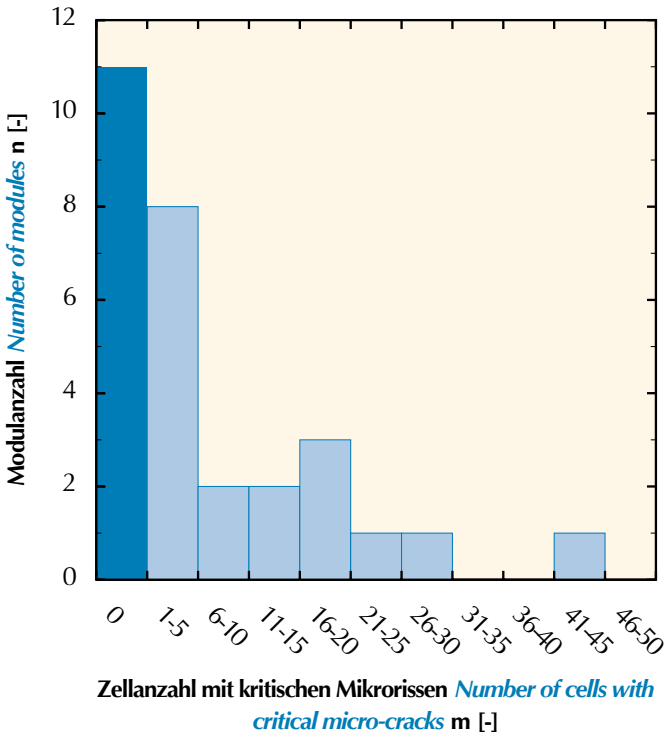


Abb. 53: Häufigkeitsverteilung kritischer Mikrorisse für die am ISFH geprüften Solarmodule.
Fig. 53: Frequency distribution of critical micro-cracks for solar modules tested at ISFH.

Die mit der Elektrolumineszenz lokalisierten Mikrorisse bestimmen an sich nicht unbedingt die Qualität eines Solarmoduls. Mikrorisse, die diagonal zu den Verbindern verlaufen, führen beispielsweise kaum zu einer Leistungsminderung. Ein Solarmodul kann mit Mikrorissen durchzogen sein, ohne dass es jetzt oder selbst Jahre nach der Installation eine Leistungsminderung zeigt. Aus diesem Grund definieren wir einen „kritischen" Mikroriss als einen Mikroriss, der zum Zeitpunkt der Messung oder durch Weiterreißen dazu führt, dass mehr als 20% einer Solarzelle von den Verbinderbändchen getrennt wird. Diese Definition ermöglicht eine gute qualitative Bewertung solcher Risse. Würden auf diese Weise einige Solarzellen eines Moduls 20% ihrer Zellfläche verlieren, so würde das Solarmodul nach Abbrechen der Zellbereiche 20% weniger Energieertrag liefern.

Mit den oben genannten Verfahren und einer eingehenden in Augenscheinnahme der Solarmodule werden am ISFH Quali-

Quality control of solar modules

In addition to determining the power out put of solar modules thermography and electroluminescence are important tools for judging their quality. In many branches of industry thermography has been used for a long time, for example for identifying material defects quickly. At ISFH it is used to find contact defects and short-circuits in solar modules. Electroluminescence is suitable for finding micro-cracks, electrically separated solar cell fragments and metalization faults in the solar module.

For both methods a voltage is applied to the solar module, so that a forward current flows through the solar cells. In these circumstances the solar module behaves like a large light-emitting diode, which emits light in a wavelength range which is not visible to the human eye. The heat emission of the module is observed with a thermography camera as the emitted supplies information about local power losses in the module. Electroluminescence emission which is observed with a commercially available CCD camera is used to detect electrical active and inactive areas in the module.

The micro-cracks localized with electroluminescence do not necessarily determine the quality of a solar module, for example micro-cracks diagonal to the interconnector ribbons do hardly lead to a power reduction. A solar module can be interlaced with micro-cracks without showing any power reduction immediately or years after installation. For this reason, we define a "critical" micro-crack as one crack which separates at the time of measurement or later in the event of further tearing more than 20% of a solar cell from the interconnector ribbon. This definition enables us to make a good qualitative judgement of such cracks. Were some of the solar cells to lose 20% of their cell area in this way, the solar module would lose 20% power output after the detachment on of these cell areas.

With the methods mentioned above and a close inspection of the solar modules, a quality assessment of solar modules for

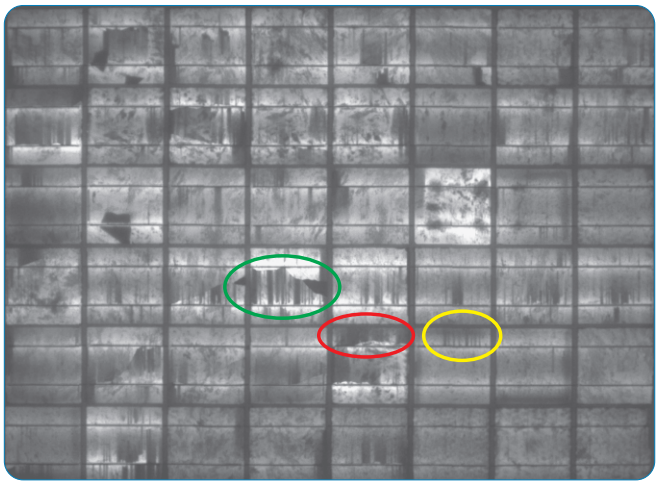


Abb. 54: Elektrolumineszenzbild eines Solarmoduls mit kritischen (rot) Mikrorissen. Neben den Mikrorissen kann man eine Vielzahl von unterbrochenen Kontaktfingern erkennen (gelb). Häufig treten Mikrorisse zusammen mit unterbrochenen Kontaktfingern auf (grün).
Fig. 54: Electroluminescence image of a solar module with critical (red) micro-cracks. Besides the micro-cracks, a lot of torn contact fingers are visible (yellow). Frequently micro-cracks occur together with torn contact fingers (green).

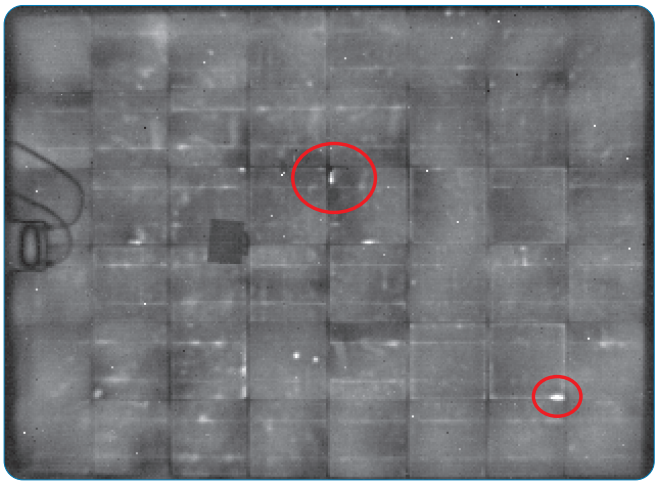


Abb. 55: Lock-In-Thermografieaufnahme des in Abb. 54 gezeigten Solarmoduls. In diesem Beispiel sind Kantenisolationsfehler (rot) zu sehen.
Fig. 55: Lock-In-thermography image of the solar module shown in Fig. 54. In this example some edge insulation defects (red) can be seen.

tätsbeurteilungen von Solarmodulen für Modulhersteller, Händler, und Gutachter durchgeführt. Die Methoden bieten eine solide Grundlage für die Detektion von schadhaften Solarmodulen, die zwar ihre spezifizierte Leistung erbringen, aber produktionsbedingte Schäden aufweisen, die womöglich erst Jahre später spürbar werden.

Von den 29 Solarmodulen, die 2007 am ISFH bewertet wurden, wiesen nur fünf Module keine Mikrorisse auf. Elf Module waren frei von „kritischen" Mikrorissen. Lediglich vier der Module zeigten eine negative Leistungsabweichung von über 5%. Das bedeutet, dass die beiden Methoden zur frühen Erkennung von versteckten Fehlern im Modul geeignet sind.

manufacturers, dealers and experts is carried out at ISFH. The methods give a reasonable basis for the detection of defective solar modules, which still produce the specified power output but do have production defects which may become apparent years later.

Of 29 solar modules assessed at ISFH in 2007, only five modules had no micro-cracks. Eleven were free of "critical" micro-cracks. Only four solar modules had an power output deficiency of more than 5%. This means that both methods are suitable for the detection of hidden defects in solar modules.

Marc Köntges

Abteilung Solarthermie

Hocheffiziente Flachkollektoren mit selektiver Doppelverglasung

Zukünftige Anwendungen der Solarthermie, wie beispielsweise die Erzeugung von Raumheizwärme mit hohem Deckungsanteil und industrieller Prozesswärme oder die solare Klimatisierung erfordern hohe Kollektorwirkungsgrade bei Temperaturen über 80° C bzw. bei geringer solarer Einstrahlung. Heutige Flachkollektoren (FK) sind kostengünstig, nutzen die Diffusstrahlung sehr effektiv, und weisen einen Marktanteil von über 90% auf. Jedoch erreichen sie für die erwähnten Anwendungen bei unterschiedlichen Betriebsbedingungen keinen zufrieden stellenden Wirkungsgrad. Daher verfolgen wir das Ziel, die Leistungsfähigkeit von Flachkollektoren gezielt für den Betrieb bei hohen Temperaturen zu steigern.

Entscheidend ist dazu die Erhöhung der Isolationswirkung der transparenten Abdeckung bei ausreichend hoher Transmission. Dies geschieht durch Hinzufügen einer zweiten Glasscheibe

Solar thermal department

High-efficiency flat-plate solar collectors with selectively coated double glazing

Many future applications of solar thermal energy, like space heating with a high solar fraction and solar heating for industrial-processes or solar air conditioning will require high collector efficiencies at temperatures above 80° C and/or at a low irradiance level. Today's flat-plate collectors (FPC) are cost-efficient, utilize diffuse solar radiation very effectively and have a market share of more than 90%. However, in many operational conditions the efficiency of the currently available products is not satisfactory for the applications mentioned. Thus we are aiming to raise the performance of flat-plate collectors especially for operation at high temperatures.

Therefore it is crucial to increase the insulation of the transparent cover on the one hand and at the same time to maintain an acceptable level of solar transmittance. This is achieved by adding a second pane of glass, which reduces the radiative

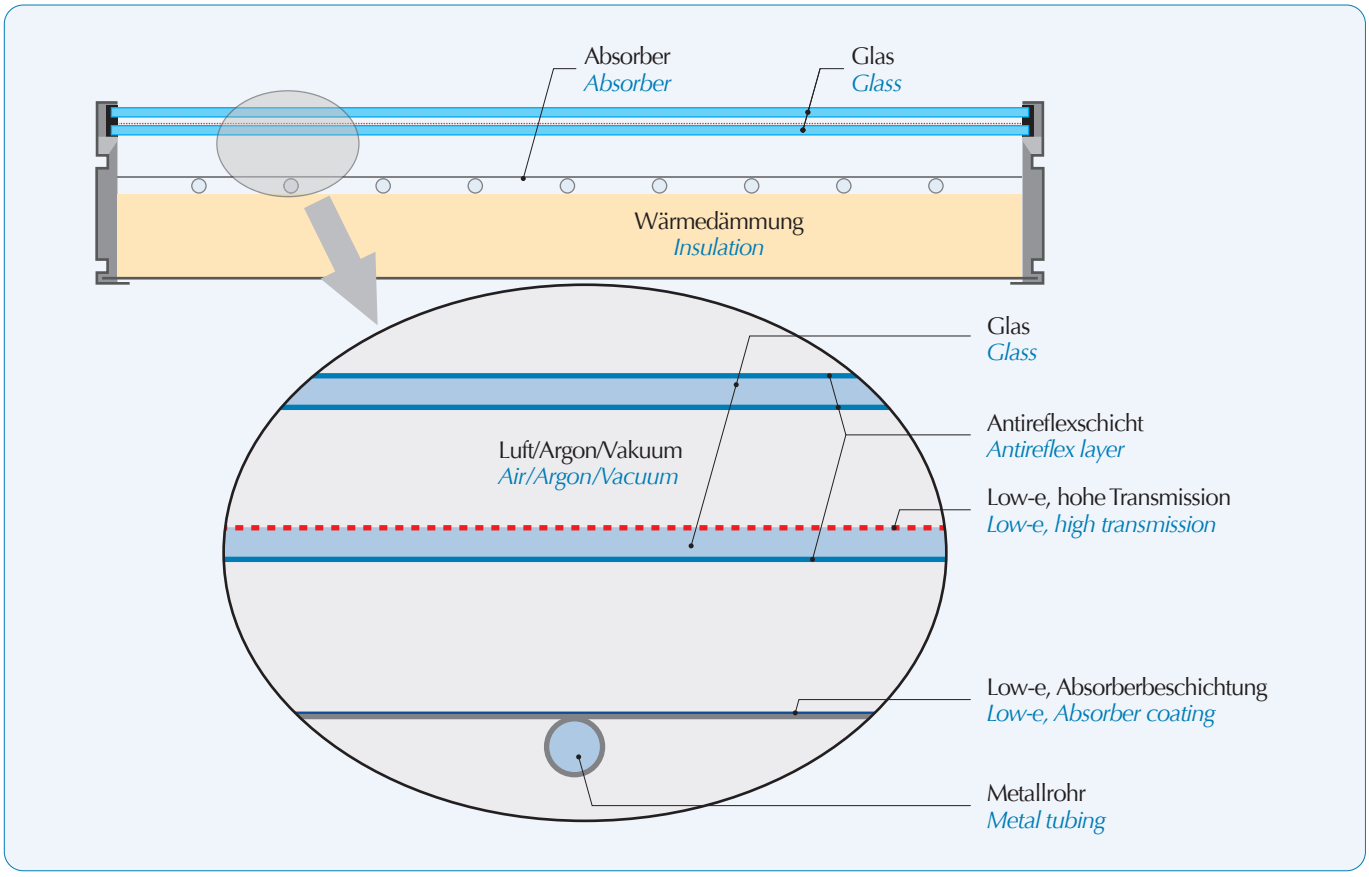


Abb. 56: Prinzip eines hocheffizienten Flachkollektors.
Fig. 56: Principle of a high-efficiency flat-plate collector.

und Reduktion des Strahlungsaustauschs zwischen den Scheiben über eine niedrig emittierende Beschichtung, eine sog. Low-e-Schicht. Dabei muss eine hohe Strahlungstransmission durch hochwertiges Glas, Antireflex- (AR) Beschichtungen und eine Optimierung der Low-e-Schicht sichergestellt werden.

Als ergänzende Maßnahmen zur Verbesserung werden z.B. eine Argon-Gasfüllung des Zwischenraums und eine erhöhte Rückseitendämmung eingesetzt. Der wichtigste Baustein für einen Hocheffizienz-Flachkollektor (HFK) ist die Low-e-Schicht mit hoher Transmission. Dabei wird die beste Wirkung erreicht, wenn die Low-e-Schicht auf der Oberseite der unteren Verglasung aufgebracht wird. Dies gewährleistet zusammen mit einem selektiven Absorber, dass sich in jedem Zwischenraum eine selektive Beschichtung befindet, die sehr effektiv Wärmeverluste durch Strahlung unterdrückt.

Studie mit einem ersten Prototyp

Ein erster Prototyp-Kollektor wurde mit einer Doppelverglasung konstruiert und aus handelsüblichen Komponenten gebaut. Die äußere Scheibe mit 91,5% Transmission, die innere Scheibe aus handelsüblichem Low-e-Glas (K-Glass™, Pilkington) mit einer Emissivität von 0,24. Da K-Glass™ nicht für Kollektoren entwickelt wurde, hat es einerseits einen vergleichsweise hohen Eisenanteil, der für eine erhöhte Absorption von Solarstrahlung im Glas führt und andererseits weist die Low-e Beschichtung eine nur mäßige solare Transmission auf. Abweichend von Abb. 56 weist die untere Glasscheibe auf ihrer Unterseite keine Antireflex-Beschichtung auf. Ferner wird ein Kupfer-Absorber mit einem laserverschweißten Rohrleitungssystem und einer hochselektiven Beschichtung eingesetzt. Das Kollektorgehäuse besteht wie bei kommerziellen

heat losses between the glass panes by applying a low-emitting coating, a so-called low-e coating. A high solar transmittance must be ensured by using high-quality glass with antireflective (AR) coatings and an optimized low-e coating.

Additional measures to raise the efficiency are for example the filling of the gap with argon gas instead of air and an increased rear-side insulation. The key component of a high-efficiency flat-plate collector (HFC) is the low-e coating with high solar transmittance. In order to achieve the maximum effect, this low-e coating must be applied to the upper surface of the lower pane of glass. This ensures, together with a selectively coated absorber, that in each gap one selective coating effectively reduces radiative heat losses.

Study with a first prototype

A first prototype-collector was constructed with double-glazing using commercially-available components. The upper glass-pane had a solar transmittance of 91.5%, the lower glass pane is a commercially-available low-e coated glass (K-glass™, Pilkington) with an emissivity of ε = 0.24. As K-glass was developed for window glazing instead of collectors, it has a high iron content, which leads to a comparatively high absorption of solar radiation. Furthermore the low-e coating provides only moderate solar transmittance.

Unlike in Fig. 56, the lower glass pane does not have an AR coating on its underside. As an absorber, a copper plate with laser-welded pipework and a highly selective absorber-coating was used. The collector frame is similar to commercial products. It is made of aluminum and mineral wool is used for

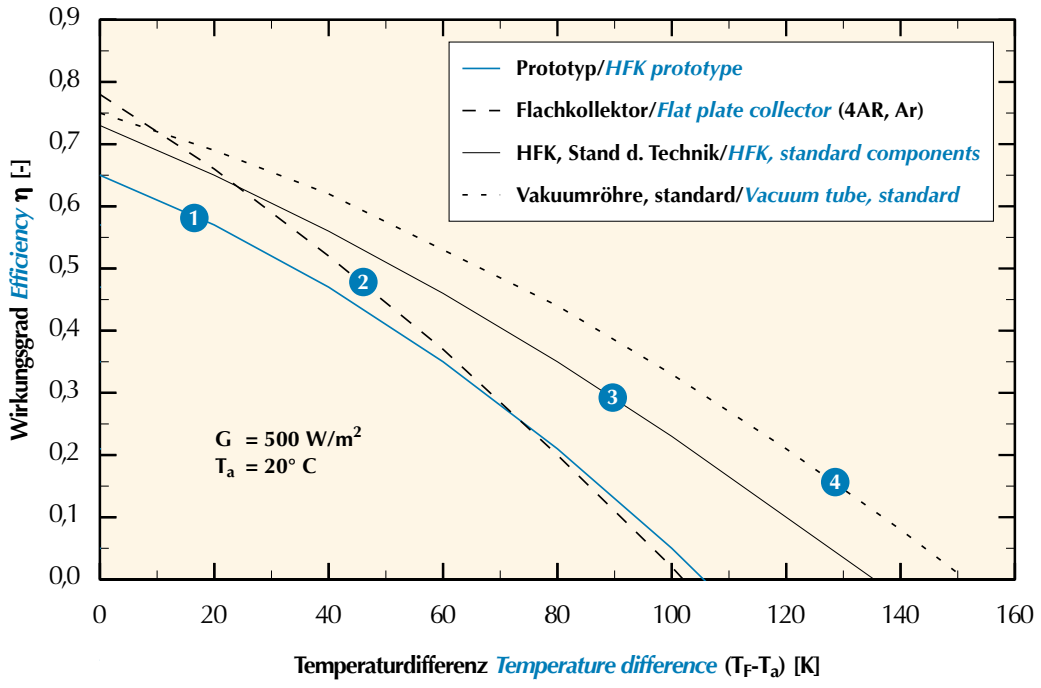


Abb. 57: gemessene Wirkungsgradkurve des Prototyp-Kollektors (—) im Vergleich zu einem Flachkollektor mit einer AR-beschichteten Doppelverglasung und Argon Füllung (– –), einem hocheffizienten Flachkollektor (HFK, Extrapolation) (- -) und einem handelsüblichen Vakuumröhrenkollektor (- -).

Fig. 57: Measured efficiency curve of prototype-collector (—) compared to a flat-plate collector with AR-coated double glazing and argon filling (– –), a high-efficiency flat-plate collector (HFC, extrapolation) (- -) and a commercially-available evacuated tube collector (- -).

Produkten aus einem Aluminiumrahmen mit einer Rückseitendämmung aus Mineralwolle. Wärmebrücken zwischen Glasscheiben und Kollektorrahmen sind minimiert.

Durchgeführte Wirkungsgradmessungen an dem Prototypen und Abschätzungen der optischen und thermischen Eigenschaften der Komponenten lassen das Entwicklungspotential des Kollektorkonzepts bewerten.

Die Leistungsmessung des Prototyp-Kollektors nach EN 12975 führt zu einem Konversionsfaktor $\eta_0 = 0{,}65$ und einem Wärmeverlustkoeffizienten a_{60} von 2,5 W/m^{2}K bei 60 K Temperaturdifferenz zwischen Kollektor und Umgebung. Die zugehörige Wirkungsgradkurve ist im Vergleich zu drei weiteren Kollektoren in Abb. 57 dargestellt. Der Kollektor 3 entspricht dem Prototyp, geht jedoch von verbesserten Gläsern entsprechend dem heutigen Stand der Technik aus:

- hochqualitatives AR-Glas mit einem solaren Transmissionsgrad von 95 bis 96% anstatt 91,5% für die obere Glasscheibe
- eine eisenarme Glasscheibe für die untere Scheibe mit gleicher Low-e Beschichtung,
- eine AR Beschichtung auf der unteren Seite der unteren Glasscheibe

Besonders viel versprechend ist der bereits mit dem vermessenen Prototypen 1 erreichte Wärmeverlustkoeffizient a_{60} von 2,5 W/m^{2}K, der nicht sehr weit von dem gesetzten Zielwertbereich zwischen 2,2 bis 1,8 W/m^{2}K entfernt ist, aber schon deutlich unter dem Wert für 2 von 3,4 W/m²K liegt. Der Konversionsfaktor von 1 ist noch nicht konkurrenzfähig, aber die Betrachtungen für 3 zeigen, dass mit den genannten Verbesserungen des Prototypen ein Konversionsfaktor $\eta_0 \approx 0{,}70$ erreichbar ist.

Die thermische Leistungsfähigkeit kann weiter gesteigert werden durch

- Verwendung einer optimierten Low-e Beschichtung,
- einer verbesserten Rückwanddämmung,
- einer Argon-Füllung im Scheibenzwischenraum und durch weitere Optimierungen.

Verschiedene technische Lösungen für die Konstruktion der Zweischeibenanordnung sind möglich, wobei ein Schwerpunkt der zukünftigen Arbeit die Isolierverglasung mit abgeschlossenem Scheibenzwischenraum sein wird.

rearside insulation. Thermal-bridges between the glass panes and the frame of the collector are minimized.

Performance measurements on the prototype and estimations of the optical and thermal characteristics of available and future components permit an estimation of the performance potential of this collector-concept.

During a performance measurement test of the collector prototype in accordance with EN 12975, the conversion factor of the prototype was determined as $\eta_0 = 0.65$, while a heat-loss-coefficient a_{60} of 2.5 W/m^{2}K at a temperature difference between collector and ambient air of 60 K was obtained. The associated collector-efficiency curve is given in Fig. 57, in comparison with three other curves. The collector 3 deviates from the prototype only in using state-of-the-art commercially-available glazing technology:

- *high-quality AR glazing with a solar transmittance of 95 to 96% instead of 91.5% for the upper glass pane*
- *a low-iron glass lower pane as a substrate for the low-e coating*
- *an AR coating on the underside of the low-e glass-pane*

The measured heat loss coefficient at a temperature difference of 60 K between collector and ambience a_{60} of 2.5 W/m^{2}K 1 is particularly promising. It differs little from the target of 2.2 to 1.8 W/m^{2}K, but it is well below the value of 2 at 3.4 W/m^{2}K. The conversion factor of 1 is not yet competitive, but the results for 3 show that a conversion factor $\eta_0 \approx 0.70$ is achievable, when the mentioned improvements are made.

Thermal performance can be further increased by using

- *an optimized low-e coating*
- *a stronger rearside insulation*
- *an argon filling of the glazing cavity and further improvements*

Different technical solutions for the realization of the double-glazing are feasible, although a focus of future work will be on the dual-pane glazing with a gas layer between the two glass panes and a gas-tight seal.

Bewertungsmöglichkeiten für HFK
Der Einsatzbereich des HFK wird sich auf höhere Temperaturen als bisherige Flachkollektoren erstrecken, die Stagnationstemperatur von HFK wird mindestens 40 K höher liegen als die von üblichen Flachkollektoren. Zur Bewertung der Eigenschaften von HFK und anderer Hocheffizienzkollektoren sind am ISFH im Jahr 2007 mehrere Anlagen aufgebaut worden, die die zukünftigen Entwicklungsarbeiten unterstützen.

Temperaturdifferenz-Belastungsteststand
An die Isolierverglasung von HFK werden bezüglich ihrer Gebrauchstauglichkeit hohe Anforderungen gestellt. Dabei sind im Besonderen die hohen Temperaturunterschiede von der inneren zur äußeren Scheibe und die Temperaturbeständigkeit der abdichtenden Abstandshalterungen von Bedeutung. Zur Bewertung der Isolierverglasung sind zyklische Belastungen mit hohen Temperaturdifferenzen während der Entwicklungsphasen unabdingbar.

Der für diese Zwecke errichtete Teststand ermöglicht das Prüfen von bis zu einer Größe von 1,25 m × 2,30 m, wobei auf der Heizseite Temperaturen bis 350° C und auf der Kühlseite 10-80° C realisiert werden können. Der Prüfstand ist auf jeden Winkel zwischen 0° und 90° einstellbar.

Klimakammer mit Sonnensimulation
Die Klimakammer mit einer Ausdehnung von 5 m × 3 m × 3 m ist ein begehbarer Prüfstand zur Durchführung von Gebrauchstauglichkeitsuntersuchungen an Sonnenkollektoren sowie an Verglasungen und anderen Kollektorkomponenten in üblicher Modulgröße. In der Klimakammer können für bis zu sechs Kollektoren extreme Bedingungen erzeugt werden:

- Zyklische Temperaturbelastungen im Bereich von -20° C bis +80° C bei einer relativen Luftfeuchte bis 95%
- Integration eines Sonnensimulators mit einer Bestrahlungsstärke von 1000 W/m^2 und einem hohem UV-Anteil
- Beregnungstests innerhalb der Klimakammer
- Kollektorbetrieb durch gezieltes Heizen oder Kühlen des Absorbers (von 20° C bis 160° C)
- Variable Kombination mehrerer gleichzeitig auftretender Belastungen

Hochtemperatur-Thermostate
Zur Untersuchung des Wirkungsgrads von Hocheffizienzkollektoren stehen insgesamt vier Thermostate zur Verfügung, von denen drei mit Wasser als Wärmeträger bei Kollektoreintrittstemperaturen von 15° C bis 175° C (Regelgenauigkeit ± 0,05° C) und einer mit Glykol als Wärmeträger bis 160° C betrieben werden. Kollektoren bis zu einer Fläche von 10 m^2 können mit Volumenströmen

Measurement options for the evaluation of HFC
The operating conditions of HFC will include higher temperatures than used with today's flat-plate collectors. The stagnation temperature of HFC will be at least 40 K above the temperature of conventional flat-plate collectors. In order to assess the properties of HFC and further high-efficiency collectors, test facilities have been installed in 2007 at ISFH, which will assist future research and development work.

Temperature difference stress test-facility
The dual-pane glazing must reliably withstand the operating conditions, to which it will be exposed. Of particular importance are the high temperature differences between the interior and exterior pane of glass and the temperature stability of the glass spacer sealing. In order to evaluate the glazing, it is necessary to expose it to cyclical stress through high temperature differences during the stages of development.

The test-facility constructed for these purposes allows to test specimens up to a size of 1.25 m × 2.30 m, with the hot side heated up to a maximum temperature of 350° C and the cool side operated at 10-80° C. The inclination angle of the test-rig can be varied between 0° and 90°.

Climatic chamber with solar simulator
The climatic chamber with a size of 5 m × 3 m × 3 m is a test-facility, which allows access by laboratory staff to prepare the test installation and specimens. It has been designed for testing the reliability of solar thermal collectors as well as glazing and other collector components with usual dimensions. Within the climate chamber, extreme environmental conditions may be created for a set of up to six collectors:

- *Periodic ambient temperature variations from -20° C up to +80° C at a relative air humidity of up to 95%*
- *Integration of a sun-simulator with an irradiance level of 1000 W/m^2 and a high UV fraction*
- *Sprinkling and rain proofing tests within the climate chamber*
- *Collector operation with systematic cooling or heating of the solar absorber (range 20° C to 160° C)*
- *Variable combination of several simultaneously occurring stresses*

High-temperature thermostats
Four thermostats are available to determine the thermal performance of high-efficiency flat-plate collectors. Three of these use water as a heat transfer medium at a collector inlet temperature ranging from 15° C to 175° C (accuracy ± 0.05° C) while one uses glycol as a heat transfer medium with an inlet temperature



Abb. 58: Hydraulischer Aufbau eines Hochtemperatur-Thermostates für Kollektorleistungstests.
Fig. 58: Hydraulic construction of a high temperature-thermostatic circuit for collector-performance tests.

von 50 bis 1000 l/h bei einer Regelgenauigkeit von 1% unter Normbedingungen im Außen- und Innentest vermessen werden.

Energiedurchlassgrad und Wärmeverlustkoeffizient
Isolier- oder Doppelverglasungen, wie sie für HFK geplant sind, können durch die beiden Kenngrößen *Gesamtenergiedurchlassgrad* (g-Wert) und *Wärmedurchgangskoeffizient* (U-Wert) charakterisiert werden.

Üblicherweise werden der g- und der U-Wert in zwei unterschiedlichen Apparaturen bestimmt, die jeweils eine sehr aufwendige Messtechnik erfordern. Da beide Aufbauten konstruktiv ähnlich sind und auf ähnlichen Messprinzipien mit energetischer Bilanzierung beruhen, ist am ISFH ein Prüfstand entwickelt worden, der sowohl die Messung des g-Wertes als auch die Bestimmung des U-Wertes ermöglicht. Der Prüfstand ist geeignet für die Aufnahme von Prüflingen von maximal 1,40 m × 2,20 m; der gesamte Stand kann in einem Bereich zwischen 0° bis 90° beliebig geneigt und fixiert werden.

of up to 160° C. Collectors with a collector-area of up to 10 m^2 can be tested at volume flow rates of 50 to 1000 l/h with a deviation of less than 1% under standard conditions. They are applied to both indoor as well as outdoor tests.

Test facility for solar heat gain and thermal loss coefficient
Insulating or double glazing, as applied in HFC, may be characterized by the two parameters, namely solar heat gain coefficient *(SHGC) and* thermal loss coefficient *(U-value).*

Typically the SHGC and the U-value are determined in two different test-facilities, which both require expensive measuring equipment. The design of both sets of equipment and the measuring principles, based on energy balances, are very similar. Therefore ISFH has developed a combined test facility, which allows the measurement of both, the SHGC and the U-value. The test-facility enables the testing of specimens with a maximum size of 1.40 m × 2.20 m. The whole stand can be adjusted to any inclination angle between 0° and 90°.

Sebastian Föste, Gunter Rockendorf, Maik Kirchner, Wolfgang Eisenmann

Analyse und Vorhersage des Stagnationsverhaltens mittelgroßer thermischer Solaranlagen

Zentrale Größen für die Charakterisierung des Stagnationsverhaltens von solarthermischen Kollektoren und Kollektorfeldern sind die sogenannte Dampfproduktionsleistung, die Reichweite des Dampfes in den Rohrleitungen des Solarkreises sowie das entstehende Dampfvolumen. Letzteres ist für eine korrekte Dimensionierung des Membranausdehnungsgefäßes von entscheidender Bedeutung. Im Rahmen eines im Jahr 2007 abgeschlossenen Forschungsprojekts[10] des ISFH ist es gelungen, die Belastung des Solarkreises durch Stagnation zu quantifizieren und ein einfaches Modell zur Vorhersage der entscheidenden Parameter des Stagnationsverhaltens von Kollektorfeldern bis ca. 30 m² zu entwickeln.

10 Abschlussbericht zum BMU-Vorhaben *Stagnationsuntersuchungen in den Kollektorkreisen hochdimensionierter großer thermischer Solaranlagen*, FKZ 0329268A

Analysis and prediction of the stagnation behavior of medium-sized collector arrays

The main characteristic parameters to describe the stagnation process of solar-thermal collector arrays are steam-producing power (SPP), steam spread (StS) in the pipework of the solar circuit and the resulting steam volume (SV). For a proper dimensioning of the expansion vessel a reliable prediction of the SV is necessary. In 2007 in the course of a research project[10] supported by the German Federal Ministry for Environment, Environmental Protection and Reactor Safety (BMU) ISFH has now quantified the impact of the stagnation process on the solar circuit and developed a model to predict the main characteristic stagnation parameters of collector arrays up to 30 m².

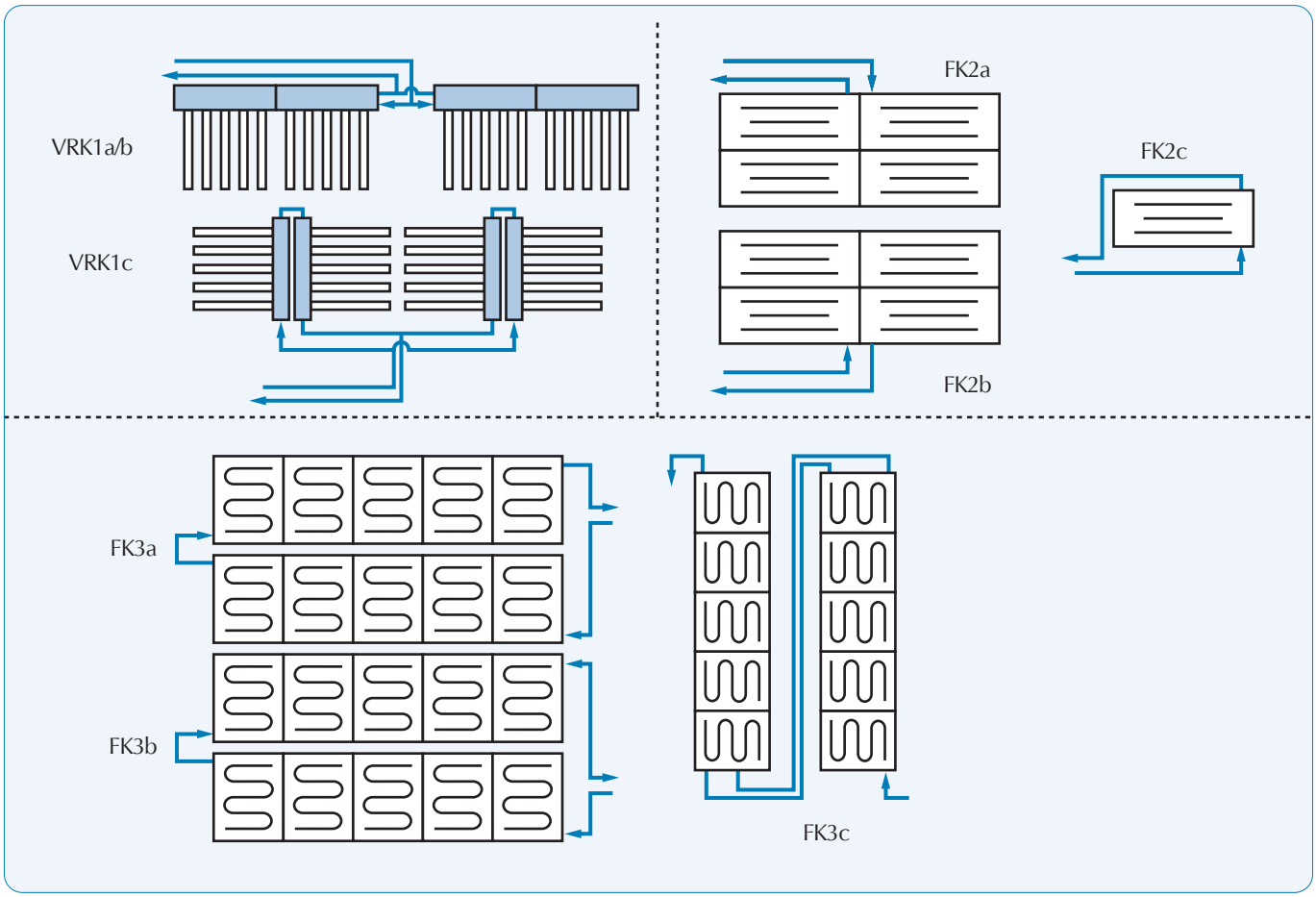


Abb 59: Schematische Darstellung der untersuchten Kollektorfeldvarianten.
Fig. 59: Schematic diagram of the different types of collector arrays examined.

10 *Final report concerning* Stagnationsuntersuchungen in den Kollektorkreisen hochdimensionierter großer thermischer Solaranlagen, *supported by German Federal Ministry for Environment, Environmental Protection and Reactor Safety (BMU), FKZ 0329268A*

Grundlage für dieses Modell sind die insgesamt 210 Outdoor-Stagnationsexperimente, die von 2003 bis 2007 an drei verschiedenen Kollektortypen in insgesamt neun verschiedenen Verschaltungsvarianten der Kollektorfelder am ISFH durchgeführt wurden (Abb. 59).

Die DPL eines Kollektorfeldes hängt von zahlreichen Parametern, wie dem Kollektorwirkungsgrad, dem Systemdruck und der hydraulischen Verschaltung der Kollektoren ab. Für den Verdampfungsvorgang wird im Modell angenommen, dass das gesamte Zweiphasengemisch innerhalb des Kollektorfeldes die Sattdampftemperatur ϑ_s annimmt. Somit berechnet sich die theoretische Stagnationsleistung des Kollektorfeldes im Moment der maximalen Dampfreichweite nach:

$$P_{stag} = G_{T,stag}\,\eta_0 - a_1\,(\vartheta_s - \vartheta_a) - a_2\,(\vartheta_s - \vartheta_a)^2 \qquad (1)$$

mit

- P_{stag} - Theoretische Stagnationsleistung [W/m^2]
- $G_{T,stag}$ - Wirksame Bestrahlungsstärke bei Stagnation [W/m^2]
- ϑ_s - Siedetemperatur des Wärmeträgers [° C]
- ϑ_a - Umgebungslufttemperatur [° C]
- η_0 - Konversionsfaktor [-]
- a_1 - Temperaturunabhängiger Wärmeverlustkoeffizient [W/m^{2}K]
- a_2 - Temperaturunabhängiger Wärmeverlustkoeffizient [W/m^{2}K^2]

Die Siedetemperatur der gängigen Wärmeträgermischung aus Wasser und Propylenglykol im Verhältnis 60:40 berechnet sich mit Hilfe des Systemdrucks p_{sys} im Moment der maximalen Dampfreichweite näherungsweise nach:

$$\vartheta_s = 100° C + 35{,}1\ K\ \ln(p_{sys}) \qquad (2)$$

Damit ist der Einfluss des Systemdrucks p_{sys}, der das Stagnationsverhalten in erster Linie über eine veränderte Siedetemperatur beeinflusst, mit berücksichtigt. Da z.B. leistungsstarke Vakuumröhrenkollektoren im Stagnationszustand mit einem höheren Kollektorwirkungsgrad arbeiten und somit auch tendenziell eine höhere Dampfproduktionsleistung aufweisen, ist eine Abhängigkeit der DPL von der theoretischen Stagnationsleistung zu erwarten. Es ist Ziel des entwickelten Modells, diesen Zusammenhang von P_{stag} und DPL, die darüber hinaus nur noch vom Entleerungsverhalten der Kollektoren beeinflusst wird, zu beschreiben. Die Abb. 60, 61 und 62 zeigen die Auftragung der gemessenen DPL-Werte über der theoretischen Stagnationsleistung P_{stag} für die verschiedenen Kollektortypen und Feldverschaltungen.

This model is based on a total of 210 outdoor stagnation experiments, which were carried out between 2003 and 2007 on three different collector types with a total of nine different connection variations (Fig. 59).

The SPP of a collector array depends on numerous parameters such as collector efficiency, system pressure and the piping of the collectors. During the stagnation process, we assume that the two-phase mixture in the collector array has the temperature of saturated steam ϑ_s. The theoretical collector performance during stagnation P_{stag} at the moment of maximum steam spread is calculated as follows:

$$P_{stag} = G_{T,stag}\,\eta_0 - a_1\,(\vartheta_s - \vartheta_a) - a_2\,(\vartheta_s - \vartheta_a)^2 \qquad (1)$$

with

- P_{stag} - *Theoretical collector performance during stagnation [W/m^2]*
- $G_{T,stag}$ - *Effective irradiance during stagnation [W/m^2]*
- ϑ_s - *Boiling point of the heat transfer medium [° C]*
- ϑ_a - *Ambient air temperature [° C]*
- η_0 - *Conversion factor of the collector [-]*
- a_1 - *Temperature-independent heat loss coefficient [W/m^{2}K]*
- a_2 - *Temperature-dependent heat loss coefficient [W/m^{2}K^2]*

The boiling point of the common heat transfer medium, which consists of a mixture of 60% water and 40% propylene glycol (40%), can be calculated with the help of the system pressure p_{sys} at the moment of maximum steam spread:

$$\vartheta_s = 100° C + 35.1\ K\ \ln(p_{sys}) \qquad (2)$$

This calculation takes into account the influence of the system pressure p_{sys}, which has an impact on the stagnation behavior through a changed boiling temperature. High-performance evacuated-tube collectors are more efficient during the stagnation process and therefore tend to a higher SPP. Hence, an interdependency of SPP and theoretical collector performance during stagnation P_{stag} is to be expected. Furthermore, the developed model, which describes the correlation of P_{stag} and SPP, is only influenced by the draining behavior of the collector array. Figs. 60, 61 and 62 show the variation between the measured SPP-levels and the theoretical collector performance during stagnation P_{stag} for the different collector types and array connections.

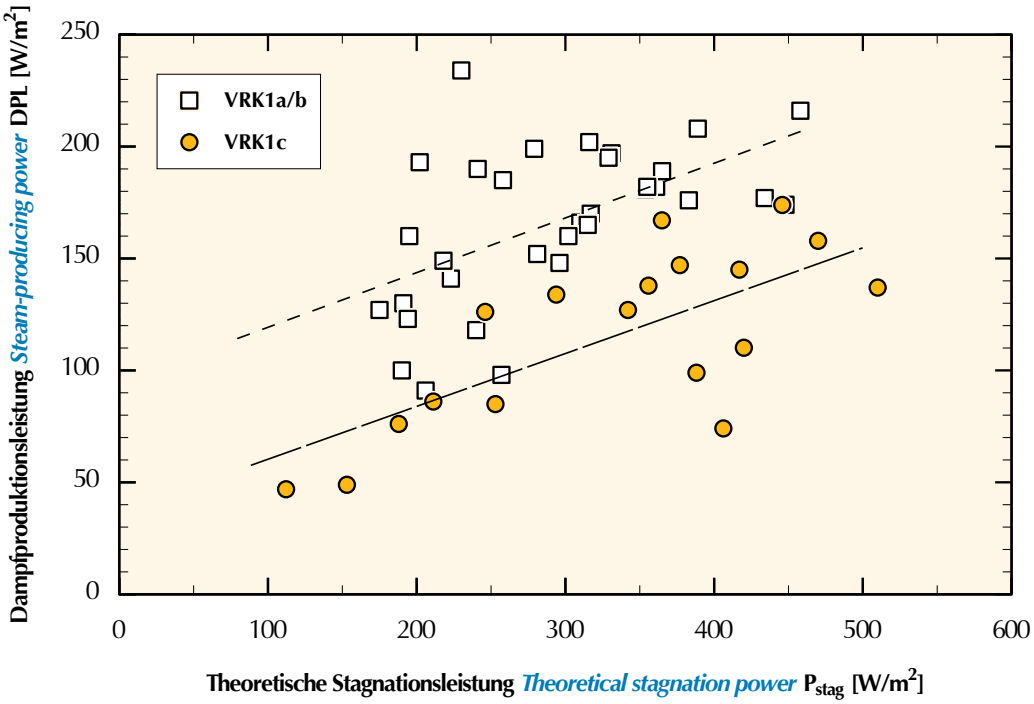


Abb. 60: Dampfproduktionsleistungen (DPL) der Vakuumröhrenkollektorfelder VRK1a/b und VRK1c in Abhängigkeit von der theoretischen Stagnationsleistung P_{Stag}.

Fig. 60: Correlation of the steam-producing power (SPP) of vacuum tubing collector arrays VRK1a/b and VRK1c versus the theoretical stagnation power P_{stag}.

Trotz der teilweise großen Schwankungsbreite der gemessenen Dampfproduktionsleistungen ist in den Abbildungen 60 bis 62 ein eindeutiger Trend zu erkennen. Wie zu erwarten war, steigt die DPL mit der theoretischen Stagnationsleistung an. Darüber hinaus weisen fast alle linearen Ausgleichsgeraden einen positiven Achsenabschnitt auf, d.h. die Felder produzieren eine nicht unerhebliche Dampfmenge, obwohl die theoretische Stagnationsleistung Null ist. Besonders deutlich ist dies anhand der Messergebnisse der Variante FK2a zu erkennen, wo es zu DPL-Werten von 60 W/m² kommt, obwohl die theoretische Stagnationsleistung Null ist. Erklärbar ist dieser Widerspruch mit der falschen Annahme, dass bei Stagnation die Kollektortemperatur gleich der Siedetemperatur des Fluids ist. Bei schlecht entleerenden Kollektoren ist diese Annahme oft nicht erfüllt, da die relativ große Restflüssigkeitsmenge innerhalb des Feldes die mittlere Fluidtemperatur stark herabsetzen kann.

In spite of the sometimes considerable variations in the measured steam-producing power Figs. 60-62 show a clear trend. As expected, SPP rises with theoretical collector performance during stagnation P_{stag}. Furthermore, almost all lines of best fit have a positive axis intercept, i.e. a great amount of steam is produced by the collector arrays, although the theoretical collector performance during stagnation is zero. This is particu-

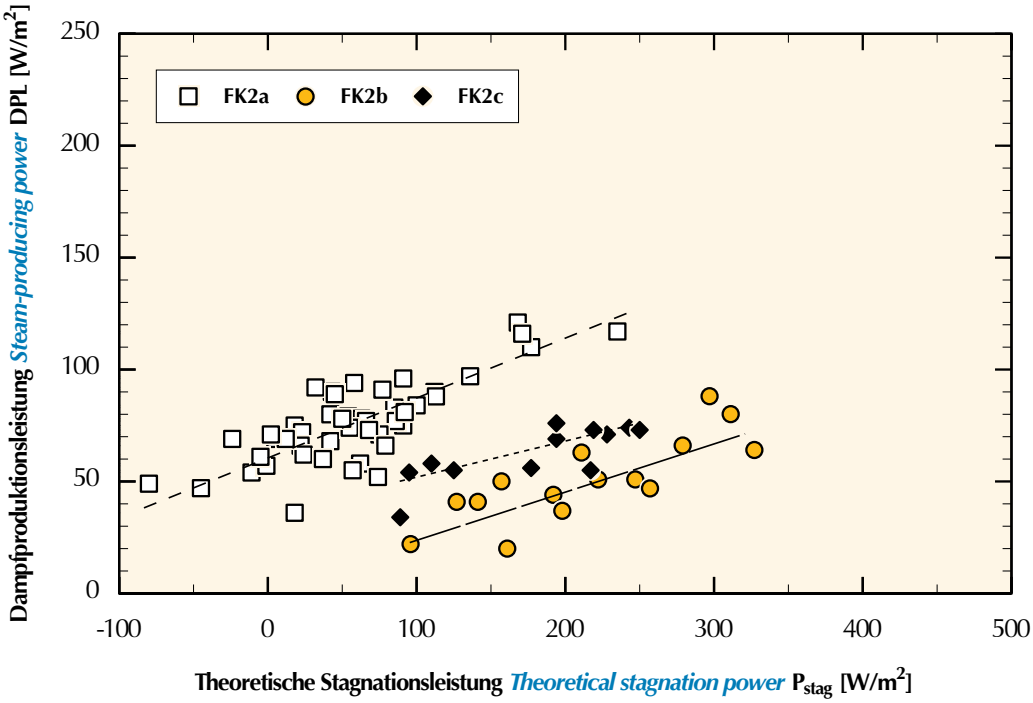


Abb. 61: Dampfproduktionsleistungen (DPL) der Flachkollektorfelder FK2a, FK2b und FK2c in Abhängigkeit von der theoretischen Stagnationsleistung P_{Stag}.

Fig. 61: Correlation of the steam-producing power (SPP) of flat plate collector arrays FK2a, FK2b and FK2c versus the theoretical stagnation power P_{stag}.

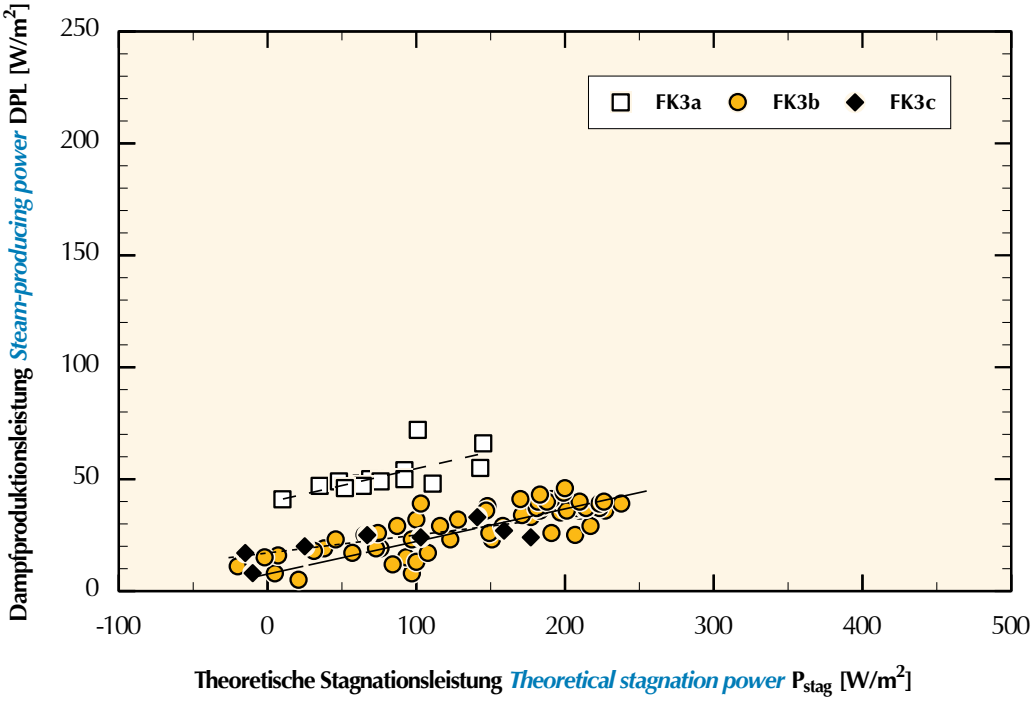


Abb. 62: Dampfproduktionsleistungen (DPL) der Flachkollektorfelder FK3a, FK3b und FK3c in Abhängigkeit von der theoretischen Stagnationsleistung P_{Stag}.
Fig. 62: Correlation of the steam-producing power (SPP) of flat plate collector arrays FK3a, FK3b and FK3c versus the theoretical stagnation power P_{stag}.

Aus den Messergebnissen der ISFH-Experimentieranlagen können drei Klassen mit hoher, mittlerer und geringer DPL gebildet werden. Für diese drei Kategorien ergeben sich die folgenden Gleichungen mit gerundeten Koeffizienten:

Klasse A: $DPL = 15\% \, P_{stag} + 10 \, W/m^2$ (3)

Klasse B: $DPL = 20\% \, P_{stag} + 40 \, W/m^2$

Klasse C $DPL = 25\% \, P_{stag} + 80 \, W/m^2$

Die Einordnung in die Klassen hängt in erster Linie von der Güte des Entleerungsverhaltens der Kollektorfelder ab[11]. Werden für eine Vorhersage der DPL die Modellgleichungen nach (3) angewandt, ergibt sich dadurch eine Standardabweichung zwischen den Messergebnissen und den Vorhersagen von 25%.

Vorhersage des Dampfvolumens

Für eine verlässliche Dimensionierung des Membranausdehnungsgefäßes ist die Kenntnis des bei Stagnation entstehenden Dampfvolumens (DV) nötig. Anders als die DPL ist das entstehende Dampfvolumen kein fester Kennwert des Kollektorfeldes, sondern zusätzlich abhängig vom Durchmesser und den Wärmeverlusten der Solarkreisverrohrung. Das bei Stagnation entstehende spezifische Dampfvolumen pro Kollektoraperturfläche v_G kann wie folgt berechnet werden:

$$v_G = \mathrm{Max}\,(V_R^* \, DPL/\dot{Q}_R^* + v_{G,Koll}; v_{Koll}) \quad (4)$$

11 Scheuren J., Kirchner M., Eisenmann W.: *Minderung der Stagnationsbelastungen bei größeren Kollektorfeldern*, Jahresbericht 2006, Institut für Solarenergieforschung Hameln, 46-50, (2006)

larly clear to see from the measurements resulting from variant FK2a, where SPP levels of 60 W/m² are recorded although the theoretical collector performance during stagnation is zero. The reason for this contradiction is the false assumption, that the collector temperature during stagnation equals the boiling temperature of the field. In fact, this assumption is often not valid for collectors with unfavorable draining behavior, because the relatively large amount of liquid remaining in the collector can greatly reduce the average fluid temperature.

From the measurements at the outdoor test arrays at ISFH we can derive three classes of low (A), moderate (B) and high SPP (C). For these three classes the following equations with rounded coefficients can be produced:

Class A: $SPP = 15\% \, P_{stag} + 10 \, W/m^2$ *(3)*

Class B: $SPP = 20\% \, P_{stag} + 40 \, W/m^2$

Class C: $SPP = 25\% \, P_{stag} + 80 \, W/m^2$

The quality of collector draining in an early state of the stagnation process is the basis for the classification of stagnation behavior[11]. If we calculate SPP using the model equations (3), we get a standard deviation between the measurement results and the prediction of 25%.

Prediction of the steam volume

For a reliable dimensioning of the expansion vessel, knowledge of the steam volume (SV) emerging during the stagnation process is necessary. Unlike SPP, the steam volume is not a fixed

11 *Scheuren J., Kirchner M., Eisenmann W.:* Reduction of stagnation load of large-scale collector arrays, *Annual Report 2006, Institut für Solarenergieforschung Hameln, 46-50, (2006)*

mit

- v_G - Dampfvolumen im Solarkreis pro Aperturfläche [Liter/m^2]
- v_R^* - Innenvolumen der Solarkreisrohre pro Meter [Liter/m]
- $\dot{Q}_R^*$ - Wärmeverluste pro Rohrleitungslänge (RLV) [W/m]
- $v_{G,Koll}$ - Dampfvolumen im Kollektor pro Aperturfläche [Liter/m^2]
- v_{Koll} - Gesamtinhalt des Kollektors pro Aperturfläche [Liter/m^2]

Im Moment der maximalen DPL und des maximalen Dampfvolumens betrug das gemessene spezifische Dampfvolumen im Kollektorfeld $v_{G,koll}$ bei allen untersuchten Feldvarianten etwa 0,5 Liter/m^2. Die Rohrleitungsverluste (RLV) bei Stagnation Q_R sind abhängig von der Dampf- und Umgebungstemperatur sowie dem Rohrdurchmesser d_a und der Dämmstärke der Leitungen d_{WD}. Eine Darstellung der theoretisch ermittelten Rohrleitungsverluste enthält Tabelle 3.

parameter of the collector array, but is additionally dependent on the diameter and heat losses of the collector loop pipework. The emerging steam volume during stagnation per collector aperture v_G area can be calculated as follows:

$$v_G = Max\ (V_R^* DPL/\dot{Q}_R^* + v_{G,Koll}; v_{Koll}) \qquad (4)$$

with

- v_G - *Steam volume in the collector loop per collector aperture area [liters/m^2]*
- v_R^* - *Internal volume of the collector loop pipes per meter [liters/m]*
- $\dot{Q}_R^*$ - *Heat losses per meter of pipe during stagnation [W/m]*
- $v_{G,Koll}$ - *Steam volume in the collector per collector aperture area [liters/m^2]*
- v_{Koll} - *Total fluid volume of the collector per aperture area [liters/m^2]*

At the moment of maximum SPP and SV, the specific steam volume in the collector array $v_{G,Koll}$ amounted to approx. 0.5 liters/m^2 for all the types of collector arrays examined. The thermal heat loses of the collector loop pipes (THL) during stagnation Q_R depend on the steam temperature, the ambient temperature, the pipe diameter d_a and the thickness of pipe insulation d_{WD}. A list of the calculated heat losses of the pipes is shown in Table 3.

Tab. 3: Innenvolumen und Wärmeverluste von einem Meter gedämmter Rohrleitung (λ = 0,05 W/mK) unter Stagnationsbedingungen (ΔT = 115 K). Die Zahlenkombination der Rohrmaße bezeichnet den Außendurchmesser d_a und die Wandstärke s_R in Millimeter.
Tab. 3: Internal diameter and heat losses per meter of pipe (λ = 0.05 W/mK) under stagnation conditions (ΔT = 115 K). The number-combination of the pipe dimensions indicates the external diameter d_a and the wall thickness s_R in millimeters.

Rohrmaß $d_a \times S_R$ [mm] *Pipe dimension*	18 × 1	22 × 1	28 × 1,5	35 × 1,5	42 × 1,5	54 × 2	76,1 × 2	88,9 × 2	108 × 2,5	Einheit *Unit*
V_R*	0,2	0,31	0,49	0,8	1,19	1,96	4,08	5,66	8,33	Liter/m
$\dot{Q}_R^*$ (d_{WD} = 50%)	36,5	38,4	40,5	42,3	43,6	45,1	46,9	47,5	48,3	W/m
$\dot{Q}_R^*$ (d_{WD} = 100%)	27,6	28,3	29,2	29,8	30,3	30,8	31,4	31,6	31,8	W/m

Vorgehen zur Bestimmung der stagnationsrelevanten Kenngrößen
Das Vorgehen zur Abschätzung der Dampfproduktionsleistung, der Dampfreichweite und des Dampfvolumens ist in Abb. 63 anhand eines Schemas verdeutlicht. Für Kollektorfelder bis ca. 30 m^2 liegt nun erstmals ein empirisch abgesichertes Modell vor, mit dem die Dampfproduktionsleistung, die Dampfreichweite und das Dampfvolumen innerhalb des Solarkreises vorhergesagt werden können.

Procedure for calculating the parameters for stagnation
The following schema (Fig. 63) illustrates the procedure for estimating steam-producing power, steam spread and steam volume. With this empirically verified model, it is now possible to predict steam-producing power, steam spread and steam volume in the solar circuit for collector arrays of up to 30 m^2.

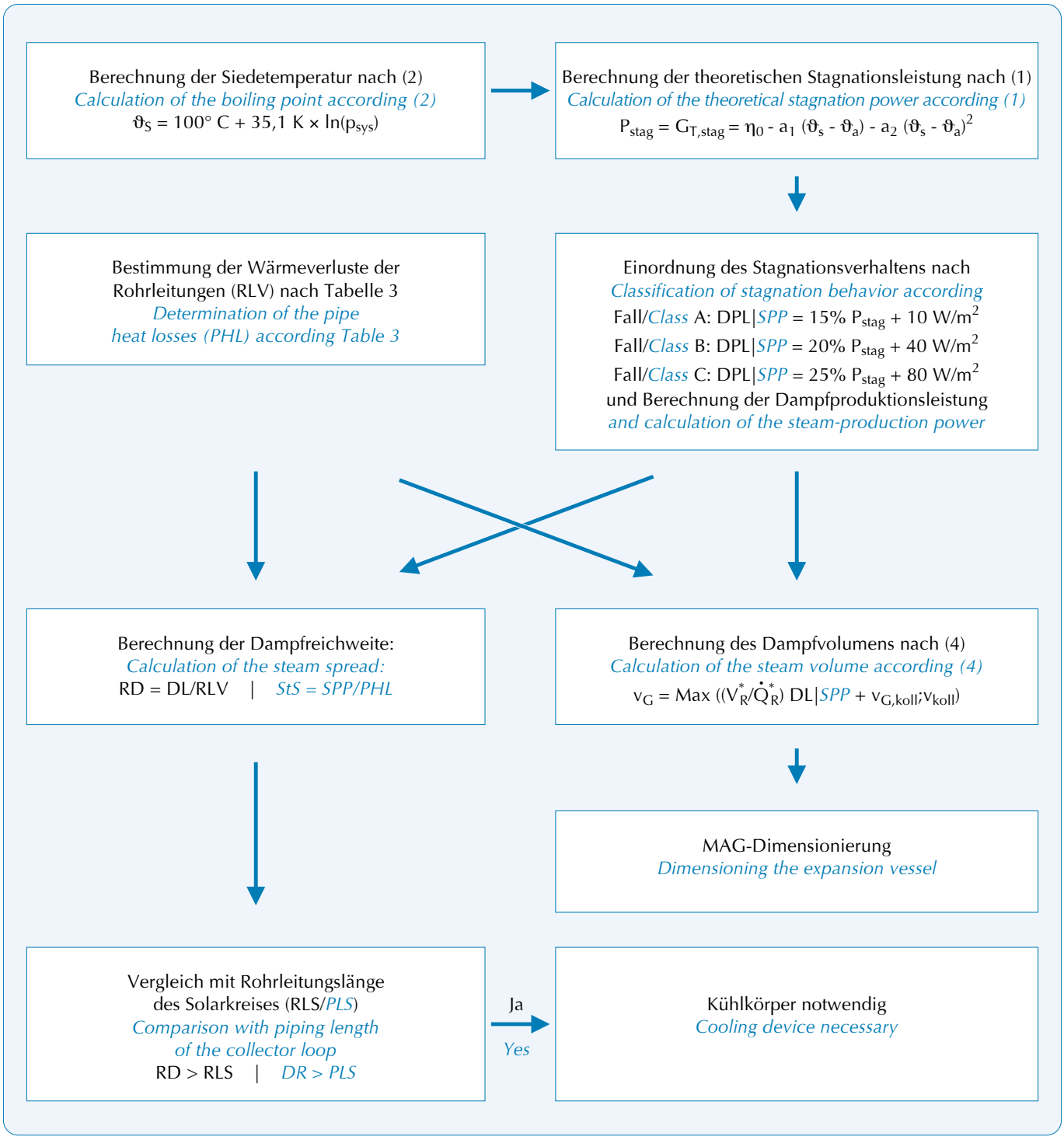


Abb. 63: Schema zur Abschätzung der Dampfproduktionsleistung, der Dampfreichweite und des Dampfvolumens bei Stagnation.
Fig. 63: Scheme to calculate steam-producing power, steam spread and steam volume during stagnation.

Jörn Scheuren

Akademische Ausbildung

Die Solarindustrie leidet derzeit an einem starken Mangel ausgebildeter Fachkräfte. Es fehlt in den Bereichen Photovoltaik und Solarthermie an Physikern und Ingenieuren mit Expertenwissen. In dieser Situation kommt den Forschungseinrichtungen und den Universitäten die gemeinsame Aufgabe zu, ausreichend Nachwuchs für dieses spannende und wichtige Feld der angewandten Energieforschung auszubilden. Das ISFH und die Leibniz Universität Hannover (LUH) sind Dank ihrer guten Zusammenarbeit besonders geeignet, diese Aufgabe zu leisten.

Im Jahr 2007 wurden folgende Lehrveranstaltungen von Mitarbeitern der Abteilung Solarenergie im Institut für Festkörperphysik der LUH und von Mitarbeitern des ISFH gemeinsam durchgeführt:

- *Vorlesung „Physik der Solarzelle“*
  (2 SWS[12], Dozent Prof. Rolf Brendel)
  Nach den Halbleitergrundlagen behandelt diese Vorlesung alle physikalischen Prozesse, die für die Funktion einer Solarzelle wichtig sind. Dabei gehen wir insbesondere ein auf die optischen Eigenschaften des Halbleiters, den Transport von Elektronen und Löchern sowie die Rekombination von Ladungsträgern. Die Herstellung und experimentelle Charakterisierung von Solarzellen wie auch Möglichkeiten und Grenzen der Wirkungsgradverbesserung werden behandelt. Die Vorlesung wird aufgezeichnet und steht den Studenten dann in elektronischer Form für das Nacharbeiten zur Verfügung. Sie richtet sich an Studierende aus der Physik und den Ingenieurwissenschaften ab dem 5. Semester.

- Übung zur Vorlesung „Physik der Solarzelle“
  (2 SWS, Dozent Dr. Pietro P. Altermatt)
  Als Ergänzung der Vorlesung und zur Vertiefung des Stoffes bieten wir Übungen an. Im Rahmen der Übungen lernen die Studenten, die physikalischen Prozesse in Solarzellen selbst mit dem Computer zu simulieren. Die erfolgreiche Teilnahme an den Übungen wird durch einen Übungsschein bestätigt. Diese Übung richtet sich an Studierende, welche die Vorlesung „Physik der Solarzelle“ hören.

- Vorlesung „Halbleitercharakterisierung“
  (2 SWS, Dozent PD Dr. Jan Schmidt)
  Diese Vorlesung behandelt Charakterisierungsmethoden für Halbleitermaterialien und -bauelemente. Sowohl die elektrische Charakterisierung zur Bestimmung von Leitfähigkeit, Kontaktwiderstand, Ladungsträgerdichte, Ladungsträgerbeweglichkeit und Grenzflächenzustandsdichten als auch die optische Charakterisierung mittels Ellipsometrie, Infrarotspektroskopie, Ramanspektroskopie, Photolumineszenz und optischer Mikroskopie werden besprochen. Die Vorlesung wendet sich an Studierende ab dem 5. Semester.

12 Semesterwochenstunde

Academic education

The solar industry is currently suffering from a serious shortage of trained personnel. There is a lack of physicists and engineers with expert knowledge in the areas of photovoltaics and solar heating. In this situation, research institutions and universities have the joint task of training sufficient young people in this fascinating and important area of applied energy research. ISFH and the Leibniz Universität Hannover (LUH), thanks to the good cooperation between the two bodies, are particularly suited to fulfilling this task.

In 2007 the following teaching events were jointly held by staff of the Solar Energy Department at the Solid-State Physics Institute of LUH and staff of ISFH.

- *Lecture “Physics of the Solar Cell”*
  (2 SWS[12], Lecturer: Prof. Rolf Brendel)
  After the basics of semi-conductors, this lecture deals with all physical processes which are important to the function of a solar cell. At the same time, we look at, in particular, the optical characteristics of the semi-conductor, the transport of electrons and holes, as well as the recombination of charge carriers. The production and experimental characterization of solar cells as well as the possibilities and limitations of efficiency improvement are considered. The lecture has been recorded and is now available to students in electronic form for further study. This lecture is aimed at students of physics or the engineering sciences from the fifth semester onwards.

- *Exercise based on the Lecture „Physics of the Solar Cell“*
  (2 SWS, Lecturer Dr. P. Altermatt)
  In addition to the lecture and to reinforce its content, we offer exercises based upon it. During these exercises students learn how to simulate the physical processes with a computer. Successful participation in these exercises is confirmed by an exercise certificate. These exercises are aimed at students hearing the lecture “Physics of the Solar Cell”.

- *Lecture “Characterization of Semi-Conductors”*
  (2 SWS, Lecturer PD Dr. Jan Schmidt)
  The lecture deals with characterization methods for semiconductor materials and components. Both electrical characterization to determine conductivity, contact resistance, charge carrier density, charge carrier mobility and interface condition densities as well as optical characterization by means of ellipsometry, infra-red spectroscopy, Raman spectroscopy, photo-luminescence and optical microscopy are discussed. The lecture is aimed at students from the fifth semester onwards.

12 *“Semesterwochenstunde”, number of lessons per week*



Abb. 64: Physikstudenten in der Übung zur Vorlesung „Physik der Solarzelle.
Fig. 64: Physics students during the exercise corresponding the lecture „Physics of the Solar Cell“.

➜ Übung zur Vorlesung „Halbleitercharakterisierung“
(1 SWS, Dozent PD Dr. Jan Schmidt)
Als Ergänzung der Vorlesung und zur Vertiefung des Stoffes bieten wir diese Übungen an. Die erfolgreiche Teilnahme an den Übungen wird durch einen Übungsschein bestätigt.

➜ Seminar „Photovoltaic meets Nano“
(2 SWS, Dozenten Dr. Pietro P. Altermatt, Prof. Rolf Brendel, Prof. Rolf Haug, Prof. Karina Morgenstern, Prof. Michael Oestreich, Prof. Herbert Pfnür)
Der Wirkungsgrad konventioneller Solarzellen ist auf Werte von etwa 30% beschränkt durch die Nicht-Absorption von Sonnenstrahlung, die Thermalisierung von Ladungsträgern und die unvermeidbare strahlende Rekombination. Die Nanostrukturierung eröffnet neue Möglichkeiten, die jeweiligen elektronischen und optischen Eigenschaften maßzuschneidern, welche den Wirkungsgrad bestimmen. Die in der Literatur diskutierten Ansätze, durch Nanostrukturierung und neue Effekte hohe Wirkungsgrade zu erreichen, werden im Seminar behandelt. Die erfolgreiche Teilnahme am Seminar wird wiederum durch einen Seminarschein bestätigt.

➜ Blockpraktikum „Photovoltaik“
(zweiwöchig, nach der Wintersemester-Vorlesungszeit, Dozenten: Prof. Rolf Brendel, Dr. Karsten Bothe, Dr. Pietro P. Altermatt)
In dem im Jahr 2007 erstmals angebotenen Blockpraktikum „Photovoltaik“ hatten Studierende die Möglichkeit, praktische und theoretische Kenntnisse in der Photovoltaik zu erwerben. Die Studierenden stellen unter Anleitung Halbleiter-Teststrukturen und Si-Solarzellen her, messen deren Strom-Spannungskennlinien bei variabler Temperatur und verschiedenen Beleuchtungsstärken, messen Ladungsträger-Lebensdauern, und die spektral aufgelöste optische Reflexion von Solarzellen. Aus dem Vergleich von Messungen und Modellrechnungen werden die Rekombinationsparameter der Solarzellen bestimmt. Am letzten Praktikumstag tragen die Studierenden ihre Mess- und Simulati-

➜ *Exercise based on the Lecture “Characterization of Semi-Conductors”*
(1 SWS, Lecturer: PD Dr. Jan Schmidt)
In addition to the lecture (2 SWS) and to reinforce its content, we offer exercises based upon it. Successful participation in the exercises is confirmed by an exercise certificate.

➜ *Seminar “Photovoltaics meets Nano”*
(2 SWS, Lecturers Dr. Pietro P. Altermatt, Prof. Rolf Brendel, Prof. Rolf Haug, Prof. Karina Morgenstern, Prof. Michael Oestreich, Prof. Herbert Pfnür)
The efficiency of conventional solar cells is limited to values of approximately 30% by non-absorption of solar radiation and thermalization of charge carriers and unavoidable radiant recombination. Nanostructuring opens up new possibilities of tailoring the electronic and optical characteristics which determine the efficiency level. At the seminar, ideas of achieving high efficiency levels through nanostructuring and new effects discussed in specialist literature are considered. Successful participation at the seminar is confirmed by a seminar certificate.

➜ *Block Practical “Photovoltaics”*
(two-week, after the winter term lecture time, Lecturers Prof. Rolf Brendel, Dr. Karsten Bothe, Dr. Pietro P. Altermatt)
In the block practical “Photovoltaics” offered for the first time in 2007, students had the possibility of acquiring practical and theoretical knowledge of photovoltaics. The students under supervision produce semi-conductor test-structures and Si solar cells, measure their voltage-current characteristics at variable temperatures and different light densities, measure charge carrier lifetimes and the spectrally dispersed optical reflection of solar cells. From the comparison of measurements and calculation models, the recombination parameters are determined. On the last day of the practical, the students present their measurement and simulation results. Successful participation in the practical is confirmed by a certificate. For physicists at Leibniz

Abb. 65: Dr. Pietro Altermatt (links) beim Unterricht mit Studenten im Institut für Festkörperphysik der Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover.
Fig. 65: Dr. Pietro Altermatt (left) teaching students in the Institute for Solid State Physics at the Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover.



onsergebnisse vor. Die erfolgreiche Teilnahme des Praktikums wird durch einen Teilnahmeschein bestätigt. Den Physikern der Leibniz Universität Hannover kann das Praktikum als FPII-Versuch anerkannt werden. Die Teilnehmerzahl ist auf 12 Studenten begrenzt[13].

➜ Literaturseminar „Photovoltaik“
(2 SWS, Dozent Dr. Pietro P. Altermatt)
In diesem Seminar kann ein guter Überblick über die wissenschaftliche Fachliteratur erworben werden. Wir behandeln grundlegende Veröffentlichungen aus dem Bereich der Siliciumphotovoltaik. Dieses Seminar ist insbesondere für Diplomanden und Doktoranden der Abteilung Solarenergie des Instituts für Festkörperphysik der LUH zur Vertiefung ihres Fachwissens geeignet.

➜ ISFH-Kolloquium „Solarenergieforschung“
(2 SWS, Organisation Dr. Rolf Reineke-Koch)
Externe Referenten berichten über aktuelle Forschungsergebnisse aus den Bereichen Photovoltaik und Solarthermie. Die behandelten Themen und die genauen Termine werden jeweils in der Rubrik „Veranstaltungen“ auf den Internetseiten des ISFH (www.isfh.de) veröffentlicht; die Vortragsthemen des Jahres 2007 sind im Dokumentationsteil, Kapitel 6 abgedruckt.

Universität Hannover, the practical is recognized as an FPII test. Participation is limited to 12 students[13].

➜ *Literature seminar “Photovoltaics”*
(2 SWS, lecturer Dr. Pietro P. Altermatt)
At this seminar a good knowledge of specialist scientific literature can be acquired. We consider standard publications from the area of silicon photovoltaics. This seminar is particularly suited to those studying for a diploma or doctorate in the Solar Energy Department of the Solid-State Physics Institute of LUH to deepen their knowledge of the subject.

➜ *ISFH Colloquium on “Solar Energy Research”*
(2 SWS, organization by Dr. Rolf Reineke-Koch)
External speakers report on the latest research results from the areas of photovoltaics and solar heating. The subjects of future talks as well as the precise dates can be found under “Veranstaltungen” on the ISFH website (www.isfh.de). The talks of 2007 are listed in the documentation, chapter 6.

Rolf Brendel

13 Anmeldungen zum Praktikum bei Dr. Pietro P. Altermatt (altermatt@solar.uni-hannover.de)

13 *Registrations for the practical to Dr. Pietro P. Altermatt (altermatt@solar.uni-hannover.de)*

NILS – Solarenergie zum Anfassen

Die am ISFH eingerichtete „Niedersächsische Lernwerkstatt für solare Energiesysteme“ (NILS) dient gemäß der im Klimaschutzaktionsplan Niedersachsen formulierten Aufgabenstellung der Förderung des Austausches zwischen Wissenschaft und Schulen in den Bereichen Solarenergie, regenerative Energien, Energietechnik, Naturwissenschaften, Nachhaltigkeit und Klimaschutz.

NILS wird im ISFH von einem Team geleitet, welches aus einem Solarwissenschaftler des ISFH und drei solardidaktisch ausgebildeten Lehrkräften besteht. Die NILS-Lehrkräfte sind durch einen Erlass des Kultusministeriums für einen Tag in der Woche von ihren schulischen Verpflichtungen entbunden und sind an diesem Tag sowie meist auch an zusätzlichen Terminen innerhalb und außerhalb ihrer Unterrichtszeit für Solarprojekte mit Schülerbeteiligung am ISFH und bei auswärtigen Veranstaltungen tätig.



Abb. 66: Alina Fiene, eine Schülerin des Seminarfachs „Solarenergie“ des Goethegymnasiums Hildesheim stellt Petra Wernicke, Umweltministerin von Sachsen-Anhalt, den experimentellen NILS-Solarstand auf dem Schülersolartag 2007 in Merseburg vor.
Fig. 66: Alina Fiene, a pupil from the “Solar Energy” seminar team of the Goethe High School, Hildesheim, presents the experimental NILS solar stand to Petra Wernicke, the Environment Minister of Saxony-Anhalt, at the 2007 Schools’ Solar Conference in Merseburg.

NILS hat am ISFH ein eigenes, fachlich gut ausgestattetes Experimentallabor für Schülergruppen und Lehrerteams. Darüber hinaus können weitere Einrichtungen des ISFH – Vortrags- und Seminarräume, Laboratorien – für solare Bildungsaufgaben genutzt werden.

Bilanz 2007
An den Schulen des Landes Niedersachsen besteht eine große und noch immer steigende Nachfrage nach den Serviceleistungen der Lernwerkstatt NILS. Neben Lerngruppen aus Schulen

NILS – Accessible Solar Energy

The „Niedersächsische Lernwerkstatt für solare Energiesysteme“ (Lower Saxon Workshop for learning about Solar Energy Systems) (NILS) contributes to the promotion of the exchange between science and schools in the areas of solar energy, renewable energy sources, energy technology, science, sustainability and climate protection foreseen by the Lower Saxon Action Plan for Climate Protection.

NILS is run at ISFH by a team consisting of ISFH solar scientists and three teachers trained in teaching solar science. The NILS teachers are freed from their school-teaching duties for one day a week by a dispensation from the Ministry of Education and on this day, and also at other times during and outside their teaching hours, work on solar projects with pupil participation both at ISFH and other venues.

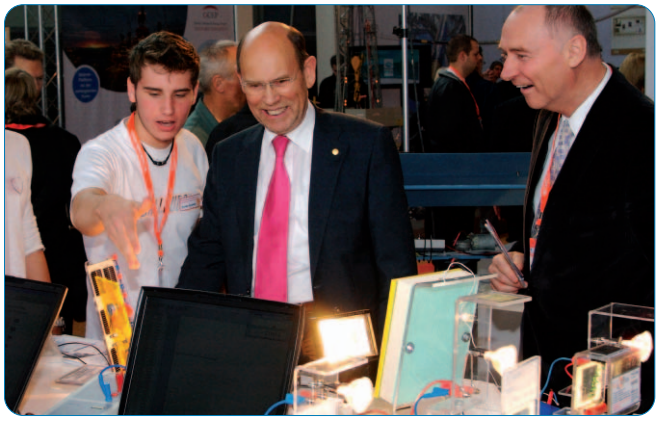


Abb. 67: Der niedersächsische Minister für Wirtschaft, Arbeit und Verkehr, Walter Hirche (mitte) am NILS-ISFH-Stand auf der „IdeenExpo“ in Hannover. Stefan Stemmler, Schüler am Goethegymnasiums Hildesheim, erläutert dem Minister die NILS-Solarexperimente.
Fig. 67: The Lower Saxon Minister for the Economy, Work and Transport, Walter Hirche (middle), at the NILS-ISFH stand at the “IdeenExpo”. Stefan Stemmler from the Goethe High School, Hildesheim is explaining the NILS solar experiments to the Minister.

At ISFH, NILS has its own technically well-equipped experimental laboratory for groups of pupils and teachers. In addition, other ISFH facilities, such as lecture and seminar rooms and laboratories, can be used for solar teaching purposes.

Balance for 2007
The schools of the province of Lower Saxony create a large and ever-growing demand for the services of NILS. In addition to the school groups from Secondary Level I, upper high school classes and vocational schools (BBS), many elemen-

der Sekundarstufe I, aus der gymnasialen Oberstufe und den berufsbildenden Schulen (BBS) besuchen viele Grundschulklassen im Rahmen des Sachkundeunterrichts die Lernwerkstatt und das ISFH. Viele NILS-Veranstaltungen finden auch außerhalb des ISFH in Niedersachsen und anderen Bundesländern an Schulen, auf Messen, Tagungen und technisch-naturwissenschaftlichen Veranstaltungen statt. Auch von der NILS projektierte und durchgeführte Lehrerfortbildungskurse werden innerhalb und außerhalb des ISFH durchgeführt. Alle Veranstaltungen und Termine sind auf der NILS-Homepage (www.nils-isfh.de) veröffentlicht.

Die Lernwerkstatt am ISFH ist an zwei Tagen in der Woche geöffnet, jeweils mittwochs für Grundschulen und donnerstags für die Oberstufenklassen. Über 1500 Schülerinnen und Schüler und über 380 Lehrkräfte besuchten 2007 die Lernwerkstatt

tary school classes visit NILS and ISFH in the course of their general knowledge lessons. Many NILS events take place outside ISFH in Lower Saxony and other provinces in schools, at fairs, conferences and technical-scientific functions. Also the teacher-training courses planned and carried out by NILS are held both within and outside ISFH. All events and dates are published on the NILS homepage (www.nils-isfh.de).

The NILS workshop at ISFH is open two days a week, on Wednesdays for elementary schools and on Thursdays for upper level classes respectively. In 2007, over 1500 pupils and over 380 teachers visited the NILS workshop and its solar-teaching events, which were planned and organized by NILS.

Each visit by a school group is carefully planned and prepared in advance with the accompanying specialist teacher in order





Abb. 68: Schülerexperimente im NILS-Labor, links Schüler aus dem 12. Jahrgang bei PV-Messungen, rechts Grundschulkinder einer 4. Klasse beim Bau eines Solarmoduls.

Fig. 68: Experiments by pupils in the NILS laboratory, on the left pupils from Year 12. On the right, elementary school pupils from Year 4 constructing a solar module.

NILS und die solardidaktischen Veranstaltungen, die von NILS projektiert und organisiert wurden.

Jeder Besuch einer Schülergruppe wird vom NILS-Team im Vorfeld mit dem begleitenden Fachlehrer sorgfältig geplant und vorbereitet, um das Programm und die schülerzentrierten experimentellen Phasen genau den Bedürfnissen und dem Niveau der Lerngruppe anzupassen.

Besondere Highlights 2007 waren die Tagungen, die von NILS organisiert wurden oder an denen NILS beteiligt war:

- Messestand im April 2007 auf der Industriemesse in Hannover, wo sich die NILS am Gemeinschaftsstand der Leibniz Universität Hannover beteiligte.
- Beteiligung am Schülersolartag in Merseburg/Sachsen-Anhalt im Juni 2007. NILS und das Seminarfachteam „Solarenergie“ des Goethegymnasiums Hildesheim wurden dort

to adapt the program and the pupil-centered experimentation phases precisely to the needs and level of the group.

Particular highlights of 2007 were the events organized by NILS or at which NILS participated:

- *Stand at the Industrial Fair in Hanover in April 2007, where NILS participated in the joint stand of the Leibniz Universität Hannover.*
- *Participation at the Schools' Solar Conference in Merseburg (Saxony-Anhalt) in June 2007. NILS and the specialist "Solar Energy" seminar team of the Goethe High School, Hildesheim were awarded second prize there for their experimental presentations.*
- *Solar technology stand with experimental sessions for children and families at the German Technology Museum in Berlin in July 2007.*

mit dem 2. Platz bei den experimentellen Präsentationen ausgezeichnet.

- Solartechnikstand mit experimentellen Angeboten für Kinder und Familien im Deutschen Technikmuseum in Berlin im Juli 2007.
- Teilnahme an der BAUM-Schul-Solartagung 2007 im Juli 2007 in Loccum in Form von Vorträgen und experimentellen Präsentationen.
- Messestand auf der Energiemesse SOLTEC in Hameln im September 2007 mit umfangreichen experimentellen Präsentationen.
- Betriebsbesichtigung der Firma „Solarwatt“ in Dresden mit intensiven Fachgesprächen zur Solartechnik, Betriebswirtschaft und Studium der Fertigungspraxis im Rahmen einer Studienfahrt im Oktober 2007.
- Die Jugend-Technik-Messe „IdeenExpo“ der niedersächsischen Landesregierung im Oktober 2007 auf dem Expo-Gelände in Hannover. Das waren zehn Tage Technik pur mit einem NILS-ISFH-Messestand sowie Experimentier-und Bastelangeboten in speziellen Tagungsräumen. Der Stand wurde von den NILS-Lehrkräften sowie der Öffentlichkeitsarbeit und anderer wissenschaftlicher Mitarbeiter des ISFH und jeweils drei SchülerInnen des Seminarfaches „Solarenergie“ des Goethegymnasiums Hildesheims betreut. Intensive Besucher-Beratung mit Rechnereinsatz bestimmten diese Technik-Tage und bei den Solar-Bastelangeboten wurden rund einhundert Solarmodule von Kindern und Jugendlichen hergestellt und zur Verwendung an deren Schulen weitergegeben.

Auf Einladung des niedersächsischen Kultusministeriums beteiligte sich NILS mit Schülerinnen des Seminarfachs Solarenergie des Goethegymnasiums Hildesheim an der 2. NUN-Konferenz am 22. und 23. November in Hamburg. Diese Tagung der Norddeutschen Partnerschaft zur Unterstützung der UN-Dekade „Bil-



Abb. 69: Das NILS-Team auf der NUN-Tagung in Hamburg.
Fig. 69: The NILS team at the NUN Conference in Hamburg.



Abb. 70: Der NILS-ISFH-Stand auf der „IdeenExpo“ in Hannover.
Fig. 70: The NILS-ISFH stand at the “IdeenExpo” in Hanover.

- *Participation at the BAUM Schools’ Solar Conference 2007 in Loccum in July 2007 in the form of lectures and experimental presentations.*
- *Stand at the SOLTEC Energy Fair in Hamelin in September 2007 with extensive experimental presentations.*
- *Tour of the “Solarwatt” factory in Dresden including intensive technical discussions about solar technology, the management and study of production practice in the course of a study trip in October 2007.*
- *The Lower Saxon provincial government’s youth technology fair “IdeenExpo” at the Expo site in Hanover in October 2007. This was ten days of pure technology with a NILS-ISFH stand as well as experimentation and handicraft sessions in special rooms. The stand was staffed by the NILS teachers as well as public relations and other scientific ISFH personnel and three pupils from the special solar energy group of the Goethe High School, Hildesheim respectively. Intensive visitor advice with the use of calculators was a feature of this technology fair and in the solar handicraft sessions about 100 solar modules were manufactured by children and young people and passed on for use at their schools.*

At the invitation of the Lower Saxon Education Ministry NILS took part with pupils from the special solar energy group of the Goethe High School, Hildesheim in the second NUN Conference in Hamburg on 22nd and 23rd November. This conference of the North German Partnership in Support of the UN Decade “Education for Sustainable Development 2005-2014” (NUN) bore the motto “Climate and energy – what can education and information contribute to climate protection?” In all these conferences pupils actively participated as assistants and speakers respectively and were able to gain valuable experience in explaining this subject matter externally.

dung für nachhaltige Entwicklung 2005 – 2014“ (NUN) hatte stand unter dem Motto „Klima und Energie – was können Bildung und Information zum Klimaschutz beitragen“. Bei all diesen Tagungen waren Schülerinnen und Schüler jeweils als Assistenten und Referenten aktiv beteiligt und konnten wertvolle Erfahrungen in der Außendarstellung dieser Thematik sammeln.

Auch in 2007 gab es viele Beratungsbesuche im ISFH und Anfragen von Lehrkräften oder Schülern aus dem In-und Ausland. Dabei war oft die Nachfrage groß nach Materialien oder Unterstützung bei Experimenten für den naturwissenschaftlichen Unterricht und zu Fortbildungszwecken, für schulische Referate und „Jugend-Forscht“-Arbeiten. Hier konnte das NILS-Team stets mit Rat und Tat helfen.

Ein weiterer Schwerpunkt war die Beratung von Schulen, die die Installation einer eigenen Photovoltaikanlage auf dem Schulgebäude planten und wegen solartechnischer Fragen zum PV-Anlagenbetrieb wie auch zur didaktisch-methodischen Einbindung der Photovoltaik in den Unterricht Kontakt mit NILS aufnahmen. Nicht nur weiterführende Schulen, sondern auch Grundschulen zeigen hier großes Interesse an der Installation eigener PV-Anlagen. Das NILS-Team konnte oft vor Ort an den Schulen technische und solardidaktische Beratungsarbeit leisten und mit zusätzlichen Lehrerfortbildungskursen die Lehrkräfte der Schulen naturwissenschaftlich und solardidaktisch fortbilden.

Im Herbst 2007 kam aus dem österreichischen Bundesland Tirol eine Anfrage aus der Schulverwaltung, die von NILS entwickelten SUSE PV-Geräte und Unterrichtsmaterialien zur Ausbildung von Schülern in Solarseminaren künftig verwenden zu dürfen.

Also in 2007 there were once again numerous consultative visits to ISFH and inquiries from teachers and pupils from home and abroad. Here the need of materials or support for experiments for science lessons and further education purposes, for school lectures and “Jugend-Forscht” projects was immense. Of course the NILS team was always able to help with word and deed.

A further important point was advising schools planning the installation of their own photovoltaic system on their school buildings and contacting NILS about solar-technical questions concerning the running of PV systems as well as how to introduce photovoltaics into class teaching. Not only secondary schools, but also elementary schools show a great interest in installing their own PV systems. The NILS team were often able to give technical and solar teaching advice and to give the schools’ teachers further scientific and solar teaching training in special courses on site at the schools.

In the autumn of 2007, an inquiry was received from the schools’ administration of the Austrian federal province of Tyrol about the future use of SUSE PV devices and teaching materials developed by NILS for teaching pupils in solar seminars.



Abb. 71: Eine Grundschulklasse aus Goslar mit den im NILS-Workshop selbstgebauten Solarmodulen vor dem deutschen Pavillon in Hannover, dem Veranstaltungsort der „IdeenExpo“.
Fig. 71: An elementary school class from Goslar with solar modules they made themselves at the NILS-Workshop. The photo is taken in front of the „German Pavilion“ in Hanover, the location of the „IdeenExpo“.

Winfried Klug, Marie-Luise Kröger, Wolf-Rüdeger Schanz, Dr. Klaus Vanoli

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

Inland/*National*

ACCESS e.V.; Aachen

Bayerisches Zentrum für Angewandte Energieforschung e.V. (ZAE); Erlangen

Bayerisches Zentrum für Angewandte Energieforschung e.V. (ZAE); Würzburg

Carl von Ossietzky-Universität; Oldenburg

Deutsches Luft- und Raumfahrtzentrum e. V. (DLR); Bonn

Deutsches Textilforschungszentrum Nord-West e.V.; Krefeld

Europäische Forschungsgemeinschaft Dünne Schichten e.V.; Dresden

Fachhochschule Bielefeld; Bielefeld

Fachhochschule Braunschweig/Wolfenbüttel, Fachbereich Versorgungstechnik; Wolfenbüttel

Forschungszentrum Jülich GmbH, Projektträger Jülich (PTJ); Jülich

Fraunhofer Institut für Elektronenstrahl- und Plasmatechnik (FEP); Dresden

Fraunhofer Institut für Schicht- und Oberflächentechnik (FhG-IST); Braunschweig

Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme (FhG-ISE); Freiburg

Hahn-Meitner-Institut (HMI) GmbH; Berlin

Institut für Halbleiterphysik GmbH; Frankfurt/Oder

Institut für Photovoltaik, Forschungszentrum Jülich; Jülich

Laser Zentrum Hannover e.V. (LZH); Hannover

Leibniz Universität Hannover, Fachbereich Chemie; Hannover

Leibniz Universität Hannover, Institut für Festkörperphysik; Hannover

Niedersächsisches Kultusministerium Hannover; Hannover

Technische Universität Bergakademie Freiberg; Freiberg

Technische Universität Berlin; Berlin

Universität Göttingen, IV. Physikalisches Institut; Göttingen

Universität Erlangen-Nürnberg, Lehrstuhl für Angewandte Physik; Erlangen

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

Universität Konstanz, Fachbereich Physik; Konstanz

Ausland/*International*

Australian National University, (ANU); Canberra, Australien

Australian National University, Centre for Sustainable Energy Systems (CSES); Canberra, Australien

Cheju National University, Dept. of Mechanical, Energy & Production Engineering; Jeju-do, Südkorea

Eindhoven University of Technology, Dept. of Applied Physics; Eindhoven, Niederlande

ENEA Casaccia; S. Maria di Galeria (Rome), Italien

Energy Research Centre of the Netherlands (ECN); Petten, Niederlande

European Space Agency (ESTEC); Noordwijk, Niederlande

IMEC; Leuven, Belgien

Nara Institute of Science and Technology; Nara, Japan

New and Renewable Energy Centre (NaREC); Blyth, Northumberland, Großbritannien

National Physical Laboratory (NPL); Teddington, Großbritannien

Universitat Politecnica de Catalunya (UPC); Barcelona, Spanien

University of Exeter; Exeter, Großbritannien

University of New South Wales (UNSW), Photovoltaics Special Research Centre; Sydney, Australien

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

Inland/*National*

BlueTec GmbH & Co. KG; Trendelburg

BRUKER-SPALECK; Schramberg

Centrosolar Glas GmbH & Co. KG; Fürth

centrotherm photovoltaics technology GmbH; Blaubeuren

Coherent Lambda Physik GmbH; Göttingen

Conergy AG; Landshut

Deutsche Solar AG; Freiberg

Dilas Diodenlaser GmbH; Mainz

ErSol Solar Energy AG; Erfurt

Ferro GmbH; Hanau

GLASFISCHER (Karl Fischer Glasgroßhandlung); Murr

h.a.l.m. elektronic gmbh; Frankfurt am Main

Ingenieurbüro Mencke & Tegtmeyer; Hameln

InnoLas GmbH; Krailling

Innovative Solar Systeme GmbH (ISS); Staßfurt

KBB Kollektorbau GmbH; Berlin

Kömmerling Chemische Fabrik GmbH; Pirmasens

Lenze Drive Systems GmbH; Aerzen

LPKF Laser & Electronics AG; Garbsen

Merck KGaA; Darmstadt

PCO AG; Kelheim

pv-tools GmbH; Hameln

Q-Cells AG; Thalheim

Reis GmbH & Co Maschinenfabrik; Obernburg

RESOL Elektrische Regelungen GmbH; Hattingen

Roth & Rau AG; Hohenstein-Ernstthal

Schmid Technology Systems GmbH; Schwetzingen

SCHOTT Solar GmbH; Alzenau

Schüco AG; Bielefeld

Sensovation AG; Stockach

Solar Engineering Decker & Mack GmbH; Hannover

SOLARA Sonnenstromfabrik GmbH Wismar; Wismar

SOLARWATT Cells GmbH; Heilbronn

Solland Solar Cells GmbH; Aachen

SOLVIS Solarsysteme GmbH; Braunschweig

Stiebel Eltron GmbH & Co. KG; Holzminden

Sunways AG; Konstanz

Tyforop Chemie GmbH; Hamburg

Vaillant Deutschland GmbH; Remscheid

Viessmann Werke GmbH & Co.; Allendort (Eder)

VITRONIC GmbH; Wiesbaden

Von Ardenne Anlagentechnik GmbH; Dresden

Ausland/*International*

Advent Solar Inc.; Albuquerque, USA

Renewable Energy Corporation (REC); Høvik, Norwegen

Rohm & Haas Electronic Materials LLC; Marlborough, USA

Scheuten Solar GmbH; Venlo, Niederlande

Sinton Consulting; Boulder, USA

Spirotech bv.; Helmond, Niederlande

ISFH-Kolloquien/*ISFH-Colloquia*

Auer R.: *Neuartige dünne Si-Wafersolarzellen durch Kleben auf Glas*. ZAE Bayern, Abteilung 3, Thermosensorik und Photovoltaik, Erlangen. (ISFH Kolloquium), ISFH, Emmerthal, 11.9.2007

Bendel C.: *Multifunktionale Photovoltaik – Strategie zur Kostenoptimierung bei der Gebäudeintegration*. Institut für Solare Energieversorgungstechnik (ISET) – Verein an der Universität Kassel e.V., Kassel. (ISFH Kolloquium), ISFH, Emmerthal, 19.6.2007

Jakob U.: *Solares Kühlen – Die Klimatisierungstechnologie von morgen*. SolarNext AG, Rimsting/Chiemsee. (ISFH Kolloquium), ISFH, Emmerthal, 6.11.2007

Kuck J.: *Optimierung einer Holzpelletfeuerung für einen Stirlingmotor*. EOS Institut für energieoptimierte Systeme, Fachhochschule Braunschweig/Wolfenbüttel, FB Versorgungstechnik, Wolfenbüttel. (ISFH Kolloquium), ISFH, Emmerthal, 3.7.2007

Mitchell J.: *a-Si:H: Surface passivation and heterojunctions*. Australian National University, Department of Engineering, Canberra, Australien. (ISFH Kolloquium), ISFH, Emmerthal, 13.9.2007

Rannow M.: *Azeotrope Lösemittel als Energieträger in Dampfmotoren*. NERO Energiesysteme GmbH, Hosenfeld. (ISFH Kolloquium), ISFH, Emmerthal, 4.9.2007

Rech B.: *Stand und Perspektiven von Silizium-Dünnschichtsolarzellen*. Hahn Meitner Institut (HMI) GmbH, Abteilung Silicium Photovoltaik (SE 1), Berlin. (ISFH Kolloquium), ISFH, Emmerthal, 26.6.2007

Rudolf C.: *Ko-Ausscheidungen von Übergangsmetallen in Si: Bildung ternärer Phasen oder internes Gettern?* IV. Physikalisches Institut der Universität Göttingen, Göttingen. (ISFH Kolloquium), ISFH, Emmerthal, 27.11.2007

Sadenwater A.: *Prüfung und Zertifizierung*. DIN CERTCO Gesellschaft für Konformitätsbewertung mbH, Berlin. (ISFH Kolloquium), ISFH, Emmerthal, 28.8.2007

Schneider J.: *CSG-Solar-contacting scheme*. Crystalline Silicon on Glass Solar AG (CSG), Thalheim. (ISFH Kolloquium), ISFH, Emmerthal, 23.1.2007

Seibt M.: *Metallische Verunreinigungen in kristallinem Silizium für die Photovoltaik: Gettern und Wechselwirkung mit ausgedehnten Defekten*. IV. Physikalisches Institut der Universität Göttingen, Göttingen. (ISFH Kolloquium), ISFH, Emmerthal, 27.2.2007

Theiss W.: *Architekturglas, Solarabsorber, Solarzellen – Software zum Verstehen der optischen Eigenschaften durch Simulation*. W. Theiss Hard- and Software, Aachen. (ISFH Kolloquium), ISFH, Emmerthal, 6.3.2007

Wolff D.: *Kosteneffizienz von Modernisierungsmaßnahmen im Gebäude- und Anlagenbereich*. Fachhochschule Braunschweig, FB Versorgungstechnik, Wolfenbüttel. (ISFH Kolloquium), ISFH, Emmerthal, 23.10.2007

Yamamoto K.: *High efficiency thin film Si solar cell and module*. Kaneka Corporation, Osaka, Japan. (ISFH Kolloquium), ISFH, Emmerthal, 7.2.2007

Zondag H.A.: *Thermochemical storage of solar heat*. Energy Research Centre of the Netherlands (ECN), Renewable Energy in the Built Environment (DEGO), Petten, Niederlande. (ISFH Kolloquium), ISFH, Emmerthal, 13.11.2007

Gastwissenschaftler/*Guest scientists*

Ferré i Tomàs R., Universitat Politecnica de Catalunya, Spanien, (03/2007-05/2007)

Kim C.K., Korea University of Technology and Education, Department of Advanced Materials Engineering, Südkorea, (09/2007-12/2007)

Mitarbeit in Fachgremien/*Membership of professional bodies*

Brendel R.: Progress in Photovoltaics, Wiley and Publishers; Mitglied des Editorial Board

Brendel R.: Symposium Photovoltaische Solarenergie (OTTI), Kloster Banz; Mitglied des Tagungsbeirates

Brendel R.: 22nd European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition; Mitglied des Scientific Committee

Brendel R.: Forschungsverbund Sonnenenergie; Sprecher des Direktoriums

Brendel R.: Produktionstechnik für die Solarenergie, FVS Jahrestagung, Leibniz Universität Hannover, September 2007; Tagungsleiter

Brendel R.: International Workshop on Laser Technology in Photovoltaics, Hamelin, September 2007; Tagungsleiter

Eggert D.: Deutsche Solarthermie Technologie Plattform (DSTTP); Mitglied Arbeitsgruppe Kollektortechnologie

Eisenmann W.: Arbeitskreis Normung und Technik von BDH und BSi; Gast

Eisenmann W.: Erfahrungsaustauschkreis der Prüflaboratorien „Thermische Solaranlagen und ihre Bauteile“, unter Leitung von DIN CERTCO Gesellschaft für Konformitätsbewertung mbH; Mitglied

Eisenmann W.: European Solar Thermal Technology Platform (ESTTP); Mitglied Working Group 1 innerhalb Focus Group 1

Gross D.: Task 32, „Advanced Storage Concepts“ der International Energy Agency (IEA SHC Task 32); Beobachter

Lampe C.: Deutsche Solarthermie Technologie Plattform (DSTTP); Mitglied Arbeitsgruppe Qualitätssicherung

Reineke-Koch R.: Fachausschuss „Großflächenbeschichtung für Solar- und Lichttechnische Anwendungen“ des EFDS e.V. (Europäische Forschungsgesellschaft Dünne Schichten e.V./European Society of Thin Films); Mitglied

Scheuren J.: Deutsche Solarthermie Technologie Plattform (DSTTP); Mitglied Arbeitsgruppe Wärmespeicherung

Schmidt J.: SiliconFOREST (Fortschritte in der Entwicklung von Solarzellen-Strukturen und -Technologien), Workshop, Falkau, März 2007; Mitglied im Programmkomitee

Ausstellungen & Fachtagungen/*Fairs & congresses*

SOLTEC 2007, Fachmesse für Sonne & Energie, Hameln, 20.-23.9.2007; Aussteller

International Workshop on „Laser Technology in Photovoltaics“, Hameln, 20.9.2007; Veranstalter

FVS-Jahrestagung „Produktionstechnologien für die Solarenergie“, Hannover, 26.-27.9.2007; Mitorganisator

Solarthermische Ertragskontrolle (Workshop), Hameln, 12.2.2007; Organisator

„20 Jahre Forschung für die Solarenergie in Niedersachsen“, Feier zum 20. Jahrestag der Gründung des ISFH, Hameln, 26.10.2007; Veranstalter

ECOTEC 2007, Wissensmarkt für Umwelttechnologie, Essen, Zeche Zollverein, 1.-3.6.2007; Aussteller

IdeenExpo 07, Hannover, 6.-14.10.2007; Aussteller

SiliconFOREST 2007 (Fortschritte in der Entwicklung von Solarzellen-Strukturen und Technologien), Workshop, Falkau, 11.-14.3.2007; Mitorganisator

Veröffentlichungen/*Publications*

Bertram E., Eisenmann W.: *Verglaste und unverglaste Sonnenkollektoren nach dem Elastomer-Metall-Absorber-Prinzip (EMA) in Freibadanwendungen*. Tagungsband 17. Symposium Thermische Solarenergie, OTTI Kolleg, 118-119, Bad Staffelstein, Mai 2007

Bock R., Brendel R., Schmidt J.: *Effective surface passivation of screen-printed Al-doped p^+-emitters for n-type c-Si solar cells using a-Si*. Technical Digest of the 17th International Photovoltaic Science and Engineering Conference, 251-252, Fukuoka, Japan, (2007)

Bock R.,Schmidt J., Brendel R.: *Effective passivation of highly aluminium-doped p-type silicon surfaces using amorphous silicon*. Applied Physics Letters, 91, 112112, (2007)

Bothe K., Hinken D., Ramspeck K., Fischer B., Brendel R.: *Combined quantitative analysis of electroluminescence images and LBIC mappings*. Proceedings 22nd European Photovoltaic Solar Energy Conference, 1673-1677, Mailand, Italien, September 2007

Bothe K., Hinken D., Ramspeck K., Kitiyanan A., Fuyuki T.: *Temperature-dependent electroluminescence imaging of silicon solar cells*. Technical Digest of the 17th International Photovoltaic Science and Engineering Conference, 161-262, Fukuoka, Japan, (2007)

Eisenmann W., Jack S., Lampe C., Giovannetti F., Brendel R.: *High-Efficiency Flat-Plate Solar Collectors Based on Selective Glazing*. Proceedings 3rd European Solar Thermal Energy Conference (estec), ESTIF, 236-242, Freiburg, Juni 2007

Engelhart P., Harder N.-P., Grischke R., Merkle A., Meyer R., Brendel R.: *Laser structuring for back junction silicon solar cells*. Progress in Photovoltaics: Research and Applications, Wiley, 15, 237, (2007)

Engelhart P., Hermann S., Neubert T., Grischke R., Harder N.-P., Brendel R.: *Laser-Processing for High-Efficiency Solar Cells*. Proceedings 17th NREL-Workshop, 1, 903, (2007)

Engelhart P., Hermann S., Neubert T., Plagwitz H., Grischke R., Meyer R., Klug U., Schoonderbeek A., Stute U., Brendel R.: *Laser ablation of SiO_2 for locally contacted Si solar cells with ultrashort pulses*. Progress in Photovoltaics: Research and Applications, Wiley, 15, 521-527, März 2007

Gast M., Köntges M., Brendel R.: *Lead Free On-Laminate Laser Soldering: A New Module Assembling Concept*. Progress in Photovoltaics: Research and Applications, Wiley, DOI: 10.1002/pip. 782, (2007)

Grischke R., Terheiden B., Mau S., Harder N.-P., Brendel R., Schoonderbeek A., Kling R., Ostendorf A., Denkena B., Brendel R.: *Laser Surface Texturing for Reducing Reflection Losses in Multicrystalline Silicon Solar Cells*. Proceedings 26th International Congress on Applications of Lasers and Electro-Optics (ICALEO), LIA, (305), 123, Orlando, USA, Oktober 2007

Hermann S., Engelhart P., Merkle A., Neubert T., Brendemühl T., Meyer R., Harder N.-P., Brendel R.: *21.4%-efficient emitter-wrap-through RISE solar cell on large area and picosecond laser processing of local contact openings*. Proceedings 22nd European Photovoltaic Solar Energy Conference, 970-975, Mailand, Italien, September 2007

Hinken D., Ramspeck K., Bothe K., Fischer B., Brendel R.: *Series resistance imaging of solar cells by voltage dependent electroluminescence*. Technical Digest of the 17th International Photovoltaic Science and Engineering Conference, 163-264, Fukuoka, Japan, (2007)

Hinken D., Ramspeck K., Bothe K., Fischer B., Brendel R.: *Series resistance imaging of solar cells by voltage dependent electroluminescence*. Applied Physics Letters, 91 (18), 182104, (2007)

Hoex B., Schmidt J., Bock R., Altermatt P.P., van de Sanden M.C.M., Kessels W.M.M.: *Excellent passivation of highly doped p-type Si surfaces by the negative-charge-dielectric Al_2O_3*. Applied Physics Letters, 91, 112107, (2007)

Kitiyanan A., Bothe K., Takahashi Y., Ogane A., Fuyuki T.: *Detection of crack location in multicrystalline silicon solar cells by electroluminescence image subtraction technique*. Technical Digest of the 17th International Photovoltaic Science and Engineering Conference, 706-707, Fukuoka, Japan, (2007)

Kitiyanan A., Takahashi Y., Ogane A., Fuyuki T., Bothe K.: *Selective imaging of defects and faults in Si substrates by electroluminescence differentiated in temperature*. Proceedings 22nd European Photovoltaic Solar Energy Conference, 1387-1388, Mailand, Italien, September 2007

Köhler I., Stockum W., Meijer A., Ulzhöfer C., Merkle A., Plagwitz H., Terheiden B.: *A new advanced material for removing edge shunts in silicon solar cells*. Proceedings 22nd European Photovoltaic Solar Energy Conference, 1492-1494, Mailand, Italien, September 2007

Mertens V., Parisi J., Reineke-Koch R.: *Defect study on the indium-gallium alloy system of copper chalcopyrites performed on solar cell heterostructures*. Journal of Applied Physics, 101, 104507, (2007)

Palmer D.W., Bothe K., Schmidt J.: *Kinetics of the electronically stimulated formation of a boron-oxygen complex in crystalline silicon*. Physical Review B, 76, 035210, (2007)

Pärisch P., Vanoli K.: *Quality assurance with the ISFH-Input/Output-Procedure: 6-year-experience with 14 solar thermal sys-*

tems. Proceedings 3rd European Solar Thermal Energy Conference (estec), ESTIF, Freiburg, Juni 2007

Plagwitz H., Terheiden B., Brendel R.: *Formation of defects at the amorphous silicon – crystalline silicon interface during annealing*. Proceedings 22nd European Photovoltaic Solar Energy Conference, 936-939, Mailand, Italien, September 2007

Pohl P., Schmidt J., Schmiga C., Brendel R.: *Defect imaging in multicrystalline silicon using a lock-in infrared camera technique*. Journal of Applied Physics, 101, 073701, (2007)

Ramspeck K., Bothe K., Hinken D., Fischer B., Schmidt J., Brendel R.: *Recombination current and series resistance imaging of solar cells by combined luminescence and lock-in thermography*. Applied Physics Letters, 90, 153502, (2007)

Ramspeck K., Bothe K., Hinken D., Schmidt J., Brendel R.: *Recombination current and series resistance imaging of multicrystalline silicon solar cells*. Technical Digest of the 17th International Photovoltaic Science and Engineering Conference, 265-266, Fukuoka, Japan, (2007)

Scheuren J., Hommeyer M., Siodla R., Eisenmann W.: *Schäden durch Stagnation und mögliche Schutzstrategien*. Tagungsband 17. Symposium Thermische Solarenergie, OTTI Kolleg, 110-112, Bad Staffelstein, Mai 2007

Scheuren J., Kirchner M., Eisenmann W.: *Vorhersage der Felddampfleistung stagnierender Kollektorfelder*. Tagungsband 17. Symposium Thermische Solarenergie, OTTI Kolleg, 106-108, Bad Staffelstein, Mai 2007

Schlenk E., Mertens V., Reineke-Koch R., Parisi J., Köntges M.: *Schottky contact analysis of photovoltaic chalcopyrite thin film absorbers*. Physics Letters A, 363, 229-233, (2007)

Schmidt J., Bothe K.: *Wege zur degradationsfreien Solarzelle*. Erneuerbare Energien, 1, 68, (2007)

Schmidt J., Bothe K., Bock R., Schmiga C., Krain R., Brendel R.: *N-type silicon – the better material choice for industrial high-efficiency solar cells?* Proceedings 22nd European Photovoltaic Solar Energy Conference, 998-1001, Mailand, Italien, September 2007

Schmidt J., Krain R., Bothe K., Pensl G., Beljakowa S.: *Recombination activity of interstitial chromium and chromium-boron pairs in silicon*. Journal of Applied Physics, 102, 123701, (2007)

Schmidt J., Pohl P., Bothe K., Brendel R.: *Advances in contactless silicon defect and impurity diagnostics based on lifetime spectroscopy and infrared imaging*. Advances in Optoelectronics, 2007, 92842, (2007)

Schoonderbeek A. Kling R., Ostendorf A., Denkena B., Grischke R., Harder N.P., Brendel R.: *Laser Technology For Cost Reduction in Silicon Solar Cell Production*. Proceedings of the 69th Laser Materials Processing Conference, 85-90, Dezember 2007

Schoonderbeek A., Kling R., Ostendorf A., Grischke R., Meyer R., Brendel R.: *Efficiency Increase of Silicon Solar Cells by Laser Processing*. Advanced Laser Applications Conference (ALAC 2007), 130-139, September 2007

Schoonderbeek A., Richter L., Kling R., Ostendorf A., Denkena B., Grischke R., Mau S., Harder N.-P., Brendel R.: *Laser technology for solar cells and solar receivers*. Proceedings 26th International Congress on Applications of Lasers and Electro-Optics (ICALEO), LIA, (305), 133, Orlando, USA, Oktober 2007

Schoonderbeek A., Stute U., Ostendorf A., Grischke R., Engelhart P., Eidelloth S., Meyer R., Brendel R.: *Laser technology in silicon solar cell production*. Proceedings of the 4th International WLT-Conference on Lasers in Manufacturing, 693-698, München, Juni 2007

Terheiden B., Altermatt P.P., Meyer R., Brendel R., Janusonis J., Leonas L., Tselepis S., Clive B., Zilinskas E., Koornstra W., Evans E., Van Ekelenburg H., Elazari A., Badham A.: *REFLECTS – A European CRAFT project for the development of a bifacial silicon solar cell module*. Proceedings 22nd European Photovoltaic Solar Energy Conference, 1705-1709, Mailand, Italien, September 2007

Wolf A., Terheiden B., Brendel R.: *A novel method for emitter formation in crystalline silicon thin-film solar cells*. Progress in Photovoltaics: Research and Applications, Wiley, 15, 199, (2007)

Patente/*Patents*

Im Jahr 2007 wurden fünf Patente von Mitarbeitern des ISFH eingereicht.

In 2007 five patents have been filed by the ISFH staff.

Fachberichte/*Reports*

Bothe K., Grischke R. Brendel R.: *Infrastruktur für industrienahe Laserprozesse in der Siliciumphotovoltaik*. Forschungszentrum Jülich GmbH, Schlussbericht zum BMU-Förderkennzeichen 0327547A, Dezember 2007

Eisenmann W., Lampe C., Eggert D.: *Leistungs- und Gebrauchstauglichkeitsprüfungen an verglasten und unverglasten Sonnenkollektoren nach DIN EN 12975; Leistungsprüfungen an vorgefertigten Solaranlagen nach DIN EN 12976*. Im Auftrag von Industriefirmen, 2007

Scheuren J., Eisenmann W.: *Stagnationsuntersuchungen in den Kollektorkreisen hochdimensionierter großer thermischer Solaranlagen*. Bundesumweltministerium, Abschlussbericht zum BMU Förderkennzeichen 0329268A, 2007

Scheuren J., Kirchner M., Lampe C., Eggert D., Rumler N.: *Theoretische und experimentelle Untersuchungen an thermischen Solaranlagen und ihren Komponenten*. Im Auftrag von Industriefirmen, 2007

Wetzel W., Reineke-Koch R., Eggert D., Pujiula F.: *Messungen der optischen Eigenschaften von Verglasungen und solarthermischen Absorbern*. Im Auftrag von Industriefirmen, 2007

Vorträge/*Presentations*

Bock R.: *Effective surface passivation of screen-printed Al-doped p^+-emitters for n-type c-Si solar cells using a-Si*. 17th International Photovoltaic Science and Engineering Conference, 3.-7.12.2007, Fukuoka, Japan, 4.12.2007

Bock R.: *Hocheffiziente Solarzellen auf n-Typ Silizium*. SiliconFOREST 2007, 11.-14.3.2007, PSE, Falkau, 12.3.2007

Bothe K.: *Temperature-dependent electroluminescence imaging of silicon solar cells*. 17th International Photovoltaic Science and Engineering Conference, 3.-7.12.2007, Fukuoka, Japan, 5.12.2007

Brendel R.: *Entwicklung neuer Produktionstechnologien für die Solarenergienutzung im Forschungsverbund Sonnenenergie*. Produktionstechnologien für die Solarenergie, Jahrestagung des FVS, ForschungsVerbund Sonnenenergie (FVS), Hannover, 26.9.2007

Brendel R.: *Innovative solar cell structures*. 1st Schott Technology Conference Solar, Schott Solar GmbH, Mainz, 4.10.2007

Brendel R.: *Solarenergieforschung am ISFH*. Kolloquium des Laboratoriums für Nano- und Quantumengineering, Leibniz Universität Hannover, Hannover, 6.6.2007

Brendel R.: *Surpassing the recombination hurdle of Si thin-film photovoltaics*. European Material research Society Spring Meeting, EMRS, Straßburg, Frankreich, 30.5.2007

Eidelloth S.: *Laser-Prozesse für Si-Solarzellen*. SiliconFOREST 2007, 11.-14.3.2007, PSE, Falkau, 12.3.2007

Eisenmann W.: *Anforderungen an Gläser für die Solarenergienutzung*. Seminar Innovative Glasbearbeitung mit dem Laser, LZH Laser Akademie, Hannover, 24.4.2007

Eisenmann W.: *High-Efficiency Flat-Plate Solar Collectors Based on Selective Glazing*. Proceedings 3rd European Solar Thermal Energy Conference (estec), 19.-20.6.07, ESTIF, Freiburg, 19.6.2007

Eitner U.: *FE-Simulation of Thermomechanical Stress in a Laminated String*. Mechanical Issues in Manufacturing & Applications of Solar Cells and Modules, 5.-6.11.2007, Fraunhofer-Institut für Werkstoffmechanik, Halle/Saale, 6.11.2007

Engelhart P.: *Laser-Processing for High-Efficiency Solar Cells*. 17th NREL-Workshop, 5.-8.8.2007, Vail, Colorado, USA, 6.8.2007

Engelhart P.: *Short Pulse Laser Processes for High Efficiency Solar Cells*. Laser Technology in Photovoltaics, 20.-21.9.2007, Institut für Solarenergiefoschung Hameln, Laser Zentrum Hannover, PhotonicNet GmbH, Hameln, 20.9.2007

Gast M.: *Lead-free On-laminate-laser-soldering: A new Module Assembling Concept*. Laser Technology in Photovoltaics, 20.-21.9.2007, Institut für Solarenergiefoschung Hameln, Laser Zentrum Hannover, PhotonicNet GmbH, Hameln, 21.9.2007

Glembin J.: *Simulation und Validierung eines solar unterstützten Wärmepumpensystems zur Wärmeversorgung eines Einfamilienhauses*. Klimaschutz an Hamburger Hochschulen – Preisverleihung und Perspektiven, Neue Energie Hamburg e.V., Hamburg, 28.11.2007

Goslich R.: *Das ISFH am Ohrberg*. Mitgliederversammlung, Bürgerinitiative zur Verhinderung des Kiesabbaus in Ohr e.V., Ohr, 28.6.2007

Goslich R.: *Fakten zur Solarenergie*. Vorstandssitzung, FDP, Coppenbrügge, 9.5.2007

Goslich R.: *Kernfusion preiswert – Die Sonne*. Solarmesse 2007, Holzmindener Solarinitiative, Holzminden, 4.5.2007

Goslich R.: *Kernfusion preiswert – Die Sonne*. Woche der Sonne, Windwärts GmbH, Pattensen, 28.4.2007

Goslich R.: *Kernfusion preiswert – Wärme und Strom aus Sonnenlicht*. Treffen ehemaliger Schüler der Lehranstalt für Hauswirtschaft, Sozialpädogogik und Agrarwirtschaft, Elisabeth Selbert Schule, Hameln, 18.1.2007

Goslich R.: *Kernfusion zum Nulltarif*. Veranstaltung für die Abgangsklassen, Elisabeth Selbert Schule, Hameln, 14.3.2007

Goslich R.: *Solarenergie*. Projekttag, Gymnasium Bad Nenndorf, Bad Nenndorf, 8.2.2007

Grischke R.: *Laser surface texturing for reducing reflection losses in multicristalline silicon solar cells*. 26th International Congress on Applications of Lasers and Electro-Optics (ICALEO), 29.10.-1.11.2007, LIA, Orlando, Florida, USA, 30.10.2007

Hermann S.: *21.4%-Efficient Emitter Wrap-Through RISE Solar Cell and Picosecond Laser Processing of Local Contact Openings*. 22nd European Photovoltaic Solar Energy Conference, 3.-7.9.2007, WIP-Renewable Energies, Mailand, Italien, 4.9.2007

Hermann S.: *Rückseitenkontaktierte Hocheffizienzsolarzellen*. SiliconFOREST 2007, 11.-14.3.2007, PSE, Falkau, 12.3.2007

Hinken D.: *Series resistance imaging of solar cells by voltage dependent electroluminescence*. 17th International Photovoltaic Science and Engineering Conference, 3.-7.12.2007, Fukuoka, Japan, 5.12.2007

Jung F.: *Entwicklung und Konstruktion eines Teststandes zur Prüfung des g- und U-Wertes von Isolierverglasungen mit Erprobung eines integralen Temperaturmessverfahrens*. Preisverleihung des E.ON Energy Award 2007, E.ON Westfalen Weser AG, Paderborn, 20.11.2007

Plagwitz H.: *Formation of defects at the amorphous silicon – crystalline silicon interface during annealing*. 22nd European Photovoltaic Solar Energy Conference, 3.-7.9.2007, WIP-Renewable Energies, Mailand, Italien, 5.9.2007

Ramspeck K.: *Charakterisierung von Si-Solarzellen mittels IR-Kamera*. SiliconFOREST 2007, 11.-14.3.2007, PSE, Falkau, 13.3.2007

Ramspeck K.: *Correlation between spatially resolved solar cell efficiency and carrier lifetime of multicrystalline silicon*. 12th International Conference on Defects-Recognition, Imaging and Physics in Semiconductors, 9.-13.9.2007, Berlin, 9.9.2007

Ramspeck K.: *Recombination current and series resistance imaging of multicrystalline silicon solar cells*. 17th International Photovoltaic Science and Engineering Conference, 3.-7.12.2007, Fukuoka, Japan, 4.12.2007

Schmidt J.: *N-type silicon – the better material choice for industrial high-efficiency solar cells?* 22nd European Photovoltaic Solar Energy Conference, 3.-7.9.2007, WIP-Renewable Energies, Mailand, Italien, 4.9.2007

Schmidt J.: *Solarzellen von morgen und übermorgen – Aktuelle Forschungstrends in der Photovoltaik*. Vortragsreihe „Energie und Klimaschutz“, Leibniz Universität Hannover, WS 2006/2007, Arbeitskreis Regenerative Energien, Hannover, 25.1.2007

Poster/*Posters*

Bertram E., Eisenmann W.: *Verglaste und unverglaste Sonnenkollektoren nach dem Elastomer-Metall-Absorber-Prinzip (EMA) in Freibadanwendungen*. 17. Symposium Thermische Solarenergie, OTTI-Kolleg, Bad Staffelstein, (9.-11.5.2007)

Bothe K., Hinken D., Ramspeck K., Fischer B., Brendel R.: *Combined quantitative analysis of electroluminescence images and LBIC mappings*. 22nd European Photovoltaic Solar Energy Conference, WIP-Renewable Energies, Mailand, Italien, (3.-7.9.2007)

Kitiyanan A., Bothe K., Takahashi Y., Ogane A., Fuyuki T.: *Detection of crack location in multicrystalline silicon solar cells by electroluminescence image subtraction technique*. 17th International Photovoltaic Science and Engineering Conference, Fukuoka, Japan, (3.-7.12.2007)

Kitiyanan A., Takahashi Y., Ogane A., Fuyuki T., Bothe K.: *Selective imaging of defects and faults in Si substrates by electroluminescence differentiated in temperature*. 22nd European Photovoltaic Solar Energy Conference, WIP-Renewable Energies, Mailand, Italien, (3.-7.9.2007)

Köhler I., Stockum W., Meijer A., Ulzhöfer C., Merkle A., Plagwitz H., Terheiden B.: *A new advanced material for removing edge shunts in silicon solar cells*. 22nd European Photovoltaic Solar Energy Conference, WIP-Renewable Energies, Mailand, Italien, (3.-7.9.2007)

Pohl P.: *Infrared-camera based defect imaging: trapping versus depletion-region-modulation around charged bulk defects*. 22nd European Photovoltaic Solar Energy Conference, WIP-Renewable Energies, Mailand, Italien, (3.-7.9.2007)

Scheuren J., Hommeyer M., Siodla R., Eisenmann W.: *Schäden durch Stagnation und mögliche Schutzstrategien*. 17. Symposium Thermische Solarenergie, OTTI-Kolleg, Bad Staffelstein, (9.-11.5.2007)

Scheuren J., Kirchner M., Eisenmann W.: *Vorhersage der Felddampfleistung stagnierender Kollektorfelder*. 17. Symposium Thermische Solarenergie, OTTI-Kolleg, Bad Staffelstein, (9.-11.5.2007)

Terheiden B., Altermatt P.P., Meyer R., Brendel R., Janusonis J., Leonas L., Tselepis S., Clive B., Zilinskas E., Koornstra W. Evans E. Van Ekelenburg H., Elazari A., Badham A.: *REFLECTS – A European CRAFT project for the development of a bifacial silicon solar cell module*. 22nd European Photovoltaic Solar Energy Conference, WIP-Renewable Energies, Mailand, Italien, (3.-7.9.2007)

Diplom- & Studienarbeiten/*Diploma theses & seminar papers*

Bardorf M.: *Entwicklung eines Messplatzes zur Bestimmung der externen Quantenausbeute großer Solarzellen*, Fakultät Elektrotechnik, Fachhochschule Würzburg-Schweinfurt, Schweinfurt, März 2007

Beck A.: *Wirkungsgradbestimmung an Dünnschichtsolarmodulen in Abhängigkeit von der Vorbeleuchtung*, Fachbereich Energiewirtschaft, Fachhochschule Oldenburg/Ostfriesland/Wilhelmshaven, Wilhelmshaven, Juli 2007

Bordihn S.: *Laserlöten zum elektrischen Verschalten von Solarzellen – Optimierung der Prozesskontrolle*, Fachbereich Elektrotechnik, Fachhochschule für Technik und Wirtschaft, Berlin, September 2007

Föste S.: *Inbetriebnahme und Kalibrierung eines Prüfstandes zur Erfassung des g- und U-Wertes von Verglasungen solarthermischer Kollektoren*, Fachbereich Maschinenbau, Universität Paderborn, Paderborn, November 2007

Glembin J.: *Simulation und Validierung eines solar unterstützten Wärmepumpensystems zur Wärmeversorgung eines Einfamilienhauses*, Fachbereich Life Sciences, Studiengang Umwelttechnik, Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg, Hamburg, August 2007

Hinken D.: *Ortsaufgelöste Charakterisierung von Silizium-Solarzellen durch Elektrolumineszenz*, Fakultät für Mathematik und Physik, Leibniz Universität Hannover, Hannover, September 2007

Jung F.: *Entwicklung und Konstruktion eines Teststandes zur Prüfung des g- und U-Wertes von Isolierverglasungen mit Erprobung eines integralen Temperaturmessverfahrens*, Fachbereich Energiesystemtechnik, Studiengang Verfahrens-, Energie- und Umwelttechnik, Fachhochschule Hannover, Hannover, April 2007

Laveuve C.: *Untersuchungen amorpher Siliziumkarbidfilme für die Anwendung in kristallinen Siliziumsolarzellen*, Physik, Leibniz Universität Hannover, Hannover, September 2007

Potthoff T.: *Aufbau eines Lock-In Elektrolumineszenz Messplatzes zur Bestimmung der Spannungsverteilung in Solarmodulen*, Fachbereich Elektrotechnik und Informationstechnik, Fachhochschule Bielefeld, Wilhelmshaven, September 2007

Prütz M.: *Nasschemische Texturierung für die Photovoltaik*, Fachbereich Technik, Abteilung Naturwissenschaftliche Technik, Studiengang Chemietechnik, Fachhochschule Oldenburg/Ostfriesland/Wilhelmshaven, Emden, Oktober 2007

Riekeberg S.: *Modellrechnungen zur Reduktion der Thermalisierungsverluste in Solarzellen durch Frequenzumwandlung*, Fachbereich Physik, Leibniz Universität Hannover, Hannover, Februar 2007

Steckenreiter V.: *Texturierung von Siliziumoberflächen durch Plasmaätzen*, Fachbereich 1, Studiengang Umweltschutz, Fachhochschule Bingen, Bingen, November 2007

Doktorarbeiten/*Theses*

Engelhart P.: *Lasermaterialbearbeitung als Schlüsseltechnologie zum Herstellen rückseitenkontaktierter Siliciumsolarzellen*. Elektrotechnik, Leibniz Universität Hannover, 13.6.2007

Plagwitz H.: *Surface Passivation of Crystalline Silicon Solar Cells by Amorphous Silicon Films*. Physik, Leibniz Universität Hannover, 11.7.2007

Pohl P.: *Infrared Camera-based Imaging Techniques for Solar-grade Silicon*. Physik, Leibniz Universität Hannover, 23.5.2007

Wolf A.: *Sintered Porous Silicon — Physical Properties and Applications for Layer-Transfer Silicon Thin-Film Solar Cells*. Physik, Leibniz Universität Hannover, 16.7.2007

Lehrveranstaltungen/*Lectures*

Altermatt P.P.: *Spezielle Effekte in kristallinen Siliciumsolarzellen*. Vorlesung, Leibniz Universität Hannover, Fakultät für Mathematik und Physik (WS 2007/2008)

Altermatt P.P.: *Physik der Solarzelle*. Übung, Leibniz Universität Hannover, Fakultät für Mathematik und Physik (SS 2007)

Bothe K., Altermatt P.P., Brendel R.: *Photovoltaik*. Laborpraktikum, Leibniz Universität Hannover, Fakultät für Mathematik und Physik (WS 2007/2008)

Brendel R.: *Physik der Solarzelle*. Vorlesung, Leibniz Universität Hannover, Fakultät für Mathematik und Physik (SS 2007)

Brendel R., Altermatt P.P.: *Photovoltaics meets Nano*. Seminar, Leibniz Universität Hannover, Fakultät für Mathematik und Physik (WS 2007/2008)

Goslich R.: *Solartechnik*. Vorlesung, Hochschule für Angewandte Wissenschaften, Göttingen, FB Ressourcenmanagement (WS 2007/2008)

Reineke-Koch R.: *Solarenergieforschung*. Kolloquium, ISFH gemeinsam mit Leibniz Universität Hannover, Fakultät für Mathematik und Physik (SS 2007)

Reineke-Koch R.: *Solarenergieforschung*. Kolloquium, ISFH gemeinsam mit Leibniz Universität Hannover, Fakultät für Mathematik und Physik (WS 2007/2008)

Schmidt J.: *Halbleitercharakterisierung*. Vorlesung, Leibniz Universität Hannover, Fakultät für Mathematik und Physik (WS 2006/2007)

Schmidt J.: *Halbleitercharakterisierung*. Übung, Leibniz Universität Hannover, Fakultät für Mathematik und Physik (WS 2006/2007)

Preise & Auszeichnungen/*Awards*

Glembin J., ISFH, Studienpreis, „Erneuerbare Energien und Energieeffizienz 2007“ der Neue Energie Hamburg, für *„Simulation und Validierung eines solar unterstützten Wärmepumpensystems zur Wärmeversorgung eines Einfamilienhauses“ (Diplomarbeit)*. Universität Hamburg, 28.11.2007

Jung F., ISFH, Studienpreis, E.ON Energy Award, für *„Entwicklung und Konstruktion eines Teststandes zur Prüfung des g- und U-Wertes von Isolierverglasungen mit Erprobung eines integralen Temperaturmessverfahrens“ (Diplomarbeit)*. Gut Ringelsbruch, Paderborn, 20.11.2007

Riekeberg S., ISFH, Studienpreis, E.ON Energy Award, für *„Modellrechnungen zur Reduktion der Thermalisierungsverluste in Solarzellen durch Frequenzumwandlung“ (Diplomarbeit)*. Gut Ringelsbruch, Paderborn, 20.11.2007

Nachdruck aus der *DeWeZet* vom 25.5.2007:

Vor 20 Jahren der erste Schritt zum Solarinstitut

Ziel der Wissenschaftler am ISFH: Solarenergie erschwinglich machen / Hocheffiziente Zelle entwickelt

Von Brigitte Niemeyer

Ohr/Hameln. Der eng an den Hang des Ohrbergs geschmiegte Bau mutet noch heute futuristisch an. Dass hinter den gläsernen Fronten des „Institutes für Solarenergieforschung“ hoch motivierte Wissenschaftler an der Zukunftstechnologie des 21. Jahrhunderts tüfteln, weiß im Umland mittlerweile fast jedes Kind: Vor 20 Jahren, als das Institut aus der Taufe gehoben wurde und das „H“ im Kürzel „ISFH“ noch für Hannover und nicht für Hameln stand, lagen die Dinge noch anders. Begriffe wie Solarthermie und Photovoltaik gingen bestenfalls erklärten Ökofreaks glatt über die Lippen, und Plädoyers für die Nutzung der Sonnenkraft fielen in der breiten Öffentlichkeit auf wenig fruchtbaren Boden. Öl, Gas und Strom waren noch bezahlbar, vor dem Klimawandel warnte nur eine Handvoll Weitsichtiger – das Thema alternative Energien führte ein Nischendasein. In dieser Nische zu Hause: Prof. Hellmut Glubrecht. Der weltbekannte Biophysiker und Solarwissenschaftler wird zum Vater des ISFH.



Forschung im Solarinstitut: Lotte Ehlers bearbeitet im ISFH-Labor eine Solarzelle, im Hintergrund schaut Dr. Rüdiger Meyer zu. Foto: Dana



Wissenschaftsministerin Schuchardt setzt den ersten Spatenstich.

Standort ist lange heftig umstritten

Wissenschaftsministerin Schuchardt setzt den ersten Spatenstich. In den 80er Jahren drängt der Professor der Leibniz Universität Hannover den damals amtierenden niedersächsischen Ministerpräsidenten Ernst Albrecht, sein Land der Solarforschung zu öffnen. Er findet offene Ohren; die Regierung mit Wirtschaftsminister Walter Hirche will in ihrer Technologiepolitik neue Akzente für die Zukunft setzen. 1987 wird das Institut in der Landeshauptstadt in Form einer GmbH gegründet. Zu den Gesellschaftern zählen neben der Firma Pfeiffer & Langen der damalige CDU-Landtagsabgeordnete, langjährige Landrat des Landkreises Hameln-Pyrmont und Bürgermeister von Emmerthal, Fritz Saake, und der frühere Wissenschaftsminister Prof. Eduard Pestel. In der Sokelantstraße in Hannover nehmen die Wissenschaftler ihre Arbeit auf.

Dass das Forschungsgebäude des ISFH heute am Ohrberghang steht und nicht etwa in Holzminden oder Celle oder einer der 50 anderen Städte, die sich damals um den Standort beworben haben, verdankt die Region vor allem Glubrecht, Saacke und Pestel. Das Trio erwirkt bei Albrecht nicht nur den richtungsweisenden Beschluss zur Gründung des Instituts – sondern auch für den

Standort Ohrberg. Nach dem Regierungswechsel kämpfen die SPD-Abgeordneten Klaus Nolting und Christel Thielke energisch weiter für die Ansiedlung in Emmerthal. Die Gemeinde mit Bürgermeister Karl Heißmeyer und Gemeindedirektor Martin Delker an der Spitze und damals noch von üppigen Gewerbesteuerzahlungen des Kernkraftwerks gesegnet, stellt rund vier Millionen Mark für Baulanderwerb und Erschließung zur Verfügung.



Der Richtkranz schwebt über dem Solarinstitut. Fotos: Archiv

Gegen die Standortentscheidung hagelt es Kritik von der Uni Braunschweig („nicht zu verantwortende Fehlleitung von Steuergeldern"). Und mit Verweis auf die hohen Kosten („voraussichtlich 45,8 Millionen Mark") wettert auch die Vertreterin der Grünen im Landtagsausschuss für Wissenschaft, Ruth Hammerbacher: Das Solarforschungsinstitut sei eine „monströse Fehlplanung" und „unvertretbar angesichts der Unsinnigkeit der Ansiedlung fernab von bestehenden Forschungseinrichtungen an niedersächsischen Universitäten".

Der Streit um den richtigen Standort wird mit Haken und Ösen geführt. Am Ende siegen in der Landesregierung die Stimmen, die sich von der Ansiedlung der Forschungseinrichtung im strukturschwachen Weserbergland auch eine wirtschaftliche Belebung der Region versprechen.

Besser als die „Weltrekordzelle"

Von der Gründung bis zum Einzug des ISFH in sein Haus am Ohrberg vergehen sechs Jahre. Bei der Einweihungsfeier im November 1993 ruft der damalige Institutsgeschäftsführer Professor Manfred Gietzelt den anwesenden Gästen zu: „Die Nutzung der Solarenergie ist das Gebot der Stunde."

Die Drei-Personen-Gesellschaft der Gründungsphase ist längst aufgelöst. Als gemeinnützige GmbH mit dem Land Niedersachsen als alleinigem Gesellschafter erwirbt sich das Institut in den Folgejahren internationale Anerkennung mit der Entwicklung innovativer Komponenten für eine photovoltaische und solarthermische Nutzung der Sonnenenergie. Die enge Kooperation mit der deutschen Solarindustrie ist von Anfang an erklärte Absicht des Forschungsinstituts. Der Schwerpunkt der Arbeit liegt folglich nicht auf der Grundlagen-, sondern auf der anwendungsorientierten Forschung; mit dem Ziel, die Solarenergie erschwinglich zu machen.

So tüfteln die Forscher permanent an Verfahren und Methoden, um den Wirkungsgrad von Solarzellen zu steigern und die Produktionskosten zu senken. Die jüngste Erfolgsmeldung aus dem Haus: eine hocheffiziente Solarzelle aus kristallinem Silicium, die eine absolut verschattungsfreie Vorderseite aufweist, weil sie ohne Kontakte auf der Oberfläche auskommt und einen Wirkungsgrad von 22 Prozent erreicht. Herkömmliche Solarzellen stoßen bei 15 bis 17 Prozent an ihre Grenzen, die von australischen Forschern entwickelte „Weltrekordzelle" erreicht allerdings 24,6 Prozent. Warum sie der ISFH-Zelle trotzdem unterlegen ist, erklärt Dr. Roland Goslich, der im ISFH für die Öffentlichkeitsarbeit zuständig ist: „Die Weltrekordzelle eignet sich nicht für den industriellen Einsatz. Ihre Herstellung ist extrem aufwändig und viel zu teuer. Unsere Zelle dagegen ist produzierbar." Das vom ISFH entwickelte Herstellungsverfahren bedient sich der Lasertechnologie, ermöglicht laut Goslich ein hohes Maß an Automatisierung und damit niedrige Produktionskosten. „Damit wird die Sache interessant für die Industrie", selbst wenn die Umstellung der Produktionslinie mit einer millionenschweren Investition verbunden sei.

Im Laufe seiner kurzen, erfolgreichen Geschichte hat sich die Zusammearbeit des Instituts mit der Solarindustrie ständig intensiviert. Es ist zertifiziertes Prüfzentrum für Kollektoren und Partner in der Forschung. Rund 40 Prozent seiner Ausgaben deckt das ISFH mit Auftragsforschung für führende Firmen der Branche. Die Zahl der Mitarbeiter ist inzwischen auf 120 angewachsen, und mit dem Boom auf dem Solarmarkt hat auch die Nachfrage nach Forschungsleistungen insbesondere von Photovoltaik-Herstellern deutlich zugenommen. Der für diese Forschungen benötigte Platz soll jetzt durch den Bau einer neuen Technologiehalle geschaffen werden. Der Grundstein für den Komplex mit 700 Quadratmetern Nutzfläche wird heute, pünktlich zum 20. Geburtstag der Einrichtung, am Ohrberghang gelegt.

© Dewezet 26. Oktober 2007

Nachdruck aus der *DeWeZet* vom 25.5.2007:

Solarforscher setzen weiter auf Wachstum

Erweiterung des ISFH vorgestellt / Bauausschuss informierte sich auch über Bauarbeiten an der Brücke

Emmerthal (gm). Das Institut für Solarenergieforschung in Ohr (ISFH) soll erweitert werden. Der stellvertretende Institutsleiter Wolfgang Gaßdorf berichtete den Mitgliedern des Emmerthaler Bauausschusses bei ihrem Besuch im ISFH über den Neubau einer etwa 900 Quadratmeter großen Produktions- und Lagerhalle, die im unteren Flächenteil des vorhandenen Gebäudes entstehen wird.

„Es gibt keine zusätzlichen Lärmbelästigungen, und der Produktions- und Lagerneubau, auf dem im westlichen Teil auch ein zweigeschossiger Bürotrakt von zirka 450 Quadratmetern entstehen soll, passt sich hervorragend an das vorhandene Landschaftsbild an“, verdeutlichte Gaßdorf. Von Seiten des Fachausschusses und



Das ISFH soll um eine Produktions- und Lagerhalle mit Bürotrakt erweitert werden.
Foto: Archiv

der Zuhörerschaft gab es keine Einwände zu diesen Plänen. Vorsitzender Wolfgang Jürgens (SPD) gab abschließend zu Protokoll, dass der Bau- und Verkehrsausschuss der Gemeinde Emmerthal dieses Bauvorhaben einstimmig unterstützt. Finanziert wird der Erweiterungsbau des ISFH, dessen Fertigstellung zum 30. Juni 2008 geplant ist, größtenteils durch die Volkswagen Stiftung. Wenn es so weit ist, soll die Belegschaft von derzeit 116 auf 130 Mitarbeiter aufgestockt werden.

Über den zeitlichen und technischen Ablauf der Erneuerung der Emmerthaler Valentinibrücke waren die Mitglieder des Bau- und Verkehrsausschusses bereits einschlägig informiert. Gemeinsam mit Bürgermeister Andreas Grossmann, Bauamtsleiter Uwe Dreyer sowie seinem Vertreter Hans-Günter Heitmüller besuchte das Gremium darüber hinaus die größte Baustelle Emmerthals. Diese Lebensader, die den östlichen Teil der Gemeinde mit dem Kernbereich verbindet, wird vom 20. Juli bis Ende November 2007 wegen Neubauarbeiten des maroden Mittelteiles komplett gesperrt.

Mathias Lockstedt, zuständiger Ingenieur und Sachgebietsleiter von der Hamelner Außenstelle der Niedersächsischen Landesbehörde für Straßenbau und Verkehr sowie weitere am Bau beteiligte Ingenieure informierten den Fachausschuss über die weiteren Vorgehensweisen dieser Mammutbaumaßnahme. „Wir liegen in allen Teilbereichen und Produktionsfertigungsvorbereitungen im Zeitplan“, informierten die Ingenieure und Architekten übereinstimmend.

© Dewezet 25. Mai 2007

Auf dem Weg zur Europäischen Energieregion, Neue Hanse Interregio, 2007, S. 35:

Solare Forschungshochburg im Weserbergland

Onderzoeksbolwerk zonne-energie in het Weserbergland

Das Institut für Solarenergieforschung in Hameln/Emmerthal (ISFH), ein An-Institut der Leibnitz Universität Hannover, leistet anwendungsnahe Forschung und Entwicklung in den Bereichen photovoltaische und solarthermische Nutzung der Sonnenenergie. Auch niederländische Universitäten, Forschungsreinrichtungen und Firmen gehören zu den Partnern des ISFH. Es gibt eine Zusammenarbeit des ISFH mit der Solland Solar Cells, der Scheuten Solar, dem ECN und der TU Eindhoven.

Beispiele für Innovationen des ISFH sind neue Verfahren zur Herstellung von Siliciumsolarzellen, zur Steigerung des Wirkungsgrades von Solarzellen und zur Verbesserung der Überwachung solarthermischer Anlagen.
www.isfh.de



Het instituut voor zonne-energieonderzoek in Hameln/Emmertal (ISFH), dat gelieerd is aan de Leibnitz Universiteit Hannover doet praktijkonderzoek en -ontwikkeling op het gebied van fotovoltaïsch en solairthermisch gebruik van zonne-energie. Ook Nederlandse universiteiten, onderzoeksinstituten en bedrijven zijn partners van het ISFH. Op dit moment werkt het ISFH samen met Solland Solar Cells, Scheuten Solar, ECN en de TU Eindhoven.

Voorbeelden van in R&D projecten ontwikkelde innovaties van het ISFH, die zich deels al in een industriële testfase bevinden: nieuw procédé voor de productie van siliciumzonnecellen, Verhoging van het rendement van zonnecellen en verbetering van de controle van zonne-energie-installaties.
www.isfh.de



Nachdruck aus der *DeWeZet* vom 21.11.2007:

Zwei Preise für Studierende am ISFH

„e.on Westfalen Weser Energy Award“ an Wissenschaftsnachwuchs verliehen

Emmerthal/Paderborn (red). Der Wissenschaftsnachwuchs der Region ist für die Zukunft gut gewappnet: Der „e.on Westfalen Weser Energy Award“ zeichnete am Dienstagabend in Paderborn herausragende Diplomarbeiten verschiedener Wissenschaftsfelder im Bereich Energie aus. Bereits zum siebten Mal wurde der Förderpreis von e.on Westfalen Weser verliehen. Während einer Feierstunde wurden insgesamt vier herausragende Studierende für ihre Diplomarbeiten mit Preisgeldern belohnt.

In der Kategorie „Beste Diplomarbeit unter dem Aspekt der Wissenschaft“ gewann Svenja Riekeberg aus Hamburg, die ihre Arbeit am Institut für Solarenergieforschung in Emmerthal



„Herausragende Leistungen würdigen“ (v.li.): Henning Probst, Vorstandsvorsitzender e.on Westfalen Weser, die Preisträger Florian Jung, Svenja Riekeberg, Martin Tigges und Swetlana Werwein sowie Prof. Dr. Nikolaus Risch, Prof. Dr. Reinhard Zellner und der Juryvorsitzende Klaus Meyer bei der Feierstunde.

(ISFH) geschrieben hatte, den mit 1000 Euro dotierten ersten Preis. Riekeberg stellt ein neues Konzept zur Verringerung der Arbeitstemperatur von Solarzellen vor. Dieses bewirkt durch eine geringere Wärmeentwicklung in der Solarzelle, dass ein höherer Wirkungsgrad erzielt wird.

„Herausforderungen sind gewaltig“

Auf Platz zwei (750 Euro) kam der Paderborner Martin Tigges, der an der Universität Paderborn sein Diplom erwarb. Sein Konzept für verteilte Kraftwerke ermöglicht, dass regenerative, dezentrale Energieerzeuger intelligent in das bestehende Energieversorgungssystem integriert werden können.

Bei der „Besten Diplomarbeit unter dem Aspekt der Praxisorientierung“ überzeugte Florian Jung, ebenfalls vom ISFH. Mit seiner Untersuchung trägt Jung, der in Wennigsen bei Hannover lebt, zur Energieeinsparung in Gebäuden bei. „Die Resultate dieser Arbeit sollen bei der Entwicklung von Isolierverglasung eingesetzt werden“, so Jung.

Der zweite Preis wurde an Swetlana Werwein von der FH Bielefeld verliehen. In der Diplomarbeit hatte die Bad Driburgerin technische Anforderungen und Einsatzbereiche für elektrische Verbindungstechnik in regenerativen Erzeugungsanlagen untersucht.

„Die Herausforderungen und Anforderungen an die Ingenieure der Zukunft gerade im großen Feld Energie sind gewaltig. Für diese Aufgaben brauchen wir Top-Leute. Ein Wettbewerb wie der ‚e.on Westfalen Weser Energy Award‘ hilft, herausragende Leistungen zu würdigen, Karrieren mit anzustoßen und viele junge Leute für dieses faszinierende Gebiet zu begeistern“, betonte Henning Probst, Vorstandsvorsitzender von e.on Westfalen Weser. Ausdrücklich begrüßte Probst den hohen Anteil von Frauen unter den bisherigen Preisträgern.

Auch für Prof. Dr. Nikolaus Risch, Rektor der Universität Paderborn, gibt der Energy Award jungen Menschen Anreize, sich mit dem Thema Energie trotz Klimawandel optimistisch zuzuwenden. Prof. Dr. Reinhard Zellner vom Institut für Physikalische und Theoretische Chemie, Universität Duisburg-Essen, unterstrich in seiner Festrede über „Energiebedarf und Klimawandel“, dass angesichts der Klimaerwärmung die Reduzierung des Kohlendioxids höchste Priorität habe.

© Dewezet 21. November 2007

Autoren

8 Authors



Abb. 72: Die Belegschaft des ISFH.
Fig. 72: The staff of the ISFH.

Altermatt, Pietro P., Dr.; Diplom-Physiker, Universität Hannover, ✆ 0511-762 5505, p.altermatt@isfh.de

Bock, Robert; Diplom-Ingenieur, Abteilung Photovoltaik, ✆ 05151-999-306, r.bock@isfh.de

Bothe, Karsten, Dr.; Diplom-Physiker, Abteilung Photovoltaik, ✆ 05151-999-425, k.bothe@isfh.de

Brendel, Rolf, Prof. Dr.-Ing.; Diplom-Physiker, Institutsleiter, ✆ 05151-999-100, rolf.brendel@isfh.de

Eisenmann, Wolfgang, Dr.; Diplom-Physiker, Abteilung Solarthermie

Eitner, Ulrich; Diplom-Technomathematiker, Abteilung Photovoltaik, ✆ 05151-999-415, u.eitner@isfh.de

Föste, Sebastian; Diplom-Ingenieur, Abteilung Solarthermie, ✆ 05151-999-506, s.foeste@isfh.de

Gaßdorf, Wolfgang; Diplom-Ökonom, Stellvertretender Institutsleiter, ✆ 05151-999-405, w.gassdorf@isfh.de

Goslich, Roland, Dr.; Diplom-Chemiker, Öffentlichkeitsarbeit, ✆ 05151-999-302, r.goslich@isfh.de

Harder, Nils-Peter, Dr.; Diplom-Physiker, Abteilung Photovoltaik, ✆ 05151-999-426, n.harder@isfh.de

Hermann, Sonja; Diplom-Ingenieurin (FH), Abteilung Photovoltaik, ✆ 05151-999-304, s.hermann@isfh.de

Hinken, David; Diplom-Physiker, Abteilung Photovoltaik, ✆ 05151-999-414, d.hinken@isfh.de

Kirchner, Maik; Diplom-Ingenieur, Abteilung Solarthermie, ✆ 05151-999-523, m.kirchner@isfh.de

Klug, Winfried; Oberstudiendirektor, Lehrerfortbildung, ✆ 05151-999-304, nils@isfh.de

Köntges, Marc, Dr.; Diplom-Physiker, Abteilung Photovoltaik, ✆ 05151-999-432, m.koentges@isfh.de

Krain, Rafael; Diplom-Physiker, Abteilung Photovoltaik, ✆ 05151-999-322, r.krain@isfh.de

Kröger, Marie-Luise; Lehrerin, Lehrerfortbildung, ✆ 05151-999-304, nils@isfh.de

Ramspeck, Klaus; Diplom-Physiker, Abteilung Photovoltaik, ✆ 05151-999-325, k.ramspeck@isfh.de

Rockendorf, Gunter; Diplom-Ingenieur, Abteilung Solarthermie, ✆ 05151-999-521, g.rockendorf@isfh.de

Schanz, Wolf-Rüdeger; Oberstudienrat, Lehrerfortbildung, ✆ 05151-999-304, nils@isfh.de

Scheuren, Jörn; Diplom-Physiker, Abteilung Solarthermie, ✆ 05151-999-523, j.scheuren@isfh.de

Schmidt, Jan, PD Dr.; Diplom-Physiker, Abteilung Photovoltaik, ✆ 05151-999-425, j.schmidt@isfh.de

Terheiden, Barbara, Dr.; Diplom-Physikerin, Abteilung Photovoltaik, ✆ 05151-999-413, b.terheiden@isfh.de

Vanoli, Klaus, Dr.-Ing.; Diplom-Physiker, Abteilung Solarthermie, ✆ 05151-999-525, k.vanoli@isfh.de

Wolf, Andreas, Dr.; Diplom-Physiker, Abteilung Photovoltaik

Abb. 73: Landrat Rüdiger Butte bei der Begrüßung der Teilnehmer eines Treffens, das vom Referat Wirtschaftsförderung des Landkreises Hameln-Pyrmont auf Einladung von Prof. Dr.-Ing. Rolf Brendel veranstaltet wurde.
Fig. 73: Rüdiger Butte, administrative head of the Landkreis Hamelin-Pyrmont, welcoming participants to a meeting organized by the Economic Development Department of the Landkreis at the invitation of Prof. Dr.-Ing. Rolf Brendel.

Abb. 74: Der niedersächsische Wissenschaftsminister Lutz Stratmann besucht den Ausstellungsstand des ISFH während der Hannover-Messe 2007.
Fig. 74: The Lower Saxon Science Minister Lutz Stratmann visiting the ISFH stand during the 2007 Hanover Fair.

Abb. 75: Teilnehmer an der Jahrestagung des ForschungsVerbundes Sonnenenergie (FVS) im großen Physikhörsaal an der Leibniz Universität in Hannover.
Fig. 75: Participants at the annual meeting of the Solar Energy Research Association (FVS) in the large physics lecture theater at the Leibniz Universität Hannover.

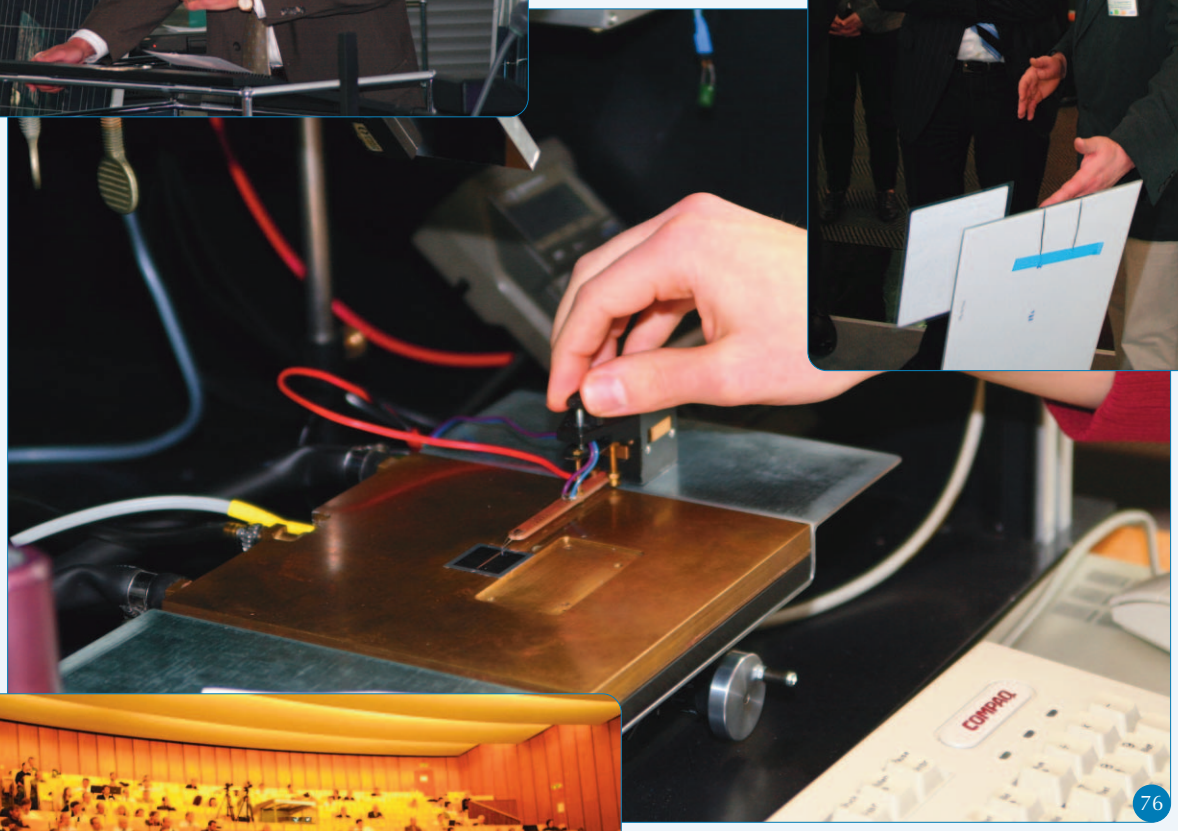
Abb. 76: Kontaktierung der Referenzsolarzelle am Quanteneffizienz-Messplatz.
Fig. 76: Bonding of the reference solar cell on the quantum efficiency measuring apparatus.

Abb. 77: Ausstellungsstand des ISFH auf der ECOTec 2007 in Essen (Zeche Zollverein), einer vom Bundesumweltministerium veranstalteten Messe für neue Umwelttechnologien.
Fig. 77: Exhibition stand of ISFH at the ECOTec 2007 in Essen (Zollverein Colliery), a fair for new environmental technology organized by the Federal Environment Ministry.

Abb. 78: Dr. Hans-Jürgen Hartmann, Geschäftsführer der PhotonicNet GmbH, beim Interview anlässlich des in Hameln veranstalteten Workshops „Laser Technology in Photovoltaic". Das „PhotonicNet" war Mitveranstalter des Workshops.
Fig. 78: Dr. Hans-Jürgen Hartmann, Managing Director of PhotonicNet GmbH, during an interview on the occasion of the "Laser Technology in Photovoltaics" workshop held in Hamelin. PhotonicNet was co-organizer of the workshop.

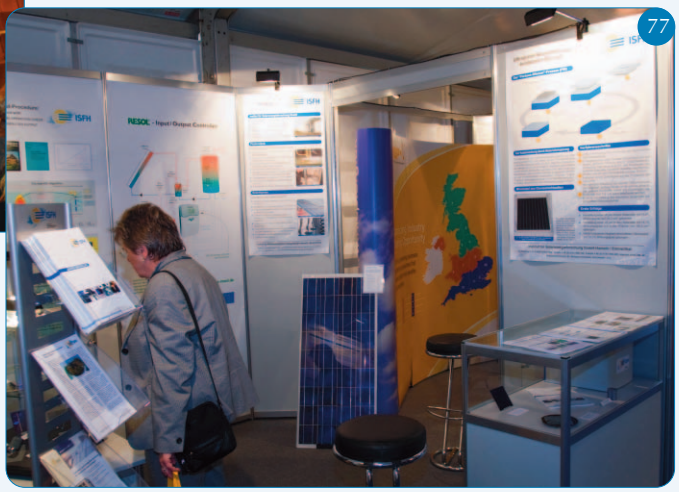

73


74



76


75


77


78



79



80

81



82



83



84



85

Abb. 79: Prof. Dr. Erich Barke, Präsident der Leibniz Universität Hannover, lässt sich von Prof. Dr.-Ing. Rolf Brendel über die neuesten Entwicklungen am ISFH informieren.
Fig. 79: Prof. Dr. Erich Barke, President of the Leibniz Universität Hannover, being informed by Prof. Dr.-Ing. Rolf Brendel about the latest developments at ISFH.

Abb. 80: Interview von Prof. Dr.-Ing. Rolf Brendel anlässlich des Besuchs von Hans-Heinrich Sander, dem niedersächsischen Umweltminister.
Fig. 80: Interview by Prof. Dr.-Ing. Rolf Brendel on the occasion of the visit of Hans-Heinrich Sander, Lower Saxon Environment Minister.

Abb. 81: Der Sonnensimulator II, ausgestattet mit Hochdruck-Quecksilberdampflampen, während des Betriebes.
Fig. 81: The solar simulator II, equipped with high-pressure mercury vapor lamps, in operation.

Abb. 82: MD Dr. Hans Schroeder, Aufsichtsratsvorsitzender der ISFH GmbH und Lutz Stratmann, niedersächsischer Wissenschaftsminister beim Besuch der „Night of Innovation", einer Sonderveranstaltung der Messe AG, bei der Wissenschaftler aus sieben Bundesländern ihre neuesten Ergebnisse und Produkte präsentieren.
Fig. 82: MD Dr. Hans Schroeder, Chairman of the Supervisory Board of the ISFH GmbH, and Lutz Stratmann, Lower Saxon Science Minister visiting the "Night of Innovation", a special event of the Messe AG, at which scientists from seven federal provinces present their latest results and products.

Abb. 83: Teilnehmer eines Treffens von regionalen Unternehmern, welches vom Referat Wirtschaftsförderung des Landkreises Hameln-Pyrmont veranstaltet wurde.
Fig. 83: Participants at a meeting of regional businesses organized by the Economic Development Department of the Landkreis Hamelin-Pyrmont.

Abb. 84: Podiumsdiskussion „Forschung im Wettlauf mit dem Klimawandel – kann die deutsche Forschung international mithalten?" mit Dr. Wolfram Krewitt (DLR), Joachim Nick-Leptin (Bundesumweltministerium), Gerhard Stryi-Hipp (BSW-Solar), Prof. Jürgen Schmid (ISET und WBGU), und Hans-Joachim Fell (Bundestagsabgeordneter), zum Abschluss der Jahrestagung des ForschungsVerbundes Sonnenenergie (FVS) in der Leibniz Universität Hannover. Die Podiumsdiskussion wurde moderiert von Dr. Ralf Köpke, Chefreporter der Zeitschrift „Energie & Management".
Fig. 84: Panel discussion on the subject of "Research in competition with climate change – can German research keep pace internationally?" with Dr. Wolfram Krewitt (DLR), Joachim Nick-Leptin (Federal Environment Ministry), Gerhard Stryi-Hipp (BSW-Solar), Prof. Jürgen Schmid (ISET and WBGU) and Hans-Joachim Fell (Member of the Federal Parliament) at the end of the annual meeting of the Solar Energy Research Association (FVS) at the Leibniz Universität Hannover. The panel discussion was chaired by Dr. Ralf Köpke, reporter in chief of the magazine "Energy & Management".

Abb. 85: Besuch des niedersächsischen Umweltministers Hans-Heinrich Sander am ISFH. Prof. Dr.-Ing. Rolf Brendel führt die Delegation durch die Labore.
Fig. 85: Visit of the Lower Saxon Environment Minister Hans-Heinrich Sander to ISFH. Prof. Dr.-Ing. Rolf Brendel leading the delegation through the laboratories.

Impressum

Imprint

Gestaltung & Redaktion
Dr. Roland Goslich
ISFH Öffentlichkeitsarbeit

Redaktionsadresse
Institut für Solarenergieforschung Hameln
– Öffentlichkeitsarbeit –
Am Ohrberg 1
D-31860 Emmerthal

Telefon (0 49) 05151-999-302
Telefax (0 49) 05151-999-400
eMail info@isfh.de
Internet http://www.isfh.de

Publikationskennung
ISSN 1613-5970

Redaktionsschluss
31.12.2007

Druck
Werbedruck August Lönneker GmbH & Co KG, Stadtoldendorf

Papier
Der Jahresbericht wurde auf chlorfrei gebleichtem Papier gedruckt. Umschlag: chlorfrei gebleicht, glänzend gestrichen.

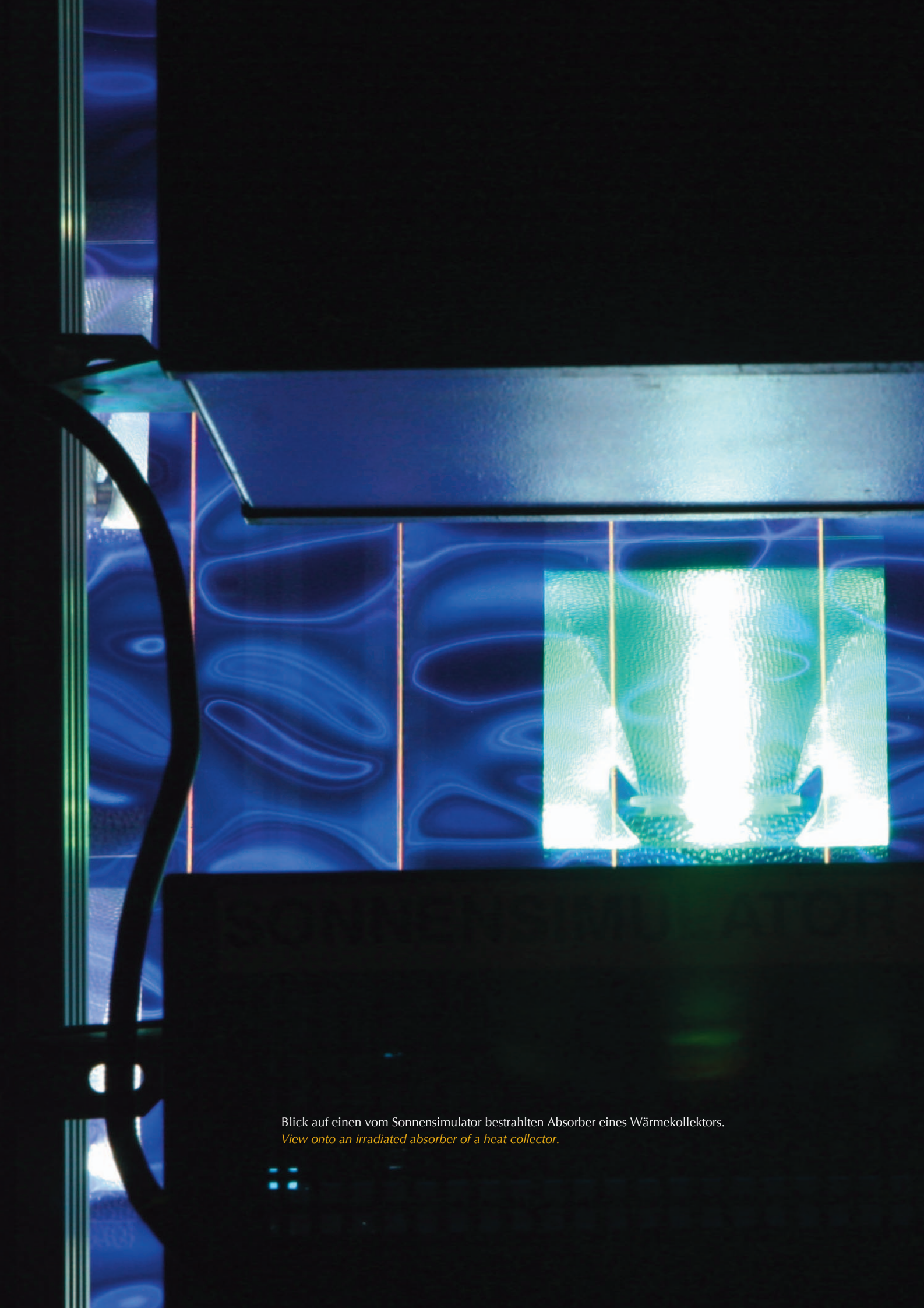
Bildquellen
Alle Bilder vom ISFH, wenn nicht anders angegeben.

Hinweise
Vervielfältigung oder Abdruck von Teilen dieses Berichtes grundsätzlich nur mit vorheriger schriftlicher Einwilligung der Redaktion.

Danksagung
Allen Mitarbeitern, die zum Gelingen dieses Jahresberichtes beigetragen haben sei an dieser Stelle herzlich für ihre Mühe gedankt. Ein besonderer Dank gilt Nicholas Moon für seine Mitwirkung bei der Abfassung des Berichtes.

© Institut für Solarenergieforschung Hameln 2007

Webausgabe 04/2008.2



Blick auf einen vom Sonnensimulator bestrahlten Absorber eines Wärmekollektors.
View onto an irradiated absorber of a heat collector.



Institut für
Solarenergieforschung
Hameln

2007

Am Ohrberg 1
D-31860 Emmerthal

Telefon +049 (0) 5151-999-100
Telefax +049 (0) 5151-999-400
eMail info@isfh.de
Internet www.isfh.de

ISSN 1613-5970