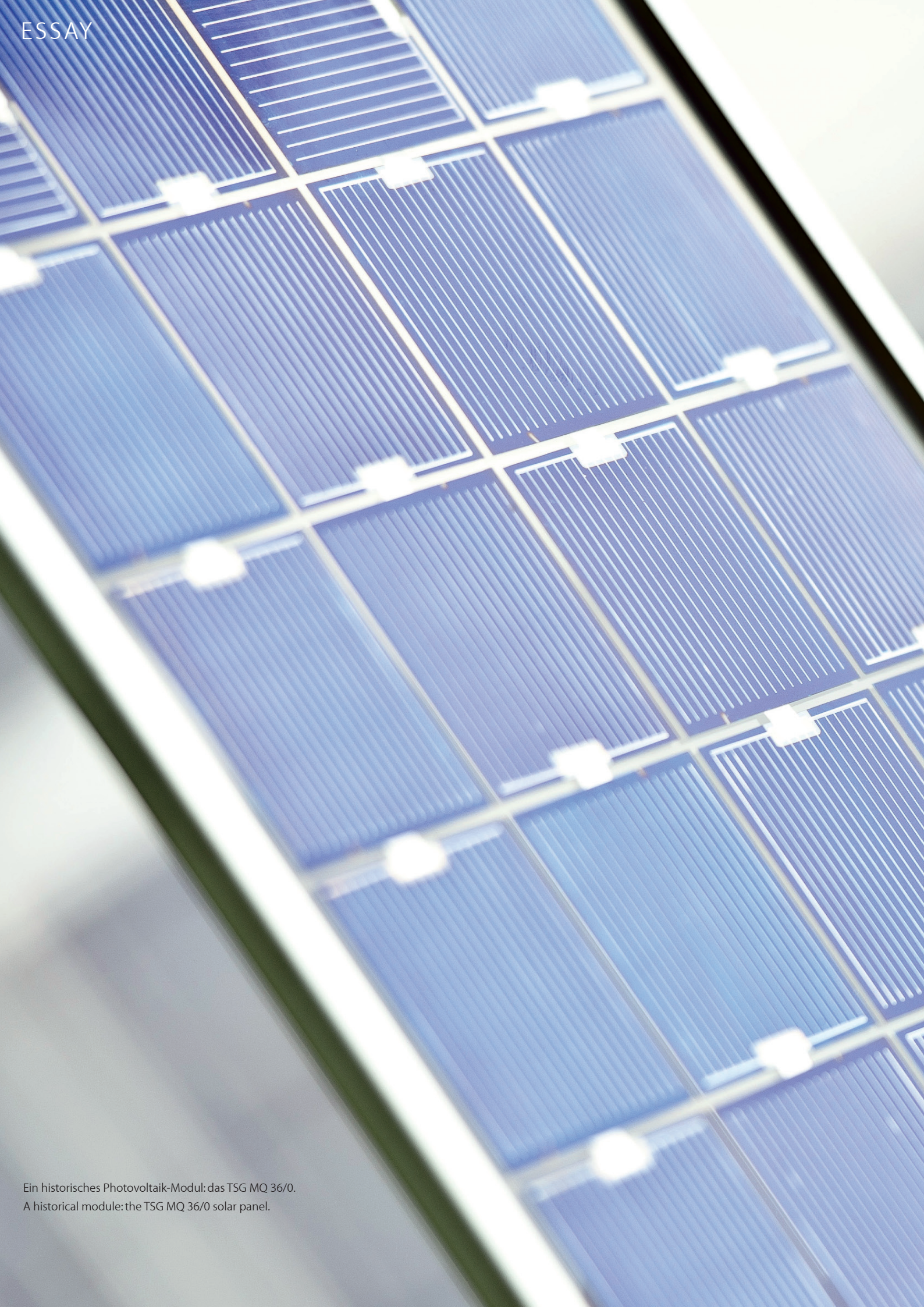




Ein historisches Photovoltaik-Modul: das TSG MQ 36/0.
A historical module: the TSG MQ 36/0 solar panel.



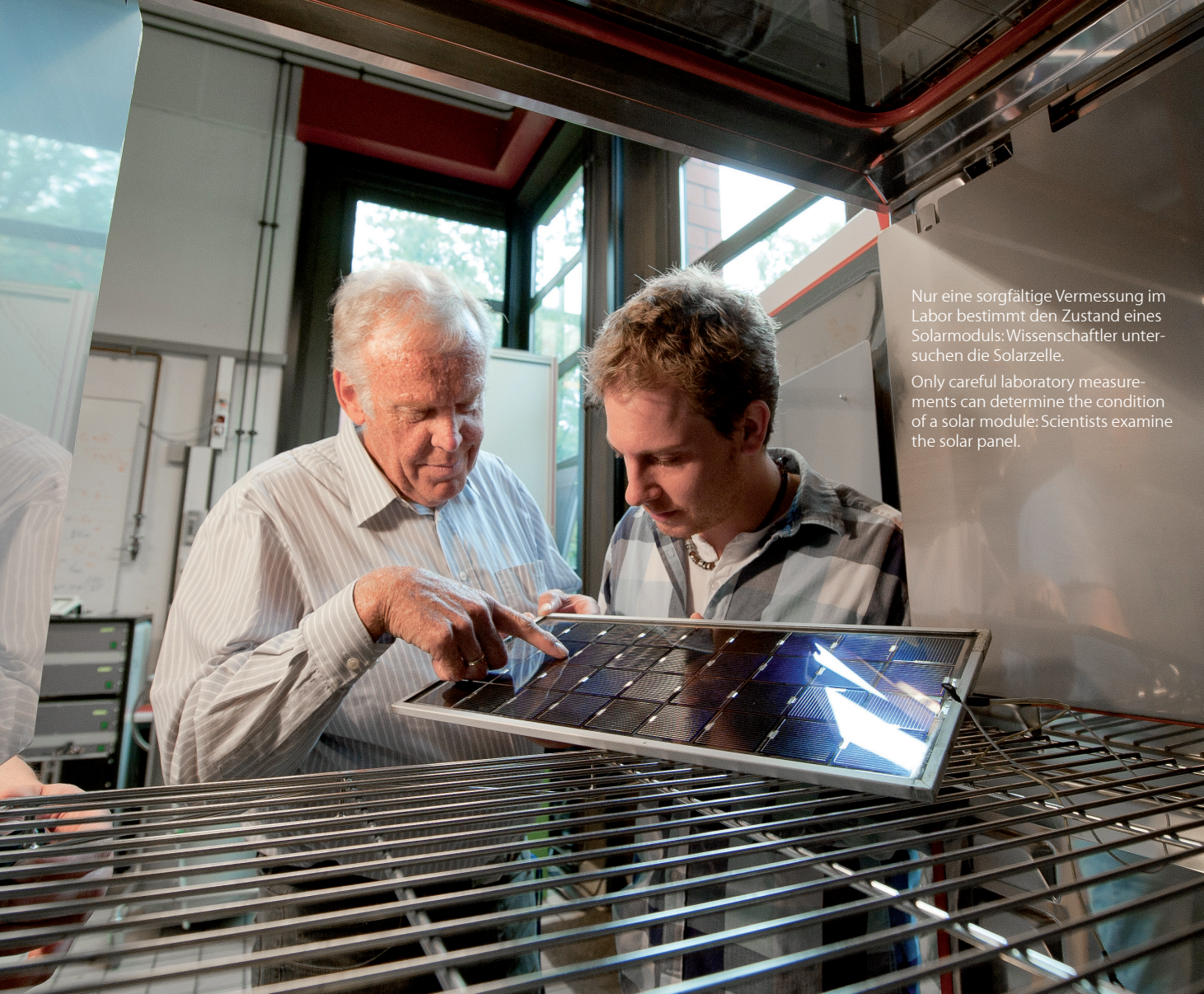
30 Jahre im Dienst der Erneuerbaren Energien

30 Years at the Service of Renewable Energies

Detlev Heinemann, Wilhelm Jürgens,
Robin Knecht, Jürgen Parisi

Die Photovoltaikanlage des Energielabors der Universität Oldenburg ist eine der ältesten funktionstüchtigen Anlagen Deutschlands. Ihre 336 Module liefern Messdaten, die für die aktuelle Diskussion über die Lebensdauer von Solarzellen außerordentlich wertvoll sind. Ziel der Oldenburger Forschung: die Photovoltaik zu einer wettbewerbsfähigen Energiequelle zu machen.

The photovoltaic array at the University of Oldenburg's "Energielabor" is among the oldest arrays still in operation in Germany. Its 336 modules provide very important measurement data for the current discussion about the lifetime of solar cells. Actual research here is aimed at making photovoltaics a competitive source of energy.



Nur eine sorgfältige Vermessung im Labor bestimmt den Zustand eines Solarmoduls: Wissenschaftler untersuchen die Solarzelle.

Only careful laboratory measurements can determine the condition of a solar module: Scientists examine the solar panel.

Das Energielabor der Universität Oldenburg ist so etwas wie das Symbol der Oldenburger Energieforschung. Seine Planung reicht zurück in die 70er Jahre, als die Ölkrise die Suche nach anderen Energieformen auf die Tagesordnung brachte. Gegen den weiteren Ausbau der Kernenergie setzten die Oldenburger Wissenschaftler auf Wind und Sonne als Energieträger. Die Arbeitsgruppe „Physik Regenerativer Energiequellen“ wollte unter Beweis stellen, dass es möglich ist, ein Labor zu betreiben, das seinen Energiebedarf komplett aus erneuerbaren Quellen deckt. 1982 wurde es als erstes Gebäude auf dem

Campus Wechloy in Betrieb genommen. Bis Anfang der 90er Jahre war das Energielabor Gegenstand fast aller

Die älteste noch arbeitende Photovoltaikanlage.

Forschungsarbeiten zum Thema Erneuerbare Energien in Oldenburg. Heute dient das Gebäude für Praktika, Lehrveranstaltungen und Büroarbeitsplätze. In wenigen Monaten feiert das Energielabor seinen 30. Geburtstag, doch einige seiner Einbauten können auf eine erheblich längere Lebensdauer verweisen. Ein Teil der dortigen Solarzellen ist sogar schon 36 Jahre in Gebrauch – das ist deutschlandweit einmalig.

Die Solarzellen wurden von der Firma AEG-Telefunken unter der Bezeichnung „TSG MQ 36/0“ hergestellt. Das Elektronunternehmen hatte seinen Sitz damals in Wedel bei Hamburg. Im

Laufe der Jahre wechselte es öfter seinen Namen, ging durch die Hände von Daimler-Benz und RWE und ist heute als Schott Solar GmbH Bestandteil des Technologie-Konzerns Schott AG. Bevor 1981 die 336 Module mit einer gesamten Nennleistung von 3,5 kW installiert wurden, waren sie bereits fünf Jahre lang Teil eines vom Bundesforschungsministerium geförderten Projekts. Heute arbeitet am Oldenburger Energielabor die älteste Photovoltaik-Anlage dieser Größenordnung in Deutschland. Das Energielabor liefert damit ideale Voraussetzungen für die Betrachtung der Lebensdauer von Solarzellen. Da es in Deutschland sonst kaum Anlagen dieser Größe und dieses Alters gibt, sind Informationen über die tatsächliche Leistung und Haltbarkeit der Solarzellen Mangelware. Beides ist für die Wirtschaftlichkeit aller Photovoltaik-Anlagen entscheidend. Im Allgemeinen geht man von einer Lebensdauer von 25 Jahren aus. Diese Zeitspanne liegt fast allen Wirtschaftlichkeitsberechnungen zu Grunde, die für die Finanzierung von Photovoltaik-Anlagen herangezogen werden. Arbeitet eine Anlage länger, dann macht der Betreiber einen zusätzlichen Gewinn. Liegt die Leistung der Photovoltaikanlage unter der vom Hersteller garantierten Betriebsdauer, steht der Betreiber vor nicht unerheblichen finanziellen und wirtschaftlichen Problemen. Die Solarzellen des Oldenburger Energielabors haben die erwartete Laufzeit um mehr als zehn Jahre über-

The "Energielabor" at the University of Oldenburg can be seen as symbolic of Oldenburg's energy research. It was planned back in the 1970s, when the oil crisis triggered a search for new forms of energy. Rather than expanding the use of nuclear power the Oldenburg scientists set their sights on harnessing the wind and sun as energy sources. The research group "Physics of Renewable Energies" set out to prove that it was possible to run a laboratory powered entirely by renewable energy sources. In 1982 it became the first building to go into operation on the University's Wechloy campus. Until the early 1990s, the "Energielabor" was the subject of almost all research in the field of renewable energies in Oldenburg. Today the building is used for practical training, lectures and office space. In a few months' time the "Energielabor" will celebrate its 30th anniversary, but some of its installations have been operating for considerably longer. A number of the photovoltaic panels there have been in use for 36 years – a record time in Germany. The solar panels were manufactured by the firm AEG-Telefunken under the product name "TSG MQ 36/0". At the time the electricity company's headquarters were located in Wedel, near Hamburg. Over the years the company changed names several times, passed into the hands of Daimler-Benz and RWE and now forms part of the technology group Schott AG and is called Schott Solar GmbH. Before the 336 modules with a total rated output of 3.5 kilowatts were installed at the "Energie-

The oldest photovoltaic array still in operation.

labor" in 1981 they had already been operating for five years as part of a project funded by the Federal Ministry of Education and Research. Today, the modules at the "Energielabor" constitute the oldest photovoltaic array of such size in Germany. The "Energielabor" therefore offers ideal conditions for observing the lifetime of solar cells. Because there are hardly any other installations of this size and age in Germany, there is a lack of information about the economic efficiency of photovoltaic arrays. They are generally assumed to have an average lifespan of 25 years. Almost all economic efficiency calculations used for planning the financing of photovoltaic systems are based on this figure. If a photovoltaic array falls short of the operating life guaranteed by the manufacturer the operator of the system faces considerable financial and economic problems. The solar panels at the Oldenburg "Energielabor" have already exceeded the expected operating life by more than ten years. And they still provide operating data that on the basis of precise measurements testify to unaltered quality regarding electricity production.

But what can limit the lifespan of photovoltaic arrays? There are essentially two factors. On the one hand the characteristics of the semiconductor materials can alter while the system is in operation. This process is referred to as degradation. The degradation process depends on the materials that are used. For the production of the solar cells at the "Energielabor" silicon was used: a classic semiconductor metal that is extremely durable and barely changes its characteristics over time. On the other hand – and this is the main factor limiting their lifespan – solar cells need to be protected against environmental influences and connected to the electric system. This entails

Photovoltaik-Modul AEG-Telefunken TSG MQ 36/0 (temperature 25°C)

	1976	2011
rated power	10,3 W	9,9 W
open circuit voltage	21,0 V	20,3 V
short circuit voltage	685 mA	664 mA
MPP-voltage	16,6 V	16,6 V
MPP-current	630 mA	607 mA
efficiency	8,55 %	8,2 %
total number of modules	336	
total power	3460 W	

Hardly any variations after 35 years in operation: the manufacturer's specifications in comparison to the Oldenburg measurement data.

the use of components such as glass coverings, frames and cable connections which can corrode or crack and therefore constitute the main weak points in a photovoltaic array. The quality of a photovoltaic array that has been in operation for some time can be measured in several ways. At first there is the visual inspection, which reveals external signs of aging. Frequent problems are corrosion and bleaching of the cells, the so-called "browning" phenomenon in which the plastic material encapsulating the cells becomes discoloured as a result of UV radiation. Solar panels can also be damaged as a result of bubbles forming in the plastic encasements or degradation of the plastic, as well as cracks in the glass and corroded cables. But only careful measurements carried out in the laboratory can provide detailed information about the true state of a module. The solar panels are examined under conditions that are precisely defined e.g. as regards amount and spectral distribution of irradiance on the module level, as well as cell temperature. Continuous measurements assessing the total output of the array at the "Energielabor" had indicated that it still had a very good operating performance when compared with the manufacturer's specifications. In 2010, the researchers of the "Energy and Semiconductor Research Laboratory" decided to investigate further, and in November they detached individual modules and measured their performance in the laboratory.

The results were astounding: providing for the usual deviations from the manufacturer's specifications, which are aimed at a hardly realistic ideal operating performance, after 35 years in operation the modules still displayed only minimal alterations regarding the key parameters. Both the short-circuit current and the open-circuit voltage were just three percent below the original values, while the fill factor was actually two percent above it. The efficiency, ultimately the decisive factor, was four percent below the values specified by the manufacturer.

Photovoltaics: "An energy source with huge potential."

Photovoltaik-Modul AEG-Telefunken TSG MQ 36/0
(Temperatur 25°C)

	1976	2011
Nennleistung	10,3 W	9,9 W
Leerlaufspannung	21,0 V	20,3 V
Kurzschlussstrom	685 mA	664 mA
MPP-Spannung	16,6 V	16,6 V
MPP-Strom	630 mA	607 mA
Wirkungsgrad	8,55 %	8,2 %
Gesamtzahl der Module	336	
Gesamtleistung	3460 W	

Kaum Abweichungen nach 35 Jahren Betrieb: die Herstellerangaben im Vergleich zu den Oldenburger Messdaten.

schritten. Dabei liefern sie immer noch Betriebsdaten, die eine im Rahmen der Messgenauigkeit unveränderte Qualität in der Stromproduktion belegen.

Doch wodurch wird überhaupt die Lebensdauer von Photovoltaik-Anlagen eingeschränkt? Es sind im Wesentlichen zwei Faktoren: Zum einen können die Halbleitermaterialien während der Betriebszeit ihre Eigenschaften verändern. Diesen Prozess bezeichnet man als Degradation. Die Degradation ist abhängig von den Materialien, die jeweils eingesetzt werden. Bei den Solarzellen des Energielabors wurde Silizium verwendet: ein klassisches Halbleitermetall, das äußerst beständig ist und seine Eigenschaften kaum verändert. Zum anderen – und darin liegt die Hauptursache der eingeschränkten Lebensdauer – müssen die Solarzellen gegen Umwelteinflüsse geschützt und mit dem Stromsystem verbunden werden. Dafür werden Komponenten wie Glasabdeckungen, Rahmen und Kabelverbindungen genutzt. Sie können korrodieren oder brechen und bilden daher die eigentlichen Schwachstellen eines Photovoltaiksystems.

Die Qualität einer älteren Photovoltaik-Anlage lässt sich auf verschiedene Weise feststellen. Da ist zunächst einmal die optische Inspektion. Sie liefert erste Aufschlüsse über äußerliche Alterungserscheinungen. Häufige Schäden sind Korrosion und Ausbleichung an den Zellen, das so genannte „Browning“, bei dem sich die Kunststoffeinkapselung als Folge von UV-Strahlung verfärbt. Auch Blasenbildung und Degradation beim Kunststoff der Einkapselung, Glasbruch und korrodierte Kabel schaden der Solarzelle.

Erst eine sorgfältige Vermessung im Labor gibt detailliert Aufschluss über den tatsächlichen Zustand eines Moduls. Die Solarzellen werden dazu unter exakt definierten Bedin-

gungen wie Höhe und spektrale Verteilung der Einstrahlung auf die Modulebene sowie die Zelltemperatur untersucht. Kontinuierliche Messungen der Gesamtleistung des Oldenburger Energielabors wiesen auf ein – im Vergleich zu den Herstellerangaben – nach wie vor sehr gutes Betriebsverhalten hin. 2010 wollten es die Wissenschaftler der Abteilung „Energie- und Halbleiterforschung“ genauer wissen und entnahmen im November einzelne Module, die sie dann sie im Labor vermaßen.

Die Ergebnisse waren erstaunlich: Im Rahmen der üblichen Abweichungen von den Herstellerangaben, die auf einen kaum realistischen Idealbetrieb abzielen, konnten nach 35 Jahren Betrieb nur ganz geringfügige Veränderungen bei den bestimmenden Kenngrößen festgestellt werden. Sowohl der Kurzschlussstrom als auch die Leerlaufspannung lagen mit drei Prozent unter den ursprünglichen Werten, während der Füllfaktor sogar bis zu zwei Prozent darüber lag. Der Wirkungsgrad, die letztlich entscheidende Größe, lag um vier Prozent unter den vom Hersteller angegebenen Werten.

Trotz der nach wie vor guten Qualität der Photovoltaik-Anlage in Oldenburg hat der Fortschritt bei der Solarzellenentwicklung auch vor ihr nicht halt gemacht. Die aktuell am Markt verfügbaren PV-Module können mit Wirkungsgraden aufwarten, die fast doppelt so hoch sind wie die der Module des Energielabors. Die Kostenseite hat eine noch stürmischere Entwicklung durchlaufen: Im Laufe der Betriebsdauer sind die Kosten der photovoltaischen Stromerzeugung um das Zehnfache gefallen. Und dies ist noch lange nicht das Ende der Entwicklung. Erhebliche Forschungs- und Entwicklungsanstrengungen in Universitäten, Forschungsinstituten und Industrie werden weiter Kostensenkungen ermöglichen und die Photovoltaik in den kommenden

Photovoltaik: „Energiequelle mit riesigem Potenzial.“

zehn bis zwanzig Jahren zu einer wettbewerbsfähigen Energiequelle mit riesigem Potenzial machen – auch unter nordeuropäischen Einstrahlungsbedingungen.

Die Forschung an der Universität Oldenburg ist auf dieses Ziel hin ausgerichtet. Sie gilt innovativen Ansätzen der Photovoltaik, die eine günstige Kostenentwicklung versprechen. Ein Beispiel sind die Dünnschichtsolarzellen. Durch die Verwendung entsprechender Beschichtungstechnologien und den sparsamen Einsatz von teurem Halbleitermaterial lassen sie einen deutlichen Kostenvorteil gegenüber kristallinen Siliziumtechnologien erwarten. Hierbei werden neue Ansätze zu photovoltaischen Zellen auf Basis von neuartigen organischen Halbleitern und Halbleiternanokristallen mit etablierten Konzepten, vor allem Solarzellen aus so genannten Chalkopyrit-Verbindungshalbleitern, kombiniert. Die Aktivitäten der Wissenschaftler bewegen sich von der Bearbeitung rein grundlegender Fragestellungen über die Material- und Bauelemententwicklung bis hin zu anwendungsrelevanten Fragestellungen der Photovoltaik.

Auf diese Weise treiben die Solarzellen-Forscher gemeinsam mit den übrigen Oldenburger Energieforschern die Entwicklung der Erneuerbaren Energien voran und helfen die Energieversorgung der Zukunft zu gestalten.



Die Autoren des Beitrags vor dem Energielabor (v.l.): Robin Knecht, Dr. Detlev Heinemann, Wilhelm Jürgens, Prof. Dr. Jürgen Parisi.
The authors of the article in front of the Energy Laboratory (from left): Robin Knecht, Dr. Detlev Heinemann, Wilhelm Jürgens, Prof. Dr. Jürgen Parisi.

Notwithstanding the still high quality of the photovoltaic array in Oldenburg there have been since then major advances in the field of photovoltaics. The PV modules available on the market today are almost twice as efficient as the modules at the "Energielabor". And as far as costs are concerned, there has been even greater progress: Since the Oldenburg array went into operation, the costs of generating electricity with photovoltaic technology have shrunk to a tenth of what they were initially. And there is still plenty of room for improvement. The intense research and development being carried out at universities, research institutes and in industry will bring further reductions in costs and turn photovoltaics into a competitive energy source with huge potential in ten to twenty years' time – even under Northern Europe's limited sunlight conditions. This is the goal of the research at the University of Oldenburg. It focuses on innovative approaches in photovoltaics that

promise to lower costs. One example is thin-film solar cells. The application of thin-film technologies and the sparing use of expensive semiconductor materials are expected to provide a considerable cost advantage compared to crystalline silicon technologies. New approaches to photovoltaic cells based on innovative organic semiconductors and semiconductor nanocrystals are being combined with established concepts, in particular solar cells made with so-called chalcopyrite compound semiconductors. The activities of the scientists here range from addressing purely fundamental questions regarding materials and components to issues relevant to the practical application of photovoltaics. In this way the solar cell researchers, together with the other energy researchers at Oldenburg, are forging ahead in the field of renewable energies and helping to design the energy supplies of the future.

Die Autoren The authors

Prof. Dr. Jürgen Parisi, Hochschullehrer für Physik, wurde 1995 an die Universität Oldenburg berufen. Der international anerkannte Wissenschaftler leitet am Institut für Physik die Abteilung Energie- und Halbleiterforschung (EHF). Seine Forschungsaktivitäten reichen von den physikalischen Grundlagen kondensierter Materie bis hin zu technischen Anwendungen Erneuerbarer Energiesysteme.

Prof. Dr. Jürgen Parisi, who lectures in physics, was appointed to his chair at the University of Oldenburg in 1995. The internationally renowned scientist is head of the Energy and Semiconductor Research Laboratory (EHF) at the Institute of Physics. His research activities range from the fundamental physics of condensed matter to the technical applications of renewable energy systems.

Dr. Detlev Heinemann ist Akademischer Oberrat am Institut für Physik und Leiter der Arbeitsgruppe Energiemeteorologie. Er studierte Meteorologie in Kiel und Physik in Oldenburg, wo er im Bereich Energieforschung promovierte. Seine Forschungsarbeiten befassen sich mit den wechselseitigen Einflüssen von Wetter und Klima auf die Energieversorgung.

Dr. Detlev Heinemann is senior scientist (Akademischer Oberrat) at the Institute of Physics and heads the Energy Meteorology group. He studied meteorology in Kiel and physics at the University of Oldenburg, where he obtained his PhD in the field of energy research. The main focuses of his research are the interactions of renewable energy systems with weather and climate.

Wilhelm Jürgens arbeitet als Elektrotechniker seit 1979 an der Universität Oldenburg. Er war schon in der Arbeitsgruppe Physik Regenerativer Energiequellen unter Leitung des Solarenergie-Pioniers Prof. Dr. Joachim Luther am Aufbau des Energielabors beteiligt. Seit 1995 betreut Jürgens für die Energie- und Halbleiterforschung die Großlabore.

Wilhelm Jürgens has worked as an electrical engineer at the University of Oldenburg since 1979. As a member of the Renewable Energies group under the direction of the solar energy pioneer Prof. Dr. Joachim Luther he played an active part in the construction of the "Energielabor". Jürgens has been responsible for the maintenance of the main laboratories for energy and semiconductor research since 1995.

Robin Knecht studierte Physik in Umea (Schweden) und Gießen. Seit 2008 ist er Wissenschaftlicher Mitarbeiter der Arbeitsgruppe Photovoltaik. Für seine Promotion untersucht Knecht die Absorbervariationen bei Dünnschichtphotovoltaik.

Robin Knecht studied physics in Umea (Sweden) and Gießen (Germany). Since 2008 he has been a research fellow with the Photovoltaics group. For his PhD Knecht is studying absorber variations in thin film photovoltaics.