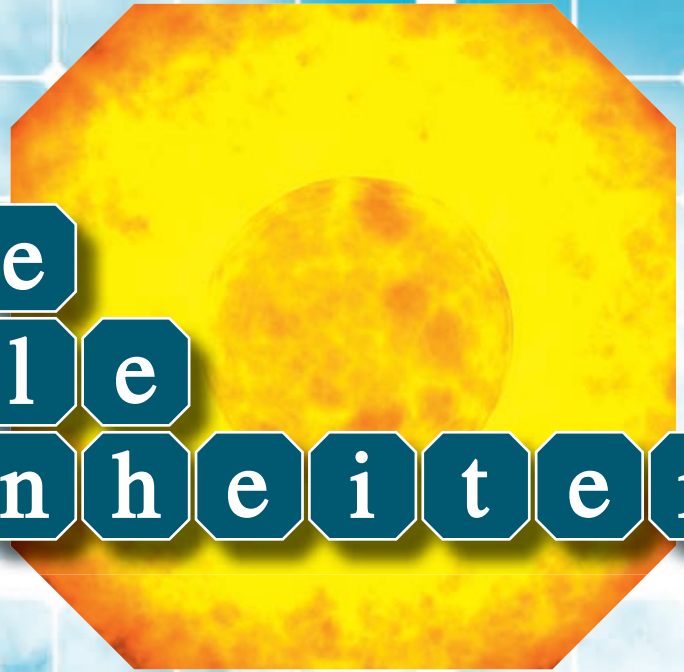


# Eine Sonne für alle Gelegenheiten



**Bei Solarzellen  
gibt es große  
Qualitätsunterschiede.**

**Deshalb ist es wichtig, dass ihre  
Eigenschaften genau gemessen  
werden. PTB-Forscher geben  
dafür die Kalibrierung vor, und  
zwar so genau wie sonst keiner  
auf der Welt. Sie arbeiten dabei  
mit hochpräzisen laserbasierten  
Messapparaturen und verwenden  
Sonnensimulatoren im  
Labor.**

gebaut, die es ermöglichen, den Strom  
der kleinen Scheiben auch für schwierig  
einzustellende Einstrahlungsbedingungen auf  
0,4 Prozent genau zu messen. Das ist Weltrekord.

In den Laboren im Keller des PTB-Gebäudes ist es dunkel  
und warm. „25 Grad sind ideal für unsere Messungen“, sagt  
Winter, „denn diese Temperatur herrscht in der Regel auch  
in den Fertigungsstraßen für Solarmodule.“ Dort werden  
die Referenzsolarzellen der PTB oder davon abgeleitete  
Solarzellen oder -module ja letztlich angewandt, um den  
Produktionsstandard hoch zu halten. Und dunkel muss  
es sein, damit kein Streulicht die Messungen stört. Denn  
die Forscher zerlegen das Licht einer starken Lampe mit  
einem Beugungsgitter in seine einzelnen Wellenlängen und  
lenken diesen Strahl dann über einen Zerhacker in kleinen  
Portionen auf die Solarzelle. An einem anderen,  
neueren Messplatz erzeugen Laser die exakten  
Wellenlängen.

Solarzellen sind heute in Deutschland aus  
dem Stadt- und Landschaftsbild nicht mehr  
wegzudenken. Es schimmert blau auf Häusern, Scheunen-  
dächern, sogar auf manchen Feldern. Für den Laien mögen  
die Siliziumscheiben alle gleich aussehen, aber was sie  
jeweils zu leisten imstande sind, das erschließt sich erst auf  
den zweiten Blick. Es gibt nicht nur verschiedene Bauarten,  
sondern auch große Qualitätsunterschiede. Und angesichts  
der hohen Zuwachsraten spielt es mittlerweile eine große  
Rolle, wie viel Licht eine Zelle in Strom umsetzen kann,  
welchen Wirkungsgrad sie also hat, und wie genau man  
das messen kann. „Eine Messungenauigkeit von nur einem  
Prozent führt bei den heutigen Investitionen zu einer fi-  
nanziellen Unsicherheit von weltweit 500 Millionen Euro  
pro Jahr“, sagt Stefan Winter, der in der PTB für die  
Kalibrierung von Solarzellen verantwortlich ist.  
Er und sein Team haben Messanlagen auf-



24 Stunden dauert es, bis eine Solarzelle ordnungsgemäß kalibriert ist. Im Prinzip läuft das so ab, dass man sie systematisch jeder Wellenlänge des Sonnenspektrums aussetzt und ihre Empfindlichkeit misst. Daraus ergeben sich einerseits Empfindlichkeitskurven, die die Leistungsfähigkeit der Zelle beschreiben, andererseits ein gewichteter Summenwert, mit dem beispielsweise Hersteller ihre Solarzellen vergleichen können. Dass die Messung so lange dauert, liegt daran, dass die Wissenschaftler alle Parameter variieren: die Menge des eingestrahelten Lichts, die Temperatur, den Einfallswinkel – und das alles bei jeder Wellenlänge.

Nun sendet die Sonne ja weißes Licht zur Erde, das sich in viele Komponenten mit unterschiedlichen Farben bzw. Wellenlängen aufspalten lässt, wie jeder Regenbogen zeigt.

Allerdings variieren die Farben des Sonnenlichts mit der Tageszeit, der Jahreszeit und mit der Zusammensetzung der Atmosphäre. Um

auf einheitliche Weise die Leistung einer Solarzelle zu ermitteln, kann man sie deshalb nicht einfach irgendwo in die Sonne halten, denn das ergäbe unterschiedliche Resultate je nach Zeit und Standort. Deshalb haben die Fachleute ein Standard-Sonnenspektrum entwickelt, das auch Winter und sein Team für die Messungen benutzen. Es hat den Namen AM1.5. Das steht für „Air Mass 1.5“ und bedeutet, dass das Sonnenlicht unter einem gewissen Winkel (von 48,19 Grad) einfällt und somit einen 1,5mal längeren Weg durch die Atmosphäre als bei senkrechtem Lichteinfall zurücklegt. Auf dieses Normspektrum, wie es irgendwo im US-Mittelwesten an einem sonnigen Tag herrscht, haben sich die Metrologen 1989 weltweit geeinigt; im Jahr 2008 wurde es noch einmal ein wenig erweitert und angepasst.

Für den Laien ist es eine wild zappelnde Kurve mit großen Zacken nach oben und unten, dieses Sonnenspektrum. Es ist deshalb keines-

wegs trivial, es im Labor künstlich nachzustellen. Aber da man ohnehin Schritt für Schritt die Empfindlichkeit bei jeder Wellenlänge getrennt ausmisst, muss man die Anteile erst am Ende beachten. Dann nämlich summiert man alle Anteile gewichtet auf und erhält einen Gesamtwert, der die Leistungsfähigkeit der Solarzelle charakterisiert.

Acht Institute weltweit machen ähnliche Messungen, und in Ringversuchen vergleichen sie ihre Werte regelmäßig. Beim letzten Mal bestanden nur vier den Test. Die PTB, die zu diesen vier gehörte, erzielte die höchste Genauigkeit. Sie kalibriert Referenzsolarzellen für die Institutionen, die in der Praxis für die Bewertung der Solarzellen zuständig sind, also etwa einen TÜV, das Fraunhofer-Institut für solare Energiesysteme ISE und andere Fachlabore. „Weltweit werden wohl die meisten Messwerte von Solarzellen auf unsere PTB-Normale zurückgeführt“, vermutet der Physiker Winter.

Wirtschaftliche Bedeutung haben die Messergebnisse dann in der Praxis. Jeder Hersteller ordnet am Ende der Fertigungsstraße die produzierten Solarzellen oder Module nach ihrer Leistungsfähigkeit in bestimmte Klassen ein. Um zu ermitteln, zu welcher Klasse sie gehören, blitzt man sie kurz mit einem sonnenähnlichen Spektrum an und misst, wie viel Strom sie bei welcher Spannung erzeugen. Das geht sehr schnell, nach Sekundenbruchteilen steht die Kennlinie fest. Je nachdem, wie diese ausfällt, werden die Produkte dann in die richtige Klasse sortiert und beschriftet. Für den Blitz verwenden die Hersteller als Lichtquelle häufig eine Xenon-Bogenlampe mit einer Strahlungsstärke von 1000 Watt pro Quadratmeter, Flash-Tester genannt. Das entspricht in etwa den Verhältnissen in prallem Sonnenlicht. Einige mathematische Korrekturen sorgen dafür, dass der Wert den Lampeneigenschaften angepasst wird und nur geringfügig von der Norm abweicht.



Alternativ kann das Spektrum mit vielen LEDs in sogenannten Solarsimulatoren erzeugt werden. So lässt sich eine geringere maximale Abweichung vom Sonnenspektrum erreichen. Außerdem kann man durch Variation der verschiedenen LED-Ströme einen Tagesverlauf mit seinen unterschiedlichen Helligkeiten und Farben (Morgenrot, weißes und helles Mittaglicht und bei Bewölkung gräulich) nachbilden.

Aber egal welche Lampe man benutzt, um die Solarzellen zu bewerten, die realen Verhältnisse entsprechen meist nicht den Normbedingungen im Labor oder in der Fertigung. So variieren die klimatischen Bedingungen von Ort zu Ort und dadurch die Einstrahldauer, die Temperatur des Solarmoduls und die Farbe des Sonnenlichts. Deshalb führen die Normergebnisse zu unkorrekten Schätzungen der real zu erwartenden Energiemenge. Ein Solarmodul in der heißen Sahara arbeitet unter völlig



anderen Bedingungen als eines im kühlen Norwegen.

Um vergleichbare Messergebnisse für wirklichkeitsnahe Bedingungen zu erzielen, hat die EU 2014 ein neues Projekt mit dem Namen Photo-Class angestoßen, das sich um dieses Thema kümmert. „Indem wir die Variationen aus der Realität mit einbeziehen, wird dieses Projekt zu einer deutlichen Risikominderung für den Betreiber von Solaranlagen führen“, sagt Winter, der das Projekt koordiniert. „Unter den heutigen Normbedingungen kann es passieren, dass Unternehmer vielleicht in Zellen investieren, die für die jeweiligen klimatischen Bedingungen nicht optimal geeignet sind.“

Eine wichtige Rolle bei der Simulation realer Sonnenbedingungen werden die LED-Solarsimulatoren spielen, an deren Charakterisierung und Einsatz in der Forschung die PTB mitarbeitet.

Denn da sie das Spektrum mithilfe von verschiedenfarbigen LEDs erzeugen, kann man jede einzelne Farbe getrennt ansteuern und verstärken oder schwächen. So ändert man das Spektrum ganz nach Wunsch, hat also eine Sonne für alle Gelegenheiten, sozusagen. Bewertungslabors und Hersteller werden damit ein Werkzeug an die Hand bekommen, mit dem sie punktgenau die Eigenschaften der Solarzellen auf die jeweiligen regionalen Gegebenheiten abstimmen können. Auch dies wird wohl weiter zum Siegeszug der Solarenergie beitragen, die auch Stefan Winter für extrem wichtig hält, denn für ihn ist klar: „Nur die Energie von der Sonne kann das Energieproblem der Menschheit dauerhaft lösen.“

BRIGITTE RÖTHLEIN

Bild Seite 66:  
Sehr sonnig: Mit dem Lasersystem lassen sich Wellenlängen in einem großen Spektralbereich einstellen, nämlich von 230 Nanometern (fernes UV-Licht) bis zu 1600 Nanometern (nahes Infrarot).

Bild Seite 67:  
Voll automatisch: Sind die optischen Komponenten des Lasersystems einmal richtig justiert, laufen die Messungen auf Knopfdruck.

Lichtspektrum Seiten 68/69:  
Fingerabdruck der Sonne: Was die Sonne natürlich ausstrahlt, muss im Solarzellentest künstlich nachgebildet werden. Das speziell ausgewählte Spektrum ist das sogenannte AM1.5-Spektrum, bei dem das Sonnenlicht die Atmosphärenluft 1,5mal durchlaufen hat. Festgehalten ist dieses Spektrum zugleich in einer Norm, dem IEC Standard 60904-3.

Bild Seite 69:  
Weiß und bunt: Auf dem Spektralmessplatz der PTB wird die Solarzelle gleichzeitig mit monochromatischem Licht des Lasersystems und zusätzlich mit Weißlicht (aus Bias-Lampen) beleuchtet. Unterschiedlichste Bestrahlungsstärken bis zu  $1100 \text{ W/m}^2$  können hiermit eingestellt werden.

(Alle Fotos: PTB)



Sealed Hole Table Top with Tuned Damping  
U.S. Patents 4,821,006, 4,853,085, 5,051,282, 5,114,942