

# PRESSEINFORMATION

-----  
PRESSEINFORMATION

11. Dezember 2024 || Seite 1 | 4  
-----

## Hocheffizienz trifft Nachhaltigkeit: Fraunhofer Leitprojekt zeigt Wege für nächste Solarzellen-Generation

**Die Entwicklung von Perowskit-Silizium-Tandemsolarzellen bestehend aus stabilen Materialien und gefertigt mit skalierbaren Produktionsverfahren ist die Voraussetzung für den nächsten Technologiesprung der Photovoltaik-Industrie. Über einen Zeitraum von fünf Jahren haben sechs Fraunhofer-Institute im Fraunhofer-Leitprojekt »MaNiTU« ihre Kompetenzen vereint, um möglichst nachhaltige Wege für die Markteinführung dieser Tandem-Solarzellen aufzuzeigen. Dabei konnten sie zeigen, dass hohe Wirkungsgrade mit industrienahen Prozessen realisierbar sind. Hohe Effizienzen konnten jedoch nur mit bleihaltigen Perowskiten erzielt werden. Daher entwickelten die Forschenden geeignete Recycling-Konzepte, um die Nachhaltigkeit zu sichern.**

Die Fraunhofer-Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler im Projekt »MaNiTU« stellten zahlreiche neue Materialien mit Perowskit-Kristallstruktur her und verglichen diese auf Zellebene mit bekannten Materialien. Es zeigte sich, dass nur mit bleihaltigen Perowskiten hohe Effizienzen erzielt werden können. Das Forschungsteam realisierte hocheffiziente Demonstratoren, zum Beispiel eine Perowskit-Silizium-Tandemsolarzelle über 100 Quadratzentimeter mit Siebdruckmetallisierung sowie Minimodule für einzelne und verschaltete Tandemsolarzellen. Vollständige Lebenszyklusanalysen ergaben, dass mit geeigneten Produktions- und Recyclingverfahren sowie Degradationsraten, die mit der heutigen Siliziumtechnologie vergleichbar sind, ein nachhaltiges Produkt zur Verfügung steht. »Die Fraunhofer-Gesellschaft hat sich in diesem Projekt im Verbund mit mehreren Instituten zurück in die Weltspitze der Photovoltaik gearbeitet und sollte dort bleiben,« erklärten die Fraunhofer-Projektbeiräte bei der Abschlussveranstaltung Ende November 2024.

### Skalierbare Perowskit-Silizium-Solarzelle mit 31,6 Prozent Wirkungsgrad

Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler forschten an Herstellungsprozessen für Perowskit-Materialien, die auf großen Flächen industriell umsetzbar sind. Dank der sogenannten »hybriden Route«, eine Kombination aus Aufdampfen und nasschemischer Abscheidung, realisierten sie Perowskit-Dünnschichten mit hoher Qualität auf industriell texturierten Siliziumsolarzellen. Das Forschungsteam konnte so eine volltexturierte Perowskit-Silizium-Tandemsolarzellen mit 31,6 Prozent Effizienz auf 1 Quadratzentimeter Zellfläche erzielen. »Eine enge Industriekooperation ist jetzt der nächste Schritt, um diese Zukunftstechnologie in Europa aufbauen zu können,«

resümierte Prof. Andreas Bett, Institutsleiter am Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme ISE und Koordinator des Fraunhofer-Leitprojekts.

-----  
**PRESSEINFORMATION**

11. Dezember 2024 || Seite 2 | 4  
-----

### **Aktuell keine geeigneten bleifreien Perowskite für Solarzellen in Sicht**

Im Fokus der Materialentwicklung standen neben gängigen bleihaltigen Perowskitverbindungen insbesondere nicht-giftige, bleifreie Alternativen. So konnten die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler detaillierte Erkenntnisse über die Stabilität und Eigenschaften der Zielmaterialien durch eine enge Verzahnung aus theoretischer Simulation, experimenteller Materialsynthese und Zellherstellung gewinnen. Neben verschiedenen Perowskitverbindungen wurden zusätzlich unterschiedliche Synthesewege betrachtet. »Insbesondere die skalierbare, semi-kontinuierliche Perowskit-Synthese in Pulverform mittels Sprühtrocknung stellt eine geeignete Screening-Methode für eine Vielzahl von Verbindungen und deren potenzieller Synthese dar. Die Methode lässt sich auch auf industrierelevante Mengen anwenden.«, erklärte Dr. Benedikt Schug, Leiter der Partikeltechnologie am Fraunhofer-Institut für Silicatforschung ISC. Jedoch konnte das Forschungsteam mit keinen aus der Theorie vorhergesagten und experimentell synthetisierten bleifreien Materialien Tandemsolarzellen mit ausreichender Effizienz realisieren, da die intrinsischen Materialqualitäten nicht ausreichend hoch waren.

### **Reduktion des ökologischen Fußabdrucks**

Um den gesamten Produktlebenszyklus der Tandemsolarzellen zu berücksichtigen, betrachteten die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler auch das Thema Recycling und Möglichkeiten einer geschlossenen Kreislaufwirtschaft. Sie führten eine detaillierte Bewertung der Umweltauswirkungen der Produktion, der Nutzungsphase und des Produktlebensendes der Tandemsolarzellen durch und entwickelten Recyclingkonzepte für Perowskit-Tandemmodule. »Durch den Einsatz von fortschrittlichen Recyclingprozessen kann eine Kreislaufwirtschaft für Photovoltaiksysteme auch für bleihaltige Perowskite geschaffen und eine langfristige Energieeffizienz gewährleistet werden«, fasste Prof. Dr. Peter Dold, Leiter der Fraunhofer-Einrichtung für Wertstoffkreisläufe und Ressourcenstrategie IWKS, die Ergebnisse zusammen.

### **Anlagenkomponenten zur Kontaktierung der Perowskit-Teilzelle**

Die Forschenden arbeiteten an der Entwicklung industrienaher Anlagekomponenten und Beschichtungstechnologien, um leistungsstarke Kontaktmaterialien für Elektron- und Lochkontakte im industriellen Waferformat G12 zu etablieren. Eine der

Herausforderungen war dabei die Temperaturempfindlichkeit der Perowskitzelle, die bei der Herstellung des Frontkontaktsystems nur Temperaturen unter 100 °C zulässt. Darüber hinaus ist die Abscheidung eines transparent leitfähigen Oxids auf der Zelle erforderlich. Hierzu wurde eine neue Prozesskette bestehend aus der Kombination von ALD- und Verdampfungsprozessen in einer SALD-Hybridanlage realisiert und durch einen abschließenden Sputterprozess ergänzt. »Unser Ziel ist nun der Transfer der Entwicklung«, erklärt Dr. Volker Sittinger, Abteilungsleiter Diamantbasierte Systeme und CleanTech am Fraunhofer-Institut für Schicht- und Oberflächentechnik IST. »Gemeinsam mit Anlagenbauer und Endanwender arbeiten wir daran, die neue Prozesskette von der Forschung in die Anwendung zu überführen.«

---

**PRESSEINFORMATION**11. Dezember 2024 || Seite 3 | 4

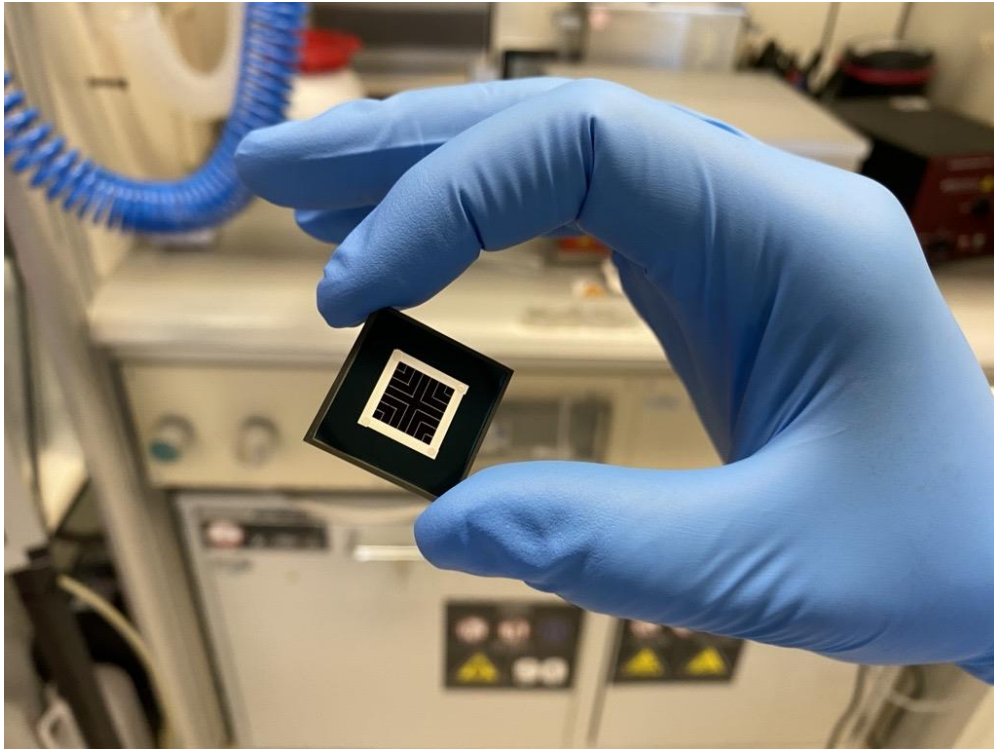
---

### **Effizienz und Stabilität der Tandemsolarzellen evaluieren**

Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler nahmen zudem die Charakterisierung von Tandemsolarzellen in den Fokus und entwickelten Methoden zur schädigungsfreien selektiven Analyse der Silizium- und Perowskit-Teilzellen. Mittels Daten der Charakterisierung konnte ein opto-elektrisches Simulationsmodell der Tandemsolarzelle für eine umfassende Verlustanalyse verwendet werden und eine praktische Obergrenze des Wirkungsgrades von 39,5 Prozent bestimmt werden. Darüber hinaus entwickelten sie die mikrostrukturelle Analytik der weiter. Sie evaluierten am Fraunhofer-Institut für Mikrostruktur von Werkstoffen und Systemen IMWS schädigungsarme Focused Ion Beam-Techniken (FIB) für die Präparation von industriellen Tandemsolarzellen, die dann im Transmissionselektronenmikroskop (TEM) hochauflösend analysiert werden können. Ein spezieller Probenhalter wurde konstruiert, der die direkte Abscheidung von Absorber- und Kontaktschichten auf TEM-Substrate bei den Projektpartnern vor Ort erlaubt. Zudem wurden Methoden zur Untersuchung der Dicke, des Bedeckungsgrads und der chemischen Bindung von selbstorganisierenden molekularen Monoschichten entwickelt.

### **Modellierung von Absorbermaterialien und Materialgrenzflächen**

Das Forschungsteam entwickelte Berechnungsmodelle, mit denen strukturelle und photovoltaische Eigenschaften von relevanten Absorber-Materialien sowie deren Grenzflächen zu optisch transparenten und elektrisch leitenden Kontakt-Materialien akkurat und effizient beschrieben werden. Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des Fraunhofer-Institut für Werkstoffmechanik IWM erarbeiteten hierfür einen Computational Simulation Workflow, der nicht nur für die Photovoltaik, sondern auch für industriell interessante Materialfragen in anderen Technologien zur Gewinnung, Umwandlung, Speicherung, Verteilung und Nutzung nachhaltiger Ressourcen elektrischer Energie – zum Beispiel Wasserstoff – einsetzbar ist.



-----  
**PRESSEINFORMATION**

11. Dezember 2024 || Seite 4 | 4  
-----

Den Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler im Fraunhofer Leitprojekt MaNiTU gelang die Herstellung einer Perowskit-Silizium Tandemsolarzelle mit 31,6 Prozent Wirkungsgrad auf 1 Quadratzentimeter. Dafür nutzten sie eine Standard-Siliziumsolarzelle, wie sie aktuell in der Industrie genutzt werden. © Fraunhofer ISE

**Weiterführende Informationen zum Projekt:** <https://manitu.fraunhofer.de/>