



1 Unsichtbare, hocheffiziente Solarzellen in einem Carlex-Autodach.

2 Schichtaufbau eines kolorierten PV-Autodachs mit Matrix-geschindelten Solarzellen.

PV FOR MOBILITY: SOLARZELLEN IM AUTODACH

Nach aktuellen Schätzungen werden in Deutschland ab 2028 über 70% aller neu zugelassenen Fahrzeuge elektrisch angetrieben, ein Teil davon als Hybrid-Fahrzeuge. Integrierte Solarzellen können die Reichweiten von Elektrofahrzeugen spürbar erhöhen.

Im Module Technology Evaluation Center Module-TEC hat das Fraunhofer ISE ein innovatives PKW-Solardach mit hocheffizienten, in die Fahrzeughülle integrierten Solarzellen als Prototyp hergestellt. Die eingesetzte Technologie der Lamination von Solarzellen in gewölbten Formen mit farbigen Oberflächen ist ein komplett neuartiger Ansatz.

Um Photovoltaik am Fahrzeug effektiv zu nutzen, muss die Modultechnologie besondere Anforderungen erfüllen:

- hohe Effizienz, um die begrenzte Fläche optimal zu nutzen,
- robuste Verschaltung, um Leistungsverluste durch Teilverschattungen zu reduzieren,

- hohe Zuverlässigkeit, um den mechanischen und thermischen Belastungen Stand zu halten,
- unauffällige Integration in die Fahrzeughülle.

Leistungsfähige Solarzellen

Für die Integration haben wir spezielle Zellformate mit einer weitgehend unsichtbaren Feinlinien-Metallisierung und verlustarme Trennprozesse entwickelt. Die verwendete PERC-Basiszellentechnologie erreicht in der Serienproduktion Wirkungsgrade von über 22% bei Kosten unter 30 €/m². Unsere aktuellen Entwicklungen auf dem Gebiet der Tandem-Solarzellen versprechen sogar Zellwirkungsgrade nahe 30%.

Effiziente Verschaltung

Um eine hohe Effizienz auf der zur Verfügung stehenden Fläche zu erreichen, müssen die Solarzellen möglichst kompakt in die Fahrzeughülle integriert werden. Die Zellen im Autodach haben wir daher mit der innovativen Matrix-Schindeltechnologie verschaltet. Die schmalen Zellen sind wie

Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE

Heidenhofstr. 2
79110 Freiburg, Germany
Tel. +49 761 4588-0

Photovoltaische Module und Kraftwerke – Modultechnologie

Dr. Martin Heinrich
Tel. +49 761 4588-5024
pvmod.mobility@ise.fraunhofer.de

www.ise.fraunhofer.de



2

bei einem Mauerwerk versetzt angeordnet und überlappend elektrisch verschaltet. So verbleiben keine inaktiven Flächen zwischen den Zellen. Durch diese Topologie werden die Leitungsverluste bei Teilverschattung stark reduziert. Die Zellverbindung erfolgt bleifrei über elektrisch leitfähige Kleber.

Gewölbte Formen

Die Solarzellen wurden in ein handelsübliches Panorama-Glasdach integriert. Das Laminieren erfolgte zwischen zwei Glasschichten mit Einkapselungsmaterial. Die besondere Herausforderung ist die Einkapselung in das gewölbte Glas. Am Fraunhofer ISE wurde ein Verfahren entwickelt, um mit Hilfe einer speziell gefertigten Form auch in handelsüblichen Lamina-toren die Zellen langlebig einzukapseln.

Hohe Ästhetik durch Morpho-Color®

Fahrzeugkunden stellen hohe Ansprüche an das Design. Solarzellen sollen sich komplett und möglichst unsichtbar in die Fahrzeughülle integrieren. Am Fraunhofer ISE ist es gelungen, eine optische Struktur zu entwickeln, die die darunter liegenden Solarzellen verdeckt. Die Farbschicht Morpho-Color® kann in beliebigen Farben mit hoher Farbsättigung produziert werden. Die Farbgebung und -intensität bleibt unabhängig vom Blickwinkel erhalten. Verglichen mit einem unbeschichteten Glas beträgt der Transmissionsverlust durch Morpho-Color® durchschnittlich nur 7 % relativ.

Langlebige Photovoltaik on-Board

PV-Module in Fahrzeugen sollen trotz starker Vibrationen und Erschütterungen eine Lebensdauer über die Nutzungsdauer des

Fahrzeugs aufweisen. Das PV-Autodach muss sämtliche Anforderungen an ein gewöhnliches PV-Modul erfüllen. Darüber hinaus ist das Modul im mobilen Einsatz auf der Straße höheren mechanischen und thermischen Belastungen ausgesetzt und muss entsprechend getestet werden. In unseren Prüflaboren entwickeln wir Testverfahren, um die hohen Belastungen und sicherheitsrelevanten Anforderungen im Straßenverkehr abzubilden.

Vielversprechendes Ertragspotenzial

Um das realistische Einstrahlungspotenzial bei PKWs noch genauer zu ermitteln, untersuchen und messen wir derzeit im Rahmen einer dreijährigen Citizen-Science-Kampagne mit ca. 100 Fahrzeugen die Solareinstrahlung auf deutschen Straßen. Die Fahrprofile, zusammen mit Satellitendaten, fließen in neue Simulationsmodelle zur Sonneneinstrahlung auf Verkehrswegen ein. Anhand dieser Modelle könnte sich ein Autofahrer berechnen lassen, wie weit er wann und auf welcher Strecke mit Sonnenenergie fahren kann.

Das Fraunhofer ISE hat bereits im Rahmen eines Forschungsprojekts mehrere LKWs mit Einstrahlungssensoren ausgerüstet, um das reale Potenzial des Solarertrags im Nutzfahrzeugbereich aufzuzeichnen. Daraus ergab sich ein elektrischer Ertrag von durchschnittlich 150 kWh/m² über den Zeitraum eines Jahres. Ein LKW (40 t) mit ca. 30 m² Photovoltaik-Dachfläche des Aufliegers könnte dementsprechend 5000 bis 7000 km pro Jahr mit eigenem PV-Strom zurücklegen.

1 *Morpho-Color® erlaubt ein sehr breites Farbspektrum für PV-Autodächer.*

2 *Geschindelte Solarzellen in Matrixstruktur erzielen eine sehr hohe Effizienz.*

Höhere Reichweite mit Integrierter PV

Die Leistungsdichte des Photovoltaik-Autodachs kann ca. 210 W/m² erreichen und nachhaltigen Strom für täglich bis zu 10 km Fahrstrecke liefern. Die Abschätzung basiert auf der Sonneneinstrahlung an einem sonnigen Sommertag auf freier Fläche in Süddeutschland und einem Fahrzeugverbrauch von 17 kWh auf 100 km.

FuE und Services

- PV-Technologieberatung
- Entwicklung von Aufbau- und Verbindungstechnik für integrierte PV
- Herstellung von Prototypen für Fahrzeughüllen
- Analyse des solaren Ertragspotenzials für Nutzungsprofile, Regionen oder Routen
- Modulprüfungen und Gebrauchsdaueranalyse
- Entwicklung von Energie- und Lastmanagement sowie Leistungselektronik- und Batteriesystemen
- Kostenanalyse
- Koordination und Management von FuE-Projekten mit Industriepartnern