

## Die einzelnen Anwendungsbereiche und ihr technisches Potenzial im Überblick

Die Photovoltaik gilt als eine der wichtigsten Säulen der zukünftigen Energieversorgung. Ende 2021 waren in Deutschland ca. 59 GW<sub>p</sub> Photovoltaik installiert, für die Vollendung der Energiewende wird die 6- bis 8-fache Leistung benötigt. Die Bundesregierung plant als Zwischenziel für den PV-Ausbau mit 200 GW<sub>p</sub> installierter Leistung bis Ende 2030. Das heißt, die pro Jahr installierte Leistung muss kurzfristig um den Faktor 3-4 gesteigert werden. Die Integration von PV-Technologie in Gebäuden, Fahrzeugen und Fahrwegen und ihre Einbindung in Agrar- und Wasserflächen sowie an Plätzen des öffentlichen Lebens im urbanen Raum erschließt riesige Ertragsflächen mit einem hohen wirtschaftlichen Potenzial.

PV in Verkehrswegen  
(Straße, Schiene, Lärmschutz): 300 GW<sub>p</sub>

Bauwerkintegrierte PV: 1000 GW<sub>p</sub>

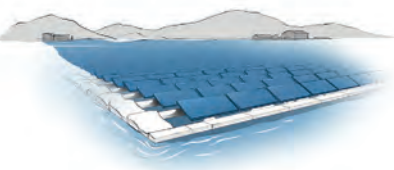


Agri-Photovoltaik: 1700 GW<sub>p</sub>

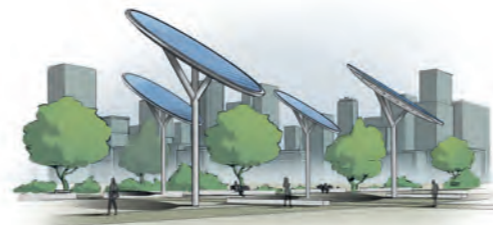


Technisches Potenzial  
gesamt: ca. 3200 GW<sub>p</sub>

Schwimmende PV: 44 GW<sub>p</sub>



Urbane PV (Parkplätze): 59 GW<sub>p</sub>



Fahrzeugintegrierte PV  
(PKW / LKW): 55 GW<sub>p</sub>



### Kontakt

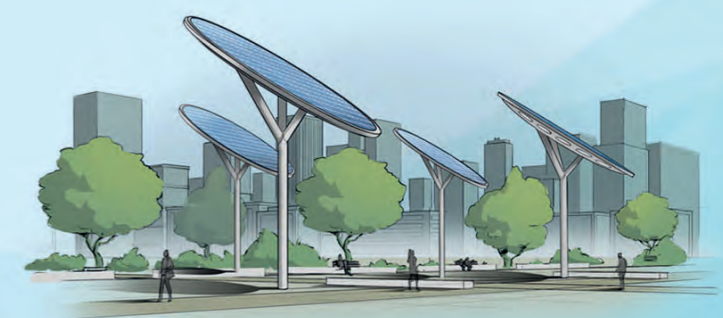
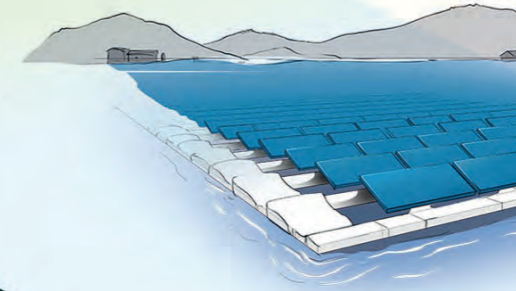
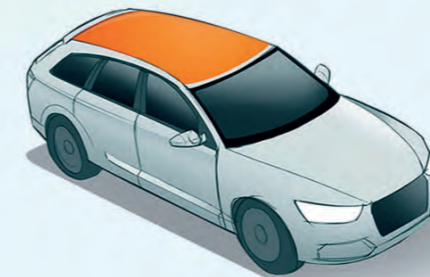
Dr. Harry Wirth  
Photovoltaische Module und  
Kraftwerke  
Tel +49 761 4588-5747  
integrated-pv@ise.fraunhofer.de

Fraunhofer-Institut für  
Solare Energiesysteme ISE  
Heidenhofstr. 2  
79110 Freiburg

[www.ise.fraunhofer.de](http://www.ise.fraunhofer.de)  
<https://ise.link/integrierte-pv>



*Titelbild: Integrierte PV erzeugt Strom auf Gebäudefassaden und -dächern, auf Fahrzeugen, in Lärmschutzwänden und Straßenbelägen, über Feldern und Gewässern. © Fraunhofer ISE*



## Integrierte Photovoltaik

# Flächen für die Energiewende

## Flächen für die Energiewende

### Integrierte Photovoltaik – Flächen werden aktiv

Die Integration von Photovoltaik (PV)-Technologien in bereits genutzte oder bebaute Flächen erschließt ein riesiges Potenzial für die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien. Die Anwendungsbereiche sind vielfältig: Integrierte PV fügt sich nahezu unsichtbar in Gebäude- und Fahrzeughüllen ein, aber auch in Verkehrswegen, als schwimmende PV auf gefluteten Tagebauen, als aufgeständerte Module auf Agrarflächen oder auf öffentlichen Plätzen im urbanen Raum eröffnet sie neue Möglichkeiten.

### Flächenpotenzial mit Synergieeffekten

Allein die bauwerkintegrierte PV und die Agri-Photovoltaik bieten in Deutschland jeweils Raum für viele 100 GW<sub>p</sub> Leistung. Ein weiterer Vorteil: Anstelle von Nutzungskonflikten treten Synergien wie etwa Reichweitengewinne für Elektrofahrzeuge, eine ortsnahe Stromversorgung für Gebäude, Lärmschutz an Straßen und Schienen, ein besserer Schutz vor Hagel, Dürre und Frostschäden in der Landwirtschaft sowie ein reduzierter Materialverbrauch bei Gebäuden und Fahrzeugen. Die integrierte PV kann somit wesentlich dazu beitragen, den angestrebten Stromanteil von 80 % aus erneuerbaren Energien bis 2030 zu erreichen – und macht zugleich die Klimawende positiv erlebbar.

Am Fraunhofer ISE entwickeln wir innovative Lösungen für folgende Anwendungsbereiche:

- Bauwerkintegrierte PV
- Agri-Photovoltaik
- Fahrzeugintegrierte PV
- PV in Verkehrswegen
- Schwimmende PV
- Urbane PV

*Unsichtbare, hocheffiziente Solarzellen in einem Autodach.*

© Fraunhofer ISE



### Hocheffiziente Technologien

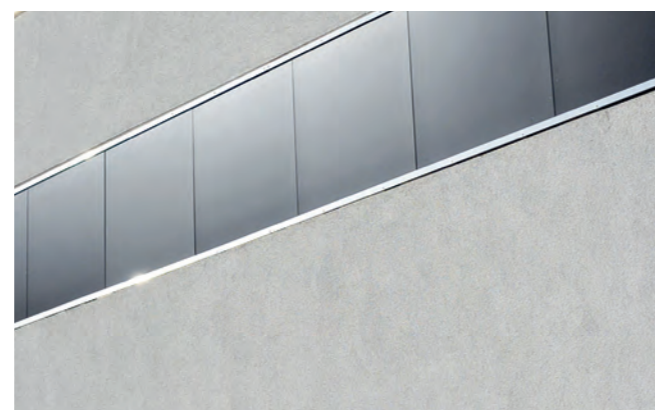
Maximale Erträge auf knapper Fläche – diese Anforderung gilt besonders für fahrzeugintegrierte PV-Module. Bei PKWs und bauwerkintegrierter PV sind zudem hohe ästhetische Ansprüche zu erfüllen. Wir entwickeln hocheffiziente, flexibel konfigurierbare Siliciumsolarzellen mit filigraner Metallisierung und Zellverbindung in Schindeltechnologie für ansprechende Fahrzeug- oder Gebäudehüllen. Unsere MorphoColor®-Beschichtung liefert brillante Farben bei geringfügigen Ertragseinbußen in der Größenordnung von nur 7 % relativ. Unsere Zelltechnologie auf Basis von III-V-Halbleitern erreicht Wirkungsgrade über 35 % und kam bisher vor allem in der Luft- und Raumfahrt zum Einsatz.

### Anwendungsoptimierte Moduldesigns

Integrierte PV erfordert individuelle Lösungen, die multifunktionalen und ästhetischen Anforderungen gerecht werden. Wir unterstützen unsere Partner bei der Entwicklung spezieller Moduldesigns und der Auswahl geeigneter Materialien. So lassen sich mit leitfähig geklebten Schindelverbindungen höchste Wirkungsgrade, gekrümmte Oberflächen und weitgehend unsichtbare Schaltkreise realisieren. Wir untersuchen glasfreie Aufbauten, um ein besonders geringes Flächengewicht für Leichtbauanwendungen in Nutzfahrzeugen oder für wenig tragfähige Dächer zu erreichen. Dünne, leichte III-V-Solarzellen und folienbasierte organische Solarmodule lassen sich besonders gut in die gekrümmten Tragflächen von elektrisch betriebenen Flugzeugen integrieren. Organische Solarmodule ermöglichen partielle Durchsicht und spektral selektive Transmission, z. B. in photovoltaisch aktiven Fensterflächen.

*In einem Gebäude des Fraunhofer ISE integrierte schwarze Module mit matter Oberfläche.*

© Fraunhofer ISE



*Forschungsanlage für Agri-PV im Obstbau in Rheinland-Pfalz.*  
© Fraunhofer ISE



*Lärmschutzwand mit integrierten Modulen.*  
© KOHLHAUER GmbH

### Charakterisierung und Prüfung

In unseren akkreditierten Kalibrierlabors CalLab PV Cells und CalLab PV Modules bestimmen wir die präzisen Leistungsdaten der Solarzellen und Module unter verschiedenen Betriebsbedingungen und schaffen so die Grundlage für Ertragssimulationen. Die Zuverlässigkeit innovativer Moduldesigns auf Basis neuer Materialien testen wir in unserem akkreditierten Prüflabor und bereiten die Produktzertifizierung vor. Abhängig von der Anwendung sind integrierte Module erhöhten Belastungen ausgesetzt, beispielsweise im Lärmschutz an Straßen oder bei der Fahrzeugintegration. Wir analysieren spezifische Belastungen und übersetzen diese in äquivalente beschleunigte Laborprüfungen.

### Präzise Ertragsanalyse

Integrierte Photovoltaik stellt besondere Anforderungen an die präzise Ertragsprognose. Mit physikalisch exakten Modellen auf Basis von Raytracing und hochwertigen Wetterdaten können wir die kombinierte Landnutzung durch Agri-Photovoltaik und die Performance von bauwerkintegrierter PV im teilverschatteten Betrieb optimieren. Bifaziale Erträge lassen sich ebenso simulieren wie routenabhängige Erträge in mobilen Anwendungen. Unsere Ertragsmodelle werden durch Monitoring validiert. Auf der Basis von Kosten- und Ertragsmodellen bieten wir umfassende Analysen zu Wirtschaftlichkeit und Stromgestehungskosten.

### Vollautomatisierte, flexible Produktion und digitale Bauprozesse

Für die Gebäudeintegration wird eine Vielzahl von Modulvarianten benötigt, teilweise in kleinen Stückzahlen. In einem einzelnen Bauvorhaben können verschiedene Aufbauten, Formate, Farben und Motive zum Einsatz kommen. Wir unterstützen unsere Kunden bei der Entwicklung flexibler, vollautomatisierter Produktionslinien für die kostengünstige Herstellung individueller Kleinserien. Dazu gehören der Datenfluss von der Planung in die Produktion (Computer-Integrated Manufacturing, CIM) sowie die Digitalisierung von Bauprozessen (Building Information Modeling, BIM).

### Systementwicklung

Mit der Integration von Photovoltaik geht häufig eine Anpassung und Optimierung des gesamten elektrischen Systems einher. In der Gebäudehülle müssen unterschiedliche Orientierungen und Verschattungseffekte ausgeglichen werden. Bei der Fahrzeugintegration von Photovoltaik-Modulen sind intelligente Batteriemanagementsysteme ebenso erforderlich wie kompakte und robuste Gleichstromwandler. Wir entwickeln für unsere Kunden daher ganzheitliche Lösungen von der Systemplanung bis hin zu Softwarelösungen und leistungselektronischen Wandlern.

## Unsere FuE-Leistungen

- Hocheffiziente PV-Technologien
- Anwendungsoptimierte Zell- und Moduldesigns
- MorphoColor®-Farbbeschichtungen
- Bemusterung im Vollformat auf industriellen Anlagen
- Modulcharakterisierung und Prüfung in akkreditierten Labors
- Ertragssimulation und -monitoring
- Produktionslinien und digitale Prozesse
- Leistungselektronik und Systemintegration
- Potenzial-, Kosten- und Wirtschaftlichkeitsanalyse