



Task 13 Zuverlässigkeit und Leistung von Photovoltaiksystemen

S
P
V
P
S

FAKTENBLATT

Bifaziales Tracking

JULI 2024

Autoren: Stein, J., Maugeri, G.

Task 13 Manager:

Ulrike Jahn, Fraunhofer CSP, Germany

Laura Bruckamn, Case Western Reserve University, USA

Giosué Maugeri, RSE, Italy

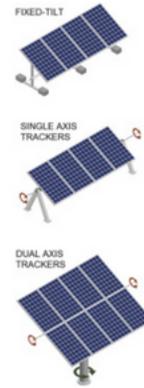


Bifaziales Tracking

Der Energieertrag von Photovoltaik (PV)-Modulen kann nicht nur durch effizientere Solarzellen gesteigert werden, sondern auch durch innovative Systemkonzepte.

Bifaziale PV-Module: Neue Zell-Designs ermöglichen es, dass Licht von der Rückseite die Zelle erreicht, mit Effizienzen von 60% bis über 90% im Vergleich zur Vorderseite.

Trackingsysteme: Einachsige (1T) und zweiachsige (2T) Trackingsysteme passen die Ausrichtung der PV-Module an, um die Sonnenposition zu verfolgen und den Einfallswinkel des Sonnenlichts auf die PV-Module zu minimieren.



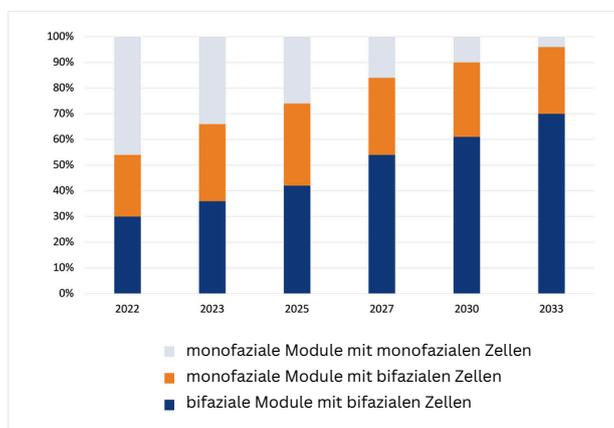
Die **Kombination von bifazialen Modulen mit einachsigen Trackern** produziert den günstigsten Strom, indem die Energieproduktion erheblich gesteigert wird (35% mehr als bei herkömmlichen Systemen).

Bifaziale Trackingsysteme haben für über 90% der Welt die **niedrigsten Stromgestehungskosten (LCOE: Levelized Cost of Electricity)**. Die LCOE sind 16% niedriger als bei herkömmlichen Systemen.

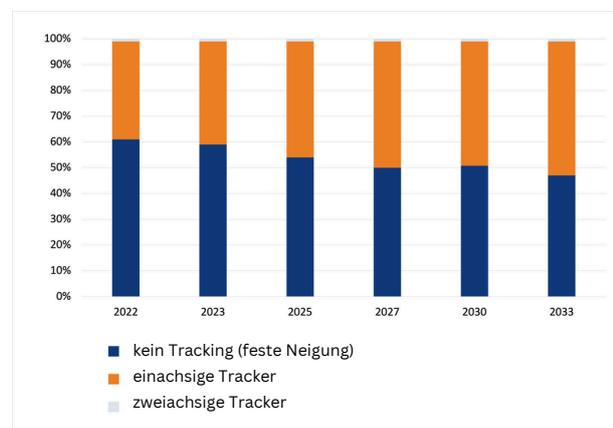
Marktentwicklung

Bifaziale Photovoltaikzellen und -module erobern schnell den Marktanteil von monofazialen PV-Technologien. Auch Tracker (insbesondere einachsige nachgeführte Systeme) gewinnen im Laufe der Zeit an Marktanteil.

Weltmarktanteil von monofazialen und bifazialen Modulen



Weltmarktanteil von Trackingsystemen für ci-SI PV





Markttrends und Treiber

- **Die Preise hängen von folgenden Faktoren ab:** Designfaktoren, Geländetopologie, Stahlpreise. SAT-Systeme können die jährlichen Energieerträge um ~20% im Vergleich zu festen Neigungssystemen steigern. Entwickler schätzen einen zuverlässigen Lieferplan sowie die Verfügbarkeit von Ausrüstung und sind bereit, mehr zu zahlen.
- **Lieferkettenprobleme und Marktpreise** sind wichtig (d.h. Stahl - die Nutzung lokaler Anbieter kann Kosten und CO₂-Emissionen ausgleichen).
- Unternehmen konzentrieren sich auf **bestimmte Marktsektoren** (z.B. Doppelnutzung für AgriPV, Einsatz auf nicht landwirtschaftlichen oder nutzbaren Flächen, stark geneigtes Gelände).
Unterschiedliche Perspektiven zur Landnutzung und Wertschöpfung.

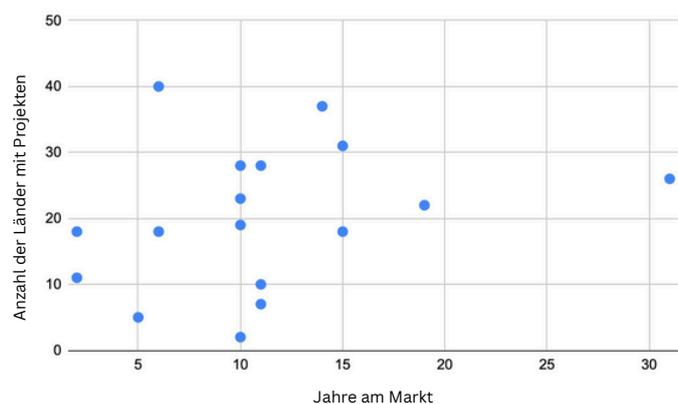
Tracker-Überblick

Montagemöglichkeiten					Länge der Tracker	
einzel	doppelt	geneigt	zweiachsig	zweiachsig im Rahmen		< 80 m
						80 m ~ 120 m
						> 120 m
Installationsmöglichkeiten				Zertifizierungen		
getriebene Pfähle	einbetonierte Pfähle	andere: gleitgeformt oder geschraubt		Wind	Hagel	Verlässlichkeit
						<ul style="list-style-type: none"> • IEC 62817 • UL 3703 • UL 2703 • ISO 9001, 45001, 14001
Bewegungstreiber				Algorithmen		Methoden auf Extremwetter zu reagieren
zentraler Motor	unabhängige Architektur			Rückverfolgung Optimierung Kenntnis über das Gelände Reinigung Sicherheit		Der Tracker-Controller reagiert auf Wind-, Hagel- und Schneesensoren oder Warnungen und passt den Neigungswinkel an, um das Risiko für die Module zu reduzieren.

IEA PVPS Task 13 hat Daten aus Interviews mit 17 Tracker-Unternehmen (>87% des weltweiten Marktanteils von 2012-2021) sowie aus der Überprüfung des Global Solar PV Tracker Reports 2022 von Wood Mackenzie erhalten.

Tracker-Unternehmen sind international tätig:

- 70 % der Unternehmen sind seit mindestens 10 Jahren im Geschäft.
- ~50 % der Unternehmen verkaufen Tracker in mehr als 20 Ländern.
- Über 80 % der Unternehmen verkaufen in mehr als 10 Ländern.



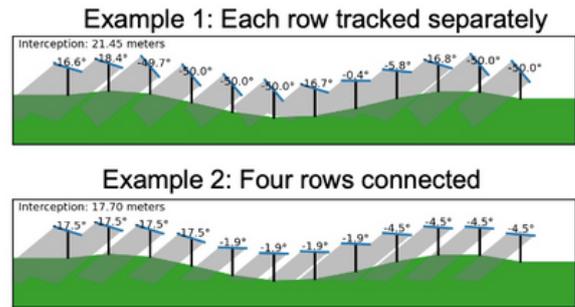


Systemdesigns für optimale Energieerträge und Wertschöpfung

Rückverfolgung: Wenn Verschattungen zwischen den Modulen auftreten, folgt der Nachführwinkel nicht mehr dem Sonnenpfad, sondern passt sich stattdessen rückwärts an (verringert sich), um Verschattungen zu vermeiden. Alle befragten Tracker-Unternehmen bieten Rückverfolgung an.

Komplexes Gelände stellt Herausforderungen für bestimmte Tracker-Designs dar.

- Hangveränderungen in Richtung senkrecht zu den Reihen erfordern eine Anpassung des Neigungswinkels jeder Reihe.
- Hangveränderungen parallel zu den Reihen erfordern flexible Kupplungen an den Drehmomentrohren.



Darstellung von Kevin Anderson, Sandia

Bestimmte Wetterbedingungen erfordern schnelle Anpassungen:

- Tracker-Controller erhalten Signale von Wind- (oder manchmal Hagel-) Sensoren, die im Feld verteilt sind.
- Neigungsanpassungen zum Schutz der Systeme und Module:
 - Maximale Neigung – z.B. bei Hagel oder Schnee
 - Horizontale Position – im Fall von Windböen zur Reduzierung des Segel-Effekts.

Leistungsmodellierung und Ertragsbewertung

Die Arbeitsgruppe IEA PVPS Task 13 (Aktivität 2.3) führt derzeit eine Studie zu bewährten Praktiken für bifaziale PV-Nachführsysteme durch. Im Rahmen dieser Aktivität organisieren wir eine PV-Leistungsmodellierungsstudie, um verschiedene Modellierungswerkzeuge zu vergleichen und deren Leistungsprognosen für unterschiedliche Systemdesignparameter zu bewerten. Die Teilnehmer wurden gebeten, sechs imaginäre PV-Systeme zu simulieren, für die das Systemdesign und Wetterdaten bereitgestellt wurden.

Szenariodefinition für Modellierungsvergleich

	Szenario	GCR	Albedo	Hubhöhe	Modul Konfiguration	Bodenoberfläche
Die Szenarien sind hypothetisch und umfassen Variationen in:	S1	0.4	0.2	1.5 m	1-Up Portrait	Horizontal
	S2	0.25	0.2	1.5 m	1-Up Portrait	Horizontal
	S3	0.4	0.5	1.5 m	1-Up Portrait	Horizontal
	S4	0.4	0.2	3.5 m	1-Up Portrait	Horizontal
	S5	0.4	0.2	1.5 m	1-Up Portrait	Gefälle von 10% nach Osten
	S6	0.4	0.2	1.5 m	1-Up Portrait	Gefälle von 10% nach Südwesten

- GCR (Bodenbedeckungsverhältnis)
- Albedo
- Hubhöhe
- Konfiguration
- Bodenoberfläche



IEA PVPS Task 13 Aktivität 2.3 Bifaziales Tracking

Ziel des IEA PVPS Task 13 ist es, eine gemeinsame Plattform bereitzustellen, um technische Aspekte zu erfassen, die die Qualität, Leistung und Zuverlässigkeit von PV-Modulen und -Systemen in vielfältigen Umgebungen und Anwendungen beeinflussen. Dazu sammeln wir modellierte und gemessene Daten aus verschiedenen PV-Systemen weltweit, einschließlich Zusammenfassungen unterschiedlicher Praktiken aus jedem Land sowie Erfahrungen mit einer Vielzahl von PV-Technologien und Systemdesigns. Die Ergebnisse von Task 13 werden in Form von Berichten, Workshops, Webinaren und Webinhalten veröffentlicht.



Sub Tasks:

1. Zuverlässigkeit von neuartigen PV-Materialien, Komponenten und Modulen
2. Leistung und Haltbarkeit von PV-Anwendungen
3. Techno-ökonomische Leistungskennzahlen von PV Anlagen



Bibliographie

- C. D. Rodríguez-Gallegos, H. Liu, O. Gandhi, J. P. Singh, V. Krishnamurthy, A. Kumar, J. S. Stein, S. Wang, L. Li, T. Reindl, and I. M. Peters. 2020. "Global Techno-Economic Performance of Bifacial and Tracking Photovoltaic Systems." *Joule*, pp. 1514-1541.
- J. S. Stein, C. Reise, J. B. Castro, G. Friesen, G. Maugeri, and E. Urrejola. 2020. "Bifacial Photovoltaic Modules and Systems: Experience and Results from International Research and Pilot Applications." IEA PVPS Task 13 Report IEA-PVPS T13-14:2021.
- M. Fischer et al. 2022. "International Technology Roadmap for Photovoltaics: 2022 Results." VDMA.
- A. Barbón, V. Carreira-Fontao, L. Bayón, and C. A. Silva. 2023. "Optimal design and cost analysis of single-axis tracking photovoltaic power plants." *Renewable Energy* 211: 626–646.
- Y.-M. Saint-Drenan and T. Barbier. 2019. "Data-analysis and modelling of the effect of inter-row shading on the power production of photovoltaic plants." *Solar Energy* Volume 184: 127-147.
- N. AL-Rousan, N. A. Mat Isa, and M. K. Mat Desa. 2018. "Advances in solar photovoltaic tracking systems: A review." *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 82: 2548–2569.
- D. Fontani, D. Jafrancesco, P. Sansoni, A. Nicolini, A. D. Giuseppe, A. Pazzaglia, B. Castellani, F. Rossi, and L. Mercatelli. 2023. "Field optimization for bifacial modules." *Optical Materials*, Vol. 138.