

PV-KRAFTWERKE: EIN BEDEUTENDER WIRTSCHAFTSFAKTOR MIT VERANTWORTUNG FÜR EINE STABILE ENERGIEVERSORGUNG

Themenpapier zu Herausforderungen und Forschungsbedarf

Entwickelt von der Arbeitsgruppe Begleitforschung PV-Kraftwerke

Version 1.0

27.05.2025

BEGLEITFORSCHUNG IM FORSCHUNGSNETZWERK ERNEUERBARE ENERGIEEN –
PHOTOVOLTAIK



Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Sprecherin

Dr. Anna Heimsath
(Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE)

Weitere Mitglieder der Arbeitsgruppe

Dr. Jann Binder
(Zentrum Sonnenenergie- u. Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW))

Dr. Claudia Buerhop
(HI ERN)

Prof. Dr. Ralph Gottschalg
(Fraunhofer CSP)

Daniel Philipp
(Fraunhofer ISE)

Christian Schill
(Fraunhofer ISE)

Dr. Stefan Wilbert
(Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Institut für Solarforschung, DLR)

Dr. Bijan Nouri
(Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Institut für Solarforschung, DLR)

Dr. Marc Köntges
(ISFH Hameln)

Forschungsbedarf für zukunftsfähige Photovoltaik-Kraftwerke

Photovoltaik (PV) ist eine zentrale Säule der Energiewende und ein bedeutender Wirtschaftsfaktor. PV wird im Jahr 2030 und 2045 rund 18 % bzw. 30 % des Strombedarfs liefern mit einem Marktwert von rund 8,5 bzw. 30 Mrd. €¹ jährlich. Hinzu kommt ein Beschäftigungseffekt von 150.000 Arbeitsplätzen². Um die Rolle der PV-Kraftwerke als zuverlässige und kosteneffiziente Stromerzeuger zu gewährleisten, sind umfassende Forschungsanstrengungen erforderlich. Als PV-Kraftwerke oder PV-PV-Kraftwerke werden hier große Dach- und Freiflächenanlagen ab hundert Kilowatt-Peak [kWp] installierter Leistung bezeichnet³. Diese haben einzeln und im Verbund eine hohe Markt- und Netzwirksamkeit und sollen in Zukunft bis zu 50 % der installierten Leistung ausmachen.

- 1. Qualitätssicherung und Zuverlässigkeit** – Die PV-Industrie hat kurze Innovationszyklen, die Qualität und Sicherheit der Komponenten ist jedoch entscheidend für eine erfolgreiche Energiewende in Deutschland. Daraus ergibt sich der folgende Forschungsbedarf:
 - Entwicklung von Risikobewertungsmethoden und standardisierten Prüfungen.
 - Effiziente Qualitätskontrolle von (importierten) Komponenten.
 - Statistische Modelle zur Lebensdauervorhersage von Modulen und Komponenten.
- 2. Monitoring, Inspektion und Analyse für O&M** – Entscheidend ist eine effektive Überwachung und Wartung des Betriebs für maximalen Solarstrom. Notwendig sind:
 - Entwicklung innovativer skalierbarer Prüfmethode für optimalen Betrieb existierender und kommender Zell- und Modultechnologien.
 - Offene digitale Schnittstellen zur Optimierung und Automatisierung des O&M und die Integration klimabedingter Umwelteinflüsse in die Analyse.
- 3. Systemintegration von PV-(Hybrid-) Kraftwerken** – PV-Kraftwerke müssen nicht nur zuverlässig Strom liefern, sondern als Teil eines intelligenten Energiesystems flexibel, markt- und netzdienlich agieren und Sektorkopplung stärken. Notwendig sind daher:
 - Effiziente Auslegung von PV-Kraftwerken sowie optimierte Kopplung von Hybridkraftwerken zu weiteren lokalen Erzeugern, flexiblen Lasten und Speichern.
 - Verbesserte Prognosen von Wetter, Markt, Lastgängen, Berücksichtigung von Netzengpässen.
 - Entwicklung einer stabilen Regulierung, die sowohl den effizienten Umbau des Energiesystems als auch einen wirtschaftlich tragfähigen PV-Ausbau unterstützt.

¹ Abschätzung aus 142 TWh (2030) und 470 TWh (2045) Solarstrom mit 6ct/kWh Marktwert. Jährliche Erzeugung aus Energy-Charts – Szenario „Technologieoffen“, Marktwert 2024: 5,86 ct/kWh.

² Marktbericht von Solar Power Europe – 2023 waren in Deutschland 154.000 FTEs in der PV (Fig. 15) https://api.solarpowereurope.org/uploads/SPE_EU_Solar_Jobs_Report_2024_167f06c30c.pdf

³ Die Segmente 100 kWp bis 1 MWp und größer als 1 MWp liefern beide derzeit rund 25% des Solarstroms.

4. **Digitalisierung für Effizienz und Sicherheit** – Um die steigenden installierten Leistungen und hybriden Strukturen zu integrieren und Kosten zu senken, ist Digitalisierung unerlässlich:
 - Sichere digitale Leitsysteme zur Koordination von PV, Speichern und Lasten.
 - Nutzung von KI, kostengünstigen Sensoren und digitalen Zwillingen zur Optimierung von Betriebsstrategien und in digitalen Geschäftsmodellen.
 - Interoperabilität durch offene Schnittstellen – von der Planung bis End-of-Life.

5. **Nachhaltigkeit und gesellschaftliche Akzeptanz** – Entscheidend für den langfristigen Erfolg des PV-Ausbaus sind akzeptierte und nachhaltige PV-Kraftwerke. Notwendig sind:
 - Technische Lösungen für einen nachhaltigeren Lebenszyklus und die Kreislaufwirtschaft, Re-Powering und Recycling.
 - Forschung zur doppelten Flächennutzung durch Agri-PV, schwimmende PV, Verkehrsintegrierte PV und Biodiversitäts-PV an Prototypen und digitalen Zwillingen.
 - Vernetzung von Solartechnik, Ökologie, Landwirtschaft und Sozialwissenschaften.

6. **Handlungsempfehlungen**
 - Systemische Forschung stärken und interdisziplinäre, nachhaltige Ansätze verfolgen.
 - Demonstrationsanlagen fördern, um praxisnahe Lösungen zu entwickeln.
 - Qualitätssicherung und digitale Lösungen in den Fokus nehmen.

Fazit

Zukunftsfähige PV-Kraftwerke sind Schlüsselemente eines ökologischen und resilienten Energiesystems. Forschung, Entwicklung und Demonstration sollten jetzt strategisch gestärkt werden. PV ist weltweit ein Zukunftsmarkt. Eigenes Know-how ist entscheidend dafür, dass deutsche Akteure wettbewerbsfähig bleiben, resiliente Energiesysteme im eigenen Land und weltweit gestalten können sowie qualifizierte Beschäftigung sichern und nachhaltig steigern können.