Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-
Forschung Baden-Württemberg

Solar-Forschung für die Welt in Zeiten knapper Kassen

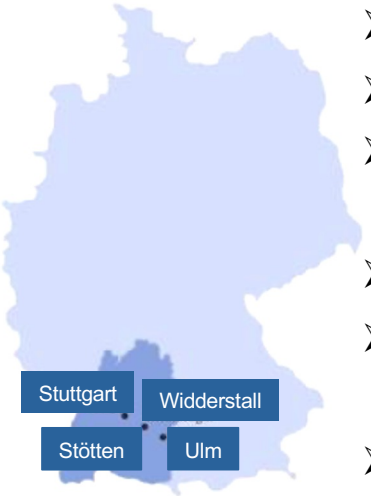
Prof. Dr. Michael Powalla, Mitglied des Vorstandes, Leiter Geschäftsbereich Photovoltaik

Donnerstag, 27.11.2025 I Hospitalhof Stuttgart

12. Solarbranchentag Baden-Württemberg

Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg

37 Jahre Forschung, Entwicklung und Technologietransfer



- gemeinnützige Stiftung, gegründet 1988
- institutionell gefördert vom Land Baden-Württemberg
- aktuell ca. 50 Mio. € Umsatz (ohne Investitionen),
  davon 25 Mio. € direkte Industriemittel
- Anlagevermögen 2024: 200 Mio. €
- 37.000 m^2 Fläche (o. Außenanlagen), davon
  20.000 m^2 Labor-/Hallenflächen
- aktuell 350 Beschäftigte und etwa 110 Studierende

POLITIKBERATUNG

PHOTOVOLTAIK

WINDENERGIE

WASSERSTOFF

BATTERIEN

BRENNSTOFFZELLEN

Gemessen an Beschäftigung, Umsatz und Anlagevermögen gilt das ZSW als das größte eigenständige und unabhängige F&E-Institut mit Landesbezug in einem Bundesland.

Stuttgart

Widderstall/Merklingen

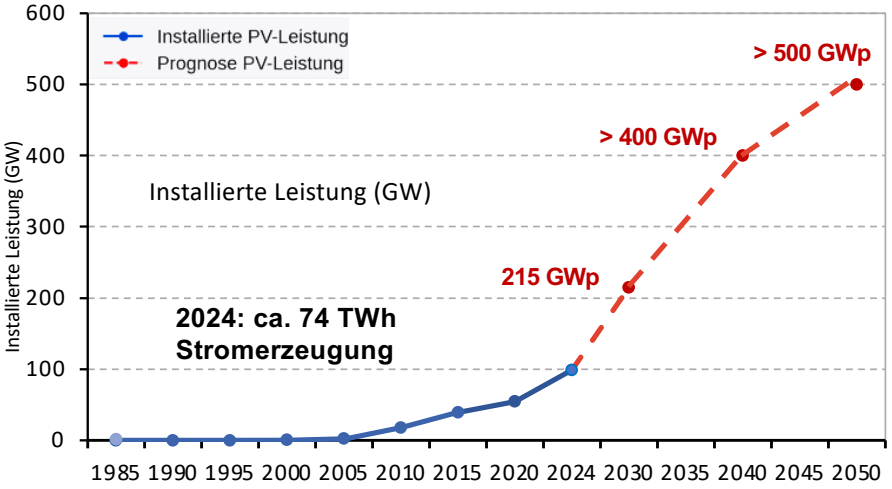
Stötten/Geislingen

Ulm

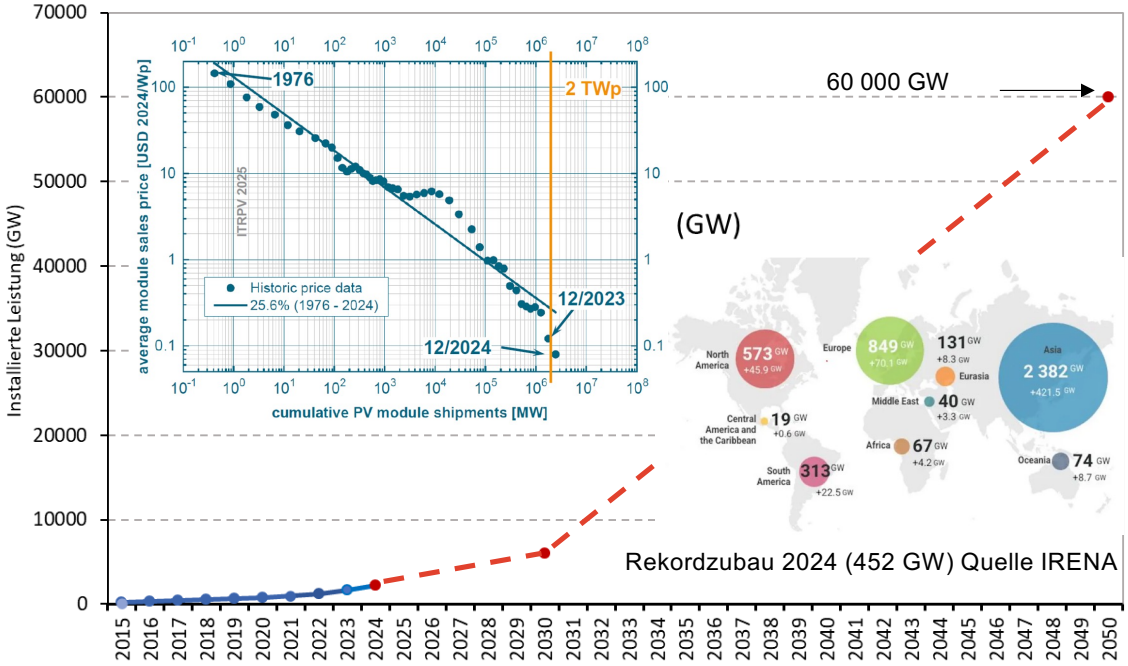
www.zsw-bw.de

Photovoltaik:
Enormes Wachstum, günstige Preise, Verantwortung und weltweite Diffusion

D: Installierte Leistung (1985-2050)



Welt: Installierte Leistung (2015-2050)

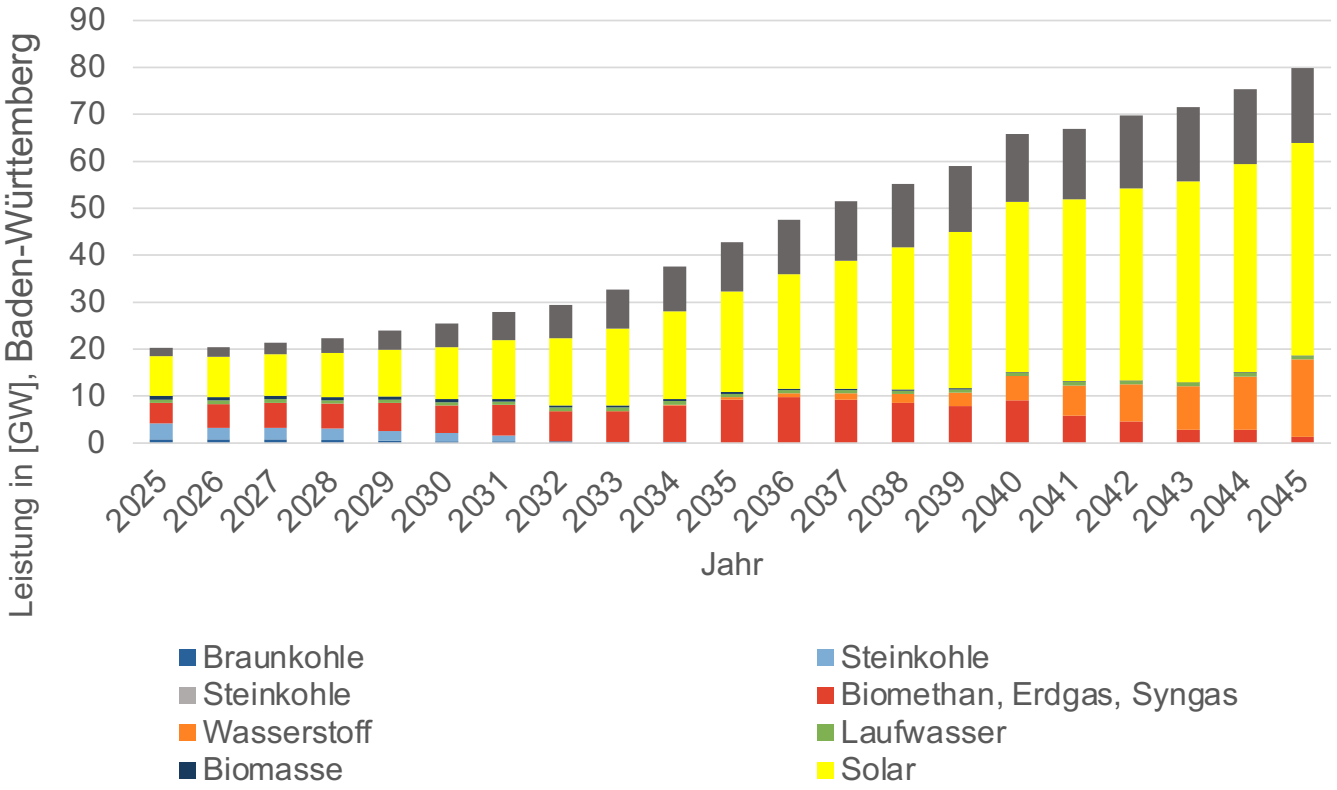


Quelle: IEA PVPS, RTS CORPORATION, Studie: RCT, ISE, ISC

- PV in Deutschland 2025ff: ehrgeizige Ausbauziele, Netzintegration wichtig aber lösbar.
- PV in der Welt: 2024 2,2 TW von nötigen 60-80 TW erreicht). PV steht am Anfang und diversifiziert sich über alle Kontinente.

Auch Baden-Württemberg hat einen ehrgeizigen Ausbaupfad der Erneuerbaren zur Erreichung des Netto-0 Ziels in D

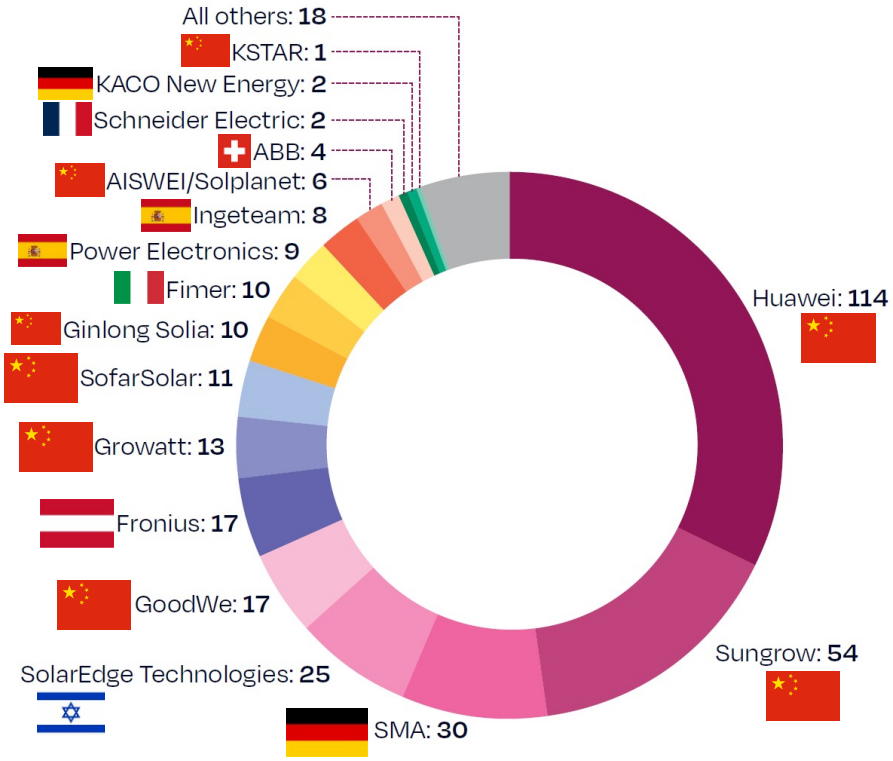
Die Photovoltaik ist auch in BaWü eine tragende Säule der Energiewende.

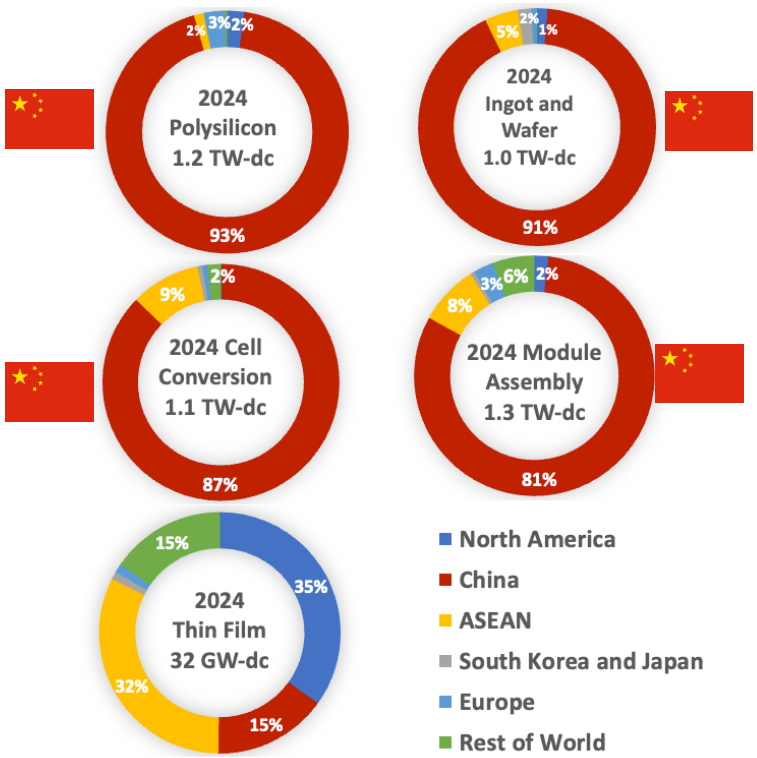


4 Quelle: BNA. Graph: B. Burger, Fraunhofer ISE, Energy-Charts. Oktober 2025, Connor Thelen et al., Wege zu einem klimaneutralem Energiesystem, REMod Studie 2024

Die weltweite Solarindustrie wird von China dominiert

Marktübersicht PV-Wechselrichter





Quelle: SPE Manufacturing Workstream: Manufacturing Study 24.9.2025 / S. Nold, B. Goraya, R. Preu, J. Rentsch, J. Reichle, W. Jooß, P. Fath, M. Woodhouse, "Comparative Global PV Manufacturing Cost and Sustainable Pricing Assessment: China, Southeast Asia, India, USA, and Europe", 41st EU PVSEC, Vienna, September 27th, 2024

Fraunhofer ISE

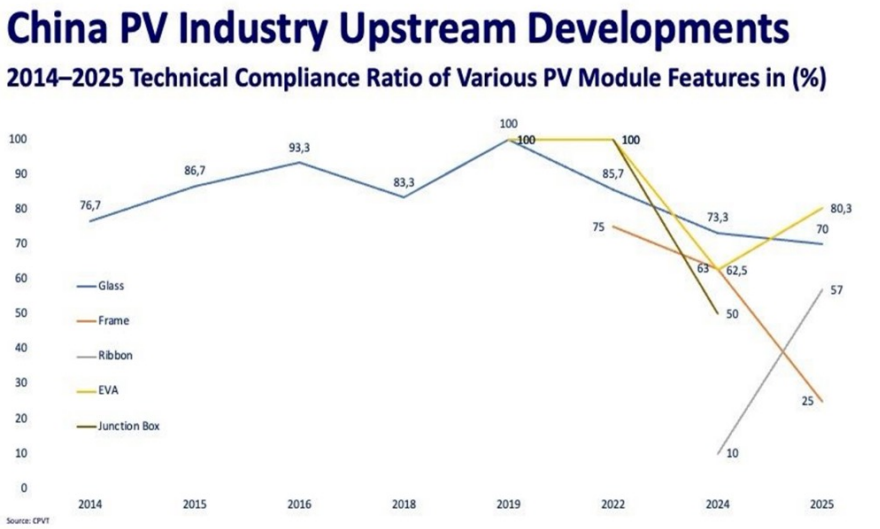
Wollen wir uns wirklich darauf verlassen?

Deutliche Verschlechterung der importierten Module sichtbar, ungesunder Preiskampf

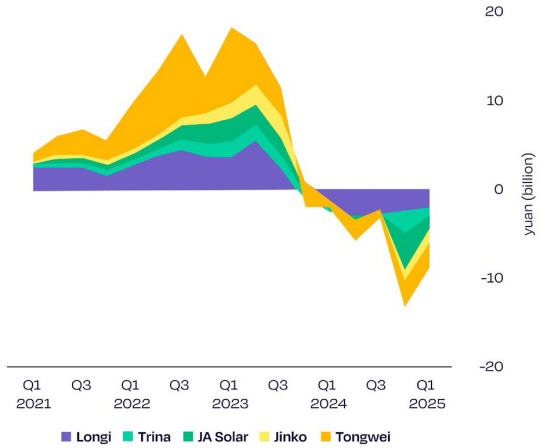
2025 CPVT (China PV Quality and Inspection center)

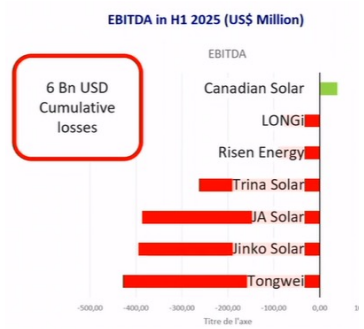
"thinner glass, higher arsenic content, reduce thickness of frames, lower quality of sealing materials, non-standard tin-lead ratios, lower peel strength, substandard diodes"

from Frank Haugwitz (AECEA 2025)



PV Manufacturing Cost Are Higher than PV Module Prices since Q4 2023





Überkapazitäten und enorme Entwicklungsgeschwindigkeit führen zu Unsicherheiten und Qualitätsproblemen.

Quelle links: Gaëtan Masson – Becquerel, EUPVSEC 2025
Quelle rechts: https://www.energyconnects.com/news/renewables/ 2025/april/chinese-solar-losses-deepen-even-before-worst-of-us-tariffs/

PV Ausbaupfad ist für die Energiewende enorm wichtig

Relevanz des PV Stroms

- In 2030 werden rund 215 GW an PV Anlagen installiert sein und rund 200 TWh/a Solarstrom liefern. Der Wert des Stroms aus PV Kraftwerken ist dann rund **12 Mrd. €/a** (bei angenommenen 6 ct /kWh).
- **Betrieb und Qualität:** bei z.B. 10% Ertragsverlust durch mangelhaften Betrieb und Wartung, fehlender Flexibilität (Speicher, Verbraucher) und unpassenden Netzanschlüsse ergeben volkswirtschaftliche Verluste von rund 1,2 Mrd. €/a.

Potenzial, Investitionen, Arbeitsplätze und Flächeneffizienz

- PV ist bereits heute eine hocheffiziente und umweltfreundliche Technologie.
  Theoretisches Verbesserungspotenzial um den Faktor zwei bez. Wirkungsgrad und Umweltbilanz.
- 120.000 Arbeitsplätze für Planung & Aufbau der PV Anlagen
- 40 mal mehr Stromertrag aus PV pro Fläche als über Biogas
- 15 mal mehr Gasertrag pro Fläche über Elektrolyse und Methanisierung des PV Stroms; und keine Monokultur nötig!

Wir brauchen in D und EU: PV-Forschung und PV-Produktion

- Schutz von kritischer Infrastruktur (Zuverlässigkeit aber auch Cybersicherheit).
- Die Wahrung der Technologiesouveränität ist auch bei hohen Importquoten von strategischer Bedeutung.
- Durch industrielle Fertigung in Europa werden Arbeitsplätze und industrielle Wertschöpfung gesichert. Die europäische Resilienz wird erhöht.
  → Die Kostendifferenz zu China kann reduziert werden.
- »Innovationen« stehen in den F&E-Labors in Europa für den Transfer zur Verfügung
  - Ohne Innovationen keine nachhaltigen Investitionen
  - D und EU muss mehr F&E erbringen, weil andere weniger Engagement zeigen. (Selbes Argument wie bei der Verteidigungsforschung).

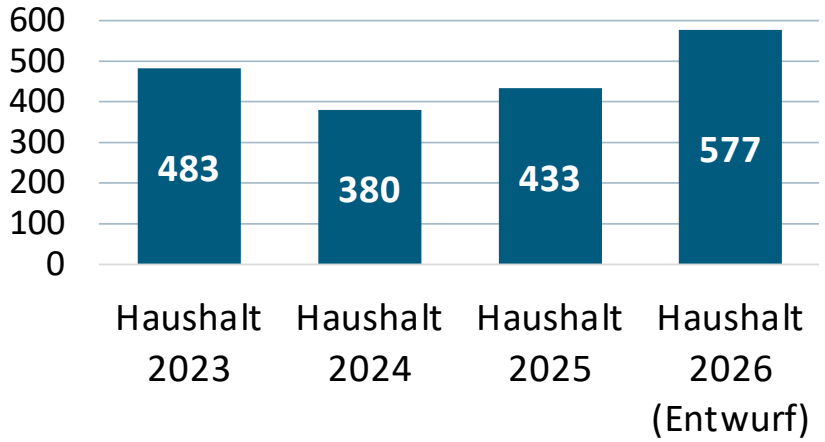
Fraunhofer ISE

ZSW

Bund und Land BW engagieren sich bei der Forschungsförderung!

- Nach einer langen „Durststrecke“ durch Regierungswechsel etc. steigen die FuE Mittel wieder im Bundeshaushaltsentwurf.
- Die BW Landesregierung unterstützt die FuE deutlich. Das ist neben anderen Themen (Regulierungen, Strommarkt, Netze etc.) für das Gelingen der Energiewende „Not“-wendig. FuE Mittel müssen aber auch kalkulierbarer werden.

Verpflichtungsermächtigungen für die angewandte Energieforschung in Mio € (Quelle: Bundeshaushalt)



2026: Vorbehaltlich der noch laufenden Haushalts-verhandlungen werden die Verpflichtungs-ermächtigungen deutlich auf 577 Mio € anwachsen. Davon bisher rund 60-80 Mio € /a für die angewandte PV Forschung (Fusionsforschung ca. 2 Mrd. € bis 2029).
PV-relevante Förderaufrufe (17.11.2025) des BMWE

- Testinfrastrukturen in der Transferoffensive Energieinnovationen, Einreichungsfrist 31.1.2026
- Reallabore der Energiewende, Einreichungsfrist 15.2.2026
- Cyberresilienz, Einreichungsfrist 31.1.2026
- kosteneffiziente Sanierung von Bestandsgebäuden, Einreichungsfrist 1.3.2026

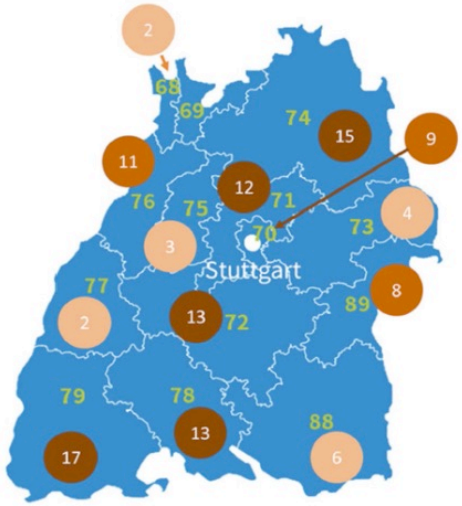
Stand: links Oktober 2025, BMWE Newsletter Energiewende | Forschen für die Energie der Zukunft, 17.11.2025

Bund und Land BW engagieren sich bei der Forschungsförderung!

Wir haben im Land Baden-Württemberg eine hervorragende Forschungslandschaft, die weltweit (noch) mit an der Spitze ist.

Diese Spitzenposition wollen wir gemeinsam mit unseren Unternehmen erhalten und ausbauen.

Ohne politische Unterstützung wird das aber nicht funktionieren.



Standort der PV-Industrie in BW

- >>100 aktive Unternehmen in der PV-Branche tätig.
- Technologie der ganzen PV-Wertschöpfungskette abgedeckt.
- Hervorragender Ausbildungs- und Forschungsstandort.

Beispiele: „developed in Baden Württemberg“

Quelle rechts: Kurz-Studie "Photovoltaikindustrie in BW entlang der Wertschöpfungskette“, S. Rogalla Fraunhofer ISE, 2023

Bauwerkintegrierte Photovoltaik (BIPV)

Initiative für Bauwerkintegrierte PV-Anlagen Baden-Württemberg – **Etablierungsphase**

- Weiterentwicklung des BIPV-Leitfaden, der online für alle Akteure unter www.bipv-bw.de verfügbar ist.
- Begleitung von ausgewählten Pilotprojekten…

Neues Folge-Projekt ab 1.11.25 gestartet:
Etablierungsphase als Ergänzung zum Leitfaden:

- Mobiles BIPV Kompetenz-Zentrum (Roadshow)
- Balkon-PV Leitfaden
- Muster BIPV-Richtlinie als Planungshilfe
- Kostenoptimierung und Wirtschaftlichkeit
- Optimierung auf Systemebene (u.a. zur elektrischen Auslegung von BIPV Anlagen

Baden-Württemberg
Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft

HTWG Hochschule Konstanz
Technik, Wirtschaft und Gestaltung

Architektenkammer Baden-Württemberg

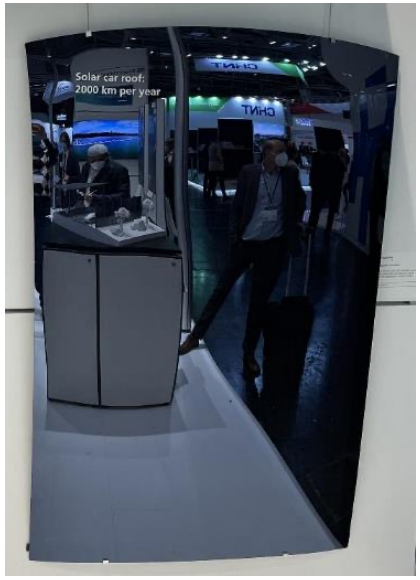
ZSW

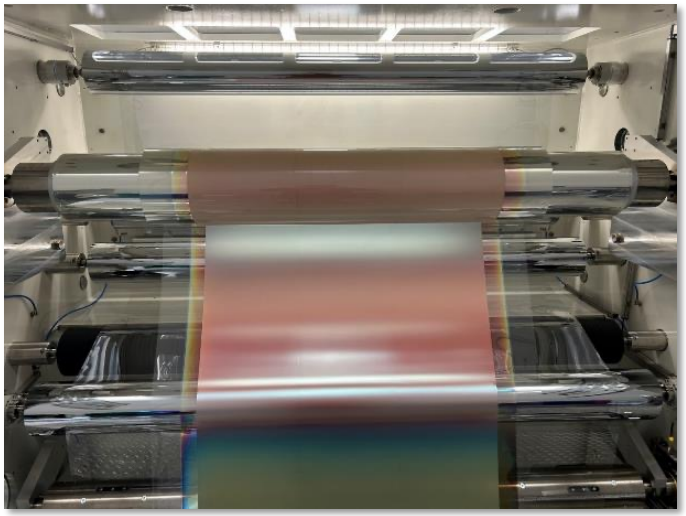
Fraunhofer ISE

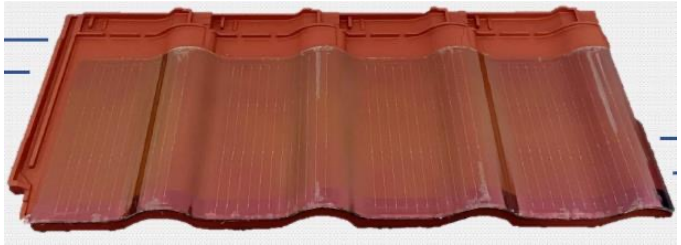
ZSW

Ästhetische Gebäudeintegration: Projekt „MorphoFlex“

- MorphoFlex in Anwendung: Dachziegel und Autodach
- Produktionsrun auf industrieller Rolle-zu-Rolle-Beschichtungsanlage der Firma Rowo







temicon micronano solutions

ROWO Coating

AxSun Solar

Winterhalder

Gefördert durch:

VDI|VDE|IT
Projektträger des Ministeriums für Wirtschaft, Arbeit und Tourismus Baden-Württemberg

invest bw

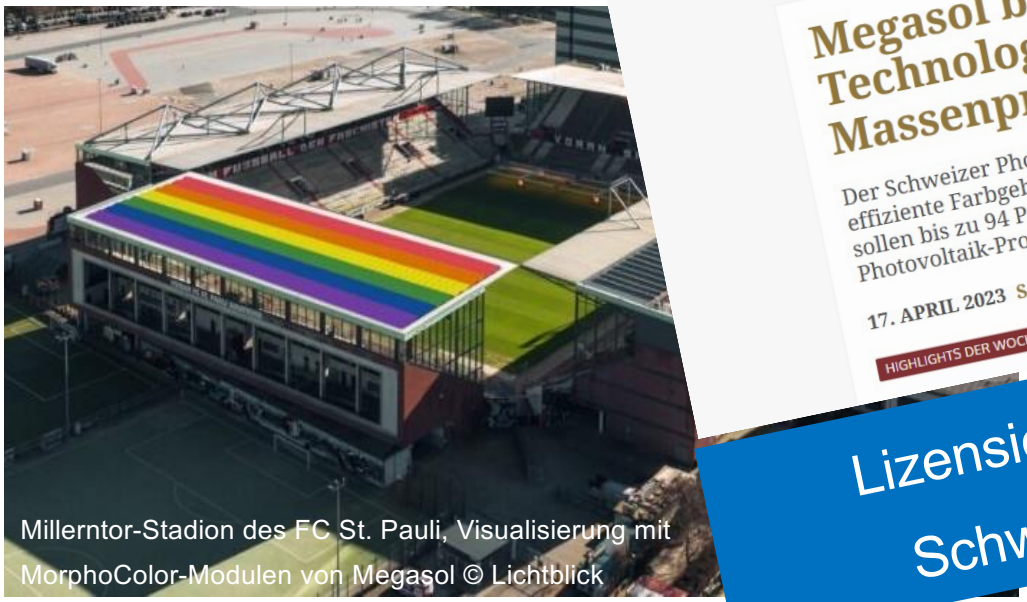
Fraunhofer ISE

Fassadenintegration

Integration in vorhandene Flächen

- Solarzellen sind nicht mehr sichtbar!
- Entwicklung von farbigen F
- Hoher Wirkungsgrad, gute F

Lizensierung der Technologie mit dem Schweizer Unternehmen Megasol



Millerntor-Stadion des FC St. Pauli, Visualisierung mit MorphoColor-Modulen von Megasol © Lichtblick

B. Bläsi et al., IEEE JPV (2021)

Fassaden-Integrierte PV – ZSW PV Testfeld Widderstall

Untersuchung des Teilverschattungsverhaltens verschiedener PV Modul Technologien

Simulation von Gebäude-typischen, dynamischen Schlagschatten und deren Einfluss auf unterschiedliche PV Technologien, u.a. Verschattungs-toleranter IBC Module

Untersuchung von Langzeitperformance:

- Temperatur-Monitoring über IR Bilder zur Visualisierung eventueller „hot-spots“,
- Regelmäßige P_{max} Messungen unter STC Bedingung im Labor

Gefördert durch:

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie

aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

KI-basiertes Monitoring in großskaligen PV-Parks

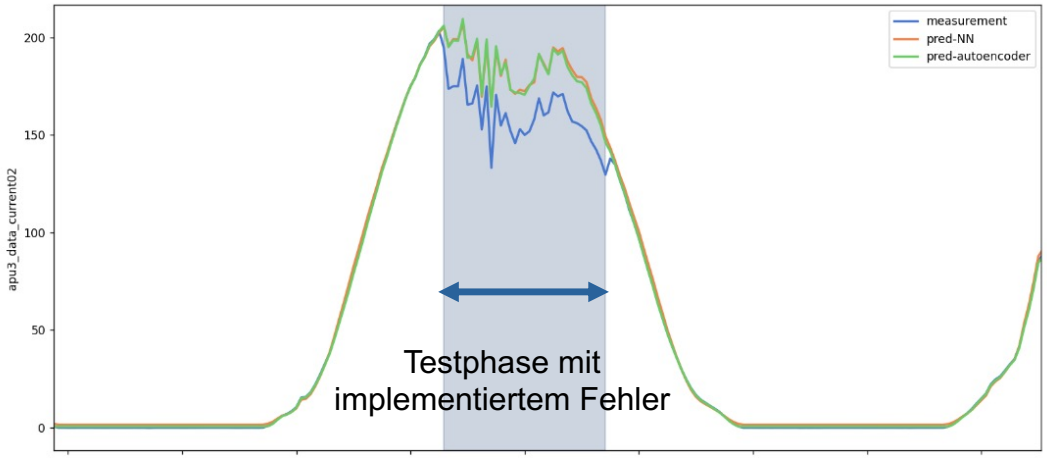
Datengetrieben Modelle helfen bei der automatisierten Überwachung (150MW Anlage)

Herausforderung

- Zunehmende Systemkomplexität großer PV-Anlagen durch unterschiedliche Ausrichtungen, unebene oder hügelige Standorte und der Einsatz bifazialer Module führen zu heterogenen Betriebsbedingungen.
- Die Modellierung ist erschwert, da meist nur begrenzte und aggregierte Messdaten vorliegen und Anlagendaten nicht digitalisiert sind. (keine Stringmessung, nur ein Referenzstring)

Lösungsansatz

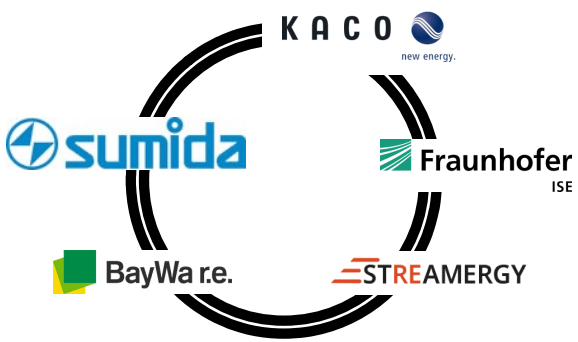
- Generische KI-Modelle werden anhand von historischen Daten trainiert
- Validierung anhand von Testphasen mit implementiertem Fehler (Stringausfall)
- Modelle detektieren Stringausfälle in einzelnen Teilen des PV-Parks

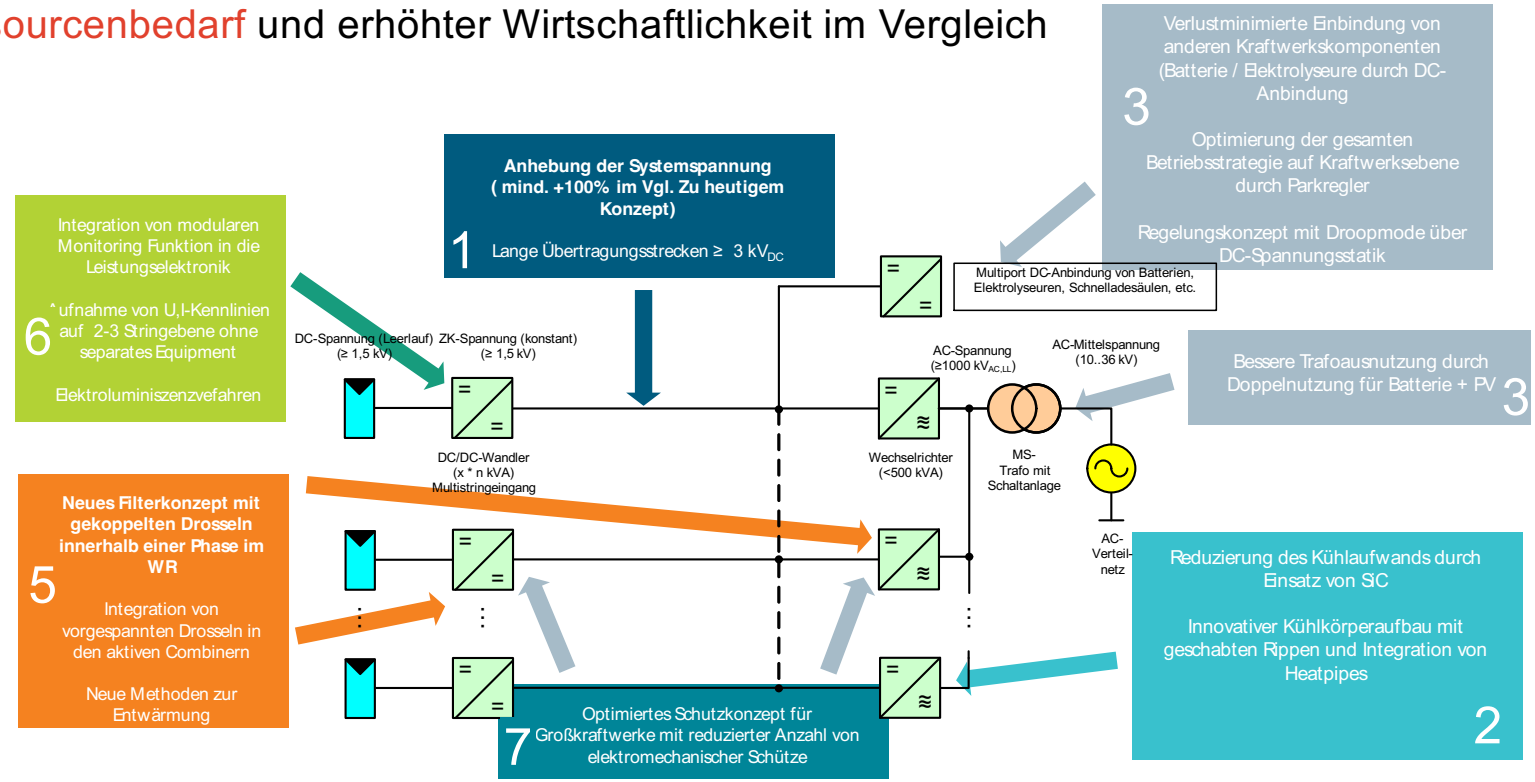


Forschungsprojekt “SeVen”, (KACO new energy GmbH)

Fokus: Steigerung der Ressourceneffizienz in PV-Kraftwerken, Anhebung der Systemspannung etc.

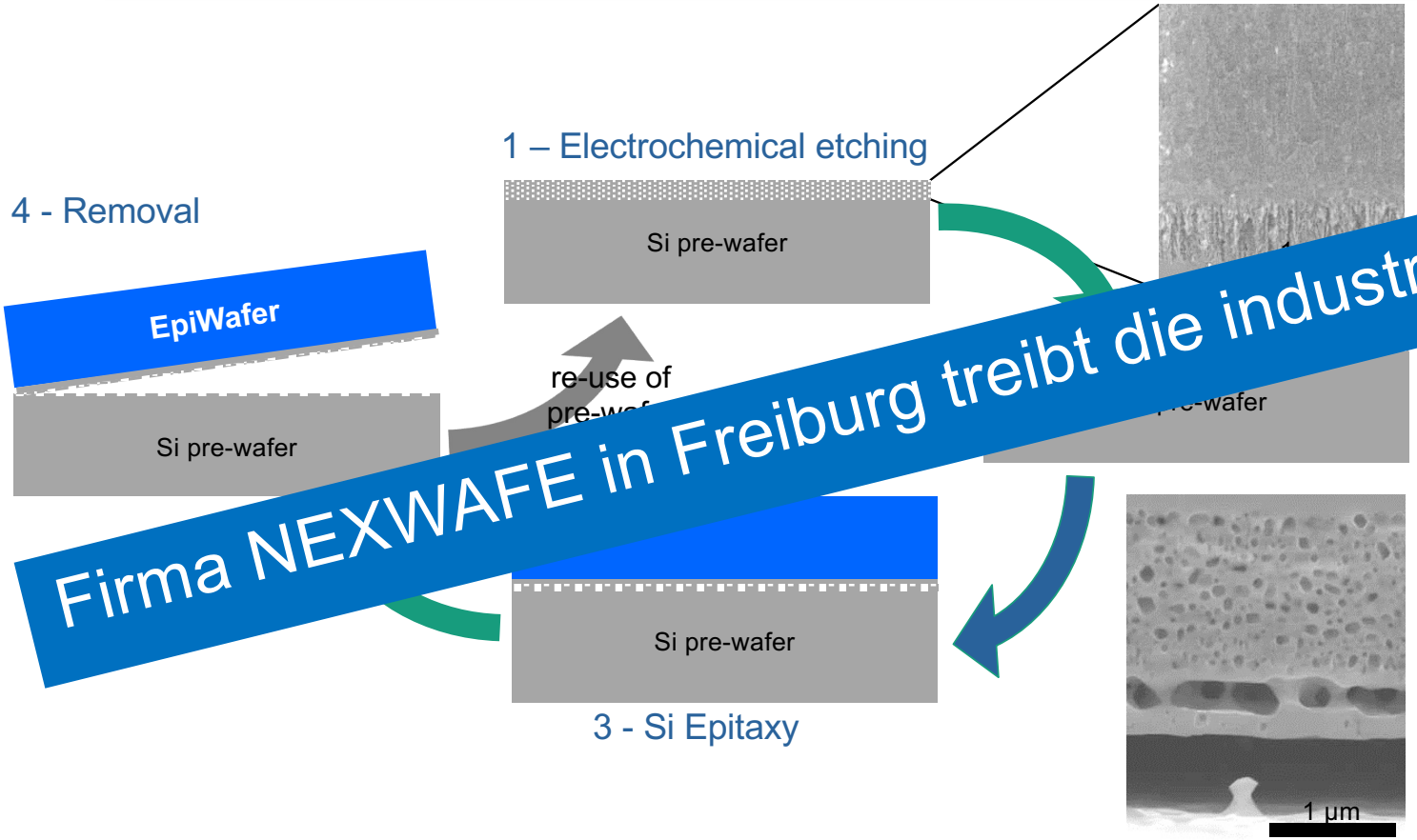
- Entwicklung eines nachhaltigen Systemkonzepts und eines leistungselektronischen Umrichters für großflächige Photovoltaikkraftwerke.
- Mit deutlich reduziertem Ressourcenbedarf und erhöhter Wirtschaftlichkeit im Vergleich zu heutigen Kraftwerken.



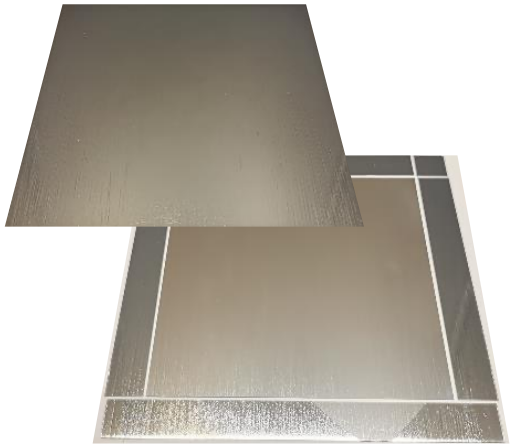


Disruptive Waferproduktion: der EPIWafer!

Spart Energiekosten und verringert aktuell den CO_2-Fußabdruck



APCVD batch reactor at Fraunhofer ISE

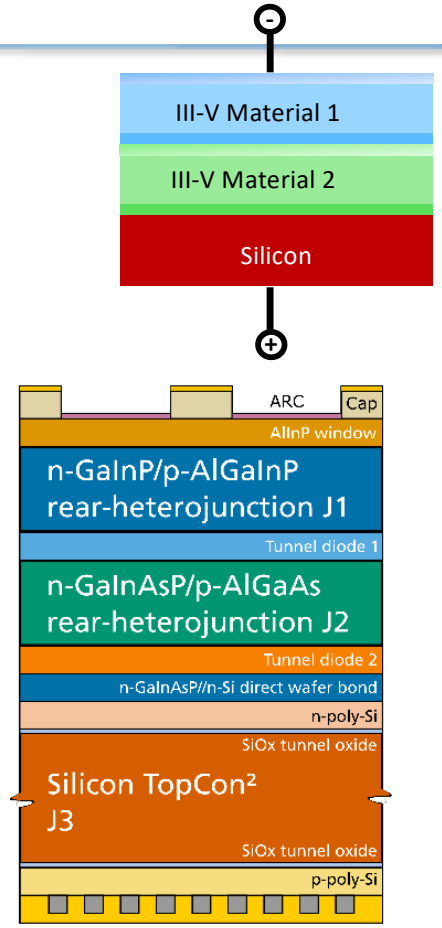


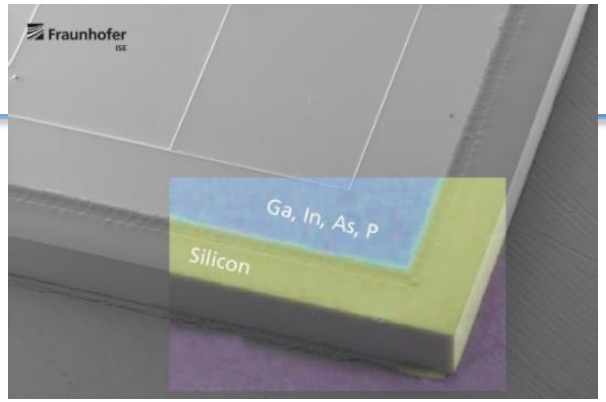
Firma NEXWAFE in Freiburg treibt die industrielle Fertigung voran

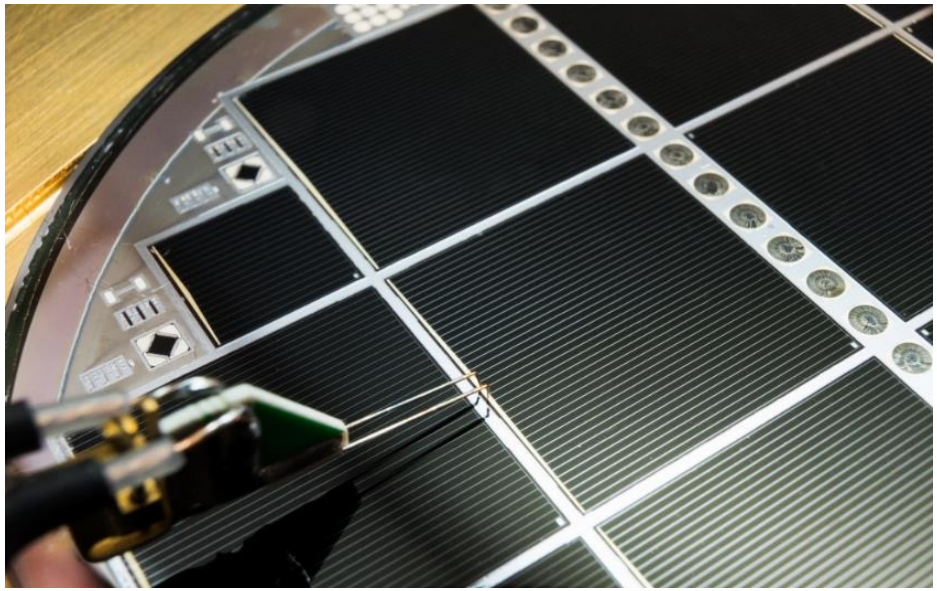
Fraunhofer ISE

ZSW

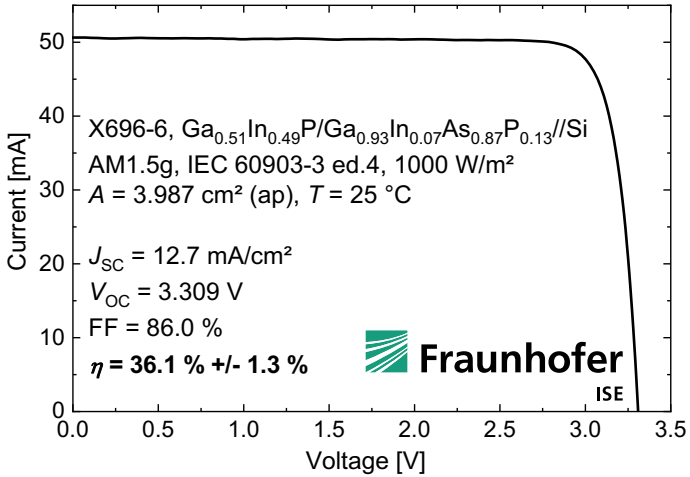
III-V//Silizium Tandem Zellen







36,1% (AM1,5g)
Rekord für monolithische Tandemzellen auf Siliziumbasis



R. Cariou et al., Nature Energy 2018
P. Schygulla et al., Progress in Photovoltaics, https://doi.org/10.1002/pip.3769 , 2024

Fraunhofer ISE
ZSW

Investition in Zukunftstechnologie am ISC in Konstanz – dank UM

- Das Umweltministerium Baden-Württemberg fördert den Aufbau unseres neuen Solar-Forschungszentrums mit 9 Mio. € für Hightech-Maschinen.
- Damit wird modernste Infrastruktur für Forschung, Ausbildung und Technologietransfer: „Made in Baden-Württemberg“.
- ISC Konstanz unterstützt internationale Zellhersteller wie Suniva (USA) beim Ramp-up und der Prozessoptimierung gemeinsam mit Maschinenbaupartnern, die meisten aus Baden-Württemberg:

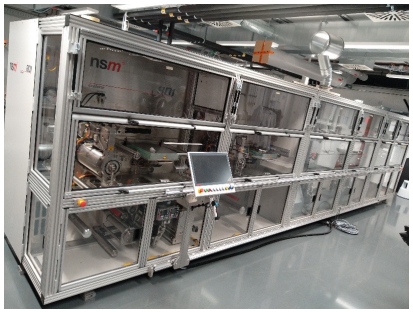
centrotherm, RENA, ISRA VISION / GP Solar, sowie Wavelabs & Kontron

Baden-Württemberg
Ministerium für Umwelt, Klima
und Energiewirtschaft

Perowskit Cluster erfolgreich gestartet als Leuchtturmprojekt in BW

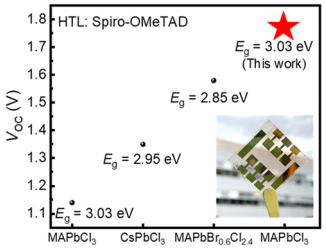
Perowskitzellen steigern Wirkungsgrade in Tandems und verbessern Ökobilanz

Kompetenz Cluster Perowskit gestartet.
(Synergie von ca. 70 Forschenden aus 3 Instituten)



Perowskit Laborlinie,
finanziert vom Umweltministerium
Baden-Württemberg

PEROWSKIT
KOMPETENZCLUSTER



Angebot an Industrie:
- Pilotlinie / Testbeschichtungen
- Prozess-Teststände
- Charakterisierung

Produktion
Equipment
PV-Produkte

Skalierung der Prozesse
Dünnschicht-PV-Technologie

Bauelemente und Prozessverständnis
Analytik

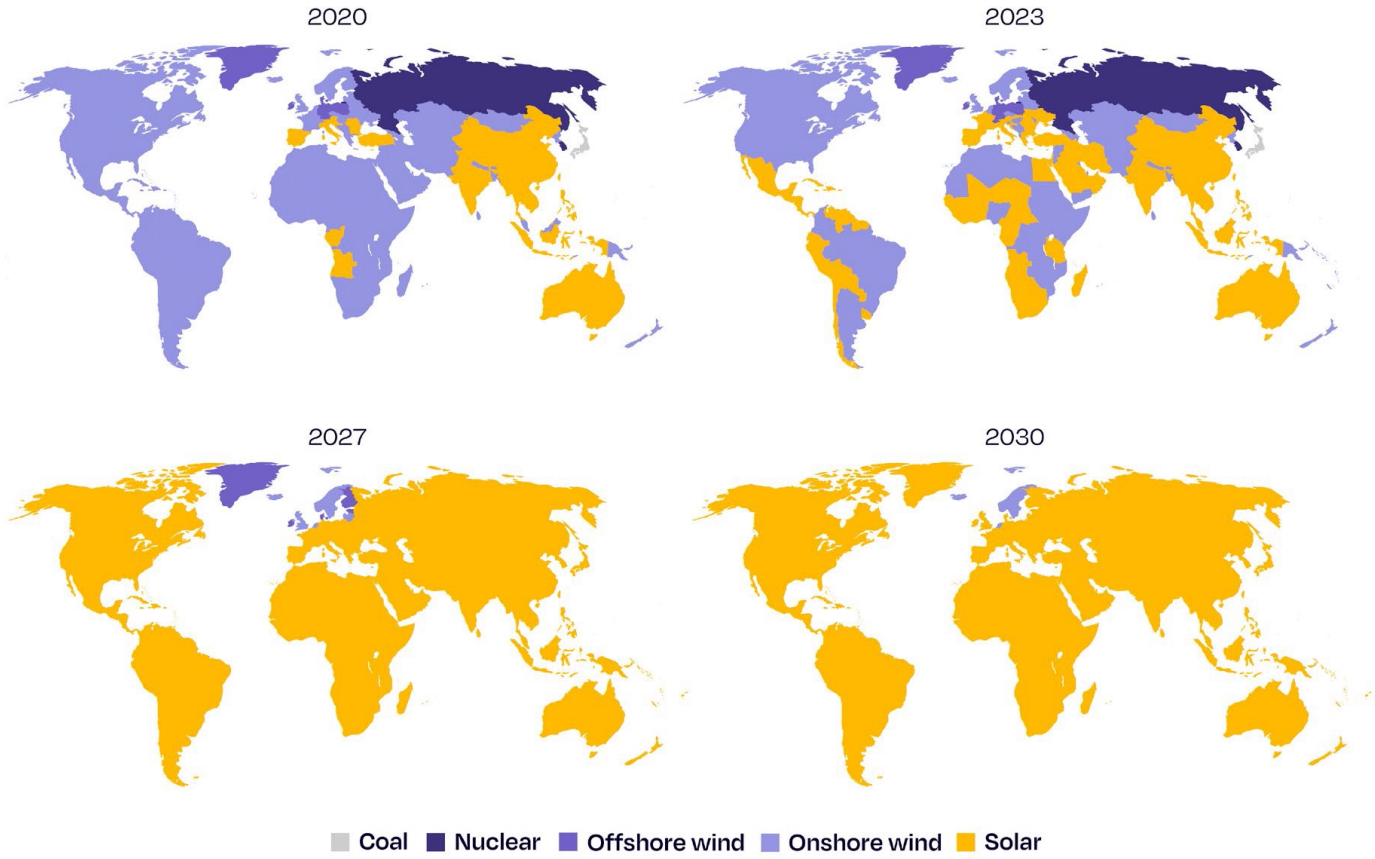
Materialentwicklung

Gefördert durch:
Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

Baden-Württemberg
Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Tourismus

Solarenergie wird bis 2030 in den meisten Teilen der Welt die günstigste Stromquelle sein.

Energy technology with the lowest LCOE by year and region



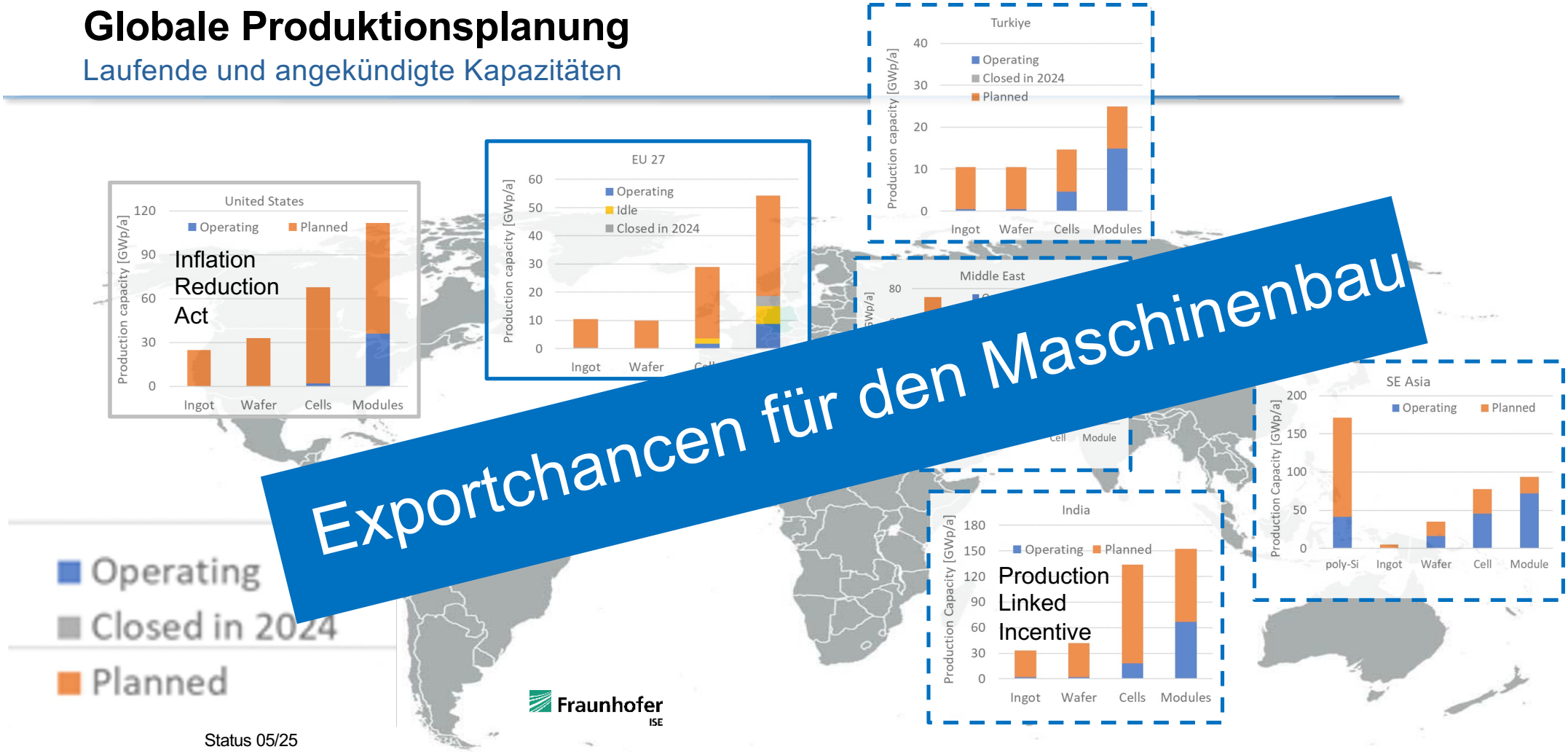
PV-Nachfrage bis 2030 in Europa wird auf 60 – 100 GWp/a geschätzt.

Die geplante EU-Resilienzkapazität mit 40 % der Nachfrage scheint in Reichweite zu sein. (NZIA)

Quelle: SPE Manufacturing Workstream: Manufacturing Study 24.9.2025 / Nijsse, F.J.M.M., Mercure, JF., Ameli, N. et al. (2023)

Globale Produktionsplanung

Laufende und angekündigte Kapazitäten



S. Nold et al., 42nd EU PVSEC, Bilbao, Spain, September 23rd, 2025

Fraunhofer ISE