Stellungnahme

SOLARTAP
Technology. Transfer.

zur Weiterentwicklung des 8. Energieforschungsprogramms

„Forschung für die nächste Terawatt Photovoltaiktechnologie“

Zentrale Botschaften

- **Photovoltaik als strategischen Schwerpunkt der Mission Strom weiter stärken** und die Förderung gezielt auf neue Zell-, Modul-, Fertigungs- und Integrationstechnologien, Automatisierung und Digitalisierung auszurichten.
- **Technologieentwicklung und skalierungsnahe Forschung sollten parallel vorangetrieben werden.** Herstellbarkeit, Prozessstabilität, Qualitätssicherung, Zuverlässigkeit und Ressourceneffizienz sollten bereits auf niedrigen und mittleren Technologiereifegraden berücksichtigt werden.
- **Offene Forschungs-, Test- und Validierungsinfrastrukturen sollten langfristig gestärkt werden,** damit skalierungsrelevante Fragestellungen gemeinsam mit Start-ups, KMU und etablierten Unternehmen bearbeitet werden können.
- **Integrierte und multifunktionale Photovoltaik sollte im Energieforschungsprogramm stärker fokussiert werden.** Sie erschließt zusätzliche Flächen, Anwendungen und Märkte und bietet besondere Chancen für deutsche Wertschöpfung im Maschinen- und Anlagenbau, in der Materialindustrie, Automatisierung und Systemintegration.

1 Strategische Bedeutung der Photovoltaikforschung

Photovoltaik und Windenergie werden auch künftig das Rückgrat der deutschen Stromerzeugung bilden. Das 8. Energieforschungsprogramm nennt deshalb die Entwicklung effizienterer, leistungsstärkerer, zuverlässigerer und langlebigerer Anlagen ebenso als Ziel wie neue Materialien, automatisierte Fertigungsverfahren und integrierte Formen der Photovoltaik. Zugleich sollen Ressourcen- und Flächenverbrauch reduziert sowie neue Standorte für die Stromerzeugung erschlossen werden.

Diese Forschungsbedarfe gewinnen weiter an Bedeutung. Mit dem globalen Ausbau der Photovoltaik entsteht nicht nur ein wachsender Bedarf an konventionellen Modulen. Neue Zellarchitekturen, Materialien, Fertigungsverfahren und integrierte Anwendungen eröffnen zusätzliche Technologie- und Wertschöpfungspfade. Organische und perowskitbasierte Photovoltaik ist kostengünstig, ressourcenschonend und energieeffizient herstellbar, kann hohe Wirkungsgrade ermöglichen und gleichzeitig leichte, flexible, teiltransparente oder gestalterisch anpassbare Produkte hervorbringen. Dadurch wird die Integration von Energieerzeugung in Gebäude, Landwirtschaft, Mobilität, Infrastruktur und elektronische

Systeme möglich. Tandem- und Multijunctionarchitekturen bieten zusätzlich noch viele Perspektiven für die Wirkungsgradsteigerung.

Für Deutschland entstehen daraus besondere Chancen. Eine international führende Forschungslandschaft trifft auf starke Kompetenzen im Maschinen- und Anlagenbau, der Herstellung flexibler Dünnschicht-PV, in der Chemie- und Materialindustrie, der Automatisierung, Messtechnik und Systemintegration. Da die Wertschöpfungsketten für Emerging PV noch nicht abschließend etabliert sind, bestehen Einstiegsmöglichkeiten für Start-ups, KMU und etablierte Unternehmen.

Die Hightech Agenda Deutschland verbindet klimaneutrale Energieerzeugung mit Wettbewerbsfähigkeit, Wertschöpfung und technologischer Souveränität. Gleichzeitig stellt sie die schnellere Überführung wissenschaftlicher Erkenntnisse in wettbewerbsfähige Produkte in den Mittelpunkt. Das Energieforschungsprogramm kann hierzu einen zentralen Beitrag leisten, indem es technologische Risiken reduziert, die industrielle Übertragbarkeit neuer Lösungen vorbereitet und Forschung, Transfer und Anwendung frühzeitig miteinander verbindet.

Wir empfehlen daher, Photovoltaik nicht nur als etablierte Technologie des Energiesystems, sondern auch als strategisches Innovationsfeld für neue Materialien, Fertigungsverfahren, Automatisierung, Digitalisierung, Produkte und Anwendungen weiterzuentwickeln.

2 Technologieentwicklung und Skalierungsforschung parallel vorantreiben

Viele neue Photovoltaiktechnologien sind noch nicht in allen Punkten für einen breiten Markteintritt ausgereift. Weitere Fortschritte sind insbesondere bei Wirkungsgrad, Stabilität, Lebensdauer, Prozessreproduzierbarkeit, Produktionsausbeute, Materialeffizienz und Kosten erforderlich. Die technologische Entwicklung muss deshalb konsequent fortgeführt werden.

Gleichzeitig sollten Fragen der Skalierbarkeit frühzeitig in die Technologieentwicklung einbezogen werden. Viele Herausforderungen werden erst beim Übergang von kleinflächigen Laborprozessen auf größere Substrate, höhere Durchsätze und industrienahe Prozessketten sichtbar. Dazu zählen unter anderem:

- Homogenität und Defektdichte auf größeren Flächen;
- Prozessfenster und Reproduzierbarkeit;
- Material- und Energieeffizienz;
- Inline-Messtechnik und Qualitätskontrolle;
- Produktionsausbeute und Ausschussvermeidung;
- Verkapselung, Kontaktierung und Moduldesign;
- Zuverlässigkeit unter anwendungsspezifischen Belastungen.

Eine enge Rückkopplung zwischen Materialentwicklung, Prozessführung, Moduldesign, Produktionstechnik, Zuverlässigkeitsprüfung und Anwendung kann dazu beitragen, technologische Lösungswege frühzeitig auf spätere Anforderungen auszurichten. Gleichzeitig entstehen belastbare Entscheidungsgrundlagen für Unternehmen und Investoren.

Das Energieforschungsprogramm umfasst angewandte Forschung über ein breites Spektrum von Technologiereifegraden und unterstützt vorwettbewerbliche Forschungsaufgaben häufig in Verbünden zwischen Unternehmen und Forschungseinrichtungen.

Solar TAP empfiehlt, diese Stärke gezielt für **skalierungsnahe F&E** zu nutzen. Im Mittelpunkt sollten Prozessverständnis, Herstellbarkeit, Anlagenkonzepte, Reproduzierbarkeit, Qualitätssicherung, Lebensdauerqualifizierung und die Vorbereitung standardisierter Prüf- und Zertifizierungsverfahren stehen.

3 Empfehlungen für die Mission Strom

3.1 Technologievielfalt und skalierungsnahe F&E stärken

Die technologieoffene Förderung unterschiedlicher Photovoltaikpfade des 8. Energieforschungsprogramms sollte fortgeführt werden. Neben etablierten Siliziumtechnologien sollten insbesondere Perowskit-Silizium- und weitere Mehrfachsolarzellen, organische und weitere innovative Dünnschichttechnologien sowie neue Absorber-, Kontakt-, Barriere- und Verkapselungsmaterialien berücksichtigt werden.

Die Bewertung neuer Technologiepfade sollte nicht ausschließlich anhand des maximalen Zellwirkungsgrades erfolgen. Ebenso relevant sind Stabilität, Herstellbarkeit, Flächenproduktivität, Materialeffizienz, Kreislauffähigkeit und Eignung für konkrete Anwendungen. Eigenschaften wie geringes Gewicht, Flexibilität, Teiltransparenz, Formgebung, Integrationsfähigkeit oder ein hoher Energieertrag bei diffusem Licht können für bestimmte Produkte von entscheidender Bedeutung sein.

Solar TAP empfiehlt zudem, skalierungsnahe F&E als sichtbaren Schwerpunkt innerhalb der Mission Strom zu verankern. Relevante Forschungsthemen sind insbesondere:

- großflächige und kontinuierliche Beschichtungs- und Strukturierungsverfahren;
- Rolle-zu-Rolle-, Sheet-to-Sheet-, Druck- und Vakuumprozesse;
- Prozessstabilität bei höheren Taktzeiten und Durchsätzen;
- automatisierte Prozessketten und Inline-Analytik;
- datenbasierte Prozessmodelle und digitale Zwillinge;
- KI-gestützte Prozessoptimierung und Fehlerdiagnose.

Die Skalierbarkeit neuer Materialien und Zellkonzepte sollte möglichst frühzeitig bewertet werden. Material-, Zell-, Modul- und Prozessentwicklung sollten hierzu stärker miteinander verbunden werden.

3.2 Zuverlässigkeit, Qualifizierung und Nachhaltigkeit früh integrieren

Neue Photovoltaiktechnologien benötigen verlässliche Aussagen zu Stabilität, Lebensdauer und Anwendungseignung. Bestehende Prüfverfahren bilden die besonderen Materialien, Modulaufbauten und Einsatzbedingungen von Emerging PV teilweise nur unzureichend ab.

Solar TAP empfiehlt daher, die Erforschung von Degradationsmechanismen, beschleunigten Alterungstests, anwendungsspezifischen Belastungsprofilen, Lebensdauermodellen und neuen Verkapselungskonzepten weiter zu stärken. Eine engere Verbindung von Laborprüfung, Feldtest und Modellierung kann dazu beitragen, Qualifizierungszeiten zu

verkürzen. Gemeinsame Datenformate und vergleichbare Testprotokolle verbessern zudem die Nutzung von Ergebnissen über einzelne Projekte und Standorte hinweg.

Gleichzeitig sollten Ressourceneffizienz, Reparaturkonzepte und Kreislauffähigkeit von Beginn an berücksichtigt werden. Relevante Forschungsfelder sind insbesondere:

- Reduktion und Substitution kritischer oder toxischer Materialien;
- material- und energieeffiziente Herstellungsverfahren;
- recyclinggerechte Modul- und Verbindungskonzepte;
- Trenn-, Rückgewinnungs- und Wiederverwendungsverfahren;
- Lebenszyklus- und Ressourcenanalysen.

Der Ansatz „Circular by Design“ sollte bereits in die Material-, Prozess- und Produktentwicklung einfließen. Das entspricht der Ausrichtung des 8. Energieforschungsprogramms, Ressourcen über den gesamten Lebenszyklus effizient zu nutzen und Reparierbarkeit sowie Kreislaufwirtschaft frühzeitig mitzudenken.

3.3 Integrierte und multifunktionale Photovoltaik stärken

Das 8. Energieforschungsprogramm nennt fassadenintegrierte und andere integrierte Formen der Photovoltaik bereits als Möglichkeit, zusätzliche Standorte für die Stromproduktion zu erschließen. Wir regen an diesen Ansatz in der nächsten Programmphase breiter zu fassen und auf relevante Anwendungsbereiche wie gebäudeintegrierte Photovoltaik, Agri-PV und Gewächshauslösungen, fahrzeug- und mobilitätsintegrierte PV, Energieerzeugung in Infrastrukturen sowie energieautarke Sensorik und IoT-Anwendungen auszuweiten.

Integrierte Photovoltaik erfordert häufig eine gemeinsame Entwicklung von Solarzelle, Modul, Bauteil und Gesamtsystem. Neben dem Energieertrag können weitere Funktionen wie Verschattung, Witterungsschutz, Gestaltung, Gewichtsreduktion oder Sensorversorgung relevant sein. Solar TAP empfiehlt deshalb anwendungsorientierte Verbundvorhaben, in denen Forschungseinrichtungen, Technologieentwickler und Anwenderbranchen frühzeitig zusammenarbeiten.

Demonstratoren und Reallabore können dazu beitragen, Fragen der Technologieintegration, Zuverlässigkeit, Systemwirkung und Übertragbarkeit unter realistischen Bedingungen zu untersuchen. Die Verbindung zu Bauwirtschaft, Landwirtschaft, Mobilität, Elektronik und Maschinenbau bietet zugleich Potenziale für regional verankerte Innovationsökosysteme und Wertschöpfungsketten.

4 Empfehlungen für Transferstrukturen und Förderinstrumente

4.1 Offene Forschungs-, Test- und Validierungsinfrastrukturen stärken

Solar TAP empfiehlt, offen zugängliche und industrienahe Forschungsumgebungen langfristig zu stärken. Sie ermöglichen es Forschungseinrichtungen und Unternehmen, skalierungsrelevante Fragestellungen gemeinsam zu bearbeiten. Hierzu gehören Material- und Prozessentwicklung, großflächige Forschungsprototypen, skalierungsnahe Prozessketten, Inline-Analytik, Zuverlässigkeitstests und Anwendungserprobung.

Der Zugang zu solchen Infrastrukturen ist insbesondere für Start-ups und KMU von Bedeutung. Transparente Zugangsmodelle, geeignete Kooperationsformen sowie eine verlässliche personelle und methodische Betreuung erleichtern ihre Nutzung.

Für strategische Technologiepfade sollten zugleich ausreichend lange Entwicklungsperspektiven bestehen. Ergänzend können flexible Förderformate und Stage-Gate-Ansätze genutzt werden, um neu auftretende Forschungsfragen kurzfristig aufzugreifen und Entwicklungsergebnisse anhand transparenter technologischer und anwendungsbezogener Meilensteine zu bewerten.

4.2 Technologiebezogene Transferplattformen und -instrumente unterstützen

Technologiebezogene Transferplattformen sollen langfristig weiterentwickelt werden. Neben dem Zugang zu Forschungsinfrastrukturen übernehmen sie wichtige Koordinations- und Orientierungsaufgaben, die in zeitlich begrenzten Einzelprojekten nur schwer abgebildet werden können.

Hierzu zählen insbesondere:

- gemeinsame Technologie- und Anwendungsroadmaps;
- Markt-, Wettbewerbs- und Potenzialanalysen;
- Identifikation gemeinsamer Forschungs- und Entwicklungsbedarfe;
- strukturierte Einbindung von Unternehmen und Anwenderbranchen;
- abgestimmte Testverfahren, Datenformate und Entwicklungsmeilensteine;
- flexible Kooperationsmodelle für Unternehmen unterschiedlicher Größe.

Diese Instrumente schaffen Orientierung für Forschung, Industrie und Fördergeber, ermöglichen eine kontinuierliche Bewertung technologischer und wirtschaftlicher Entwicklungen und unterstützen die zielgerichtete Ausrichtung zukünftiger Forschungsprojekte.

Über Solar TAP

Solar TAP ist eine Innovationsplattform der Helmholtz-Gemeinschaft für organische und perowskitbasierte Photovoltaik. Sie verbindet die Kompetenzen des Forschungszentrums Jülich, des Helmholtz-Zentrums Berlin und des Karlsruher Instituts für Technologie mit einem Netzwerk von mehr als 50 Technologieentwicklern, Unternehmen und Anwendern. Gemeinsam bearbeiten die Partner die Entwicklung, Skalierung und Anwendung neuer PV-Technologien – von Materialien und Produktionsanlagen bis zu integrierten Produkten für Gebäude, Landwirtschaft, Mobilität und Elektronik. Damit bündelt Solar TAP wissenschaftliche, industrielle und anwendungsbezogene Perspektiven entlang der Emerging-PV-Wertschöpfungskette.

Kontakt:
Dr. Jens Hauch, Solar TAP Manager | Helmholtz-Institut Erlangen-Nürnberg
Forschungszentrum Jülich GmbH, Immerwahrstr. 2, 91058 Erlangen
T: +49-9131-12538301 | M: +49-162-2190804
solartap@fz-juelich.de | www.solartap.de