

Die Bedeutung hocheffizienter Photovoltaik für den Erfolg der Energiewende





Impressum

Die Bedeutung hocheffizienter Photovoltaik
für den Erfolg der Energiewende

Februar 2023

Fotos: Oxford PV

Autorinnen und Autoren:

Niels-Sönnick Schnoor

Head of Public Affairs

Hendrik Flügel

Analyst

DWR eco GmbH

Belforter Str. 1

10405 Berlin

Im Auftrag von Oxford PV Germany GmbH

Oxford PV Germany GmbH

Münsterschestr. 23

14772 Brandenburg a. d. Havel

© 2023 Oxford PV Germany GmbH

Alle Rechte vorbehalten.

Inhaltsverzeichnis

■	1. Einleitung	1
■	2. Politische Rahmenbedingungen für den Ausbau der Solarenergie	2
	2.1. Deutschland	2
	2.2. Europa	3
■	3. Herausforderungen beim Ausbau der Solarenergie	4
	3.1. Die Grenzen der herkömmlichen Silizium-Solarzelle	4
	3.2. Unsichere und CO ₂ -intensive Lieferketten	4
	3.2.1 Verfügbarkeit von Solarmodulen	5
	3.2.2 CO ₂ -Fußabdruck von Solarmodulen	6
■	4. Hocheffiziente Photovoltaik als Schlüssel für eine erfolgreiche Energiewende	7
	4.1 Funktionsweise von Perowskit-auf-Silizium-Tandemzellen	7
	4.2 Schnelleres Erreichen der Ausbauziele	9
	4.3 Resiliente und saubere Produktion	10
	4.3.1 Verfügbarkeit von Solarmodulen	10
	4.3.2 Umweltauswirkungen	11
■	5. Politische Handlungsempfehlungen für den verstärkten Einsatz hocheffizienter Photovoltaik	13
	5.1 Maßnahmen zur Stärkung des Angebots an hocheffizienten Solarmodulen	13
	5.2 Maßnahmen zur Stärkung der Nachfrage nach hocheffizienten Solarmodulen	13
■	6. Schlussfolgerungen	14

1. Einleitung

Spätestens seit dem russischen Angriffskrieg auf die Ukraine ist klar: Europa und Deutschland müssen ihre Energieversorgung grundlegend auf neue Beine stellen – und zwar so schnell wie möglich. Der Umstieg auf erneuerbare Energien ist alternativlos und muss erheblich beschleunigt werden – nicht nur, um die auch hierzulande immer sichtbarer und dramatischer werdenden Folgen des Klimawandels abzumildern, sondern auch um Energie langfristig bezahlbar zu halten und eine sichere Versorgung zu gewährleisten. Dieses Ziel erfordert nicht nur eine Energiepolitik, die sich die besten am Markt verfügbaren Technologien zunutze macht und deren Ausbau konsequent vorantreibt, sondern auch eine Industriepolitik, die sicherstellt, dass die dafür benötigten Rohstoffe, Vorprodukte und Anlagen in ausreichender Stückzahl verfügbar sind.

Die Solarenergie steht im Zentrum der zukünftigen Energieversorgung. Die Politik hat das erkannt und sowohl auf EU- als auch auf Bundesebene richtige und wichtige Maßnahmen zum Ausbau der Technologie auf den Weg gebracht. Doch damit allein ist es nicht getan. Denn noch ist vollkommen unklar, ob überhaupt genügend Solarzellen und -module zur Verfügung stehen, um die hohen Ausbauziele zu erreichen. Schließlich liegt der Großteil der weltweiten Produktion in den Händen Chinas und damit bei einem mittel- bis langfristig unberechenbaren Geschäftspartner.

Dieses Papier beleuchtet einige der größten Hürden für den europäischen Ausbau der Solarenergie und zeigt auf, welche entscheidende Rolle innovative Perowskit-auf-Silizium-Tandemzellen bei deren Überwindung spielen können. Um das Potenzial dieser Technologie für die Energiewende zu heben, braucht es allerdings Unterstützung vonseiten der Politik. Im letzten Kapitel werden deshalb politische Handlungsempfehlungen gegeben.



Foto: shutterstock | Sophon Nawit

2. Politische Rahmenbedingungen für den Ausbau der Solarenergie

2.1 Deutschland

Als Beitrag zur Erreichung der Klimaziele soll nach dem Willen der Bundesregierung der Anteil erneuerbarer Energien am Bruttostromverbrauch in Deutschland bis zum Jahr 2030 auf mindestens 80 Prozent steigen. Bei einem erwarteten Strombedarf von 750 Terawattstunden (TWh) bedeutet dies, dass mindestens 600 TWh durch erneuerbare Energien bereitgestellt werden müssen. Im Zentrum dieser Zielsetzung steht ein deutlich beschleunigter Ausbau der Solarenergie. **Die installierte Leistung der Photovoltaik (PV) soll von gegenwärtig rund 60 Gigawattpeak (GWp) bis zum Jahr 2030 auf 215 GWp nahezu vervierfacht und bis 2040 auf 400 GWp nahezu versiebenfacht werden.**¹

Um die genannten Ziele zu erreichen, muss der jährliche PV-Nettozubau in Deutschland auf einen Durchschnittswert von knapp 20 GWp ansteigen müssen. Brutto liegt der notwendige Zubau deutlich höher, da perspektivisch bis zu 15 GWp pro Jahr an Altanlagen ersetzt werden müssen, die das Ende ihrer Lebensdauer erreicht haben.²

Zum Vergleich: in den Jahren 2013 bis 2018 wurden im Mittel nur 1,9 GWp pro Jahr installiert.³ **Selbst der vergleichsweise hohe Zubau von 5,3 GWp installierter Leistung im Jahr 2021 bleibt deutlich hinter den für die kommenden Jahre benötigten Werten zurück.**⁴ Eine Vielzahl von Studien zeigt zudem, dass zur Erreichung der Pariser Klimaziele und zur angestrebten Klimaneutralität bis zum Jahr 2045 noch ein deutlich stärkeres Wachstum notwendig ist als von der Bundesregierung vorgesehen. So müsste ausgehend von einem optimistischen Szenario der jährliche Nettozubau in der Spitze auf 40 GWp steigen.⁵

„Die installierte Leistung der Photovoltaik soll von gegenwärtig rund 60 GWp bis zum Jahr 2030 auf 215 GWp nahezu vervierfacht und bis 2040 auf 400 GWp nahezu versiebenfacht werden.“

Vor dem Hintergrund hat die Bundesregierung eine Vielzahl an Maßnahmen zur Beschleunigung des Ausbaus von Solarenergie auf den Weg gebracht. So wurden neben entsprechenden Anpassungen der Ausschreibungsbedingungen für PV-Freiflächen- und größeren -Dachanlagen sowie der Vergütungssätze für kleinere PV-Dachanlagen im Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) unter anderem auch steuerliche Erleichterungen für den Ausbau von PV-Dachanlagen umgesetzt. Zudem ist die Einführung einer sogenannten Solarnutzungspflicht für gewerbliche Neubauten geplant. In einigen Bundesländern ist dieses ordnungspolitische Instrument bereits Realität. So gibt es in Baden-Württemberg und Nordrhein-Westfalen seit Anfang 2022 eine Pflicht zur Nutzung von Solarenergie; in Nordrhein-Westfalen allerdings nur für Parkplätze und nicht für Gebäude. In acht weiteren Bundesländern ist die Solarnutzungspflicht für Neubauten und teils auch für Sanierungen von Bestandsgebäuden beschlossen und tritt absehbar in Kraft. In Bayern, Bremen und Hessen steht der Beschluss noch aus. Teils sind von der Solarnutzungspflicht nur gewerbliche Neubauten, teils nur landeseigene Liegenschaften erfasst. Zudem gibt es in fast allen Ländern verschiedenste Ausnahmeregelungen.

¹ Erneuerbare-Energien-Gesetz (2023), §1 und §4

² Fraunhofer ISE (2022), Aktuelle Fakten zu Photovoltaik in Deutschland, Fraunhofer ISE

³ Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz der Bundesrepublik Deutschland (2022), Erneuerbare Energien

⁴ Fraunhofer ISE (2022), Nettostromerzeugung in Deutschland im Jahr 2021

⁵ Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin (2021), Solarstromausbau für den Klimaschutz

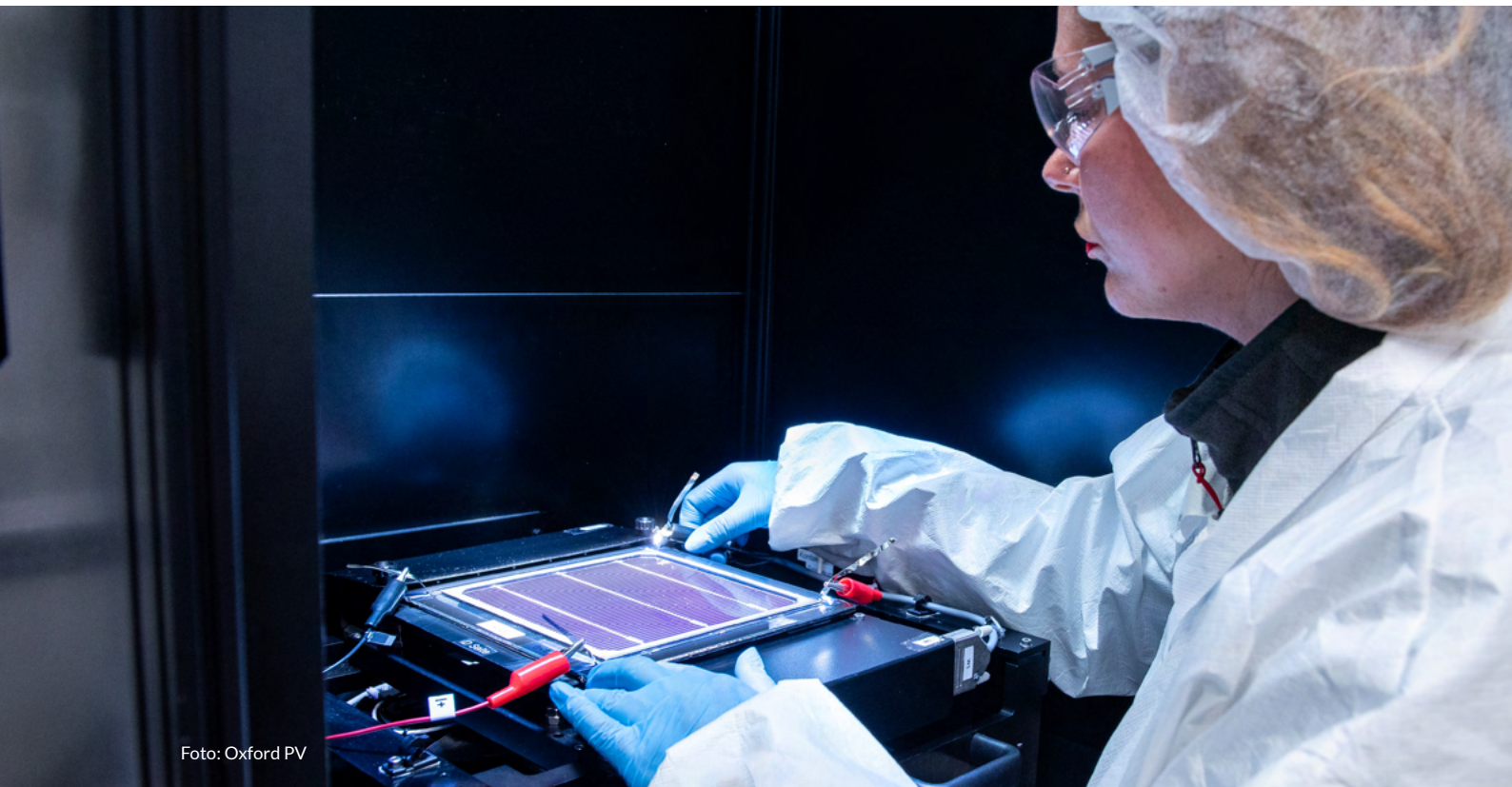


Foto: Oxford PV

2.2 Europäische Union

Auch die Europäische Union (EU) stellt den Ausbau der Solarenergie ins Zentrum des beschleunigten Ausbaus der erneuerbaren Energien, mit dem die anvisierte Senkung der CO₂-Emissionen um 55 Prozent bis zum Jahr 2030 und das **Ziel der Klimaneutralität bis 2050** erreicht werden soll. Nach der derzeit geltenden Gesetzgebung ist die EU verpflichtet, bis 2030 mindestens 32 Prozent ihres Energieverbrauchs aus erneuerbaren Energien zu decken, wobei sich dieser Wert nach der aktuellen Überarbeitung der erneuerbare-Energien-Richtlinie auf 45 Prozent erhöhen könnte.⁶ **Um dies zu erreichen, soll die Solarenergie bis zum Jahr 2030 auf 600 GWp ausgebaut werden und damit auch in der EU den größten Beitrag zur zukünftigen Energieversorgung leisten.** Dafür ist unter anderem geplant, die Genehmigungsverfahren für Solaranlagen deutlich zu beschleunigen. PV-Dachanlagen kommt beim Ausbau eine Schlüsselrolle zu. Sie allein können Schätzungen zufolge knapp ein Viertel des gesamten Strombedarfs der EU decken.⁷ **Aktuell sind jedoch weniger als 10 Prozent der europäischen Dächer mit PV-Anlagen ausgestattet.**⁸

Der REPowerEU-Plan und die „Initiative für Solar-dächer“ der Europäischen Kommission sehen deshalb die Einführung einer Solarnutzungspflicht für neue öffentliche und gewerbliche Gebäude sowie neue Wohngebäude vor.

⁶ Europäisches Parlament (2022), *Parlament unterstützt Förderung der Nutzung erneuerbarer Energien und Energieeinsparungen*

⁷ Europäische Kommission (2022), *EU Solar Energy Strategy*

⁸ Naturschutzbund Deutschland (2022), *Der Naturverträgliche Ausbau der Photovoltaik*, Berlin, p. 5

„PV-Dachanlagen kommt beim Ausbau eine Schlüsselrolle zu. Sie allein können Schätzungen zufolge knapp ein Viertel des gesamten Strombedarfs der EU decken.“

3. Herausforderungen beim Ausbau der Solarenergie

In der Praxis stehen dem Ausbau der Solarenergie allerdings zahlreiche Hürden im Weg. So fehlt es unter anderem an Handwerkern und Installateuren, um die Vielzahl an benötigten Solaranlagen rechtzeitig aufzubauen und in Betrieb zu nehmen. Der **Bedarf an Fachkräften** für Installation, Produktion und Wartung könnte in den kommenden Jahren auf bis zu 250.000 Personalstellen anwachsen.⁹ Ein weiteres Problem ist die steigende **Diskrepanz zwischen dem Ausbau erneuerbarer Energien und dem Ausbau der Stromnetze**. Letzterer wird wiederum durch langwierige Planungs- und Genehmigungsverfahren gebremst.

Zwei der größten Hürden für einen schnellen Ausbau der Solarenergie bestehen jedoch zum einen in der Kombination aus der begrenzten Verfügbarkeit geeigneter Dachflächen und dem begrenzten Wirkungsgrad konventioneller Solarzellen sowie zum anderen in der wachsenden Unberechenbarkeit internationaler Lieferketten, die die sichere Versorgung mit Solarzellen und -modulen gefährden. Klar ist: Nur wenn sowohl ausreichend Flächen als auch ausreichend Solarmodule vorhanden sind, kann der Ausbau der Solarenergie in dem notwendigen Tempo erfolgen und zur Erreichung der Klimaziele beitragen. Diese beiden Punkte werden deshalb in den folgenden Unterkapiteln näher beleuchtet.

3.1 Die Grenzen der herkömmlichen Silizium-Solarzelle

Die ersten kommerziellen Silizium-Solarzellen wurden im Jahr 1954 auf den Markt gebracht. Heute dominiert dieser Zellentyp den weltweiten Photovoltaikmarkt mit einem Anteil von rund 90 Prozent. **Obwohl Material und Technologie im Laufe der Zeit erheblich weiterentwickelt und der Wirkungsgrad kontinuierlich gesteigert werden konnte, ist letzterer mit einem Wert von 20 bis 22 Prozent auf Modulebene jedoch vergleichsweise gering.** Die Nennleistung herkömmlicher Siliziummodule beträgt etwa 200 Watt pro Quadratmeter. Die Forschung betrachtet die Möglichkeiten zur Steigerung des Wirkungsgrads und damit der Effizienz von Siliziummodulen

als nahezu ausgereizt; die Technologie hat ihre physikalischen Grenzen erreicht.¹⁰ Darin liegt ein nicht zu unterschätzendes Problem für den weiteren Ausbau der Solarenergie. Denn obwohl theoretisch genügend Flächen in Deutschland vorhanden sind, – sowohl für Freiflächen – als auch für Dachanlagen, um die genannten Ausbauziele zu erreichen, ist das praktisch nutzbare Potenzial begrenzt. **Unterstellt man einen durchschnittlichen Modulwirkungsgrad von 20 Prozent, liegt das wirtschaftlich-praktische Potenzial der bisher ungenutzten Dachanlagen in Deutschland bei gerade einmal 140 GWp bis zum Jahr 2030¹¹.** Addiert man die bereits bestehenden PV-Anlagen mit einer Gesamtleistung von rund 60 GWp bleibt eine **Lücke von immerhin 15 GWp zur Erreichung der Ausbauziele in Höhe von 215 GWp.** (vorausgesetzt, der weitere Ausbau konzentriert sich auf Dachanlagen).

3.2 Unsichere und CO₂-intensive Lieferketten

Der geplante Ausbau der Solarenergie in den kommenden Jahren und Jahrzehnten erfordert eine entsprechend hohe Verfügbarkeit von Solarzellen und -modulen. Trotz aller Bemühungen um die Wiederbelebung der europäischen und deutschen Solarindustrie ist der Ausbau der Solarenergie nach wie vor massiv von Importen aus Drittländern, insbesondere aus dem asiatischen Raum abhängig. **Mehr als 80 Prozent der gesamten PV-Wertschöpfungskette stehen unter chinesischer Kontrolle.¹² Schließlich hat China seit 2011 das Zehnfache der europäischen Investitionen in neue PV-Produktionskapazitäten getätigt.¹³**

⁹ Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin (2021), *Solarstromausbau für den Klimaschutz*

¹⁰ Fraunhofer ISE (2022), *Aktuelle Fakten zu Photovoltaik in Deutschland*

¹¹ Elektrizitätswerke Schönau (2020), *EEG-Novelle nutzen, Solarenergie stärken*

¹² Internationale Energieagentur (2022), *Special Report on Solar PV Global Supply Chains*

¹³ Internationale Energieagentur (2022), *Special Report on Solar PV Global Supply Chains*

Allein in der ersten Hälfte des Jahres 2022 wurden 41 Milliarden US-Dollar investiert – ein Anstieg von 173 Prozent gegenüber dem Vorjahr.¹⁴

Ausgehend von den sich im Bau befindlichen Produktionskapazitäten könnte Chinas Anteil an der weltweiten Produktion von Polysilizium, Ingot und Wafern, inklusive den Vorprodukte für Solarzellen in den folgenden Jahren Jahren auf fast 95 Prozent steigen.¹⁵

Demgegenüber erreicht die europäische PV-Industrie einen Marktanteil von nur 3 Prozent.¹⁶

Dementsprechend hat die EU in den letzten fünf Jahren 84 Prozent der neu installierten Solarmodule importieren müssen – mit entsprechenden negativen Folgen nicht nur für den CO₂-Fußabdruck der Module, sondern zunehmend auch für die Versorgungssicherheit.¹⁷

3.2.1 Verfügbarkeit von Solarmodulen

In Folge der Covid-19-Pandemie hat die Stabilität und Zuverlässigkeit der weltweiten Lieferketten

spürbar abgenommen. Davon ist auch der Ausbau der Solarenergie in der EU und in Deutschland maßgeblich betroffen. **So mussten im Jahr 2021 etwa 25 Prozent aller Solarprojekte in der EU auf Grund weltweiter Lieferengpässe oder zu hoher Investitionsrisiken verschoben oder gestrichen werden.**

Dieses Problem könnte sich in den kommenden Jahren deutlich verschärfen. Der russische Angriffskrieg auf die Ukraine hat gezeigt, wie gefährlich die Abhängigkeit von einigen wenigen unberechenbaren Lieferanten bei der Versorgung von Rohstoffen, Produktionsmitteln oder Energie ist.

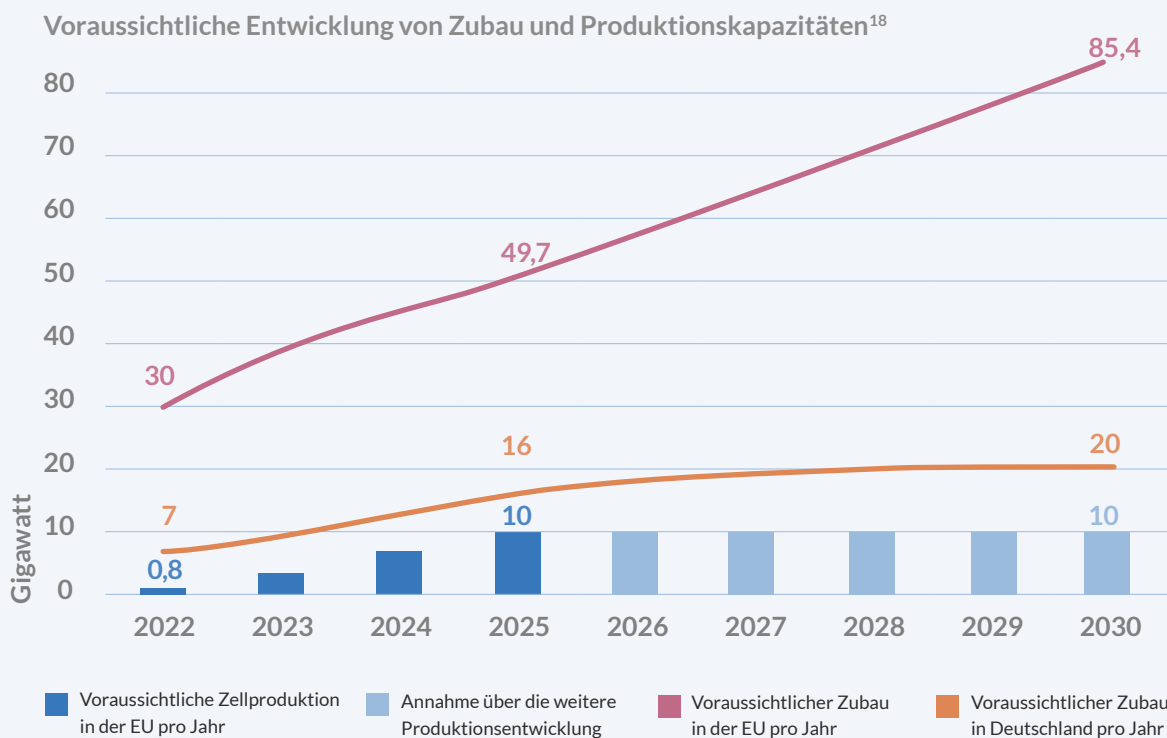
¹⁴ BloombergNEF (2022), 1H 2022 Sustainable Finance Market Outlook

¹⁵ Internationale Energieagentur (2022), Special Report on Solar PV Global Supply Chains

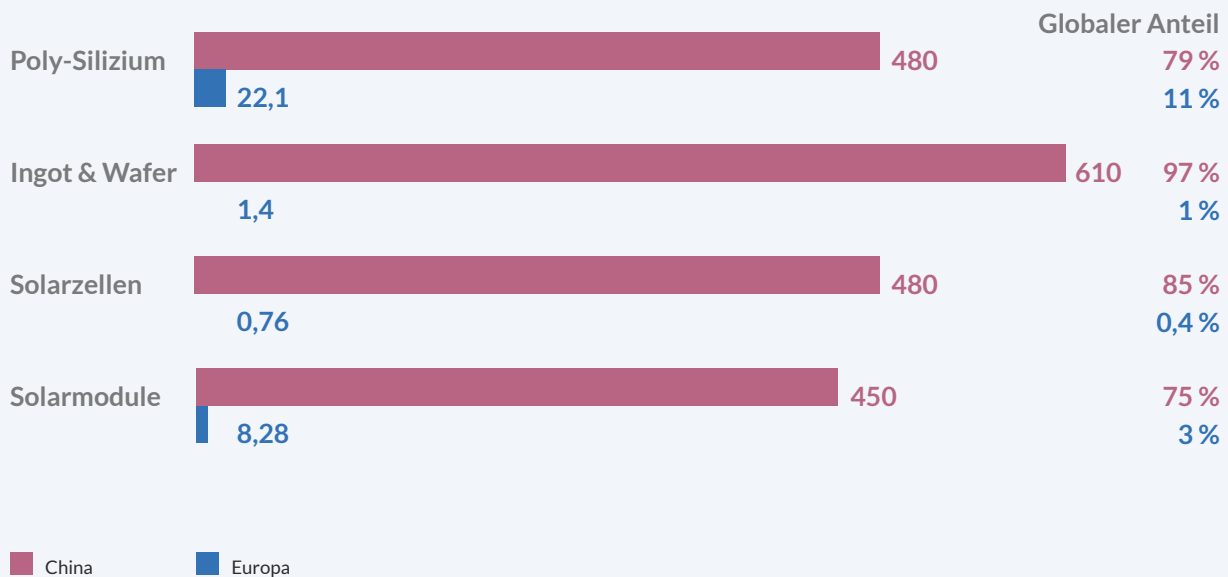
¹⁶ Klimareporter (2022), Abhängig von Chinas Sonne

¹⁷ International Renewable Energy (2022), Renewable Power Generation Costs in 2021, International Renewable Energy Agency

¹⁸ (Grafik): Abbildung in Anlehnung an: Fraunhofer ISE (2022), Photovoltaics Report; SolarPower Europe (2021), EU Market Outlook for Solar Power 2021-2025; Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz der Bundesrepublik Deutschland (2022), Eröffnungsbilanz Klimaschutz



Vergleich der aktuellen Produktionskapazitäten von Solarkomponenten in Europa und China¹⁹



Wenn die EU und Deutschland ihre Energieversorgung in den kommenden Jahren – richtigerweise – zu einem Großteil auf Solarenergie umstellen, begeben sie sich auf gefährliches Terrain, solange bei den dafür notwendigen Rohstoffen und Produkten extreme Abhängigkeiten von Ländern wie China bestehen bleiben.

3.2.2 CO₂-Fußabdruck von Solarmodulen

Im Betrieb setzen Solaranlagen nur in sehr geringem Umfang CO₂ frei. Der Großteil der Lebenszyklusemissionen entfällt auf die Herstellung, gut die Hälfte auf die im Produktionsprozess eingesetzte Energie. Die beim Transport etwa aus China, entstehenden Emissionen liegen dagegen bei gerade einmal 3 Prozent. Dennoch ist der ökologische Fußabdruck von in China hergestellten PV-Modulen im Vergleich hoch, da für deren Herstellung weitgehend Strom aus CO₂-intensiven und umweltschädlichen Kohlekraftwerken verwendet wird. Ganze 40 Prozent der weltweiten Polysiliziumproduktion monopolisieren sich in der chinesischen Provinz Xinjiang, in der Kohle mehr als 75 Prozent

der jährlichen Stromversorgung ausmacht und staatlich subventioniert ist.²⁰ **In der EU hergestellte (Silizium-)PV-Module verursachen demgegenüber etwa 40 Prozent weniger CO₂ als Module chinesischer Produktion.**²¹

Neben ökologischen Standards sind die Arbeitsbedingungen und die Einhaltung von Menschenrechten maßgebend. Im August dieses Jahres hat das UN-Hochkommissariat für Menschenrechte seinen Bericht über Menschenrechtsverletzungen in Xinjiang veröffentlicht. Darin erhebt es schwere Vorwürfe gegen China und spricht von möglichen Verbrechen gegen die Menschlichkeit.²² Bereits im Juni 2021 haben die US-Zollbehörden ein Verbot »Withhold Release Order« für Polysiliziumimporte mehrerer Hersteller aus Xinjiang verhängt.

¹⁹ (Grafik): Abbildung in Anlehnung an: Fraunhofer ISE (2022), Photovoltaics Report; Internationale Energieagentur (2022), Special Report on Solar PV Global Supply Chains

²⁰ Internationale Energieagentur (2022), Special Report on Solar PV Global Supply Chains

²¹ Fraunhofer ISE (2021), Europäische Glas-Glas PV-Module sind besonders klimafreundlich

²² Amnesty International (2022), China: UN-Bericht dokumentiert Hinweise auf Verbrechen gegen die Menschlichkeit in Xinjiang

4. Hocheffiziente Photovoltaik als Schlüssel für eine erfolgreiche Energiewende

4.1 Funktionsweise von Perowskit-auf-Silizium-Tandemzellen

Um die genannten Herausforderungen zu überwinden, braucht es innovative Technologien, mit denen sich deutlich mehr Energie aus der Sonne gewinnen lässt, sowie Produktionsprozesse, die eine zuverlässige und nachhaltige Versorgung mit PV-Modulen für den europäischen und deutschen Markt gewährleisten.

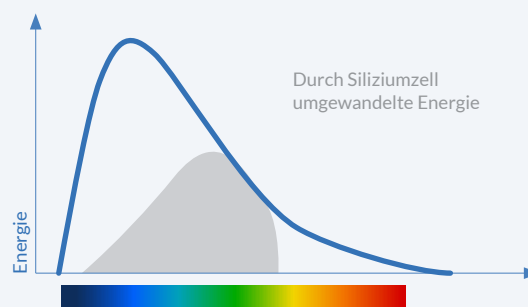
Eine besonders vielversprechende Innovation in diesem Zusammenhang ist die Perowskit-auf-Silizium-Technologie. Dabei wird eine klassische Siliziumzelle mit einer neuartigen Perowskitzelle kombiniert. Das Ergebnis ist eine sogenannte Tandemzelle, die einen mindestens 20 Prozent höheren Wirkungsgrad aufweist.

Die Forschung an der Perowskit-PV begann in den frühen 2010er-Jahren durch eine Gruppe von Wissenschaftlern um Henry Snaith, Physikprofessor an der Oxford University. Heute, etwas mehr als ein Jahrzehnt später, ist Perowskit-PV das weltweit wichtigste Forschungsobjekt im Solarbereich. Institute wie das Helmholtz-Zentrum Berlin und das Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE in Deutschland sind führend auf dem Gebiet und unterstreichen die Rolle Deutschlands als Standort für Spitzenforschung.

„Eine besonders vielversprechende Innovation sind Perowskit-auf-Silizium-Zellen, die mindestens 20 Prozent effizienter als herkömmliche Zellen sind.“

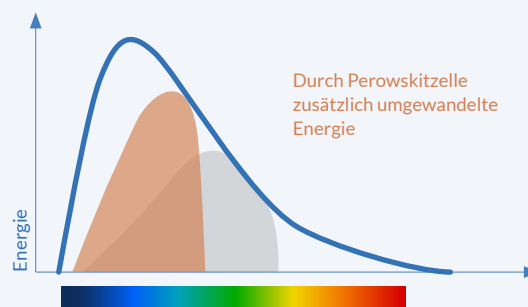
Steigerung des Wirkungsgrads durch Kombination von Silizium- und Perowskitzelle

Konventionelle Siliziumzelle



Faktisch maximaler Wirkungsgrad von 25 % erreicht

Perowskit-auf-Silizium-Tandem-Solarzelle



Wirkungsgrade > 29 % wurden bereits erreicht

Wirkungsgrade > 35 % können in wenigen Jahren erreicht werden

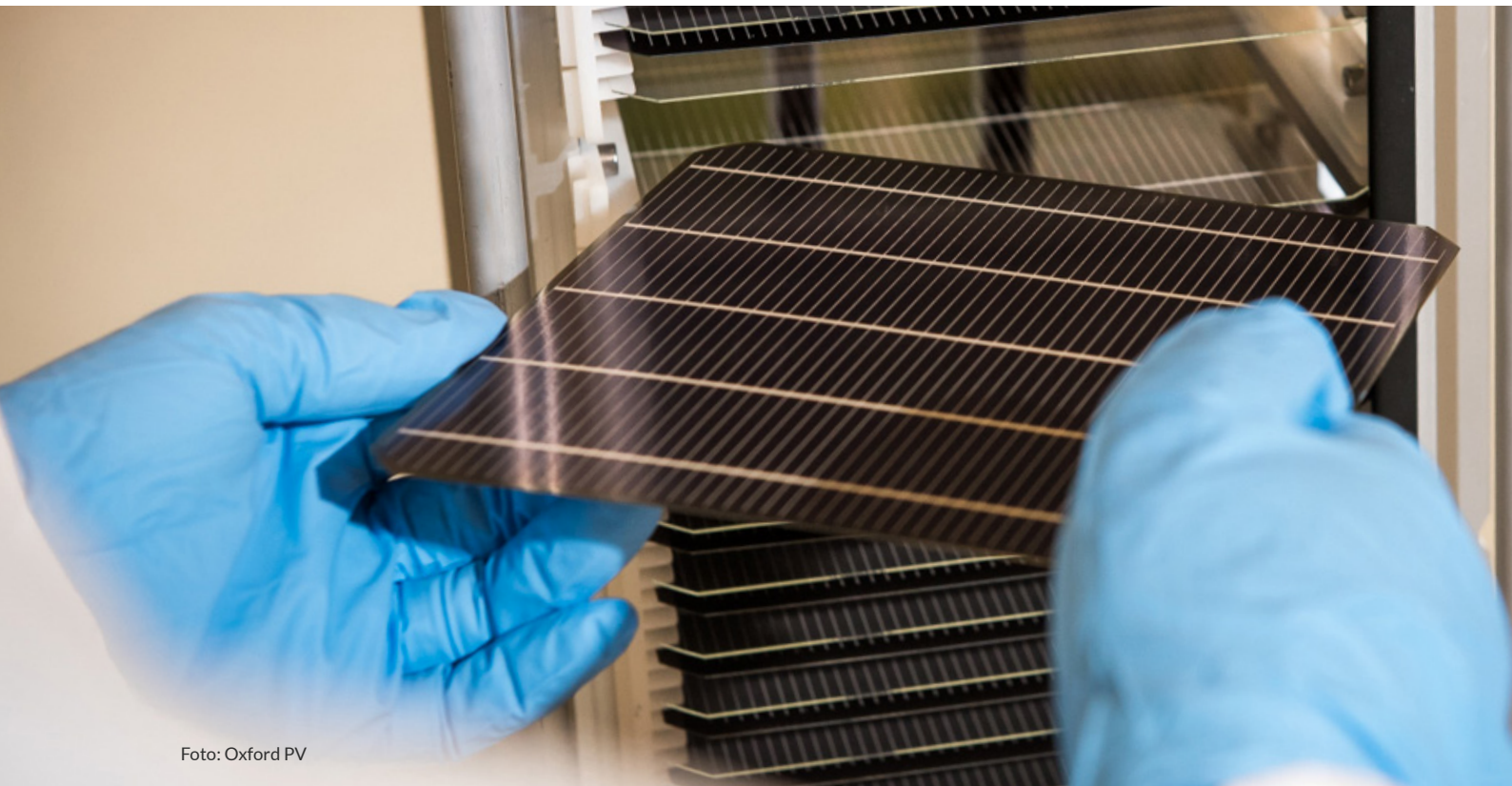


Foto: Oxford PV

Für die Herstellung der Tandemzellen wird auf eine herkömmliche Silizium-Solarzelle eine zweite, sehr dünne Perowskit-Solarzelle aufgebracht. Das Besondere: Die beiden Materialien absorbieren Energie in den jeweils komplementären Bereichen des Sonnenspektrums. **Die Perowskitzelle wandelt die Energie am blauen Ende (kurzwelliges Licht) des Sonnenspektrums um die Siliziumzelle, die Energie am roten Ende (langwelliges Licht).**

Durch die unterschiedlichen Bandlücken der beiden Materialien erweitert sich das Absorptionsspektrum der Tandemzelle, wodurch eine größere Anzahl von Photonen aufgenommen werden kann. **Das Ergebnis ist eine Steigerung des Umwandlungswirkungsgrades auf mehr als 30 Prozent.** Gegenwärtig liegt die Bestmarke bei 32,5 Prozent. Sie wurde im Dezember 2022 vom Helmholtz Zentrum Berlin unter Laborbedingungen aufgestellt. Das Potenzial für weitere Steigerungen des Wirkungsgrades ist hoch. **Die physikalische Grenze liegt bei 43 Prozent und damit deutlich höher als bei reinen Siliziumzellen.**²³

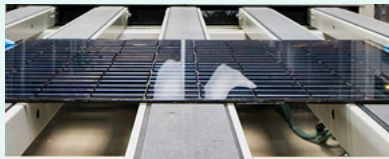
Den aktuellen Weltrekord für den höchsten Wirkungsgrad einer großflächigen Perowskit-auf-Silizium-Tandemzelle hält das Unternehmen Oxford PV mit 26,8 Prozent. Dies hat das Fraunhofer ISE im Mai 2022 bestätigt. Auf Modulebene können für die kommenden Jahre Wirkungsgrade von 24 bis 25 Prozent erwartet werden.

²³ Goldschmidt, J. C., Wagner, L., Pietzacker, R., Friedrich, L. (2021), *Technological learning for resource efficient terawatt scale photovoltaics*, *Energy & Environment* Vol.14 pp. 5147-5160

„Das Ergebnis ist eine Steigerung des Umwandlungswirkungsgrades auf mehr als 30 Prozent. Die physikalische Grenze liegt bei 43 Prozent und damit deutlich höher als bei reinen Siliziumzellen.“

Oxford PV: Spitzentechnologie auf dem Dach

Oxford PV ist Pionier und Technologieführer auf dem Gebiet der Perowskit-Photovoltaik mit über 550 Patenten. Das Unternehmen verfügt über ein umfangreiches Forschungs- und Entwicklungszentrum in Oxford, Großbritannien und über eine Fabrik in Brandenburg an der Havel, in der die weltweit erste Serienproduktionslinie für Perowskit-auf-Silizium-Tandemzellen untergebracht ist. Im Dezember 2020 stellte die Solarzelle von Oxford PV einen neuen zertifizierten Weltrekordwirkungsgrad von 29,52 % auf. Im Jahr 2023 werden die Perowskit-auf-Silizium-Tandemzellen in die kommerzielle Produktion gehen.



20 bis 50 % höhere

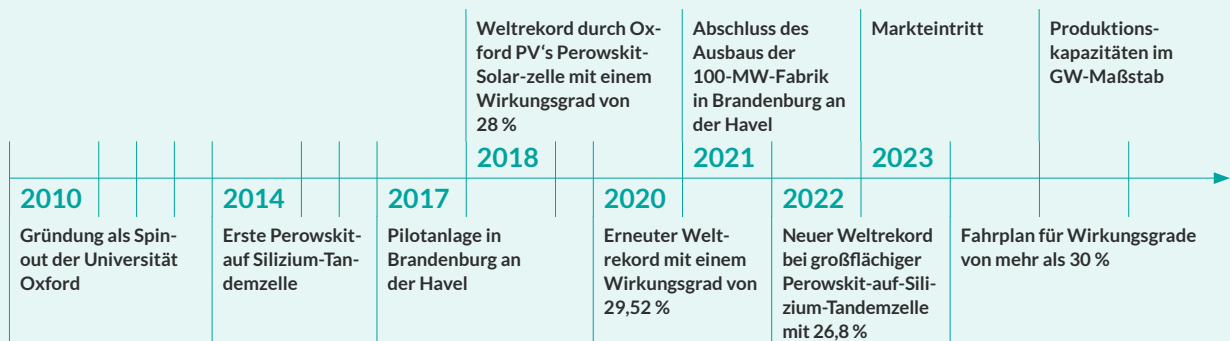
Energieerzeugung dank Umwandlungswirkungsgraden von über 30 %. Theoretische Wirkungsgradgrenze von 43 %

Bis zu 18 % weniger

Umweltauswirkungen im Vergleich zu reinen Siliziummodulen

Weltweit erste

Serienfertigungsanlage für Perowskit-auf-Silizium-Tandem-solarzellen



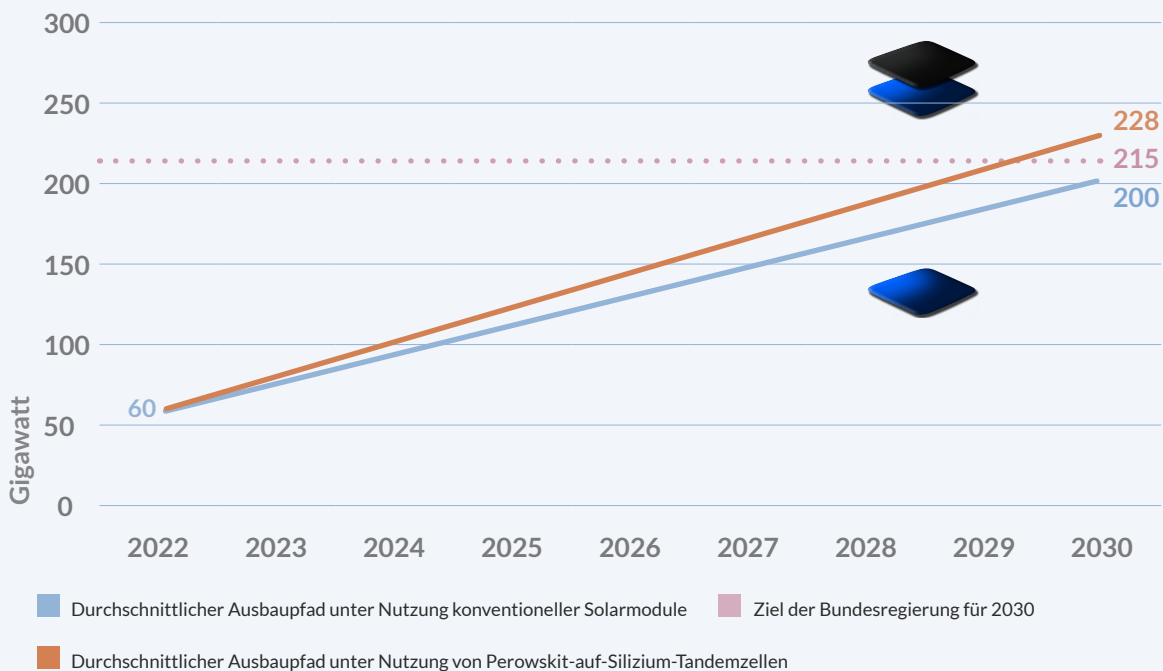
4.2 Schnelleres Erreichen der Ausbauziele

Mithilfe hocheffizienter Perowskit-auf-Silizium-Tandemzellen kann deutlich mehr Sonnenenergie bei gleicher Modulfläche in Strom umgewandelt werden. Legt man einen mittleren Modulwirkungsgrad von 24 Prozent zugrunde, wie er für die kommenden Jahre realistisch ist, steigt das wirtschaftlich-praktische Potenzial zusätzlicher PV-Dachanlagen von 140 GWp (siehe Kapitel 3.1) auf knapp 168 GWp bis 2030. Perowskit-auf-Silizium-Tandemzellen sind also in der Lage, das Problem der Flächenknappheit spürbar zu entschärfen und das Ausbauziel der Bundesregierung

„Mithilfe hocheffizienter Perowskit-auf-Silizium-Tandemzellen könnten vier große Braunkohlekraftwerksblöcke früher vom Netz gehen.“

in Höhe von 215 GWp bis zum Jahr 2030 bereits Anfang des Jahres 2029 zu erreichen (vorausgesetzt, der weitere Ausbau konzentriert sich ausschließlich auf Dachanlagen mit Perowskit-auf-Silizium-Tandemzellen).

Sicherstellung politischer Ausbaupfade mithilfe von Perowskit-auf-Silizium-Tandemzellen²⁵



Im Jahr 2030 könnte die installierte Leistung bereits bei 228 GWp liegen – 28 GWp mehr als bei einem Ausbau mit konventionellen Siliziumzellen, was umgerechnet der Leistung von etwa vier großen, voll ausgelasteten Braunkohlekraftwerksblöcken (3,6 GW) entspricht, die entsprechend früher vom Netz gehen könnten.²⁴

4.3 Resiliente und saubere Produktion

Neben der Entschärfung des Problems der Flächenknappheit und einem schnelleren Erreichen der Ausbauziele kann die Perowskit-auf-Silizium-Technologie auch maßgeblich dazu beitragen, die Verfügbarkeit und den CO₂-Fußabdruck von Solarmodulen zu verbessern. Denn das Know-how und die notwendige Infrastruktur für die Produktion dieser Technologie befinden sich in Europa. Die Standortbedingungen sind ideal. Damit könnten Zellen und Module genau dort hergestellt werden, wo sie für den enormen Markthochlauf benötigt werden – mit entsprechend positiven Auswirkungen auf die Verfügbarkeit und den CO₂-Fußabdruck.

4.3.1 Verfügbarkeit von Solarmodulen

Eine europäische Lieferkette für die Produktion hocheffizienter Perowskit-auf-Silizium-PV verringert die Abhängigkeit von China und stärkt damit die europäische Sicherheitspolitik und Energiesouveränität. Außerdem besteht ein hohes Marktpotenzial innerhalb der EU, insoweit die Photovoltaik im Zentrum des künftigen Energiesystems steht. **Studien legen zudem nahe, dass die Wiederansiedlung der Solarindustrie wettbewerbsfähig ist.** Vorprodukte wie Ingots, Wafer und Zellen können lokal und zu wettbewerbsfähigen Preisen bezogen werden. Zudem können durch die kürzeren Transportwege Kosten von etwa 10 Prozent eingespart werden.²⁶

²⁴ Annahme: Volllaststunden eines Braunkohlekraftwerks in Höhe von 6.650 und von PV-Dachanlagen in Höhe von 850.

²⁵ Grafik - Eigene Berechnungen

²⁶ Fraunhofer ISE (2019), Studie: Comeback der europäischen Solarindustrie ist möglich

4.3.2 Umweltauswirkungen

Die Siliziumlieferkette konzentriert sich in chinesischen Provinzen Xinjiang und Jiangsu mit besonders hoher Kohleverstromung, weswegen der Aufbau einer lokalen PV-Wertschöpfungskette in Kontinentaleuropa die Emissionsintensität um 90 Prozent verringern könnte.²⁷

Perowskit-auf-Silizium-Module benötigen weder den zusätzlichen Einsatz seltener Rohstoffe, deren Verfügbarkeit begrenzt ist, noch sind unberechenbare oder schwer zu kontrollierende Lieferwege erforderlich. Silizium zählt zu den häufigsten Bestandteilen der Erdkruste nach Gewicht und ist kein knapper Rohstoff.

Das stark prognostizierte Wachstum der Photovoltaik kann jedoch nur dann realisiert werden, wenn sich die Modultechnologien unter den Gesichtspunkten der Materialeffizienz und des Altmodulrecycling ständig weiterentwickelt und auf diese Weise Versorgungsengpässe oder Ressourcenbeschränkungen verhindert.

Während die meisten PV-Module durchschnittlich 13 Gramm Blei enthalten, benötigt das Perowskit-Absorbermaterial eine kleine Mehrmenge von 0,6 Gramm Blei als Teil seiner chemischen Zusammensetzung pro PV-Modul, um wesentlich effizienter sein.²⁸ Unabhängige Studien zeigen zudem, dass die Umweltauswirkungen des zusätzlichen Bleibedarfes in einer Lebenszyklusbetrachtung unerheblich sind.²⁹

²⁷ Internationale Energieagentur (2022), *Special Report on Solar PV Global Supply Chains*

²⁸ Tamaro, M., Rimauro, J., Fiandra, V., Salluzzo, A., (2015), *Thermal treatment of waste photovoltaic module for recovery and recycling: Experimental assessment of the presence of metals in the gas emissions and in the ashes*, *Renewable Energy* Vol.81 pp.103-112

²⁹ Roffeis, M.; Kirner, S.; Goldschmidt, J.; Stannowski, B.; Miranda Pérez, L.; Case, C; F. Finkbeiner. "New insights into the environmental performance of perovskite-on-silicon tandem solar cells – a life cycle assessment of industrially manufactured modules," 2022, *Sustainable Energy & Fuels*, 6, 2924-2940

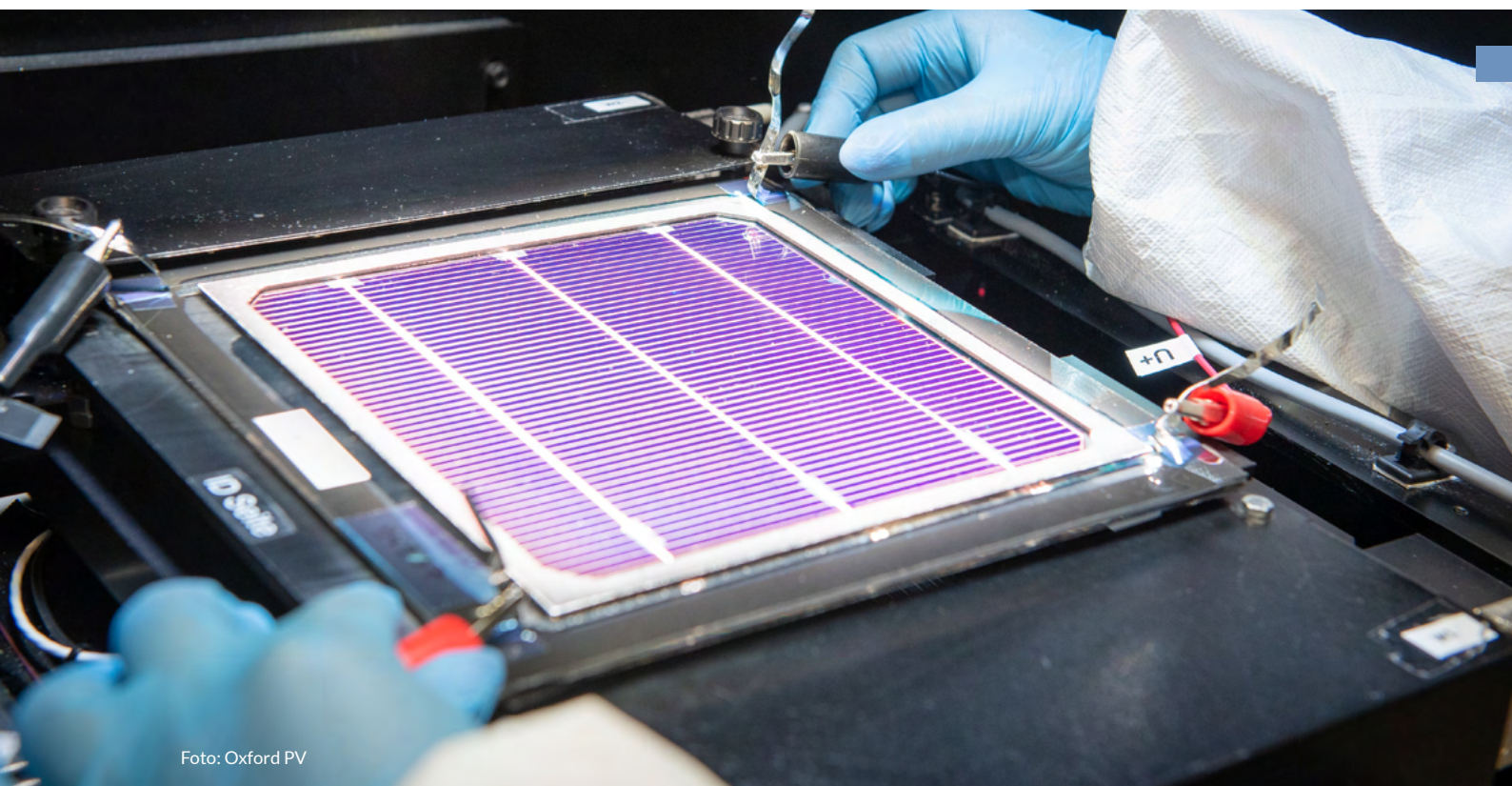


Foto: Oxford PV

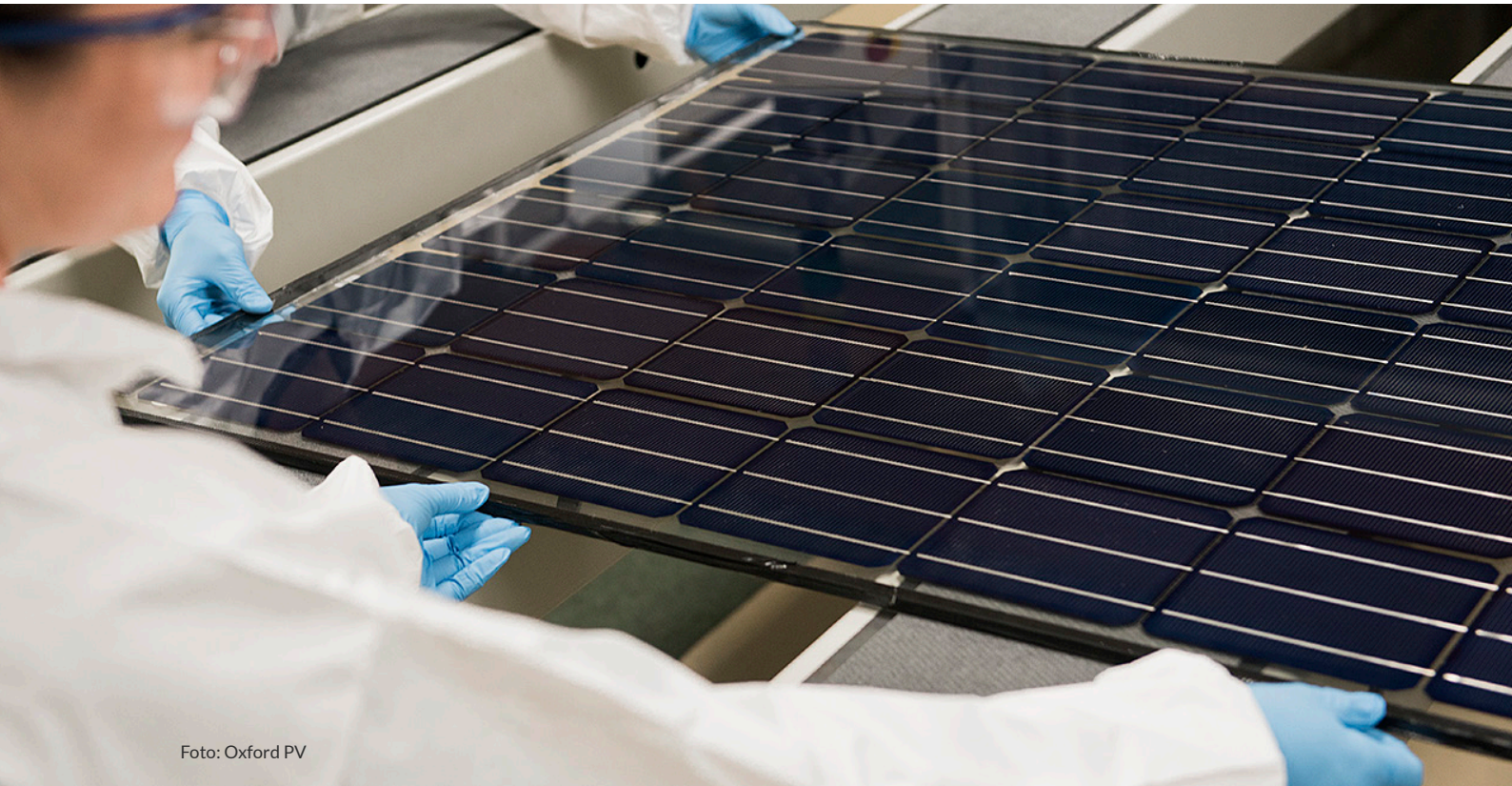


Foto: Oxford PV

Berücksichtigt man etwa die Bereitstellung der zusätzlichen Energie, die während der 25-jährigen Lebensdauer eines Tandemsystems generiert wird, haben Perowskit-Silizium-Module eine um 6 bis 18 % geringere Umweltbelastung als das vergleichbare Standard-Silizium-Modul.³⁰

Schließlich amortisiert die für den Produktionsprozess benötigte Energie bereits nach etwa zwei Betriebsmonaten.

Spitzentechnologien wie Perowskit-auf-Silizium-Tandemzellen, die hohe Wirkungsgrade mit niedrigen Kosten und geringem Ressourcenverbrauch kombinieren, zahlen nicht nur auf die Erreichung der Ausbauziele für Solarenergie ein, sondern auch auf die nachhaltige und resiliente Aufrechterhaltung der künftigen PV-Industrie, indem Ressourcen umweltschonender eingesetzt und potenzielle Engpässe bereits heute vermieden werden.

„Perowskit-auf-Silizium-Module haben eine um 6 bis 18 Prozent geringere Umweltbelastung als herkömmliche Module.“

³⁰Roffeis, M.; Kirner, S.; Goldschmidt, J.; Stannowski, B.; Miranda Pérez, L.; Case, C; F. Finkbeiner. "New insights into the environmental performance of perovskite-on-silicon tandem solar cells – a life cycle assessment of industrially manufactured modules," 2022, Sustainable Energy & Fuels, 6, 2924-2940

5. Politische Handlungsempfehlungen für den verstärkten Einsatz hocheffizienter Photovoltaik

Um das Potenzial hocheffizienter Photovoltaik für die Energiewende und für die Erreichung der Klimaziele zu heben, bedarf es der Umsetzung politischer Maßnahmen - sowohl zur Stärkung des Angebots als auch zur Stärkung der Nachfrage.

5.1 Maßnahmen zur Stärkung des Angebots an hocheffizienten Solarmodulen

Die folgenden Maßnahmen zielen darauf ab, den Aufbau entsprechender Produktionskapazitäten in Europa und Deutschland zu unterstützen, um damit eine sichere Versorgung mit hocheffizienten Solarzellen und -modulen für den weiteren Ausbau der Solarenergie zu garantieren.

- **Gewährung von Steuergutschriften:** Ein besonders wirkungsvolles Instrument zur Förderung von Produktionskapazitäten besteht in der Gewährung von Steuergutschriften für in der EU bzw. in Deutschland produzierte Solarzellen und -module. Der von der US-Regierung umgesetzte Inflation Reduction Act sieht genau solche Steuergutschriften vor und hat damit bereits nach wenigen Wochen Investitionen in deutlichem Umfang ausgelöst.
- **Gewährung von Sonderabschreibungen für Produktionskapazitäten:** Auch die Möglichkeit, Investitionen schneller als üblich abzuschreiben, setzt spürbare Anreize für den Auf- und Ausbau von Produktionskapazitäten, da sie zumindest kurzfristig die Liquidität von Unternehmen erhöht.
- **Bereitstellung staatlicher Kredite und Bürgschaften:** Um Investitionen in Produktionskapazitäten zu erleichtern und zu befördern, sollten zudem staatliche Kredite und Bürgschaften gewährt werden.
- **Vereinfachung von Genehmigungsverfahren:** Die Verfahren zur Genehmigung von Produktionskapazitäten für Solarzellen und andere Solar-komponenten sind zu komplex und langwierig und sollten vereinfacht werden. Hilfreich wären auch von der Bundes- oder einer Landesregierung vorentwickelte Produktionshallen, die bereits über die notwendige Infrastruktur (Strom, Wasser, etc.) verfügen und an Unternehmen für

die Herstellung z.B. von Solarzellen/-komponenten gemietet werden können.

5.2 Maßnahmen zur Stärkung der Nachfrage nach hocheffizienten Solarmodulen

Die folgenden Maßnahmen zielen darauf ab, die Nachfrage nach hocheffizienten Solarmodulen zu stärken, um einerseits sicherzustellen, dass diese beim weiteren Ausbau der Solarenergie bestmöglich zum Einsatz kommen können, und um andererseits das Absatzrisiko für die Hersteller dieser neuen Technologie möglichst gering zu halten.

- **Schaffung von Anreizen für hocheffiziente Solarmodule:** Dort, wo der Ausbau von Solaranlagen gesetzlich gesteuert wird, etwa im Rahmen der Förderung durch das EEG oder die geplante Solarnutzungspflicht auf Bundesebene, sollte ein Anreiz für die Nutzung hocheffizienter Solarmodule gesetzt werden. Im EEG könnte ein solcher Anreiz durch eine zusätzliche finanzielle Förderung (Effizienzbonus) entstehen; bei der Solarnutzungspflicht dadurch, dass Immobilienbesitzer bei der Nutzung hocheffizienter Solarmodule einen größeren Anteil ihrer Dachfläche frei lassen dürften.
- **Einführung von Nachhaltigkeitskriterien:** Ergänzend oder alternativ hierzu könnten im EEG oder in der geplanten Solarnutzungspflicht Nachhaltigkeitskriterien vorgesehen werden. Solarmodule müssten in dem Fall ein Mindestmaß ökologischer Kriterien erfüllen bzw. ein Höchstmaß an CO₂-Emissionen nicht überschreiten, wenn für sie eine Förderung nach dem EEG in Anspruch genommen werden soll. Dies würde in der EU bzw. in Deutschland hergestellten Zellen und Modulen einen Wettbewerbsvorteil verschaffen und damit indirekt auch hocheffiziente Solarmodule befördern.
- **Einführung einer Mindestquote für lokal hergestellte Zellen und Module:** Ebenso könnte im EEG, z.B. im Rahmen der Ausschreibungen für Solaranlagen eine Mindestquote für in der EU bzw. in Deutschland hergestellte Zellen und Module eingeführt werden, was wiederum hocheffizienten Solarmodulen zugute käme.

6. Schlussfolgerungen

Ein schneller und ambitionierter Ausbau der Solar-energie ist entscheidend für das Gelingen der Energiewende und das Erreichen der Klimaziele in Europa. Voraussetzung dafür wiederum ist, dass sich die Regierungen in Europa und Deutschland die besten verfügbaren Technologien zunutze machen und dafür Sorge tragen, dass die für den Ausbau benötigten Photovoltaikzellen, -module und anderen Komponenten sicher und in ausreichender Menge vorhanden sind.

Innovative Technologien wie Perowskit-auf-Silizium-Tandemzellen können dem Ausbau der Solar-energie durch ihren deutlich höheren Wirkungsgrad einen enormen Schub verleihen. Gleichzeitig verfügen Europa und insbesondere Deutschland über hervorragende Ausgangsbedingungen für eine großflächige Produktion eben solcher innovativer Photovoltaik-Technologien.

Richtig ist, dass die Ausbauziele für die Solar-energie ambitioniert sind und deren Erreichung nicht zuletzt vor dem Hintergrund der aktuellen

geopolitischen Lage und deren Auswirkungen auf die weltweiten Lieferketten eine große Herausforderung darstellt. Richtig ist aber auch, dass wir in Europa und Deutschland sowohl über die notwendigen Technologien als auch über die notwendigen Infrastrukturen für deren Skalierung verfügen. Was es braucht, sind einige wenige politische Weichenstellungen, um die Wiederbelebung der europäischen Solarindustrie in Gang zu setzen.

„Die Ausbauziele für Solarenergie sind ambitioniert. Aber Europa und Deutschland verfügen über die notwendigen Technologien und Infrastrukturen für deren Skalierung.“



Foto: Produktionswerk von Oxford PV in Brandenburg an der Havel, Deutschland



Im Auftrag von Oxford PV Germany GmbH

Oxford PV Germany GmbH
Münsterschestr. 23
14772 Brandenburg a. d. Havel