

PV-Produktion in Europa – Aktueller Status

Andreas W. Bett, Jochen Rentsch, Ralf Preu
Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme ISE
Heidenhofstraße 2, 79110 Freiburg, Deutschland
+49 761 45885257
andreas.bett@ise.fraunhofer.de
www.ise.fraunhofer.de

Einführung – Hintergrund

Der Photovoltaikmarkt wächst! In Deutschland wurde im Jahr 2022 nach ersten Angaben PV-Systeme mit einer Nominalleistung von 8 GWp installiert, in Europa über 40 GWp und weltweit sogar über 260 GWp [2]. Damit wurde im Jahr 2022 wieder ein Marktwachstum um circa 40% erzielt. Die Marktperspektiven für die Photovoltaik sind auch für die kommenden Jahre hervorragend. Begründet sind diese Markterwartungen dadurch, dass die Klimaerwärmung weltweit noch stringenter angegangen werden muss, als es in letzten Jahren der Fall war. Das im Jahre 2015, im Rahmen der Pariser Klimakonferenz COP-21 [3] vereinbarte Ziel, die weltweite Temperaturerhöhung entsprechend dem ICPP (Intergovernmental Panel on Climate Change) auf möglichst 1.5°C, aber deutlich unter 2°C zu begrenzen, ist inzwischen nicht mehr absehbar. Neuere Publikationen lassen erwarten, dass Klimakipppunkte bald erreicht werden [4]. Die globale Energiewende muss also noch schneller vorangetrieben werden. In Europa wurde durch den Krieg in der Ukraine zudem sehr deutlich, dass Abhängigkeiten im Energiesektor, wie etwa von russischem Erdgas, gravierend sind bzw. waren und derartige Abhängigkeiten eine Gefahr für die Wirtschaft und den gesellschaftlichen Zusammenhalt darstellen. Zudem kommt Gas als Zwischenlösung beim Übergang der fossil basierten Energiebereitstellung hin zur komplett auf Sonne und Wind basierten Energiebereitstellung nun weniger in Betracht. Die naheliegende Lösung ist folglich, den Ausbau von Windenergieanlagen und Photovoltaik zu beschleunigen.

In der Wissenschaft gibt es seit vielen Jahren Studien, welche mögliche Transformationspfade – auch bei Annahme unterschiedlicher Randbedingungen – simulieren. Hier sei z.B. auf die Studie des Fraunhofer ISE für Deutschland verwiesen [5]. Auch für eine globale Transformation des Energiesystems unter Berücksichtigung aller Sektoren liegen Modellierungsergebnisse vor. Abbildung 1 zeigt ein Ergebnis einer solchen Modellierung nach [6]. Dabei wird deutlich, dass ein gewaltiger Zubau an PV-Kapazitäten notwendig ist. Im Jahr 2022 wurde für den Zubau der Photovoltaik ein Meilenstein erreicht: In Summe war 1 TW PV-Leistung weltweit installiert. In einem CO₂-freien Energiesystem müssen mehr als 60 TW an PV-Kapazität installiert sein. Folglich wird und muss zwingend weiterhin ein starkes Wachstum an PV-Installationen mit über 30 %/a erfolgen, um diesen Bedarf zu sättigen.

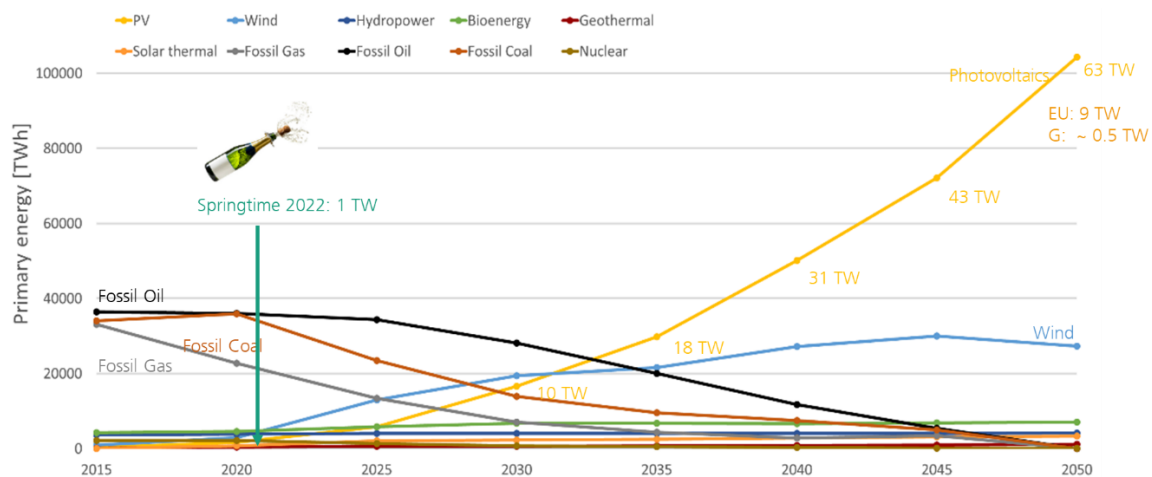


Abbildung 1: Entwicklung des weltweiten Primärenergiebedarfs modelliert für einen Transformationspfad, der bis 2050 zu einer CO₂-freien Energieversorgung führt, nach: D. Bogdanov et al, Energy 227 (2021) [6]; Es erfolgte eine Umrechnung der Energie in PV-Kapazitäten. Demnach werden 63 TW PV weltweit installiert, in Europa werden ca. 9 TW PV installiert und eine Studie des Fraunhofer ISE geht davon aus, dass in Deutschland ca. 500 GW PV installiert sein werden.

Betrachtet man die wissenschaftlichen Studien, stellt sich die Frage wie realistisch sind die Ergebnisse der Studien umsetzbar. Schon in der Vergangenheit wurden derartige Studien veröffentlicht und zeitlichen Vorgaben konnten nicht eingehalten werden. Der PV-Markt ist somit trotz stetigem Wachstum teilweise nicht so umgesetzt worden wie dies zur Erreichung der Klimaziele notwendig gewesen wäre. Ursache dafür sind die gegebenen politischen Rahmenbedingungen, sie spielen eine entscheidende Rolle. Am Beispiel Deutschland lässt sich dies sehr gut demonstrieren. Betrachten wir daher etwas ausführlicher das Setzen von politischen Rahmenbedingungen in Deutschland und deren Auswirkungen auf den PV-Markt. Gehen wir zurück ins Jahr 1991. Dort wurde das Stromeinspeisegesetz derart geändert [7], dass für erneuerbar erzeugten Strom ein Vorrang zur Einspeisung und eine Vergütung festgelegt wurde. Zuvor gab es keine Verpflichtung erneuerbar erzeugten Strom ins Netz aufzunehmen. Damit war ein wichtiger Meilenstein gesetzt und die Entwicklung des netzgekoppelten erneuerbaren Stroms konnte beginnen. Noch war allerdings der durch PV erzeugte Strom zu teuer, bei Modulkosten von ca. 10 €/W, siehe Abbildung 2 [8]. Daher initiierte die Bundesregierung zusätzlich von 1990-1993 das 1000 Dächer Demonstrations-Programm [9]. Direkte Subventionen machten die Installation einer PV-Anlage attraktiv. Das Programm wurde wissenschaftlich begleitet und hatte eine große Wirkung. Installateure und Nutzer wurden geschult. Letztlich war das Programm erfolgreich und im Jahr 1999 wurde als Folgeprojekt das 100.000 Dächer Programm gestartet [10]. Noch immer war PV-Strom teuer, auch wenn die Modulkosten um ca. die Hälfte auf 5 €/W, siehe Abbildung 2, reduziert worden waren. Die eigentliche Revolution für die PV-Entwicklung erfolgte im Jahr 2000. Dort wurde nach Vorbild des Aachener Modells in Deutschland das Einspeisevergütungsgesetz (EEG) eingeführt [11]. Das Besondere bei dieser Art der Förderung ist, dass die Energieeinspeisung für

eine Dauer von 20 Jahre zu einem vereinbarten Preis vergütet wird und somit die Performance der PV-Anlage an Bedeutung gewinnt. Zugleich wurde im Gesetz vorgesehen, dass der vereinbarte Preis für die Einspeisevergütung mit jedem neuen Jahr reduziert wird, um der technologischen Entwicklung Rechnung zu tragen. Das EEG war ein voller Erfolg, da für Investoren eine Rendite möglich wurde. Für Hausbesitzer war dies besonders attraktiv, so dass sich der Markt der Aufdach-PV in Deutschland in Folge sehr gut entwickelte. Aufgrund der nun vorhandenen Nachfrage nach PV-Modulen durch den Markt, entstand ein Anreiz, neben bereits bestehenden noch eher kleinen PV Zell- und Modulherstellern weitere industrielle Fertigung in Deutschland zu etablieren. Als Beispiel sei die Firma Q-Cells genannt, die im Jahr 1999 gegründet wurde [12] und Mitte der 2000er Jahre die Topliste der weltweiten Hersteller anführte. Die Nachfrage nach PV-Modulen in Deutschland und auch Spanien war deutlich größer als die industrielle Fertigung in Europa. Der große Bedarf wurde auch in China erkannt – wie ebenso, dass die PV-Technologie einen großen Markt in der Zukunft haben wird. Die chinesische Regierung hat daher für gute Rahmenbedingungen gesorgt (direkte Subventionen sowohl für Investitionen wie auch Betriebskosten), um die industrielle Entwicklung im PV-Bereich sicher zu stellen. Mitte der 2000er Jahre, als die industrielle PV-Fertigung in China ihren Anfang nahm, wurden die chinesischen Produzenten vielfach mit deutscher Produktionstechnologie beliefert. Die chinesische Regierung hat dann im Laufe der Jahre in ihren jeweiligen Fünf-Jahresplänen die Losung ausgegeben, den PV-Bereich komplett in China abbilden zu können und so wurde die gesamte Lieferkette inclusive der Zulieferkette systematisch in China etabliert.

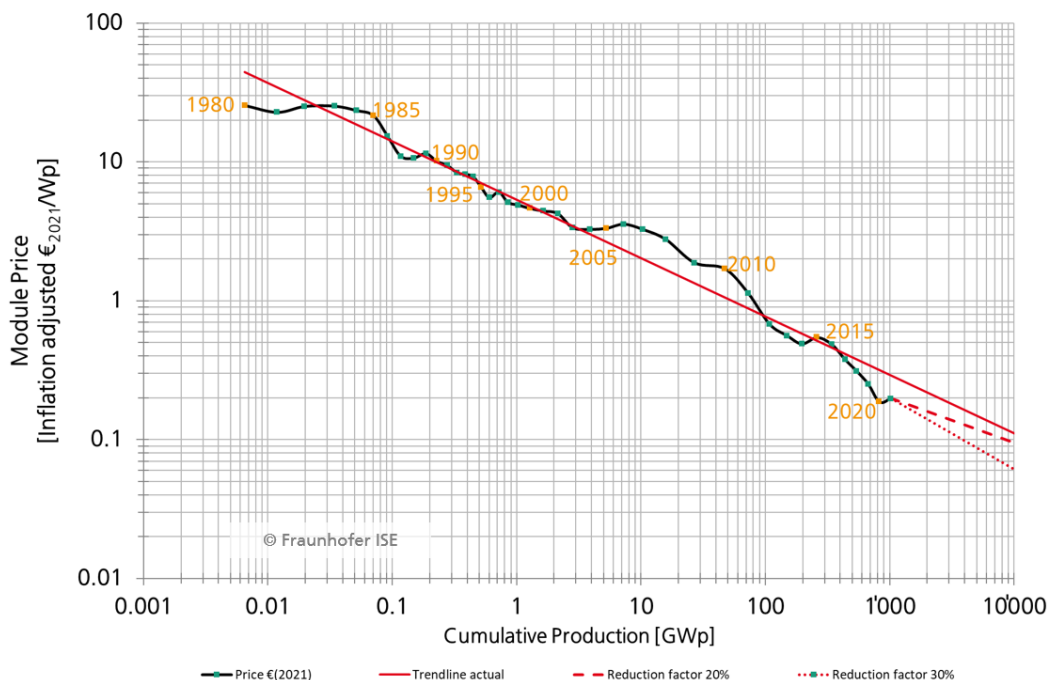


Abbildung 2: Preis-Erfahrungskurve der PV-Module, entnommen aus [8]. Über einen Zeitraum von 40 Jahren wurde bei einer Verdopplung der kumulierten PV-Installation eine Preisreduktion von ca. 25% erzielt. Heutige Modulpreise liegen im Bereich von 0,2 – 0,4 €cent/Wp.

Die Folge war, dass es auch innerhalb von China einen harten Wettbewerb unter den Firmen gab. Etliche der anfangs bekannten Firmen wie Suntech oder LDK sind heute vom Markt verschwunden oder wurden durch den chinesischen Staat übernommen. Dieser Wettbewerb, in Kombination mit technologischen Entwicklungen die vorwiegend aus Europa beigesteuert wurden, hat dazu geführt, dass die PV-Modulpreise kontinuierlich gesunken sind und heute im Bereich zwischen 0,2-0,4 €cent/Wp liegen. In Abbildung 2 ist die Preis-Erfahrungskurve für PV-Module gezeigt. Die niedrigen Modulpreise bedeuten auch niedrige Stromgestehungskosten. In Deutschland können bei Freiflächenanlagen Stromgestehungskosten von ca. 5 €cent/kWh erzielt werden, siehe auch [8]. In sonnenreichen Gegenden sind schon Stromgestehungskosten im Bereich von 1-3 €cent/kWh realisierbar. Durch die politische Flankierung und die technologische Entwicklung ist heute PV-Strom damit unschlagbar günstig. Teurer PV-Strom ist heute eine Mär und durch viele Beispiele widerlegt.

PV Produktion weltweit

Die Entwicklung zu kostengünstigem PV-Strom getriggert durch das EEG ist eine Erfolgsgeschichte. Die Kehrseite dieser sehr positiven Entwicklung ist für Deutschland, dass es im Jahre 2021 keinen Wafer- oder Zellproduzenten mehr gab. Die Produktion ist praktisch komplett nach Asien insbesondere China abgewandert. Abbildung 3 zeigt die nach Ländern bzw Regionen aufgelöste weltweite Produktionskapazitäten entlang der Si-PV-Wertschöpfungsketten aus dem Jahre 2020 [13].

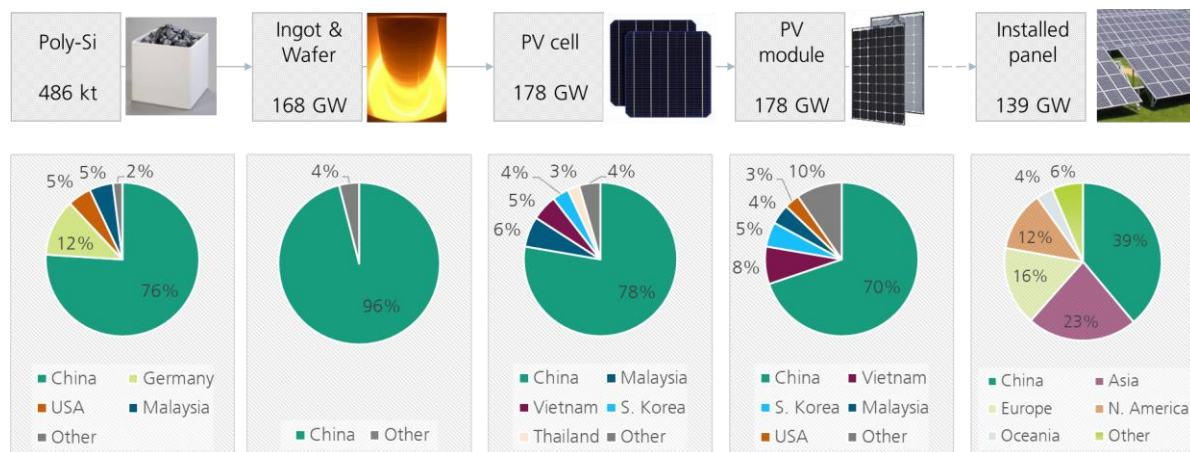


Abbildung 3: Darstellung der Produktionskapazitäten im Jahre 2020 entlang der Silicium-PV-Wertschöpfungskette in Abhängigkeit von Ländern. Daten entnommen aus [13].

Es wird sehr deutlich, dass China den Markt – insbesondere bei Kristallisation, Wafern und Solarzellen – doch sehr deutlich beherrscht. Es besteht ein regionales Monopol,

das eine große Abhängigkeit vom politischen Willen in China zur Folge hat. Die gesamte Energiewende ist zum Misserfolg verdammt, sollte sich die chinesische Regierung entscheiden, die Preise für die PV-Module drastisch zu erhöhen.

Auf diesen Missstand wurde bereits in einem White Paper aus dem Fraunhofer ISE im Jahre 2018 hingewiesen [14]. Allerdings wurde damals das Thema Abhängigkeiten im Energiebereich politisch als nicht so relevant betrachtet. Dies hat sich unter anderem durch den Ukraine-Krieg und der damit spürbaren Abhängigkeit im Gasbereich verändert. Schon zuvor durch die Covid-Krise waren Lieferabhängigkeiten bzw. enorm gestiegene Transportkosten und damit wirtschaftliche Verletzlichkeit spürbar geworden. So kam es bei einigen Komponenten im PV-Bereich, z.B. Halbleiter für die Wechselrichter, zu Lieferengpässen.

Eine nicht zu vernachlässigende Rolle spielt dabei auch die erhöhte Marktnachfrage. So ist wichtig zu erwähnen, dass die im Jahre 2021 neu gewählte Bundesregierung deutlich ehrgeizigere PV-Ausbauziele für Deutschland benannt hat [15]. Bis 2030 sollen in Deutschland nun 215 GW PV installiert sein. Die Vorgängerregierung hatte den PV-Ausbau gebremst – es sei an die Diskussionen zum PV-Deckel in den Jahren 2019 und 2020 erinnert, siehe z.B. [16]. Das politische Zeichen für einen starken PV-Ausbau in Deutschland ist für die Wirtschaft und Investoren von großer Bedeutung. Es schafft Vertrauen in den Markt. Nicht nur Deutschland hat seine PV-Ausbauziele deutlich erhöht, auch in allen Nachbarländern und in der EU allgemein wurden die Ziele für eine schnellere Umsetzung der Energiewende deutlich erhöht. So hat die EU nun das Ziel bis 2050 klimaneutral zu sein und als Zwischenziel für 2030 wird eine Reduktion der Klimagase auf 55% des Referenzwertes aus dem Jahre 1990 angestrebt [17]. Dies wird nur gelingen, wenn es einen massiven PV-Ausbau gibt.

PV Produktion in Europa

Das Fraunhofer ISE sammelt seit einigen Jahren Daten zur PV-Produktion entlang der Si-PV-Wertschöpfungsketten und stellt diese den PV-Stakeholdern im PV-Statusreport zur Verfügung [8]. Abbildung 4 zeigt eine Zusammenfassung der in Europa vorhandenen Produktionskapazitäten mit Stand Oktober 2022. Im Poly-Si Bereich gibt es mit der Firma Wacker noch einen weltweit relevanten Player mit einer Kapazität von umgerechnet etwa 22 GWp/a. Im Bereich der Modulhersteller gibt es eine größere Anzahl vergleichsweise kleiner Anbieter, die zusammen eine nominelle Produktionskapazität von ca. 8,3 GWp/a aufweisen. Bei Siliciumkristallen, Wafern und Zellen sind die Kapazitäten deutlich geringer. Die energieintensive Herstellung von Siliciumkristallen erfolgt aktuell im Wesentlichen in Norwegen mit einer Kapazität von knapp einem GWp/a für kleinere Waferformate bis 166 mm Kantenlänge (in China sind bereits Wafer mit Kantenlänge von 182 bzw. 210 mm zum Standard geworden). Bei der Zellfertigung besteht aktuell die größte Lücke. Die Firma Meyer Burger hat im Jahr 2021 mit der Produktion von Heterojunction Solarzellen und Modulen im ehemaligen Solar Valley in der Nähe von Leipzig begonnen. Eine Kapazität von 400 MWp/a ist vorhanden und soll ab 2023 deutlich auf 3 GWp/a ausgebaut werden. Vergleicht man dazu die 40 GWp PV-Installation im Jahr 2022 in Europa, wird die Abhängigkeit vom Import von PV-Produkten allerdings mehr als deutlich sichtbar.

Muss diese Abhängigkeit vom Import nun neu bewertet werden? Es ist im Jahr 2022 für viele Akteure in Politik und Wirtschaft klar geworden, dass Abhängigkeiten im Energiebereich kritisch zu bewerten sind. In Europa wurde in der Vergangenheit auf „billige“ PV-Module aus China gesetzt ohne auf weitergehende Aspekte wie Abhängigkeiten, CO2-Fußabdruck oder Fertigungsbedingungen zu achten.

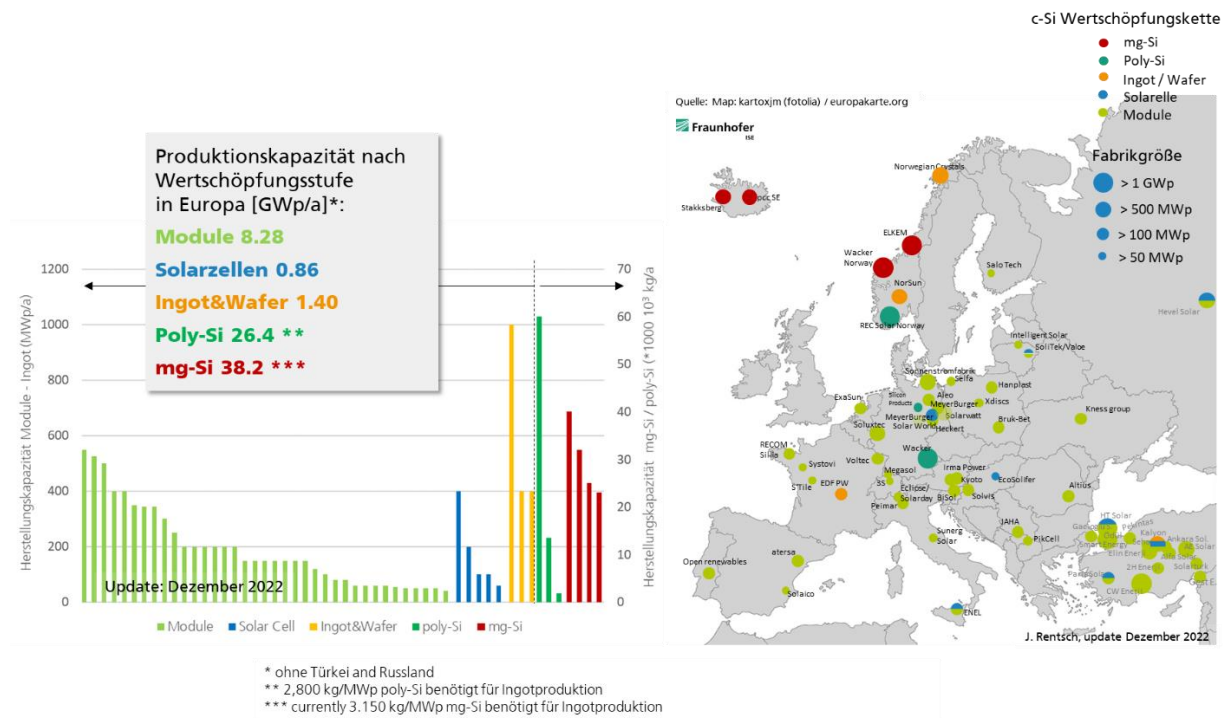


Abbildung 4: Darstellung der Produktionskapazitäten entlang der Silicium-Wertschöpfungskette in Europa. Im linken Diagramm dargestellt die einzelnen Fertigungskapazitäten der einzelnen Hersteller entlang der Wertschöpfungskette sowie die aggregierten Summen (*ohne Russland und Türkei).

Dabei gilt es zu untersuchen, ob die Produktionskosten in China tatsächlich viel günstiger sind und was die Gründe dafür sind. Im Jahre 2019 haben wir eine Bottom-up Studie zu Produktionskosten in China und Europa im Auftrag des VDMA durchgeführt [18]. Die Ergebnisse dieser Kostenstudie, siehe Abbildung 5, zeigen auf, dass die Produktionskosten in Deutschland nur unwesentlich höher als in China liegen – bei gleichen Rahmenbedingungen – und diese höheren Kosten nahezu durch die Transportkosten kompensiert werden können. Grundsätzlich ist somit eine Produktion zu gleichen Kosten auch in Europa möglich.

Kostenvorteile für Europa von 2-3 €cent/Wp würden sich ergeben, wenn die Kosten für CO2-Emissionen während der Produktion mit 100 €/t CO₂ berechnet würden. In China wird aktuell noch ein Strommix verwendet, der stark durch Kohlestrom dominiert ist. Somit ist werden bei der Produktion eines PV-Moduls in China 810 kgCO₂-eg/kWp und in Europa lediglich 480 kgCO₂-eg/kWp emittiert.

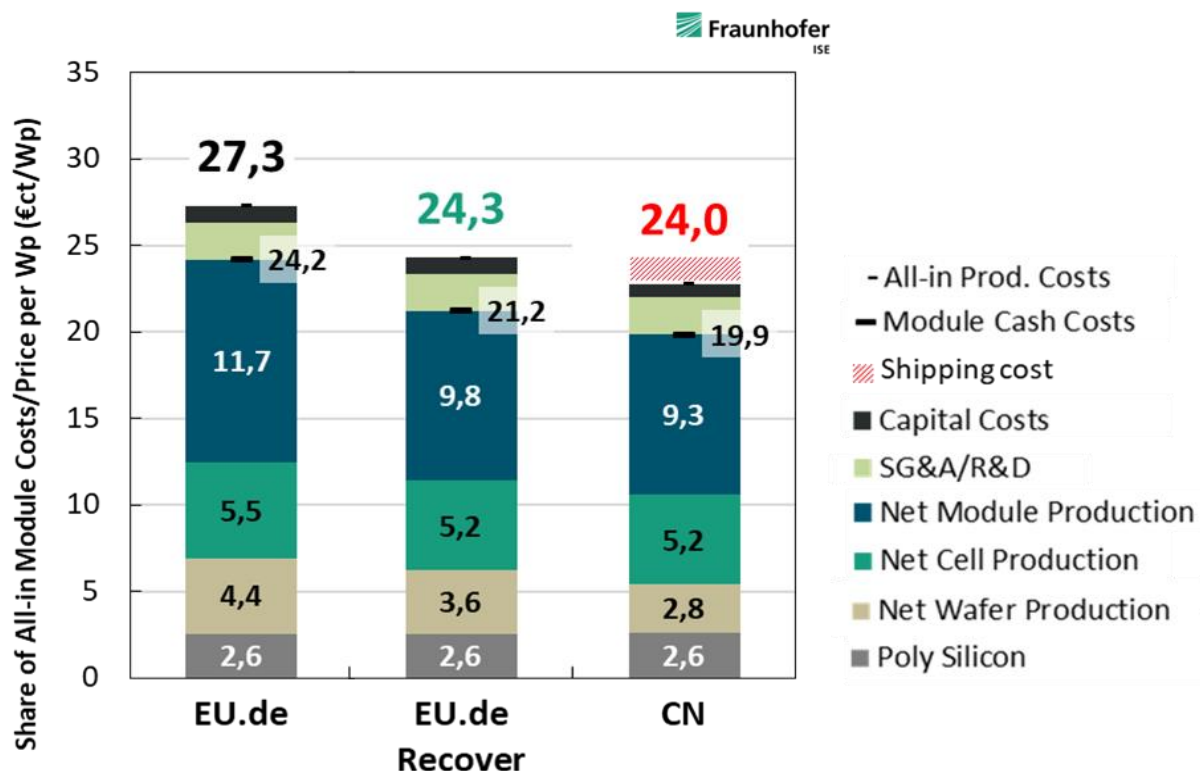


Abbildung 5: Berechnete Produktionskosten für eine voll-integrierte 1 GWp/a PERC Referenzlinie in China und in der EU (ganz rechts und ganz links). Bei der Berechnung des „EU-Recover“ Szenarios wurde eine vollständig intakte Wertschöpfungskette innerhalb der EU angenommen.

Die Studie zeigte auch auf, dass für eine Kostenparität zwischen China und Europa als Produktionsstandort eine initiale Unterstützung notwendig ist, um eine Mindestkapazität von größer 10 GWp/a aufzubauen und so langfristig im globalen Wettbewerb bestehen zu können. Ein rein privatwirtschaftlich getriebenes Vorgehen ist in Anbetracht der Marktdominanz der chinesischen Firmen eine große Herausforderung.

Initiativen für eine Wiederansiedelung der PV Produktion in Europa

Die Notwendigkeit öffentlicher Unterstützung, um das chinesische Monopol bei der Silicium-PV-Produktion zu durchbrechen wurde weltweit erkannt. So unterstützt Indien bereits seit 2021 den Aufbau einer heimischen PV-Produktion durch unterschiedliche Maßnahmen (Production linked Incentive PLI und Importzölle). Im August 2022 wurde nun auch in den USA der Inflation Reduction Act (IRA) durch den Kongress unterzeichnet. Im Rahmen des IRA wird eine massive Unterstützung zum Aufbau der PV-Produktion aber auch des heimischen PV-Marktes gewährt. Kürzlich wurde eine Studie von Mc-Kinsey [19] veröffentlicht, die in Zusammenarbeit mit dem ESCM [21] entstand. In dieser Studie werden die Herausforderungen für eine Wiederansiedelung

einer PV-Produktion diskutiert und es werden die Unterstützungsmaßnahmen unterschiedlicher Länder für die Photovoltaikproduktion zusammengefasst, die in Abbildung 6 gezeigt ist. Abbildung 6 zeigt ebenso wie die Fraunhofer ISE Studie, dass die Produktionskosten ohne jegliche Unterstützung in China zwar günstiger sind als in Europa, aber Transportkosten diese Differenz verringern. Gleichzeitig wird in der Abbildung deutlich, dass es in Europa aktuell fast keine Unterstützung gibt, wohingegen in den USA und Indien und selbst in China öffentliche Unterstützung gewährt wird. Diese Ungleichheit gilt es, für einen fairen industriellen Wettbewerb zu korrigieren.

Impact of incentives on local solar manufacturing cost across the regions, estimates

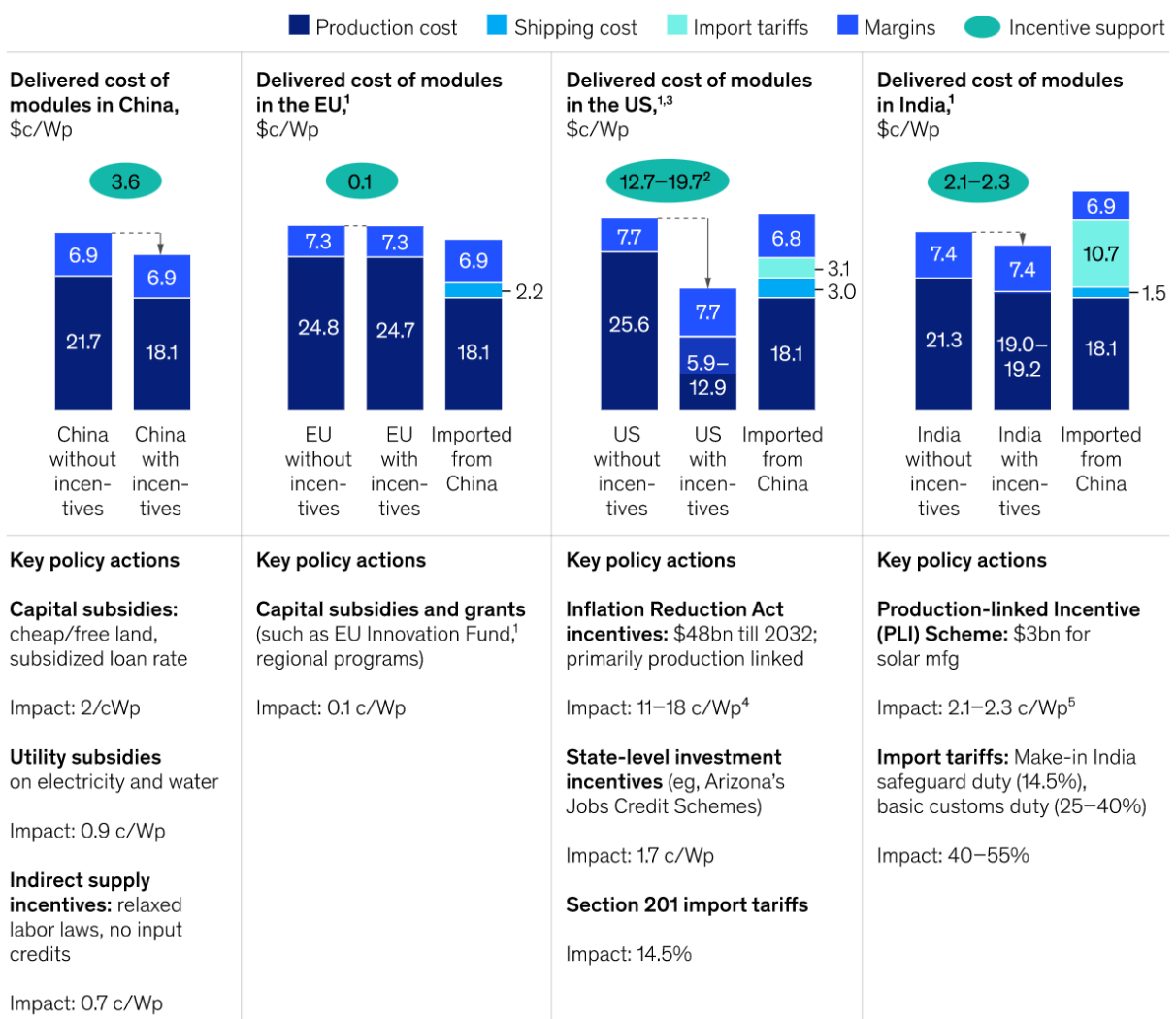


Abbildung 6: Darstellung aus dem McKinsey Report [19]. Gezeigt werden die Produktionskosten in unterschiedlichen Ländern/Regionen im Vergleich mit und ohne Incentives. Im unteren Teil der Grafik werden die wesentlichen Unterstützungsmaßnahmen in den jeweiligen Ländern gelistet.

Im politischen Umfeld in Deutschland und Europa wird die brisante Situation wahrgenommen. Seitens der EU hat Kadri Simson, verantwortliche Kommissarin für Energie, mit Bezug auf die PV-Produktion in Europa formuliert: “We need to bring manufacturing back to Europe, and the Commission is willing to do whatever it takes” [20].

Die Verbände ESCM (European Solar Cell Manufacturing) [21], SPE (Solar Power Europe) [22], ETIP-PV (European Technology & Innovation Platform PV) [23] und KIC-InnoEnergy arbeiten gemeinsam daran, die Rahmenbedingungen für die industrielle PV-Produktion zu verbessern. Im Dezember 2022 fand die High-Level Konferenz zur Gründung der European Solar Industry Alliance statt [24] bei der sowohl Vertreter der EU-Kommission, der Solarverbände, der Finanzwelt und der Industrie ein klares Bekenntnis für den Wiederaufbau der PV-Fertigung in Europa ankündigten. Die eingeforderten Maßnahmen sind vielfältig und reichen von Investitionsunterstützung über gesicherte und international angepasste Energiepreise bis hin zur Absicherung von Finanzierungsbedarfen. Ebenso werden Abnahmevereinbarungen, lokale Produktion, Berücksichtigung des CO₂-Footprints und der (auch sozialen) SDGs (sustainable development goals) der UN bei der Produktion angeführt. Die Politik ist nun gefordert konkrete und umsetzbare Maßnahmen zu realisieren.

Auch in Deutschland wird die Abhängigkeit vom asiatischen Import als kritisch betrachtet. Wirtschaftsminister Habeck hat im April 2022 Stakeholder aus der Erneuerbaren Energien Branche zu einem Dialog eingeladen. Der sogenannte StiPE (Stakeholderdialog industrielle Produktionskapazitäten für die Energiewende) Prozess wurde dort gestartet und im Verlauf des Jahres 2022 durch die DENA moderiert. Ein Abschlussbericht soll in den ersten Monaten im Jahr 2023 vorgelegt werden. Aufbauend auf diesem Bericht sollen dann konkrete politische Maßnahmen abgeleitet werden.

Zusammenfassung und Ausblick

Der PV-Markt wird sich in den kommenden Jahren weiter mit stabil hohen zweistelligen Wachstumsraten präsentieren. Die politischen Ankündigungen zu PV-Ausbauraten in Deutschland, der EU und weltweit sind für Investoren von großer Bedeutung und schaffen das notwendige Vertrauen privates Kapital zur Verfügung zu stellen. Die sehr hohe Abhängigkeit von einem Land bei der Produktion von Komponenten (Wafer, Zelle) entlang der Silicium-PV-Wertschöpfungskette wird politisch nach der Covid-Krise und dem Ukraine-Krieg deutlich wahrgenommen und es gibt eine politische Willensbekundung hier Unterstützung zu leisten. Andere Länder wie die USA und Indien haben hier bereits gehandelt. Für Deutschland und Europa gilt es nun schnell die richtigen Schlüsse zu ziehen und sehr schnell in die Umsetzung zu kommen. Die Voraussetzungen in Europa sind grundsätzlich sehr gut. Studien zeigen, dass die Produktionskosten nicht wesentlich höher sein müssen als in China. Das technologische Know-How ist in den Forschungseinrichtungen und im Maschinenbau auf hohem Niveau vorhanden, muss aber im Hinblick auf die aktuelle Massenproduktionstechnologie ausgebaut werden. Auch für die Zukunft ist Europa

sehr gut aufgestellt. Auch seitens der F&E für die künftige Solarzellengenerationen ist Europa hervorragend positioniert. So stammen die Wirkungsgraderekorde für Zellen und Modulen mit Tandemstrukturen aus europäischen Laboren.

Literatur

- [1] <https://www.solarpowereurope.org/press-releases/new-report-reveals-eu-solar-power-soars-by-almost-50-in-2022> Stand: 28.12.2022
- [2] <https://www.pv-magazine.de/2022/12/22/bnef-erwartet-268-gigawatt-weltweiten-photovoltaik-zubau-2022/> Stand: 28.12.2022
- [3] siehe z.B.: https://de.wikipedia.org/wiki/UN-Klimakonferenz_in_Paris_2015
- [4] Wunderling, N., Winkelmann, R., Rockström, J. et al. Global warming overshoots increase risks of climate tipping cascades in a network model. Nat. Clim. Chang. (2022). <https://doi.org/10.1038/s41558-022-01545-9>
- [5] siehe:
<https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/Fraunhofer-ISE-Studie-Wege-zu-einem-klimaneutralen-Energiesystem.pdf>
- [6] Dmitrii Bogdanov, Manish Ram, Arman Aghahosseini et al. Low-cost renewable electricity as the key driver of the global energy transition towards sustainability, Energy 227 (2021) 120467
- [7] <https://de.wikipedia.org/wiki/Stromeinspeisungsgesetz>
- [8] siehe:
<https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/Photovoltaics-Report.pdf>
- [9] <https://de.wikipedia.org/wiki/1000-D%C3%A4cher-Programm>
- [10] <https://de.wikipedia.org/wiki/100.000-D%C3%A4cher-Programm>
- [11] <https://de.wikipedia.org/wiki/Erneuerbare-Energien-Gesetz>
- [12] https://de.wikipedia.org/wiki/Q_Cells
- [13] IEA „Trends in Photovoltaic Applications“, Report IEA PVPS T1-41: 2021 (ISBN 978-3-907281-28-4)
- [14] update aus 2020:
<https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/ISE-Sustainable-PV-Manufacturing-in-Europe.pdf>
- [15] <https://www.pv-magazine.de/2021/11/24/ampel-koalition-will-photovoltaik-ausbau-auf-200-gigawatt-bis-2030/>
- [16] z.B. <https://www.pv-magazine.de/2019/03/25/der-pv-deckel-muss-weg/>
- [17] <https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/europa/fit-for-55-eu-1942402>
- [18] Jochen Rentsch, Sebastian Nold, Lorenz Friedrich et al, Competitiveness of a European PV manufacturing chain
- [19] Stand 28. Dezember 2022: <https://www.mckinsey.com/industries/electric-power-and-natural-gas/our-insights/building-a-competitive-solar-pv-supply-chain-in-europe?cid=soc-web>

- [20] https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/SPEECH_22_2405
(31.03.2022)
- [21] <https://esmc.solar/>
- [22] <https://www.solarpowereurope.org/>
- [23] <https://etip-pv.eu/>
- [24] siehe: https://single-market-economy.ec.europa.eu/events/european-solar-industry-alliance-high-level-launch-conference-2022-12-09_en