



Bern, 7. Juni 2024

Beiträge der Schweiz an den Aufbau einer europäischen Solarindustrie

Bericht des Bundesrates
in Erfüllung des Postulates 21.3870
Suter, 17. Juni 2021



Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung	3
2	Einleitung	4
2.1	Das Postulat 21.3870	4
2.2	Ausgangslage und Zielsetzung	5
3	Marktentwicklung	5
4	PV-Wertschöpfungs- und Lieferketten	6
5	PV-Industriepolitik in China, USA und Indien	9
6	Wiederaufbau einer europäischen Solarindustrie	10
7	Beiträge aus der Schweiz.....	14
7.1	Überlegungen zu einer vertikal integrierten PV-Produktion in der Schweiz	18
8	Schlussfolgerungen.....	19

1 Zusammenfassung

Wie andere Länder ist die Schweiz zur Umsetzung ihrer energie- und klimapolitischen Ziele auf verlässliche Photovoltaik (PV)-Lieferketten angewiesen. Die Lieferketten sind heute durch eine starke Abhängigkeit von chinesischer Produktion geprägt. Diese nimmt auf allen Stufen der Wertschöpfungskette Anteile von 80 und mehr Prozent ein. Besonders ausgeprägt ist die Abhängigkeit in Europa. Im Jahr 2023 wurden rund 120 Gigawatt (GW) an PV-Modulen aus China importiert, dies bei einem Zubau an installierter Leistung in Europa von etwa 60 GW. In der Konsequenz sind die PV-Preise in Europa im Verlauf des Jahres 2023 auf Rekordtiefen von 15 Eurocents pro Watt und weniger gefallen. Die Herstellungskosten in Europa liegen im Vergleich dazu im Bereich von 30 Eurocents pro Watt. Gemäss Analysen der Internationalen Energieagentur (IEA) sind die Produktionskosten in China rund 35 Prozent tiefer als in Europa, was auch auf tiefere Energiepreise und Lohnkosten zurückzuführen ist. Ohne Subventionen dürfte die PV-Modulproduktion ausserhalb Asiens gemäss IEA derzeit kaum wettbewerbsfähig sein. So ist die europäische PV-Modulproduktion von neun GW im Jahr 2022 auf rund ein GW im Jahr 2023 gesunken.

Seit Einreichung des Postulats wurden in verschiedenen Weltregionen industriepolitische Massnahmen ergriffen, um dieser Abhängigkeit entgegenzuwirken. Besonders ausgeprägt sind diese in den USA mit einem 2022 verabschiedeten Gesetzespaket («Inflation Reduction Act») zur Stärkung der inländischen Industrie im Bereich fossilfreier Energietechnologien. In der EU sind mit dem «Net-Zero Industry Act» ähnliche Bestrebungen im Gange. Dieser sieht bei Technologien, welche für den Wandel des Energiesystems benötigt werden, ein Mindestmass an europäischer Produktion vor. Ein weiteres Beispiel ist die Gründung der europäischen Photovoltaik-Industrie-Allianz, welche eine Produktionskapazität in Europa von 30 GW über die gesamte Wertschöpfungskette bis 2025 anstrebt.

Die Schweiz trägt zu einer effizienten PV-Produktion durch ihre gut aufgestellte Forschungstätigkeit bei. Bis heute erfolgen wichtige PV-Innovationen aus Schweizer Forschung und Entwicklung. Die Schweiz verfügt über grosse Kompetenzen über einen breiten Teil der PV-Wertschöpfungskette. Die Forschung ist stark international vernetzt. Knapp die Hälfte aller öffentlich und kompetitiv vergebenen Fördermittel wird im Rahmen von europäischen Projekten eingesetzt. Die öffentliche Hand in der Schweiz investiert vergleichsweise viel in die PV-Forschung. Für die Innovationsförderung braucht es auch in Zukunft industrielle Partner in der Schweiz oder in Europa, um Forschungsergebnisse umsetzen zu können. Der Beitrag der Schweiz zu Stärkung der Produktion in Europa soll sich insbesondere auf diese indirekte Standortförderung fokussieren.

PV-Module sind mittelfristig für den Ausbau der erneuerbaren Energien relevant. Im Gegensatz zu lebenswichtigen Gütern wie Nahrungs- oder Arzneimitteln müssen sie jedoch nicht zwingend kurzfristig jederzeit verfügbar sein. Ein Auf- oder Ausbau der heimischen PV-Modulproduktion wäre im aktuellen subventionslastigen Umfeld sehr teuer. Zugleich wäre keine relevante Reduktion der Abhängigkeiten zu erwarten. Industriepolitische Massnahmen würden zudem langfristige Abhängigkeiten schaffen, ein hohes Risiko für Fehlallokationen auf Kosten der Steuerzahlenden bergen und zu Mitnahmeeffekten sowie einer Ungleichbehandlung gegenüber anderen Branchen führen. Aus diesen Gründen lehnt der Bundesrat industriepolitische Massnahmen zur Stützung bzw. zum Aufbau einer PV-Industrie in der Schweiz ab.

2 Einleitung

2.1 Das Postulat 21.3870

Das Postulat 21.3870 mit dem Titel «Beteiligung der Schweiz am Aufbau einer europäischen Solarindustrie» wurde am 17. Juni 2021 von Nationalrätin Gabriela Suter eingereicht und am 17. März 2022 vom Nationalrat mit 108 zu 75 Stimmen bei fünf Enthaltungen angenommen.

Eingereichter Text

Der Bundesrat wird beauftragt in einem Bericht aufzuzeigen, wie die Schweiz bisher die Bestrebungen zum Wiederaufbau einer europäischen Photovoltaikindustrie unterstützt hat, wie dies zukünftig noch verstärkt getan werden könnte und welche ökologischen, wirtschaftlichen und sozialen Auswirkungen dies hätte.

Begründung

Bis vor zehn Jahren waren europäische Länder wie Deutschland, Italien und Spanien weltweit die wichtigsten Photovoltaikmärkte. Dies unterstützte auch Forschungs- und Produktionsstandorte auf dem europäischen Kontinent. Der anschliessende durch staatliche Förderung forcierte Aufbau einer Photovoltaikindustrie in der Volksrepublik China führte aber zum weitgehenden Zusammenbruch des europäischen Photovoltaik-Produktionsstandorts und zu einer weltweiten Marktdominanz der chinesischen Modulproduzenten. Der chinesische Staat hat offensichtlich erkannt, dass Photovoltaik eine Schlüsseltechnologie der nächsten Jahrzehnte ist.

Auch in der Schweiz stammen deutlich mehr als die Hälfte der eingesetzten Module aus China. Modulproduzenten aus der Schweiz und der EU sind zudem vom chinesischen Quasi-Monopol auf Polysilizium und Wafers (Siliziumscheiben) betroffen. Diese massive Abhängigkeit ist nicht nur aus Gründen der Versorgungssicherheit bei der wichtigsten Stromquelle der Zukunft problematisch, sondern auch aufgrund der Berichte über Zwangsarbeit in der chinesischen Siliziumindustrie und wegen des Einsatzes von billigem subventioniertem Strom aus Kohlekraftwerken bei der Siliziumherstellung in China.

Mit dem Wiederaufbau einer europäischen Solarindustrie über die gesamte Wertschöpfungskette könnten diese Probleme angegangen werden. Aufgrund der weitgehenden Automatisierung könnte die Herstellung in Europa zu ähnlichen Kosten wie in Fernost erfolgen. Die europäische Union ist diesbezüglich bereits aktiv. Die Schweiz als wichtiger Photovoltaik-Forschungsstandort sollte diese Bestrebungen aktiv unterstützen.

Stellungnahme des Bundesrats vom 18. August 2021

Der Bundesrat erachtet es als sinnvoll, in einem Bericht insbesondere aufzuzeigen, wie der Bund die anwendungsorientierte Forschung bspw. durch Innosuisse und im Bereich der Solarenergie durch die Energieforschung des Bundesamtes für Energie (BFE) fördert. Der nach Annahme des Postulats zu erstellende Bericht des Bundesrates wird nicht auf industriepolitische Interventionen abzielen wie etwa eine Beteiligung an europäischen Initiativen, welche mit Beihilfen spezifische Branchen stärken wollen.

Antrag des Bundesrates

Der Bundesrat beantragt die Annahme des Postulates.

2.2 Ausgangslage und Zielsetzung

Der Photovoltaik (PV) kommt in energiepolitischen Szenarien weltweit eine grosse Bedeutung zu. Als kosteneffiziente Lösung zur Bereitstellung nachhaltiger Energie spielt sie eine wichtige Rolle, um die Dekarbonisierung des Energiesektors anzugehen. In den letzten zwei Jahrzehnten wurden enorme technologische Fortschritte erzielt, womit auch die Herstellungskosten dank eines geringeren Materialeinsatzes, höherer Modulleistungen und Optimierungen in der Lieferkette reduziert wurden.

In der Schweiz existiert bis heute ein grosses Forschungs- und Entwicklungsumfeld im PV-Bereich. Akteure aus Forschung und Industrie gehören in verschiedenen Bereichen zu den weltweit führenden Institutionen. Ein grosser Teil der technologischen Innovation weltweit erfolgt heute im industriellen Umfeld auf grossen Produktionslinien. So werden aktuelle Rekordwirkungsgrade bei verschiedenen Solarzellentechnologien von industriellen Akteuren gehalten. Dies hat zur Folge, dass sich die technologische Forschung in der Schweiz stärker auf die Bereiche konzentriert, wo in der Schweiz und in Europa mögliche Umsetzungspartner existieren. Die öffentliche Hand fördert die PV-Forschung allgemein über einen sehr breiten Themenbereich, dies verhältnismässig stark¹ und konstant.

Der Anteil an nicht-chinesischer Produktion liegt heute über die gesamte Wertschöpfungskette bei wenigen Prozenten². Die Umsetzung globaler PV-Ausbauziele³ ist auf eine widerstandsfähige und diversifizierte Lieferkette angewiesen. Seit der Einreichung des Postulates wurden weltweit in verschiedenen Wirtschaftsregionen Subventionsmassnahmen lanciert, um Abhängigkeiten und Schwächen in der PV-Lieferkette entgegenzuwirken. Der Bundesrat hat bisher auf spezifische Massnahmen zur Senkung der Importabhängigkeit von Gütern zur Stromerzeugung verzichtet⁴. Er hat bereits 2016 einen Bericht zu den aktuellen Entwicklungen und Fördermassnahmen des Bundes in der Photovoltaikforschung und -innovation in der Schweiz verabschiedet.⁵ Im Rahmen des Berichts zum Postulat 22.3405 der SP Fraktion und zum Postulat 23.3543 von Nationalrätin Samira Marti hat er zudem eine Lieferkettenpolitik definiert. Zur Stärkung der Resilienz der Wirtschaft gegenüber Unterbrüchen in den globalen Lieferketten bei nicht-lebenswichtigen Gütern wie PV-Modulen setzt der Bundesrat auf nicht wettbewerbsverzerrende Massnahmen zur Diversifizierung der Bezugsmöglichkeiten für Schweizer Unternehmen. Dazu nutzt er eine breite Palette an aussenwirtschaftspolitischen Massnahmen wie neue Freihandelsabkommen oder den kürzlich in Kraft gesetzten Industriezollabbau.

3 Marktentwicklung

Die global installierte PV-Kapazität hat Anfang 2022 den Wert von einem Terawatt (TW) an Leistung überschritten und lag Ende 2022 bei rund 1,2 TW. Der Anteil der PV an der globalen Stromproduktion liegt damit bei rund sechs Prozent.⁶ Dank Skaleneffekten und insbesondere einer kontinuierlichen Innovation über die gesamte Wertschöpfungskette konnten die Herstellungskosten stark reduziert werden.

Die Modulpreise sind allein in den letzten zehn Jahren um mehr als 80 Prozent gesunken. Die PV ist in verschiedenen Weltregionen zur kostengünstigsten Stromerzeugungstechnologie avanciert. Mit der starken Kostenreduktion bei PV-Modulen steigt der relative Anteil der Kosten für die Systemtechnik und der Nicht-Hardware-Kosten (Kosten für Projektentwicklung, Vertrieb, Genehmigung, Finanzierung u. a.) an den Gestehungskosten von PV-Strom, speziell bei kleinen Anlagen.⁷

¹ 10 Prozent der gesamthaft für die Energieforschung in der Schweiz bereitgestellten Mittel entfallen auf die PV.

² International Energy Agency (IEA) (2022): Solar PV Global Supply Chains. www.iea.org > Reports > Solar PV Global Supply Chains (abgerufen am 21.12.2023)

³ Siehe Ausbauziele in der «Net Zero Roadmap» der IEA: <https://www.iea.org/> -> Reports -> Net Zero Roadmap (abgerufen am 6.5.2024)

⁴ Medienmitteilung vom 23. August 2023 «Bundesrat verzichtet auf Massnahmen zur Senkung der Importabhängigkeit von Gütern zur Stromerzeugung»

⁵ Photovoltaikforschung und -innovation in der Schweiz – aktuelle Entwicklungen und Fördermassnahmen des Bundes. Bericht des Bundesrates in Erfüllung des Postulates 10.3080 Chopard-Acklin

⁶ International Energy Agency (IEA), Photovoltaic Power Systems Programme (2023): *Snapshot of Global PV Markets 2023*. Die Zubauzahlen sind je nach Quelle (IEA, IRENA, BNEF) leicht unterschiedlich.

⁷ Gemäss der Preisbeobachtungsstudie 2022 des BFE beträgt der Kostenanteil der Module bei einer PV-Installation in der Schweiz zwischen 28 Prozent (Leistungskategorie 30-100 kW) und 35 Prozent (Leistungskategorie 100-300 kW).

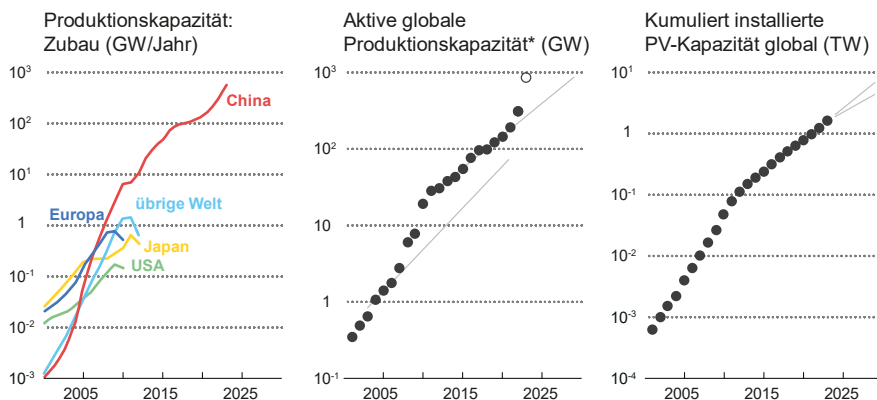


Abbildung 1: Links: Regionaler Zubau an Produktionskapazitäten. Mitte: Aktive Produktionskapazitäten (*nicht notwendigerweise 100 Prozent in Betrieb). Rechts: Global kumulierte PV-Leistung. Die globale Produktionskapazität und die global installierte Leistung ist in der Phase einer geografisch diversifizierten Produktion schneller angewachsen als heute (Quelle: Pietro P. Altermatt, Trina Solar, 2023).

Ende 2022 lag die Produktionskapazität global bei 716 GW. Aktuell ist der PV-Markt geprägt von teilweise grossen Überkapazitäten, die auf verschiedenen Stufen der Wertschöpfungskette unterschiedlich gross sind. Die IEA schätzt, dass 2022 nur rund 400 GW der verfügbaren Produktionskapazität von 716 GW in Betrieb waren und dass ältere und wenig rentable Produktionslinien stillstanden.

4 PV-Wertschöpfungs- und Lieferketten

Bei den weltweiten PV-Märkten und -Lieferketten kommen zwei Haupttechnologien zum Einsatz: (1) Module aus kristallinem Silizium (c-Si), die weit mehr als 95 Prozent der weltweiten Produktion ausmachen, und (2) Dünnschicht-PV-Technologien. Die PV-Wertschöpfungskette (Abbildung 2) teilt sich auf in einen vorgelagerten «upstream»-Teil mit der Produktion der für die Anwendung von PV notwendigen Technologiekomponenten und einen nachgelagerten «downstream»-Anteil, wo die PV-Wertschöpfung lokal bei der Projektierung, Planung und Realisierung von Installationen und der Nutzung von PV-Strom erfolgt. Der in der Schweiz verbleibende Wertschöpfungsanteil liegt bei 38 bis 60 Prozent⁸, wobei für grössere Anlagen eine höhere lokale Wertschöpfung erzielt werden kann. Global liegt der «downstream»-Wertschöpfungsanteil bei rund einem Drittel. 2021 gab es in der Schweiz⁹ etwa 10 000 Vollzeitstellen im PV-Bereich und eine Wertschöpfung von insgesamt 1,13 Milliarden Franken bei einem Markt von 682 MW. Diese Zahlen liegen bei der aktuellen Marktentwicklung heute deutlich höher. Gemäss Angaben der Branchenorganisation Swissolar machen die im Inland produzierten PV-Module rund 12 Prozent der installierten Leistung in MW aus. 2013 betrug der Anteil rund 8 Prozent.¹⁰

Der Herstellungsprozess von kristallinen Silizium-Modulen setzt sich aus verschiedenen Schritten zusammen: Gewinnung und Produktion von Silizium (Polysilizium, Si), Herstellung von Ingots und Wafern sowie Zellen- und Modulfertigung. Als Ausgangsmaterial wird Polysilizium in einer genügenden Reinheit benötigt, welches aus metallurgischem Silizium gewonnen wird. Die hierfür notwendigen Prozessschritte sind relativ energieintensiv und für die hierfür notwendigen Anlagen braucht es die höchsten Investitionskosten in der gesamten PV-Produktionskette. Aus zylinderförmigen Si-Einkristallen (Ingots) werden mit Vielfach-Diamantdrahtsägen dünne Siliziumscheiben (Wafer) gesägt. Die Technologie hierfür wurde in der Schweiz entwickelt. In einer Vielzahl von Prozessschritten (nasschemische Verfahren, thermische Diffusionsprozesse, Vakuumprozesse, Druckprozesse etc.) werden Wafer zu Solarzellen prozessiert, die dann zu PV-Modulen zusammengeschlossen werden.

Auf allen Stufen der Wertschöpfungskette finden kontinuierliche Verbesserungen statt. Ein entscheidender Parameter ist der Wirkungsgrad, da dieser bei fixen Produktionskosten die Gestehungskosten für

⁸ Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften (ZHAW) (2017): *Wertschöpfung von Photovoltaik-Anlagen. Erstellung eines Wertschöpfungsrechners für PV-Anlagen*

⁹ International Energy Agency (IEA), PVPS (2021): *National Survey Report of PV Power Applications in Switzerland*

¹⁰ Swissolar (2023) *Jahresbericht 2013 und Jahresbericht 2022 für die Statistik Sonnenenergie (swissolar.ch)*

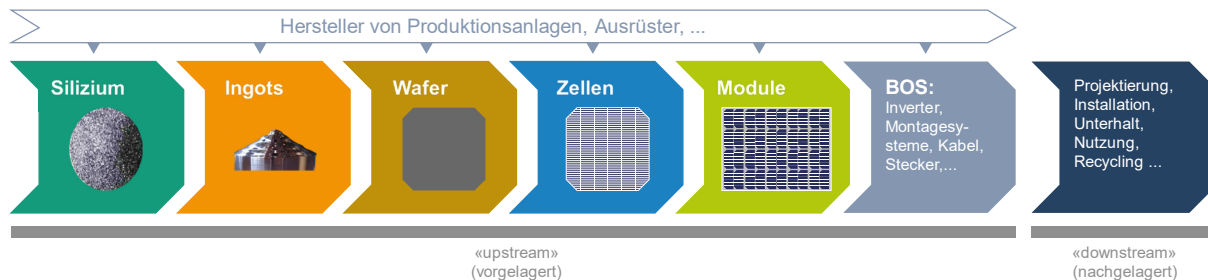


Abbildung 2: PV-Wertschöpfungskette (kristalline Silizium-Technologie)

PV-Strom direkt beeinflusst. In den letzten Dekaden wurde der Wirkungsgrad mit einer jährlichen Steigerung von etwa 0,5 Prozent (absolute Prozentzahlen) kontinuierlich verbessert¹¹, nicht zuletzt durch innovative Arbeiten in Europa und in der Schweiz. Neben dem Wirkungsgrad ist eine weitere Reduzierung des Ressourcenverbrauchs (z. B. Silber) wichtig, da andere Kostenteile eher konstant bleiben.

Für die Fertigung von Solarmodulen sind neben Solarzellen weitere Komponenten notwendig: Gläser, transparente Einbettungsfolien, eine Rückseitenfolie, Aluminium für gerahmte Module, Anschlussdosen und Stecker. Die Produkt- und Leistungsgarantie verbessert sich kontinuierlich und liegt heute bei über zehn Jahren (Produktgarantie) bzw. 25 Jahren (Leistungsgarantie). Die durchschnittliche Effizienz von auf dem Markt erhältlichen PV-Modulen ist in den letzten zehn Jahren von 15 Prozent auf über 20 Prozent gestiegen.

Viele grosse Hersteller von Solarmodulen sind «vertikal integriert», d. h. sie können alle notwendigen Komponenten eines Moduls selbst produzieren, einschliesslich der Produktion von Silizium-Ingots und -Wafern. Kleinere Hersteller sind abhängig von Lieferketten für die Versorgung mit Solarzellen, Glas, Polymerfolien und weiteren Komponenten. Die reinen Materialkosten von PV-Modulen machen geschätzt einen Anteil von 35 bis 50 Prozent an den Gesamtkosten aus, verursacht durch eine relativ geringe Anzahl von Materialien: Polysilizium und Silber haben einen Anteil von etwa zwei Dritteln. Speziell das Silber in PV-Modulen ist ein kritischer Kostenfaktor. In der Schweiz gibt es innovative Ansätze, um den Silberanteil in PV-Modulen zu reduzieren.

In den letzten Jahrzehnten hat sich die weltweite PV-Produktionskapazität von Europa, Japan und den USA nach China verlagert (Abbildung 4). Dieser Umbruch vollzog sich schnell: Chinas Anteil an der weltweiten Produktion erhöhte sich von 14 Prozent im Jahr 2006 auf 60 Prozent im Jahr 2013. Heute liegt der Anteil Chinas auf allen Stufen der Wertschöpfungskette (Polysilizium, Ingots, Wafer, Zellen und Module) bei über 80 Prozent.¹² Besonders ausgeprägt ist die Abhängigkeit bei der Produktion von Ingots und Wafern (97 Prozent). Im Zellenbereich gibt es ausserhalb Asiens kaum nennenswerte Produktion, während bei der Modulfertigung die Produktion geografisch etwas stärker diversifiziert ist.¹³

Der internationale Handel mit PV-Produkten ist in den letzten zehn Jahren um einen Faktor vier angewachsen und erreichte 2021 ein Volumen von 40 Milliarden US-Dollar. Europa, die USA und Indien wiesen 2021 in diesem Bereich zusammen ein Handelsdefizit von mehr als 20 Milliarden US-Dollar aus. Seit 2011 wurden in China aufgrund einer aktiven Industriepolitik mit der Identifizierung der PV als strategischen Sektor über 50 Milliarden US-Dollar in neue Kapazitäten investiert (zehnmal so viel wie in Europa) mit 300 000 neuen Arbeitsplätzen. Dies hat entscheidend zur massiven Kostenreduktion beigetragen. In China und Südostasien hat die PV einen wesentlichen Anteil an der gesamten Handelsbilanz (in China im Bereich von sechs Prozent). Diese hohen Anteile am Aussenhandel Chinas implizieren auch die wirtschaftliche Relevanz von Exportmöglichkeiten von PV-Modulen für China. Der Bereich der

¹¹ Die Wirkungsgrade von Solarzellen in der Industrie liegen heute im Bereich von 22 bis 25 Prozent.

¹² International Energy Agency (IEA) (2022): *Solar PV Global Supply Chains*. www.iea.org > Reports > Solar PV Global Supply Chains (abgerufen am 21. Dezember 2023).

¹³ Weltweit existiert eine Modulproduktion von substanzieller Grösse in 38 verschiedenen Ländern, davon in 19 Ländern mit einer Kapazität von über einem GW. Diese Produktion ist oftmals auf den Bedarf heimischer Märkte ausgerichtet, aber natürlich stark abhängig von der Lieferung von Zellen aus China.

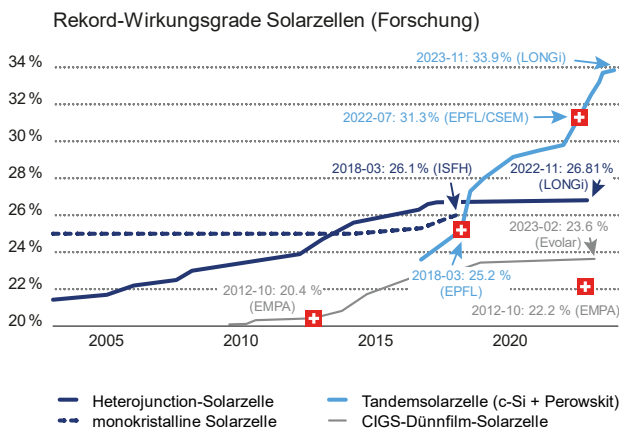


Abbildung 3: Rekord-Wirkungsgrade in der Forschung (Datenquelle: NREL) und Beiträge von Schweizer Forschungsakteuren. Bis eine neue Zelltechnologie industriell umgesetzt ist, dauert es viele Jahre oder mehrere Jahrzehnte.

Fertigungsanlagen für die Produktion von PV-Produkten hat sich ebenfalls stark verändert. 2008 hatten zehn Hersteller in Deutschland, USA, der Schweiz und Japan zusammen einen Marktanteil von 90 Prozent (Abbildung 4). Heute wird dieser Markt gleichfalls von China dominiert.¹⁴

Eine rein geografische Konzentration auf einzelne Länder, Regionen, Produktionsstätten oder Unternehmen macht die Lieferkette anfällig für politische Entscheidungen, Naturkatastrophen, Pandemien, technisches Versagen oder Fehlentscheidungen in einem einzelnen Unternehmen. Umgekehrt erlaubt eine Konzentration auch die Realisierung von Skalen- und Clustereffekten und damit eine kostengünstigere Produktion. Um die klimapolitischen Ziele zu erreichen, muss die PV-Lieferkette parallel zur Nachfrage wachsen. Die Produktion von Polysilizium sollte bis 2030 etwa um einen Faktor drei zunehmen. Auch die Abhängigkeit von einzelnen Ressourcen (Silber) ist ein kritischer Faktor. Für rund einen Drittel der PV-Produktionskapazität besteht ein mittleres oder hohes Konkursrisiko. Handelspolitische Massnahmen stellen ein weiteres Risiko in der PV-Lieferkette dar. In den letzten zehn Jahren wurden global gegen 20 verschiedene Zölle und Einfuhrsteuern errichtet. Neben dem Schutz einer heimischen Industrie sollen damit auch ökologische und soziale Aspekte berücksichtigt werden.¹⁵

Europa ist in besonderem Masse Importeur von PV-Produkten. In den europäischen Lagern stapelten sich 2023 chinesische PV-Module mit einer geschätzten Kapazität von 40 GW, was in etwa der im Jahr 2022 in Gesamteuropa installierten Leistung entspricht, mit einem geschätzten Warenwert von sieben Milliarden Euro. Von 2021 bis 2022 stiegen die Importe von chinesischen PV-Modulen um 112 Prozent auf rund 87 GW. Trotz der grossen Lagerbestände zu Beginn des Jahres 2023 stiegen die Importe im Verlauf des Jahres 2023 weiter an, so dass Ende 2023 geschätzt ein Importrekord von 120 GW erreicht wurde. Dies übertrifft die bis Ende 2023 neu installierte Leistung in Europa um etwa einen Faktor zwei. Das massive Überangebot hat dazu geführt, dass die Preise für PV-Module in Europa im Verlauf des Jahres 2023 im Vergleich zum Jahresbeginn um 40 Prozent und mehr gesunken sind, mit Rekordtiefen von 0,15 US-Dollar pro Watt und weniger.¹⁶

Gemäss dem European Solar Manufacturing Council (ESMC) haben europäische Hersteller 2023 ihre Modulproduktion aufgrund des starken Preiszerfalls heruntergefahren oder gestoppt und die Umsetzung von Projekten zur Erweiterung der Produktionskapazität ausgesetzt.¹⁷ In der Schweiz wurden gemäss der Warenimportstatistik des Bundesamts für Zoll und Grenzschutz (BAZG) 2022 rund 53 Prozent

¹⁴ In jüngster Vergangenheit gab es in der chinesischen Regierungsverwaltung auf Grund von Bestrebungen in den USA und in Europa, eine vertikal integrierte PV-Produktion neu aufzubauen, Überlegungen, den Export von Schlüsseltechnologien zur Herstellung von Wafern zur Produktion von Silizium-Ingots einzuschränken oder ganz zu stoppen.

¹⁵ In den USA wurde 2021 die «Withhold Release Order» auf Si-Produkte des chinesischen Unternehmens Hoshine erlassen. Damit wurde die Einfuhr von Solarmodulen, welche Materialien von Hoshine enthalten, in die USA verboten. Gemäss dem US-Energieministerium hat diese Massnahme die Einfuhr von chinesischen PV-Modulen um 7 GW reduziert (Zahlen 2022). In der EU muss seit 2013 auf aus China eingeführtes Solarglas ein Antidumpingzoll von bis zu 75,4 Prozent und ein Ausgleichszoll von bis zu 17,1 Prozent bezahlt werden, was die Kosten für Hersteller von PV-Modulen in Europa in die Höhe treibt.

¹⁶ Gemäss Angaben des European Solar Manufacturing Council (ESMC) sind die Modulpreise 2023 aus Sicht einer globalen PV-Industrie nicht tragbar und europäische Hersteller könnten bei diesen Preisen ihre Produktionskosten nicht decken. Dies scheint auch bei staatlich geförderten chinesischen Herstellern der Fall zu sein, was aus Analysen von Quartalszahlen in Finanzberichten grosser chinesischer Hersteller hervorgeht.

¹⁷ Von Januar bis August 2023 wurden lediglich 1000 MW an europäischen PV-Modulen produziert, wovon rund 420 MW bedingt durch mangelnde Absatzchancen eingelagert wurden. Die durchschnittliche Produktionsauslastung lag dabei bei rund 35 Prozent.

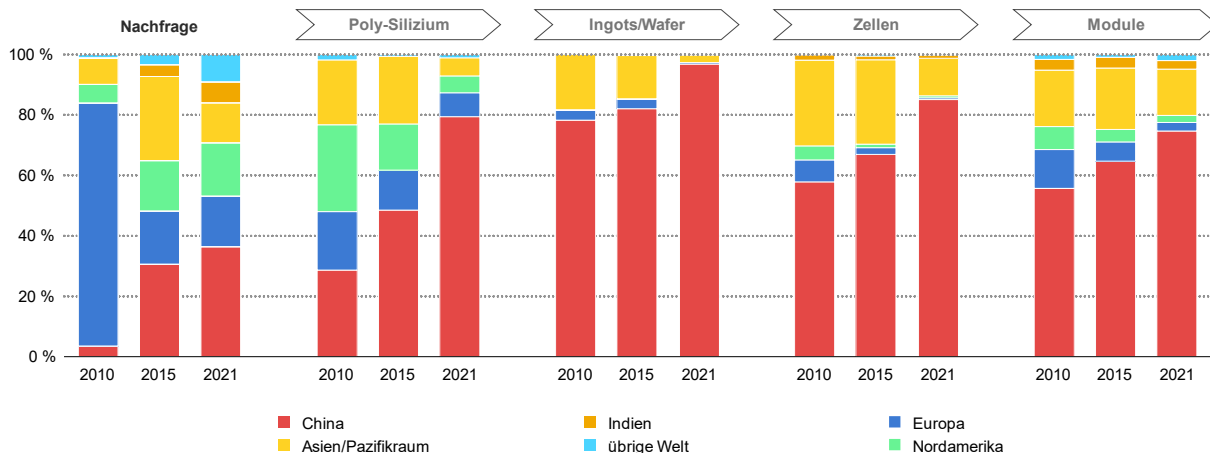


Abbildung 4: Links: Zeitliche Entwicklung der PV-Nachfrage. Rechts: Zeitliche Entwicklung der Lieferketten (Datenquelle: IEA).

der PV-Module aus China importiert. Da für die restlichen importierten Module Zellen, Glas und andere Komponenten auch aus China stammen, besteht in der Schweiz eine ähnlich hohe Abhängigkeit wie im restlichen Europa.

Neben der Abhängigkeit von Endprodukten oder Zwischenprodukten bei einer Modulfertigung in Europa besteht auch eine grosse Abhängigkeit im Bereich von Fertigungsanlagen, bei Teilkomponenten und (Verbrauchs-) Materialien. Schwierig zu beurteilen ist, wie schnell die aktuell hohe Abhängigkeit Europas von der Produktion von PV-Modulen in China reduziert werden kann, falls China handelsbeschränkende Massnahmen ergreifen würde. Zumindest bei wiederholten Lieferkettenproblemen ist davon auszugehen, dass relevante Anreize für Unternehmen bestehen, die PV-Modulproduktion auch ausserhalb Chinas aufzubauen, um von höheren Preisen bei Lieferkettenunterbrüchen zu profitieren.

5 PV-Industriepolitik in China, USA und Indien

Das marktwirtschaftliche Umfeld für die Fertigung von PV-Komponenten hat sich in verschiedenen Weltregionen in den letzten Jahren stark verändert. Heute gibt es grosse strukturelle Unterschiede zwischen China, den USA, Indien und Europa.

2002 wurde in China eine erste Produktionslinie mit einer Kapazität von 10 MW in Betrieb genommen. Ab 2004 wurden erstmals Solarzellen nach Europa exportiert. In diesem Zeitraum war das Entstehen neuer chinesischer PV-Firmen geprägt von Eigeninitiative. Die Unternehmen waren hauptsächlich exportorientiert und profitierten vom subventionierten PV-Zubau in europäischen Ländern. Die Förderung in China war von regionaler Natur. Nach der globalen Finanzkrise 2008 war die exportabhängige PV-Industrie in China mit einem grossen Rückgang der Nachfrage aus Übersee konfrontiert und die chinesische Zentralregierung begann, die PV-Industrie in einem strategischen Ansatz mit der Schaffung inländischer Solarmärkte zu unterstützen. Im 12. Fünfjahresplan (2011-2015) wurde die Entwicklung der PV-Industrie als strategisches Ziel festgelegt. Ab 2012 war der inländische Markt in China erstmals so gross geworden, dass weniger PV exportiert als in China selbst benötigt wurde. Ab 2015 wurde versucht, die Subventionen zurückzufahren und die Herausforderung grosser Überkapazitäten besser in den Griff zu bekommen. Auch hat die Zentralregierung mit Initiativen wie dem «Top-Runner-Programm» stark auf die Förderung innovativer Technologien gesetzt. Chinesische PV-Firmen zeichneten sich dadurch aus, dass sie neue Zelltechnologien in die Massenproduktion brachten.

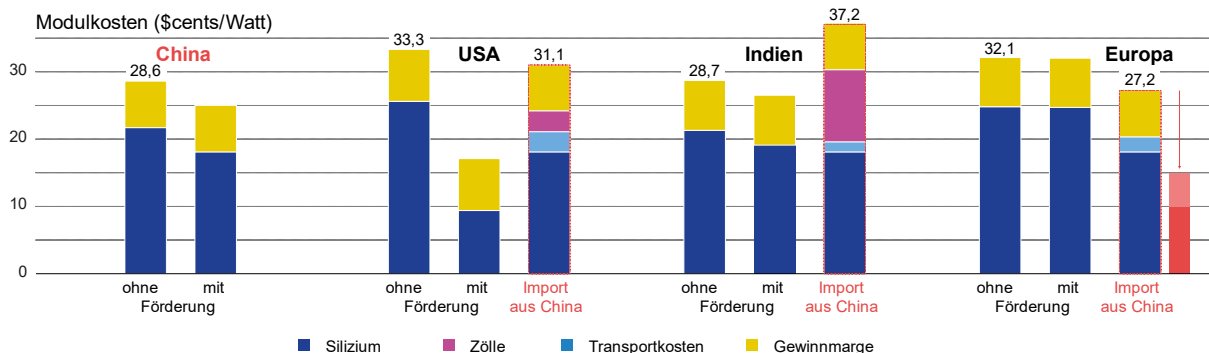


Abbildung 5: Kosten für PV-Module ohne und mit staatlicher Förderung (Grafik nach: McKinsey & Company 2022). Die Preise für PV-Module in Europa sind seit Sommer 2023 drastisch gefallen auf 15 Eurocents pro Watt und weniger (rote Säule).

Mit dem 2022 durch den US-Kongress beschlossenen «Inflation Reduction Act» (IRA)¹⁸ wurde in kürzester Zeit in den USA ein Umfeld geschaffen, in dem womöglich die tiefsten Produktionskosten für PV weltweit existieren. Die direkten Subventionen von PV-Produktion in den USA bis ins Jahr 2030 liegen in der Grössenordnung von 0,12 bis 0,2 US-Dollar pro Watt und decken einen grossen Teil der Produktionskosten. Parallel wurden neue Importzölle für Solarzellen und -module aus chinesischer Produktion erlassen. Zusätzlich bestehen bereits Importverbote für chinesische Produkte, die aus mutmasslicher Zwangsarbeit stammen. Wichtig im IRA ist der langfristige Steueranreiz für in den USA hergestellte Komponenten, der als wichtiger Motor für die inländische Produktion dient. Gemäss Angaben der US-amerikanischen Solarindustrievereinigung SEIA wurden innerhalb eines Jahres nach Einführung des IRA 155 GW and neuer PV-Produktionskapazität angekündigt.¹⁹ Prognosen gehen davon aus, dass der IRA zu einem um 48 Prozent stärkeren PV-Zubau in den USA im Vergleich zu einer Situation ohne IRA führen wird.

Indiens Regierung hat die Sicherheit der PV-Lieferkette in den letzten Jahren zu einer wichtigen politischen Priorität gemacht, um eine übermässige Abhängigkeit von chinesischer Produktion zu verringern und inländische Investitionen und Beschäftigungsmöglichkeiten zu fördern.²⁰ Indien setzt auf Importzölle und gestaffelte Ausschreibungen, die einer heimischen Produktion den Vorrang geben. Seit 2022 existieren Importzölle von 40 Prozent für PV-Module und 25 Prozent für Solarzellen. Weiter unterstützt die indische Regierung den Aufbau heimischer Produktion mit einem milliardenschweren Subventionsprogramm.²¹

6 Wiederaufbau einer europäischen Solarindustrie

Der European Solar Manufacturing Council (ESMC) schätzt die Jahresproduktionskapazitäten in Europa für 2022 auf 23 GW für Polysilizium, 1,7 GW für Ingots und Wafer, 1,4 GW für Zellen und 9,4 GW für Module. Im Bereich von Wechselrichtern ist die Produktionskapazität mit fast 70 GW grösser.

Die Produktionskosten für ein in Europa gefertigtes PV-Modul bei einer voll integrierten Produktion liegen bei rund 26 Eurocents pro Watt.²² Mit neuen innovativen Technologien wie vollständig rückseitig kontak-

¹⁸ Der Inflation Reduction Act (IRA) von 2022 ist eines von drei seit 2021 verabschiedeten US-Gesetzen, die darauf abzielen, die Wettbewerbsfähigkeit der US-Wirtschaft, die Innovation und die industrielle Produktivität zu verbessern. Der IRA stellt fast 400 Milliarden US-Dollar an Bundesmitteln für saubere Energietechnologien zur Verfügung, mit dem Ziel, die Kohlenstoffemissionen der USA bis zum Ende dieses Jahrzehnts deutlich zu senken. Die bereitgestellten Mittel werden durch eine Mischung aus Steueranreizen, Zuschüssen und Kreditbürgschaften bereitgestellt, wobei der grösste Anteil auf Technologien zur fossillfreien Stromerzeugung entfällt.

¹⁹ SolarEnergy Industries Association (SEIA): www.seia.org > Impact of the Inflation Reduction Act

²⁰ Climate Energy Finance (2023): Solar pivot: A massive global solar boom is disrupting energy markets and speeding the transition.

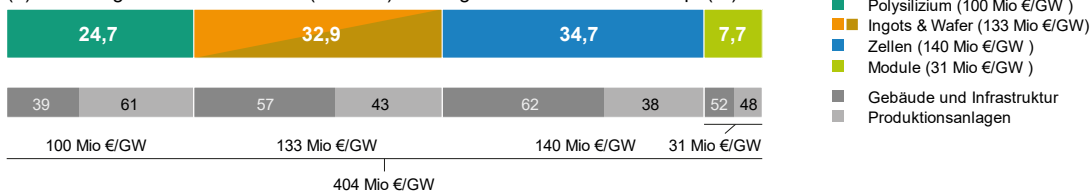
²¹ Bis 2026 sollen Kapazitäten von 38 GW für Polysilizium, 56 GW für Ingot- und Waferproduktion, 59 GW für Zellproduktion und 110 GW für Modulproduktion aufgebaut werden.

²² Zahlen gemäss Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE (bezogen auf heute gängige PERC-Technologie)

(a) Aufteilung **All-In Kosten** für integrierte Produktion in Europa (%)



(b) Aufteilung Investitionsvolumen (**CAPEX**) für integrierte Produktion in Europa(%)



(c) Aufteilung operative Kosten (**OPEX**) für integrierte Produktion in Europa (%)

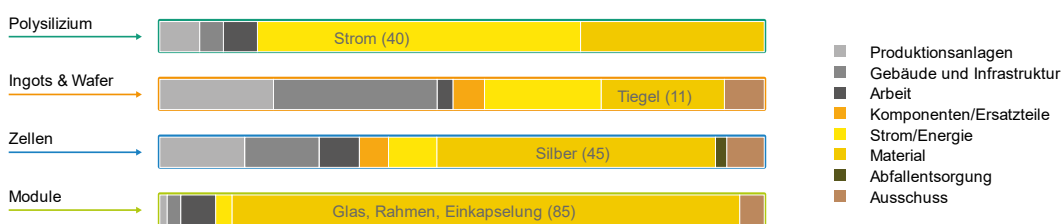


Abbildung 6: Produktionskosten für PV-Produktion in Europa (Datenquelle: A. Bett, Fraunhofer ISE).

tierten Zellen könnten die Kosten noch weiter gesenkt werden (starke Reduktion des Einsatzes von Silber, höhere Effizienzen). Bei den operativen Kosten fallen insbesondere Stromkosten (Polysiliziumproduktion) und Materialkosten auf den weiteren Stufen der Wertschöpfungskette ins Gewicht. Die Kosten für die Arbeit sind dank eines grossen Automatisierungsgrades vergleichsweise gering. Weiter entscheidend für niedrige Produktionskosten ist ein funktionierendes lokales System von Lieferketten und Produktionseinheiten, welche aufeinander abgestimmt sind. Dazu gehört auch ein reger Austausch von Wissen durch eine Fluktuation bei Beschäftigten.²³

Die Emissionsintensität der PV-Herstellung ist in den letzten zehn Jahren um fast 45 Prozent gesunken, insbesondere mit einer verbesserten Materialeffizienz bei der Polysilizium-Produktion. Dank Forschung und Innovation sinken die spezifischen CO₂-Emissionen pro Kilowatt PV-Leistung. Mit einer vertikal integrierten PV-Produktion ausserhalb Chinas liessen sich die mit der Herstellung verbundenen CO₂-Emissionen je nach Standort weiter stark senken. Die mit dem Transport verbundenen CO₂-Emissionen spielen eine geringere Rolle.

Im Vergleich verschiedener erneuerbarer Energietechnologien ist die Photovoltaik sehr beschäftigungsintensiv. Global entstehen die meisten Arbeitsplätze im Zusammenhang mit der Planung und der Installation von Solaranlagen. Arbeitsplätze im produzierenden Bereich sind weniger zahlreich, können aber lokal die wirtschaftliche Entwicklung über die Solarbranche hinaus positiv beeinflussen. Die IEA schätzt, dass 2021 weltweit rund 600 000 Personen im Bereich der Produktion beschäftigt waren. Die Modulproduktion macht einen Anteil von 44 Prozent aus, gefolgt von der Zellenproduktion mit 32 Prozent. Bei einem PV-Ausbau gemäss dem Netto-Null-Szenario der IEA müsste sich die Anzahl Arbeitsstellen im nächsten Jahrzehnt mehr als verdoppeln.²⁴

2022 hat die EU in Folge des Kriegs in der Ukraine den «REPowerEU»-Plan²⁵ lanciert. Damit sollten die Abhängigkeit von russischen fossilen Energielieferungen reduziert und die Transformation hin zu einer sichereren Energieversorgung und zur Erreichung der klimapolitischen Ziele beschleunigt werden. Teil

²³ Die jährliche Fluktuation bei den Beschäftigten in der PV-Produktion in China liegt etwa bei 50 Prozent, im Bereich der Forschung und Entwicklung etwa bei 30 Prozent (Quelle: Pietro Peter Altermatt, Trina Solar, 2023).

²⁴ Je nach Automatisierungsgrad sind mit dem Aufbau von einem GW an vertikal integrierter PV-Produktion 1000 bis 1300 Arbeitsstellen verbunden.

²⁵ Europäische Kommission (2022): REPowerEU: Ein Plan zur raschen Verringerung der Abhängigkeit von fossilen Brennstoffen aus Russland und zur Beschleunigung des ökologischen Wandels.

Tabelle 1: Ankündigungen europäischer Unternehmen zur Skalierung von Produktionskapazitäten in Europa, in der Summe rund 20 GW (Quellen: Fraunhofer ISE, Intersolar Europe 2022, McKinsey & Company 2022). Aufgrund der Situation 2023 auf dem europäischen Markt mit einem starken Preiszerfall hatte die norwegische Firma NorSun angekündigt, die Produktion vorübergehend einzustellen und die Firma Norwegian Crystals musste im August 2023 Insolvenz anmelden.

	Poly-Silizium		Ingots/Wafer		Zellen		Module	
	2022	2025	2022	2025	2022	2025	2022	2025
Globaler Marktanteil (%)	11	12	1	4	<1	4	3	5
Total (GW)	~30		~15 bis 20		~20		~20	
CAPEX (Euro Mio.)	~3000		~2000-2700		~2800		~620	
CAPEX (Euro Mio./GW)	~100		~133		~140		~31	

dieses Plans ist «eine europäische Solarenergiestrategie»²⁶, welche einen starken Ausbau der PV-Stromproduktion (750 GW bis 2030) und eine erhöhte Produktion von PV-Komponenten in Europa beinhaltet. Anfang 2023 hat die Europäische Kommission in Reaktion auf den 2022 lancierten IRA den «Green Deal Industrial Plan» präsentiert. Dieser baut auf dem European Green Deal und der Initiative Repower EU auf und soll die Wettbewerbsfähigkeit der europäischen Industrie über verschiedene Massnahmen stärken. Dazu gehört etwa ein vereinfachtes regulatorisches Umfeld («Net Zero Industry Act»)²⁷. Auch soll der Zugang zu Finanzmitteln für eine Produktion von «Clean Technologies» in Europa verbessert werden.

Mit dem «Temporary Crisis and Transition Framework» (TCTF) besteht ein zeitlich begrenzter Rahmen, um in Ausnahmefällen staatliche Beihilfen zu gewähren. Dazu muss ein reales Risiko bestehen, dass Investitionen aus Europa abgezogen werden. Eine Unterstützung soll gewährt werden können, wenn nachgewiesen werden kann, dass eine gleichwertige Investition in einem Drittland ausserhalb des Europäischen Wirtschaftsraums unterstützt wird. Der europäische «Innovation Fund» dient als Programm zur Demonstration innovativer Technologien auf grosser Skala.²⁸ Weiter dienen die «Important Projects of Common European Interest» (IPCEI) als industriepolitisches Instrument, um private Investitionen in europäischer Zusammenarbeit zu unterstützen, ohne gegen die Regeln des EU-Binnenmarkts und die Richtlinien für staatliche Beihilfen zu verstossen. Bisher wurden IPCEIs im Bereich der Batterie- und Wasserstofftechnologie lanciert. Der European Solar Manufacturing Council (ESMC) hat die Vorbereitungen für ein PV-IPCEI bereits initiiert.²⁹

2022 wurde eine neue europäische PV-Industrie-Allianz angekündigt mit dem Ziel, bis 2025 in Europa eine Produktionskapazität von 30 GW über die gesamte PV-Wertschöpfungskette zu erreichen.³⁰ Die Anzahl Beschäftigter im PV-Industriebereich von heute rund 350 000 soll bis 2030 verdoppelt werden. Im Vergleich zu den globalen Produktionskapazitäten ist die heutige europäische PV-Industrie sehr klein. Die Entwicklungen im Verlauf des Jahres 2023 mit dem massiven Preiszerfall für PV-Module in Europa mit Rekord-Tiefstpreisen stellt die Erreichung dieser Ziele in Frage.³¹

²⁶ Europäische Kommission (2022): Mitteilung der Kommission an das europäische Parlament, den Rat, den europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen. EU-Strategie für Solarenergie.

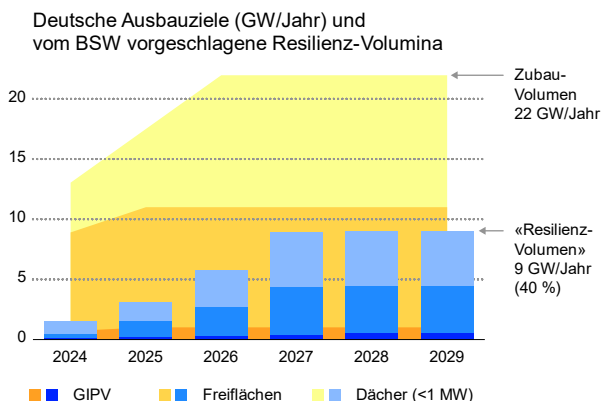
²⁷ Der von der Europäischen Kommission 2023 publizierte Vorschlag für eine Verordnung zur Fertigung von Netto-Null-Technologien (Net Zero Industry Act NZIA) zielt darauf ab, dass in Europa ein substanzieller Anteil an Produktionskapazitäten für Netto-Null-Technologien geschaffen wird, welche zur Erreichung der energie- und klimapolitischen Ziele notwendig sind. Momentan befindet sich dieser Vorschlag im europäischen Gesetzgebungsprozess.

²⁸ Der GW-Ausbau «3Sun» des italienischen Unternehmens ENEL Green Power zur Produktion von bi-fazialen Heterojunction-Modulen wurde beispielsweise aus diesem Fonds mit 118 Millionen Euro gefördert.

²⁹ European Solar Manufacturing Council (ESMC) (2022): *Press release: IPCEI for PV launched in Brussels – EU Member States are invited to join the framework*. May 23, 2022.

³⁰ EU-Pressemitteilung: *Commission kicks off work on a European Solar Photovoltaic Industry Alliance*, 11. Oktober 2022

³¹ SolarPowerEurope (2023): *Record-low solar PV prices risk EU's open strategic autonomy*. <https://www.solarpowereurope.org/> > press-releases (abgerufen am 3. Januar 2024).



Korrekturfaktoren in Resilienz-Auktionen und Vergütungsboni für PV-Anlagen <1 MW pro europäische Stufe in der Wertschöpfung gemäss Vorschlag BSW

	Boni (c€/kWh):	Auktionen (c€/kWh):
Polysilizium	0,48	0,37
Ingot/Wafer	0,51	0,39
Zelle	0,71	0,55
Modul	0,98	0,75
Glas	0,16	0,12
Wechselrichter	0,65	0,12
Gesamt	+3,50	+2,30

Abbildung 7: Vorschlag des deutschen Bundesverbands für Solarwirtschaft (BSW) zur Etablierung von Resilienz-Boni für PV-Anlagen bis 1 MW und Resilienz-Auktionen für grössere Anlagen.

In Deutschland hat das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) 2023 ein Strategiepapier zur «Industriepolitik in der Zeitenwende» publiziert.³² Der Publikation waren Stakeholder-Dialoge zu einer industriepolitischen Strategie für erneuerbare Energien und Stromnetze vorangegangen.³³ Spezifisch zur PV wurden als Handlungsoptionen aufgelistet: (1) Einführung qualitativer Ausschreibungskriterien, (2) Verfügbarkeit von Investitionskapital für neue PV-Produktionskapazitäten, (3) Reduzierung der Energiekosten sowie (4) die Schaffung eines Important Project of Common European Interest (IPCEI) für die PV-Branche auf europäischer Ebene. Bei diesem Stakeholder-Dialog waren auch Schweizer Unternehmen direkt involviert. 2023 hat der deutsche Bundesverband für Solarwirtschaft (BSW) einen konkreten Vorschlag³⁴ präsentiert, wie mittels eines Auktionsverfahren im Rahmen des deutschen Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG) für eine begrenzte Zeit die Mehrkosten beim Einsatz von in Europa produzierter PV-Technologie mittels Resilienz-Boni und -Auktionen kompensiert werden könnten. Für kleinere PV-Anlagen (max. 1 MW) sollen Mehrkosten beim Einsatz europäischer Produkte über einen Bonus zu den regulären EEG-Vergütungen kompensiert werden. Diese Zusatzförderung wäre degressiv ausgestaltet und würde mit geringerem Kostenabstand zu Produkten aus China stetig abnehmen. Für grössere Anlagen (> 1 MW) werden Resilienz-Auktionen vorgeschlagen, welche nur für Projekteingaben mit einem Mindestanteil an europäischer Wertschöpfung offen sein sollen. Gemäss dem BSW würde sich eine solche Herangehensweise zur Unterstützung der europäischen Solarindustrie stark an bestehenden Gesetzen ausrichten und wäre mit europäischem Beihilferecht konform. Auch würden damit die Zielvorgaben des europäischen «Net Zero Industry Act» verfolgt. Die Mehrkosten werden auf maximal 500 Millionen Euro pro Jahr ab 2029 geschätzt.

Unabhängige Schätzungen zu den Mehrkosten für die Konsumenten und Unternehmen für die Beschaffung von europäischen PV-Modulen gegenüber chinesischen PV-Modulen liegen nicht vor. Eine Bevorzugung von PV-Modulen, welche nicht aus China stammen, ist als protektionistisch einzustufen und wäre nicht mit den Grundsätzen der Aussenwirtschaftspolitik der Schweiz vereinbar.

³² Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) (2023): *Industriepolitik in der Zeitenwende. Industriestandort sichern, Wohlstand erneuern, Wirtschaftssicherheit stärken.*

³³ Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) (2023): *Entwurf einer industriepolitischen Strategie für erneuerbare Energien und Stromnetze. Abschlussbericht: Erkenntnisse aus dem Stakeholderdialog industrielle Produktionskapazitäten für die Energiewende (StiPE).*

³⁴ Bundesverband für Solarwirtschaft (BSW) (2023): *Stellungnahme des BSW – Bundesverbandes Solarwirtschaft zur öffentlichen Anhörung des Ausschusses für Klimaschutz und Energie am 15.11.2023 zum Gesetzentwurf zur Umsetzung des Solarpakets I.*

7 Beiträge aus der Schweiz

Aktivitäten in der Schweiz und von Schweizer Unternehmen im In- und Ausland haben bis heute substantiell zur weltweiten Entwicklung der PV beigetragen. Schweizer Unternehmen sind mitverantwortlich, dass heute in Europa eine europäische PV-Industrie weiter existiert und eine Basis vorhanden ist für eine mögliche europäische Skalierung. In der Vergangenheit erfolgte eine Vielzahl von PV-Innovationen auf verschiedenen Stufen der Wertschöpfungskette aus der Schweiz heraus. Diese waren und sind durch eine enge Zusammenarbeit zwischen Industriakteuren und Hochschulen geprägt. Im Bereich der Zell- und Modultechnologie kann die enge Zusammenarbeit zwischen der Eidgenössischen Technischen Hochschule Lausanne (EPFL) am Standort Neuenburg, dem Centre Suisse d'Electronique et de Microtechnique (CSEM) und der Meyer Burger AG hervorgehoben werden. Meyer Burger, die EPFL und das CSEM bilden seit 15 Jahren eine wichtige Forschungs Kooperation, wobei die Meyer Burger AG ein jährliches Budget zur Verfügung stellt. Eine grosse Anzahl an Projekten wurde auch von der öffentlichen Hand (EU, BFE, Innosuisse) mitunterstützt.

Wie im vom Bundesrat 2016 publizierten Bericht «Photovoltaikforschung und -innovation in der Schweiz – aktuelle Entwicklungen und Fördermassnahmen des Bundes» dargestellt, verfügt die Schweiz im Verhältnis zur Landesgrösse über eine hohe Vielfalt an verschiedenen Akteuren in der PV-Forschung. Basis hierfür bilden jahrzehntelange und qualitativ hochstehende Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten, sowohl an Hochschulen als auch in einzelnen Unternehmen, verbunden mit einer kontinuierlicher Projektförderung durch die öffentliche Hand für Aufbau und Erhalt von Kompetenzen. Frühe Erfahrungen mit der Realisierung von Pilot- und Demonstrationsanlagen haben ebenfalls dazu beigetragen, Wissen und Entwicklungen in industrielle Produkte umzusetzen. Speziell ausgeprägt sind PV-Forschungsaktivitäten im Raum Neuenburg, wo weit mehr als 100 Personen bei der EPFL und am CSEM in verschiedenen Themengebieten arbeiten und wo mit der Meyer Burger AG (Meyer Burger Research, Pasan) und verschiedenen Start-Up-Unternehmen auch eine grosse industrielle Aktivität besteht.

In der Schweiz liefen 2023 im PV-Bereich mehr als hundert von der öffentlichen Hand unterstützte Forschungsprojekte.³⁵ Bezogen auf den Gesamtaufwand der öffentlichen Hand für PV-Forschung fliesst praktisch die Hälfte aller Fördermittel in den Bereich der Zellentwicklung. Ein weiteres grosses Forschungsthemenfeld bildet die Integration von PV in Gebäuden sowie die Systemintegration im elektrischen Netz. Systemfragen (PV in Kombination u.a. mit Speichern oder Mobilität) sowie umsetzungsnahe Themen (Akzeptanz, Agro-PV) gewinnen an Bedeutung. Gemäss der BFE-Energieforschungsstatistik wurden im Zeitraum von 2015 bis 2021 im Durchschnitt 37 Millionen Franken pro Jahr an öffentlichen Mitteln für die Forschung im PV-Bereich eingesetzt. Dies entspricht einem Anteil um die 9 Prozent der

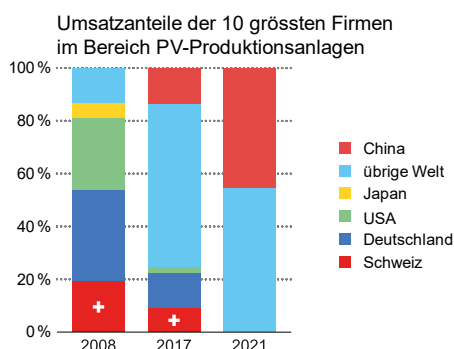


Abbildung 8: Links: Aufteilung der Hersteller von Anlagen für die PV-Produktion. Rechts: Die Entwicklung von diamantdrahtbasierten Sägen zum Schneiden von Si-Blocks, womit Verluste bei der Herstellung von Wafern stark reduziert werden konnten, sind ein Beispiel für einen substantiellen Industriebeitrag aus der Schweiz. Diese Technologie ist heute Standard (Quelle: IEA, Foto: Meyer Burger AG).

³⁵ Angabe gemäss öffentlich zugänglichen Datenbanken (CORDIS, SNF, ARAMIS).

gesamten für die Energieforschung in der Schweiz eingesetzten öffentlichen Mittel. Nicht berücksichtigt ist der Aufwand der Wirtschaft.

Bei kompetitiv vergebenen Mitteln ist die Bedeutung der Förderung im Zusammenhang mit europäischen Projekten hervorzuheben, d. h. direkte EU-Mittel und Beiträge des Staatssekretariats für Bildung, Forschung und Innovation (SBFI). Werden diese Fördermittel isoliert betrachtet ohne ETH-Bereich und Beitrag der Kantone, so liegt der Anteil der Beiträge über EU-Projekte bei über 48 Prozent, gefolgt vom BFE mit knapp 20 Prozent, der Innosuisse mit 16 Prozent und dem Schweizerischen Nationalfonds (SNF) mit 15 Prozent.

Einen besonderen Stellenwert nimmt die Forschung und Entwicklung im Bereich der PV-Gebäudeintegration ein. Aus der Schweiz kommen seit vielen Jahren im Bereich Gebäudeintegration wichtige Forschungs- und Entwicklungsbeiträge, auch mit vielen Pilot- und Demonstrationsanlagen, womit ein zentraler Beitrag zu diesem Thema im internationalen Umfeld geleistet wird.³⁶ Es existiert hierzulande eine Vielzahl spezialisierter Unternehmen, welche mit Produkten wie farbigen PV-Modulen oder Solarziegeln eine gute Gebäudeintegration ermöglichen.

Zunehmend an Bedeutung gewinnt auch die PV-Forschung an Fachhochschulen, wo Themen wie die Integration ins elektrische Netz, die Gebäudeintegration, die Analyse der Leistungsfähigkeit von PV-Anlagen oder die Qualitätssicherung bearbeitet werden. An verschiedenen Schweizer Fachhochschulen



Abbildung 9: Schweizer Akteure aus Forschung und Industrie im PV-Technologiebereich (<https://pv.energyresearch.ch>)

³⁶ Ballif et al. (2018): *Integrated thinking for photovoltaics in buildings*. In: Nature Energy 3, 438-442. Die Webseite <https://solararchitecture.ch> bietet eine Übersicht zu realisierten Projekten und Erfahrungsberichten, welche die Machbarkeit und Qualität von Solarbauten in Bezug auf Ästhetik, Konstruktion, Technologie und Nachhaltigkeit illustrieren.

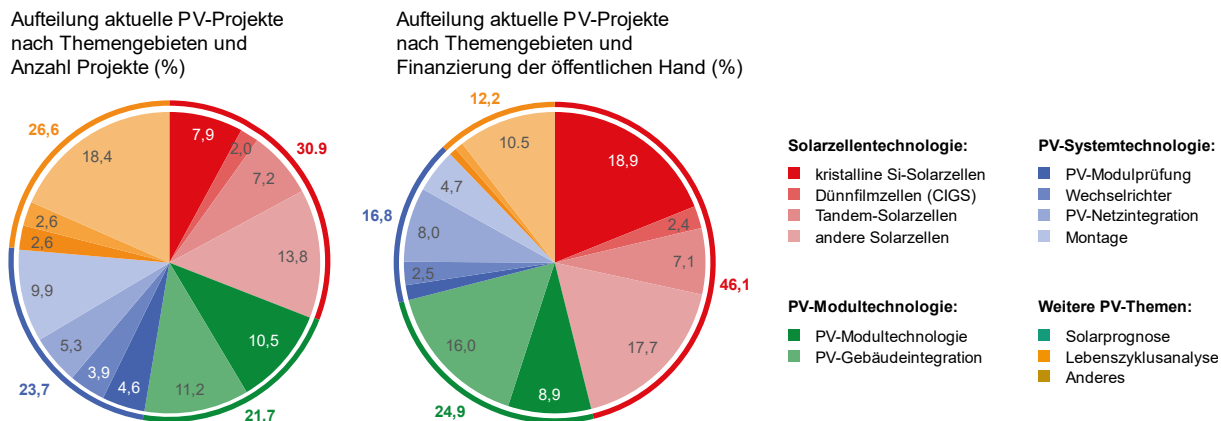


Abbildung 10: Links: In der Schweiz laufen rund 100 PV-Forschungsprojekte in verschiedenen Themenbereichen.

wurde das Thema PV durch die Einrichtung neuer Professuren weiter gestärkt. Viele Akteure sind international stark vernetzt und mit ihren Kompetenzen in verschiedenen nationalen trans- und interdisziplinären Projekten eingebunden.

Ein grosser Teil der Schweizer PV-Forschungsaktivitäten erfolgt im internationalen Kontext. Das zeigt die grosse Zahl an Projekten in den EU-Rahmenprogrammen für Forschung und Innovation, wo trotz der aktuellen Nicht-Assoziierung Schweizer Akteure prominent in den entsprechenden PV-spezifischen Ausschreibungen vertreten sind. Über die European Research Area Networks (ERA.NET)-Programme der EU³⁷ hat sich die Schweiz (über das PV-Programm des BFE) in den letzten Jahren aktiv an zehn verschiedenen PV-Forschungsausschreibungen beteiligt. Weiter beteiligt sich die Schweiz am PV-Programm der IEA «IEA Photovoltaic Power Systems Programme (PVPS)», welches 1993 als Programm zur Forschungszusammenarbeit auf internationaler Ebene gegründet wurde. Innerhalb des Programms arbeiten Expertinnen und Experten aus verschiedenen Mitgliedsstaaten (OECD und Nicht-OECD) sowie Industrieverbänden in mehrjährigen Projekten zusammen.

Eine Übersicht zu Schweizer Industrieakteuren findet sich in Abbildung 9 und auf der Webseite <https://pv.energyresearch.ch> > Akteure. Die Akteure verteilen sich über einen grossen Teil der Wertschöpfungskette, konzentrieren sich aber relativ stark in den Bereichen Modultechnologie (inklusive Gebäudeintegration), Systemtechnik und Dienstleistungen sowie Ausrüstung und Spezialkomponenten.

Wenn es um den Wiederaufbau einer europäischen Solarindustrie geht, kommt den Aktivitäten der Schweizer Meyer Burger-Gruppe eine besondere Bedeutung zu, da Meyer Burger in Europa als einziger Hersteller von kristallinen Solarzellen im industriellen Massstab aktiv ist. Allerdings hat das Unternehmen seine Aktivitäten in Europa stark reduziert. Begründet wird dies mit gravierenden Auswirkungen der Marktverzerrung in Europa im Jahr 2023 und einem sich verschlechternden europäischen Marktumfeld. Künftig soll auf ein profitables Wachstum in den USA fokussiert werden. Innerhalb der Schweiz hat die Helion Energy AG eine strategische Partnerschaft mit Meyer Burger angekündigt, mit dem Ziel, verstärkt Produkte von Meyer Burger für die Realisierung von Projekten in der Schweiz zu berücksichtigen.

³⁷ Siehe dazu die Webseite www.solar-era.net.

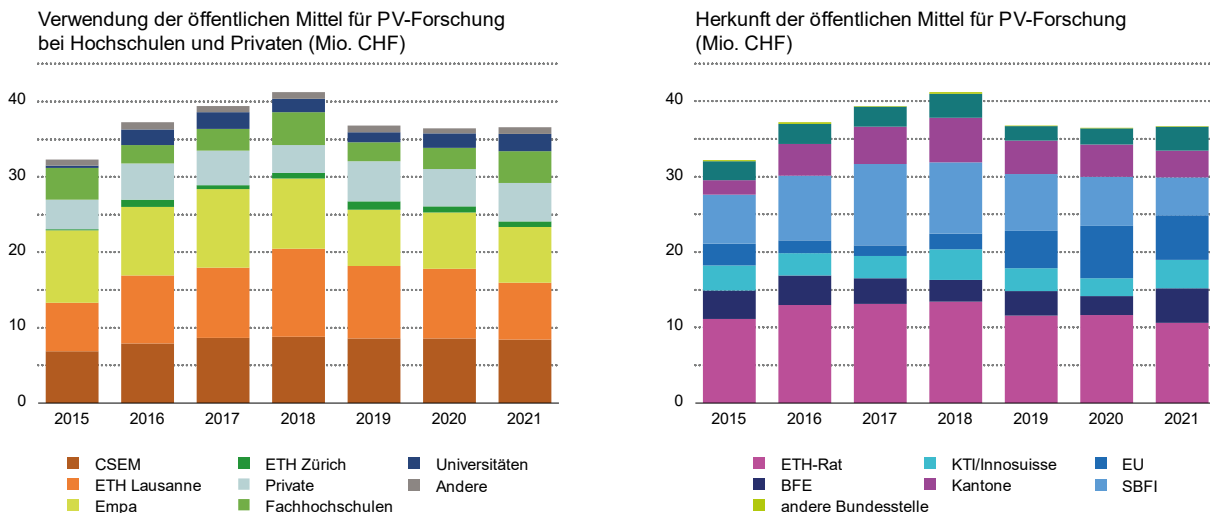


Abbildung 11: Aufwand in der PV-Forschung bei Hochschulen und Privaten und öffentlichen Geldgebern

Das 1993 gegründete Unternehmen Megasol produziert in der Schweiz am Standort Deitingen PV-Module speziell für den Anwendungsbereich in Gebäuden mit einer Jahreskapazität von 400 MW.³⁸ Dazu wird auch eine Reihe von Montagesystemen angeboten. Ein grosser Anteil der Produktion geht in den Export und das Unternehmen ist in verschiedenen europäischen Märkten präsent. 2022 ist Megasol mit dem französischen Industriekonzern Saint-Gobain eine Vertriebspartnerschaft eingegangen.

Seit 2018 treibt die Firma 3S Solar Plus aus Thun die Vermarktung ihres Solardach- und Fassadensystems «Mega Slate» voran, welches in der Schweiz häufig zum Einsatz kommt. Das Produkt wurde bereits Anfang der 2000er-Jahre auf dem Schweizer Markt eingeführt. 3S Solar Plus produziert dieses Produkt auf eigenen Fertigungslinien in Thun. Auf Grund einer grossen Nachfrage wurde 2023 ein neuer Produktionsstandort in Worb bei Bern aufgebaut, wo ab 2024 die neue Modultechnologie «Tera Slate» produziert wird. Diese zeichnet sich durch innovative Aspekte wie den Einsatz der grössten heute verfügbaren Solarzellen aus.

³⁸ Megasol betreibt auch eine Produktion in China.

7.1 Überlegungen zu einer vertikal integrierten PV-Produktion in der Schweiz

Zur Erreichung der Ziele des Bundesgesetzes über eine sichere Stromversorgung mit erneuerbaren Energien³⁹ ist ein Ausbau der Stromproduktion mittels PV in der Schweiz entscheidend. Ende 2022 betrug die totale PV-Leistung in der Schweiz 4,7 GW mit einem Rekordzubau im Jahr 2022 von rund 1,1 GW. Gemäss Swissolar hat sich der Zubau auch 2023 weiter stark erhöht auf 1,5 GW, womit 2024 eine PV-Jahresstromproduktion von rund 6 TWh erreicht wird. Unter der Annahme, dass die PV den grössten Beitrag zur Erreichung des Zielwerts bis 2035 leisten wird, müssten in den kommenden 11 Jahren im Durchschnitt 2,5 bis 3 GW an PV-Leistung pro Jahr zugebaut werden. Ganz Europa setzt stark auf den Ausbau von Solarenergie. Ohne eine europäische Solarindustrie, welche ein Minimum an Technologie bereitstellen würde, so wie im «Net-Zero-Industry-Act» der EU angedacht, wird eine praktisch 100-prozentige Konzentration bei den Importen bestehen bleiben. Es bleibt schwierig abzuschätzen, wie schnell Importe aus China bei allfälligen Lieferkettenunterbrüchen oder Handelsrestriktionen substituierbar wären.

Chinesische Hersteller verkauften PV-Module auf dem europäischen Markt 2023 zu Preisen von etwas mehr als 10 Rappen pro Watt. Dies wirkt sich begünstigend auf den PV-Ausbau in der Schweiz aus, da die Technologie günstig verfügbar ist. Der Kostenanteil von PV-Modulen und Wechselrichtern liegt bei Anlagen in der Schweiz zwischen 30 (10 bis 30 Kilowatt-Anlagen) und 42 Prozent (300 bis 1000 Kilowatt-Anlagen).⁴⁰ Mit PV wird in der Schweiz ein hoher lokaler Wertschöpfungsanteil erzielt.⁴¹ Unter dem Gesichtspunkt, dass der Umbau des Energiesystems so kosteneffizient wie möglich realisiert werden soll, ist es sinnvoll, die PV-Produkte dort zu beziehen, wo sie am günstigsten verfügbar sind.

Mit der Beschleunigung des PV-Zubaus in der Schweiz wird ebenfalls die Winterstromversorgung gestärkt, auch wenn der Hauptbeitrag der Schweizer PV-Produktion im Sommer anfällt. Durch den 2022 verabschiedeten «Solarexpress»⁴² zur Förderung von alpinen PV-Anlagen mit substanzieller Grösse soll der Winter-PV-Beitrag gezielt gesteigert werden, ebenso durch günstig aufgeständerte Anlagen im Flachland. In diesem Zusammenhang stellt sich die Frage, ob die Abhängigkeit vom Ausland und insbesondere China ein Risiko für die Versorgungssicherheit darstellt.⁴³ Dazu kann festgehalten werden, dass die Schweiz auch bei anderen Energieerzeugungstechnologien (fossile Brennstoffe, Spaltmaterial bei Nuklearenergie) auf das gute und reibungslose Funktionieren von Lieferketten angewiesen ist. Lieferunterbrüche bei PV-Modulen hätten kurzfristig kaum volkswirtschaftlich relevante Auswirkungen.⁴⁴ Käme es mittelfristig zu wiederholten Lieferengpässen bei PV-Modulen, dürfte dies zu Preisanstiegen führen und Anreize für eine diversifiziertere globale Produktion setzen.

Eine Stärkung der Versorgungssicherheit über den Aufbau heimischer Produktionskapazitäten wäre für eine offene Volkswirtschaft mit einem relativ kleinen Binnenmarkt zudem äusserst kostspielig. Werden für eine Förderung der heimischen Produktion Importrestriktionen angewendet, wäre mit deutlich höheren Preisen für PV-Modulen zu rechnen, was den Ausbau von Solarenergie in der Schweiz verlangsamen würde. Importrestriktionen könnten im Weiteren zu Gegenreaktionen von Handelspartnern der Schweiz führen. Und ohnehin würde eine Subvention oder ein Schutz der einheimischen Produktion von PV-Modulen kaum zu einer relevanten Reduktion von Abhängigkeiten beitragen, da die Schweizer Produzenten von PV-Modulen weiterhin auf Ausgangsstoffe aus dem Ausland angewiesen wären.

³⁹ Jährliche Stromproduktion aus erneuerbaren Energien ohne Wasserkraft von 35 TWh bis 2035 und 45 TWh bis 2050 (Art. 2 Abs. 1 des Energiegesetzes)

⁴⁰ Bundesamt für Energie (BFE) (2023): Photovoltaikmarkt: Preisbeobachtungsstudie 2022.

⁴¹ Gemäss Swissolar lag der Umsatz 2024 mit der Planung und Installation von Anlagen in der Schweiz bei 2,4 Milliarden Franken.

⁴² Änderung vom 30. September 2022 des Energiegesetzes (Dringliche Massnahmen zur kurzfristigen Bereitstellung einer sicheren Stromversorgung im Winter; AS 2022 543)

⁴³ Die US-Regierung hatte 2021 als Post-Covid-Massnahme über eine Executive Order verfügt, dass die Resilienz über eine Diversifikation und eine grössere Sicherheit in den für die USA relevanten Versorgungsketten gestärkt werden soll. Als kritische Sektoren werden in diesem Bericht die Halbleiterherstellung und hochentwickeltes Packaging, Hochleistungsbatterien, kritische Mineralien und Materialien sowie Pharmazeutika und pharmazeutische Wirkstoffe genannt. Der Bereich Solarenergie wurde dort im Zusammenhang mit Halbleitertechnologie diskutiert. Siehe: The White House (2021): Building Resilient Supply Chains, Revitalizing American Manufacturing, And Fostering Broad-Based Growth. 100.Deays Reviews under Executive Order 14017.

⁴⁴ PV-Anlagen müssen nach einer gewissen Zeit auch wieder erneuert werden. Es gibt noch relativ wenig Erfahrung mit alten PV-Anlagen. Es wird aber davon ausgegangen, dass PV-Anlagen mit qualitativ hochwertigen Modulen eine Lebensdauer von 30 und mehr Jahren erreichen.

Der Bund strebt an, die bestehenden Handelsabhängigkeiten durch verbesserte Rahmenbedingungen zu senken, welche der Wirtschaft eine Diversifizierung ihrer Beschaffungsquellen erlauben. Die Massnahmen umfassen bspw. neue Freihandelsabkommen oder den kürzlich in Kraft gesetzten Industriezollabbau. Die OECD hat im diesjährigen Länderexamen⁴⁵ die Instrumente der Schweiz zum Umgang mit Handelsabhängigkeiten vertieft untersucht, ihr ein gutes Zeugnis ausgestellt und von Subventionen wie im Ausland abgeraten.

Zu einer effizienteren europäischen, aber auch globalen PV-Produktion trägt die Schweiz durch Beiträge in der Forschung bei. Die PV-Forschung ist in der Schweiz im Verhältnis zur Landesgrösse stark ausgeprägt. Aus der Schweiz erfolgen wichtige Beiträge zur Weiterentwicklung der PV, in enger Zusammenarbeit zwischen Akteuren aus Hochschulen und Industrie und mit Einbezug der öffentlichen Hand.⁴⁶ Zu betonen ist, dass Forschung an Hochschulen immer mit der Ausbildung von benötigten Fachkräften verbunden ist. Bei der Innovationsförderung im Energiebereich soll der Wissenstransfer von Hochschulen zur Wirtschaft gefördert werden und es wäre das Ziel, dass ein Teil der industriellen Wertschöpfung, die über das von der öffentlichen Hand geförderte Wissen in der Schweiz entwickelt wird, letztlich auch in der Schweiz selbst verbleibt. Eine industrielle Aktivität in der Schweiz mit einer heimischen Produktion kann die Zusammenarbeit zwischen Hochschulen und Industrie stärken. Langfristig ist eine Innovation gänzlich losgelöst von der Produktion schwer vorstellbar.

8 Schlussfolgerungen

Wie die meisten europäischen Länder ist die Schweiz zur Umsetzung ihrer energie- und klimapolitischen Ziele auf verlässliche Lieferketten für PV-Technologie angewiesen. Aktuell profitiert der PV-Ausbau in der Schweiz von günstigen Preisen, ausgelöst durch ein massives Überangebot auf dem europäischen Markt. Subventionen der Schweiz zum Auf- und Ausbau der eigenen PV-Modulproduktion wären in einem solchen Umfeld teuer. Zugleich ist keine relevante Reduktion der Abhängigkeiten zu erwarten, da die Schweizer PV-Modulproduzenten auf Ausgangsstoffe aus dem Ausland angewiesen wären. Schliesslich gilt es zu beachten, dass PV-Module zwar mittelfristig für den Ausbau der erneuerbaren Energien relevant sind, im Gegensatz zu lebenswichtigen Gütern wie Nahrungs- oder Arzneimitteln jedoch nicht zwingend jederzeit verfügbar sein müssen. Für den mittel- und langfristigen Ausbau ist es wichtig, allfällige Risiken einer möglichen Verknappung der Technologie abzusichern.

Zur im Postulat aufgeworfenen Frage betreffend Beiträge aus der Schweiz zu einer europäischen Solarindustrie kann festgehalten werden, dass wichtige Innovationen aus Schweizer Forschung und Entwicklung erfolgen. Die öffentliche Hand investiert vergleichsweise viel in die Forschung und Entwicklung im PV-Bereich, teilweise auch speziell ausgerichtet auf die Bedürfnisse der Schweiz, beispielsweise im Bereich der PV-Integration in Gebäuden. Die Forschung deckt alle PV-Bereiche ab, von der Technologieentwicklung bis hin zur Anwendung.

Eine Forschungsförderung durch die öffentliche Hand ist auch unter dem Aspekt der Ausbildung und des Aufbaus und Erhalts von Kompetenzen wichtig, die mit dem Einsatz der PV-Technologie in der Schweiz verbunden sind. Für die Innovationsförderung ausserhalb der Grundlagenforschung und experimentellen Forschung braucht es industrielle Wirtschaftspartner in der Schweiz oder in Europa, um Resultate aus Forschung und Entwicklung umsetzen zu können. Für die anwendungsorientierte PV-Forschung ist die Existenz einer europäischen Solarindustrie entscheidend, da hier letztlich auf eine industrielle Wertschöpfung abgezielt wird. Insofern profitiert die Schweiz von den Fördermassnahmen der EU.

Seit der Einreichung des Postulates hat sich das Umfeld für die PV-Produktion in verschiedenen Weltregionen stark verändert. So wurde in den USA für die Stärkung der Versorgungssicherheit und zur Erreichung von energie- und klimapolitischen Zielen mittels einer starken Industrieförderung in kurzer

⁴⁵ <https://www.admin.ch/gov/de/start/dokumentation/medienmitteilungen.html>. Pressemitteilung vom 14. März 2024 «OECD-Analyse zur Wirtschaftspolitik der Schweiz: Aussenwirtschaftliche Öffnung statt Industriepolitik». Seite abgerufen am 23. Mai 2024.

⁴⁶ Vgl. dazu auch Schweizerischer Wissenschaftsrat (SWR): Empfehlungen vom 30. August 2023 zur Förderung von Bildung, Forschung und Innovation in den Jahren 2025-2028. Stellungnahme im Rahmen der Vernehmlassung zur BFI-Botschaft 25-28.

Zeit ein Umfeld geschaffen, welches die inländische PV-Produktion stark begünstigt. In Europa sind verschiedene Bestrebungen in diese Richtung im Gange. Der Bundesrat ist im «Lagebericht zur Schweizer Volkswirtschaft 2024» vom 22. Mai 2024 aber zum Schluss gekommen, dass sich die negativen Auswirkungen der ausländischen industriepolitischen Massnahmen auf den Wirtschaftsstandort Schweiz in Grenzen halten. Der Lagebericht zeigt, dass gewisse Massnahmen im Ausland zwar für einige Branchen in der Schweiz wettbewerbsverzerrend wirken, aber auch neue Absatzmöglichkeiten oder günstigere Beschaffungsmöglichkeiten bieten. Aus diesem Grund und wegen verschiedener Risiken⁴⁷ spricht sich der Bundesrat gegen industriepolitische Massnahmen in der Schweiz aus.

⁴⁷ Lagebericht des Bundesrates zur Schweizer Volkswirtschaft 2024 vom 22. Mai 2024