



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

09. Dezember 2016

Photovoltaikforschung und -innovation in der Schweiz – aktuelle Entwicklungen und Fördermassnahmen des Bundes

Bericht des Bundesrates in Erfüllung des Postulates 10.3080 Chopard-Acklin vom
10. März 2010



Inhalt

Glossar und Abkürzungsverzeichnis	2
Abbildungsverzeichnis	3
Tabellenverzeichnis	3
Zusammenfassung.....	4
1 Einleitung.....	5
1.1 Ausgangslage.....	5
1.2 Politischer Kontext: Masterplan Cleantech und Energiestrategie 2050.....	5
2 Globale Entwicklung der Photovoltaik	6
2.1 Bedeutung der Photovoltaik in der Energieversorgung	6
2.2 Reduktion der Gestehungskosten von Photovoltaikstrom	8
2.3 Industrieentwicklung	9
3 Photovoltaik in der Schweiz.....	10
3.1 Die Photovoltaik in der Energiestrategie 2050.....	10
3.2 Marktentwicklung der Nachfrage in der Schweiz.....	11
3.3 Marktentwicklung in der Industrie	12
3.4 Photovoltaik im Kontext zu Cleantech	13
4 Technologieentwicklung und Forschung	14
4.1 Global	14
4.2 National.....	16
4.2.1 Energieforschungskonzept des Bundes	17
4.2.2 Forschungsprogramm Photovoltaik des Bundesamtes für Energie.....	18
4.2.3 Nationales Photovoltaikkompetenzzentrum.....	19
4.2.4 Akteure an Hochschulen.....	19
4.2.6 Wissens- und Technologietransfer	22
4.2.7 Beispiele für die Zusammenarbeit von Hochschulen und Industrie.....	23
5 Entwicklung der Fördermittel	24
5.1 Finanzierungsquellen.....	24
5.2 Aufwendungen für die Photovoltaikforschung in der Schweiz	26
6 Schlussfolgerungen und Fazit	29
7 Quellenverzeichnis	30



Glossar und Abkürzungsverzeichnis

BFH	Berner Fachhochschule
BFI	Bildung, Forschung und Innovation
BFE	Bundesamt für Energie
CdTe	Cadmiumtellurid
CIGS	Kupfer-Indium-Gallium
CORE	Eidgenössische Energieforschungskommission
CSEM	Centre Suisse d'Electronique et de Microtechnique
Empa	Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt
ETH	Eidgenössische Technische Hochschulen
EU	Europäische Union
F+E	Forschung und Entwicklung
HJT	Heterojunction Technologie
HSR	Hochschule Rapperswil
IEA	Internationale Energieagentur
IMT	Institut de Microtechnique an der EPFL Neuchâtel
ISAAC	Istituto sostenibilità applicata all'ambiente costruito (SUPSI)
KES	Koordinierte Energieforschung Schweiz
KTI	Kommission für Technologie und Innovation
LPI	Labor für Photonik und Zwischenschichten (Interfaces)
NFP	Nationales Forschungsprogramm
P+D	Pilot und Demonstration
PERC	Passivated Emitter and Rear Cell (Zelle mit passiviertem Emitter und passivierter Rückseite)
PV	Photovoltaik
SCCER	Swiss Competence Center for Energy Research
SBFI	Staatssekretariat für Bildung, Forschung und Innovation
Si	Silizium
SNF	Schweizerischer Nationalfonds
SPF	Institut für Solartechnik (HSR)
SUPSI	Scuola universitaria professionale della Svizzera italiana
ZHAW	Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften



Abbildungsverzeichnis

- Abbildung 1** Globale Investitionen in neue Stromerzeugungskapazitäten
- Abbildung 2** Weltweit installierte Photovoltaikkapazität (kumuliert)
- Abbildung 3** Lernkurve für Photovoltaik-Module
- Abbildung 4** Erneuerbare Stromproduktion in der Schweiz bis 2050
- Abbildung 5** Photovoltaikmarktentwicklung in der Schweiz
- Abbildung 6** Akteuren der Schweizer Photovoltaikindustrie
- Abbildung 7** Entwicklung der Laborwirkungsgrade verschiedener Solarzellentechnologien
- Abbildung 8** Patentanmeldungen im Bereich Photovoltaik von 1995 bis 2011 nach Regionen
- Abbildung 9** Akteure aus Hochschule und Industrie decken die Photovoltaikwertschöpfungskette
- Abbildung 10** Übersicht über verschiedene Förderstellen im Bereich der Photovoltaikforschung entlang der Wertschöpfungskette von Grundlagenforschung bis zur Produktentwicklung
- Abbildung 11** Öffentliche Mittel für Gesamtenergie- und Photovoltaikforschung in der Schweiz von 2005 bis 2014
- Abbildung 12** Fördermittel für die Photovoltaik nach verschiedenen Finanzquellen für die Jahre 2006 bis 2014
- Abbildung 13** Fördermittel des BFE für die Photovoltaiktechnologieentwicklung
- Abbildung 14** Verteilung der Aufwendungen
- Abbildung 15** Aufwendungen der öffentlichen Hand für die Photovoltaikforschung in der Schweiz

Tabellenverzeichnis

- Tabelle 1** Rangliste der 10 grössten Solarzellen- und Modulhersteller nach Absatz im Jahr 2015 in GW
- Tabelle 2** Anzahl laufender Forschungsprojekte pro Jahr im Bereich Photovoltaik



Zusammenfassung

Das Postulat 10.3080 «Photovoltaik-Forschung. Stärkung und Abstimmung auf Industriebedürfnisse» wurde am 10. März 2010 von Max Chopard-Acklin eingereicht. Das übergeordnete Anliegen des Postulats ist es, die Schweizer Forschung im Bereich der Photovoltaik zu stärken: Schweizerische Forschungsinstitutionen wie die Eidgenössischen Technischen Hochschulen und der Nationalfonds würden zu wenig tun, um die industrielle Weiterentwicklung der Photovoltaik voranzutreiben und Innovationen in diesem Bereich auszulösen. Der vorliegende Bericht zeigt auf, wie sich die Industrie- und Forschungslandschaft im Bereich Photovoltaik in den letzten Jahren entwickelt hat. Ausserdem legt er dar, wie die wesentlichen Forderungen des Postulats durch verschiedene Massnahmen im Förderbereich umgesetzt und grösstenteils erfüllt werden.

Der globale Markt der Photovoltaik hat sich in den letzten Jahren stark gewandelt. Durch rasant wachsende Märkte entstanden Überkapazitäten. Die Kosten und Preise in allen Teilbereichen sind unter anderem deshalb gesunken. Auch Änderungen in der Förderstruktur und in den Rahmenbedingungen haben die Photovoltaikmärkte und -industrie stark geprägt, global wie national. Trotz diesen massiven Veränderungen und der starken Exportausrichtung bleibt die Photovoltaikindustrie in der Schweiz gut aufgestellt. In verschiedenen Teilbereichen der Photovoltaikforschung und -industrie sind Schweizer Akteure international führend. Die mittelfristig absehbaren Entwicklungen bei der Solarstromnutzung bieten dem Schweizer Technologie- und Industriestandort Chancen und Entwicklungsmöglichkeiten, um in diesem internationalen Wachstumsmarkt eine bedeutende Rolle einzunehmen und die inländische Wertschöpfung zu steigern.

Die Photovoltaikindustrie verteilt sich in der Schweiz relativ breit über die gesamte Wertschöpfungskette. Hier konnte in den vergangenen Jahren eine Vielzahl von Innovationen festgestellt werden, vor allem im Bereich der industriellen Umsetzung neuer hoch effizienter Solarzellentechnologien sowie bei der Entwicklung neuer Photovoltaikprodukte zur Gebäudeintegration. Die gute Ausgangslage der Schweizer Photovoltaikindustrie ist auf die grossen Anstrengungen der letzten Jahrzehnte in Forschung und Entwicklung zurückzuführen, namentlich bei der industriellen Umsetzung von Innovationen sowie der Förderung durch die öffentliche Hand. Letztere umfasst etwa ein jährliches Volumen von 30 Millionen Franken, eine Verdoppelung der Mittel im Vergleich zu der Situation von vor zehn Jahren.

Im Bereich der umsetzungsnahen Forschung und der Technologieentwicklung besteht eine gute und enge Zusammenarbeit zwischen akademischen Institutionen (Bereich der Eidgenössischen Technischen Hochschulen, Fachhochschulen, Universitäten) und der im Photovoltaikbereich tätigen Industrieunternehmen. Dies gilt insbesondere für Projekte, wo die Industrie ihre Bedürfnisse an die Forschungspartner direkt einbringt und für die gute Fördermöglichkeiten bestehen. Wie im Postulat gefordert, hat die öffentliche Hand in den letzten Jahren verstärkt Mittel für die Photovoltaikforschung, speziell für industrie- und umsetzungsnahe Aktivitäten, bereitgestellt. So entstand unter anderem ein nationales Kompetenzzentrum für Photovoltaik im Centre Suisse d'Electronique et de Microtechnique in Neuchâtel. Die Kommission für Technologie und Innovation (KTI) und der Schweizerische Nationalfonds fördern innerhalb des *Aktionsplans Koordinierte Energieforschung* Schweiz gezielt Industrieprojekte.

Der Bundesrat ist überzeugt, dass die Schweiz im Bereich Photovoltaik sowohl auf Forschungs- als auch auf Industrieebene über eine hohe Kompetenz verfügt



1 Einleitung

1.1 Ausgangslage

Der vorliegende Bericht geht zurück auf das von Max Chopard-Acklin am 10. März 2010 im Nationalrat eingereichte Postulat 10.3080 «Photovoltaik-Forschung. Stärkung und Abstimmung auf Industriebedürfnisse». Das Anliegen des Postulats ist es, die Schweizer Forschung im Bereich der Photovoltaik zu stärken. Es hält fest, dass der Bereich der Eidgenössischen Technischen Hochschulen (ETH-Bereich) und der Schweizerische Nationalfonds (SNF) die Weiterentwicklung der Photovoltaik zu wenig unterstützen würden angesichts des – zum Zeitpunkt der Einreichung der Motion – in Europa exponentiell anwachsenden Photovoltaikmarktes. Der Bundesrat wurde beauftragt, zu prüfen und zu berichten,

1. wie die Aktivitäten des ETH-Bereiches und Fachhochschulen verstärkt auf die spezifischen Bedürfnisse der Schweizer Photovoltaikindustrie abgestimmt werden könnten,
2. wie Fördermittel für die Verbesserung von marktnahen Produkten im Photovoltaikbereich bereitgestellt werden könnten,
3. wie neue Technologie-Initiativen auf verschiedenen Stufen der Photovoltaik-Wertschöpfungskette ergriffen werden könnten, mit dem Ziel kostengünstige erneuerbare Energien für den Endverbraucher zu entwickeln,
4. wie industrielle Akteure in der Schweiz ihre Bedürfnisse an die Forschungsinstitutionen gezielter und wirksamer einbringen könnten.

Bei der Begründung des Postulats wurde auf die damals stark ausgeprägte Photovoltaikindustrie in der Schweiz verwiesen. Weiter wurde die Bedeutung der Photovoltaik als nationale Strom- und Energieressource hervorgehoben.

In seiner Stellungnahme vom 12. Mai 2010 strich der Bundesrat die langjährige Unterstützung der Energieforschung im Bereich der Photovoltaik durch die öffentliche Hand hervor. So hat das Bundesamt für Energie (BFE) durch seine langjährigen finanziellen Beiträge wesentlich zum Kompetenzaufbau und Erfolg bei der Zellenfertigung und Prozesstechnik in verschiedenen Technologiebereichen beigetragen. Weitere grosse Fördermittel wurden in den letzten Jahren durch die Kommission für Technologie und Innovation (KTI), durch den SNF sowie über die Forschungsrahmenprogramme der Europäischen Kommission vergeben. Der Bundesrat zeigte sich überzeugt, dass die Schweiz sowohl auf Forschungs- als auch auf Industrieebene über eine grosse Kompetenz im Bereich Photovoltaik verfügt.

Der Bundesrat erklärte sich bereit, die Fragen des Postulates in einem Übersichtsbericht in Abstimmung mit dem Masterplan Cleantech zu erläutern. Er beantragte die Annahme des Postulats.

Der Nationalrat hat das Postulat am 8. Juni 2011 überwiesen.

1.2 Politischer Kontext: Masterplan Cleantech und Energiestrategie 2050

Der Begriff *Cleantech* umfasst verschiedenste Technologien aus den Bereichen erneuerbare Energien, Energieeffizienz, Energiespeicherung, Umwelttechnik und Life Sciences. Er beschreibt einen weltweit wachsender Zukunftsmarkt. Der Bundesrat verabschiedete 2011 eine Strategie für Ressourceneffizienz und erneuerbare Energien – den Masterplan Cleantech. Mit diesem *Masterplan* hat der Bund seine Rolle als Türöffner definiert, um Kräfte zu bündeln und Synergien zwischen den Akteuren aus Wissenschaft, Wirtschaft, Verwaltung und Politik zu nutzen. Bereits damit wurden Anliegen des Postulats 10.3080 aufgenommen.

Ziele des Masterplan Cleantech bis 2020 sind:

- Die Schweizer Cleantech-Wissensbasis in der Forschung zu stärken und in ausgewählten Cleantech-Kompetenzbereichen an die Weltspitze voranzubringen.



- Die Rahmenbedingungen in Forschung, Wissens- und Technologietransfer sowie Bildung für eine hohe Innovationsleistung im Cleantech-Bereich nachweisbar zu verbessern. So können die Schweizer Unternehmen das Wissen der Hochschulen wirksam für Cleantech-Innovationen nutzen.
- Die verstärkte Entwicklung, Nachfrage und der Einsatz von ressourcenschonende Technologien, Prozessen und Produkten im Umwelt- und Energiebereich.
- Die Positionierung der Schweiz als international führender Produktions- und Exportstandort für Cleantech-Güter und -Dienstleistungen.

Die Erfüllung des Postulats durch den vorliegenden Bericht zum jetzigen Zeitpunkt ist die Folge der politischen und industriellen Entwicklungen im Energie-Bereich. Seit 2011 hat sich einerseits bei der Umsetzung der im Postulat aufgeworfenen Prüfpunkte viel getan, andererseits ist die Photovoltaikindustrie in der Schweiz, wie auch weltweit, einem starken Wandel unterworfen (Konsolidierungsphase). Die Entwicklungen haben die Umsetzung der Cleantech-Strategie des Bundes beeinflusst – und damit auch den Zeitplan für die Erarbeitung des Postulatberichts. An erster Stelle steht der Entscheid zum schrittweisen Ausstieg der Schweiz aus der Kernenergie nach dem Reaktorunfall von Fukushima (Japan) im März 2011. Dem Entscheid folgte die Erarbeitung der Energiestrategie 2050 (ES 2050), deren Botschaft zum ersten Massnahmenpaket am 4. September 2013 durch den Bundesrat verabschiedet wurde. Die ES 2050 hat zum Ziel, die Energieeffizienz zu steigern und erneuerbare Energien auszubauen, so dass langfristig auf Strom aus Kernkraft verzichtet werden kann. Zu den Massnahmen gehören unter anderem eine Stärkung der Forschung und Entwicklung im Energiebereich mit dem Aktionsplan *Koordinierte Energieforschung Schweiz*.

Neben der ES 2050 hat die *Botschaft über die Förderung von Bildung, Forschung und Innovation 2013–2016* sowie parallel laufende Instrumente wie der Aktionsplan *Grüne Wirtschaft* Anliegen der Cleantech-Strategie des Bundes aufgenommen. Die Cleantech-Strategie des Bundes übernahm dabei die Funktion eines übergeordneten Instruments zur Koordination und zur Nutzung von Synergien.

Der *Bericht über die Umsetzung des „Masterplan Cleantech – Eine Strategie des Bundes für Ressourceneffizienz und erneuerbare Energien* legt Rechenschaft über diese Arbeiten in den Jahren 2011 bis 2014 ab.

In den genannten Gefässen wurden Massnahmen aufgegleist, die im Postulat 10.3050 als Fragestellung formuliert wurden. Ebenso wurde durch den Aufbau eines nationalen Kompetenzzentrums für Photovoltaik am Centre Suisse d'Electronique et de Microtechnique (CSEM) im Jahr 2013 ein wesentlicher Punkt des Postulats zur Förderung der Abstimmung von Forschungsaktivitäten auf die Industrie erfüllt. Seit 2010 werden die Fördermittel in der Energieforschung durch die Energieforschungsstatistik des BFE systematisch erfasst. Dies erlaubt es, belastbare Aussagen zur Entwicklung derselben zu machen.

2 Globale Entwicklung der Photovoltaik

2.1 Bedeutung der Photovoltaik in der Energieversorgung

Weltweit wird der Photovoltaik zunehmender Stellenwert als künftige Mainstream-Technologie für die Strom- und Energieversorgung zugeschrieben. Die erneuerbaren Energien Wind, Photovoltaik, Geothermie und Biomasse werden sich gemäss dem Marktreport *Renewable Energy – Medium-Term Market Report 2015* der Internationalen Energieagentur (IEA) im Stromsektor bis zum Jahr 2020 zur am stärksten wachsenden Energieressource entwickeln. Die Photovoltaik (35 %) zusammen mit der Windenergie (39 %) und der Wasserkraft (21 %) werden mit rund 700 GW in den kommenden Jahren weltweit neu zugebauten erneuerbaren Stromerzeugungskapazitäten rund zwei Drittel der neu installierten Leistung im Bereich der Erneuerbaren ausmachen. Für das Jahr 2020 erwartet die IEA, dass 2 % der weltweiten Elektrizitätsproduktion von der Photovoltaik kommt. Insgesamt machen erneuerbare Energien rund 27 % aus. Bis 2050, so prognostiziert die IEA, dürfte der Photovoltaikanteil bis zu 16 % an der globalen Gesamtstromerzeugung ausmachen.

Dass diese Entwicklung im Gange ist, lässt sich an der starken Zunahme des Anteils an erneuerbarer Stromproduktion weltweit ablesen. Der Anteil an erneuerbarer Stromproduktion nahm laut IEA im Jahr 2013 um 22 % zu, das entspricht einer Steigerung von 5 % gegenüber dem Vorjahr 2012. Ein weiteres Zeichen sind



die in den Jahren 2012 bis 2015 global getätigten Investitionen in erneuerbare Stromproduktion inkl. Grosswasserkraft. Diese lagen um mehr als einen Faktor Zwei höher im Vergleich zu den Investitionen in fossile Kraftwerke wie Kohle und Gas im gleichen Zeitraum.

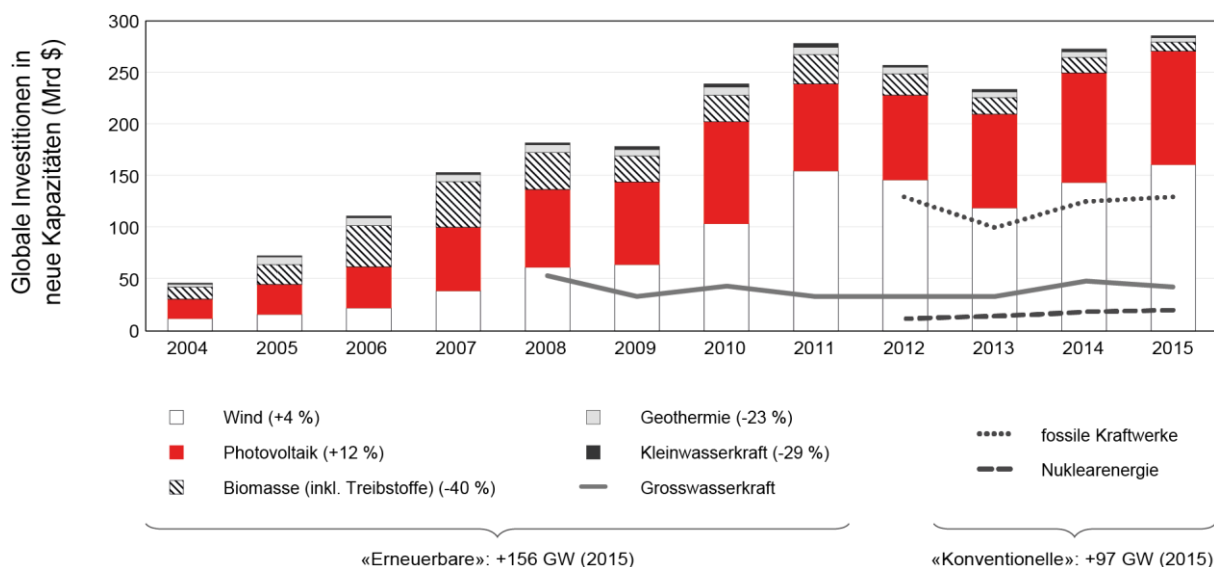


Abbildung 1 Globale Investitionen in neue Stromerzeugungskapazitäten. (Datenquelle: BLOOMBERG 2016)

Die weltweit installierte Photovoltaikleistung hat sich im Jahr 2015 erhöht auf 227 GW (Abbildung 2). Weltweit trägt die Photovoltaik damit zu 1,3 % der Gesamterzeugung von Strom bei. In Europa liegt dieser Anteil bei rund 4 %, in drei europäischen Ländern bei mehr als 7 %. Zum Vergleich: Der Anteil von Photovoltaikstrom an der Gesamtstromproduktion der Schweiz lag Ende 2015 bei 1,8 % (vgl. auch Kapitel 3).

Während Europa vor einigen Jahren dominierte, verteilt sich der Photovoltaikmarkt heute viel stärker auf verschiedene Weltregionen. Der im Jahr 2015 erfolgte rekordhohe Zubau neuer Photovoltaikanlagen ist auf ein hohes Wachstum in Asien (China und Japan: 15,2 bzw. 11,0 GW) und den USA (7,3 GW) zurückzuführen. China (43,5 GW), Deutschland (39,7 GW), Japan (34,4 GW), die USA (25,6 GW) und Italien (18,9 GW) sind die Länder mit der grössten installierten Leistung. Der europäische und asiatische Beitrag an der gesamthaft installierten Photovoltaikkapazität liegen heute je bei rund 100 GW (42 %). Bis 2020 sollen allein in China mehr als 150 GW an Photovoltaikleistung am Netz sein.

Europäische Länder wie Deutschland, Spanien, Italien haben diese Entwicklungen – massiver Ausbau verbunden mit einer starken Kostenreduktion – durch entsprechend hohe Fördermassnahmen ausgelöst. In Europa war der jährliche Zubau an neuer Photovoltaik von 2011 bis 2014 rückläufig, erst 2015 wurden wieder mehr Zubau als im Vorjahr verzeichnet. Der Grund für diesen Rückgang des Zubaus liegt in der Senkung der Fördermassnahmen in verschiedenen europäischen Ländern. Zudem sind die Produktionskosten weniger schnell gesunken. Viele Akteure in Europa führen dies auf die Mindestimportpreise für chinesische Photovoltaikprodukte zurück, die die Europäische Kommission Mitte 2013 eingeführt hat.

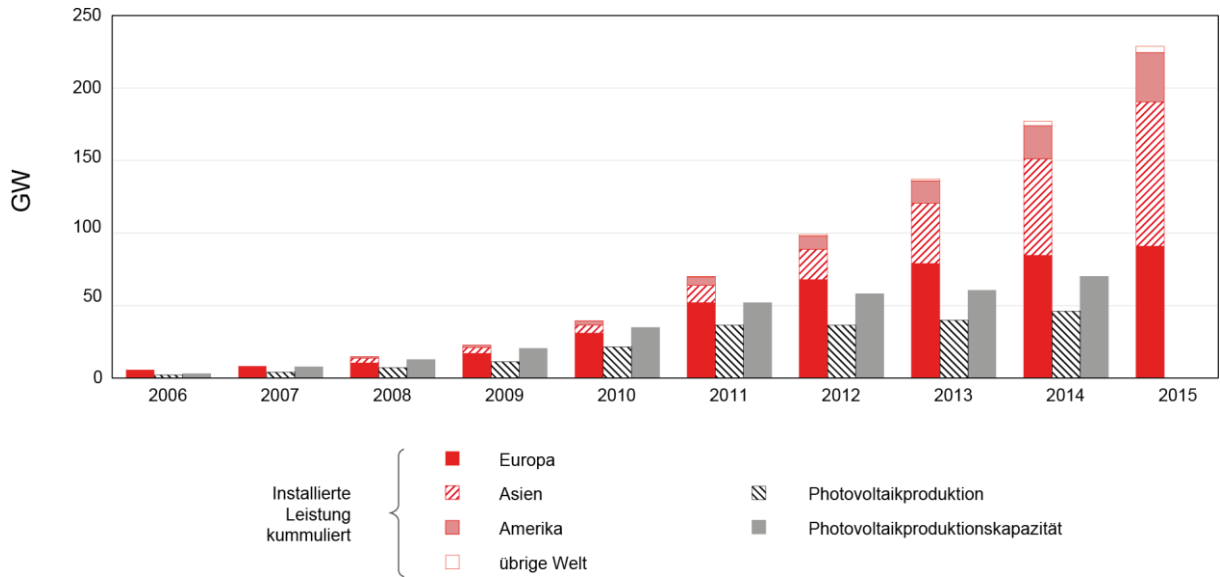


Abbildung 2 Weltweit installierte Photovoltaikkapazität (kumuliert), Produktion von Photovoltaikmodulen und bestehende Produktionskapazität. (Datenquelle: IEA, FRAUNHOFER)

2.2 Reduktion der Gestehungskosten von Photovoltaikstrom

Die Kostenreduktion in der Photovoltaik erfolgte in den letzten Jahren mit einem erstaunlichen Tempo, welche in der Form von kaum einem Experten vorausgesehen wurde. Gemäss der europäischen Vereinigung Solar Alliance for Europe (SAFE) konnten die weltweit führenden Hersteller die Produktionskosten zwischen Jahresanfang 2015 bis Ende erstes Quartal 2016 um 8 % bis 13 % reduzieren. Über die letzten 35 Jahre wurde bei jeder Verdoppelung der Kapazität eine Reduktion der Modulkosten von rund 20 % beobachtet (siehe Abbildung 3, linke Grafik). Der Anteil der Modulkosten im Vergleich zu den Systemkosten (Wechselrichter, Montage, Planung usw.) hat in den letzten Jahren stark abgenommen und macht heute selbst bei einer typischen Dachanlage weniger als 50 % aus. Skaleneffekte, technologische Weiterentwicklung wie beispielsweise eine starke Verringerung des Materialeinsatzes sowie auch grosse marktbedingte Überkapazitäten sind zentrale Gründe für die sinkenden Gestehungskosten.

In der zweiten Hälfte 2015 lagen gemäss Fraunhofer die global gemittelten Gestehungskosten für Photovoltaik bei 0.122 Fr./kWh im Vergleich zu 0.143 Fr./kWh in der zweiten Hälfte 2014. Der Einspeisetarif für Photovoltaikstrom aus grossen Anlagen liegt in Deutschland laut Fraunhofer Institut Anfang 2015 bei 8,7 Eurocents/kWh, im Vergleich zu 6 bis 8,9 Eurocents/kWh für Strom aus Onshore-Windanlagen.

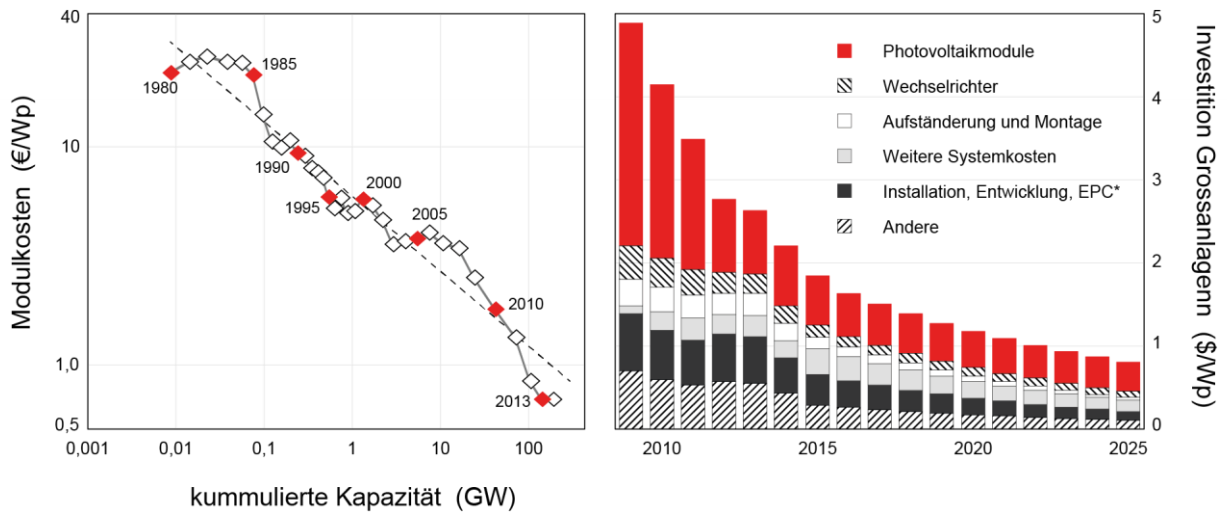


Abbildung 3 Lernkurve für Photovoltaik-Module: Mit jeder Verdoppelung der global installierten Kapazität reduziert sich der Modulpreis um rund 20% (links, Fraunhofer). Entwicklung der Investitionskosten für Grossanlagen (rechts). (Datenquelle linke Grafik: Strategies Unlimited, Navigant Consulting, EUPD-research; Datenquelle rechte Grafik: IRENA, 2016)

Für grössere Anlagen – betrieben typischerweise von Energieversorgungsunternehmen – sind heute Gestehungskosten von 100 Fr./MWh und weniger möglich. Die Internationale Organisation für erneuerbare Energien (IRENA) geht in ihrem Bericht *The Power to Change: Solar and Wind Cost Reduction Potential to 2025* davon aus, dass sich die Gestehungskosten für grosse Photovoltaikanlagen im Zeitraum 2015 bis 2025 um 59 % senken und in einem Bereich von umgerechnet 30 Fr. bis 120 Fr./MWh liegen werden.

Unter Berücksichtigung der bereits erfolgten und des noch vorhandenen Potenzials für eine weitere Kostenreduktion – bei gleichzeitiger technologischer Weiterentwicklung – ist die Photovoltaik damit auf dem Weg, in den nächsten Jahren die Position als kostengünstigste erneuerbare Stromerzeugungsart weiter zu stärken. In einigen Teilen der Welt ist dies bereits heute der Fall. In verschiedenen Ländern wurden gemäss Daten von Bloomberg grosse Anlagen im Rahmen von Ausschreibungsverfahren mit Abnahmeverträgen realisiert, mit vertraglich geregelten Gestehungskosten von weniger als 60 \$/MWh.

Die künftige Entwicklung hängt von stabilen regulatorischen Rahmenbedingungen und geeigneten Finanzierungs- und (neuen) Geschäftsmodellen ab, kombiniert mit einer verbesserten Integration ins Stromsystem. Hinzu kommt eine kontinuierliche fortschreitende technische Weiterentwicklung (vgl. IEA_PVRM_2014).

2.3 Industrieentwicklung

Nach einer Boomperiode um das Jahr 2011 setzte in der Photovoltaikbranche eine starke Konsolidierungsphase ein, insbesondere in Europa und Nordamerika, verzögert aber auch in Asien. Diese wurde ausgelöst durch hohe Überkapazitäten in der Produktion und einem damit einhergehenden Preiszerfall, verbunden mit teilweise drastischen Anpassungen in der Förderung und in den Rahmenbedingungen. Viele Unternehmen weltweit und speziell in Europa haben diesen Wandel nicht überlebt: So ist allein in Deutschland die Anzahl Arbeitsplätze in der Photovoltaikbranche von 128 000 im Jahr 2011 auf unter 50 000 im Jahr 2014 zurückgegangen. Verschiedene Analysten erwarten weitere Korrekturen im Markt.

In den vergangenen Jahren hat eine starke Verlagerung der Produktion von Photovoltaikkomponenten nach China stattgefunden. Eine im Auftrag der Schweizerische Agentur für Energieeffizienz SAFE im April 2016 publizierte Studie zeigt auf, dass Photovoltaikproduzenten in China nicht auf Grund von Subventionen günstiger produzieren, sondern reale Produktionskostenvorteile gegenüber europäischen und japanischen Unternehmen besitzen. Gemäss der Studie stellen Skaleneffekte und Standardisierung wichtige Faktoren dar und bilden einen Kostenvorteil von mehr als 10 %. Der Anteil chinesischer Hersteller an der weltweiten Photovoltaikmodulproduktion liegt 2015 bei 71 %, gefolgt vom restlichen asiatischen/pazifischen Raum mit 14 %. In Europa werden noch rund 5 % aller Photovoltaikmodule hergestellt (vgl. Fraunhofer (2016)).



Die weltweit grössten Hersteller decken mehr als zwei Drittel des Marktvolumens ab

	Firma	Firmensitz	GW	Marktanteil
1	Trina Solar	China	5,7	11,5%
2	Canadian Solar	Canada	4,7	9,4%
3	Jinko Solar	China	4,5	9,0%
4	JA Solar	China	3,9	7,9%
5	Hanwha Q Cells	Südkorea	3,3	6,6%
6	First Solar	USA	2,8	5,6%
7	ReneSola	China	2,7	5,4%
8	Yingli Solar	China	2,4	4,8%
9	Suntech (Shunfeng)	China	2,3	4,6%
10	Risen Eneryg	China	1,2	2,5%
1-10	Total	-	33,6	67,2%
	Restliche	-	16,4	32,8%

Tabelle 1 Rangliste der 10 grössten Solarzellen- und Modulhersteller nach Absatz im Jahr 2015 in GW. (Quelle: <http://de.statista.com>).

Im Vergleich der verschiedenen Modultechnologien liegt der Anteil von auf Silizium (Si) basierenden Zellen bei über 90 %. Rund 69 % davon sind multikristalline Si-Module mit einem Wirkungsgrad bis zu 16 % und 24 % monokristalline Si-Module mit einem typischen Wirkungsgrad von 19 %. Der Anteil an Dünnschichttechnologien beträgt etwa 7% der Gesamtmodulproduktion, sie haben einen Wirkungsgrad von maximal 16 % (vgl. Fraunhofer 2016).

Ein bedeutender Teil der weltweit eingesetzten Photovoltaiktechnologie ist in Europa erforscht und entwickelt worden, neben Forschungsbeiträgen und technologischen Entwicklungen aus Japan, Australien oder den USA. Für die Photovoltaikindustrie in Europa bieten sich durch technologische Innovationen allenfalls Aussichten, Marktanteile zurückzugewinnen. Dies trifft insbesondere auf Photovoltaikmaschinenbauer mit neuen Prozesstechnologien für die Produktion von hoch effizienten und potenziell kostengünstigen Solarzellen zu. Als potenziell wettbewerbsfähig für eine europäische Produktion werden die Zelltechnologien Advanced Passivated Emitter and Rear Cell (PERC) und hoch effizienten Siliziumzellen (Heterojunction) angesehen (PREU_2015). Gemäss Studien von PREU und JRC aus dem Jahr 2015 können mit einem hohen Automatisierungsgrad im Fertigungsprozess sowie einer Konzentration auf Hocheffizienzmodule und Spezialanwendungen, z. B. in der Gebäudeintegration, Produktionskosten in Europa global wettbewerbsfähig sein. Auch der verbreitete Einsatz dezentraler Batteriespeicherlösungen wird als Treiber für eine weitere Entwicklung des Photovoltaikmarktes in Europa angesehen. Zulieferindustrie, Installation, Planung und Wartung sind allgemein Felder, wo sich für die europäische Branche gute Entwicklungsperspektiven bieten und ein grosser regionaler Wertschöpfungsanteil möglich ist.

3 Photovoltaik in der Schweiz

3.1 Die Photovoltaik in der Energiestrategie 2050

Die Schweiz verfügt heute über eine sichere und kostengünstige Energieversorgung. Wirtschaftliche und technologische Entwicklungen sowie politische Entscheide im In- und Ausland führen derzeit zu grundlegenden Veränderungen der Energiemärkte. Um die Schweiz darauf vorzubereiten, hat der Bundesrat die Energiestrategie 2050 entwickelt. Mit dieser Strategie soll die Schweiz die neue Ausgangslage vorteilhaft nutzen und ihren hohen Versorgungsstandard beibehalten. Gleichzeitig trägt die Strategie dazu bei, die energiebedingte Umweltbelastung der Schweiz zu reduzieren. Im September 2013 unterbreitete der Bundesrat dem Parlament das erste Massnahmenpaket zur Energiestrategie 2050 mit dem Ziel, vorhandene Energieeffizienzpotenziale konsequent zu erschliessen und die Potenziale der Wasserkraft und der neuen erneuerbaren Energien (Sonne, Wind, Geothermie, Biomasse) auszuschöpfen. Das nachhaltig nutzbare Potenzial der erneuerbaren Energien (ohne Wasserkraft) liegt gemäss Energieperspektiven 2050 bei geschätzten 24,2 TWh bis 2050. Auf die Photovoltaik entfallen dabei 11,1 TWh/a, auf Wind 4,3 TWh/a, Biomasse 1,2 TWh/a, Ge-



othermie 4,3 TWh/a sowie ARA (Abwasserreinigungsanlagen), KVA (Kehrichtverbrennungsanlagen) und Biogas zusammen 3,2 TWh/a. 2015 lag der Anteil der Photovoltaik an der Stromproduktion bei rund 2 % (vgl. Statistik der erneuerbaren Energien, Swissolar (2016)).

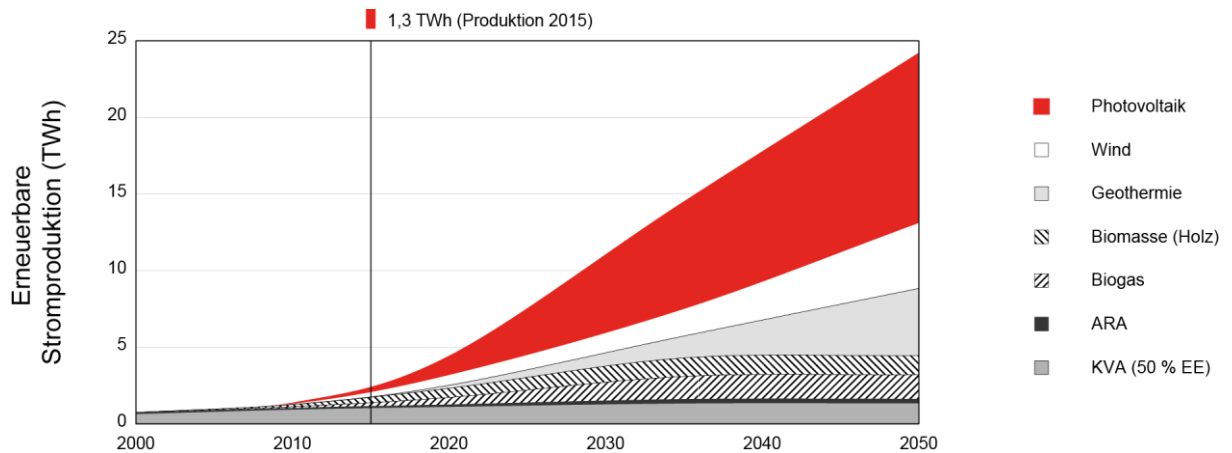


Abbildung 4 Erneuerbare Stromproduktion in der Schweiz bis 2050. (Quelle: Energieperspektiven 2050, BFE 2012)

3.2 Marktentwicklung der Nachfrage in der Schweiz

Ausgelöst durch die kostendeckende Einspeisevergütung (KEV), verschiedene weitere Fördermechanismen und Massnahmen auf kantonaler Ebene, die Einführung der Eigenverbrauchsregelung und Direktvermarktung sowie nicht zuletzt begünstigt durch eine allgemeine Kostenreduktion von Photovoltaiksystemen hat sich in den letzten Jahren ein mehr oder weniger stabiler heimischer Photovoltaikmarkt von rund 300 MW pro Jahr zusätzlicher Kapazität entwickelt. Damit liegt die Schweiz, bezogen auf die jährlich neu installierte Leistung, im Vergleich zu europäischen Nachbarländern aktuell im vorderen Mittelfeld.

Die kumulierte installierte Leistung Ende 2015 lag nach Angaben des Branchenverbands Swissolar bei rund 1,3 GW. Pro Kopf sind das rund 160 W. Damit konnten 2015 rund zwei Prozent des nationalen Stromverbrauchs durch heimische Stromproduktion aus Photovoltaikanlagen gedeckt werden. In Deutschland lag die installierte Leistung in 2015 pro Kopf bei 473 W, in Italien bei 303 W. Rund 50 % aller Anlagen liegen in einer Leistungsklasse von mehr als 100 kW. Insbesondere wurden in den letzten Jahren vermehrt grössere Anlagen installiert mit bis zu 5 MW.

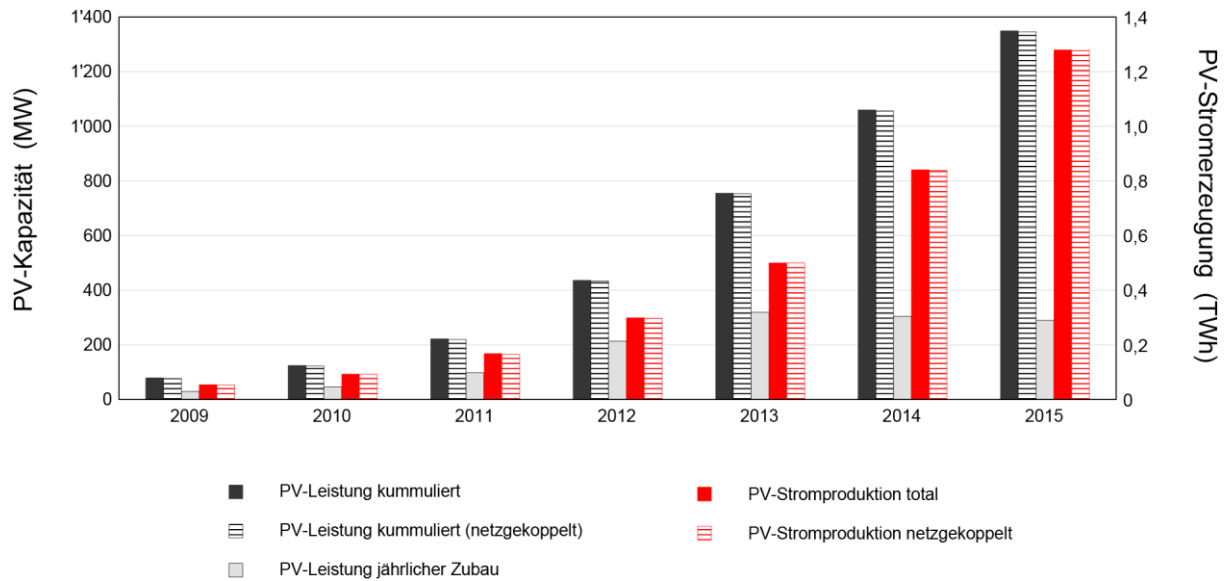


Abbildung 5 Photovoltaikmarktentwicklung in der Schweiz. Kumulierte Photovoltaikleistung (MW) und jährliche Stromproduktion (GWh) aus Photovoltaikanlagen in der Schweiz (Quelle: Swissolar)

3.3 Marktentwicklung in der Industrie

Trotz des harten internationalen Wettbewerbs und der weltweit teilweise schwierigen Phase für die Photovoltaikindustrie sind Schweizer Unternehmen entlang der Photovoltaikwertschöpfungskette heute generell gut aufgestellt. Sie stellen Werkstoffe und Komponenten bereit, bauen Wechselrichter, liefern Installationssysteme, Produktionsanlagen und branchenspezifische Softwaretools. Ein wichtiger Erfolgsfaktor bildet die enge Vernetzung zwischen Industrie und Forschungsinstitutionen an Hoch- und Fachhochschulen.

Abbildung 6 stellt eine Vielzahl von Akteuren der Schweizer Photovoltaikindustrie auf der Schweizerkarte dar, klassifiziert nach Hauptaktivitäten im Bereich der Solarzellen (■), im Bereich Module und Gebäudeintegration (■), sowie im Bereich Systemtechnologie und Montage (■).

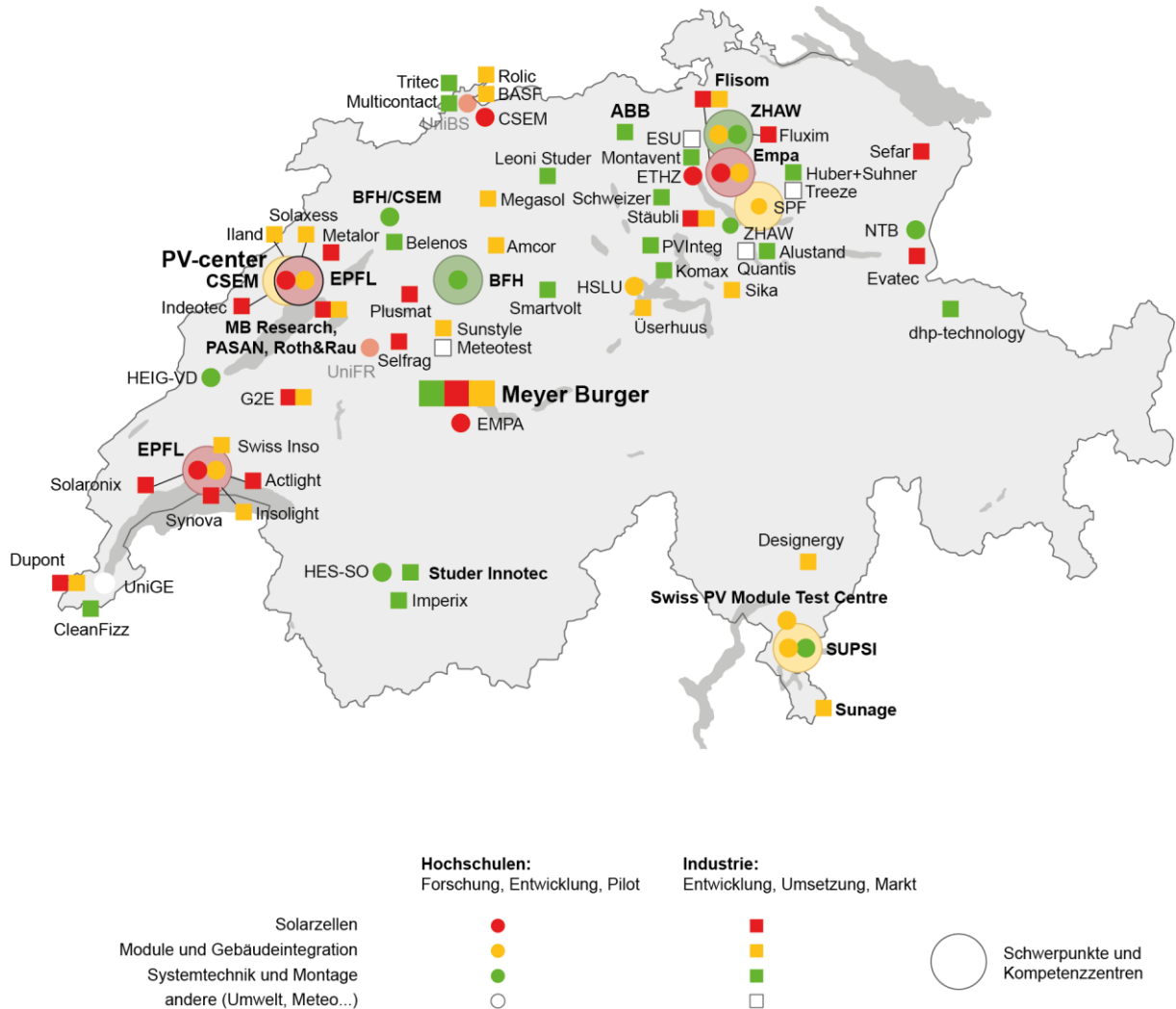


Abbildung 6 Akteure der Schweizer Photovoltaikindustrie (Quelle: BFE)

Bei der Solarzellen- und Modulentwicklung hat sich die Schweizer Industrie bereits früh eine weltweit führende Position im Bereich des Sägens von Siliziumwafern erarbeitet. Neben Firmen, die hauptsächlich als Hersteller von Produktions- und Prozessanlagen aktiv sind, existiert eine Vielzahl industrieller Akteure in den Bereichen Zulieferer für Photovoltaikkomponenten, der Photovoltaikgebäudeintegration sowie der Systemtechnik (Wechselrichter, Stecker, Dosen, Montagesysteme usw.). Weitere industrielle Akteure bilden spezialisierte Unternehmen im Bereich Planung, Anlagenauslegung und Überwachung. Die Gesamtheit der Schweizer Photovoltaikindustrie verteilt sich über die gesamte Wertschöpfungskette der Photovoltaiktechnologieentwicklung. Die Produktion an Photovoltaikmodulen in der Schweiz ist relativ klein.

Die Gesamtheit der Photovoltaikbranche (inklusive Installateure und Planer) machte laut IEA-Studie im Jahr 2015 rund 6000 Arbeitsplätze mit einem totalen Umsatz von rund 800 Millionen Franken aus. Die Exportrate liegt dabei bei rund 50 %. Betrachtet man die technologieentwickelnde Branche allein, liegt die Exportrate deutlich höher.

3.4 Photovoltaik im Kontext zu Cleantech

Der Masterplan Cleantech Schweiz hebt die grosse Bedeutung der Photovoltaik-Branche für die Schweiz aus technologischer, industrieller und volkswirtschaftlicher Sicht hervor. Im Bericht von 2011 hat der Bundesrat



die Stärken und Schwächen des Forschungs- und Industriestandorts Schweiz im Bereich «Cleantech» analysiert und zentrale Handlungsfelder und Massnahmen aufgezeigt. Der Umsetzungsbericht für die Jahre 2011-2014 zum Masterplan Cleantech kommt zum Schluss, dass sich die bisherige Cleantech-Strategie bewährt sowie auf öffentlicher und privatwirtschaftlicher Ebene zahlreiche Aktivitäten ausgelöst hat. Die meisten der 2011 definierten Massnahmen wurden erfolgreich umgesetzt.

In der Forschung und Entwicklung sind in verschiedenen Bereichen der Photovoltaik Schweizer Forschungsinstitute weltweit führend. Als Schwächen wurden 2011 die starke Fragmentierung der Forschungslandschaft mit einer grossen Anzahl kleinerer Instituten und Forschergruppen und vielen verschiedenen Förderinstrumenten, die damals insgesamt zu geringen Fördermitteln für technologieorientierte Forschung sowie der zu passive Wissens- und Technologietransfer gesehen. Als zentrale Handlungsfelder wurden Regulierungen und marktorientierte Förderprogramme, die Stärkung der Wettbewerbsposition von Schweizer «Cleantech»-Unternehmen im internationalen Umfeld sowie die Förderung von Bildung und Weiterbildung aufgeführt.

Die Photovoltaikindustrie in der Schweiz kann von den vielen verschiedenen Schnittstellen zur Maschinen- und Werkzeugindustrie profitieren. Der Heimmarkt mit der damit verbundenen Sichtbarkeit und Wahrnehmung ist für Cleantech-Technologien dabei von zentraler Bedeutung für die weitere Entwicklung von Innovationen. Die Integration der Photovoltaik in den Gebäudepark und das Stromnetz sowie das Zusammenspiel mit Energiespeicherung oder Elektromobilität wird zusätzlich Synergien mit andern Wirtschaftszweigen erlauben. Die Photovoltaik kann dabei als Katalysator für neue Energietechnologien und -systeme und die damit verbundene Wertschöpfung wirken. Solarstrom muss ins zukünftige Elektrizitätsnetz integriert werden, was in Kombination mit einer intelligenten Steuerung der Verbraucher zur Netzstabilisierung beiträgt (Smart Grids).

Im Verbund mit der Photovoltaik entwickelt sich eine Industrie, die in der Schweiz eine tragende Rolle übernehmen und exportfähige Produkte und Dienstleistungen entwickeln kann. Beispiele dazu finden sich im Bereich des Maschinenbaus und der Elektronik, weiter auch im Bereich der elektrischen Netze mit neuen Netzleit- und Energieverteilungssystemen (Smart Grids), im Bereich der (Solar-)Architektur und energieeffizienter oder energieerzeugender Gebäudeelemente (integrierte Photovoltaik), in der Kombination von Photovoltaik mit anderen Energietechnologien wie Wärmepumpen, Brennstoffzellen und Elektrolysesystemen (Power-to-Gas), bei der Gesamtsteuerung von Gebäuden und Quartieren (Smart Cities) sowie im Zusammenspiel von Photovoltaik und Energiespeichersystemen sowie Regeldienstleistungen.

4 Technologieentwicklung und Forschung

4.1 Global

Die Photovoltaikforschung befasst sich zum einen mit der Weiterentwicklung bestehender und bereits im Markt befindlicher Technologien. Zum anderen werden neue Zellenkonzepte und Materialien erforscht und zur Anwendungsreife gebracht. Neben der eigentlichen Forschung an Zellen und Modulen stellen die Verbesserung von Fertigungsanlagen oder die Bereitstellung von Materialien inklusive Wiederverwertung bedeutende Themenfelder dar.

Neben dem Kerngebiet der verschiedenen Solarzellen- und Modultechnologien beinhaltet die Photovoltaikforschung auch weitergehende Themen, welche sich mit der Einbettung der Photovoltaik in Gesamtsysteme beschäftigen. Beispiele hierfür sind die Entwicklung von Technologien zur verbesserten Integration von Photovoltaik im Gebäude (Gebäudeintegration), der Weiterentwicklung der Systemtechnik (Wechselrichter) oder Untersuchungen zu Umweltindikatoren (Lebenszyklusanalysen) sowie zur Wiederverwertung von Materialien (Recycling). Mit der derzeit anhaltenden Kostenreduktion gewinnen systemübergreifende Aspekte wie die Netzintegration, energetische Konzepte im Gebäude und speziell das Thema Speicherung immer stärker an Bedeutung.

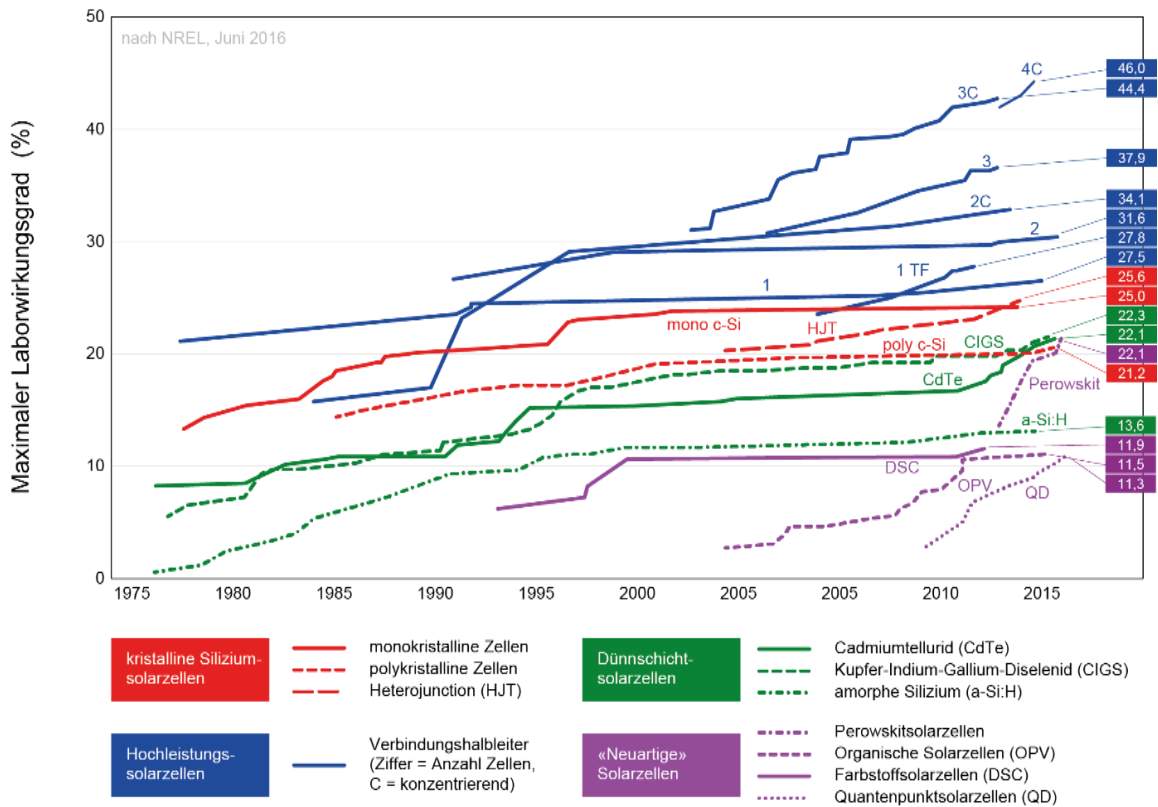


Abbildung 7 Entwicklung der Laborwirkungsgrade verschiedener Solarzellentechnologien (Quelle: nach NREL, Stand Juni 2016)

Einen Eindruck für die fortlaufende Entwicklung im Bereich der Solarzellen vermittelt der Verlauf der in Forschungslabors über die letzten 40 Jahre erzielten Wirkungsgrade. Diese sind für verschiedene Zelltechnologien in Abbildung 7 wiedergegeben. Es ist hier eine stetige Weiterentwicklung festzustellen, wobei einige neuere Technologie bemerkenswerte Wirkungsgradverbesserungen auf relativ kurzer Zeitskala aufzeigen.

Für kristalline Siliziumsolarzellen liegen die höchsten im Labor gemessenen Wirkungsgrade bei 25,6% für mono-kristalline und bei 20,8 % für poly-kristalline Zellen¹. Der Wirkungsgrad kommerzieller Siliziummodule hat sich in rund zehn Jahren im Durchschnitt von 12 auf 17 % erhöht. Im Bereich der Dünnschicht-solarzellen betragen die im Labor erzielten maximalen Wirkungsgrade 21,0 % für die CdTe- und 20,5 % für die CIGS-Technologie. Kommerziell erhältliche Dünnschichtmodule haben Wirkungsgrade von bis zu 16 % (CdTe).“

Auch bei der Photovoltaik als Gesamtsystem (Module, Wechselrichter usw.) wurden in den letzten Jahrzehnten massive Fortschritte erzielt. Als Mass hierfür kann die Entwicklung des sogenannten «Performance Ratio» (Qualitätsfaktor) von Photovoltaikanlagen herangezogen werden. Dieser Wert vergleicht den tatsächlichen Nutzertrag einer Photovoltaikanlage mit dem auf Basis der eingestrahlt Energie auf die Modulfläche zu erwartenden Sollertrag und berücksichtigt damit Einflüsse wie Umwandlungsverluste (Wechselrichter), Ausfälle oder Verschmutzung. Während dieser Wert gemäss Analysis of Long-Term Performance of PV Systems, IEA Photovoltaic Power Systems Programme, Task 13 (2014) vor 10 bis 15 Jahren durchschnittlich noch bei 70 % lag, ist er heute auf 80 bis 90 % angestiegen, gleichbedeutend mit einer deutlichen Verbesserung der Photovoltaik als Gesamtsystem (KIC InnoEnergy 2015).

Eine 2015 vom Europäischen Patentamt und dem Umweltprogramm der Vereinten Nationen veröffentlichte Studie zu Innovationen im Bereich der Klimaschutztechnologien zeigt auf, dass in diesem Bereich weltweit zwischen 1995 und 2011 eine fünffache Zunahme an Patentanmeldungen zu beobachten war

¹ Diese Rekordwirkungsgrade liegen nahe am theoretischen Maximum für Silizium von 29,4 %.



(EPO_UNEP_2015). Europa gehört dabei bei der Erfindung neuer Technologien für den Klimaschutz zu den weltweit führenden Regionen mit einem Fünftel aller Patentanmeldungen im Bereich nachhaltige Technologien. Im Bereich der Photovoltaik stellt Japan die Weltregion mit den meisten Patentanmeldungen dar.

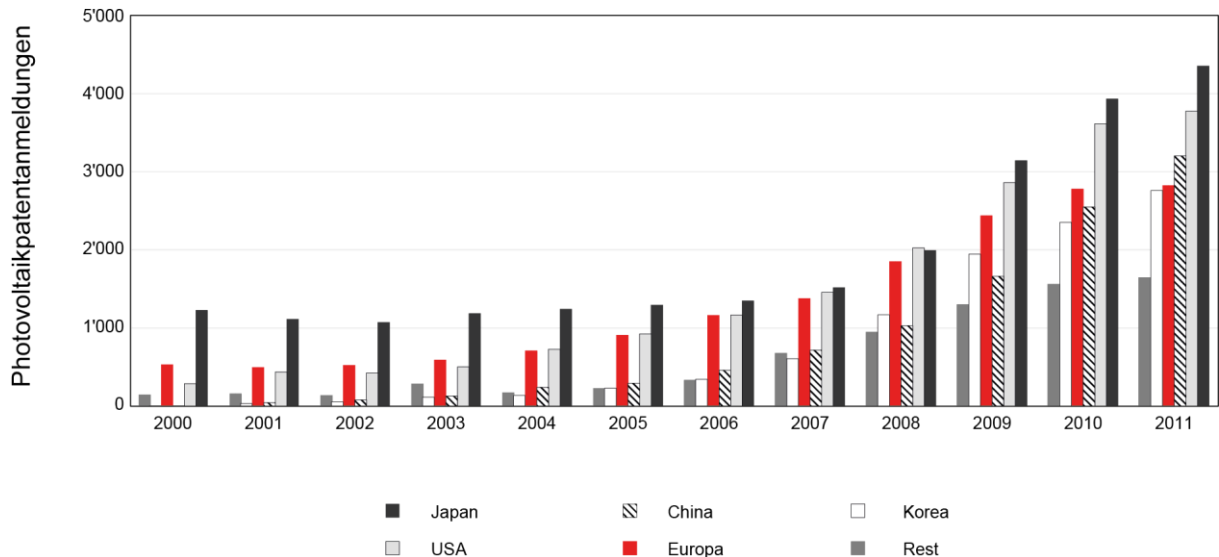


Abbildung 8 Patentanmeldungen im Bereich Photovoltaik von 1995 bis 2011 nach Regionen (Quelle: EPO, UNEP 2015)

4.2 National

Die Schweiz weist im Verhältnis zur Grösse des Landes eine hohe Vielfalt an verschiedenen Akteuren im Bereich Photovoltaikforschung und -technologieentwicklung auf. Basis hierfür bilden jahrzehntelange und qualitativ hochstehende Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten, sowohl an Hochschulen als auch in einzelnen Unternehmungen. Frühe Erfahrungen mit der Realisierung von Pilot- und Demonstrationsanlagen haben ebenfalls dazu beigetragen, Wissen und Entwicklungen in industrielle Produkte umzusetzen.

In Abbildung 9 sind neben der zentralen Photovoltaikwertschöpfungskette die für die Schweiz bedeutenden Bereiche der Zulieferer (Materialien, Produktions- und Prozessanlagen, Ausrüster) aufgeführt. Die Verteilung gibt die Anzahl Akteure wieder und entspricht nicht unbedingt der Gesamtgrösse der Aktivität in einem Teilbereich der Wertschöpfungskette. Im Bereich der Modulentwicklung und -produktion besteht ein Schwerpunkt bei der gebäudeintegrierten Photovoltaik, auch mit dem Fokus für die Anwendung in der Schweiz.

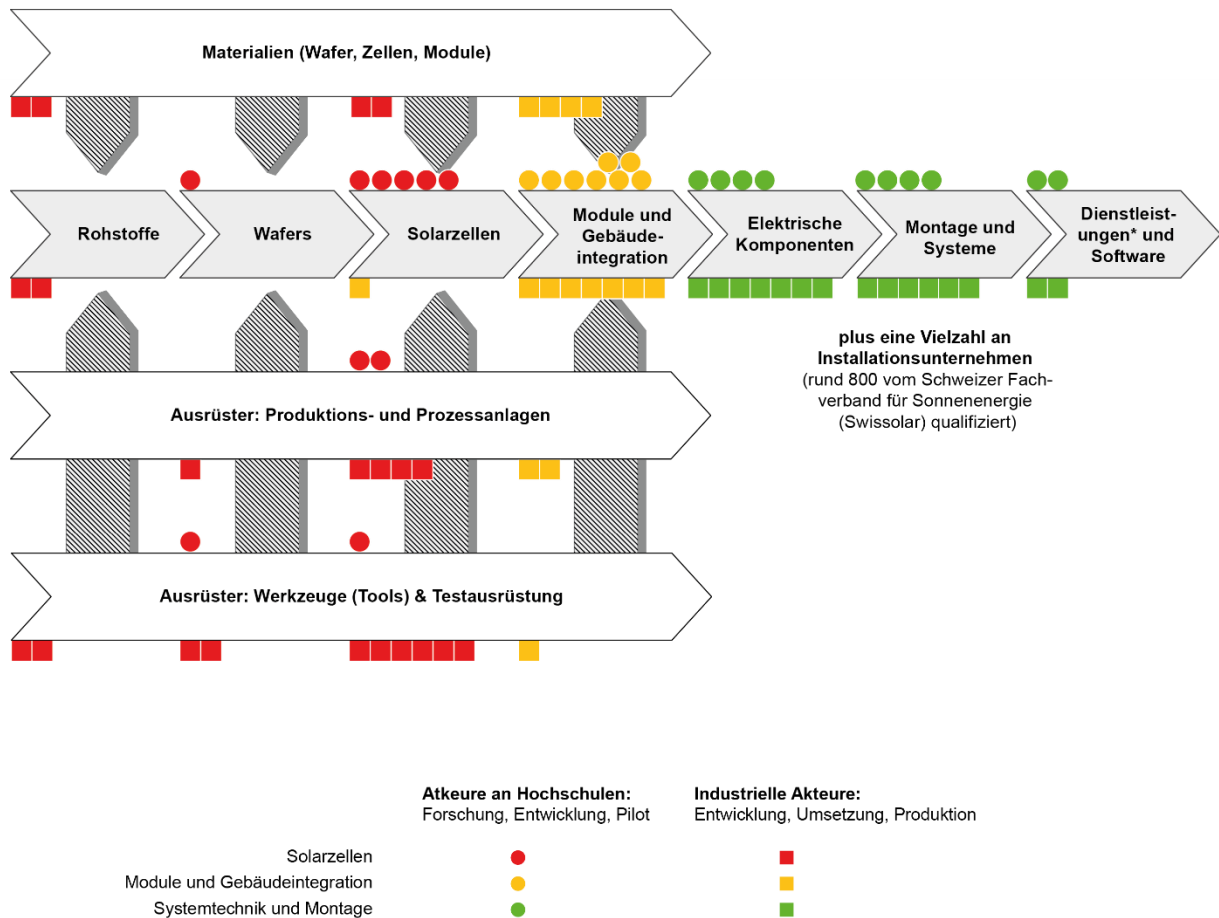


Abbildung 9 Akteure aus Hochschule und Industrie decken die Photovoltaikwertschöpfungskette ab (Quelle: BFE)

4.2.1 Energieforschungskonzept des Bundes

Im Bereich Photovoltaik werden Forschungs-, Pilot- und Demonstrationsprojekte von verschiedenen öffentlichen Agenturen unterstützt, wobei diese Projekte mit unterschiedlichem Technologiereifegrad fördern. Die Projektförderung erfolgt dabei in den meisten Fällen nach dem «Bottom-up»-Prinzip, d.h. die Projektpartner definieren das Projektthema selbst und reichen es bei der entsprechenden Förderstelle ein. In einigen Fällen entstehen Forschungsprojekte auf entsprechende Ausschreibungen (Calls), speziell bei von der Europäischen Kommission geförderten Aktivitäten.

Eine Sonderstellung nimmt das BFE ein mit seinen programmatisch eingesetzten Fördermitteln. Das BFE fördert und koordiniert damit die nationale Energieforschung und unterstützt den Aufbau neuer Märkte für eine nachhaltige Energieversorgung. Mit diesen programmatisch eingesetzten Fördermitteln kann das BFE gezielt Forschungslücken schliessen. Das Energieforschungskonzept des BFE für die Periode 2013–2016 richtet sich dabei nach dem Konzept der Energieforschung des Bundes, welches von der Eidgenössischen Energieforschungskommission (CORE) für die gleiche Periode erstellt wurde. Für die Umsetzung seines Konzepts setzt das BFE seine Fördermittel subsidiär zu den Anstrengungen der privaten und übrigen öffentlichen Forschungsstellen ein, um die Entwicklung innovativer Technologien und Konzepte nach einem programmatischen Ansatz gezielt weiter zu bringen. Insbesondere wird dort gefördert, wo Lücken in der Förderlandschaft Schweiz bestehen. Auftragnehmer sind Private, der Bereich der Eidgenössischen Technischen Hochschulen, Fachhochschulen und Universitäten. Die unterstützten Projekte werden vom BFE fachlich begleitet, wobei fallweise Experten und Vertreter anderer Förderstellen involviert sind. Durch Stellungnahmen fliesst die Expertise des BFE auch in die Beurteilung von Projektanträgen anderer nationalen, kantonalen, städtischen oder privaten Förderstellen ein. Weiter pflegt das BFE den regelmässigen Informationsaustausch zwischen



verschiedenen nationalen Förderprogrammen und unterstützt Massnahmen zur allgemeinen Wissensvermittlung. Damit ist es mit allen Fördersegmenten entlang der gesamten Wertschöpfungskette eng verzahnt und sorgt für einen kontinuierlichen Wissenszuwachs und dessen Umsetzung in konkreten Anwendungen.

4.2.2 Forschungsprogramm Photovoltaik des Bundesamtes für Energie

Das BFE-Forschungsprogramm *Photovoltaik* beschäftigt sich seit drei Jahrzehnten allgemein mit der direkten Umwandlung von Solarenergie in Strom. Es umfasst dabei Schweizer Aktivitäten aus Forschung- und Entwicklung sowie aus dem Bereich Pilot und Demonstration. Der Fokus liegt auf anwendungs- und industrieorientierten Projekten. Durch einen gezielten subsidiären Einsatz der direkt für die Photovoltaikforschung zur Verfügung stehenden Mittel zusammen mit Ressourcen aus dem Bereich Pilot und Demonstration werden in verschiedenen Schwerpunktbereichen Lösungen zur Kostenreduktion des Energiesystems Photovoltaik vorangetrieben und die Voraussetzung zu deren weiteren Umsetzung geschaffen. Ein Schwerpunkt des Forschungsprogramms liegt gemäss dem aktuellen Energieforschungskonzeptes 2013-2016 des BFE auf der Förderung von Projekten zur Erforschung von mittel- und langfristig anwendbaren Technologien. Daneben stellt die Integration von Photovoltaik bei Gebäuden ein langjähriges Thema dar, wobei in letzter Zeit durch neue Optionen im Bereich oberflächenstrukturierter und farbiger Photovoltaikmodule eine Vielzahl neuer Projekte entstanden, speziell auch mit Beteiligung von verschiedenen Spin-off-Unternehmen. Weitere Schwerpunkte bilden die Qualitätssicherung sowie das Thema Netzintegration inklusive Modelle zur Produktionsvorhersage.

Neben der subsidiären Förderung von Photovoltaikprojekten stellt das BFE-Forschungsprogramm *Photovoltaik* auch die Zusammenarbeit mit internationalen Organisationen sicher, beispielsweise durch die Vertretung der Schweiz im Technologieprogramm der IEA zum Thema Photovoltaik, durch die Mitarbeit in der europäischen Photovoltaik-Technologie-Plattform oder durch die Beteiligung an europäischen Netzwerken zur Technologieförderung (European Research Area Networks)².

Die heute allgemein gut aufgestellte Schweizer Forschung und Technologieentwicklung im Bereich Photovoltaik geht nur bedingt auf eine strategische Förderausrichtung. Eine Ausnahme bildet hier das Forschungsprogramm des BFE, wo über 30 Jahre hinweg kontinuierlich Kompetenzen und Schwerpunkte aufgebaut werden konnten, welche bis heute positive Wirkungen erzielen.

Die Photovoltaikforschungslandschaft an Schweizer Hochschulen ist stark fragmentiert. Zu den günstigen Umständen haben u.a. die Instrumente zur Förderung von Forschung (darunter das Forschungsprogramm des BFE), die traditionelle hohe Kompetenz und Innovation in der Maschinenindustrie, die gute Bildungsinstitutionen sowie die generell günstigen Rahmenbedingungen des Standortes Schweiz. Für verschiedene Institute und Labors ist es nicht einfach, eine kritische Masse und eine kontinuierliche Finanzierung sicherzustellen. Dies trifft insbesondere auch für die Fachhochschulen zu, wo ein grosser Teil der Aktivitäten über Drittmittel finanziert wird.

Zu den günstigen Umständen haben u.a. die Instrumente zur Förderung von Forschung (darunter das Forschungsprogramm des BFE), die traditionelle hohe Kompetenz und Innovation in der Maschinenindustrie, die gute Bildungsinstitutionen sowie die generell günstigen Rahmenbedingungen des Standortes Schweiz.

Ein Teil der Forschungsaktivitäten sind nicht an spezifisch auf die Photovoltaik ausgerichtete Institute oder an entsprechende Programmbudgets gebunden, sondern allgemeiner mit Professoren- oder Gruppenleiterstellen im Bereich Technik und Energie verbunden. So stammen die für die Forschung eingesetzten Mittel vielfach nicht aus spezifischen Budgets für die Photovoltaik, sondern stehen in Konkurrenz zu anderen Technologiebereichen mit projektspezifischen Entscheiden. Bei Neubesetzungen von Professuren ist eine thematische Kontinuität in Abhängigkeit der personellen Besetzung nicht automatisch gegeben.

² ERA-NET on Solar Electricity for the Implementation of the Solar Europe Industry Initiative (www.solar-era.net).



4.2.3 Nationales Photovoltaikkompetenzzentrum

Anfang 2013 startete am Centre Suisse d'Electronique et de Microtechnique (CSEM) in Neuchâtel das Zentrum für Photovoltaiksysteme (PV-Center), welches über einen Zeitraum von vier Jahren vom Bund (Staatssekretariat für Bildung, Forschung und Innovation) mit 19 Millionen Franken unterstützt wird (je 1/3 öffentlich, privat und Drittmittel). Die Unterstützung 2013-2016 durch den Bund erfolgte im Rahmen der Förderung des CSEM nach Artikel 15c (Grundbeiträge an „Technologiekompetenzzentren“), wovon 19 Millionen für das PV-Center zweckgebunden eingesetzt wurden. Die Förderung wird in der Periode 2017-2020 „im bisherigen Rahmen“ fortgesetzt, wobei die Förderung der Technologiekompetenzzentren einen generellen Schwerpunkt der kommenden BFI-Periode darstellt, vgl. BFI-Botschaft 2017-2020, Seite 3210. Als industrie- und anwendungsorientiertes Zentrum mit nationaler Ausstrahlung baut dieses auf eine über 25-jährige Erfahrung im Bereich der Photovoltaikforschung des Photovoltaiklabors (PV-Lab) am Institut de Microtechnique der EPFL-Neuchâtel sowie des bereits seit 1984 existierenden CSEM Muttenz auf.

Das PV-Center zum Ziel, die industrielle Umsetzung von Resultaten aus Forschung und Entwicklung zu beschleunigen, die Entwicklung von neuen Photovoltaikzell- und Modultechnologien voranzutreiben, sowie allgemein Beiträge zu leisten für die Integration von Photovoltaik als wesentliches Element einer nationalen Energieversorgung. Industriellen Partnern ermöglicht das PV-Center eine grosse Spannweite von Zusammenarbeits- und Nutzungsmöglichkeiten vom Bereich der Technologieentwicklung.

Gemäss der Botschaft zum Aktionsplan «Koordinierte Energieforschung Schweiz» sollten Institutionen mit Forschungsaktivitäten im Bereich der Photovoltaik sich über das Photovoltaikkompetenzzentrum am CSEM national miteinander vernetzen. Die Erfahrung seit 2013, als das PV-Center des CSEM den Betrieb aufnahm, zeigt allerdings, dass die Rolle der nationalen Vernetzung nur bedingt durch dieses Zentrum erfolgen kann und dass das PV-Center des CSEM die Funktionen eines SCCERs nicht vollumfänglich ersetzen kann. Während über die SCCERs die interuniversitäre Vernetzung von Forschungskompetenzzentren im Bereich der anwendungsorientierten Forschung über gemeinsame Projekte im Rahmen von Arbeitspaketen vorangetrieben wird, hat das CSEM PV-Center einen sehr starken Fokus auf industriennahe Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten und die Umsetzung von Innovationen.

4.2.4 Akteure an Hochschulen

Im Bereich der Solarzellenentwicklung gehören verschiedene Forschungseinrichtungen – an der Empa, an der EPFL in Neuchâtel (IMT) und Lausanne (LPI), am Centre Suisse d'Electronique et de Microtechnique (CSEM) – zu den weltweit führenden Labors. Während in der Vergangenheit insbesondere die Amorphe Si-Dünnschichttechnologie im Vordergrund stand, hat sich dies in den letzten Jahren auf neue Solarzellenkonzepte im Bereich kristalliner Siliziumsolarzellen (Heterojunctiontechnologie, PERC) erweitert und weitere Dünnschichttechnologien (CIGS, CdTe, CTZS) und neue Ansätze wie Perowskitsolarzellen nahmen an Bedeutung zu. Auch auf anderen Forschungsfeldern der Photovoltaik wie im Bereich der Photovoltaikintegration in Gebäuden und Netzen oder im Bereich der Qualitätssicherung und der elektrischen Systemtechnik laufen an verschiedenen Schweizer Forschungseinrichtungen hochqualitative und weltweit anerkannte Aktivitäten. Generell haben diese insgesamt deutlich zugenommen und die Forschungsinfrastrukturen wurden ausgebaut.

In den folgenden Abschnitten werden die wichtigsten Forschungskompetenzzentren in der Schweiz kurz beschrieben.

Photovoltaiklabor und PV-Center CSEM

Das Photovoltaiklabor (PV-Lab) des Institut de Microtechnique (IMT) der EPFL in Neuchâtel existiert seit 1984 und hat verschiedene Pionierleistungen bei der Entwicklung neuer Prozesse insbesondere zur Herstellung von Dünnschicht-Siliziumsolarzellen geleistet. Der Schwerpunkt der Forschungsaktivitäten verlagerte sich in den letzten Jahren auf den Bereich von hocheffizienten kristallinen Siliziumsolarzellen, insbesondere auf die Entwicklung von Siliziumheteroübergängen (Heterojunction), wo langjährige Erfahrungen im Bereich der



Plasmaabscheidung dünner Filme zum Tragen kommen. Aktuelle Forschungs- und Entwicklungsprojekte befassen sich mit Materialeigenschaften, der Weiterentwicklung verschiedener Zwischenschichten von Solarzellen (elektrisch leitfähige und optisch transparente Fensterschichten), mit der Strukturierung von Zellen zum verbesserten Lichteintrag oder neuen Methoden zur Kontaktierung. Im Bereich der Entwicklung von sogenannten Tandem-Zellen aus zwei übereinander geschichteten Solarzellen besteht auch eine enge Zusammenarbeit mit weiteren Partnern aus dem ETH-Bereich.

Neben Forschungsaktivitäten im Bereich Solarzellen werden auch die Themen Verpackung von Photovoltaikmodulen sowie neue Photovoltaikmodulkonzepte für die Gebäudeintegration bearbeitet. So konnte hier in den letzten Jahren eine Technologie entwickelt werden, welche es den Herstellern von kristallinen Silizium-Modulen erlaubt, diese farblich anzupassen, um damit die Integration von Photovoltaik in Gebäuden, insbesondere auch an Fassaden, voranzutreiben. Im Bereich des Energiemanagements für Photovoltaikspeichersysteme besteht eine Kollaboration in dem gemeinsam vom CSEM und der Berner Fachhochschule (BFH) getragenen Zentrum für Energiespeicherung (ESReC) in Biel.

Beide Institutionen, das PV-Lab der EPFL und das CSEM, arbeiten eng zusammen, wobei am PV-Lab eher grundlegendere Forschungsthemen behandelt werden, während das CSEM stark im Bereich der Umsetzung in Zusammenarbeit mit verschiedenen industriellen Partnern aktiv ist.

Ecole polytechnique fédérale de Lausanne EPFL

Labor für Photonik und Grenzflächen

Das Labor für Photonik und Grenzflächen (LPI) an der EPFL in Lausanne ist weltweit bekannt für seine grundlegenden Arbeiten im Bereich der Farbstoffsolarzellen (Grätzelzellen), welche dort seit den 1990er-Jahren erforscht und weiterentwickelt werden. Schweizer Firmen (Solaronix, Glass2Energy) haben grössere Anstrengungen unternommen, diese Technologie industriell weiter umzusetzen, wobei eine Zusammenarbeit mit der EPFL besteht.

Eine vielversprechende Weiterentwicklung der Farbstoffsolarzellen stellen die erst in den letzten Jahren intensiv erforschten Perowskit-Solarzellen dar. Die Effizienz solcher Zellen konnte im Labor innerhalb von nur sechs Jahren von unter 4 % auf über 20 % erhöht werden, was im Bereich der Solarzellenentwicklung einmalig ist. Das LPI gehört hier zu den weltweit führenden Labors mit einem Labor-Rekordwert von 21%. Grosse Herausforderungen für die weitere Umsetzung dieser Ansätze bilden die Langzeitstabilität solcher Zellen sowie die für Perowskit-Zellen eingesetzten Materialien.

Empa (interdisziplinäres Forschungsinstitut)

Abteilung «Dünnefilme und Photovoltaik»

Am Labor für dünne Filme und Photovoltaik der Empa in Dübendorf werden seit vielen Jahren Dünnschichtsolarezellen auf Basis von Verbindungshalbleitern (CdTe, CIGS und CZTS) erforscht und weiterentwickelt. Das Labor gehört zu den weltweit führenden Forschungseinrichtungen auf dieser Technologie, speziell im Bereich CIGS. Ein Schwerpunkt liegt dabei auf Prozesstechniken bei niedrigerer Temperatur, was die Realisierung von CIGS-Solarzellen auf flexiblen Polymersubstraten ermöglicht. Weiter werden zusammen mit anderen Schweizer Hochschulpartnern viel versprechende Ansätze zur Kombination von CIGS- mit anderen Technologien (Perowskit) in sogenannten Tandemzellen mit dem Potenzial für Wirkungsgrade von 30 % und mehr verfolgt. Sowohl Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten, als auch die pilotmässige Umsetzung auf industrieller Skala mit dem Partner Flisom werden in verschiedensten Projekten durch die EU, die KTI, das BFE und dem SNF unterstützt.



Abteilung «Funktionspolymere»

In einer weiteren Abteilung der Empa werden seit mehreren Jahren neuartige organische Materialien und Polymere erforscht und entwickelt für die Anwendung in organischen Solarzellen oder Halbleiterbauelementen (LED). Dieser Materialansatz hat das Potenzial, flexible Solarzellen in einem Druckverfahren auf Basis von preiswerten Ausgangsstoffen sehr kostengünstig zu produzieren. In enger Zusammenarbeit mit verschiedenen Schweizer (z.B. CSEM Muttenz) und europäischen Forschungspartnern und mit Schweizer Industrieunternehmen konnten in den letzten Jahren grosse Fortschritte erzielt werden, so zum Beispiel bei der Herstellung und Hochskalierung von transparenten Barrierefolien, die das Eindringen von Wasserdampf und Sauerstoff in die organischen Materialien verhindern und so die organischen Solarzellen langzeitstabil machen.

Neben den grossen Photovoltaikaktivitäten in den beiden Abteilungen existieren in Einzelprojekten immer wieder weitere Forschungsaktivitäten am Empa Standort in Thun im Bereich des Sägens von Siliziumwafern sowie bei der Entwicklung neuartiger Solarzellenkonzepte (Extremely thin absorber solar cell, ETA)

NEST

Im Mai 2016 wurde das Forschungsgebäude NEST eröffnet. Im Bau- und Energiebereich ist es schwierig, neue Technologien und Produkte schnell auf den Markt zu bringen. Tiefe Energiepreise, lange Investitionszeiten und viele Regeln hemmen die Risikobereitschaft der Unternehmen. Heute besteht oft eine grosse Lücke zwischen Technologien, die im Labor funktionieren, und dem Markt, der zuverlässige, ausgereifte Produkte verlangt. NEST beschleunigt den Innovationsprozess, indem es eine Plattform bietet, auf der Neues unter realen Bedingungen getestet, verbessert und demonstriert werden kann. Statt unter Laborbedingungen müssen sich die Einzellösungen innerhalb des Gesamtsystems Gebäude bewähren. Stetige Interaktion mit den Nutzerinnen und Nutzern ermöglicht eine ganzheitliche Beurteilung unter realitätsnahen Bedingungen.

Fachhochschulen

Institut für angewandte Nachhaltigkeit an der bebauten Umwelt an der Tessiner Fachhochschule (SUPSI-ISAAC)

Das SUPSI-ISAAC im Tessin besitzt eine lange Tradition in der Qualitätssicherung von Photovoltaikmodulen und stellt ein Kompetenzzentrum im Bereich der Photovoltaikgebäudeintegration dar. Zentrale Aktivitäten bilden Langzeitmessungen³ und Dienstleistungen (Energy rating) von Photovoltaikmodulen, die Zertifizierungen von Photovoltaikmodulen gemäss IEC-Normen sowie Untersuchungen zum Thema Netzintegration von Photovoltaik.

Institut für Solartechnik der Hochschule Rapperswil (HSR-SPF)

Das HSR-SPF ist ein etabliertes Testzentrum im Solarwärmebereich mit verstärkten Aktivitäten auch im Bereich Photovoltaik. Speziell wird hier an der Qualitätssicherung von Photovoltaikanlagen im Betrieb (mobiles Testlabor) gearbeitet. Weiter laufen hier Untersuchungen zu Hybridkollektoren (Solarwärme und Photovoltaik). Mit dem SUPSI-ISAAC besteht seit einiger Zeit eine Zusammenarbeit.

Zürcher Hochschule für angewandte Wissenschaften (ZHAW)

An der ZHAW besteht am Standort Winterthur seit einigen Jahren ein Schwerpunkt im Bereich Photovoltaiksystemtechnik. Weiter werden hier neue Modul- und Anlagenkonzepte (Leichtbau) entwickelt. Am Standort Wädenswil stehen anlagentechnische und umweltbezogenen Fragestellungen im Vordergrund.

³ Am ISAAC wird die älteste netzgekoppelte Photovoltaikanlage Europas betrieben, welche 1982 realisiert wurde.



Berner Fachhochschule (BFH)

An der BFH existiert am Standort Burgdorf ein Kompetenzzentrum im Bereich der Qualitätssicherung von Wechselrichter mit entsprechender Mess- und Testinfrastruktur. Weiter ist dieses Labor spezialisiert auf Langzeitmessungen von Photovoltaikanlagen an ausgewählten Standorten und beschäftigt sich intensiv mit sicherheitstechnisch relevanten Fragen. Am Standort Biel wird am gemeinsam mit dem CSEM getragenen Zentrum für Energiespeicherung (ESReC) im Bereich des Energiemanagements für Photovoltaikspeichersysteme gearbeitet.

Weitere Forschungsaktivitäten

Weitere für die Photovoltaik relevante Forschungsaktivitäten bestehen an der Hochschule Luzern (HSLU) zum Thema Gebäudeintegration und Architektur, an der Hochschule für Technik Buchs (NTB) sowie an der Fachhochschule Westschweiz (HES-SO), insbesondere an den Standorten Sion (HES-SO Valais) und Yverdon (HEIG-VD).

4.2.6 Wissens- und Technologietransfer

Auf Stufe der Grundlagenforschung wird mittels der spezifisch für die Photovoltaik zur Verfügung stehenden Mittel des BFE eine Brücke zur industrienahen Forschung und Produktentwicklung geschlagen.

Der regionale Wissens- und Technologietransfer von der Forschung in die Industrie wird durch verschiedene Technologietransferstellen unterstützt. In der Regel sind diese an die Hochschulen und Forschungsinstitute angegliedert.

Spezifisches Fachwissen oder Erfindungen und Innovationen aus dem Hochschulbereich führen oft zur Gründung von neuen Firmen oder zu neuen Geschäftsbereichen in bereits bestehenden Firmen. Erfolgreiche Beispiele hierfür sind unter anderen die Firmen Flisom mit Technologietransfer aus der Empa, Solaronix und Glass2Energy mit Technologietransfer aus der EPFL Lausanne oder Roth&Rau (Meyer Burger), Indeotec, Swissinso, Evatec mit Technologietransfer aus der EPFL Neuchâtel. In den meisten Fällen laufen die Forschungsaktivitäten an den beteiligten Hochschulen parallel zur Firmenentwicklung weiter, was einen kontinuierlichen langfristigen Wissenstransfer zwischen Hochschulpartnern und Industrie ermöglicht.

Daneben sind in den vergangenen Jahren bestehende Firmen, welche vorab nicht im Photovoltaikbereich aktiv waren, Partnerschaften mit Hochschulen eingegangen, um eigene Forschungsideen oder Produktentwicklungen fundiert abklären zu lassen. Solche Entwicklungsarbeiten können beispielsweise im Rahmen von KTI-Projekten stattfinden. Zwischen Forschungsinstituten an Hochschulen und einzelnen Firmen existiert eine Vielzahl solcher Projekte. Die Zusammenarbeit führt zu Innovation und schafft kompetentes Fachpersonal im Bereich der Photovoltaiktechnologien.

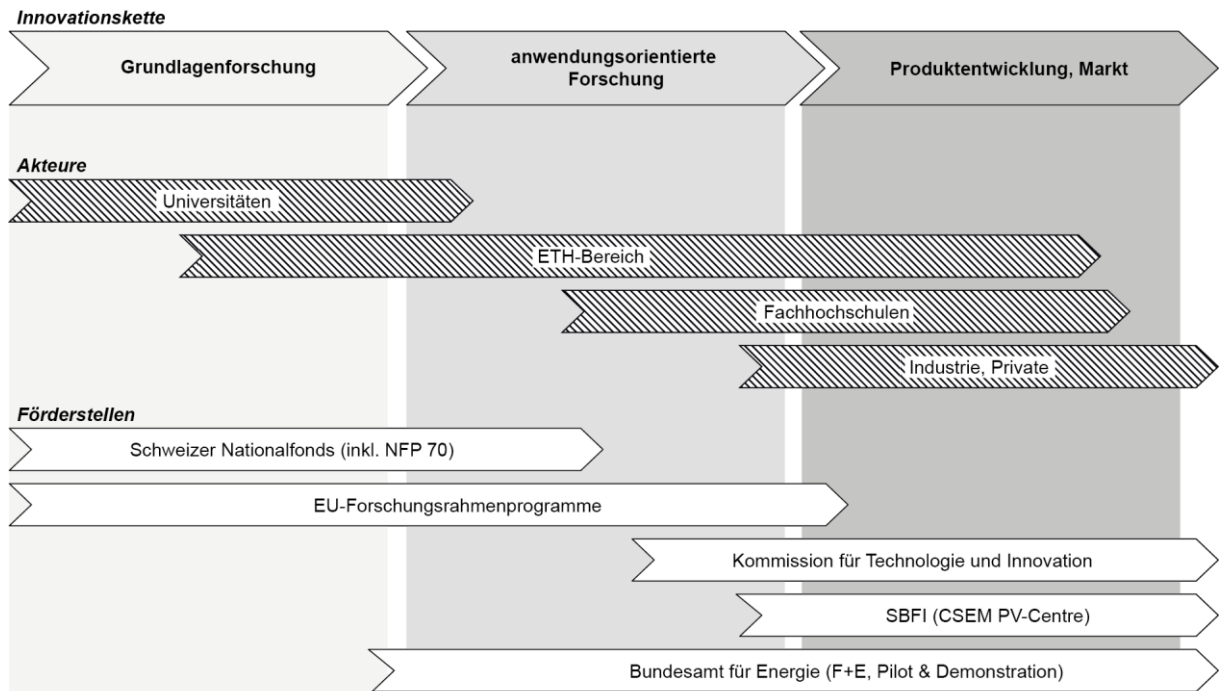


Abbildung 10 Übersicht über verschiedene Förderstellen im Bereich der Photovoltaikforschung entlang der Wertschöpfungskette von Grundlagenforschung bis zur Produktentwicklung (Quelle: BFE)

4.2.7 Beispiele für die Zusammenarbeit von Hochschulen und Industrie

Nachfolgend wird exemplarisch an zwei grösseren Pilotprojekten die enge und erfolgreiche Zusammenarbeit zwischen Forschungsinstitutionen aus dem ETH-Bereich und der Schweizer Photovoltaikindustrie hervorgehoben. Diese Projekte werden ergänzt durch eine Vielzahl weiterer Kooperation zwischen Hochschule und Industrie, insbesondere gefördert über KTI-Mittel.

Pilotlinie für innovative Hochleistungssolarzellen

Durch eine Kombination verschiedener innovativer Ansätze – der Reduktion des Materialeinsatzes durch das dünnere Sägen von Siliziumwafern, die Entwicklung neuartiger Hocheffizienzzellen (Heterojunctionstechnologie) sowie eine verbesserte Zellverbindungstechnologie (SmartWire-Technologie) – wurde in den letzten Jahren eine zukunftsorientierte hocheffiziente Solarzellentechnologie entwickelt. Mit der sogenannten «Smart Wire»-Technologie kann der Einsatz von Silber für das Kontaktieren um bis zu 80 % verringert werden. Zudem sind die Solarzellen robuster gegenüber Beschädigungen und es lassen sich doppelseitige Solarmodule mit Heterojunctionsolarzellen realisieren, welche einen höheren Energieertrag aufweisen. Die hoch effiziente Solarzellentechnologie besitzt das Potenzial, die Kosten von Solarstrom weiter zu senken. Von grosser Bedeutung war und ist hier die enge Zusammenarbeit mit dem Photovoltaiklabor am IMT der EPFL in Neuchâtel und dem PV-Center am CSEM, wo ein grosser Teil dieser Technologie entwickelt wurde und wird.

Seit 2013 wird im Projekt Swiss-Inno HJT der Industriegruppe Meyer Burger zusammen mit dem PV-Center am Centre Suisse d'Electronique et de Microtechnique (CSEM) in Neuchâtel eine Pilot-Produktionslinie für Hochleistungssolarzellen basierend auf der Heterojunctionstechnologie aufgebaut. Das BFE und der Kanton Neuchâtel fördern dieses Projekt. Die eingesetzte Zellentechnologie wurde während mehrerer Jahre in einer engen Kooperation zwischen dem PV-Lab der EPFL in Neuchâtel und Roth&Rau Research entwickelt. Es handelt sich dabei um mono-kristalline Siliziumwafer, welche mit wenigen Nanometern amorphem Silizium beschichtet werden. Damit lassen sich Modulwirkungsgrade von 21 % erreichen, welche deutlich höher liegen als bei durchschnittlichen kristallinen Siliziummodulen (16 %). Zusätzlich zeichnet sich diese Technologie durch einen besonders hohen Energieertrag (kWh/kW) aus. Der Aufbau dieser Pilotlinie – mit einer anvisierten Produktionskapazität von 600 kWp/Jahr – soll das Potenzial für niedrige Herstellungskosten (geringer als



0.65 Fr./Wp) demonstrieren. Das Projekt trägt dazu bei, eine erfolgreiche Markteinführung dieser Technologie vorzubereiten, und damit insgesamt den Technologiestandort in Bereich Photovoltaik in der Schweiz zu fördern.

Das mehrjährige Projekt Swiss-Inno HJT mit einem Budget von 10 Millionen Franken der Meyer Burger Gruppe zusammen mit dem CSEM Neuchâtel hilft, die technologische Innovation in der Schweiz im Bereich Photovoltaik voranzutreiben. Das Projekt wird unterstützt durch die Industrie, das CSEM, den Kanton Neuchâtel und als grösseres Pilotprojekt (durch das BFE).

Pilotproduktionslinie für flexible Dünnschichtsolarzellen

Im Bereich der Dünnschichtsolarzellen entwickelt die Schweizer Firma Flisom innovative Technologien zur Produktion flexibler und leistungsstarker Dünnschicht-Solarmodule auf Basis von CIGS. Flisom hat im Sommer 2015 eine Pilotlinie für flexible CIGS-Dünnschichtmodulen in der Nähe von Zürich in Betrieb genommen. Die Produktionskapazität der Anlage liegt bei 15 MW. In einem Rolle-zu-Rolle-Verfahren können hier dünne «Solarfolien» produziert werden mit dem Potenzial, grossflächige Module auf flexiblen Substraten mit einer Effizienz im Bereich der heute gängigen polykristallinen Siliziumsolarzellen (17 %) mit geringem Energie- und Personalaufwand zu produzieren. Die Entwicklung der Firma Flisom basiert auf einem erfolgreichen Wissens- und Technologietransfer der Abteilung für Dünnschicht- und Photovoltaik der Empa, wo eine langjährige enge Forschungskoooperation besteht.

Die Investitionen durch grösstenteils ausländische Geldgeber erfolgten aufgrund eines erfolgreichen Wissens- und Technologietransfers von der Empa Dübendorf zur Firma Flisom. Technologie- und Prototypenentwicklung wurden massgeblich durch Bundesmittel (BFE, KTI) und Projekte der europäischen Union unterstützt. Aktuell wird der «Ramp-up» zur pilotmässigen Produktion von CIGS-Solarzellen auf dieser Anlage mit einem grösseren BFE-Pilotprojekt gefördert.

5 Entwicklung der Fördermittel

Im Jahr 2014 flossen knapp 306 Millionen Franken an öffentlichen Geldern in die Energieforschung. 112,4 Millionen Franken stammen aus Drittmitteln (KTI, BFE, EU, SNF). Speziell im Bereich Photovoltaik hat in den letzten Jahren die Forschungsaktivität gemessen an der Anzahl mit öffentlicher Mittel geförderter Projekte und der insgesamt für die Photovoltaik eingesetzten Mittel der öffentlichen Hand stark zugenommen.

5.1 Finanzierungsquellen

Gemäss der Energieforschungsstatistik des BFE sind die von der öffentlichen Hand aufgewendeten Mittel für die Photovoltaik in den Jahren 2005 bis 2014 um rund 11 Millionen auf über 30 Millionen Franken angestiegen. Dieser Anstieg ist leicht überproportional zum Anstieg der Mittel für die gesamte Energieforschung (siehe Abbildung 11). Dies ist insbesondere auf den im Rahmen der Botschaft über die Förderung von Bildung, Forschung und Innovation in den Jahren 2013–2016 vom Bund mit jährlich 4,75 Millionen Franken unterstützten Aufbau des PV-Centers am CSEM in Neuchâtel zurückzuführen, welcher in enger Zusammenarbeit mit der EPFL erfolgte.

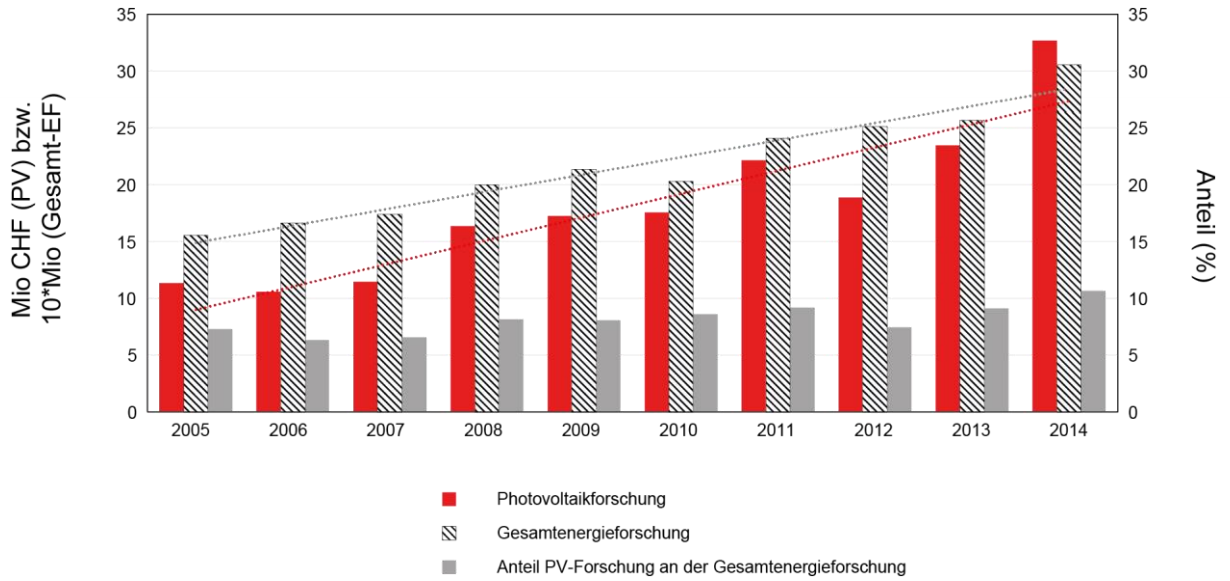


Abbildung 11 Öffentliche Mittel für Gesamtenergie- und Photovoltaikforschung in der Schweiz von 2005 bis 2014 (Quelle: Energieforschungsstatistik, BFE)

Die öffentlichen Mittel von den diversen Förderstellen für Photovoltaikforschung und -technologieentwicklung stiegen in den letzten Jahren kontinuierlich. Insbesondere standen zwischen 2005 und 2014 bei der KTI deutlich mehr Projektmittel zur Verfügung. Ab 2013 war eine deutliche Zunahme der Förderung innerhalb des ETH-Bereichs sowie der Aufbau des nationalen Kompetenzzentrums am CSEM Neuchâtel zu verzeichnen. Abgenommen haben hingegen die programmatisch und subsidiär eingesetzten Forschungsmittel des BFE, welche von grosser Bedeutung sind für den mittel- und langfristigen Kompetenzerhalt sowie die Förderung von Projekten im Bereich der Qualitätssicherung. Schweizer Forschende beteiligen sich zudem erfolgreich an den Forschungsrahmenprogrammen der EU.

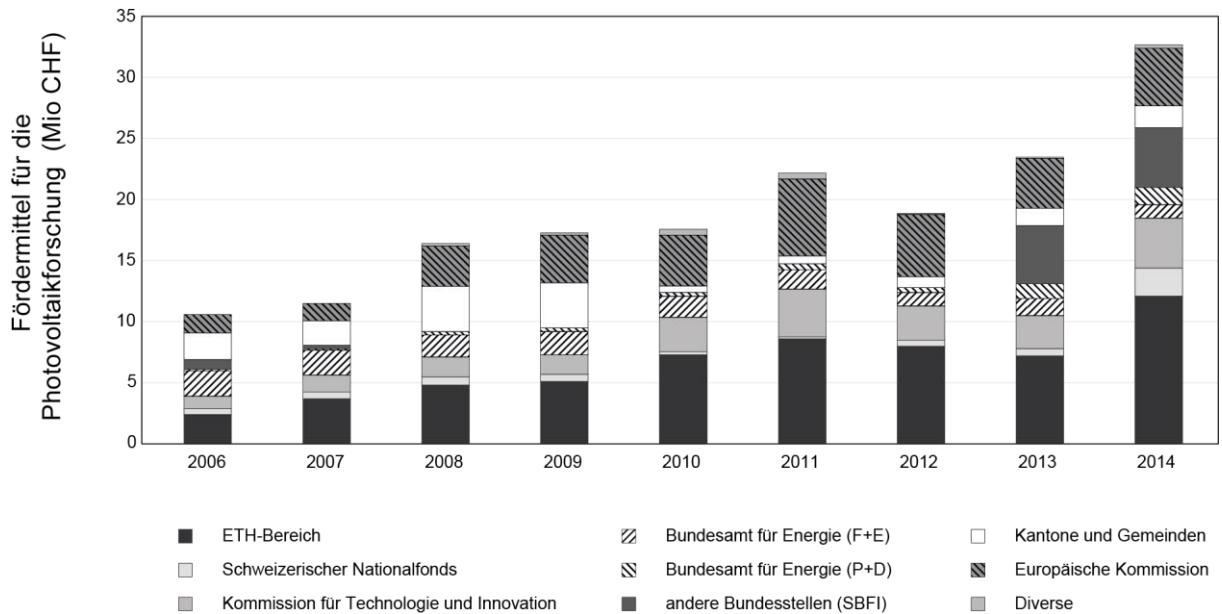


Abbildung 12 Fördermittel für die Photovoltaik nach verschiedenen Finanzquellen für die Jahre 2006 bis 2014 (Quelle: BFE)



Im Rahmen des Aktionsplan «Koordinierte Energieforschung Schweiz» (KES) erfolgte der Aufbau von nationalen Forschungskompetenzzentren (SCCER). Dies hat keinen direkten Einfluss auf die Entwicklung der Photovoltaikfördermittel. Da mit dem PV-Center bereits ein Kompetenzzentrum in diesem Bereich durch den Bund finanziert wird, wurde die Photovoltaik bei der Ausschreibung der SCCER nicht mehr berücksichtigt (vgl. Botschaft Aktionsplan «Koordinierte Energieforschung Schweiz»).

Ein zentrales Element für den Transfer von Forschungsergebnissen in den Markt sind Pilot- und Demonstrationsprojekte. Während sich die spezifisch für die anwendungsorientierte Forschung im Photovoltaikbereich zur Verfügung stehenden Mittel des BFE leicht rückläufig entwickelten und in den letzten Jahren mehr oder weniger konstant blieben, wurden die jährlich zur Verfügung stehenden Mittel für Pilot- und Demonstrationsprojekte für den Zeitraum 2015 bis 2020 um zusätzliche 20 Millionen Franken erhöht. Die Förderung von Leuchtturmprojekten wurde um jährlich 10 Millionen Franken angehoben. Photovoltaikprojekte machen hier einen grossen Anteil aus.

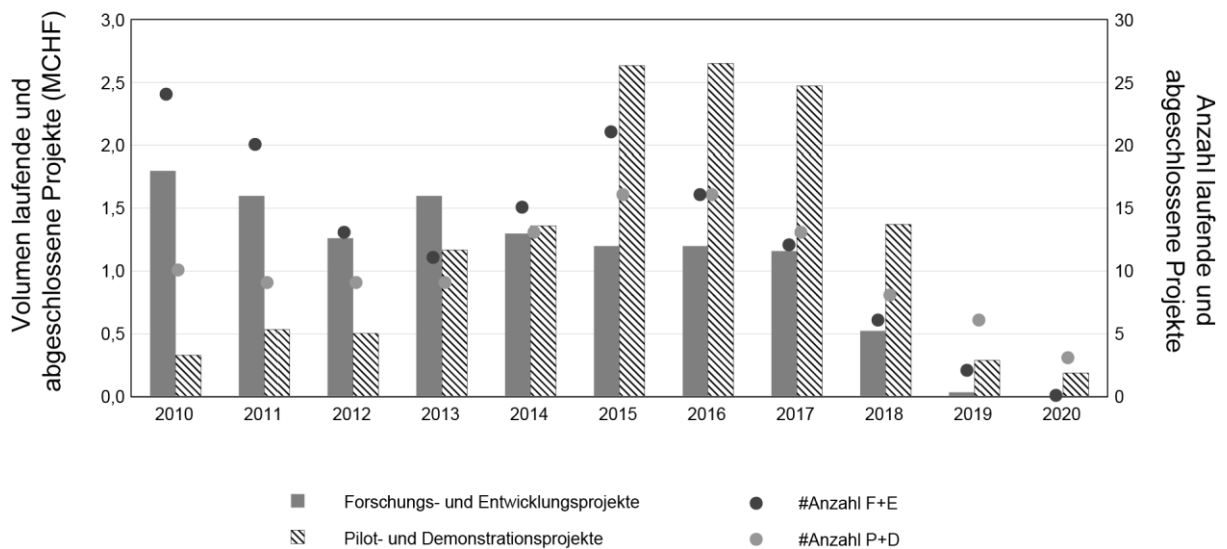


Abbildung 13 Fördermittel des BFE für die Photovoltaiktechnologieentwicklung. Ab 2018 enden diverse mehrjährige Projekte (Quelle: BFE)

Drittmittel für die Energieforschung machen nur 37 % der gesamten Mittel aus. Mehr als die Hälfte der Fördermittel der öffentlichen Hand stammen direkt aus dem ETH-Bereich (ETH Lausanne, ETH Zürich, Empa, PSI, WSL). Der ETH-Bereich hat damit durch seine strategische Ausrichtung grossen Einfluss auf die Intensität der Energieforschung im Bereich Photovoltaik (bspw. bei Neubesetzungen von Professuren).

5.2 Aufwendungen für die Photovoltaikforschung in der Schweiz

Abbildung 14 zeigt die Verteilung der Aufwendungen für die Photovoltaikforschung in der Schweiz in den Jahren 2010 bis 2014 aufgeteilt nach Universitäten, Fachhochschulen und dem ETH-Bereich. Die Aktivitäten aus dem ETH-Bereich machen hier den grössten Anteil aus. An den kantonalen Universitäten laufen eher wenige Forschungsaktivitäten, die einen direkten Bezug zur Photovoltaik haben.

Eine anhaltend zunehmende Bedeutung fällt den Fachhochschulen in der Schweiz zu, insbesondere im Zusammenhang mit Fragen zur Qualitätssicherung, im Bereich der Gebäudeintegration oder auch bezüglich der Herausforderungen der Integration von Photovoltaik und der Speicherung von Solarstrom.

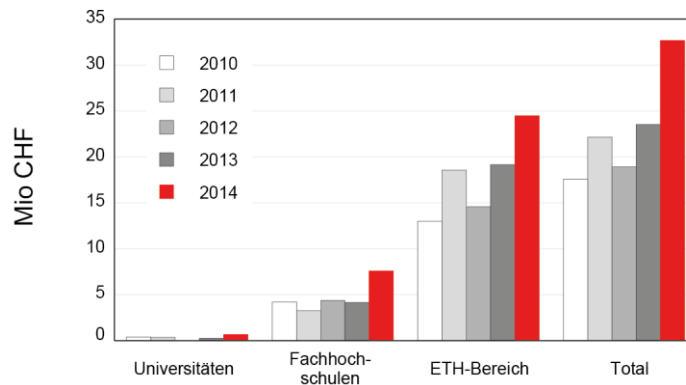


Abbildung 14 Verteilung der Aufwendungen (inkl. Pilot- und Demonstration) für die Photovoltaikforschung an Schweizer Hochschulen, im ETH-Bereich, an Fachhochschulen und Universitäten für die Jahre 2010 bis 2014 (Quelle: BFE)

	ETH-Bereich*	Fachhochschulen	Universitäten	Total
2010	13,0 (73,8 %)	4,2 (24,0 %)	0,4 (2,2 %)	17,6
2011	18,6 (83,7 %)	3,2 (14,6 %)	0,4 (1,6 %)	22,2
2012	14,5 (76,5 %)	4,4 (23,0 %)	0,1 (0,5 %)	18,9
2013	19,1 (81,4 %)	4,1 (17,6 %)	0,3 (1,1 %)	23,5
2014	24,5 (74,9 %)	7,6 (23,2 %)	0,6 (1,9 %)	32,7

* der ETH-Bereich umfasst die ETH Lausanne, ETH Zürich, Empa, PSI und Eawag.

Die folgende Tabelle 2 gibt die Anzahl laufender Forschungsprojekte pro Jahr im Bereich Photovoltaik wieder. Hier ist in den Jahren 2010 bis 2016 ebenfalls Zunahme zu beobachten. Dies dank der im Rahmen des konzentrierten «Aktionsplan Koordinierte Energieforschung» neu lancierten nationalen Forschungsprogramme «Energiewende» (NFP 70) und «Steuerung des Energieverbrauchs» (NFP 71) des Schweizer Nationalfonds, einer nach wie vor starken Projektförderung der KT wie auch einer starken Zunahme von Pilot-, Demonstrations- und Leuchtturmprojekten. Bei der Aufteilung nach Projekten aus dem ETH-Bereich, aus Fachhochschulen, aus Universitäten oder aus der Industrie ist zu beachten, dass bei vielen Projekten mehrere Institutionen involviert sind und Partner aus Forschung und Industrie eng zusammenarbeiten. Bei Industrieprojekten wird in der Regel nur der Hochschulpartner von der öffentlichen Hand unterstützt.

	ETH-Bereich*	Fachhochschulen	Universitäten	Industrie	Total
2010	39	37	3	21	100
2011	40	39	4	20	103
2012	39	36	1	22	98
2013	44	45	1	16	106
2014	49	55	2	15	121

Tabelle 2: Anzahl laufender Forschungsprojekte pro Jahr im Bereich Photovoltaik. (Quelle: BFE)

In der folgenden Abbildung 15 sind die Aufwendungen für die Photovoltaik der einzelnen Forschungseinrichtungen weiter aufgeschlüsselt. Im ETH-Bereich konzentrieren sich die Aktivitäten stark auf die EPFL (an den Standorten Neuchâtel und Lausanne) und auf die Empa. Grössere Fluktuationen gehen auf Variationen in der Höhe der Drittmittel (bspw. EU-Projekte) sowie auf Unsicherheiten bei der Erfassung der Energieforschungsstatistik zurück. Auffallend ist weiterhin, dass die Aktivitäten bei verschiedenen Fachhochschulen stark angestiegen sind.

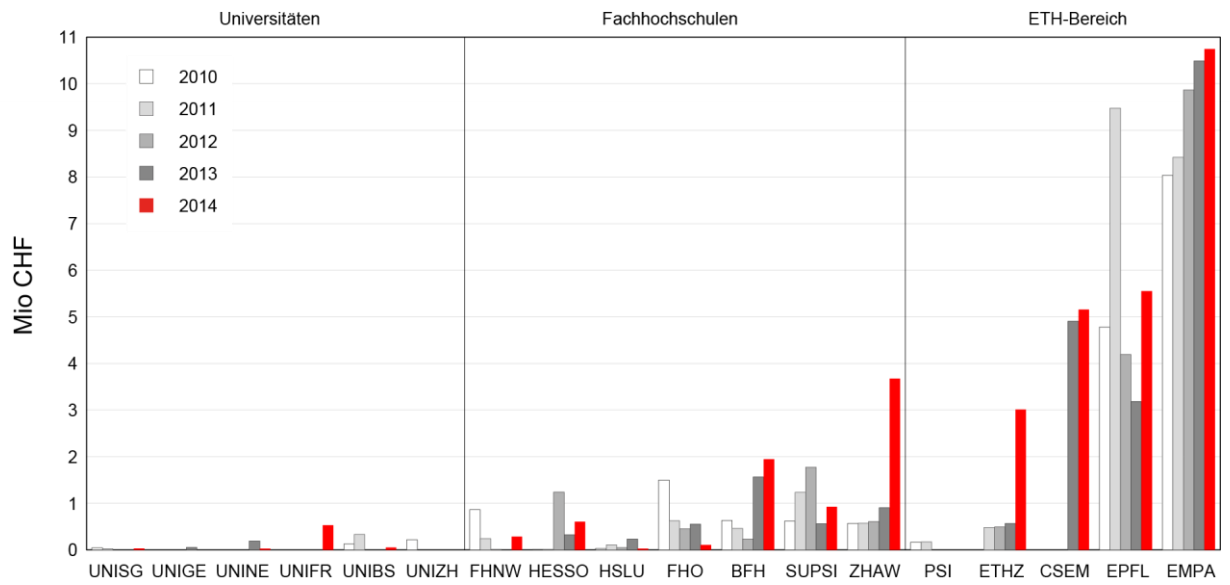


Abbildung 15 Aufwendungen der öffentlichen Hand für die Photovoltaikforschung in der Schweiz 2010-2014 (inklusive P+D) an Schweizer Hochschulen (Quelle: BFE)



6 Schlussfolgerungen und Fazit

Der vorliegende Bericht geht zurück auf das von Max Chopard-Acklin am 10. März 2010 im Nationalrat eingereichte Postulat 10.3080 «Photovoltaik-Forschung. Stärkung und Abstimmung auf Industriebedürfnisse. Er beschreibt die Entwicklungen in den Photovoltaikmärkte und -industrie über die letzten Jahre und dokumentiert, wie das zentrale Anliegen des Postulats, die Schweizer Photovoltaik zu stärken, umgesetzt wird.

Der globale Markt der Photovoltaik hat sich in den letzten Jahren stark gewandelt. Durch rasant wachsende Märkte entstanden Überkapazitäten. Die Kosten und Preise in allen Teilbereichen sind deshalb gesunken. Auch Änderungen in der Förderstruktur und in den Rahmenbedingungen haben die Photovoltaikmärkte und -industrie stark geprägt, global wie national. Trotz diesen massiven Veränderungen und der starken Exportausrichtung bleibt die Photovoltaikindustrie in der Schweiz gut aufgestellt. Dies ist auf die grossen Anstrengungen der letzten Jahrzehnte in Forschung und Entwicklung zurückzuführen, namentlich bei der industriellen Umsetzung von Innovationen sowie der Förderung. Ein weiterer Ausbau der Förderinstrumente des Bundes ist deshalb zum heutigen Zeitpunkt nicht angezeigt.

Bezüglich der Fragen des Postulanten stellt der Bericht fest:

1. Schweizer Hochschulen gehören in verschiedenen Bereichen zu den weltweit führenden Institutionen. Allgemein besteht ein gut etablierter Wissens- und Technologietransfer zwischen Hochschulen und Industrie. Für gewisse Akteure, z.B. im Bereich der anwendungsorientierten Fachhochschulen, ist es schwierig, die Mittel für einen langfristigen Kompetenzerhalt und -ausbau sicherzustellen. Diese Mittel sind in den vergangenen Jahren gesunken.
2. Seit 2010 werden die Fördermittel in der Energieforschung durch die Energieforschungsstatistik des BFE systematisch erfasst. Dies erlaubt es, belastbare Aussagen zur Entwicklung derselben und zur Wirkung von verschiedenen Fördermassnahmen zu machen. Die Aktivitäten sowohl im Bereich der Forschung und Entwicklung als auch bei den Pilot- und Demonstrationsprojekten haben in den letzten Jahren stark zugenommen. Insbesondere für produktnahe Entwicklungen und Pilotprojekte bestehen gute Förderbedingungen. Die Mittel für die Photovoltaikforschung haben von 17,3 Millionen Franken im Jahr 2009 auf 32,7 Millionen Franken im Jahr 2014 erhöht. Pro Kopf fördert die Schweiz im Vergleich zu Europa die Photovoltaikforschung relativ stark.

Fördermittel für den Bereich der anwendungsorientierten Forschung wie die des Forschungsprogramm Photovoltaik des BFE sind von grosser Bedeutung, um die Lücke zwischen Grundlagen- und industrienahe Forschung zu schliessen. Neben den Mitteln für produktnahe Forschung und Pilotprojekten sollten diese in genügendem Ausmass zur Verfügung stehen. Sinnvoll eingesetzt werden dadurch Kompetenzen aufgebaut und erhalten und damit mittel- und langfristige Technologieinnovationen ermöglicht. In diesem Forschungsbereich macht sich teilweise auch das Fehlen eines koordinativ und vernetzend wirkenden Zentrums in der Art eines Swiss Competence Center for Energy Research (SCCER) bemerkbar.

3. Eine Vielzahl von Projekten erfolgt in enger Zusammenarbeit zwischen (Fach-)Hochschulen mit Akteuren der Schweizer Photovoltaikindustrie. In den letzten Jahren konnten zahlreiche Innovationen festgestellt werden. Damit ergibt sich ein Potenzial, die Leistungsfähigkeit und Kosten von Photovoltaikmodulen deutlich zu verbessern. Weitere Innovationen entstehen speziell im Bereich neuer Photovoltaikprodukte zur Gebäudeintegration. Eine zentrale Rolle in der Innovationslandschaft spielt das seit 2013 existierende nationale Photovoltaikkompetenzzentrum am Swiss Center for Electronics and Microtechnology CSEM.
4. Insgesamt ist die Vernetzung zwischen Hochschule und Industrie in der Schweiz stark ausgeprägt, speziell bei Start-Ups aus Schweizer Hochschulen. Neben internationalen Konferenzen und der Zusammenarbeit auf Projektebene tragen hier verschiedenste thematische Workshops sowie die alljährlich stattfindende nationale Photovoltaiktagung zur Vernetzung bei.

Abschliessend ist der Bundesrat überzeugt, dass die Schweiz sowohl auf Forschungs- als auch auf Industriebene über eine hohe Kompetenz im Bereich Photovoltaik verfügt.



7 Quellenverzeichnis

- BFE 2012: Energieperspektiven 2050, Bundesamt für Energie, Prognos AG, Basel und Ecoplan AG, Bern (www.bfe.admin.ch)
- BFE 2012: Das Potenzial der erneuerbaren Energien bei der Elektrizitätsproduktion 2050, Bundesamt für Energie (2012) (www.bfe.admin.ch)
- BFE 2013: Energieforschungskonzept des Bundesamt für Energie 2013–2016, (www.energieforschung.ch)
- BFE 2016: Schweizer Energieforschungsstatistik 2010 bis 2014 (www.energieforschung.ch)
- BK 2016: Bericht des Bundesrates über Motionen und Postulate 2015 (www.bk.admin.ch/dokumentation/publikationen/00290/04599/index.html?lang=de)
- BR 2012: Aktionsplan «Koordinierte Energieforschung Schweiz» – Massnahmen in den Jahren 2013–2016 vom 17. Oktober 2012 (www.admin.ch)
- BR 2013: Botschaft zum ersten Massnahmenpaket der Energiestrategie 2050 und zur Volksinitiative «Für den geordneten Ausstieg aus der Atomenergie» vom 4. September 2013 (www.admin.ch)
- CORE (2012): Konzept der Energieforschung des Bundes 2013–2016 (2013)
- CORE (2016): Konzept der Energieforschung des Bundes 2017–2020 (2016)
- EPO, UNEP 2015: Klimaschutztechnologien in Europa – Folgerungen aus Patent- und Wirtschaftsdaten (www.epo.org)
- EVD, UVEK 2011: Masterplan Cleantech – Eine Strategie des Bundes für Ressourceneffizienz und erneuerbare Energien (www.cleantech.admin.ch)
- Fraunhofer, ISE, PSE AG (2016): Photovoltaics Report 2018
- Fraunhofer, ISE (2016): Recent Facts about Photovoltaics in Germany
- IEA 2014: Analysis of Long-Term Performance of PV Systems, IEA Photovoltaic Power Systems Programme, Task 13 (<http://iea-pvps.org>)
- IEA 2015: Medium Term Renewable Energy Market Report (MTRMR)
- IRENA 2016: The Power to Change: Solar and Wind Cost Reduction Potential to 2025
- KIC InnoEnergy 2015: How technology innovation is anticipated to reduce the cost of energy from European photovoltaic installations
- National Center for Photovoltaics (NCPV) at the National Renewable Energy Laboratory (NREL) (www.nrel.gov/ncpv)
- SAFE 2016: The Price of Solar – Benchmarking PV Module Manufacturing Cost, Solar Alliance for Europe
- SECO, SBFI, BAFU, BFE 2016: Masterplan Cleantech- Eine Strategie des Bundes für Ressourceneffizienz und erneuerbare Energien, Bericht über die Umsetzung der Massnahmen 2011-2014 (www.cleantech.admin.ch)
- Swissolar im Auftrag von BFE 2016: Markterhebung Sonnenenergie 2014. Teilstatistik der Schweizerischen Statistik der erneuerbaren Energien (www.swissolar.ch)