



## 3.4 Photovoltaik

### Autoren

Tony Kaiser (Chair), Alstom, Baden; Stefan Nowak, NET, St. Ursen

**Der Beitrag der Photovoltaik zur schweizerischen Stromerzeugung betrug 2010 erst bescheidene 0,13%. Das langfristige technische Potenzial der Photovoltaik ist jedoch hoch. Seine Nutzung erfordert allerdings eine starke Senkung der Gestehungskosten.**

### 3.4.1 Stand der Technologie heute

Die Photovoltaik (PV) ist eine komplexe Technologie, bei der in den letzten Jahren grosse Fortschritte erzielt wurden. PV-Anlagen haben einen Reifegrad erreicht, der ihren grossmassstäblichen Einsatz zulässt. Die Wirkungsgrade der heute kommerziell eingesetzten Zellen – üblicherweise bestehen diese aus kristallinem Silizium – liegen zwischen 15 und 20%. Zur Erzeugung von 1 TWh elektrischer Energie pro Jahr werden im schweizerischen Mittelland rund 7 km<sup>2</sup> Fläche benötigt. Dafür ist eine installierte Leistung von 1,1 GW erforderlich (vgl. Abbildung 3.5). Bei vollem Sonnenschein fällt diese Leistung im Netz an. Alternativ zu den kristallinen Solarzellen sind Dünnschichtsolarzellen auf dem Markt. Bei der Herstellung von Dünnschichtsolarzellen wird die Schicht, die das Licht absorbiert, auf ein Substrat aufgetragen. Der Wirkungsgrad ist jedoch zurzeit mit 8–12% noch deutlich geringer als bei Siliziumsolarzellen.

Der Beitrag der Photovoltaik zur Elektrizitätsproduktion ist im Jahr 2010 trotz hoher Wachstumsraten in der Schweiz mit 0,13% des produzierten Stroms noch gering. In verschiedenen Ländern liegt der Anteil der Photovoltaik jedoch bereits im

Prozentbereich, so etwa in Deutschland und in der Tschechischen Republik mit je rund 3%.

### 3.4.2 Ökologische und wirtschaftliche Aspekte

PV-Anlagen stossen im Betrieb kein CO<sub>2</sub> und keine Luftschadstoffe aus. Allerdings entstehen bei der Herstellung der Komponenten Emissionen und hochgiftige Abfälle, die der Solarstromerzeugung anzurechnen sind. Für Anlagen in der Schweiz liegen die niedrigsten, aufgrund von Lebenszyklusanalysen ermittelten Emissionen bei einer Lebensdauer von 25 Jahren heute bei rund 50 g CO<sub>2</sub>eq./kWh. Diese Werte liegen für PV-Anlagen aus China typischerweise um 70% höher. (Ein Vergleich der CO<sub>2</sub>-Emissionen zu anderen Produktionsarten findet sich in Abschnitt 3.11).

Wegen der geringen Energiedichte der Sonnenstrahlung werden zur grossmassstäblichen Nutzung der Photovoltaik bedeutende Mengen verschiedenster Materialien benötigt. Je nach Solarzellen-Technologie kommen unterschiedliche Materialien zum Einsatz. Die Rezyklierung dieser Materialien wird zunehmend wichtiger und entsprechende Bestrebungen der Industrie sind im Gange. Das häufig verwendete Grundmaterial Silizium stellt als zweit-

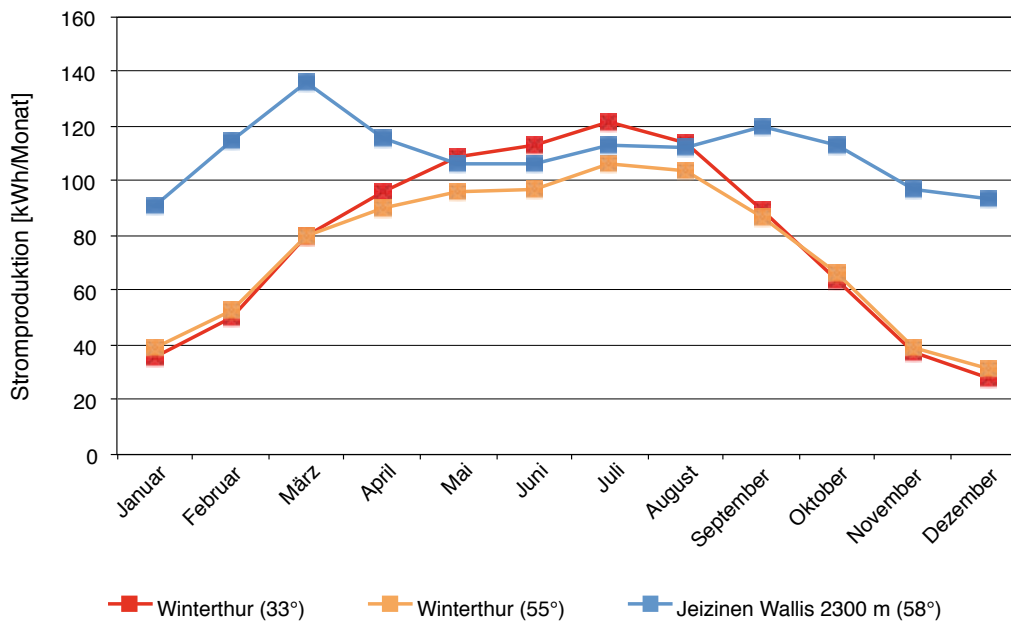


Abbildung 3.5: Erwartete Stromproduktion einer PV-Anlage in Winterthur (stellvertretend für das Mittelland) mit einer Leistung von 1 kW mit 33° und 55° Neigung und einer gleichen Anlage in Jeizinen im Wallis auf 2300 m Höhe mit 58° Neigung. Die erwartete Gesamtproduktion pro Jahr beträgt für Winterthur 940 kWh (bzw. 890 kWh) und für Jeizinen 1320 kWh. PV-Anlagen im Mittelland, wo die meisten Dachflächen bestehen, produzieren im Winter etwa halb so viel Strom wie im Sommer. An besonders sonnenexponierten Hängen im Wallis und Engadin ist die Produktion relativ ausgeglichen. Die mittlere jährliche Sonneneinstrahlung ist relativ homogen mit rund 1100 kWh pro m<sup>2</sup> für das stark besiedelte Mittelland zwischen Neuenburgersee und Bodensee, rund 1200 kWh pro m<sup>2</sup> für die Westschweiz und das Tessin. Überdurchschnittliche Einstrahlungsbedingungen haben die schwächer besiedelten inneralpinen Täler mit rund 1300 kWh pro m<sup>2</sup> und Jahr. (Nowak, Gurtschner 2011)

häufigstes Element der Erdkruste keine Einschränkung dar. Bei Dünnschichtzellen wird der Materialbedarf markant gesenkt, hingegen werden je nach Technologie seltene Metalle wie Indium, Tellur und Gallium verwendet (SATW 2010). Die heute bekannten Vorräte reichen für eine Produktion im Terawatt Bereich. Die für die Kontakte der Solarzellen erforderlichen Metalle (z.B. Silber) könnten langfristig ohne Gegenmassnahmen knapp werden. Mit dem massiven Ausbau gewinnen insbesondere im Produktionsbereich auch Fragen zu Gesundheits- und Sicherheitsrisiken an Bedeutung (SVTC 2009). Mit dem technologischen Fortschritt lässt sich der Energie- und der Materialeinsatz reduzieren und die Umweltbilanz weiter verbessern.

Konflikte ergeben sich bei der Photovoltaik zuweilen in Bezug auf die Ästhetik. Absehbare technische Entwicklungen sollen es ermöglichen, PV-Anlagen und Architektur noch besser aufeinander abzustimmen,

sodass für Dächer und andere Teile der Gebäudehülle ansprechende Lösungen angeboten werden können. Konfliktpotenzial besteht aus raumplanerischer Sicht in der Schweiz bei einer allfälligen Nutzung von Freiflächen für die Photovoltaik.

Die Photovoltaik ist die Stromproduktionstechnologie mit den aktuell höchsten Gestehungskosten, aber auch der schnellsten Kostenreduktion. Die Gestehungskosten sind in den letzten Jahren stark gesunken, dank der technischen Entwicklung, der Marktsituation sowie Produktionsverlagerungen, vor allem nach China.

Neue Produktionskapazitäten führten zu sinkenden Preisen für PV-Module, sodass die Einspeisevergütungen 2010 und 2011 um je 18% gesenkt werden konnten. Das weltweite Marktwachstum beschleunigt die technologische Entwicklung, was die Kosten zusätzlich reduzieren wird. Allerdings betreffen die Kostensenkungen zum grossen Teil die PV-

Module, während das Kostensenkungspotenzial der übrigen Anlagenteile (Montagekonstruktion, Wechselrichter, elektrische Anlagen) und der Betriebs- und Unterhaltskosten deutlich geringer ist.

Die Anlagekosten hängen von der Art und Grösse der Anlage ab. Für angebaute kleinere, netzgekoppelte Anlagen (10 kW) tendierten sie 2012 gegen 4000 Fr./kW und für grössere Anlagen (>100 kW) gegen 3000 Fr./kW. Damit sanken die Stromgestehungskosten im günstigsten Falle deutlich unter 30 Rp. pro kWh (BFE/NET 2012).

### 3.4.3 Potenzial bis 2050

Das technische Potenzial der Photovoltaik ist enorm (DoE 2012) und hängt davon ab, welche Flächen für die Installation in Betracht gezogen werden. In der Schweiz werden üblicherweise nur bereits genutzte Flächen im bebauten Raum betrachtet. Die gut geeigneten Gebäudedachflächen werden auf 100 bis 150 km<sup>2</sup> geschätzt (IEA-PVPS/NET 2002). Auf dieser Fläche lässt sich mit der heute verfügbaren Technik Solarstrom im Umfang von 12 bis 18 TWh pro Jahr erzeugen. Dies entspricht rund 20 bis 30 % des schweizerischen Elektrizitätsverbrauchs im Jahr 2010. Das realisierbare Potenzial könnte gemäss Energie Dialog Schweiz (ETS 2009) mit 8 bis 12 TWh geringer sein. Durch Nutzung von eher west- oder ostwärts geneigten Flächen lässt sich der Zeitraum der täglichen Spitzenproduktion entsprechender Anlagen in den Vormittag oder Nachmittag verlagern und damit eine etwas günstigere Produktionsverteilung erreichen. Die Produktion von Strom und Wärme auf Dachflächen steht in gegenseitiger Konkurrenz, die bei Verwendung von Hybridkollektoren entfällt.

Die Stromerzeugung durch Photovoltaik ist im Vergleich zur Windkraft und Nutzung der Biomasse weniger stark durch Standort- bzw. Mengenbeschränkungen limitiert. Sie hat dadurch ein enormes Potenzial; grosse Mengen an Strom aus neuen erneuerbaren Quellen werden sich in der Schweiz voraussichtlich nur mit entsprechender Nutzung der Photovoltaik gewinnen lassen. Längerfristig ist neben der Verwendung geeigneter Dach- und Fassadenflächen auch die Produktion auf anderen

Infrastrukturflächen sowie Freiflächen denkbar, beispielsweise im alpinen und im voralpinen Raum.

### 3.4.4 Technologiespezifische Bewertung und Folgerungen

Die Photovoltaik hat aufgrund ihres Potenzials für eine langfristig nachhaltige Energiezukunft eine zentrale Bedeutung. Dabei muss berücksichtigt werden, dass Solarstrom nur tagsüber anfällt und die Erzeugung im Winter wesentlich geringer ist als im Sommer. Die Integration der Photovoltaik ins elektrische Netz erfordert deshalb entsprechende Speicherkapazitäten, vorzugsweise vor Ort, zur Absorption von Überproduktion oder zum Ausgleich bei schlechtem Wetter. Mit wachsendem Anteil der fluktuierenden Produktionsarten gewinnt die Stromspeicherung stark an Bedeutung. Neue Lösungen mit intelligenten Netzen können ebenfalls eine wichtige Rolle spielen (vgl. Kapitel 2 und 4). Eine besondere Bedeutung haben PV-Anlagen als Insellösungen bei grösseren Entfernungen zum Stromnetz, weil sich dadurch die kostspielige Anbindung erübrigt und weil PV-Anlagen kaum Wartung erfordern.

Die Solarindustrie erwartet, dass bis etwa 2020 der vom Endverbraucher mit Photovoltaik produzierte Strom ohne Einspeisevergütung etwa gleich teuer sein wird wie der Strom aus der Steckdose. In dieser Rechnung unberücksichtigt bleiben allerdings die erheblichen Netzkosten sowie die Kosten für die Regel- und Ausgleichsenergie, die zur Integration der variierenden PV-Stromproduktion benötigt wird. Beim Strom aus der Steckdose sind diese Kosten bereits enthalten.

Die nächsten zehn Jahre werden für die mittel- und langfristige Bedeutung der Photovoltaik entscheidend sein, da diese als bedeutendste neue erneuerbare Energiequelle zusammen mit den Speicherparcs bis dann den Nachweis erbracht haben müssen, die 1,1 GW Bandenergie der drei ältesten KKW ersetzen zu können. Für den Forschungs- und Industriestandort Schweiz bietet die Photovoltaik eine attraktive Perspektive. Damit sich diese Technologie in der Schweiz rasch etablieren kann, müssen die Behinderungen beim Bau von Anlagen abgebaut werden.

## Literatur

BFE / NET 2012: Bundesamt für Energie / NET Nowak Energie & Technologie AG 2012: PV Anlagekosten in der Schweiz – Überprüfung der kostendeckenden Einspeisevergütung. [www.proclim.ch/news?2393](http://www.proclim.ch/news?2393)

DoE 2012: The potential of solar electricity using a «best case» scenario. SunShot Vision Study of the US Department of Energy (DoE) 2012. [www.proclim.ch/news?2252](http://www.proclim.ch/news?2252)

ETS 2009 (Energie Dialog Schweiz 2009): Energie-Strategie 2050 – Impulse für die schweizerische Energiepolitik. Grundlagenbericht. Zürich. 144 Seiten. [www.proclim.ch/news?877](http://www.proclim.ch/news?877)

IEA-PVPS / NET Nowak Energie & Technologie AG 2002: Potential for Building Integrated Photovoltaics. [www.proclim.ch/news?2418](http://www.proclim.ch/news?2418)

IEA Technology Roadmap – Solar Photovoltaic Energy, International Energy Agency, Paris, France, 2010. [www.proclim.ch/news?2374](http://www.proclim.ch/news?2374)

PV Status Report 2010, Arnulf Jaeger-Waldau, European Commission, DG Joint Research Centre, Institute for Energy, Ispra. [www.proclim.ch/news?2391](http://www.proclim.ch/news?2391)

Nowak 2011: Hintergrundmaterial Photovoltaik und Windkraft, Nowak, Gutschner, Rigassi 2011. [www.proclim.ch/news?2420](http://www.proclim.ch/news?2420)

SATW 2010: Seltene Metalle – Rohstoffe für Zukunftstechnologien. SATW Schrift 2010. [www.proclim.ch/news?1573](http://www.proclim.ch/news?1573)

SVTC 2009: Toward a Just and Sustainable Solar Energy Industry – Silicon Valley Toxics Coalition White Paper SVTC (2009). [www.proclim.ch/news?2069](http://www.proclim.ch/news?2069)