

Zeitschrift: Energie & Umwelt : das Magazin der Schweizerischen Energie-Stiftung
SES

Herausgeber: Schweizerische Energie-Stiftung

Band: - (2017)

Heft: 1: Sonnenenergie

Artikel: Photovoltaik : führende Energietechnologie des 21. Jahrhunderts

Autor: Nowak, Stefan

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-685398>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 02.02.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Bau einer grossflächigen Photovoltaik-Anlage auf den drei Dächern einer Gewerhalle im Breiteli in Erstfeld. Die Anlage wurde von den Gemeindewerken Erstfeld für drei Firmen erbaut, welche den Solarstrom zunächst für den Eigenverbrauch nutzen und den überschüssigen Strom nach KEV ins Netz einspeisen.
(Foto: Rafael Brand ©Gemeindewerke Erstfeld)

Photovoltaik – führende Energietechnologie des 21. Jahrhunderts

Photovoltaik entwickelt sich in grossen Schritten zu einer der weltweit bedeutendsten Energieformen des 21. Jahrhunderts. Die Schweiz ist ebenfalls gut aufgestellt, um eine bedeutende Rolle zu spielen. Packen wir diese Chance mit Mut und Weitsicht!



Von **Stefan Nowak***

Physiker und Geschäftsinhaber NET,
stefan.nowak@netenergy.ch

Dass die Energie der Sonne für das Leben auf der Erde die treibende Kraft ist, und dies seit Millionen von Jahren, haben wir bereits in der Primarschule gelernt. Trotzdem wird diese Energiequelle wieder neu entdeckt und auch immer wieder hinterfragt.

Die Nutzung der Sonnenenergie erfolgt heute auf unterschiedliche Arten: Solarthermische Kollektoren erzeugen Wärme für Brauchwasser und Heizung, Photovoltaikmodule wandeln die Solarstrahlung in elektrischen Strom um und solarthermische Kraftwerke nutzen konzentrierte Sonnenenergie in thermischen Kraftwerken zur Erzeugung von Strom, dies vor allem in sonnenreichen Ländern des Südens.

Nimmt man die Ziele der Energiestrategie 2050, so stellt die Photovoltaik im Strombereich die wichtigste neue erneuerbare Energiequelle dar.

*Stefan Nowak ist Physiker und Managing Director der NET Nowak Energie & Technologie AG und befasst sich seit mehr als 20 Jahren mit der Entwicklung der Photovoltaik. Er leitet im Auftrag des BFE das Schweizer Forschungsprogramm Photovoltaik und ist Vorsitzender des Photovoltaik-Programms der Internationalen Energieagentur (IEA) PVPS.

Hier soll von Photovoltaik die Rede sein, der in den letzten 20 Jahren wohl am meisten diskutierten Form der Sonnenenergie. Zugegeben, dass man mit Sonnenlicht mittels einer Siliziumscheibe Strom erzeugen kann, ohne Bewegung und ohne Geräusch, entspricht nicht unbedingt unserer intuitiven Vorstellungskraft, ebenso wenig wie die diesem Phänomen zugrundeliegende Physik. Und dass dies wahrscheinlich eine der wichtigsten Energieformen der Zukunft sein wird, noch viel weniger.

Zu unbedeutend der Beitrag des Solarstroms, zu teuer die Gestehungskosten, zu zufällig die Verfügbarkeit oder zu wenig nachhaltig ihre Nutzung, dies sind nur die wichtigsten Vorurteile, welche sich – obwohl inzwischen alle vielfach widerlegt – landauf, landab über lange Zeit halten konnten und die Diskussion in die ideologische Ecke abschieben. Dabei geht zuweilen unter, welche enorme Entwicklung diese junge Energietechnologie, im Schatten der Halbleiterentwicklung, über die letzten 20 Jahren vollzogen hat und welche Chancen sich für die Zukunft eröffnen.

Potenzial

Eigentlich ist es sehr klar: Betrachtet man die Energiemenge, welche die Sonne über ein Jahr auf die Erde strahlt, so ist dies ein Vielfaches aller Formen der Energienutzung wie wir sie heute kennen. Die Sonnenenergie

gie hat somit sicher kein Mengenproblem. So könnte z.B. der jährliche Strombedarf der Schweiz mittels Photovoltaik auf einer Fläche von 400 km² oder rund 1 % der Landesfläche erzeugt werden. Das beabsichtigt niemand ernsthaft zu tun, aber es hilft, sich solche Zahlen vor Augen zu führen. Wird man etwas konkreter mit der Überlegung, dass Sonnenenergie in der Schweiz vorzugsweise im bebauten Raum erfolgt, so lassen sich etwa 150 km² günstige Dachflächen identifizieren, auf welchen sich rund 30% des heutigen Strombedarfs erzeugen liessen. Auch dies wäre ein hochgestecktes Ziel, aber es wird damit klar zum Ausdruck gebracht, dass das technische Potenzial der Sonnenenergie auch in der Schweiz sehr gross ist. Mehr noch: Nimmt man sich die Ziele der Energiestrategie 2050 vor Augen, so stellt die Photovoltaik zumindest im Strombereich die wichtigste neue erneuerbare Energiequelle überhaupt dar – ein hohes Ziel, aber grundsätzlich machbar.

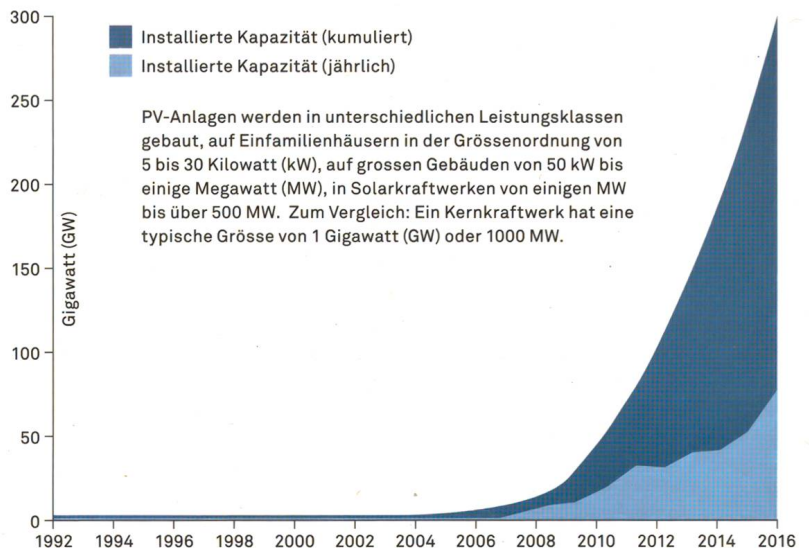
Bedeutung der Photovoltaik in der Schweiz

Die Schweiz ist auf dem Gebiet der Photovoltaik sehr gut aufgestellt. Diese Entwicklung nahm vor bald 40 Jahren ihren Anfang, als Schweizer Solarpioniere erste grössere Photovoltaik-Anlagen konzipierten und bauten. Die auf der heutigen Fachhochschule SUPSI in Lugano durch Mario Camani initiierte und 1982 erstellte Anlage mit einer Leistung von 10 kW gilt als eine der ersten grösseren an das Netz gekoppelten Anlage überhaupt. Gleichzeitig tüftelte Markus Real, zuerst am damaligen Eidgenössischen Institut für Reaktorforschung (EIR), dem heutigen Paul Scherrer Institut (PSI), und später in seiner Firma Alpha Real an Systemansätzen und Wechselrichtern für Photovoltaik-Anlagen. Die mehr grundlagenorientierte Photovoltaik-Forschung nahm 1985 mit Prof. Arvind Shah an der Universität Neuenburg ihren Anfang. Sie konzentrierte sich auf die Entwicklung von Dünnschichtsolarzellen. Dies sind nur einige Beispiele wie über die Jahre eine breite Kompetenzbasis entstanden ist, welche Hochschulen, Fachhochschulen, Industrie- und Dienstleistungsunternehmen umfasst und immer mehr auch die Energiewirtschaft mit einbezieht. Gemeinsam wird an immer besseren Wirkungsgraden, neuen Prozessen, innovativen Produkten und qualitativ hochstehenden Anlagen gearbeitet.

Dabei sind heute folgende Aspekte von besonderer Bedeutung: Die aktuelle Schweizer Photovoltaik-Forschung auf dem Gebiet der Solarzellen ist gleich auf mehreren Technologiepfaden weltweit führend, insbesondere bei fortgeschrittenen kristallinen Siliziumsolarzellen (EPFL Neuenburg), Dünnschichtsolarzellen auf der Grundlage von Verbindungshalbleitern (Empa) sowie organischen und Perowskit-Solarzellen (EPFL und Empa). Wichtige Forschungspreise gingen in diesem Zusammenhang an Prof. Michael Grätzel (EPFL Lausanne) für seine langjährigen Forschungsarbeiten zu Farbstoff-solarzellen. Als weiteres Zeichen der internationalen Anerkennung ihrer Forschungsanstrengungen und Erfolge ging der begehrte europäische Becquerel-Preis bereits zweimal an Forscher aus der Schweiz (Prof. Arvind Shah, 2007, und Prof. Christophe Ballif, 2016, beide EPFL Neuenburg).

Entwicklung des weltweiten Photovoltaik-Marktes

Quelle: IEA PVPS 2016; Daten 2016 geschätzt



Ähnlich decken die Fachhochschulen in Burgdorf, Lugano, Luzern, Rapperswil, Wädenswil und Winterthur, um nur einige zu nennen, ein breites Spektrum von Tätigkeiten auf der Produkte- und Systemebene ab und legen damit umfassende Grundlagen für die Anwendung der Photovoltaik. Besonders hat sich die Schweizer Photovoltaik darüber hinaus seit ihrem Bestehen durch eine sehr innovative Anwendungspraxis einen internationalen Namen gemacht und schon sehr früh ästhetische Lösungen zur Gebäudeintegration vorgestellt. Im Zuge der technologischen Entwicklung hat sich eine Photovoltaik-Industrie herausgebildet, welche mittlerweile entlang der gesamten Wertschöpfungskette tätig und am internationalen Markt präsent ist. Dementsprechend ging auch die in den letzten Jahren erfolgte Konsolidierung der weltweiten Industrie nicht spurlos an der Schweiz vorbei.

Die Schweizer Photovoltaik-Forschung ist gleich auf mehreren Technologiepfaden weltweit führend.

Während die Anwendung der Photovoltaik in der Schweiz über viele Jahre im einstelligen MW-Bereich erfolgte, hat sich dies seit der Einführung der kosten-deckenden Einspeisevergütung KEV (2009) massiv geändert. Aktuell bewegt sich der Schweizer Photovoltaik-Markt zwischen 250 und 330 MW pro Jahr. Ende 2016 waren rund 1,65 GW Photovoltaik installiert, welche jährlich zirka 1,5 TWh Strom produzieren bzw. etwa 2,5% des Verbrauchs abdecken. Mit einer breiten Technologiebasis, einer wettbewerbsfähigen Industrie und einem intakten, aber deutlich ausbaubaren Markt ist die Schweiz sehr gut aufgestellt, um auch in Zukunft in der Photovoltaik eine bedeutende Rolle zu spielen.

Weltweite Marktentwicklung

Der Photovoltaik-Markt in der Schweiz hat sich bisher verhalten positiv entwickelt, wobei die nähere Zukunft vom Ausgang der Abstimmung zur Energiestrategie

Die Zukunft des PV-Markts in der Schweiz hängt von der Abstimmung zur Energiestrategie 2050 ab.

2050 abhängen wird. Demgegenüber ist der weltweite Markt durch eine hohe Dynamik gekennzeichnet. Optimistische Schätzungen des Marktes für 2016 gehen von zirka 75 GW installierter Leistung allein in diesem Jahr aus, was etwa 50% über dem Vorjahreswert liegt und die gesamthaft installierte Leistung auf rund 300 GW bringt, welche mehr als 1,5% des weltweiten Strombedarfs abdecken. Trotz dieses absolut noch kleinen Beitrags gehört die Photovoltaik damit zu den Energiequellen, welche am schnellsten wachsen, insbesondere wenn man die neu installierte Leistung betrachtet.

Dieses Wachstum ist noch ungleichmässig auf die Welt verteilt: Während Europa, allen voran Deutschland, den Markt über viele Jahre geprägt hat, findet heute und in naher Zukunft weitaus der grösste Zubau in Asien, speziell China, statt. Gegen die Hälfte – rund 34 GW – der weltweit installierten Leistung erfolgte 2016 allein in diesem Land. Massgebliche Märkte befinden sich aber ebenso in den USA, Japan und zunehmend in Indien sowie weiteren Ländern Asiens. In den USA wird der Photovoltaik-Markt seit vielen Jahren durch Kalifornien dominiert, verschiedene Staaten wechseln sich in ihrer Reihenfolge der Top 10 ab; so ist z.B. in Texas der Markt im Jahr 2016 förmlich explodiert. Damit wächst die Anzahl Länder mit bedeutenden Photovoltaik-Märkten jedes Jahr und trägt dazu bei, den Markt als Ganzes robuster zu machen.

Die bisher tiefsten Gestehungskosten wurden in sonnenreichen Ländern des Südens erzielt und liegen unter 3,5 US-Cents pro kWh – tiefer als Strom aus Kohlekraftwerken.

Mit diesem anhaltend hohen Wachstum hat die Photovoltaik die meisten Prognosen der letzten Jahre regelmässig und signifikant übertroffen. Einhergehend mit dieser enormen Dynamik geht eine rasante Kostenreduktion, welche die Photovoltaik in den Augen der meisten ExpertInnen viel schneller als erwartet in die Nähe der Wirtschaftlichkeit gebracht hat. Die bisher tiefsten Gestehungskosten wurden in sonnenreichen Ländern des Südens, z.B. Chile, Mexiko oder den Vereinigten Arabischen Emiraten erzielt, liegen unter 3,5 US-Cents pro kWh und damit zum Teil tiefer als für Strom aus Kohlekraftwerken.

Aktuelle Rekordhalter sind Chile und Mexiko mit Preisen unter 3 US-Cents pro kWh. Dabei handelt es sich um Grossprojekte mit idealen Randbedingungen wie hohe Solarstrahlung, langfristigen Lieferverträgen und tiefen Finanzierungskosten. Dennoch zeigen diese Beispiele, welchen Weg die Wirtschaftlichkeit der einst so teuren Photovoltaik nehmen kann und wird.

Obwohl die zahlenmässig wichtigen Märkte noch massgeblich durch günstige regulatorische Rahmenbedingungen getrieben sind, mehren sich die Situationen, wo die Photovoltaik ohne besondere Förderung ihren Platz im Markt findet. In gleichem Mass werden die Fördermassnahmen immer mehr zurückgefahren und marktwirtschaftliche Ansätze vorangetrieben. Der Übergang von politisch motivierten, durch günstige Rahmenbedingungen getriebenen Märkten zu marginal oder gar nicht speziell geförderten Marktsituationen ist eine der wichtigsten Voraussetzungen, um langfristig das Wachstum der Photovoltaik zu sichern. Gleichzeitig stellt ein möglichst kontinuierlicher Übergang hier grosse Anforderungen an das regulatorische Umfeld.

Herausforderungen

Das immense Potenzial und die zunehmende Wirtschaftlichkeit der Photovoltaik wecken für die Zukunft grosse Erwartungen. Damit diese auch erfüllt werden, sind einige Herausforderungen zu meistern. So ist die Photovoltaik definitiv im Energiemarkt angekommen und technisch wie wirtschaftlich systemrelevant geworden. Durch den raschen Zubau können lokal Situationen entstehen, wo die Photovoltaik ohne entsprechende Gegenmassnahmen in Zukunft an die Grenzen der Aufnahmefähigkeit der elektrischen Netze stossen wird. Systemintegration und Flexibilität sind deshalb Schlüsselbegriffe der aktuellen technischen Herausforderungen. Um die zukünftig hohen Beiträge der Photovoltaik zu realisieren, gewinnt die Energiespeicherung von kurzfristigen Überkapazitäten, in der Schweiz aber auch die saisonale Speicherung, an Bedeutung, sowohl als Elektrizität (z.B. Batterien, Pumpspeicherkraftwerke) wie in anderen Energieformen. Man spricht in diesem Zusammenhang von «Power-to-X», wobei X für verschiedene Energieträger (z.B. Gas, flüssige Energieträger, Wärme, usw.) stehen kann.

Welche Lösung sich in welcher Situation am besten eignet, hängt von zahlreichen Faktoren ab und ist Gegenstand der aktuellen Forschung. Vor allem aber stellen sich hier neue Herausforderungen der Wirtschaftlichkeit und der entsprechenden Geschäfts- und Marktmodelle. Mit anderen Worten: Die Photovoltaik ist Teil des Energiesystems geworden und zukünftige Lösungen können nur mit einem umfassenden Systemansatz gefunden werden.

Fazit

Es steht ausser Zweifel, dass die Photovoltaik weltweit auf dem Weg ist, rasch zu einer der bedeutendsten Energieformen des 21. Jahrhunderts zu werden. Dies wird nicht von selbst geschehen, es sind dazu weitere grosse Anstrengungen nötig. Die Frage ist aber längst nicht mehr ob, sondern wo und wann die Photovoltaik ihren Beitrag zum Nutzen der Gesellschaft leisten kann. Die Schweiz ist gut aufgestellt, um hier eine bedeutende Rolle zu spielen, sowohl technologisch, industriell wie bei der Nutzung in unserem Land. Packen wir diese Chance mit Mut, Kraft und Weitsicht! <

«Ich bin von den europäischen Regierungen enttäuscht»

Interview von Felix Nipkow



E&U: Sie sind von Deutschland ausgerechnet nach Finnland gezogen, um die Solarenergie zu erforschen: Wären Sie nicht besser in den sonnigen Süden gezogen?

Als Wissenschaftler möchte ich dort arbeiten, wo ich die besten Arbeitsbedingungen vorfinde und die sind ganz klar an der Lappeenranta University of Technology. Mein Team stammt aktuell aus 15 verschiedenen Ländern von allen Kontinenten, das ist fantastisch.

E&U: Hat Solarenergie in nördlichen Ländern überhaupt Zukunft? Im Winter, ausgerechnet wenn der Stromverbrauch am höchsten ist, kann ja fast keine Energie gewonnen werden.

Im Winter ist in der nördlichen Hemisphäre der Wind hervorragend und im Sommer geht die Sonne kaum unter, das gleicht sich hervorragend aus. Unternehmen, die in Finnland Photovoltaik (PV) nicht zum Eigenverbrauch auf ihren Dächern nutzen, vergeben inzwischen Gewinnchancen.

E&U: Sie beschäftigen sich seit über zehn Jahren mit Solartechnologie und -forschung. Welche Entwicklung hat Sie in dieser Zeit am meisten beeindruckt?

Technisch und wirtschaftlich sicherlich, dass die Lernkurve voll intakt ist. Die Kosten sinken kontinuierlich und ungebrochen. Dies ist zur Hälfte Folge technischer Innovationen. Politisch bin ich von den europäischen Regierungen unisono enttäuscht. Sie ergeben sich heute lieber willfährig dem Lobbyismus der fossil-nuklearen Energiewirtschaft statt dem Willen der Bevölkerung nachzukommen, die Energieversorgung zügig auf Nachhaltigkeit umzustellen.

E&U: Was sind die nächsten grossen Schritte in der Photovoltaik-Forschung? Dürfen wir uns schon bald auf die nächste Technologierevolution freuen?

Bei der Photovoltaik gibt es keine Revolutionen, aber eine kontinuierliche Evolution. Der Modulwirkungsgrad nimmt stetig um 0,4 % pro Jahr zu als Folge vieler Optimierungen. Die stärkste Unterstützung wird die PV von schnell sinkenden Batteriekosten erhalten, weil dies die Nutzung der PV auf 24 Stunden am Tag ausweitet.

E&U: Rund zwei Drittel der weltweit verbauten PV-Module werden in China hergestellt. Warum ist die Herstellung in China so viel günstiger – warum können wir diese Wertschöpfung nicht bei uns halten?

Entsprechend skalierte Fabriken würden in Europa gleich viel kosten! Ingenieure in Schanghai sind heute teurer als in Ostdeutschland. Die PV-Industrie in China

ist als strategische Industrie klassifiziert. Da die europäischen Regierungen die Energiewende nur halbherzig vorantreiben, sind ihnen die entsprechenden Industrien nicht wirklich wichtig.

E&U: Die Prognosen zum Solarstrom-Ausbau der IEA werden regelmässig um Größenordnungen übertroffen. Warum wird das Wachstum der Solarenergie konstant unterschätzt?

Die IEA veröffentlicht mit ihren Hauptstudien, zum Beispiel dem World Energy Outlook, Jahr für Jahr Zahlen, für welche die Studenten in meinen Vorlesungen mangels Sachkenntnis die Prüfung nicht bestehen würden. Seit 20 Jahren sind alle PV-Projektionen der IEA grottenfalsch gewesen. Der formale Hauptgrund ist, dass ein jährliches Marktwachstum schlicht verleugnet wird, dies ist jüngst wieder im aktuellen World Energy Outlook geschehen. Über die dahinterstehenden Gründe dieser Realitätsverweigerung können wir nur spekulieren. Da die Entwicklung von Kohle- und Kernkraftwerken jedoch regelmässig überschätzt wird, haben wir zumindest eine Ahnung, woher der Wind weht.

E&U: Wenn in Europa viele Solarkraftwerke stehen, produzieren immer alle gleichzeitig Strom. Das hat zur Folge, dass entweder Überschuss herrscht oder kein Strom da ist. Wie kann dieses Problem gelöst werden?

In der ganzheitlichen Betrachtung von Energiesystemen gibt es einen solchen Widerspruch nicht. Die Kunst besteht darin, das Energiesystem flexibel zu gestalten. Der Wind weht normalerweise nicht besonders stark, wenn die Sonne stark scheint, Staudämme sollten den Strom dann bereitstellen, wenn kein Wind weht und die Sonne nicht scheint. Elektrolyseure werden dann voll produzieren, wenn die Sonne stark scheint oder der Wind stark weht und die Basis für die chemischen Rohstoffe, Gas und flüssige Treibstoffe herstellen. Mein Team hat eine Website online gestellt, die weltweit aufzeigt, wie 100 % erneuerbare Energien im Stromsystem in einer stündlichen Auflösung funktionieren können.¹

E&U: Hat die Schweiz hier dank rund 60 % Wasserkraft einen Vorteil?

Ja sicher. Das ist wohl das wertvollste Energieasset neben der sehr guten Sonne. <

Christian Breyer

ist Professor für Solarwirtschaft an der Lappeenranta University of Technology (LUT) in Finnland. Er erforscht technologische und ökonomische Aspekte von erneuerbaren Energiesystemen.

¹ www.neocarbonenergy.fi/internetofenergy