Ist Photovoltaik in den Alpen sinnvoll?

Autor(en): **Rohrer, Jürg**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin.ch : Fachzeitschrift und Verbandsinformationen von Electrosuisse, VSE = revue spécialisée et informations des associations Electrosuisse, AES**

Band (Jahr): **113 (2022)**

Heft 10

PDF erstellt am: **24.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-1037151

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Alpine Versuchsanlage in Davos-Totalp auf 2500 m.ü.M.

Ist Photovoltaik in den Alpen sinnvoll?

Klimaziele erreichen | Die aktuellen Schweizer Klimaziele können den Vertrag von Paris nicht erfüllen. Dazu wären netto-null Treibhausgasemissionen schon 2035, und nicht erst 2050 nötig. Aber selbst um netto-null bis 2050 zu erreichen, muss der PV-Ausbau stark beschleunigt werden. Mit alpinen PV-Anlagen könnte sowohl der Ausbau beschleunigt als auch mehr Winterstrom erzeugt werden.

JÜRG ROHRER

Es ist weitgehend unbestritten, dass die Schweiz ihre Treibhausgasemissionen auf netto-null reduzieren muss und dabei der Elektrifizierung des Energiesystems eine Schlüsselrolle zukommt. Unterschiedlich beurteilt wird hingegen, in welchem Umfang elektrifiziert werden soll und wie stark der Strombedarf in der Schweiz dadurch zunehmen wird. Die Energieperspektiven 2050+ des Bundes zeigen vier mögliche Szenarien auf, wie netto-null bis 2050 mit einer ausgeglichenen Jahresbilanz beim Strom erreicht werden könnte. Die künftige Stromproduktion beträgt im Basisszenario 85 TWh pro Jahr, am tiefsten ist sie im Szenario B (77 TWh), am höchsten im Szenario A (89 TWh). Der Hauptunterschied liegt im Ausbau der Stromproduktion aus erneuerbaren Energiequellen, insbesondere der Photovoltaik. Ihr Beitrag bewegt sich zwischen 20 TWh pro Jahr (Zero B) und 39 TWh pro Jahr (Zero A) [1]. Gemäss eigenen Berechnungen wird der Bedarf an Solarstrom eher höher sein und sich bei mindestens 44 TWh pro Jahr bewegen [2].

Ungenügende Zielsetzungen der Schweiz

Im Klimavertrag von Paris hat sich die Schweiz 2015 verpflichtet, ihren Beitrag zu leisten, um die globale Erhitzung auf deutlich unter 2°C, wenn

Bilder: ZHAW Forschungsgruppe Erneuerbare Energien

möglich auf 1,5 °C zu begrenzen. Durch den Weltklimarat (IPCC) wurde ein globales Budget der Treibhausgasemissionen berechnet, welches insgesamt noch ausgestossen werden darf, damit die durchschnittliche Erderwärmung auf 1,5 °C bzw. 2,0 °C begrenzt werden kann [3]. Verteilt man dieses globale Budget anhand der Einwohnerzahlen auf alle Länder der Erde, so würde die Schweiz mit der Umsetzung des Nettonull-Ziels bis 2050 anhand der oben erwähnten Energieperspektiven 2050+ in allen Szenarien mehr als 2,5 Mal so hohe Treibhausgas-Emissionen verursachen, wie ihr zustehen. Mit anderen Worten: Die Schweizer Klimaziele sind ungenügend. Bestätigt wird dies auch durch Einschätzungen internationaler Organisationen, wie z. B. Climate Action Tracker [4]. Bei Annahme einer linearen Reduktion der Treibhausgasemissionen über die Zeit vom heutigen Niveau auf netto-null müsste die Schweiz zur Einhaltung des ihr zustehenden Emissions-Budgets das Nettonull-Ziel bis spätestens 2035 (und nicht erst 2050) anstreben. Dies hat zur Konsequenz, dass der oben erwähnte Ausbau der Photovoltaik-Produktion von heute rund 3 TWh auf mindestens 39 TWh pro Jahr innerhalb der kommenden 13 Jahren erfolgen müsste.

Die PV-Potenziale in der Schweiz

Glücklicherweise verfügt die Schweiz über grosse Potenziale zur Erzeugung von Solarstrom. Alleine auf den Schweizer Dachflächen beträgt das wirtschaftliche Potenzial etwa 54 TWh pro Jahr [5]. Die Betrachtung der Potenziale allein greift aber zu kurz: Es müssen auch die Umsetzungsmöglichkeiten dieser Potenziale in den nächsten 13 bis 28 Jahre betrachtet werden. Die Realisierung des gesamten Potenzials auf den Dachflächen würde bedeuten, dass mehr als 95 % der Schweizer Gebäude über eine PV-Anlage auf dem Dach verfügen [5]. Um den Vertrag von Paris zu erfüllen, müssten also praktisch alle Gebäudebesitzer in den nächsten 13 Jahren vom Bau von PV-Anlagen auf ihren Dächern überzeugt werden. Dies ist ohne Obligatorium nicht realistisch: Schon die Hälfte der Gebäudebesitzer zu überzeugen, erscheint ein sehr ambitioniertes Ziel. Eine Analyse der unter der aktuellen Förderung gebauten PV-Anlagen zeigt zudem, dass die Potenziale beim Bau von Photovoltaik-Anlagen jeweils durchschnittlich nur zur Hälfte ausgenutzt werden [5]. Summiert man beide Effekte zusammen, reduziert sich das auf den Dachflächen realistischerweise bis 2035 bzw. bis 2050 realisierbare Potenzial auf grob etwa einen Viertel, d. h. auf etwa 13 bis 15 TWh pro Jahr.

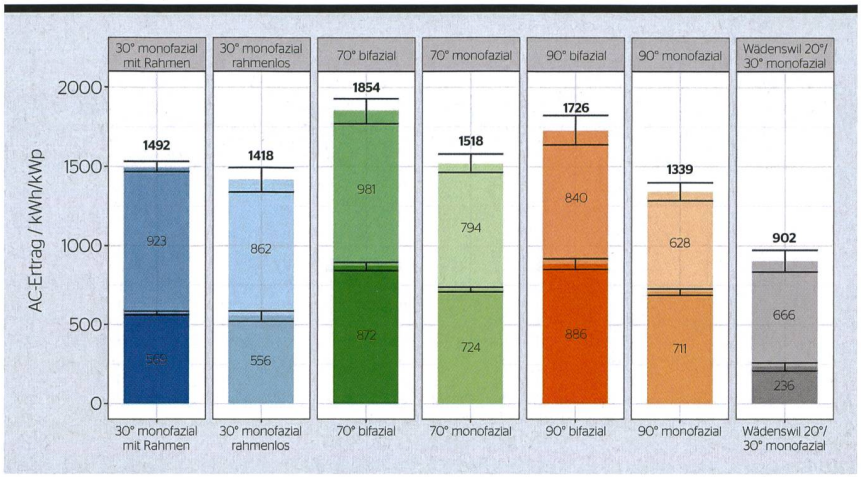

Bild 1 Durchschnittliche AC-Jahreserträge der Versuchsanlage Davos-Totalp (2500 m. ü. M, Südausrichtung) im Vergleich mit einer Anlage im Mittelland für die Jahre 2018 bis 2021. Die Doppel-T-Balken zeigen die Minimal- und Maximalwerte in den vier Jahren.

Neben Dachflächen bestehen selbstverständlich weitere Potenziale auf Fassaden, über Parkplätzen, entlang Autobahnen, auf Seen usw. Die Höhe dieser Potenziale wird unterschiedlich eingeschätzt. Die Umsetzung unterliegt aber grundsätzlich derselben Problematik wie auf den Dächern: Die Besitzer müssen zuerst überzeugt werden, freiwillig und sehr bald solche PV-Anlagen zu bauen.

Bau von grossen PV-Anlagen zur Beschleunigung

Neben den Potenzialen und deren Ausschöpfung muss auch die Kapazität der PV-Branche mitberücksichtigt werden. Diese Kapazität kann nicht beliebig rasch ausgebaut werden. Obwohl das Bundesamt für Energie und auch die PV-Branche neue Rekorde im PV-Zubau melden [6], müsste der jährliche Zubau fast verdreifacht werden, um das ungenügende Ziel von netto-null bis 2050 zu erreichen! Die Realisierung eines grossen Teils des Dachflächenpotenzials innert 13 Jahren wäre grundsätzlich möglich, würde aber personelle Unterstützung von aussen und besondere Massnahmen erfordern [2]. Zeitlich und wirtschaftlich am effizientesten könnte der PV-Zubau durch den Bau von grossen Anlagen erfolgen, denn sowohl die Planung als auch die Montage solcher Anlagen erfolgt rationeller.

Winterstrom: Speichern oder zeitgerecht produzieren?

Die saisonale Verteilung der Stromerzeugung wurde insbesondere durch die ElCom immer wieder thematisiert [7, 8]. Im Zusammenhang mit der Solarstromerzeugung gibt es einerseits die Idee, im Sommer Überschüsse zu erzeugen und diese z. B. in Form von Wasserstoff zu speichern, um daraus im Winter wieder Strom zu produzieren (Power-to-Gas). Auf der anderen Seite gibt es den Vorschlag, PV-Anlagen dort zu bauen, wo auch im Winter viel Solarstrom erzeugt werden kann, d. h. in den Alpen. Wegen der geringen Effizienz von Power-to-Gas, der fehlenden Infrastruktur zur Speicherung, Transport und Verstromung von Wasserstoff und dem oben erwähnten Zeitdruck der Umsetzung wird nachfolgend die Stromerzeugung durch Photovoltaik in den Alpen betrachtet.

Gemessene Stromerträge in den Alpen

Dank einer generell hohen solaren Einstrahlung, wenig Hochnebel, Reflexionen an der Schneeoberfläche und tiefen Temperaturen lässt sich im Gebirge auch im Winter viel Strom erzeugen.

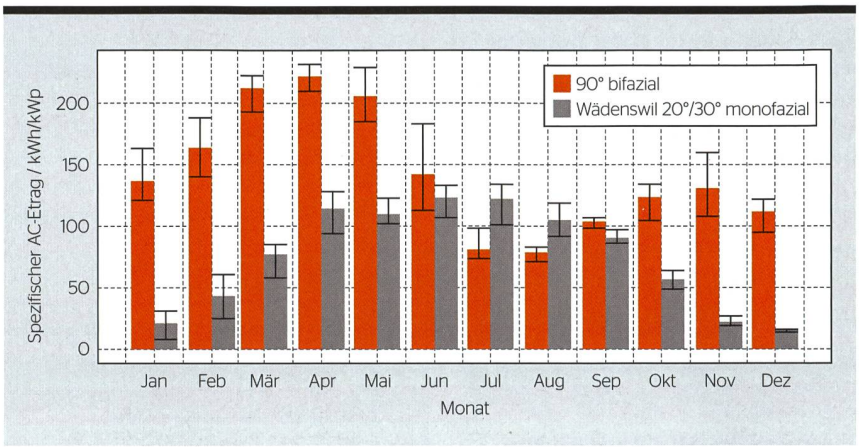

Bild 2 Gemessene durchschnittliche spezifische Monatserträge der Versuchsanlage Totalp (bifazial, 90 Grad, Südausrichtung) im Vergleich mit einer Anlage im Mittelland für die Jahre 2018 bis 2021. Die Doppel-T-Balken zeigen die Minimal- und Maximalwerte in den vier Jahren.

Als grobe Faustregel fällt im Mittelland etwa 25 % des Jahresertrages und in den Alpen etwa 50 % des Jahresertrages im Winter an. Da der Jahresertrag im alpinen Raum typischerweise um den Faktor 1,5 bis 2 höher ausfällt als im Mittelland, wird in den Alpen also etwa drei- bis viermal so viel Winterstrom pro Fläche erzeugt wie im Mittelland. Bezüglich Winterstrom und spezifischer Energieproduktion als auch aus wirtschaftlicher Sicht sind alpine Anlagen attraktiv.

Um Simulationen der Erträge zu verifizieren und Erfahrungen mit PV-Anlagen auf freien Flächen im Gebirge sammeln zu können, wurde im Gebiet Totalp auf 2500 m.ü.M oberhalb Davos im Jahr 2017 eine Versuchsanlage gebaut. Diese Anlage wurde durch die ZHAW Wädenswil geplant und durch EKZ, Innosuisse und ZHAW finanziert. Sie wird durch die ZHAW betrieben und ausgewertet. Auswertungen und aktuelle Leistungsdaten sind online abrufbar [9]. Die Messungen der Anlage werden ausserdem im Rahmen des nationalen Sweet-Edge-Forschungsprojektes verwendet.

Die Versuchsanlage ist nach Süden ausgerichtet und besteht aus sechs individuell in der Neigung einstellbaren Klappen. Auf jeder dieser Klappen können bis zu vier Standard-Module befestigt werden. Zum Einsatz kommen monofaziale, gerahmte, ungerahmte und bifaziale Module. Die Einstrahlung wird jeweils in allen Modulebenen, sowie auch in Ost-West-Ausrichtung gemessen.

Bild 1 zeigt die gemessenen mittleren spezifischen Jahreserträge der Jahre 2018 bis 2021 aufgeteilt in Sommerhalbjahr (April bis September) in heller Farbe und Winterhalbjahr (Oktober bis März) in dunkler Farbe. Die Doppel-T-Balken zeigen die Minimal- und Maximalwerte für den Winter- und für den Gesamtertrag in den vier Jahren. In grauer Farbe sind als Vergleich die Ertragsdaten einer Anlage in Wädenswil für denselben Zeitraum aufgeführt.

Der Winterertrag erreicht in der Versuchsanlage bei senkrechter Anordnung Richtung Süden und bifazialen Modulen sein Maximum, während der höchste Jahresertrag mit einer Steilheit der Modulfläche von 70 Grad erreicht wird. Die Bifazialität der Module erhöht den Jahresertrag gegenüber monofazialen Modulen um etwa 25 %. Eine senkrechte Ost-West-Ausrichtung der Module hätte eine tiefere Jahres- und insbesondere eine tiefere Winterstromproduktion zur Folge. Der Hauptgrund dürfte der ungünstigere Einfallswinkel der Solarstrahlung auf die Ost- bzw. Westflächen im Winterhalbjahr sein [10].

Bild 2 zeigt den monatlichen Verlauf der spezifischen Erträge der Versuchsanlage Totalp (90 Grad, bifaziale Module Richtung Süden) und der Anlage in Wädenswil. Der markante Unterschied in den Erträgen im Winterhalbjahr (Januar bis März und Oktober bis Dezember) ist augenfällig.

Wie viel alpine Photovoltaik wird benötigt?

Die Frage nach dem Flächenbedarf ist nicht einfach zu beantworten. Letztendlich hängt der Bedarf vom gewünschten Selbstversorgungsgrad und von der Effizienz des Gesamtenergiesystems der Schweiz ab. Einen Einfluss haben aber auch die Ausschöpfung des PV-Potenzials auf Gebäuden und anderen Infrastrukturen, die Ausschöpfung des Windenergiepotenzials, die Sanierungsrate der Gebäude und die Qualität der Gebäudesanierungen, die Ausschöpfung der Effizienz- und Suffizienzpotenziale, die Importmöglichkeiten von Strom aus dem Ausland im Winter sowie die Grösse und Art der saisonalen Energiespeicher. Aufgrund von eigenen Abschätzungen mit dem Dekarbonisierungsrechner [11] kann von einem Bedarf aus alpiner Photovoltaik in der Grössenordnung von 5 bis 10 TWh pro Jahr ausgegangen werden.

Die dafür benötigte Fläche ist stark von der Steilheit des alpinen Geländes abhängig: In flachem Gelände müssen zwischen den einzelnen Modulreihen wegen der gegenseitigen Verschattung grössere Abstände vorgesehen werden als im steilen Gelände. Die Bandbreite der installierbaren Nennleistung reicht bei senkrechter Anstellung der Module von ca. 30 MW im flachen Gelände bis 200 MW pro km² in sehr steilem Gelände. Durch die Verkleinerung der Reihenabstände werden aber die Reflexionen an der Schneeoberfläche vor und hinter den Modulreihen reduziert, sodass der spezifische Jahresertrag um bis zu 20 % kleiner ausfällt. Umgekehrt werden sowohl der Bau als auch die Wartung von PV-Anlagen in einer horizontalen Ebene kostengünstiger ausfallen als im steilen Gelände. Bei durchschnittlich 100 MW pro km² und einem spezifischen Flächenertrag von 160 GWh pro km² pro Jahr würde sich bei 5 TWh pro Jahr ein Flächenbedarf von rund 30 km² ergeben.

Vergleicht man diese 30 km² mit den vegetationslosen Flächen von 4635 km², der unproduktiven Vegetation von 2915 km², den Alpwirtschaftsflächen von 5033 km² oder gar der Gesamtfläche der Schweiz von 41291 km², so wird klar, dass nicht von einer «grossflächigen Bedeckung der Schweiz mit alpiner Photovoltaik» gesprochen werden kann. Trotzdem

sollten die Standorte für die alpinen PV-Anlagen sorgfältig ausgewählt und beim Bau und Betrieb unter anderem auf die Erhaltung der Biodiversität, der Rückbaubarkeit und generell auf einen sorgfältigen Einsatz aller Ressourcen geachtet werden.

Fazit

Die Schweiz muss bereits bis 2035 dekarbonisieren, um den Klimavertrag von Paris zu erfüllen. Doch selbst wenn das Netto-null-Ziel erst für 2050 angestrebt wird, muss der Ausbau von Photovoltaik stark beschleunigt werden. Dazu ist der forcierte Bau von grossen PV-Anlagen (grosse Dächer, grosse Parkplätze, auf freien Flächen usw.) unumgänglich. Damit soll der Bau von PV-Anlagen auf allen geeigneten Dachflächen und Fassaden aber keinesfalls demotiviert werden. Wenn gleichzeitig die Saisonalität der Stromerzeugung berücksichtigt wird, rückt der Bau von grossen PV-Anlagen in den Alpen als zielführende Lösung in den Vordergrund.

Alpine Photovoltaik kann einen wichtigen Beitrag sowohl zur Stromproduktion im Winter als auch zum generell raschen Ausbau der Stromproduktion in der Schweiz leisten. Es wäre deshalb wünschenswert, möglichst bald mit einigen PV-Anlagen mit jeweils mindestens 5 bis 10 MW Nennleistung im Gebirge an unterschiedlichen Standorten Erfahrungen sammeln zu können. Die minimale Grösse der Anlagen soll sicherstellen, dass unter anderem auch Aussagen zu den Einflüssen auf die Natur sowie zur Wirtschaftlichkeit von unterschiedlichen Bauweisen gemacht werden können.

Referenzen

[1] BFE, «Energieperspektiven 2050+: Entwicklung der Stromproduktion», www.uvek-gis.admin.ch/BFE/storymaps/AP_Energieperspektiven/index2.html.

[2] J. Rohrer, «Ausbau der Stromproduktion aus Photovoltaik in der Schweiz: Bedarf, Potential und Umsetzung», Juli 2020, doi: 10.21256/zhaw-2654.

[3] IPCC, Joeri Rogelj, Global Warming of 1.5 °C: IPCC Special Report on impacts of global warming of 1.5 °C above pre-industrial levels in context of strengthening response to climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty, 1. Aufl. Cambridge University Press, 2022. doi: 10.1017/9781009157940.

[4] «Switzerland – Climate Action Tracker», Climate Action Tracker. climateactiontracker.org/countries/switzerland.

[5] D. Anderegg, S. Strebel, J. Rohrer, «Photovoltaik-Potenzial auf Dachflächen in der Schweiz – Synthese aus Sonnendach.ch und einer repräsentativen Stichprobe an Dachbelegungen», Juni 2022, doi: doi.org/10.21256/zhaw-2425.

[6] «Von Rekord zu Rekord: Photovoltaik boomt in der Schweiz», BFE-Magazin energeiaplus, 5. April 2022. energeiaplus.com/2022/04/05/von-rekord-zu-rekord-photovoltaik-boomt-in-der-schweiz.

[7] Eidgenössische Elektrizitätskommission ElCom, «Stromversorgungssicherheit der Schweiz 2018», Mai 2018.

[8] Eidgenössische Elektrizitätskommission ElCom, «Stromversorgungssicherheit der Schweiz 2020», Juli 2020.

[9] ZHAW, «Alpenstrom Davos», ZHAW Institut für Umwelt und Natürliche Ressourcen IUNR. www.zhaw.ch/de/lsfm/institute-zentren/iunr/oekotechnologien-energiesysteme/erneuerbare-energien/solarenergie/alpenstrom-davos

[10] D. Anderegg, S. Strebel, J. Rohrer, «Photovoltaik-Versuchsanlage Davos Totalp – Messergebnisse Winterhalbjahr 2020/2021», ZHAW, IUNR Institut für Umwelt und Natürliche Ressourcen, Wädenswil, Messbericht, Mai 2021.

[11] exchange.iseesystems.com/public/iunr/dekarbonisierung/index.html#page1.

Autor

Prof. Jürg Rohrer ist Dozent für Erneuerbare Energien und Energieeffizienz an der ZHAW.

→ ZHAW, 8820 Wädenswil

→ juerg.rohrer@zhaw.ch

RÉSUMÉ

Le photovoltaïque est-il pertinent dans les Alpes ?

Un développement plus rapide des énergies renouvelables est essentiel

Les objectifs climatiques actuels de la Suisse ne sont pas à même de respecter le traité de Paris. Pour ce faire, il faudrait atteindre le zéro net en matière d'émissions de gaz à effet de serre dès 2035 et non en 2050. Mais même si l'objectif zéro net n'est visé qu'en 2050, le développement du photovoltaïque doit être fortement accéléré. Pour cela, il est indispensable de pousser la construction de grandes installations photovoltaïques (sur les grands toits, les grands parkings, les surfaces libres, etc.), naturellement tout en continuant à encourager la construction d'installations PV sur toutes les toitures et façades appropriées. Si l'on tient en outre compte de la saisonnalité de la production d'électricité, la construction de grandes installations photovoltaïques dans les Alpes arrive dès lors en tête des solutions à mettre en place.

Il n'est pas facile de déterminer quelle surface doit être allouée aux installations photovoltaïques alpines. En fin de compte, les besoins dépendent du degré d'autosuffisance souhaité et de l'efficacité du système énergétique global de la Suisse. Mais d'autres facteurs entrent également en ligne de compte : l'exploitation du potentiel PV sur les bâtiments et autres infrastructures, l'utilisation du potentiel éolien, le taux de rénovation des bâtiments et la qualité desdites rénovations, l'exploitation des potentiels en matière d'efficacité et de suffisance, les possibilités d'importation d'électricité depuis l'étranger en hiver, ainsi que la taille et le type des systèmes de stockage d'énergie saisonniers. Les estimations relatives aux besoins en photovoltaïque alpin réalisées à la ZHAW à l'aide du calculateur de décarbonisation sont de l'ordre de 5 à 10 TWh/an. Il est clair que le photovoltaïque alpin peut apporter une contribution importante autant à la production d'électricité en hiver qu'au développement rapide de la production d'électricité en Suisse en général. NO