



SPOTLIGHT  
ALPINE PV UND WIND

Robin Mutschler, Martin Rüdüsüli und Matthias Sulzer

2050  
**Energiezukunft**

## Energie aus Sonne und Wind für den Winterstrom

Energie aus Sonne und Wind spielt in der Schweizer Energieversorgung eine zunehmend wichtige Rolle. Um Emissionsziele zu erreichen und die Versorgungssicherheit – speziell im Winter – zu erhöhen, muss bis 2050 ein signifikanter Anteil des Energiebedarfs der Schweiz aus Sonnen- und Windenergie stammen. Durch den graduellen Wegfall der Kernenergie müssen schrittweise etwa 40% des heutigen Elektrizitätsbedarfs durch erneuerbare Quellen ersetzt werden. Zudem steigt der Elektrizitätsbedarf (Landesverbrauch) durch die Elektrifizierung von Mobilität und Gebäudewärme von heute rund 60 TWh auf 80 bis 90 TWh im Jahr 2050. Dieser Anstieg um bis zu 30 TWh muss durch zusätzliche Produktion gedeckt werden<sup>1</sup>. Im Speziellen stellt die Elektrizitätsversorgung im Winter eine Herausforderung dar, da Importkapazitäten – insbesondere in den isolierten Szenarien – beschränkt sind<sup>2</sup> und die Wasserkraft nicht signifikant ausgebaut werden kann<sup>3</sup>. Der Bedarf durch die Elektrifizierung der Raumwärme steigt zudem überproportional in den Wintermonaten an, während die Solarenergie im Winter ihre geringste Erzeugung erreicht.

Die Umwandlung von Sonnen- und Windenergie folgt tageszeitlichen und saisonalen Mustern. Für die Sonnenenergie sind über das Jahr betrachtet kleine statistischen Abweichungen bei der durchschnittlichen saisonalen Ausbeute zu erwarten. Anders bei der Windenergie, welche starken stochastischen Schwankung unterliegt<sup>4</sup>. Dennoch lassen sich auch bei der Windenergie klare Muster erkennen: Die zu erwartende Ausbeute ist im Winterhalbjahr wesentlich höher als im Sommerhalbjahr. Zudem variieren die Windprofile zwischen verschiedenen Standorten teils erheblich. Besonders ertragreiche Windkraftwerke können auf dem Jurabogen und in den grossen Alpentälern aufgestellt werden.

Wie bei der Windenergie, gibt es auch bei der Solarenergie starke standortbedingte Unterschiede. So nimmt das Potential für Dach-Anlagen im Winter signifikant ab, da solche Anlagen hauptsächlich im Mittelland vorzufinden sind. Dagegen kann im Winter bei Anlagen in alpinen Regionen immer noch mit etwa der Hälfte der sommerlichen Produktion gerechnet werden<sup>5</sup>. Die alpinen Standorte zeichnen sich durch wenig anhaltenden Hochnebel, kühlere Temperaturen und durch hohe sekundäre Energiegewinne über schneebedeckte Oberflächen aus. Diese alpinen Effekte wirken sich positiv auf die erhöhte winterliche Photovoltaikproduktion (PV) aus. Abbildung 1 zeigt den Verlauf der zu erwarteten monatlichen Elektrizitätsproduktion aus Dach-PV, PV alpin und Wind gegenüber dem Landesverbrauch im Szenario «offensiv-integriert» für die Jahre REF und 2050 gegenüber.

---

<sup>1</sup> Hauptbericht 3.1

<sup>2</sup> Hauptbericht 2.5.7

<sup>3</sup> Hauptbericht 2.5.5

<sup>4</sup> Hauptbericht, Abb. 48

<sup>5</sup> Hauptbericht, Abb. 50

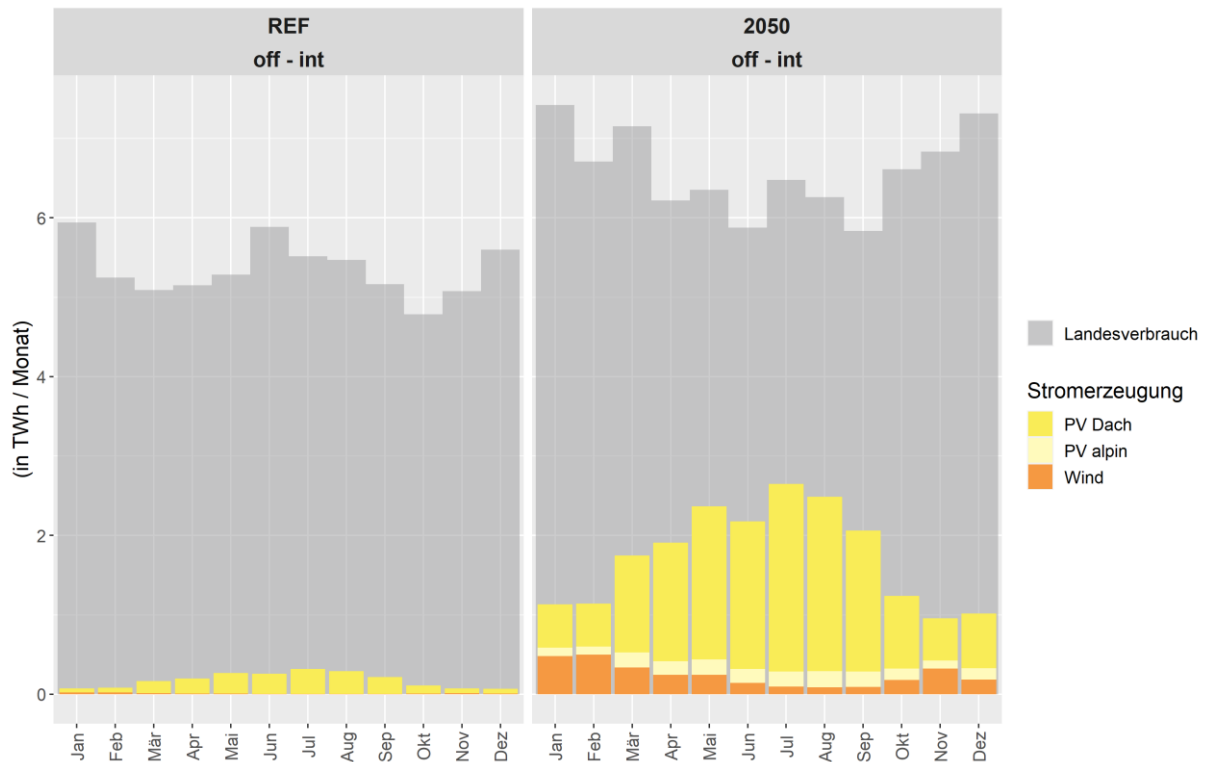


Abbildung 1: Monatlich aggregierte Stromerzeugung durch Wind, Dach-PV und PV alpin im Szenario «offensiv-integriert» für die Jahre REF und 2050 gegenüber dem monatlichen Landesverbrauch (graue Fläche, nicht gestapelt).

## Potential alpiner PV-Anlagen

Das Potential alpiner PV-Anlagen wurde bereits erkannt. So schreibt die EPFL im Zusammenhang mit der Anlage am Mutsee-Staudamm, dass die erwartete Winterproduktion in den Bergen um 68% höher ist als im Mittelland<sup>6</sup>. Die ZHAW schätzt das Elektrizitätspotential der alpiner PV-Anlagen auf zwischen 5 bis 10 TWh<sup>7</sup>. Zudem erwähnen beide Autoren, dass der Wirkungsgrad von PV-Anlagen, bedingt durch die tieferen Temperaturen, um etwa 11% höher liegt als bei vergleichbaren Anlagen im Mittelland<sup>8</sup>. Für die VSE Studie wurde das SUNWELL Modell (Dujardin et al., 2022) genutzt um die alpiner Einstrahlungsprofile herzuleiten. Abbildung 2 zeigt die evaluierten potenziellen Standorte für alpine PV-Anlagen in der Schweiz. Dabei ist ersichtlich, dass das grösste Potential im Wallis und zum Teil in Graubünden liegt. Die Auswirkungen auf das Stromnetz wurde in dieser Potentialabschätzung nicht berücksichtigt und werden in einer separaten Netzstudie<sup>9</sup> vom VSE im Detail untersucht.

<sup>6</sup> <https://www.axpo.com/ch/de/ueber-uns/magazin.detail.html/magazin/erneuerbare-energien/Es-braucht-neue-Loesungen-fuer-Winterstrom.html>

<sup>7</sup> <https://swisspower.ch/themen-und-standpunkte/alpine-solaranlagen-liefere-dreimal-so-viel-winterstrom/>

<sup>8</sup> [https://digitalcollection.zhaw.ch/bitstream/11475/23607/3/2021\\_Schlegel\\_Literaturstudie-Freif%C3%A4chen-PVA-und-Biodiversit%C3%A4t.pdf](https://digitalcollection.zhaw.ch/bitstream/11475/23607/3/2021_Schlegel_Literaturstudie-Freif%C3%A4chen-PVA-und-Biodiversit%C3%A4t.pdf)

<sup>9</sup> Geplante Publikation im Jahr 2023

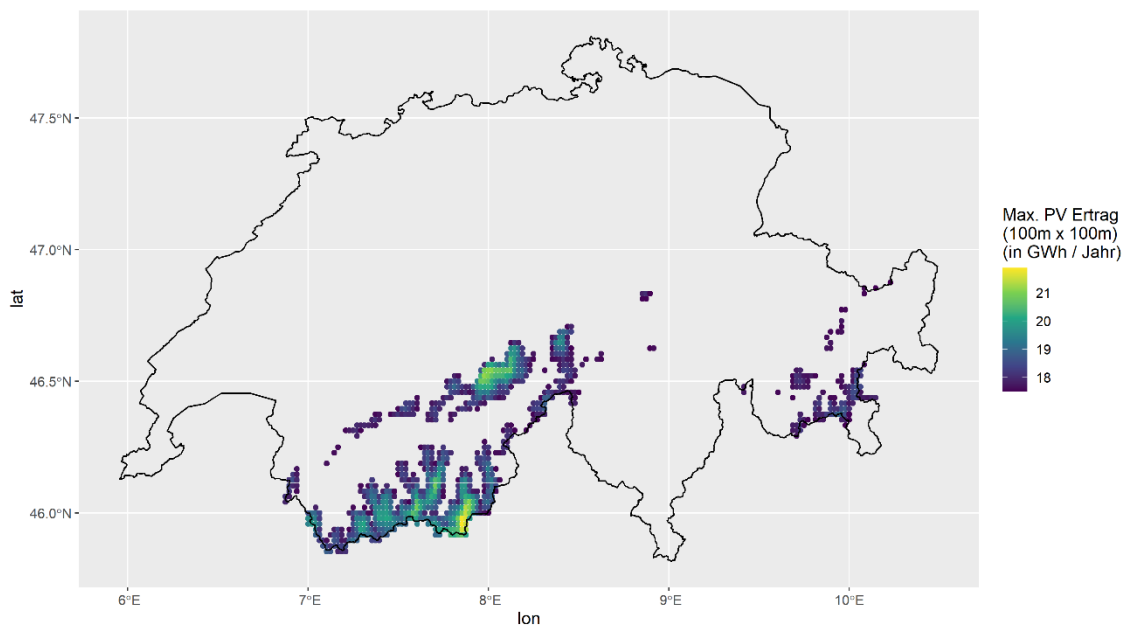


Abbildung 2: Potential alpiner PV-Anlagen. Das Hauptpotential liegt im Kanton Wallis und Graubünden.

## Zweidrittel der Windkraft im Winterhalbjahr

Windkraftanlagen können das Energiesystem mit zusätzlicher Elektrizität vor allem in den Wintermonaten versorgen. Von den rund 1650 Vollaststunden heutiger Windkraftanlagen fallen rund 2/3 in den Wintermonaten an. Zukünftige Turbinen mit einer höheren Nabenhöhe können die Ausnutzung auf rund 1830 Vollaststunden steigern. Das Windpotential in der Schweiz wird kontrovers diskutiert und variiert stark basierend auf den jeweiligen sozio-ökonomischen Randbedingungen der Studien. Eine kürzlich veröffentlichte Studie des BFE und der Meteotest AG beziffert das Potential auf bis zu 29.5 TWh, wovon 19 TWh auf die Wintermonate anfallen<sup>10</sup>. Dabei wurden bereits Natur- und Lärmschutzgebiete berücksichtigt. Mit einer Nutzung von 30%, d.h. etwa 1000 Windturbinen, würden rund 9 TWh Elektrizität erzeugt werden - davon 5.7 TWh im Winter. Andere Studien beurteilen das Potential der Windenergie aufgrund mangelnder Akzeptanz wesentlich tiefer (Bauer et al., 2017). In der VSE Studie «Energiezukunft 2050» werden die Windprofile für die zukünftigen Jahre mittels stündlicher Profile basierend auf dem historischen Jahr 2016 mit Daten von ENTSO-E (Pan European Climate Database, PECD, 2022) bestimmt.

## Pilotanlagen und Projekte

### Muttsee (GL)

Axpo hat zusammen mit Industrielle Werke Basel (IWB) im Jahr 2021 das erste alpine Solarkraftwerk der Schweiz in Betrieb genommen. Die rund 5'000 Solarpanels sind auf dem Staudamm des Muttsees im

<sup>10</sup> <https://www.admin.ch/gov/de/start/dokumentation/medienmitteilungen.msg-id-90116.html>

Kanton Glarus angebracht. Durchschnittlich wird eine jährliche Produktion von 3.3 GWh erwartet. Soll das in dieser Studie angenommene maximale Potential für alpine PV-Anlagen von 6.5 TWh ausgeschöpft werden, wären rund 2000 Anlagen dieser Grössenordnung notwendig.

### **Gondo (VS)**

Im Wallis oberhalb der Ortschaft Gondo (Abbildung 3) auf rund 2'000 m.ü.M. ist eine alpine PV-Anlage geplant, welche laut den Projektplanern jährlich etwa 23 GWh Elektrizität produzieren könnte<sup>11</sup>. Zurzeit (Okt. 2022) wird die Aufnahme in den kantonalen Richtplan diskutiert<sup>12</sup>.



Abbildung 3: Alpine PV-Anlage «Gondosolar»<sup>13</sup> oberhalb der Walliser Ortschaft Gondo.

### **Grensiols (VS)**

Ein weiteres Projekt für alpine PV-Anlagen ist in Grensiols, ebenfalls im Kanton Wallis, geplant. Die Dimension ist um den Faktor 100 grösser als «Gondosolar». Bei diesem Projekt wird mit einer Produktion von rund 2'000 GWh gerechnet.<sup>14</sup> Der Beitrag der Anlage zur Elektrizitätsversorgung in der Schweiz – speziell im Winter – wäre entsprechend signifikant. Das Projekt gründet auf dem Bundesbeschluss «Dringliche Massnahmen zur kurzfristigen Bereitstellung einer sicheren Stromversorgung im Winter» und dem indirekten Gegenvorschlag zur Gletscher-Initiative vom 1. Oktober 2022, welche die prioritäre Errichtung von Photovoltaik-Grossanlagen in den Alpen vorsieht. Gegen das Projekt regt sich jedoch bereits aus Bedenken des Landschafts- und Naturschutzes Widerstand<sup>15</sup>.

---

<sup>11</sup> <https://www.gondosolar.ch>

<sup>12</sup> <https://www.gondosolar.ch/news-detail/das-projekt-gondosolar-laeuft-auf-hochtouren>

<sup>13</sup> <https://www.gondosolar.ch/das-projekt>, Zugriff 21.11.2022

<sup>14</sup> <https://www.nzz.ch/schweiz/solar-fieber-ein-neues-projekt-in-gondo-und-grensiols-ld.1706367>

<sup>15</sup> <https://www.ig-saflischtal.ch>

## **Windkraft**

SuisseEole, der Verein zur Verbreitung und nachhaltigen Förderung der Windenergie in der Schweiz, will kurzfristig die bereits geplanten Projekte mit einer Gesamtleistung von 2 TWh/Jahr umzusetzen. Diese Projekte sind aufgrund der langsamen Bearbeitung der Einsprachen und Rekurse vor den Gerichten blockiert (etwa 300 Windenergieanlagen sind in Planung oder warten auf die Bestätigung durch ein Gerichtsurteil). Bis ins Jahr 2050 sollen total 6 TWh Windenergie in der Schweiz genutzt werden, indem auf einen partizipativen Ansatz und Bürgerwindenergieanlagen gesetzt wird bzw. indem neue geeignete Windenergiegebiete in Zonen festgelegt werden, die bisher nicht berücksichtigt wurden. Die VSE Studie berücksichtigt rund die Hälfte, d.h. 3 TWh, als realisierbare Projekte in den kommenden Jahrzehnten.

## **Ausblick**

Um die Herausforderung der Elektrizitätsversorgung im Winter zu bewältigen, kann vor allem die Windkraft und Energie aus alpinen PV-Anlagen eine wichtige Rolle spielen – und dies mit wenig Speicherbedarf. Mit einer saisonalen Verschiebung wäre ebenfalls eine Deckung durch Dach-PV-Anlagen möglich. Dies würde jedoch eine (teure) saisonale Speicherung mittels chemischer oder thermischer Energieträger verlangen. Erneuerbare Energie aus alpinen PV-Anlagen kann daher einen wichtigen Beitrag für das Heizen mit Wärmepumpen in der kalten Jahreszeit sowie den Ausflug nebelgeplagter Unterländer an die winterliche Bergsonne mit dem Elektroauto leisten.

## **Literatur**

Bauer, C., Bäuerle, Y., Biollaz, S., Calbry-Muzyka, A., Cox, B., Heck, T., Hirschberg, S., Lehnert, M., Meier, A., Prasser, H.-M., Schenler, W., Treyer, K., Vogel, F., Wieckert, H., Zhang, X., Zimmermann, M., Burg, V., Bowman, G., Erni, M., Saar, M., Tran, M., 2017. Potentials, costs and environmental assessment of electricity generation technologies. Paul Scherrer Institut, Villigen PSI, Switzerland.

Dujardin, J., Schillinger, M., Kahl, A., Savelsberg, J., Schlecht, I., Lordan-Perret, R., 2022. Optimized market value of alpine solar photovoltaic installations. *Renew. Energy* 186, 878–888.  
<https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.01.016>

Walch, A., Castello, R., Mohajeri, N., Scartezzini, J.-L., 2020. Big data mining for the estimation of hourly rooftop photovoltaic potential and its uncertainty. *Appl. Energy* 262, 114404.  
<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.114404>

Walch, A., Rüdüsüli, M., 2022. Strategic PV expansion and its impact on regional electricity self-sufficiency: Case study of Switzerland. *Appl. energ* submitted.

Walch, A., Rüdüsüli, M., Castello, R., Scartezzini, J.-L., 2021. Quantification of existing rooftop PV hourly generation capacity and validation against measurement data, in: CISBAT. Lausanne.