



SWITZERLAND

# **Erzeugung von alpiner Wind und Solarenergie in kleinem Massstab**

– Erkenntnisse von der Versuchsanlage La Stadera

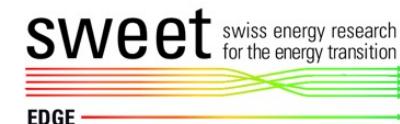
Jimmy Gasser, Yael Frischholz, Albin Cintas, Jérôme Dujardin, **Michael Lehning**,  
**WSL/SLF, EPFL-C**



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Swiss Federal Office of Energy SFOE

Sweet Edge is a research project sponsored by the Swiss Federal Office of Energy's SWEET programme and coordinated jointly by UNIGE and EPFL



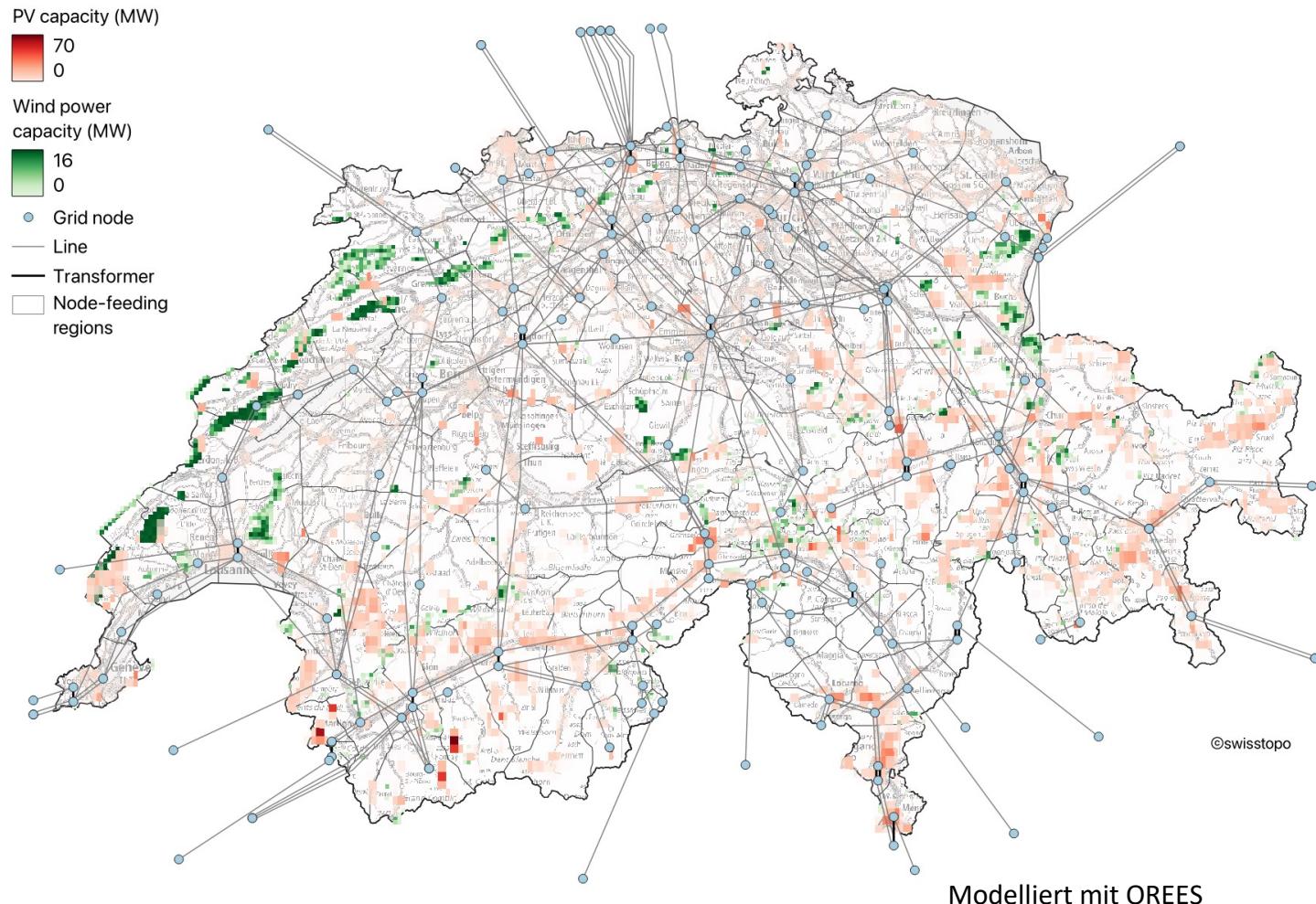
# Ein Szenario für 2050 mit 45 TWh Wind- und Solar-Produktion

Die Verteilung ist ideal um eine stabile Versorgung zu gewährleisten. Sie setzt voraus, dass die Wasserkraft optimal für das Gesamtsystem eingesetzt wird.

## Eckwerte

- Gesamtnachfrage 76 TWh
- Fließ- und Speicherwasserkraft je 17 und 14 TWh
- 45 TWh aus Wind-, Solar- und Biomasse
- Kein Nettoimport
- Installierte Kapazitäten für Wind (12 GW – 100 MW 2024) und PV (16 GW) geben ein austariertes System
- 2026: ca. 0.25 GW Wind und 7.5 GW PV sind installiert

**Es braucht Wind- und Solaranlagen – an den richtigen Orten!**



# Stärkung der Rolle der Wasserkraft im System

Wetter(vorhersage) wird immer wichtiger (für Produktion und Nachfrage) → Potential für Optimierungen

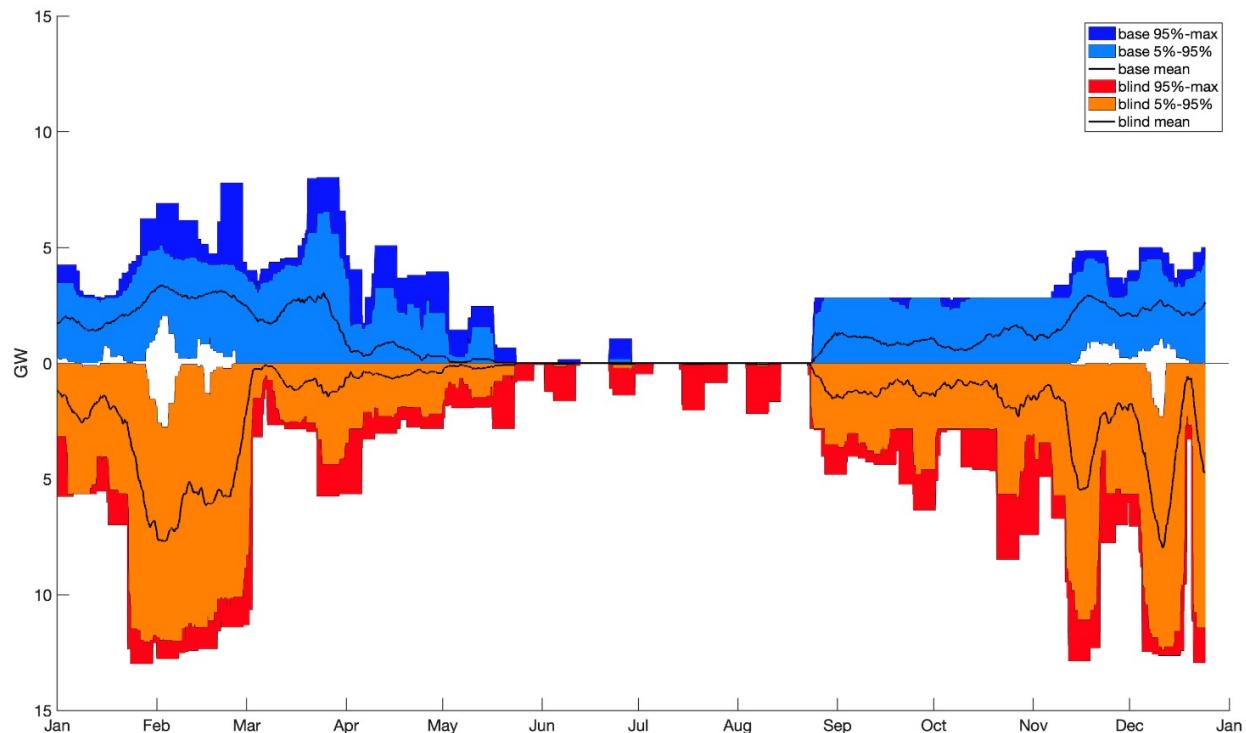
## Nationale Analyse ohne Wettervorhersage

- Gesamtimport steigt von 10.4 auf 13.8 TWh
- Importkosten steigen von 1.25 to 1.70 Milliarden CHF
- Importspitzen grösser als 5000 MW sind viel häufiger

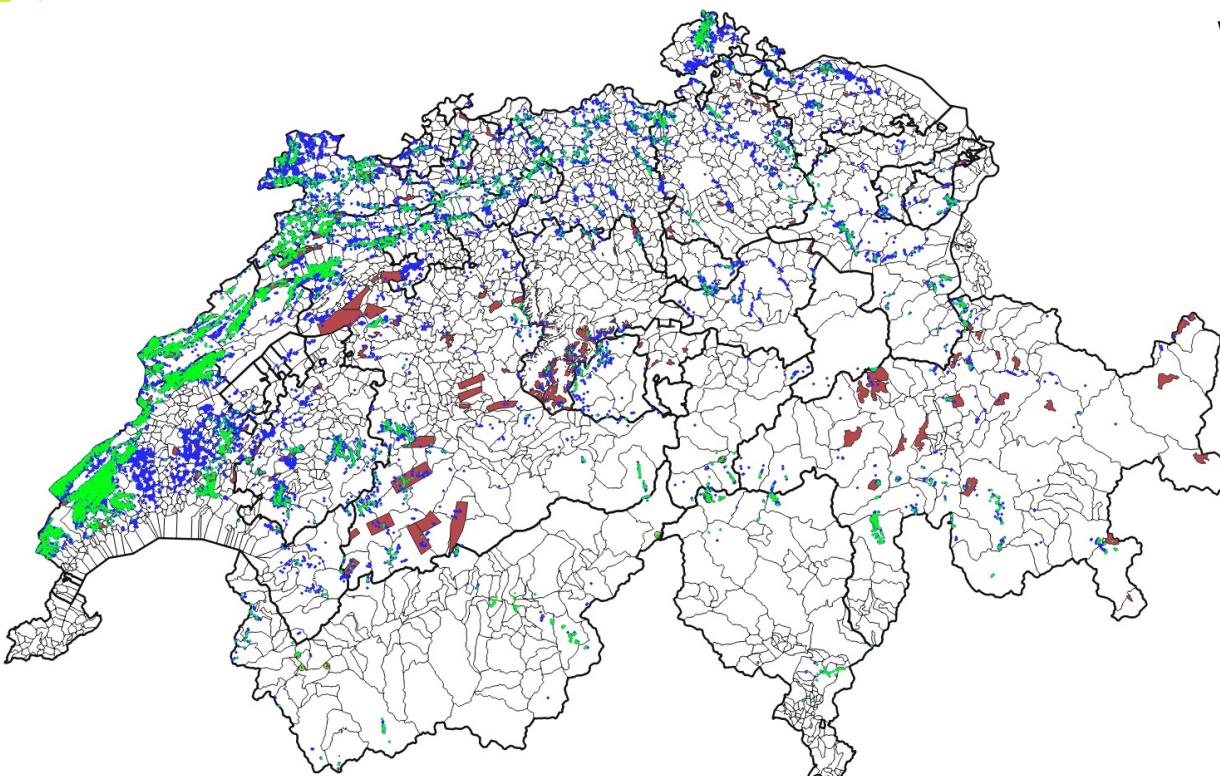
Front. Energy Res., 02 May 2025  
Sec. Sustainable Energy Systems  
Volume 13 - 2025 | <https://doi.org/10.3389/fenrg.2025.1533778>

The value of weather forecasts for optimally placed wind and solar electricity generators

Michael Lehning<sup>1,2\*</sup> Jérôme Dujardin<sup>2</sup> Albin Cintas<sup>1</sup>



# Was kann man gegen die Windausbauflaute tun?



● ● Winter, all year season optimal turbine sites (Enercon E92, min capacity factor of 20%)

■ Positive planning areas in cantonal structure plans (KRIP)



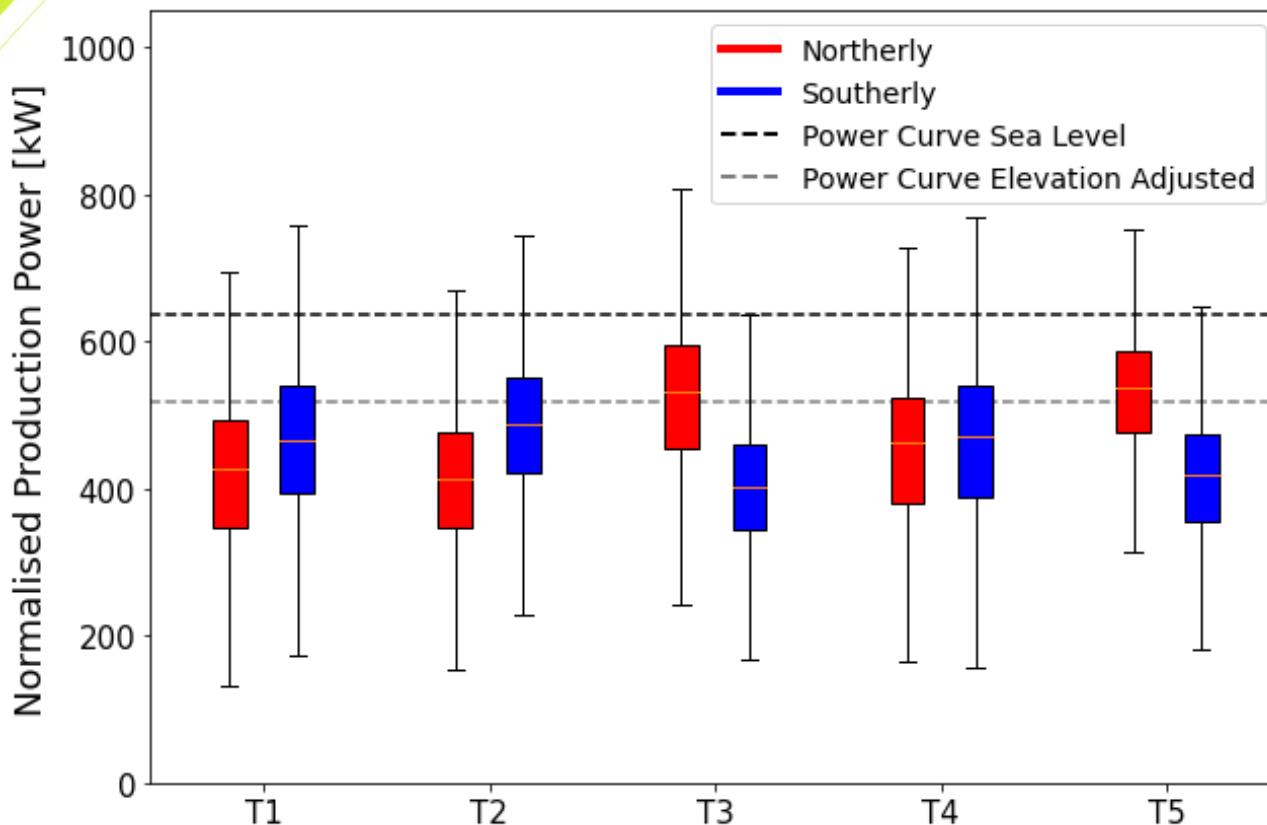
**Wind ist eine kompetitive und zuverlässige Ressource in der Schweiz.**

**EDGE analysiert die Rahmenbedingungen**

- Einschränkungen machen Sinn (Landschaft, Vögel, Infrastruktur).
- Die positiven Gebietsausscheidungen sind (noch) nicht gut mit dem Potential abgeglichen.
- Die Raum-Zeitdynamik soll bei Planung und Förderung berücksichtigt werden.

Schmid, J.; Stadelmann, I.: Uni Bern

# Praxis: Produktion @ Gotthard



- Signifikant unterschiedliche Erträge bei den 5 sehr ähnlich positionierten Windturbinen.
- Einige von ihnen erzielen bessere Leistungen als erwartet.
- Die Unterschiede müssen erklärt werden um eine bessere Planung zusätzlicher Windparks (die wir wirklich benötigen) zu ermöglichen.





## La Stadera: Eine kleine Testanlage mit parallel betriebenen Wind- und Solar-PV-Generatoren



### Eckwerte der Installation

- 25 kW Windturbine (18m hoher Mast, Rotor- durchmesser von 16m)
- 10 kWp Vertikale Solarpanels mit einer Ausrichtung nach NW – SE

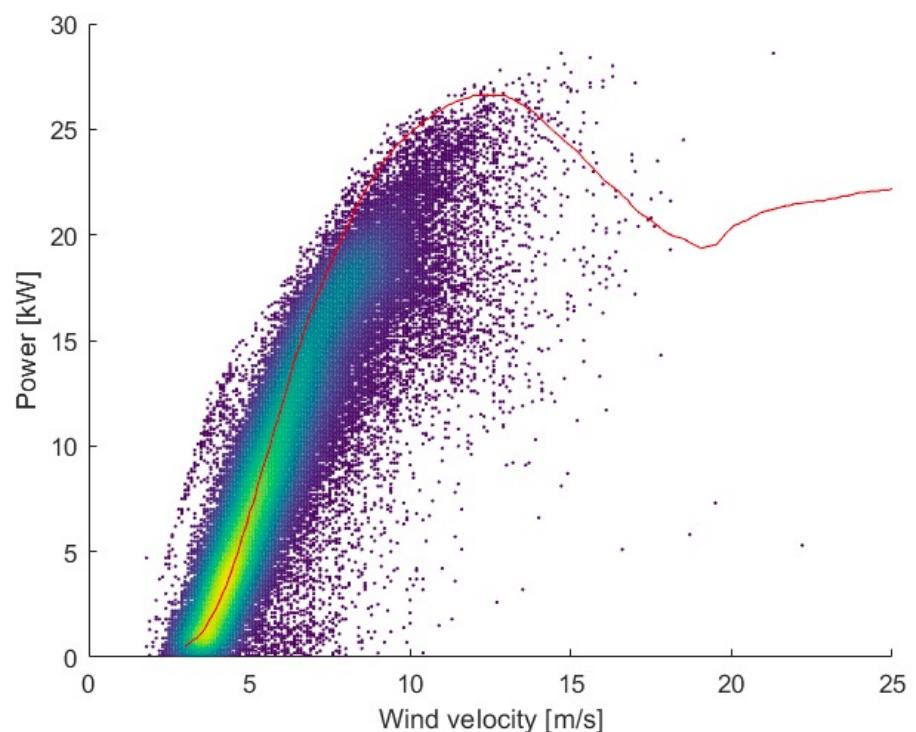


# Bewertung der Leistung von Windkraftanlagen im Hochgebirge

Analyse des Betriebs von kleinen (25kW) und grossen (2MW) Windturbinen anhand von Testanlagen.

## Erklärung der Abweichungen vom zu erwartenden Ertrag

- Negative Effekte durch höhenbedingt geringere Luftdichte.
- Positive Effekte durch die Schneedeckung und die Temperatur.
- Wichtige Auswirkungen durch die Topografie (negativ und positive).
- Positive Auswirkungen von Turbulenzen auf kleine Windturbinen.



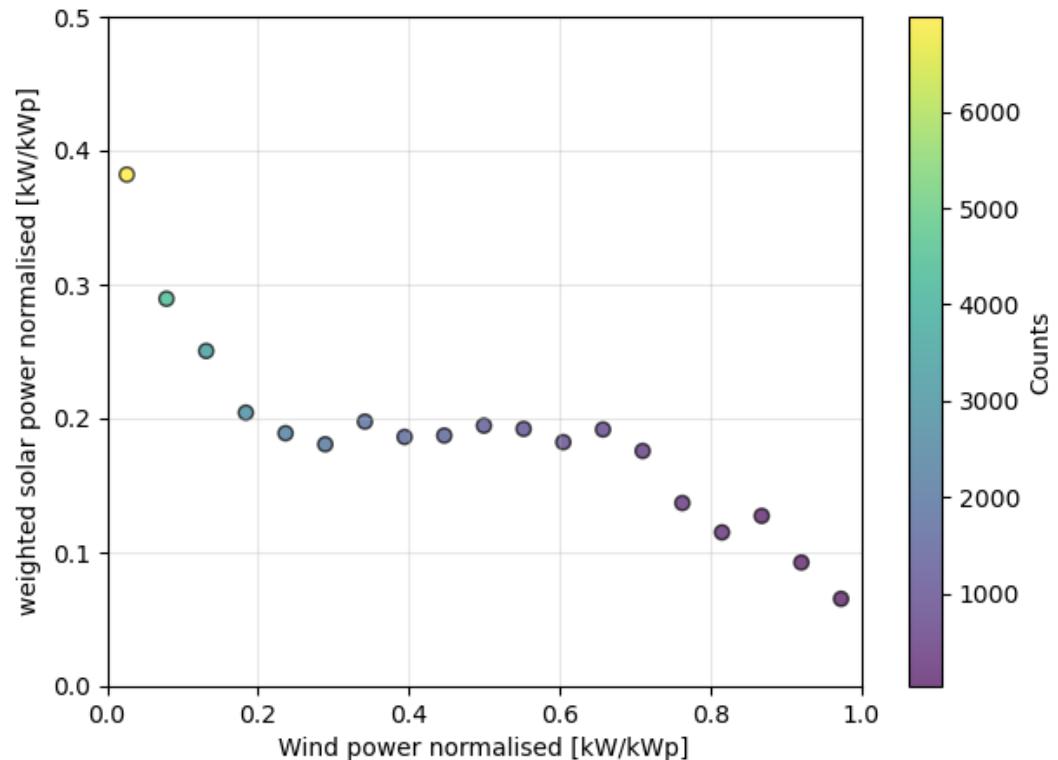
Leistung der Windturbine La Stadera



# Komplementarität von hochalpinen Solar-PV und Wind-Installationen – 1

Die Analyse nach einem Jahr Betriebszeit zeigt:

- Eine hohe Solarstromproduktion geht einher mit einer geringen Windenergieproduktion...
- ...und eine geringe Solarstromproduktion geht einher mit einer hohen Windenergieproduktion.
- Diese Wechselbeziehung gilt für kurze Zeiträume (Minuten).



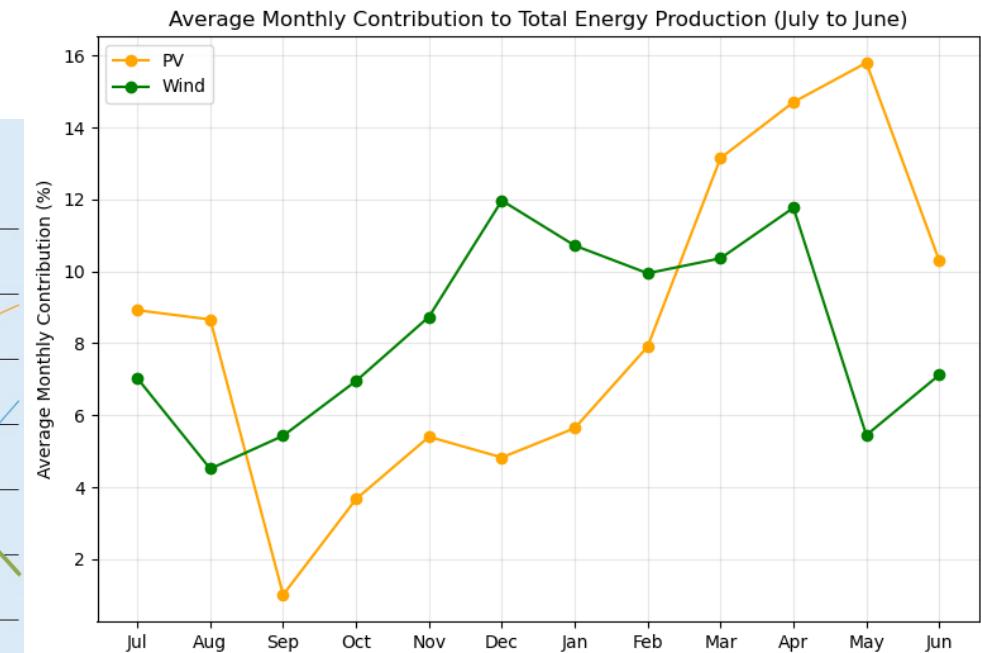
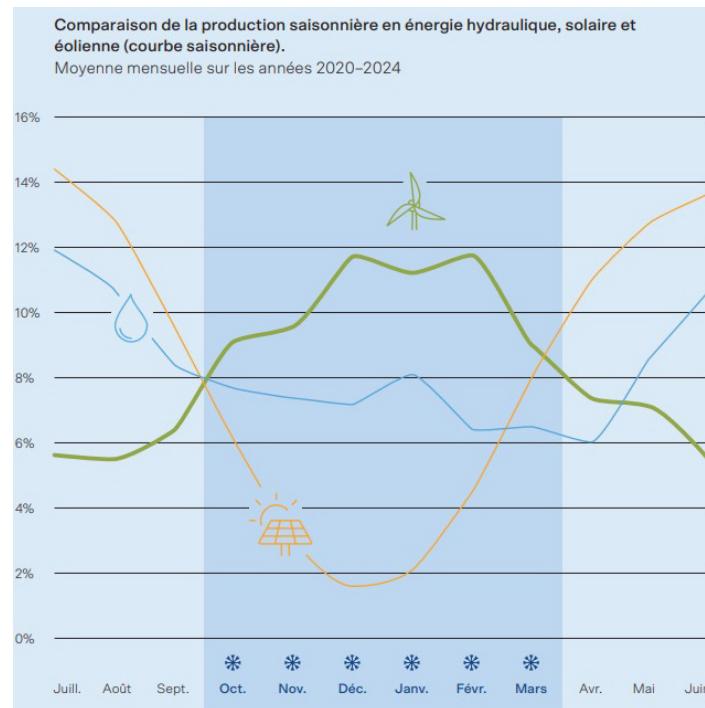
Paralleler Betrieb von Solar-PV und Windproduktion bei La Stadera



# Komplementarität von hochalpinen Solar-PV und Wind-Installationen – 2

Im Verlauf eines Jahres gibt es zwar eine gewisse Komplementarität, aber sie ist nicht ideal:

- Geringe Solarproduktion im September (schlechtes Wetter), nur z.T. durch mehr Wind ausgeglichen.
- Beide Generatoren erreichen ihre Spitzenwerte im Frühjahr, wenn die Wasserkraft am Tiefpunkt ist.
- Beobachtungen müssen über einen längeren Zeitraum gesammelt werden.
- Eine längerfristige Speichermöglichkeit ist wahrscheinlich nötig.



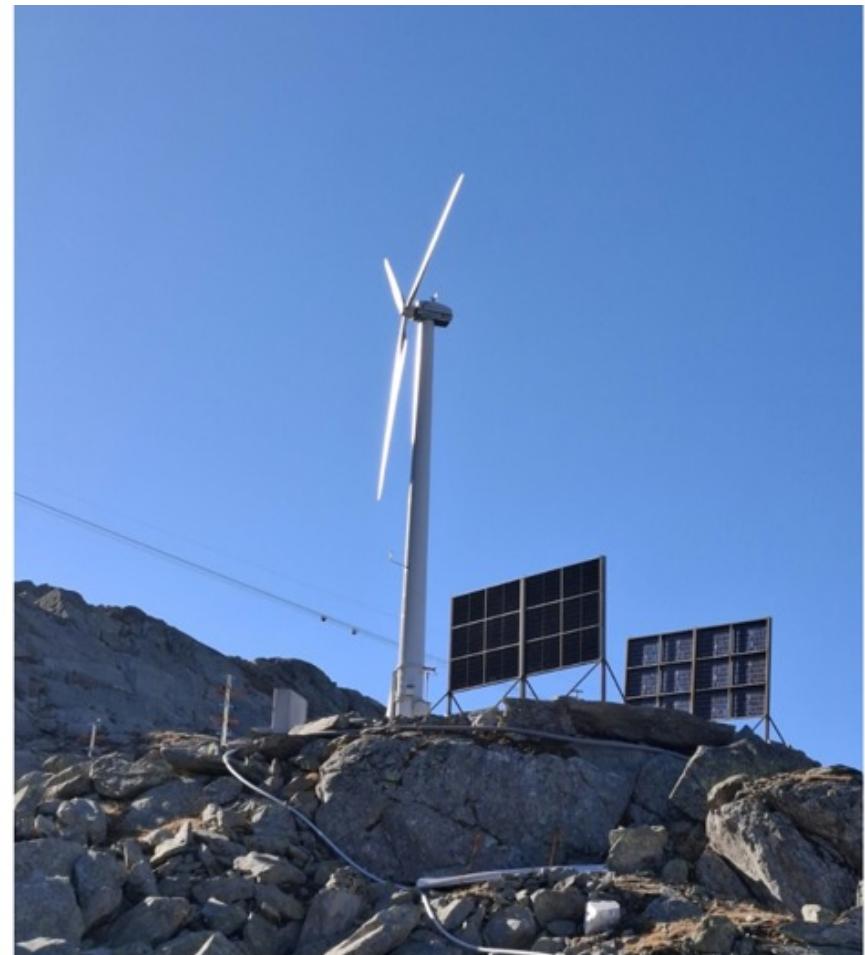
Paralleler Betrieb von Solar-PV und Windproduktion bei La Stadera

Produktionsprofil aller Schweizer Wasserkraft-, Wind und Solarproduktionsanlagen



# Diskussionspunkte

- Windstromerzeugung und alpine Solarstromproduktion sind die entscheidenden Elemente für die Energiewende in der Schweiz, insbesondere für die Deckung der Winterstromlücke.
- Die Komplementarität wurde auf nationaler Ebene bereits gezeigt, auch auf lokaler Ebene besteht sie, muss aber noch längerfristig beobachtet und bestätigt werden.
- Kleinere Anlagen im Bereich bestehender Infrastrukturen können die nationalen Stromziele unterstützen.
- Optimierung ist möglich und erfordert eine sorgfältige lokale Planung, einschliesslich der Standortwahl, Installationsgeometrie und geeigneter Massnahmen zur Vermeidung von Vereisung und Einschneien.



Stadera, Windanlage — © DDPS