

## Warum wir neben hochalpiner PV auch auf den (Gebirgs-)Wind setzen sollten.



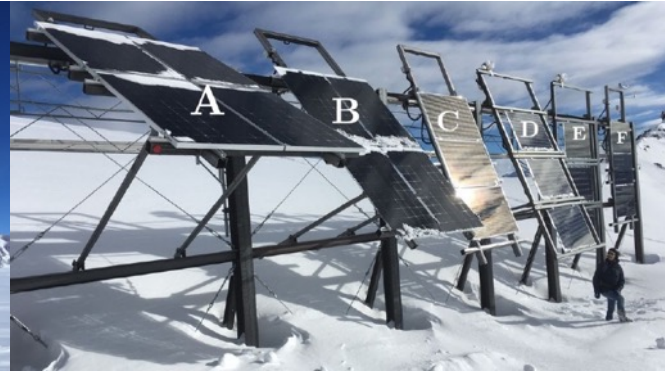
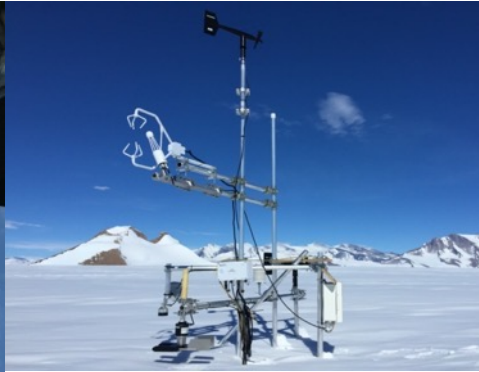
Jérôme Dujardin, Fanny Kristianti, Bert Kruyt, Andrew Clifton

*Michi Lehning*

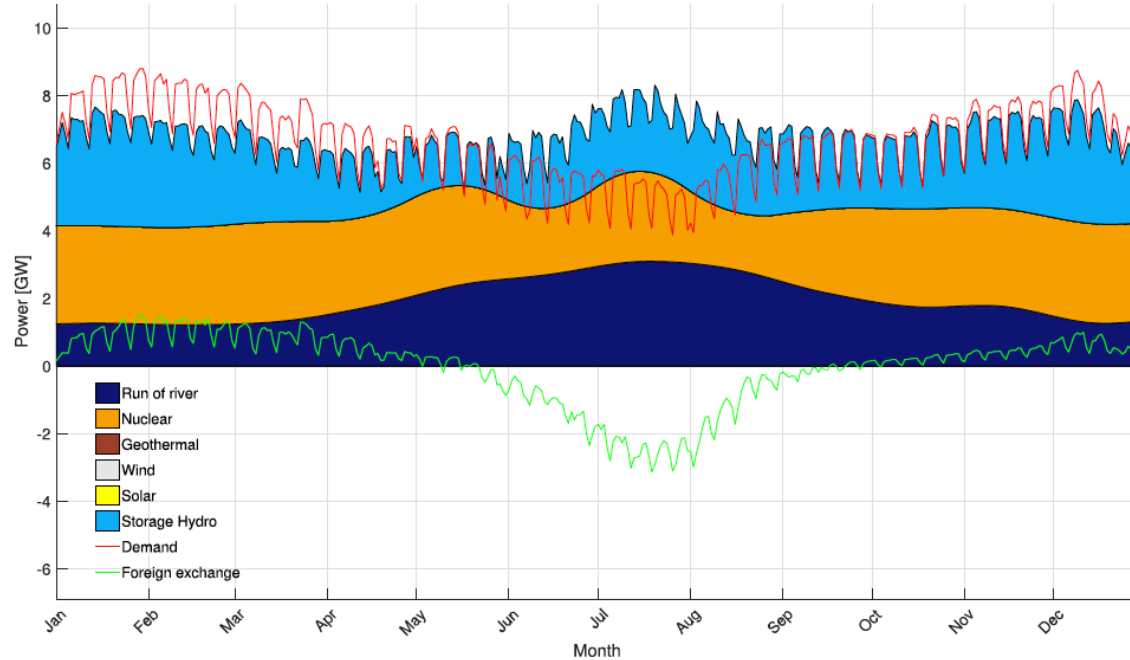


# Inhalt des Gesprächs

- Ein Blick auf die Winterlücke
- Thesen zu Sonne und Wind
- Was wissen wir (nicht) über den Wind der Berge
- Die optimale Kombination aus Sicht der (Ingenieurs-)Wissenschaft

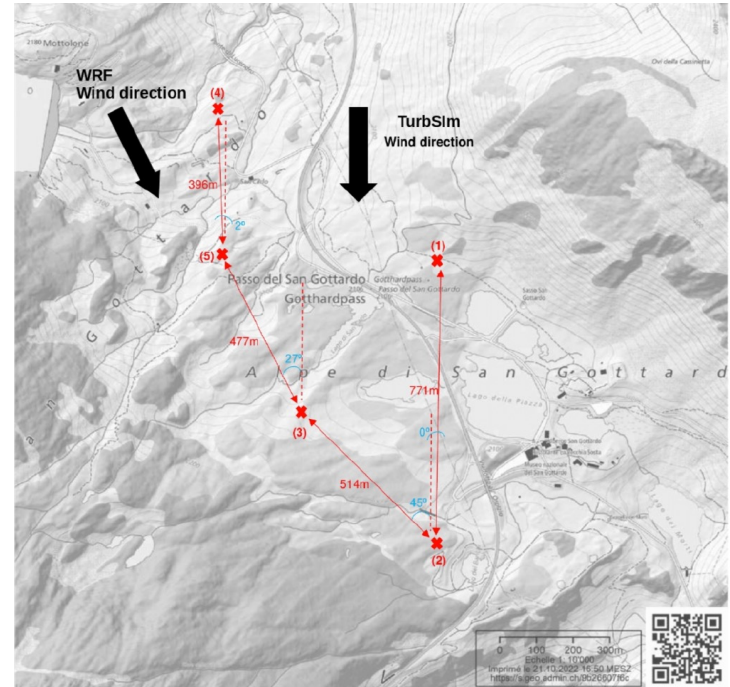


# Ein Blick auf die Winterlücke



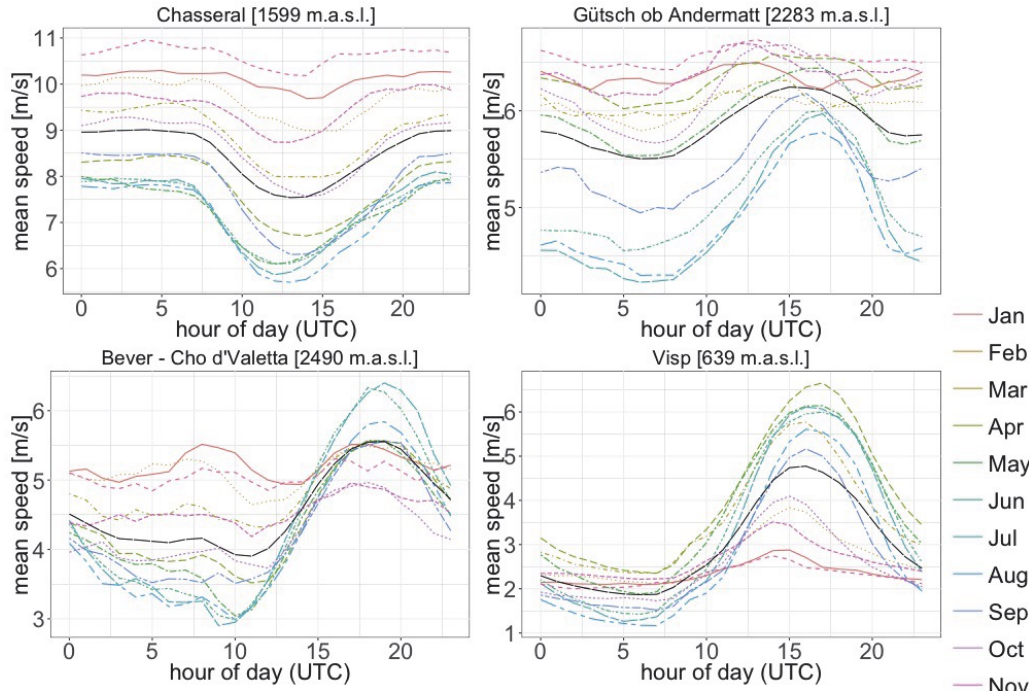
(a) Current

- Sonne und Wind ergänzen sich gut, gerade in den Bergen – Einschränkung: thermische Winde
- (Pump-)Wasserkraft ergänzt sich ideal mit den wetterbedingten Schwankungen in der Produktion durch Sonne und Wind
- Energiedichte und Flächenbedarf sind **grob** vergleichbar: 1 km<sup>2</sup> Gotthard wind (10 MW), 0.1 km<sup>2</sup> Projekt Gondo (18 MW)
- Verschiedene Lagen werden durch Wellen (Föhn), Kanalisierung oder Beschleunigungen gut bedient mit Wind (Hang- und Passlagen)





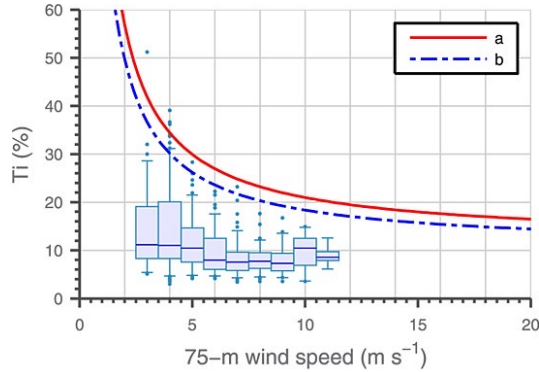
# Was wissen wir (nicht) über den Wind der Berge



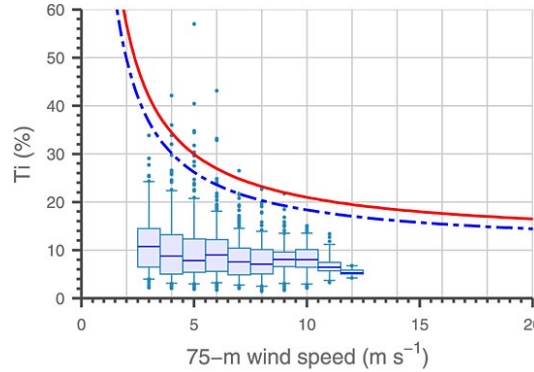
1/27/23



- Verschiedene Standorte erzeugen ganz verschiedene Windtagesprofile
- Kann man Aussagen treffen, wo man ideale Windkraftstandorte erwarten kann?



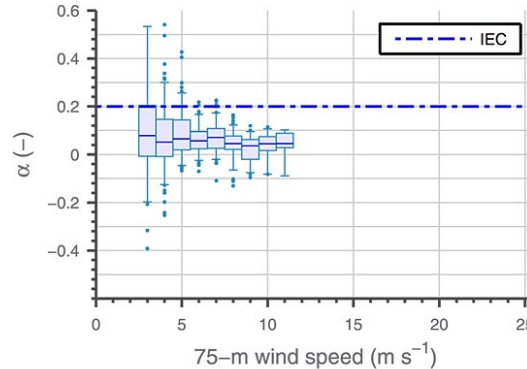
(a) Northwesterly winds



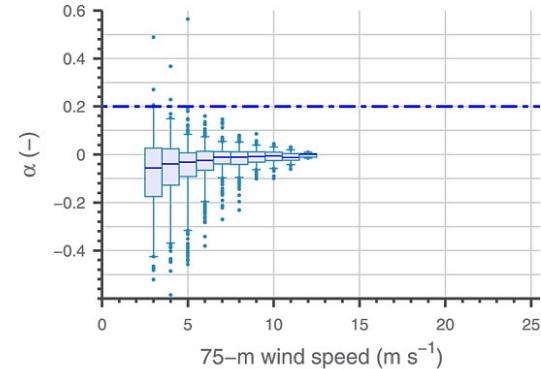
(b) Southeasterly winds

- Viel kleinere Turbulenzen als über flachem Gelände und einer normalen Grenzschicht. → kleinerer Verschleiss

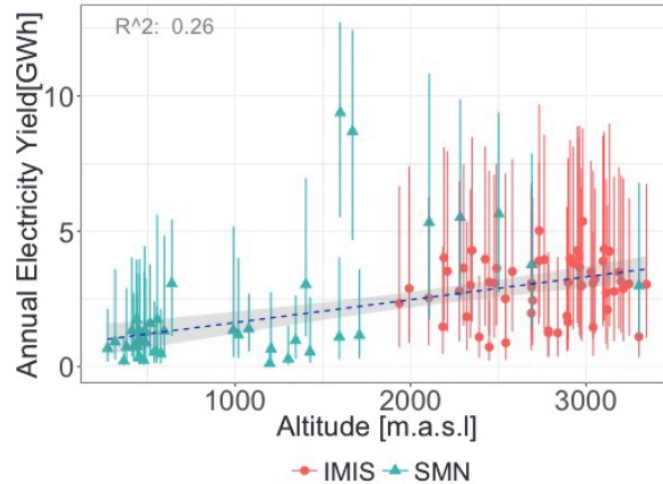
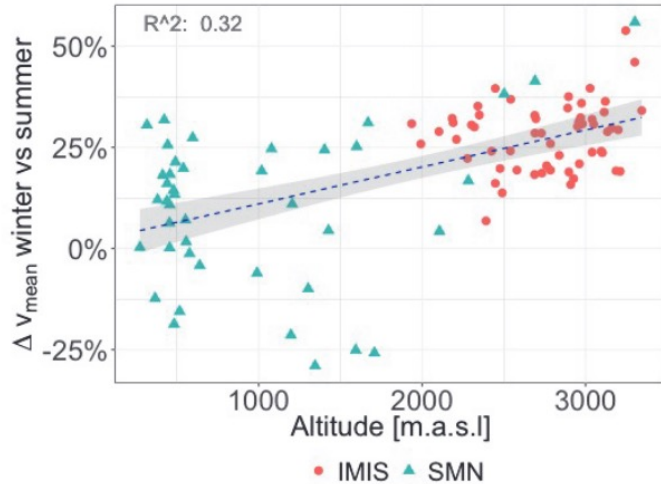
- Deutliche kleinere Windscherung als über flachem Gelände und einer normalen Grenzschicht → kleinerer Verschleiss



(a) Northwesterly winds



(b) Southeasterly winds

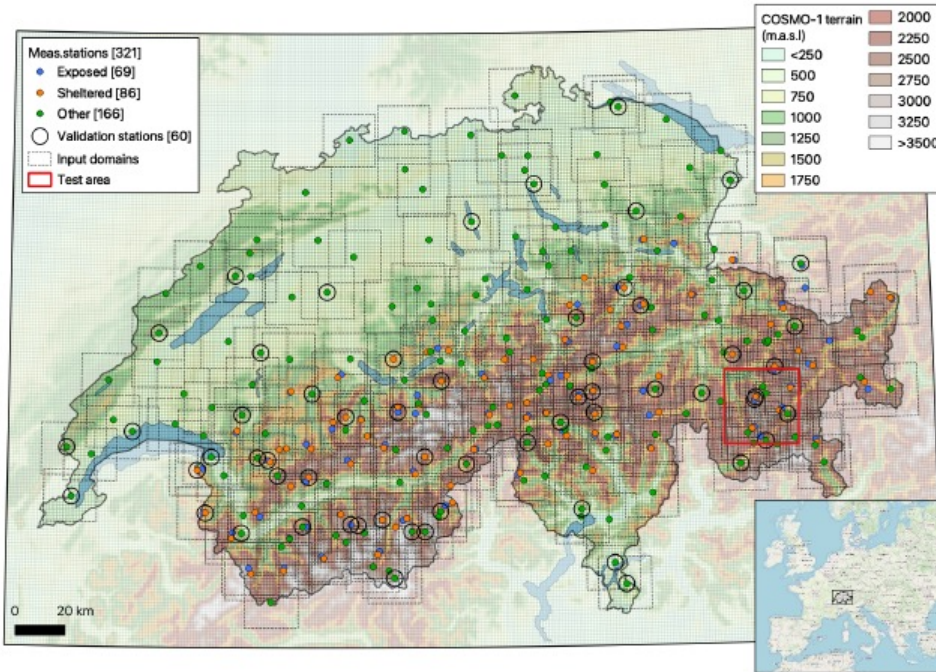


1/27/23



- In der Höhe ist der Trend zu mehr Winterwind noch ausgeprägter
- In der Höhe kann insgesamt eine höhere Energieproduktion erwartet werden → die Zunahme des Windes überkompensiert die Dichteabnahme

# Wir brauchen ein Modell für den Gebirgswind – WindTopo



- Try **machine learning** (ML) and specifically convolutional neural networks with training on weather station data (MeteoCH and IMIS)
- **Topographic Parameters** determined in an environment around the grid point of interest and characterizing wind exposure → make the wind turn as it hits topography
- Find a suitable **Loss Function**, which not only minimizes the error but also preserves the distributions of modelled winds as expressed by e.g. Weibull parameters

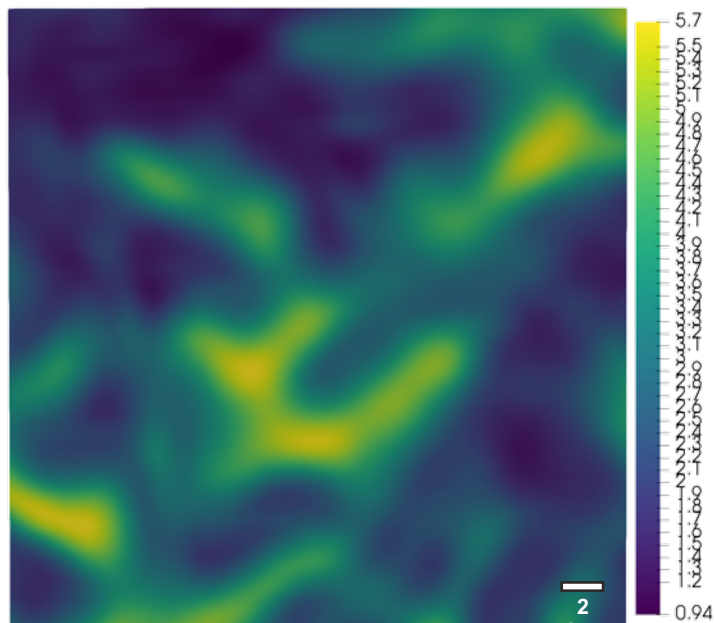




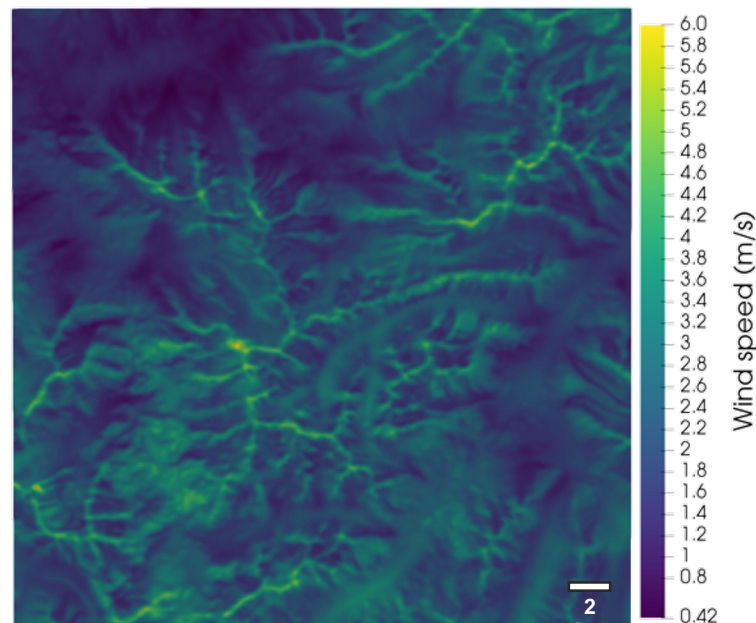
# WindTopo löst kleinskalige Windmuster auf

Average wind speed (1 year, hourly)

COSMO-1



Wind-Topo

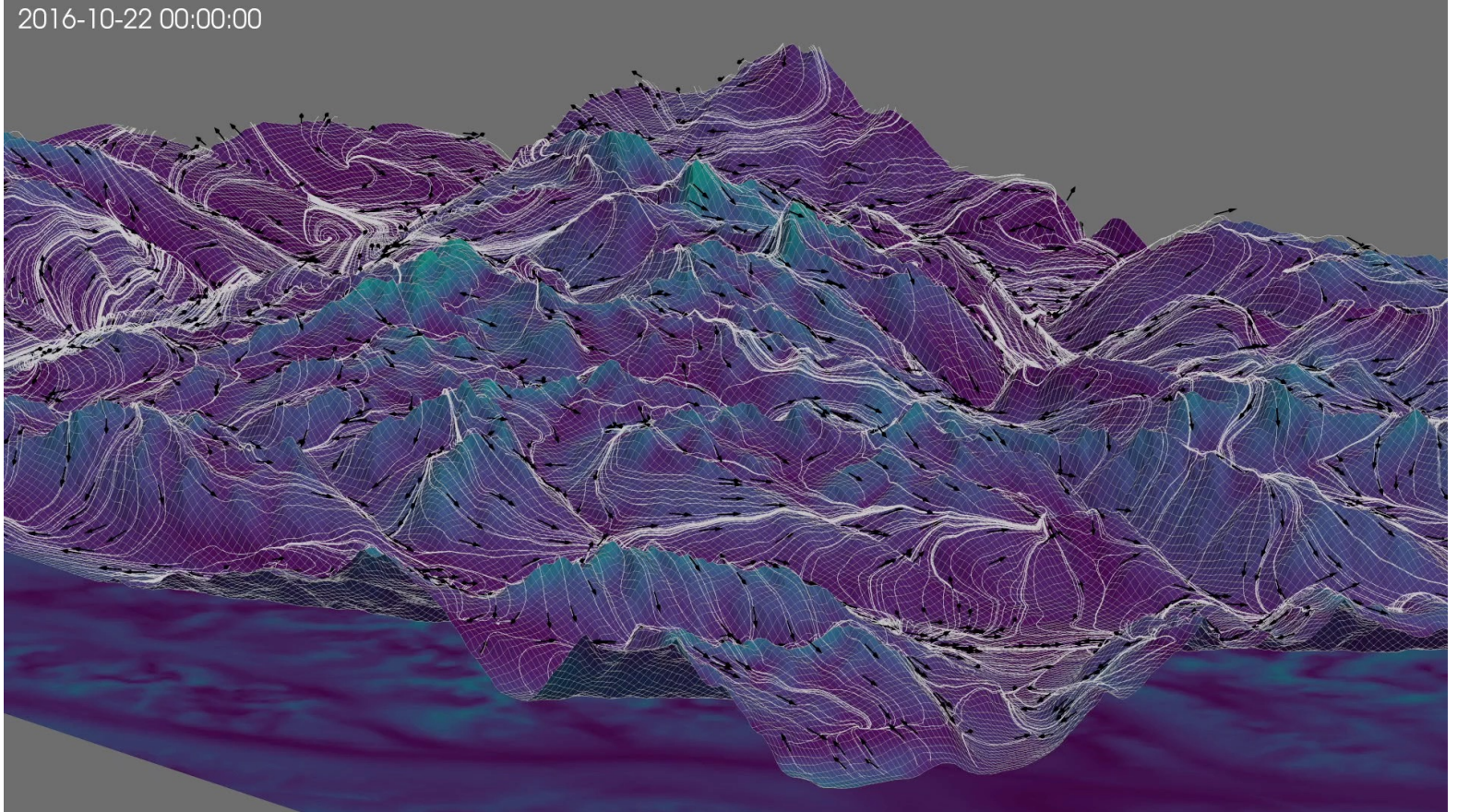


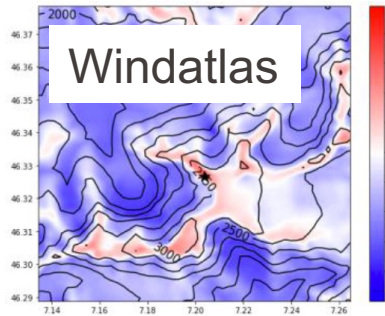




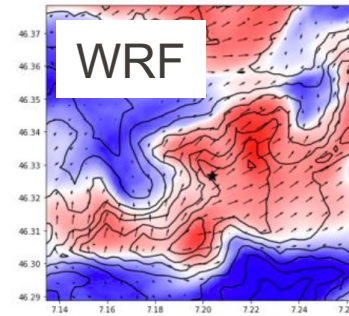
# WindTopo gibt die zeitliche Entwicklung wieder

2016-10-22 00:00:00

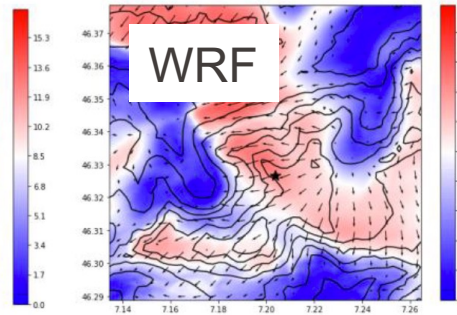




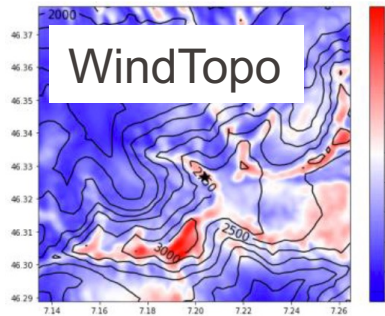
(b)



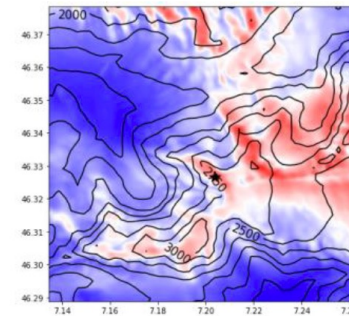
(c)



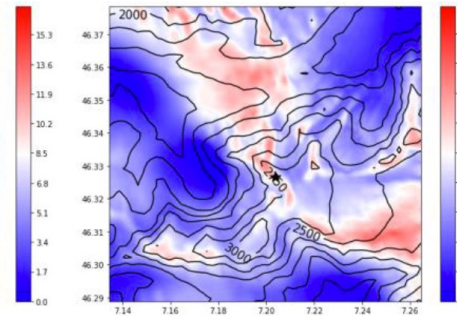
(d)



(e)



(f)



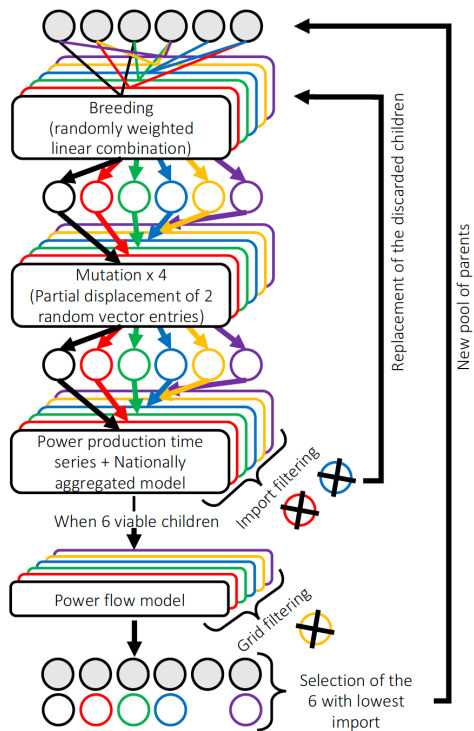
(g)

Räumliche Windfelder im Jahresmittel (b,e) aus dem Windatlas (b) und WindTopo (e).  
 Ausgewählte Südwestströmung für Diablerets simuliert mit WRF (c) und WindTopo (f).  
 Ausgewählte Nordwestströmung für Diablerets simuliert mit WRF (c) und WindTopo (g).

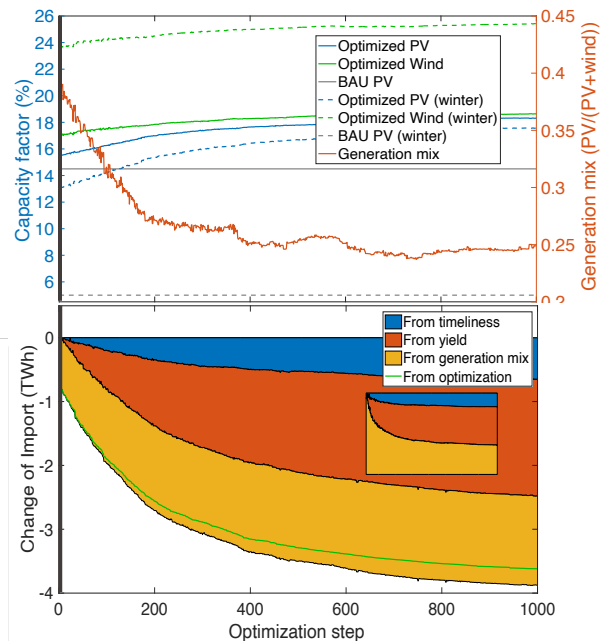
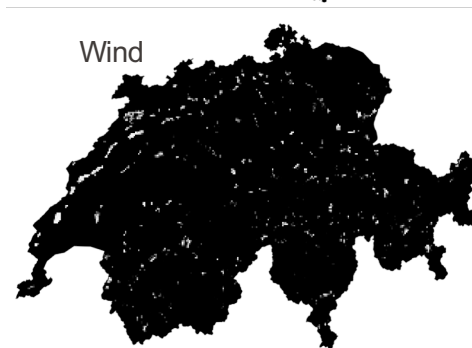
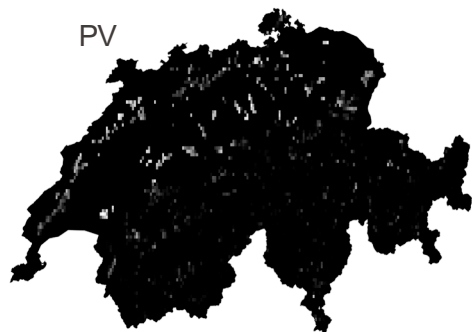


# Optimale Verteilung von PV und Wind in der Schweiz – OREES Model

## Evolution strategy



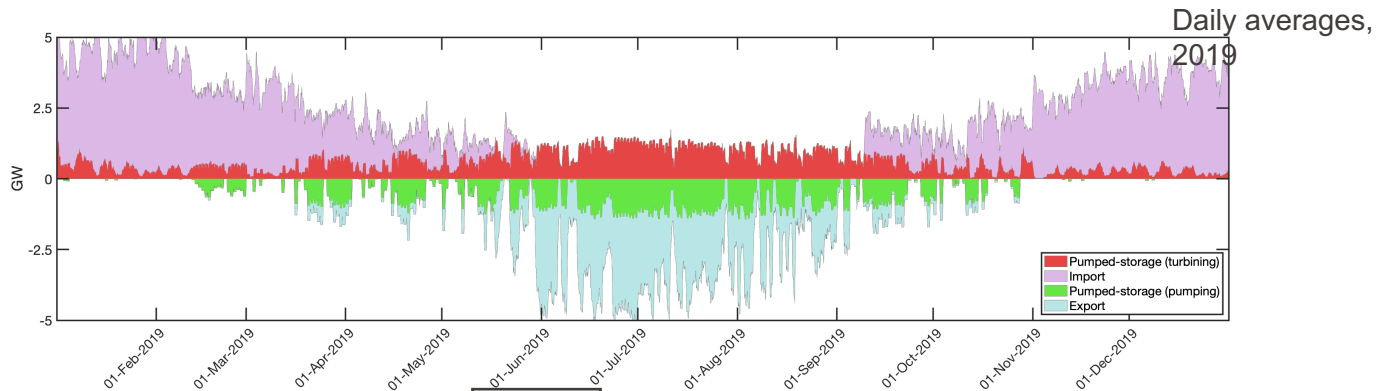
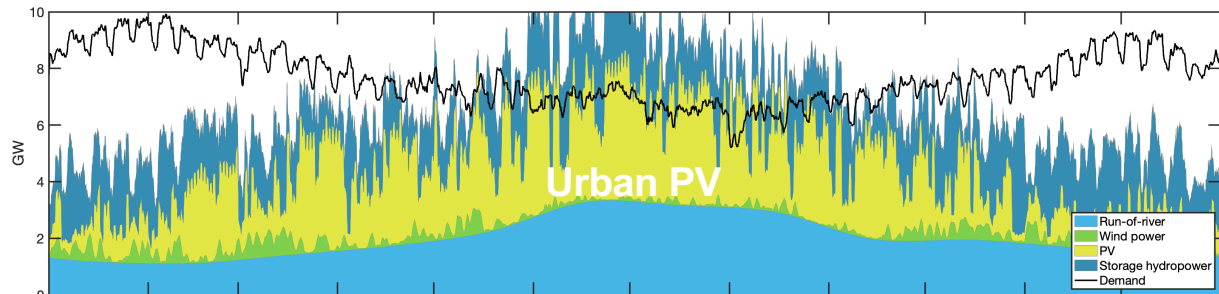
Dujardin et al. 2021



Dujardin et al. 2021

- Import reduced by 51% compared to initial solution
- 80% less import than a conventional urban PV scenario

# Winterlücke und Lösungen: Hochalpines PV und Wind



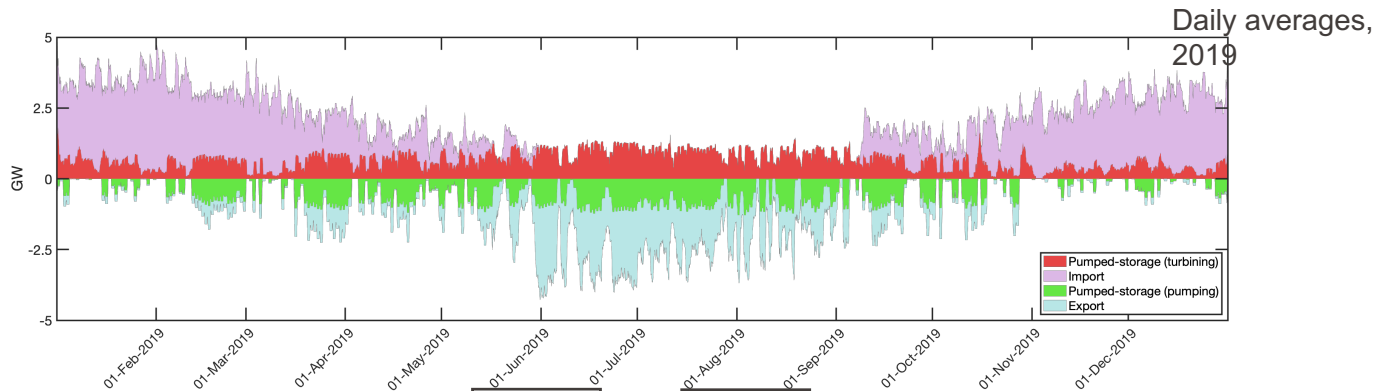
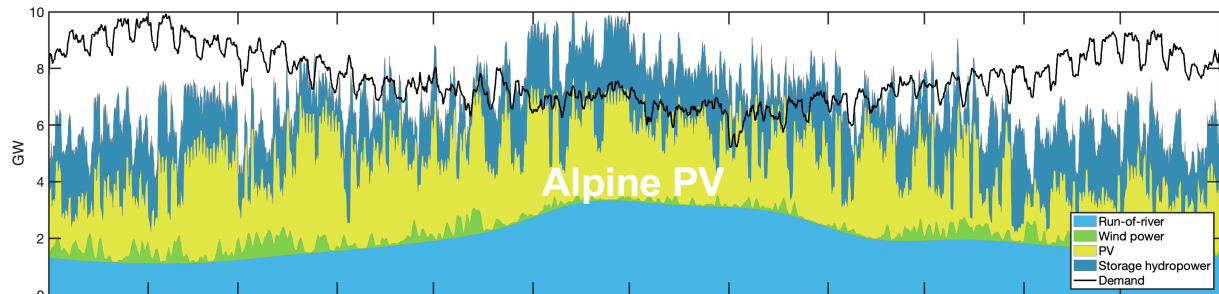
Daily averages,  
2019

(PV + Wind: 15  
GW)

Winter deficit: 14.5  
TWh



# Winterlücke und Lösungen: Hochalpines PV und Wind



Daily averages,  
2019

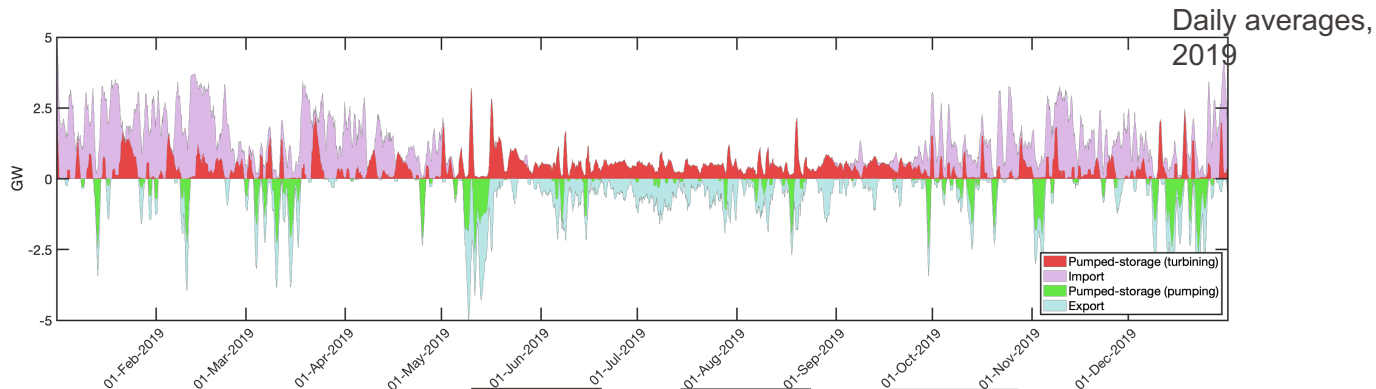
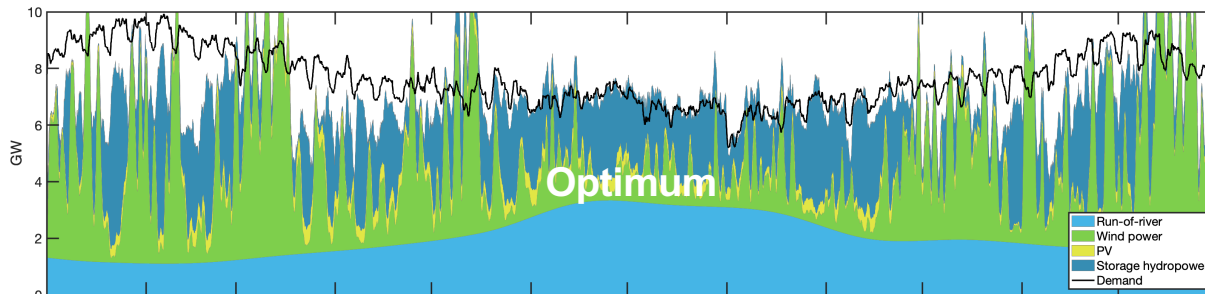
(PV + Wind: 15  
GW)

Winter deficit: 14.5 TWh → 11.7 TWh





# Winterlücke und Lösungen: Hochalpines PV und Wind



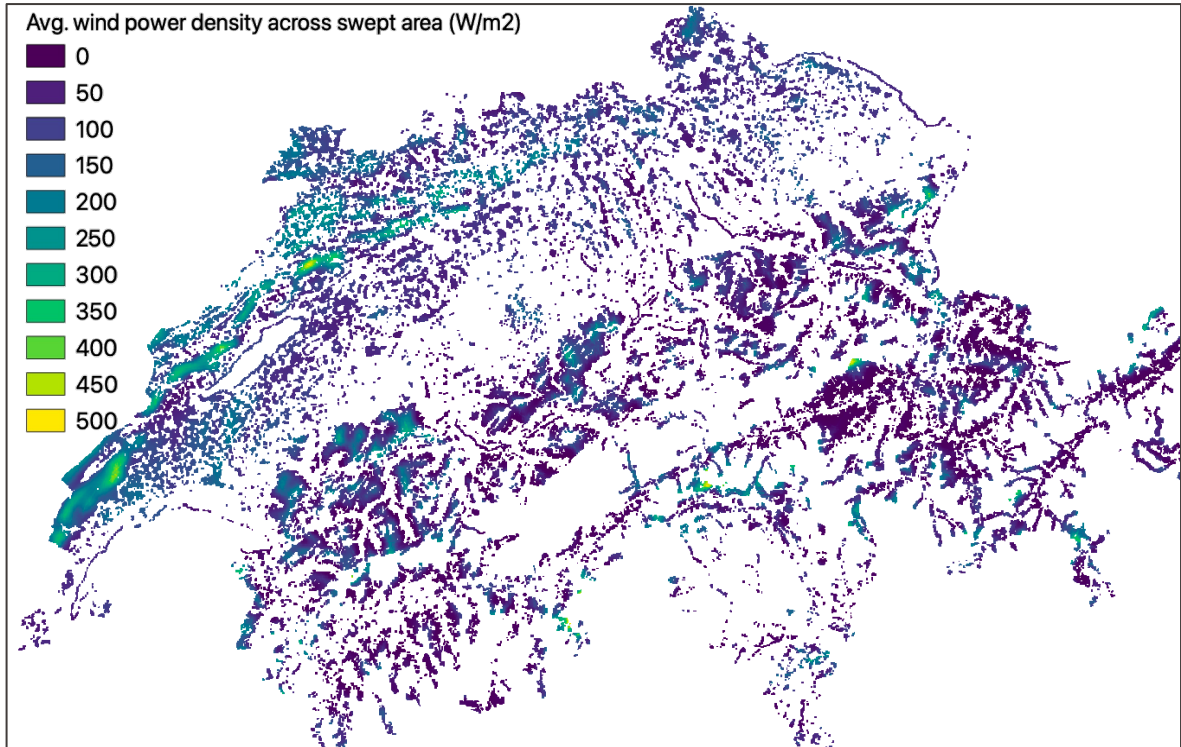
(PV + Wind: 15 GW)

**Winter deficit: 14.5 TWh** (8% Wind) → **11.7 TWh** (8% Wind) → **6.5 TWh** (88% Wind) (3 TWh inevitable)



50-meter GIS analysis:

- > 500 m from habitations
- > 150 m from slopes above 30°
- Elevation < 2700 m.a.s.l
- < 500 m from motorable road
- No: national park, glacier, persistent snow



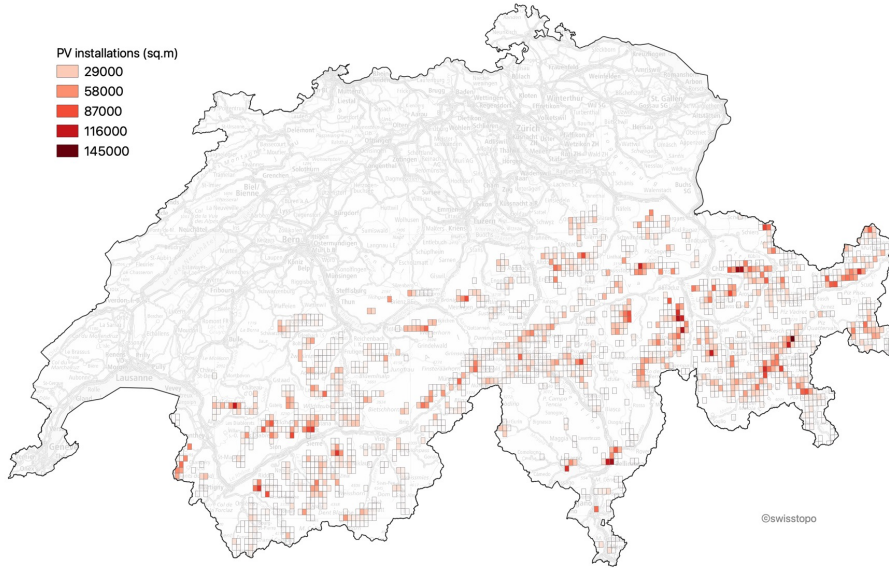
1/27/23

## Optimization for minimizing winter deficit (29 TWh generation in 2016)

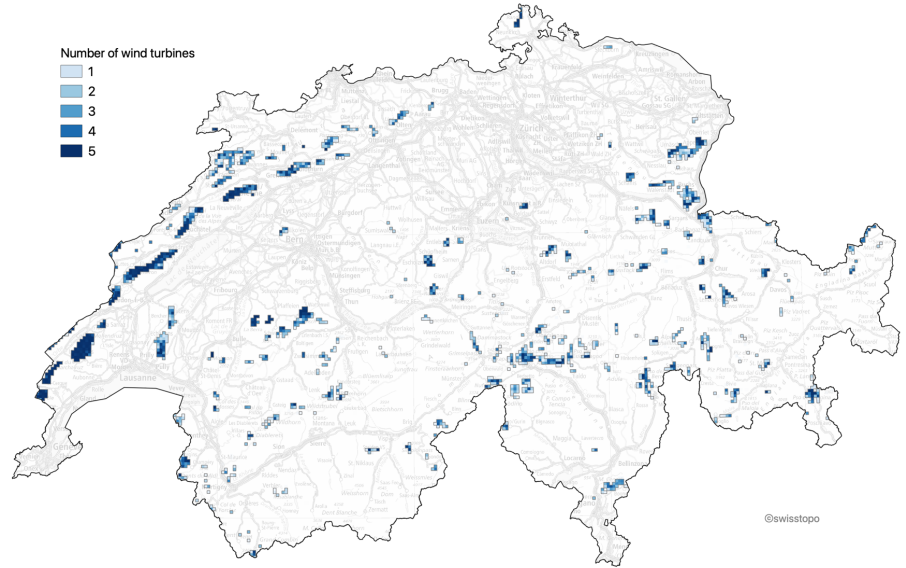
Optimal PV installations: 4.44 GW<sub>peak</sub>

Optimal wind power installations: 13.41  
GW<sub>peak</sub>

PV installations (sq.m)



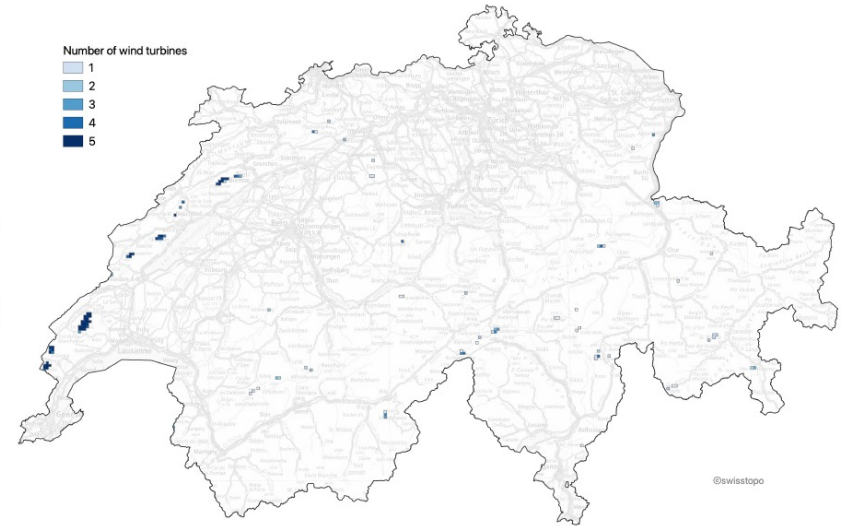
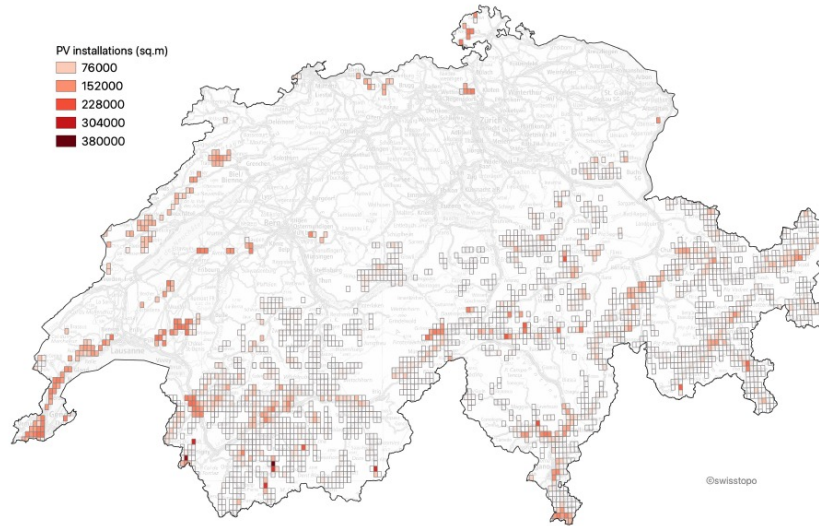
Number of wind turbines



# Optimization for maximizing revenues (25 TWh generation in 2019)

Optimal PV installations: 13.64 GW<sub>peak</sub>

Optimal wind power installations: 1.18 GW<sub>peak</sub>



# Schlussfolgerung

Hochalpines PV ist gut und wichtig, die Ergänzung mit Windkraftanlagen macht es noch besser!

Symbolbild





EPFL



SUNWELL

axpo iwb

Muttsee 20.8.2022