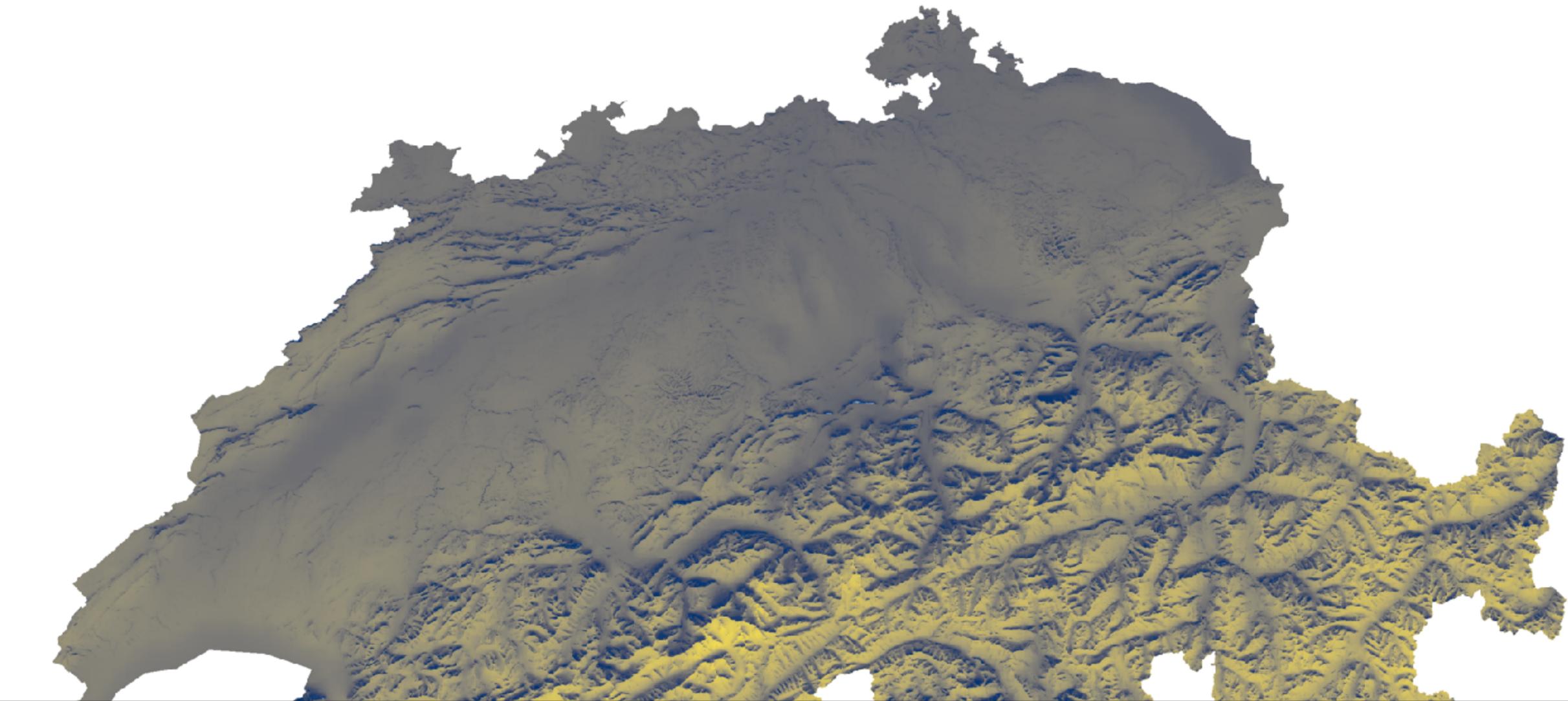


Energieforschungsgespräche Disentis 2024

“Potential und Gestehungskosten von Solar- und Windanlagen in den Alpen”

Von: Schwarz M., Dujardin J., **Frischholz Y.**, Lehning M.

In: Die Alpen für eine klimapositive Schweiz, Abt.2: Neue Erneuerbare Photovoltaik und Wind



Energieforschungsgespräche Disentis 2024

*“**Potential** und **Gestehungskosten** von **Solar-** und **Windanlagen** in den **Alpen**”*

Von: Schwarz M., Dujardin J., **Frischholz Y.**, Lehning M.

In: Die Alpen für eine klimapositive Schweiz, Abt.2: Neue Erneuerbare Photovoltaik und Wind

- Energiestrategie 2050.....4
- Vom Potential zur Realisierung.....6
- Neue PV-Potentialkarten.....7
- Zusammenfassung.....16

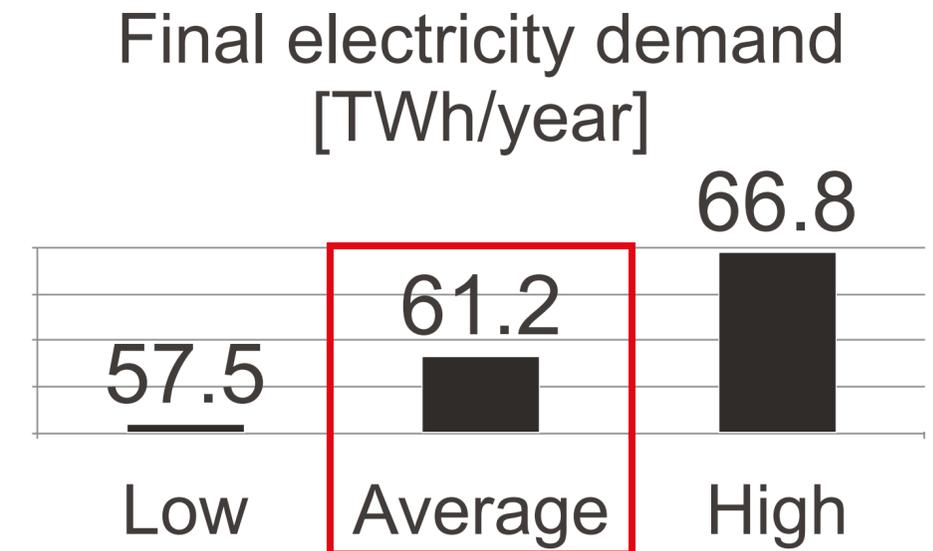
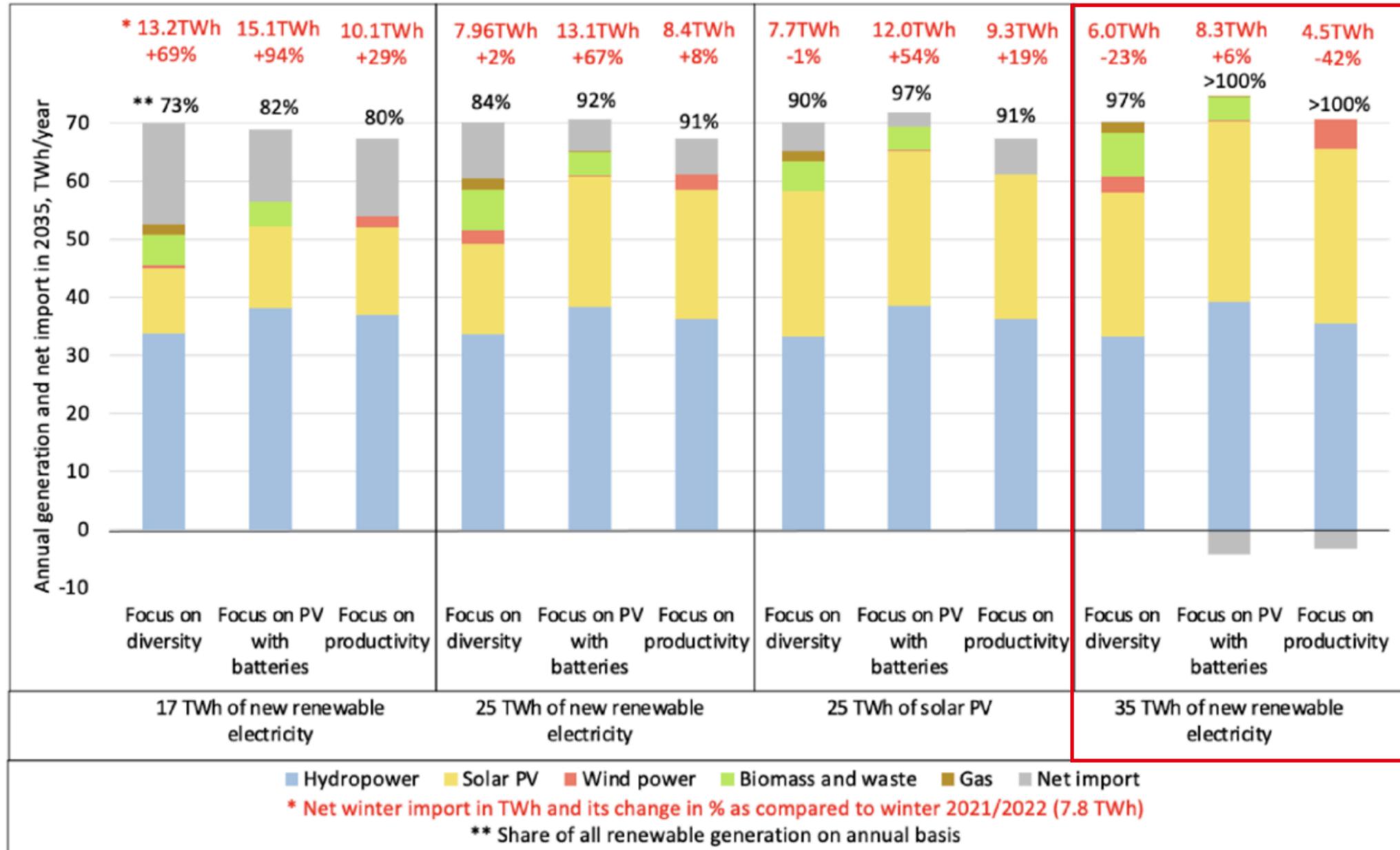
Ziele für die neuen erneuerbaren Energien (StromVG, SR-nummer: 734.7):

2035: 35TWh/y 2050: 45TWh/y

Im **2023** produziert: ~6TWh

Wie können wir es schaffen?

Energiestrategie 2050: Szenarien



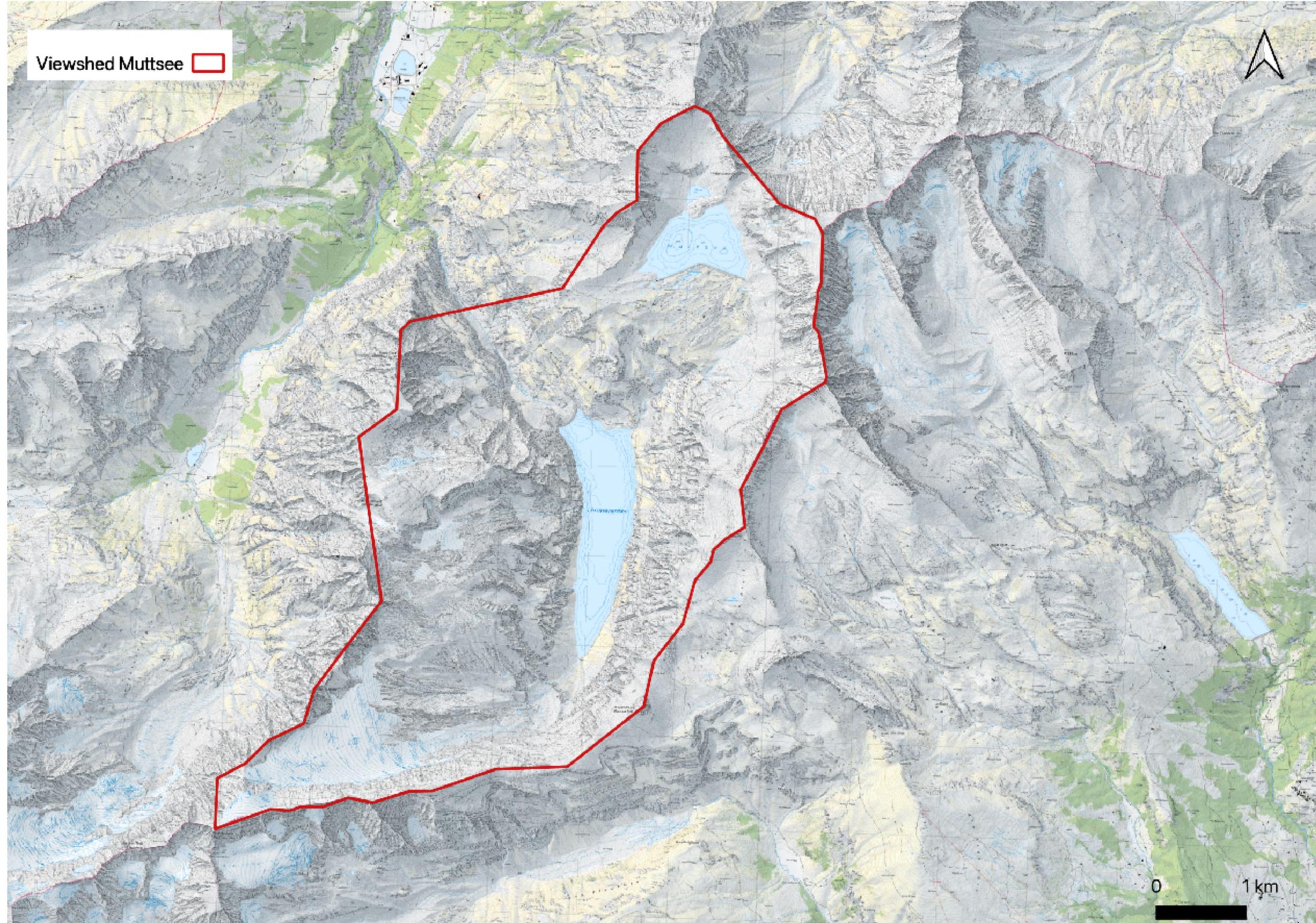
Vom Potential zur Realisierung

PV Potential der Schweiz			
	Dach-PV	Agri-PV	Alpine-PV
Potential	40-50TWh/y (BFE, 2023)	130TWh/y (Jäger, 2022)	45 - 450TWh/y (e.g. Meyer et al., 2023; Schwarz, 2022; de Ferrars 2023)
Herausforderungen	<ul style="list-style-type: none"> • Investitionsausgaben für Haushalte • Fragmentierte Regulierungen & Subventionen • Winterstrom 	<ul style="list-style-type: none"> • Muss landwirtschaftliche Erträge verbessern • Winterstrom 	<ul style="list-style-type: none"> • Design (Standort, Ertrags- und Kostenprognosen, usw.) • Regulierungen

Warum das grosse Spektrum?

Winterstrom!

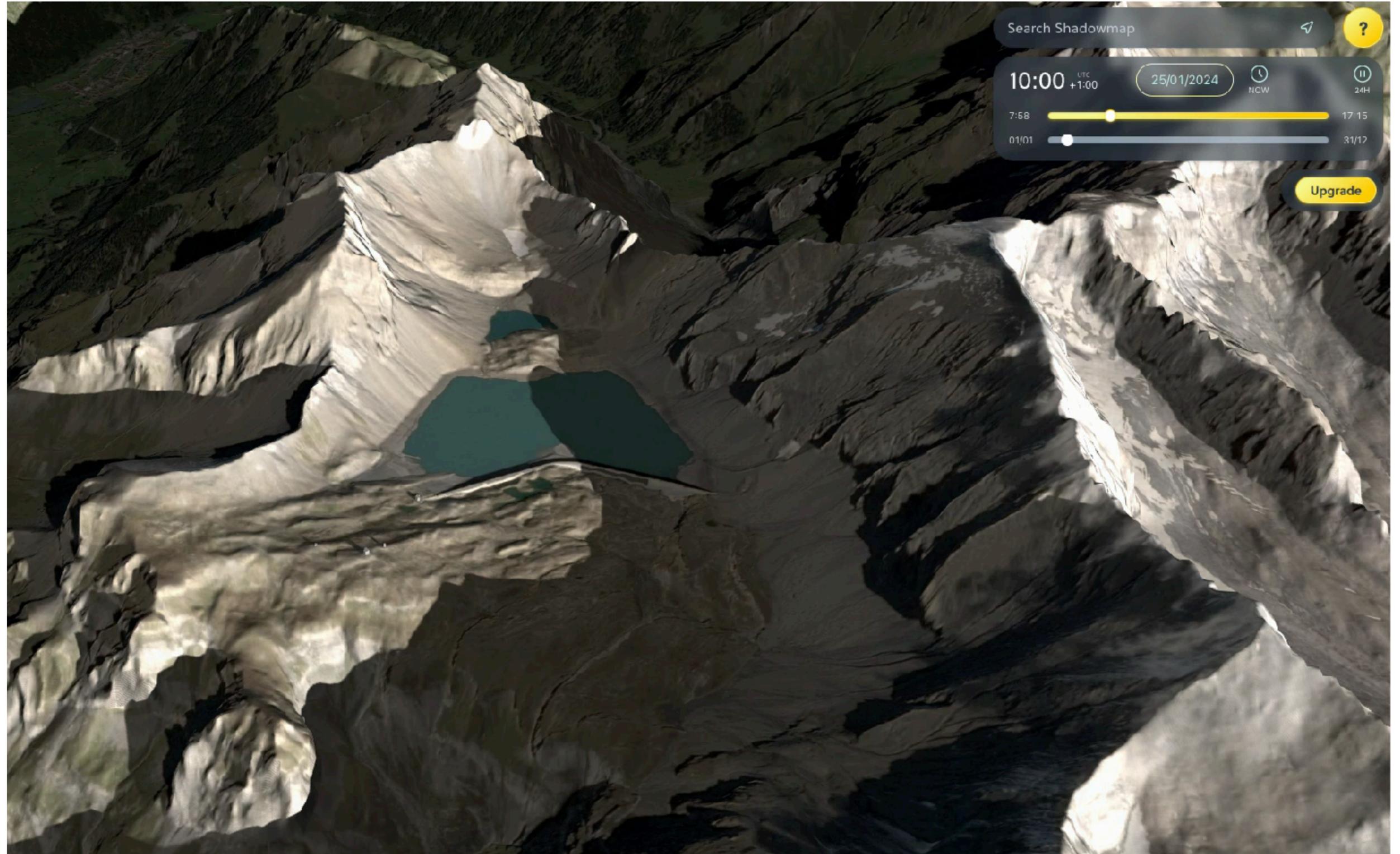
Neue PV-Potentialkarten: Beispiel Muttsee



Neue PV-Potentialkarten: Beispiel Muttsee



Neue PV-Potentialkarten: Beispiel Muttsee



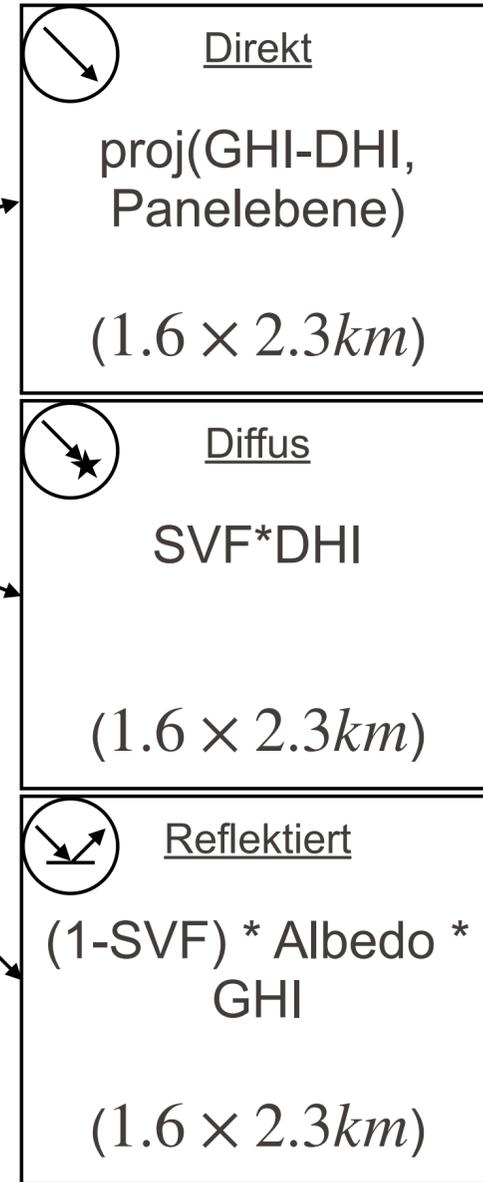


PV-Potent



Bisher
(z.B. Kahl et al. 2019)

- Sateliter
räumliche
- **Global Horizontal Irradiation**
(W/m²)
 - **Diffuse Horizontal Irradiation**
(W/m²)
 - **Albedo**
(1.6 × 2.3)

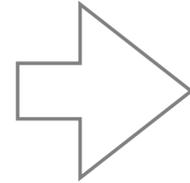


Neue PV-Potentialkarten: Methode

Bisher
 (z.B. Kahl et al. 2019)

Satelitenbasierte
 räumliche Zeitreihen

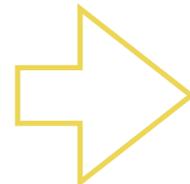
- **Global Horizontal Irradiation (GHI)** (W/m²)
- **Diffuse Horizontal Irradiation (DHI)** (W/m²)
- **Albedo**



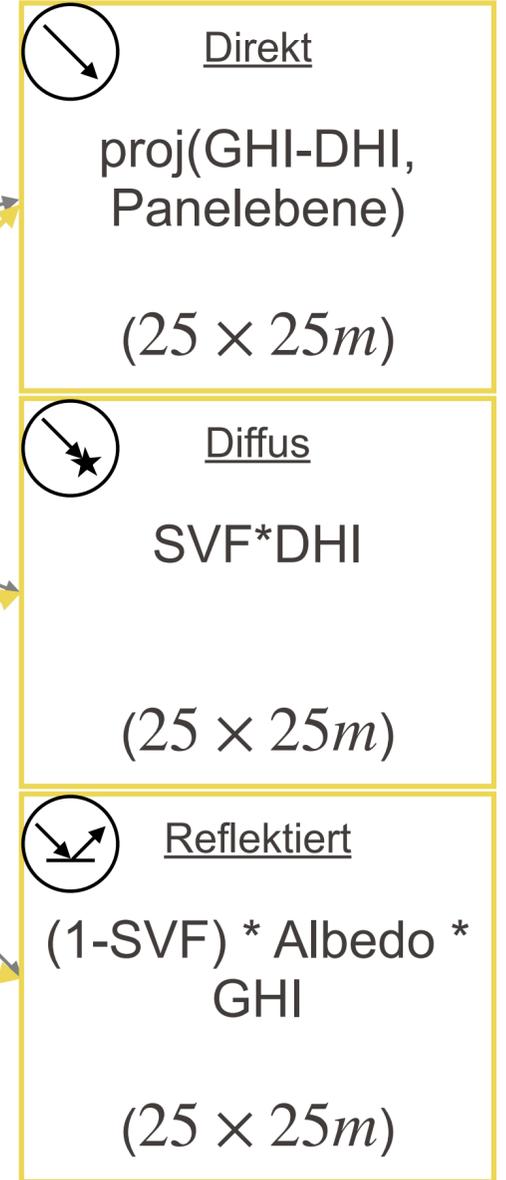
Annahme
 Gelände flach
Schattenwurf durch Gelände
 nicht berücksichtigt
Sky-View Factor (SVF)
 Funktion der
 Panelgeometrie

Neu
 (Ratnaweera et al. 2023)

idem
 (1h, 1.6 × 2.3km)

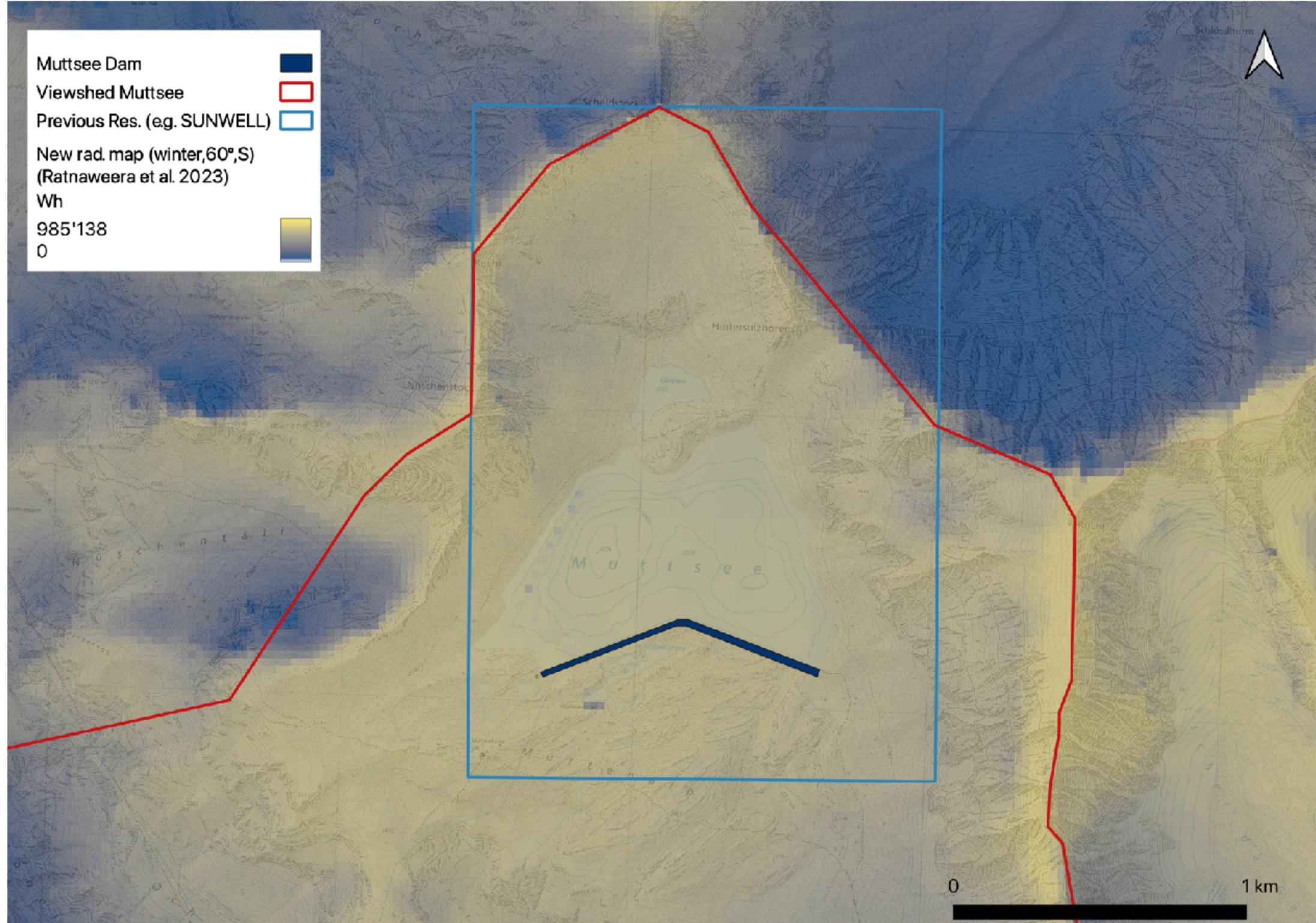


Geländemodell
 mit 25m Auflösung
Schattenwurf durch Gelände
 berücksichtigt
Sky-View Factor
 Funktion der
 Panelgeometrie und
 des Geländes

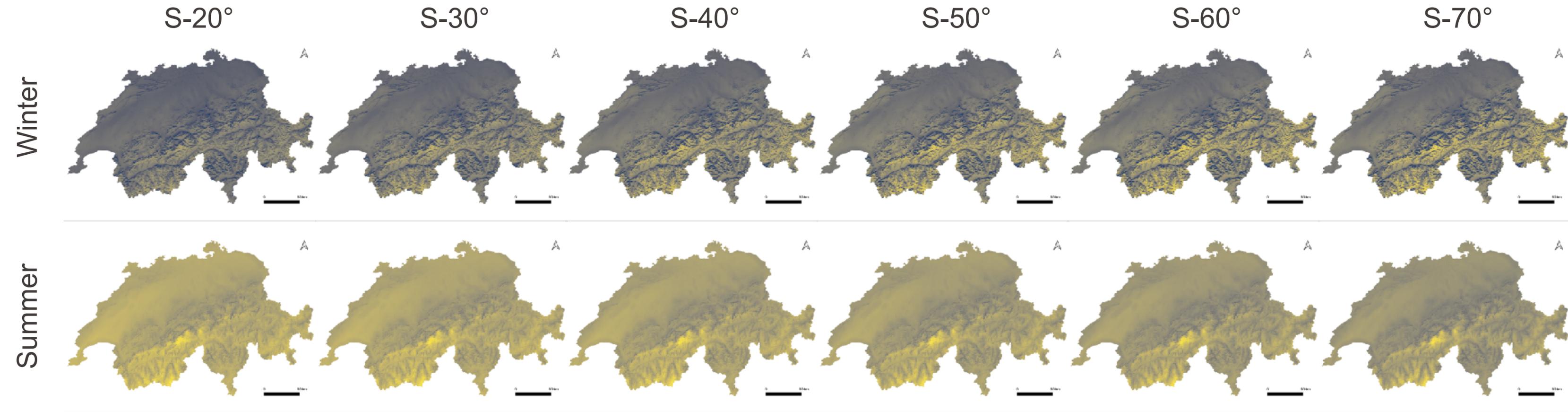


Herunterskaliert von 1.6 × 2.3km auf 25 × 25m mit Schattenwurf und SVF

Neue PV-Potentialkarten: Beispiel Muttsee



Neue PV-Potentialkarten: verfügbare Daten ¹⁴



Verfügbar: <https://zenodo.org/records/8296864>

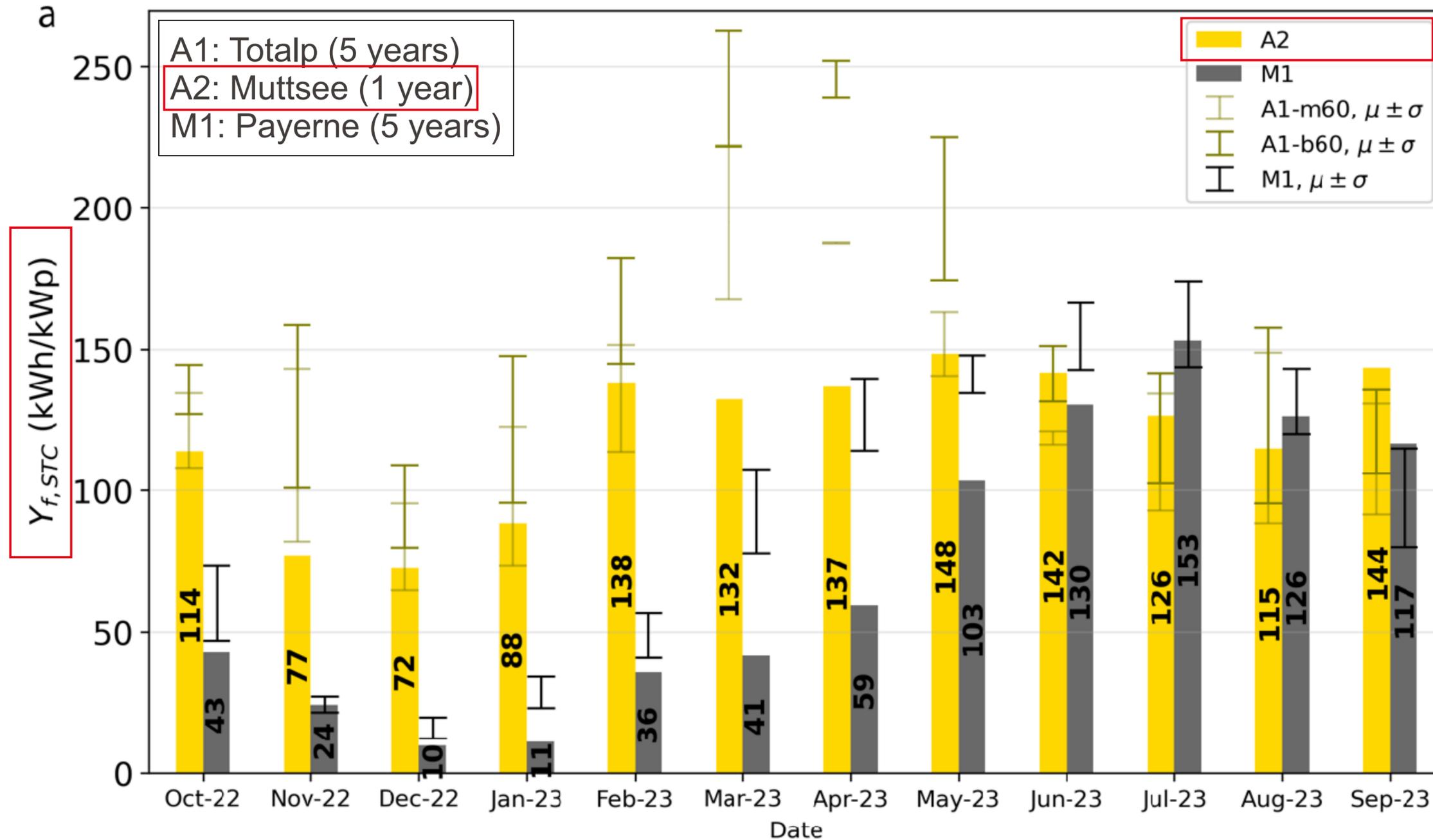


Vom Potential zur Realisierung

PV Potential der Schweiz			
	Dach-PV	Agri-PV	Alpine-PV
Potential	40-50TWh (BFE, 2023)	130TWh (Jäger, 2022)	50 - 80TWh ^{1,2} (Ratnaweera et al. 2023) 45 - 450TWh (e.g. Meyer et al., 2023; Schwarz, 2022; de Ferrars, 2023)
Realisation challenges	<ul style="list-style-type: none"> • Investitionsausgaben für Haushalte • Fragmentierte Regulierungen & Subventionen • Winterstrom 	<ul style="list-style-type: none"> • Muss landwirtschaftliche Erträge verbessern • Winterstrom 	<ul style="list-style-type: none"> • Design (Standort, Ertrags- und Kostenprognosen, usw.) • Regulierungen

1. mit einem grob geschätzten jährlichen Nutzungsgrad von 0.2
2. mit der von SWEET-EDGE definierten Regionsaufteilung der Alpen

Neue PV-Potentialkarten: Beispiel Muttsee



Wie können wir es schaffen?

- PV wird die wichtigste Technologie im Strommix 2035 sein
- Alpine-PV kann zusammen mit Wind eine Schlüsselrolle bei der Produktion von Winterstrom spielen.
- Das Herunterskalieren der Potentialkarten erlaubt die Identifizierung optimaler Standorte im komplexen Gelände (z.B: Alpen) um:
 - die (saisonale) Stromproduktion zu maximieren
 - die Auswirkungen auf die Landschaft und die Kosten zu minimieren
- Die neuen Karten sind unverzichtbar für eine genauere Berechnungen der Kosten und Rentabilität.

- Slide 5:
 - Trutnevytet, Evelina et al. Renewable Energy Outlook for Switzerland. 2024. doi: 10.13097/archiveouverte/unige:172640.
- Slide 6:
 - Rooftop-PV:
 - BFE, MeteoSwiss, Swisstopo. 2023. “Wie Viel Strom Oder Wärme Kann Mein Dach Produzieren?” 2023. <https://www.uvek-gis.admin.ch/BFE/sonnendach/?lang=de>.
 - Agri-PV:
 - Jäger, Mareike; Vaccaro, Christina; Boos, Jürg; Junghardt, Johann; Strebel, Sven; Anderegg, Dionis; Rohrer, Jürg; Schibli, Beatrix, 2022. Machbarkeitsstudie Agri-Photovoltaik in der Schweizer Landwirtschaft. Wädenswil: ZHAW Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften. Verfügbar unter: <https://doi.org/10.21256/zhaw-25624>.
 - Alpine-PV:
 - Meyer, Lukas, Anne-Kathrin Weber, and Jan Remund. 2023. “Das Potenzial Der Alpinen PV-Anlagen in Der Schweiz.” In PV-Symposium Kloster Banz. Bad Staffelstein, Germany. https://www.researchgate.net/profile/Jan-Remund/publication/369372494_Das_Potenzial_der_alpinen_PV-Anlagen_in_der_Schweiz/links/641851cb66f8522c38bd6136/Das-Potenzial-der-alpinen-PV-Anlagen-in-der-Schweiz.pdf.
 - Schwarz, 2022, Alpenstrom jetzt! Modellierung von Alpenstrom zur Deckung der ‘Winterlücke’, <https://www.alpenforce.com/projekt/studie-alpenstrom-jetzt>.
 - de Ferrars, 2023. The role of solar photovoltaics in the Alps for the Swiss electricity system, <https://doi.org/10.3929/ethz-b-000610172>.
- Slide 7:
 - Kahl, A., J. Dujardin, and M. Lehning. “The Bright Side of PV Production in Snow-Covered Mountains.” *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 116, no. 4 (January 22, 2019): 1162–67. <https://doi.org/10.1073/pnas.1720808116>.
- Slide 9:
 - Photo Muttsee: Y. Frischholz, 18.04.2023.
- Slide 10:
 - Muttsee raytracing video: shadowmap.org, visited: 19.01.24.
- Slide 11:
 - Ratnaweera, N., Kahl, A., Sharma, V. Geospatial segmentation of high-resolution photovoltaic production maps for Switzerland, *Frontiers in Energy Research*, 2023, in press.
- Slide 14:
 - Monthly, seasonal, annual final yield comparison: Y. Frischholz, U.Schilt, V.Sharma, A.Kahl, S.Strebel, D.Anderegg, J.Rohrer, M.Lehning, *Frontiers in Energy Research*, 2024, (under review).