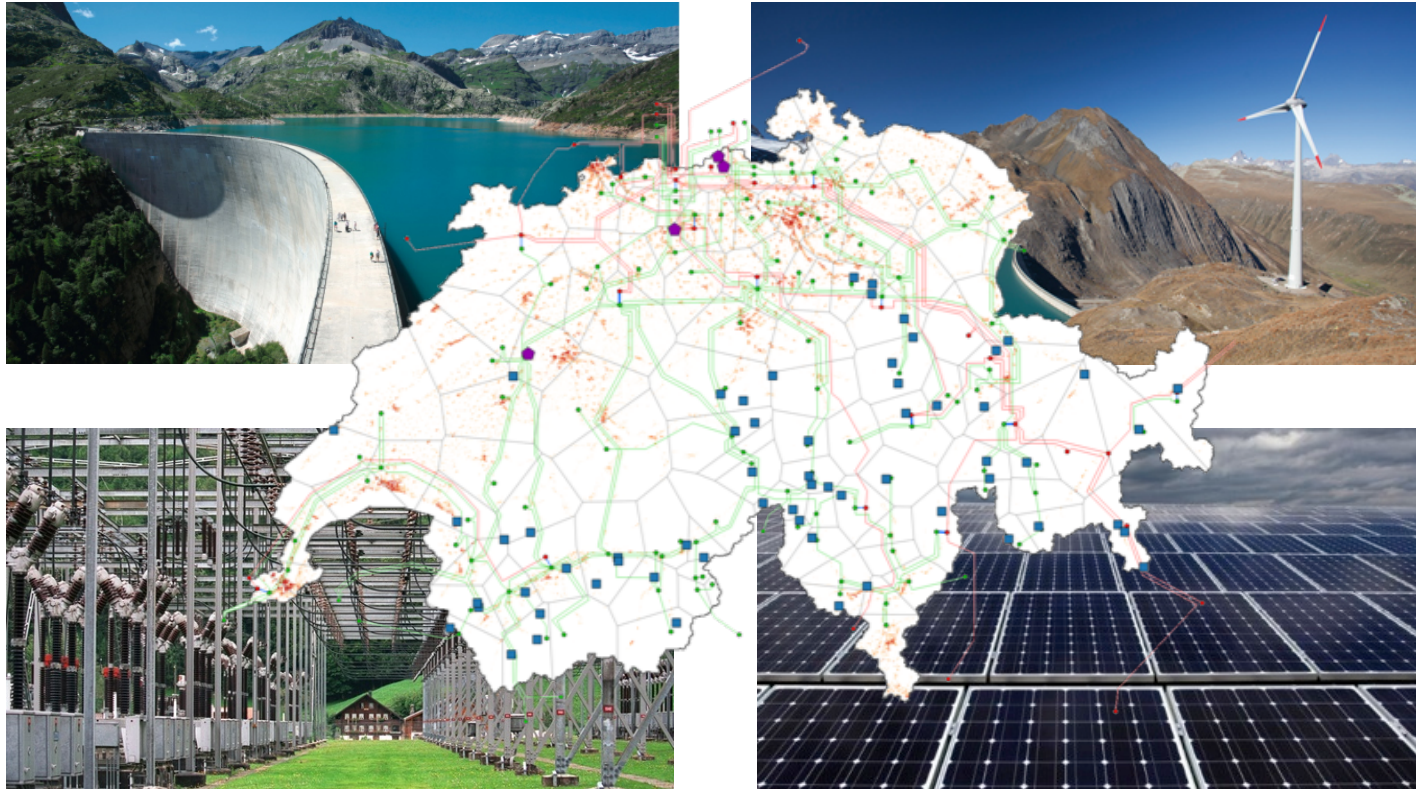


WIE SICH WASSER, SONNE UND WIND ZU EINEM 100% ERNEUERBAREN ELEKTRIZITÄTSSYSTEM IN DER SCHWEIZ ERGÄNZEN



Energiegespräche Disentis, 2020

Welche erneuerbare
Energiequelle?

Wieviel?

Wo installiert?

Netzintegration?

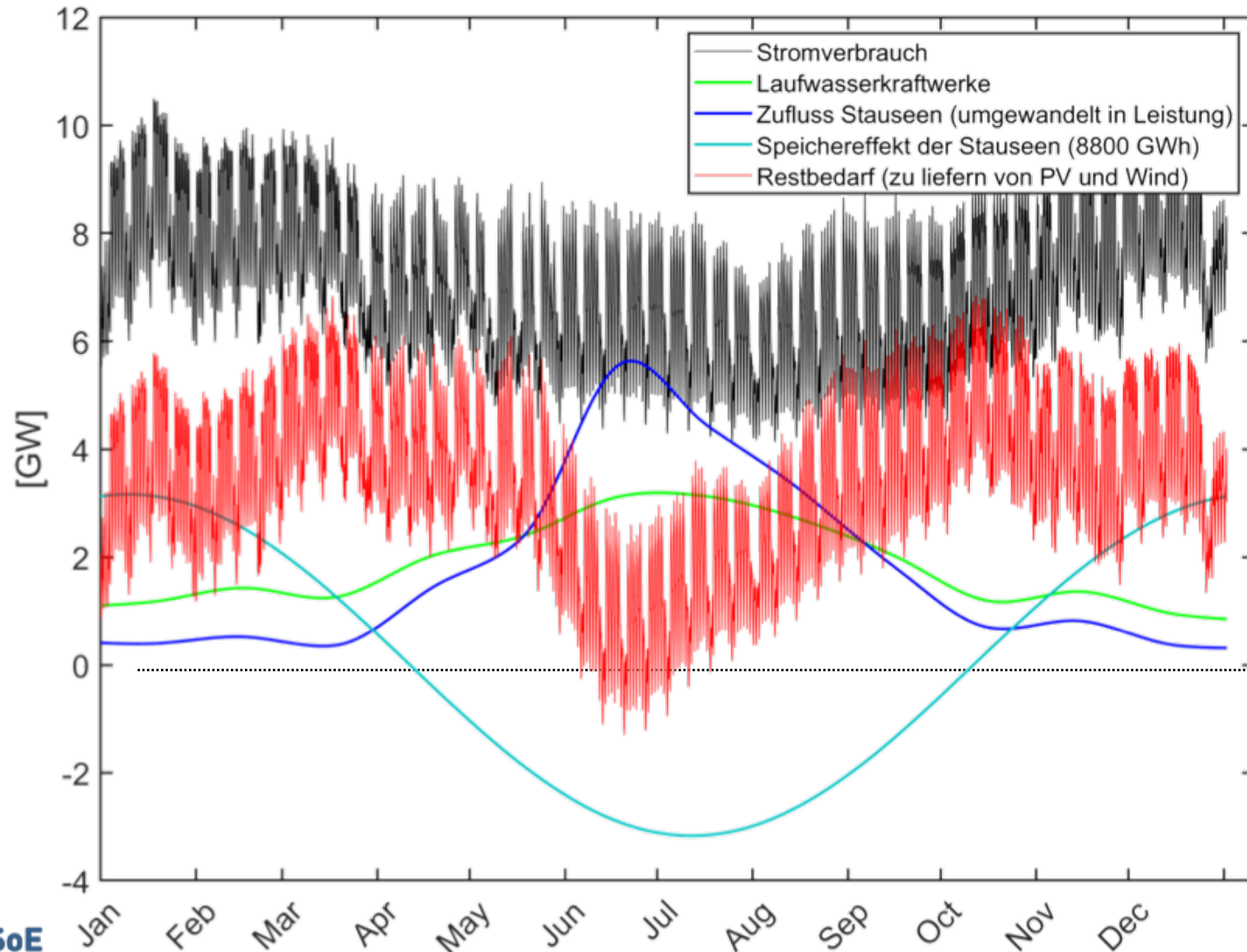


Hoher Verbrauch
im Winter

Geringer Verbrauch
im Sommer

Bestehende Installationen
(Wasserkraft und Stromnetz)

Rahmenbedingungen



Optimierung



Foto: Ebay.ch

- Mehrere Schrauben (Variable) gleichzeitig
- Rahmenbedingungen
- Lösung bewegt sich durch Ergebnisraum



Foto: teepublic.com

Ergebnisraum zu gross:

- brauchen heuristische Methode
- evolutionärer Algorithmus

Optimierung

Was wollen wir **optimieren**?

Produktion? Noch konkreter:

Maximale Produktion, zum richtigen Zeitpunkt, unter minimalen Kosten und gleichzeitiger maximaler Energieautonomie

Ansatz: Minimaler Import bei fixierter Nennleistung

Was können wir **variieren**?

Standortauswahl, Mischungsverhältnis PV-Wind, Installationsgeometrie der Solaranlagen

Ansatz: PV Installationsgeometrie optimiert für maximale Winterproduktion, Variation von Standort und Mischungsverhältnis

Welche **Randbedingungen** müssen wir berücksichtigen?

Nachfrage muss gedeckt sein

Kompatibilität mit dem Stromnetz

Ansatz: Räumlich explizites Model mit optimal Power Flow (OPF)

Optimierung

Was wollen wir **optimieren**?

Produktion? Noch konkreter:

Maximale Produktion, zum richtigen Zeitpunkt, unter minimalen Kosten und gleichzeitiger maximaler Energieautonomie

Ansatz: Minimaler Import bei fixierter Nennleistung

Was können wir **variieren**?

Standortauswahl, Mischungsverhältnis PV-Wind, Installationsgeometrie der Solaranlagen

Ansatz: PV Installationsgeometrie optimiert für maximale Winterproduktion, Variation von Standort und Mischungsverhältnis

Welche **Randbedingungen** müssen wir berücksichtigen?

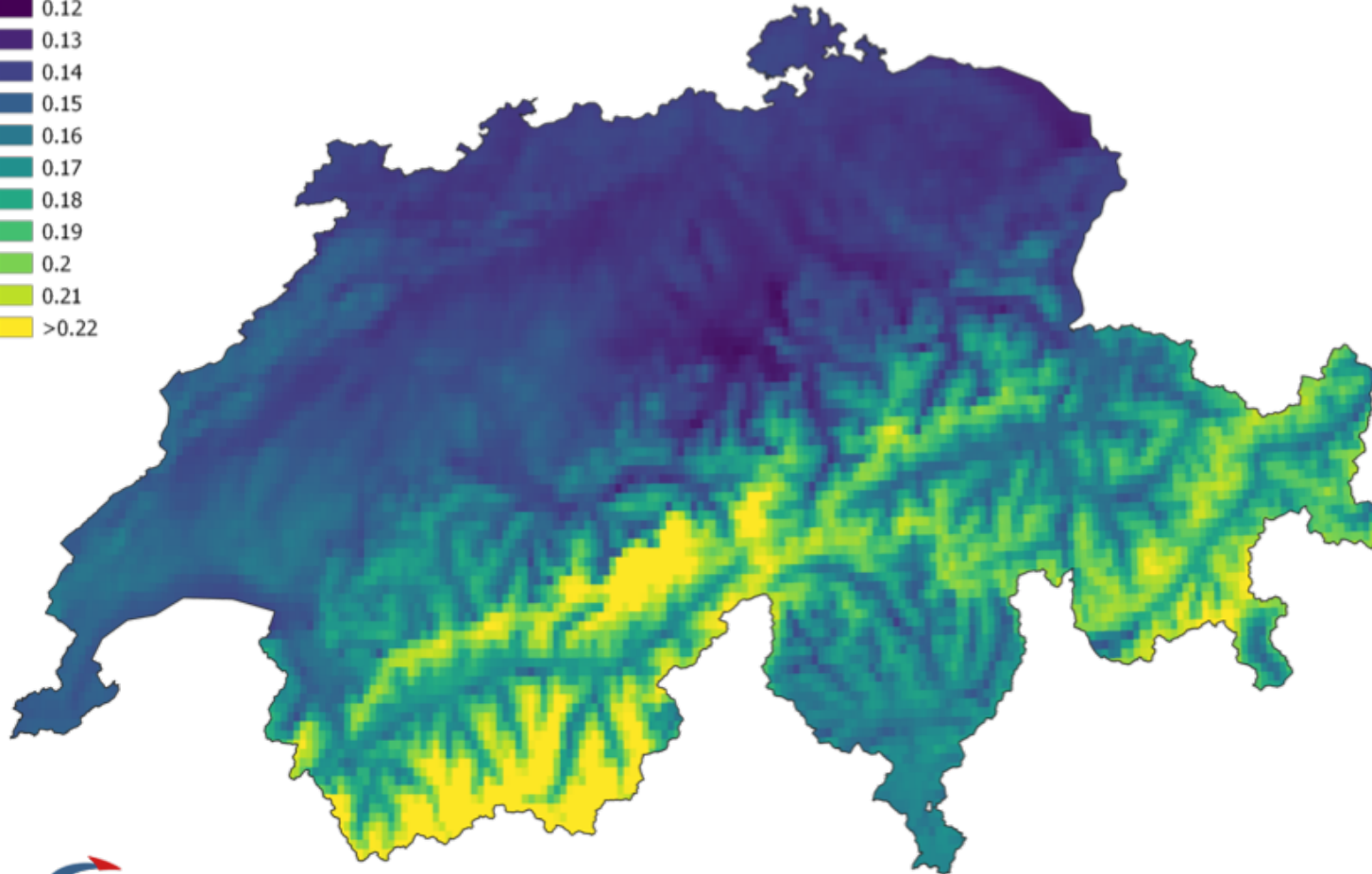
Nachfrage muss gedeckt sein

Kompatibilität mit dem Stromnetz

Ansatz: Räumlich explizites Model mit optimal Power Flow (OPF)

GIS Standortwahl PV

Capacity factor [0-1]



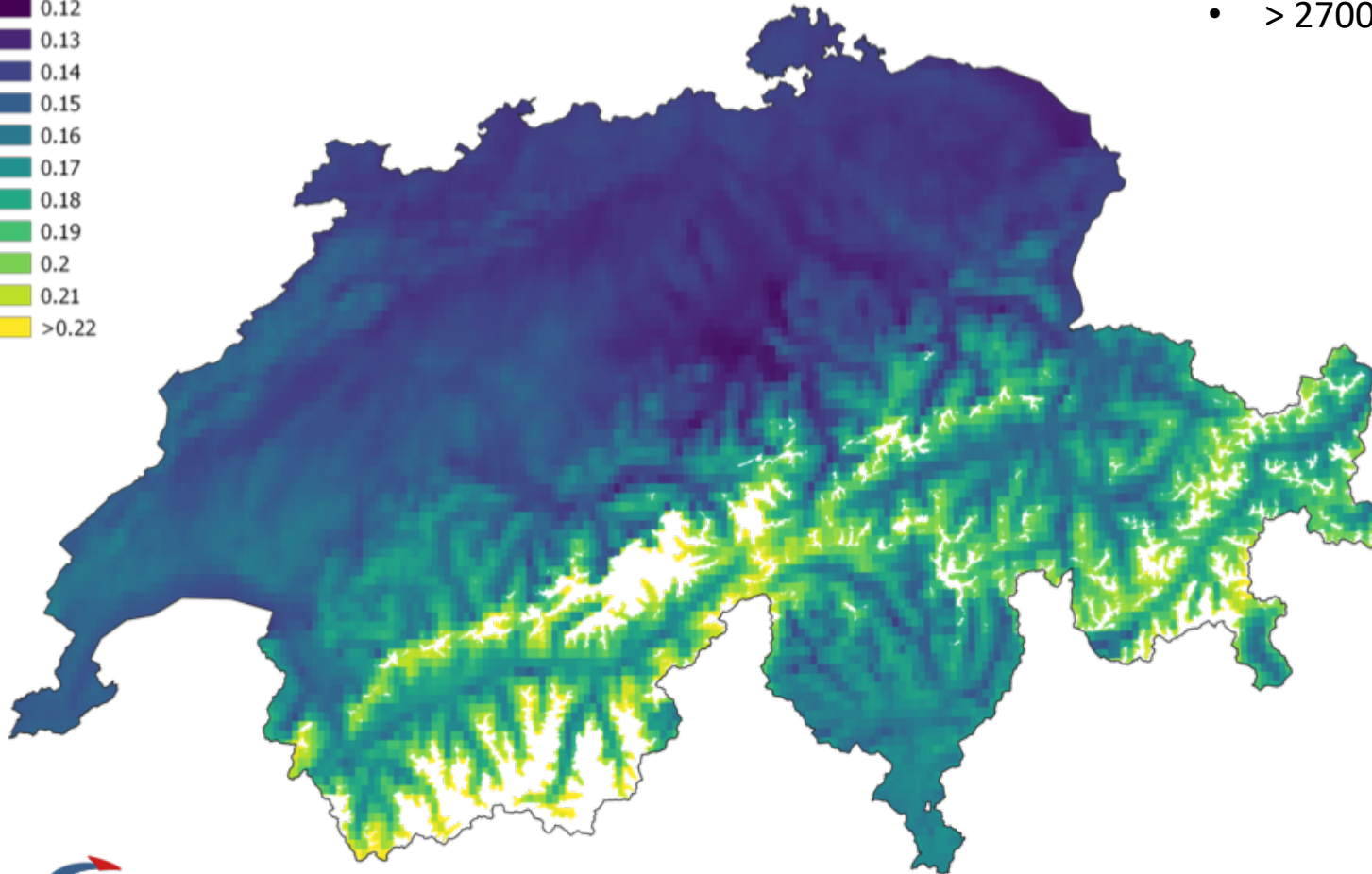
GIS Standortwahl PV

Capacity factor [0-1]



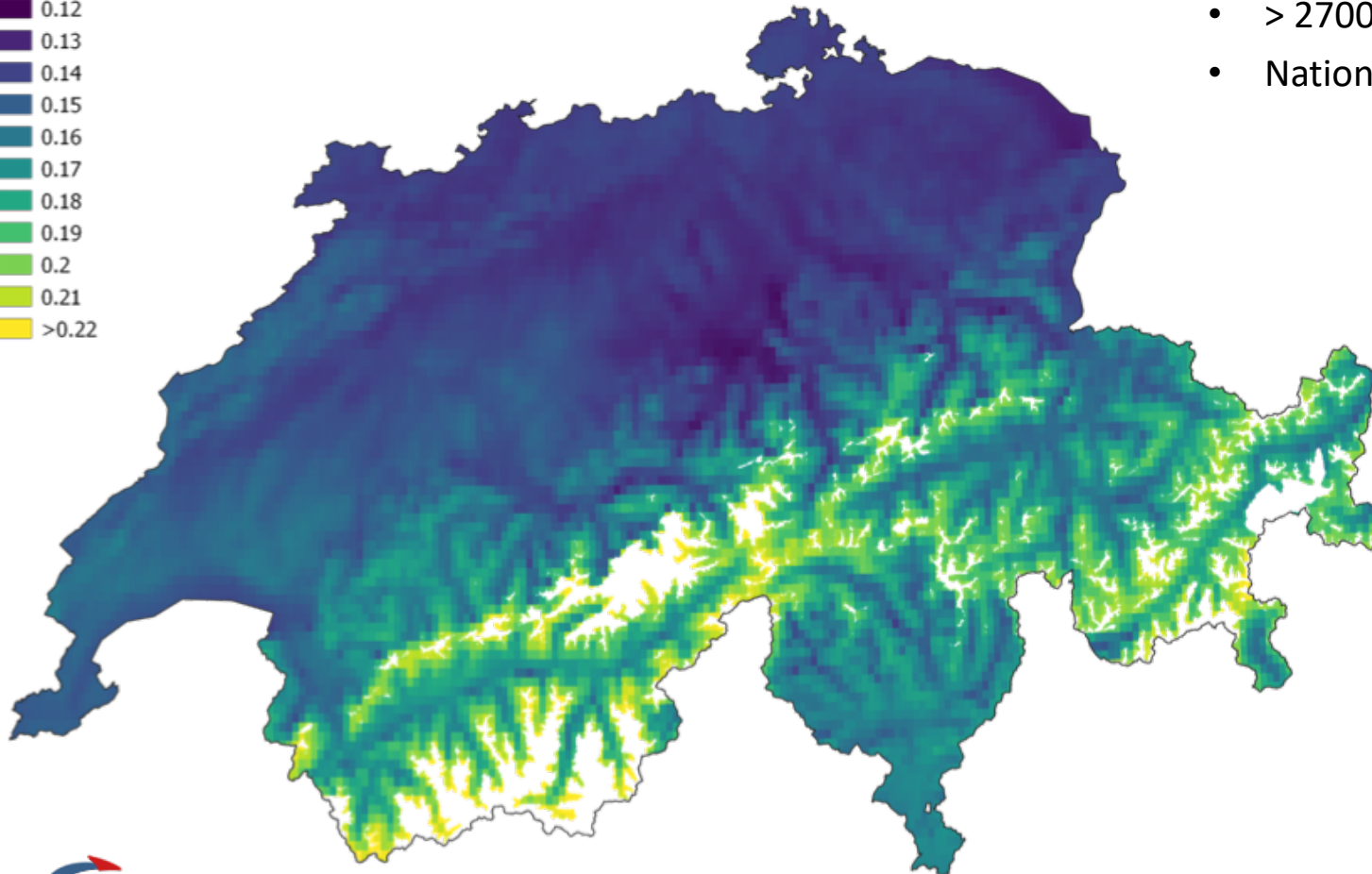
Ausschlusskriterien:

- > 2700m ü.d.M.



GIS Standortwahl PV

Capacity factor [0-1]

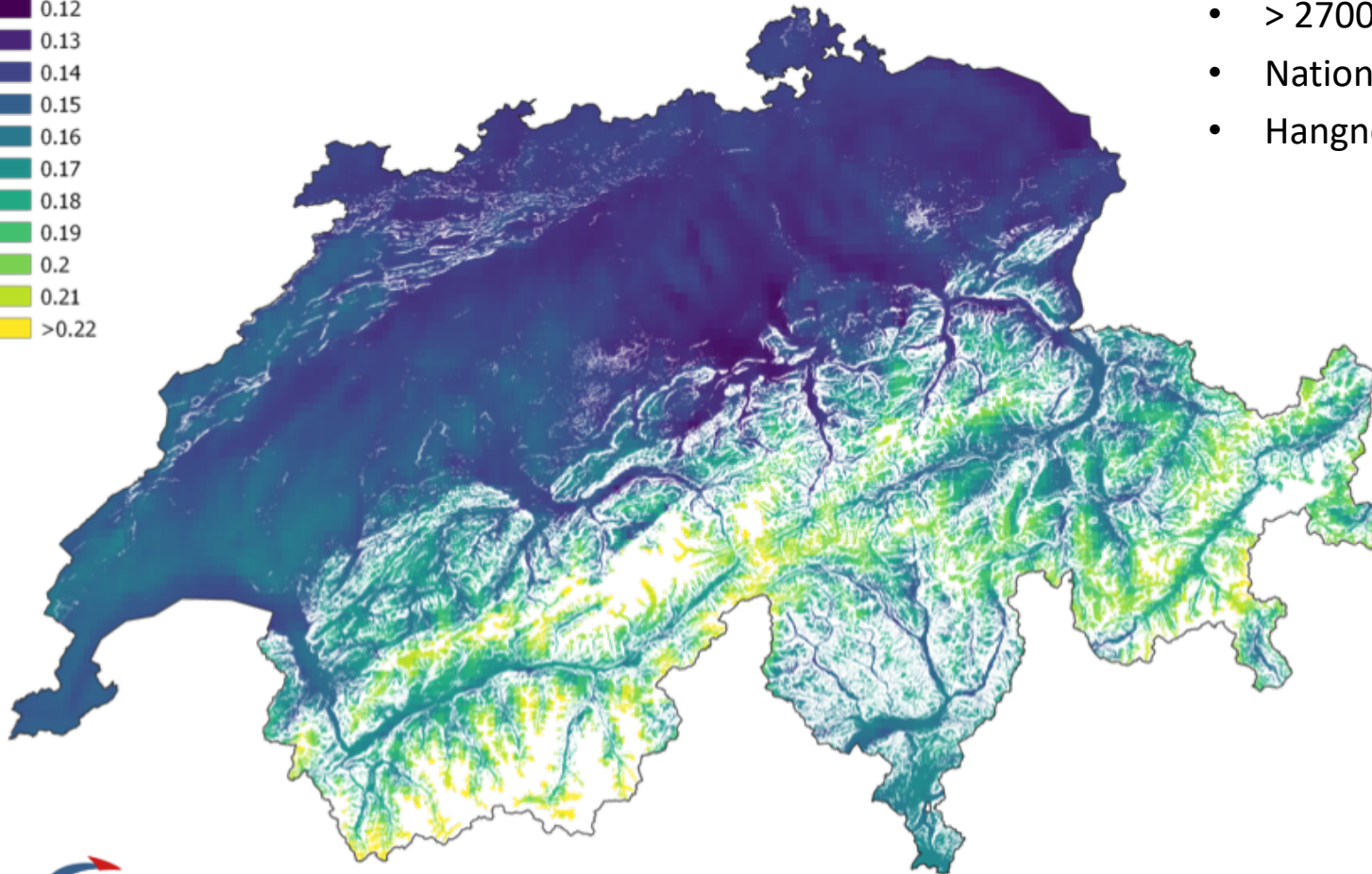


Ausschlusskriterien:

- > 2700m ü.d.M.
- Nationalpark

GIS Standortwahl PV

Capacity factor [0-1]

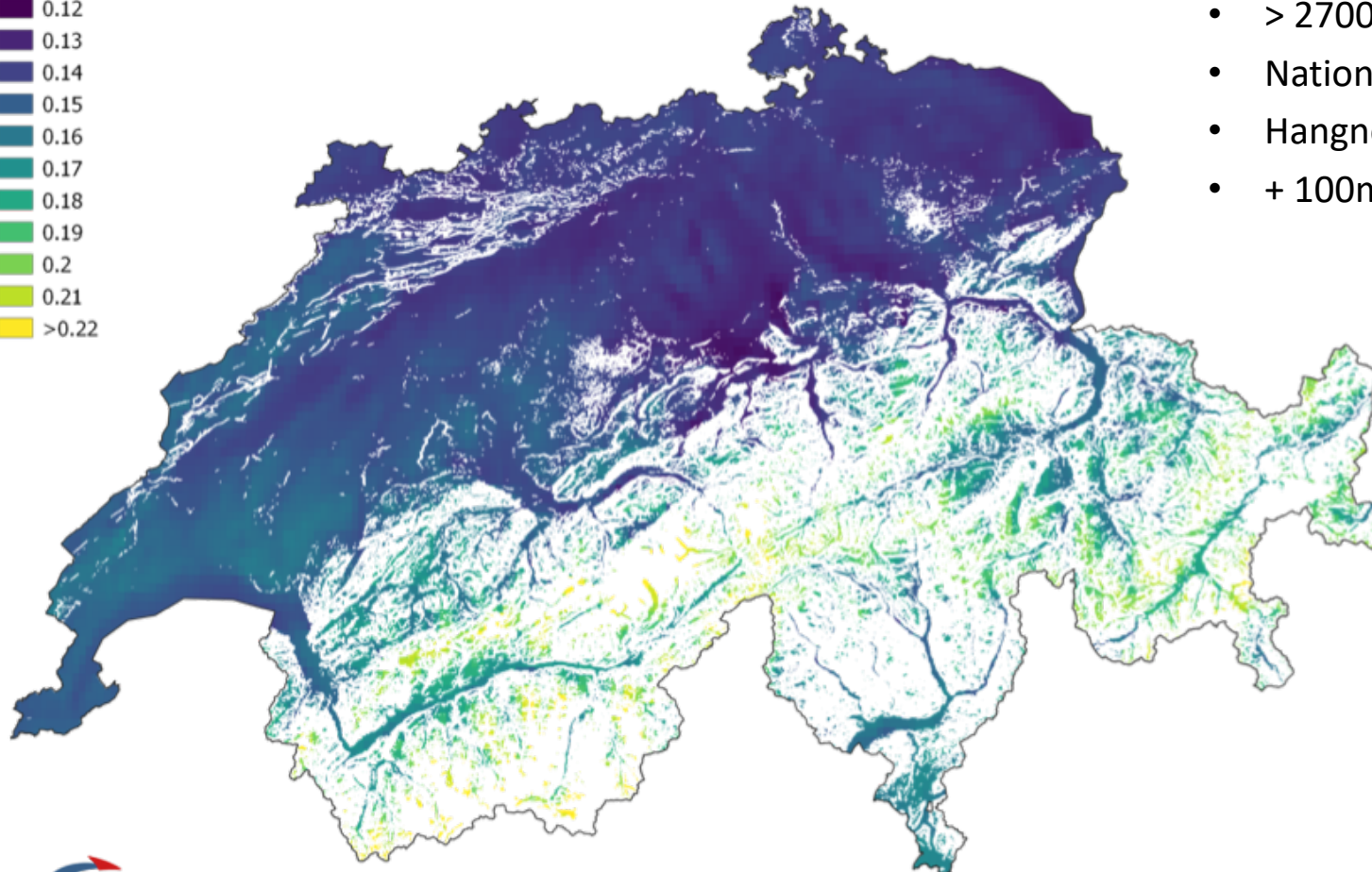


Ausschlusskriterien:

- > 2700m ü.d.M.
- Nationalpark
- Hangneigung > 30°

GIS Standortwahl PV

Capacity factor [0-1]

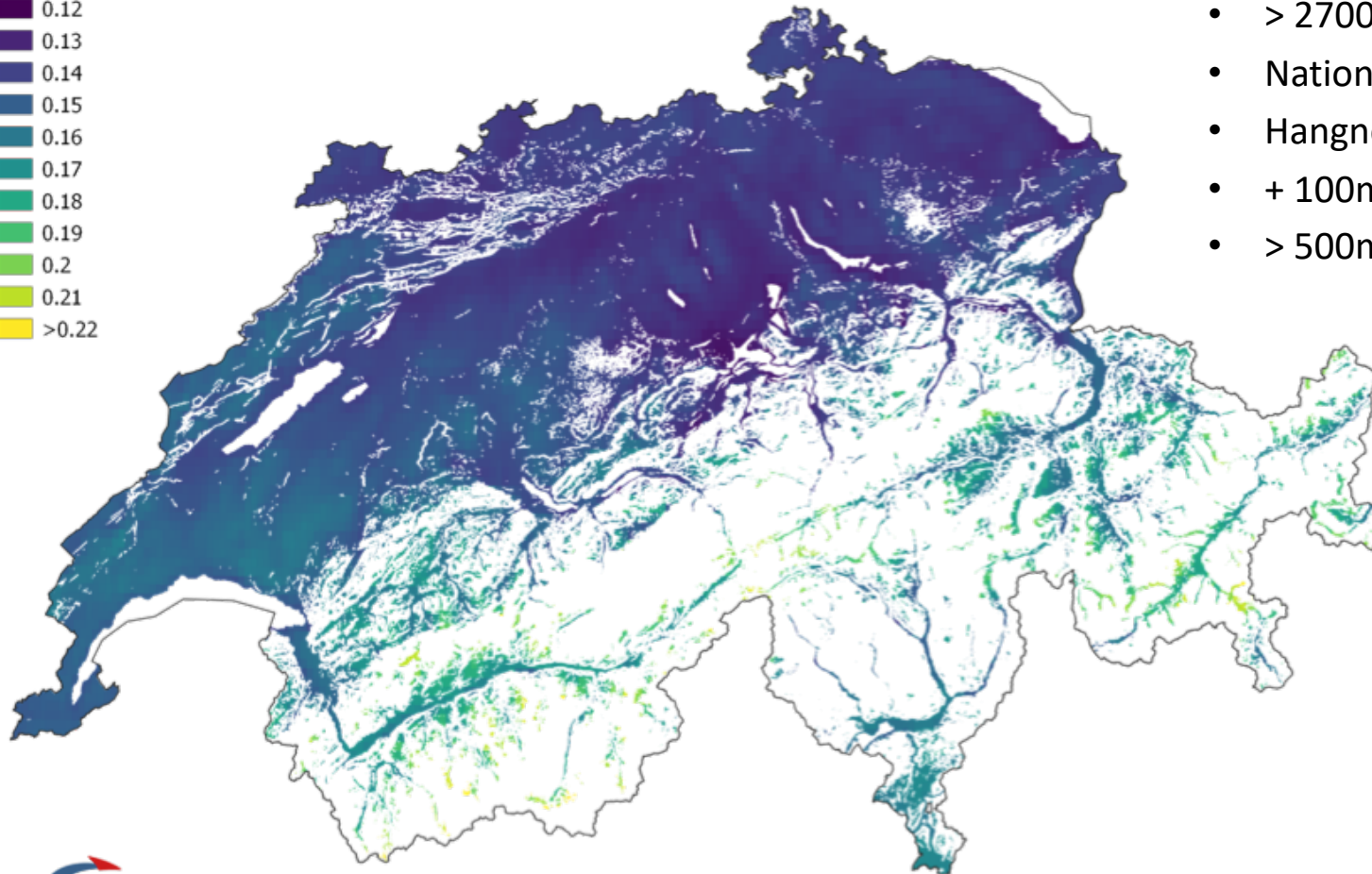


Ausschlusskriterien:

- > 2700m ü.d.M.
- Nationalpark
- Hangneigung > 30°
- + 100m Buffer

GIS Standortwahl PV

Capacity factor [0-1]

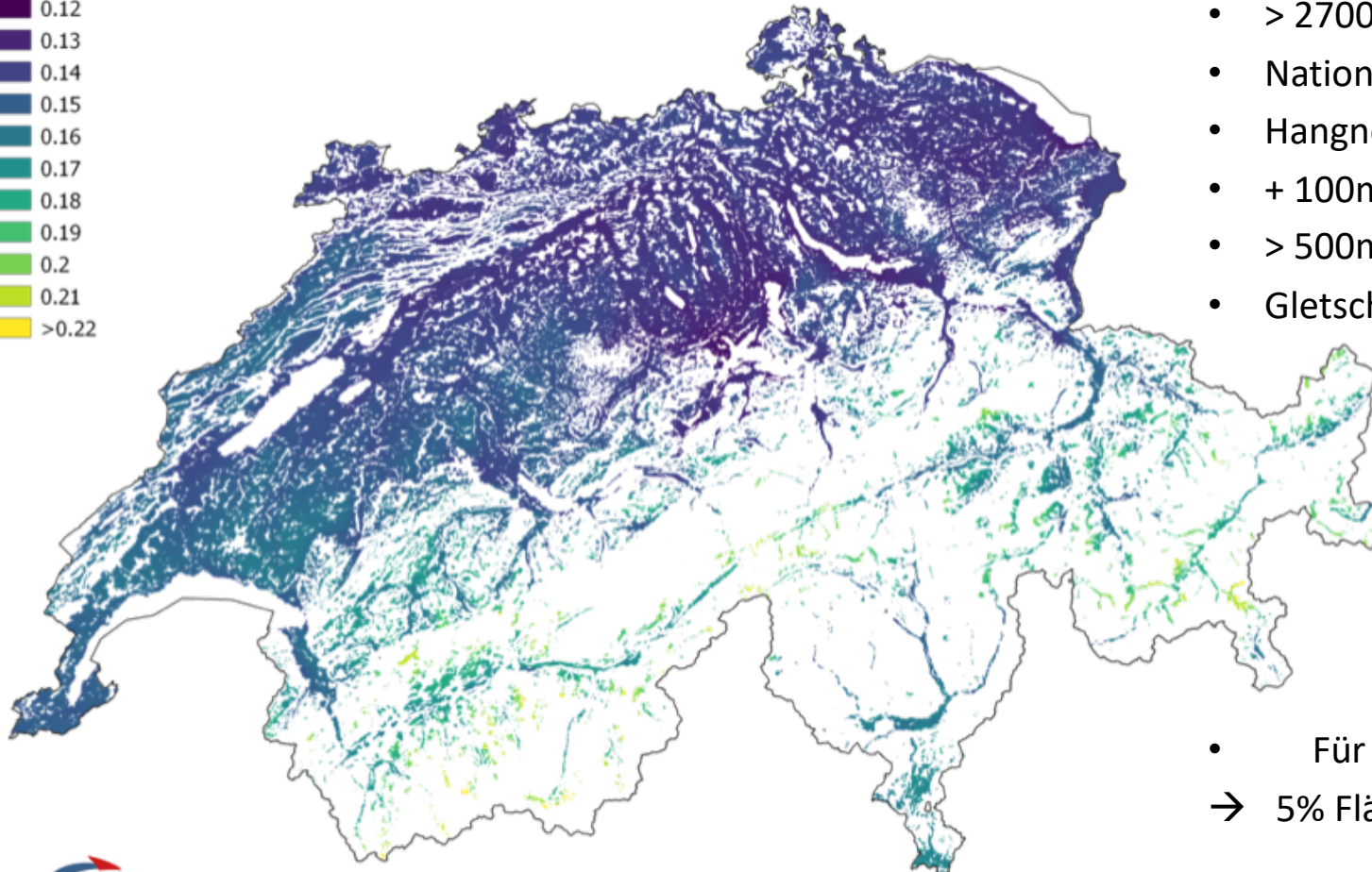


Ausschlusskriterien:

- > 2700m ü.d.M.
- Nationalpark
- Hangneigung > 30°
- + 100m Buffer
- > 500m zu Strassen

GIS Standortwahl PV

Capacity factor [0-1]



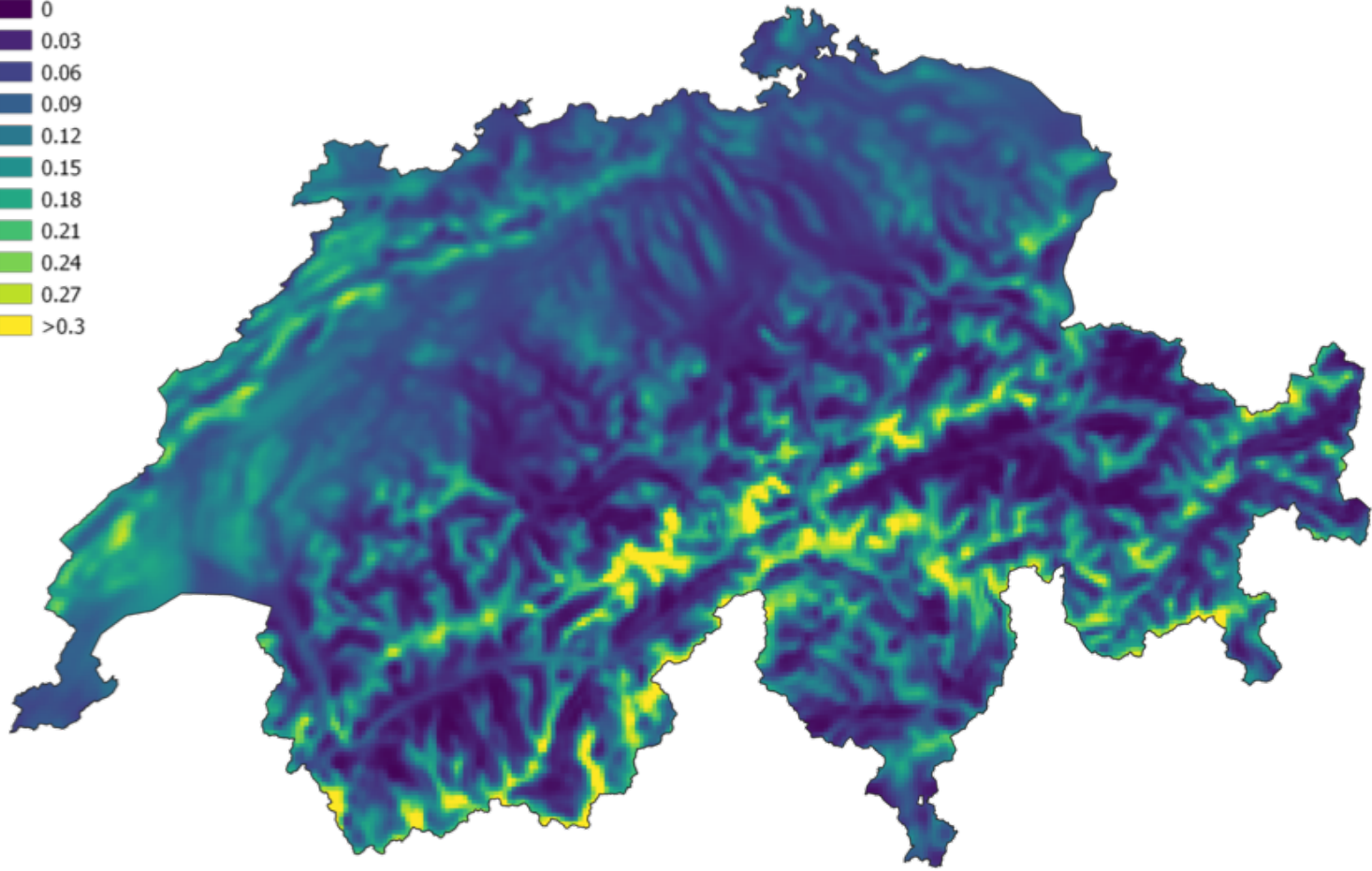
Ausschlusskriterien:

- > 2700m ü.d.M.
- Nationalpark
- Hangneigung > 30°
- + 100m Buffer
- > 500m zu Strassen
- Gletscher, perm. Schnee, Wald, Moor, Wasserflächen, Obstplantagen

- Für erlaubte Flächen:
→ 5% Flächenbedeckung

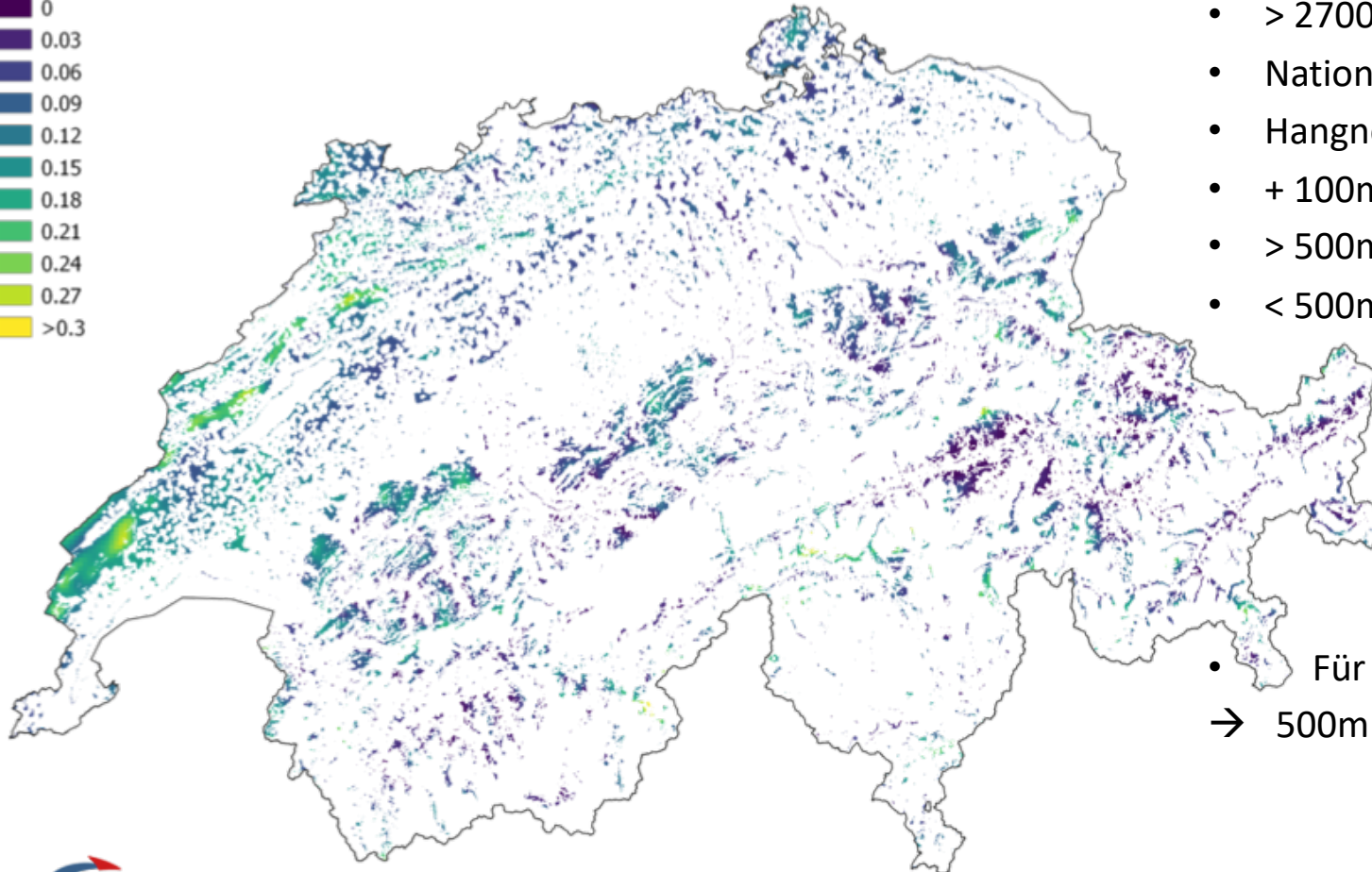
GIS Standortwahl Wind

Capacity factor [0-1]



GIS Standortwahl Wind

Capacity factor [0-1]



Ausschlusskriterien:

- > 2700m ü.d.M.
- Nationalpark
- Hangneigung > 30°
- + 100m Buffer
- > 500m zu Strassen
- < 500m Wohnhäusern

Gletscher,
perm. Schnee

- Für erlaubte Flächen:
→ 500m Turbinenabstand

Optimierung

Was wollen wir **optimieren**?

Produktion? Schon, aber genauer:

Maximale Produktion, unter minimalen Kosten und gleichzeitige maximaler Energieautonomie

Ansatz: Minimaler Import bei fixierter Nennleistung

Was können wir **variieren**?

Standortauswahl, Mischungsverhältnis PV-Wind, Installationsgeometrie der Solaranlagen

Ansatz: PV Installationsgeometrie optimiert für maximale Winterproduktion, Variation von Standort und Mischungsverhältnis

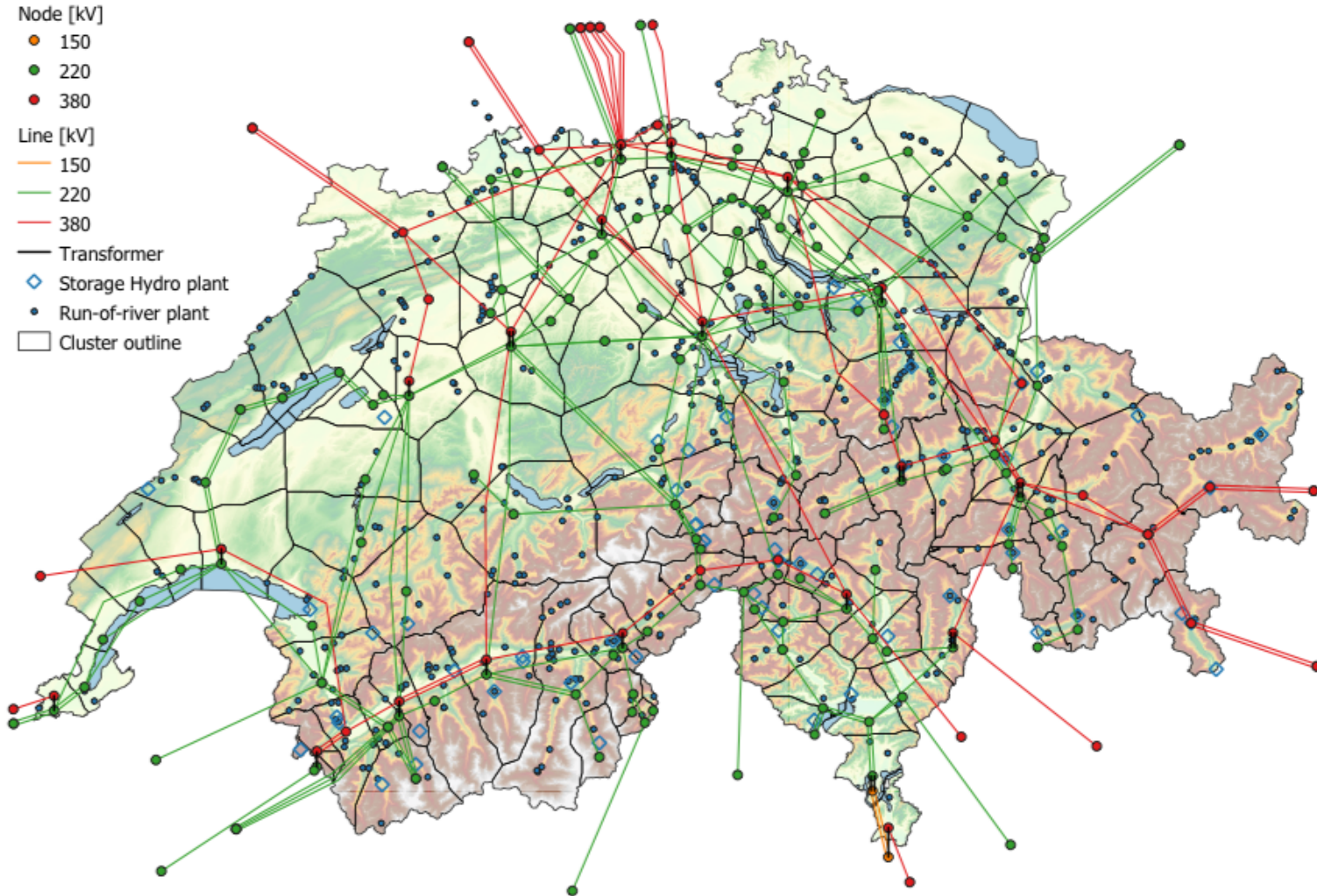
Welche **Randbedingungen** müssen wir berücksichtigen?

Nachfrage muss gedeckt sein → Import falls Binnenproduktion knapp

Kompatibilität mit dem Stromnetz

Ansatz: Räumlich explizites Model mit optimal Power Flow (OPF)

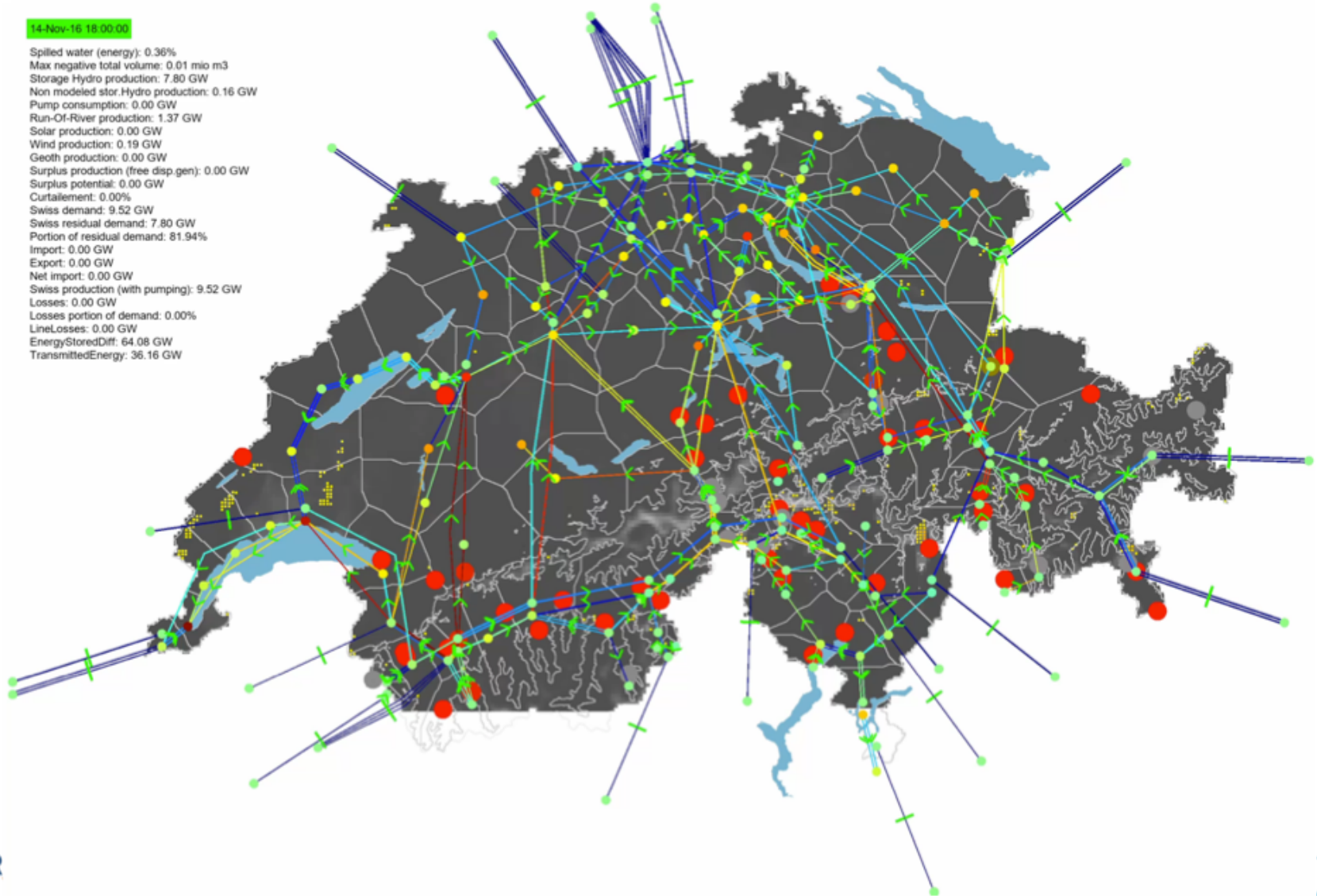
Wasserkraft und Stromnetz



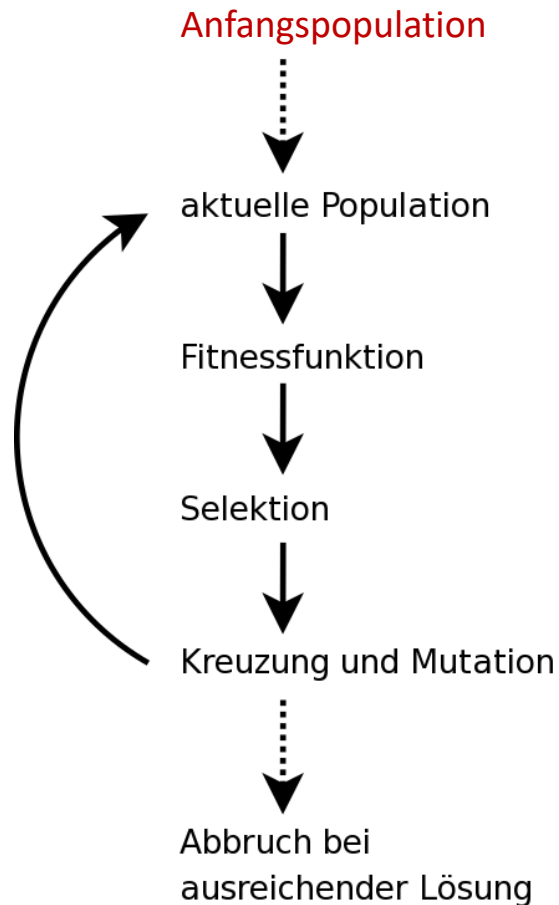
Optimal Power Flow

14-Nov-16 18:00:00

Spilled water (energy): 0.36%
 Max negative total volume: 0.01 mio m3
 Storage Hydro production: 7.80 GW
 Non modeled stor. Hydro production: 0.16 GW
 Pump consumption: 0.00 GW
 Run-Of-River production: 1.37 GW
 Solar production: 0.00 GW
 Wind production: 0.19 GW
 Geoth production: 0.00 GW
 Surplus production (free disp gen): 0.00 GW
 Surplus potential: 0.00 GW
 Curtailment: 0.00%
 Swiss demand: 9.52 GW
 Swiss residual demand: 7.80 GW
 Portion of residual demand: 81.94%
 Import: 0.00 GW
 Export: 0.00 GW
 Net import: 0.00 GW
 Swiss production (with pumping): 9.52 GW
 Losses: 0.00 GW
 Losses portion of demand: 0.00%
 LineLosses: 0.00 GW
 EnergyStoredDiff: 64.08 GW
 TransmittedEnergy: 36.16 GW



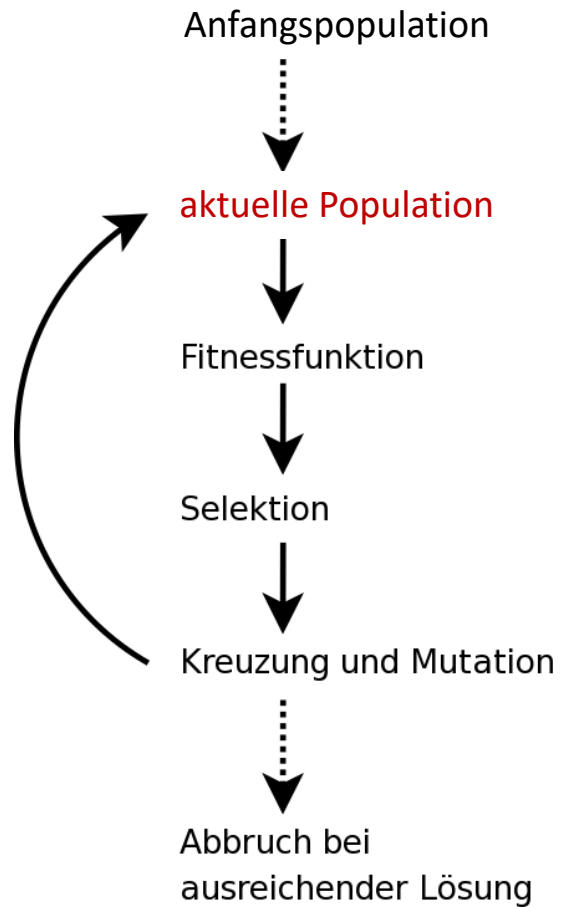
Ablauf Optimierung



Iniziert: Homogene Verteilung von PV und Wind bezüglich der maximal erlaubten Kapazität pro Cluster (Grenzkapazität).

→ 12 Individuen durch Perturbation jedes Clusters um Wert $\in [-25\%, +25\%]$ der Grenzkapazität

Ablauf Optimierung



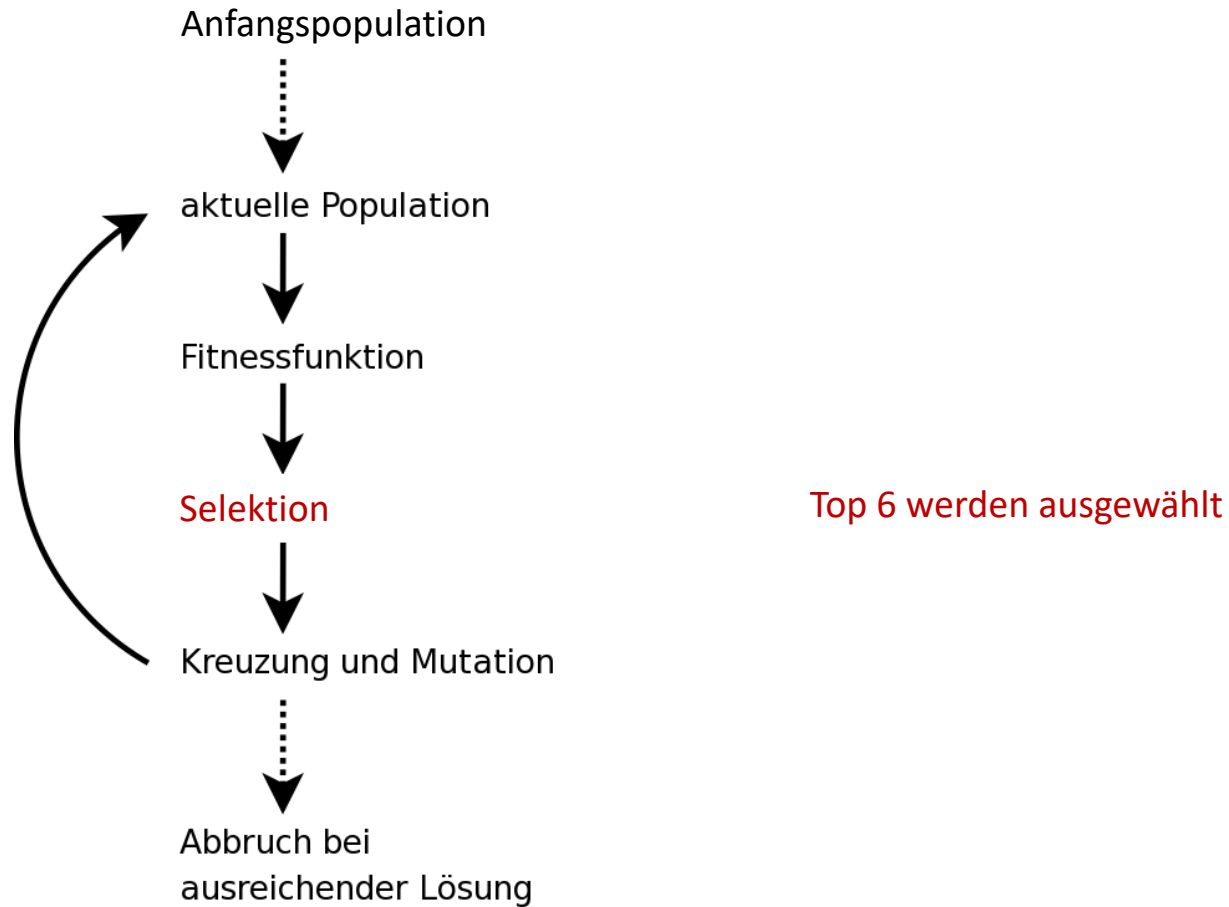
immer 12 Individuen mit gleicher installierter Nennleistung
→ Produktion variabel

Ablauf Optimierung

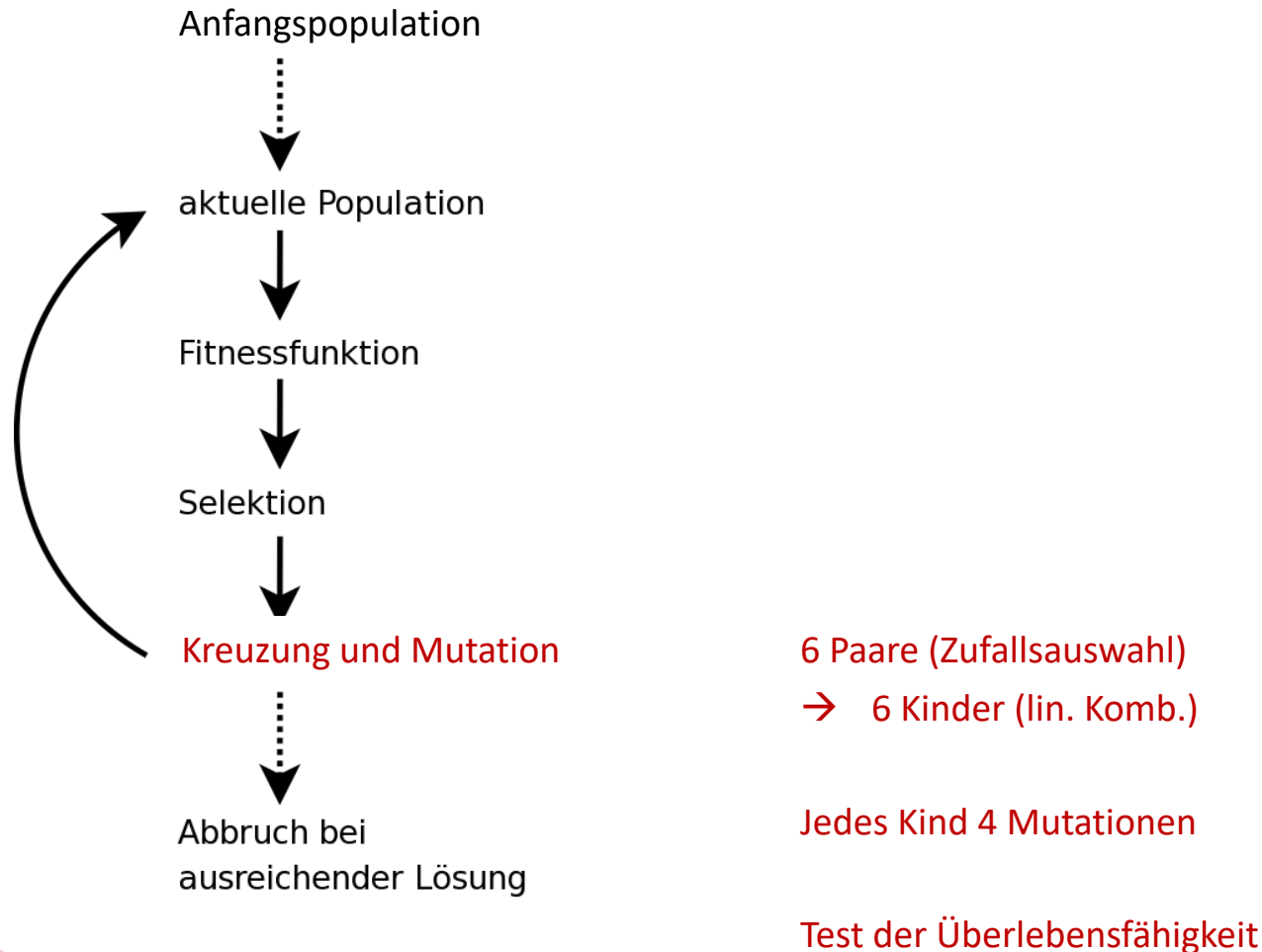


Qualitätsbewertung der 12 Lösungen:
Energieautonomie
≡ Reduktion des jährlich benötigten Imports

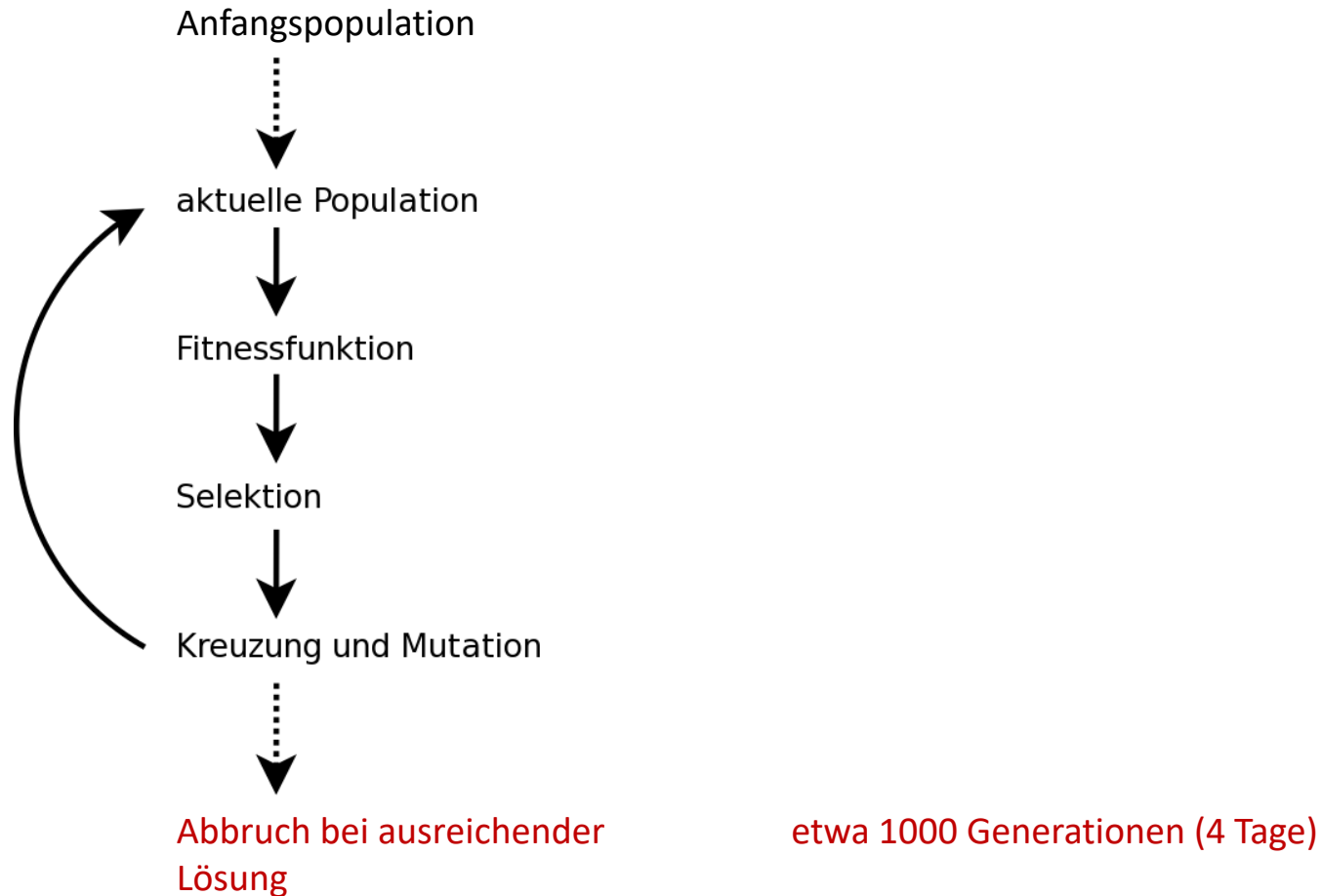
Ablauf Optimierung



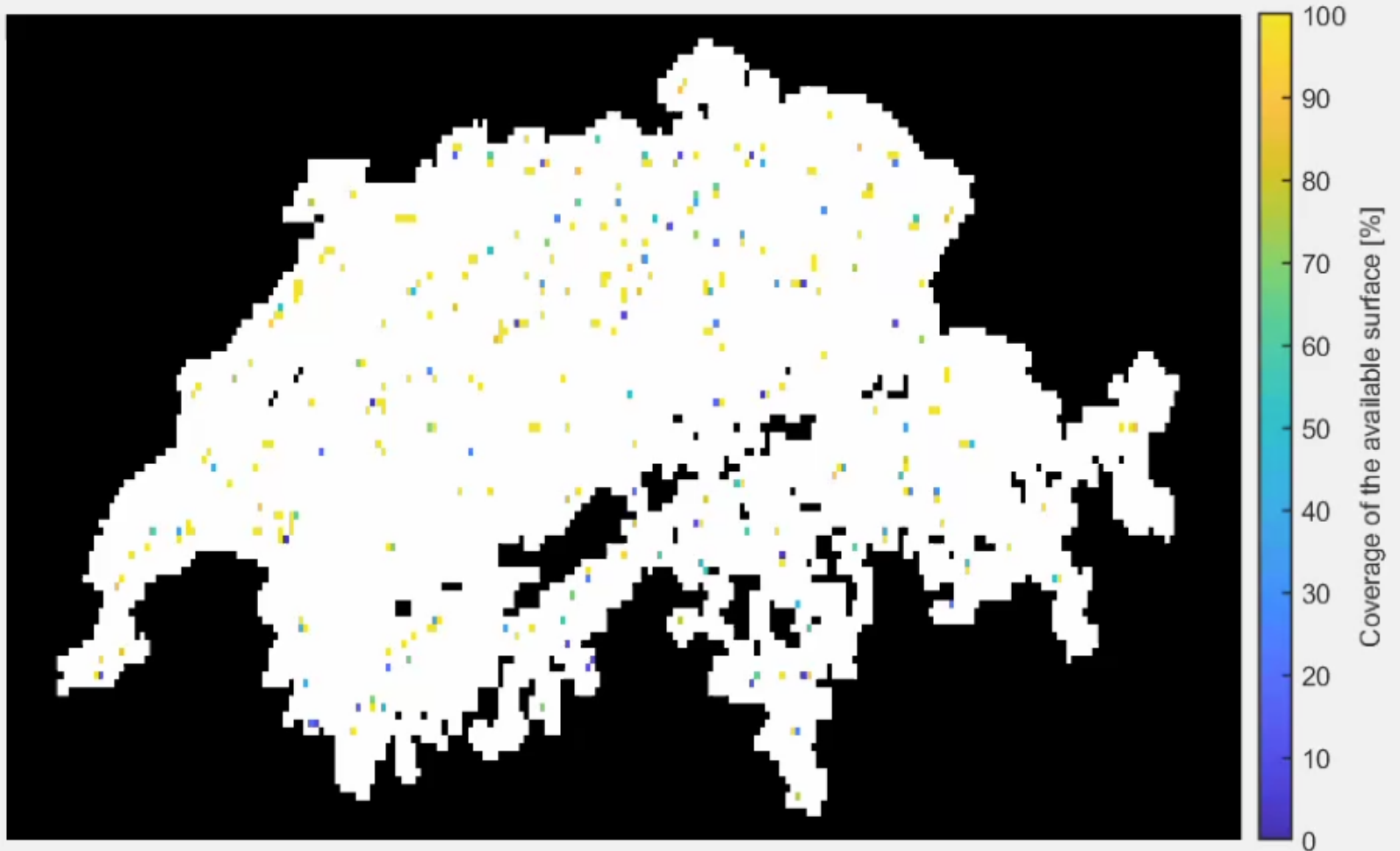
Ablauf Optimierung



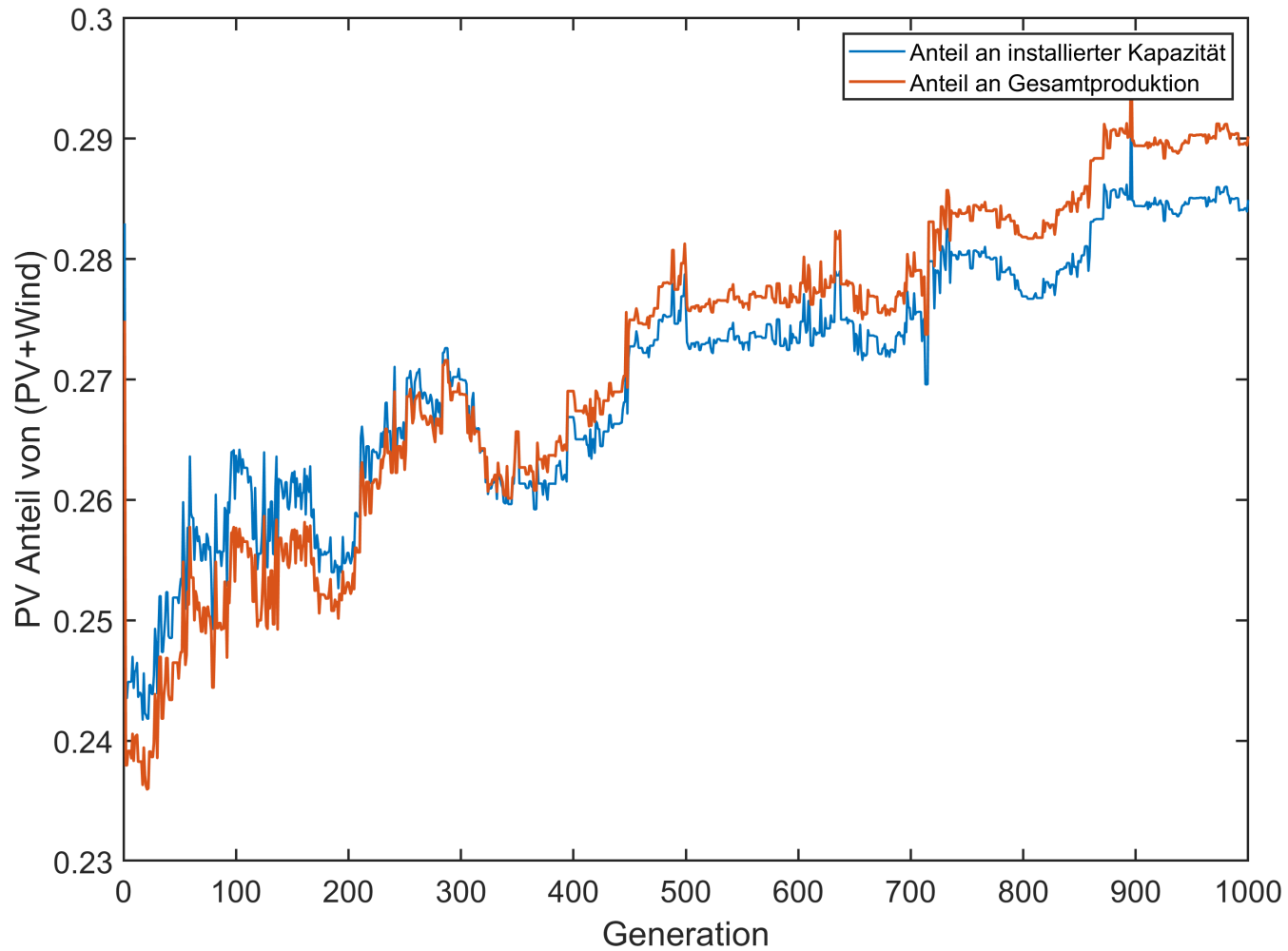
Ablauf Optimierung



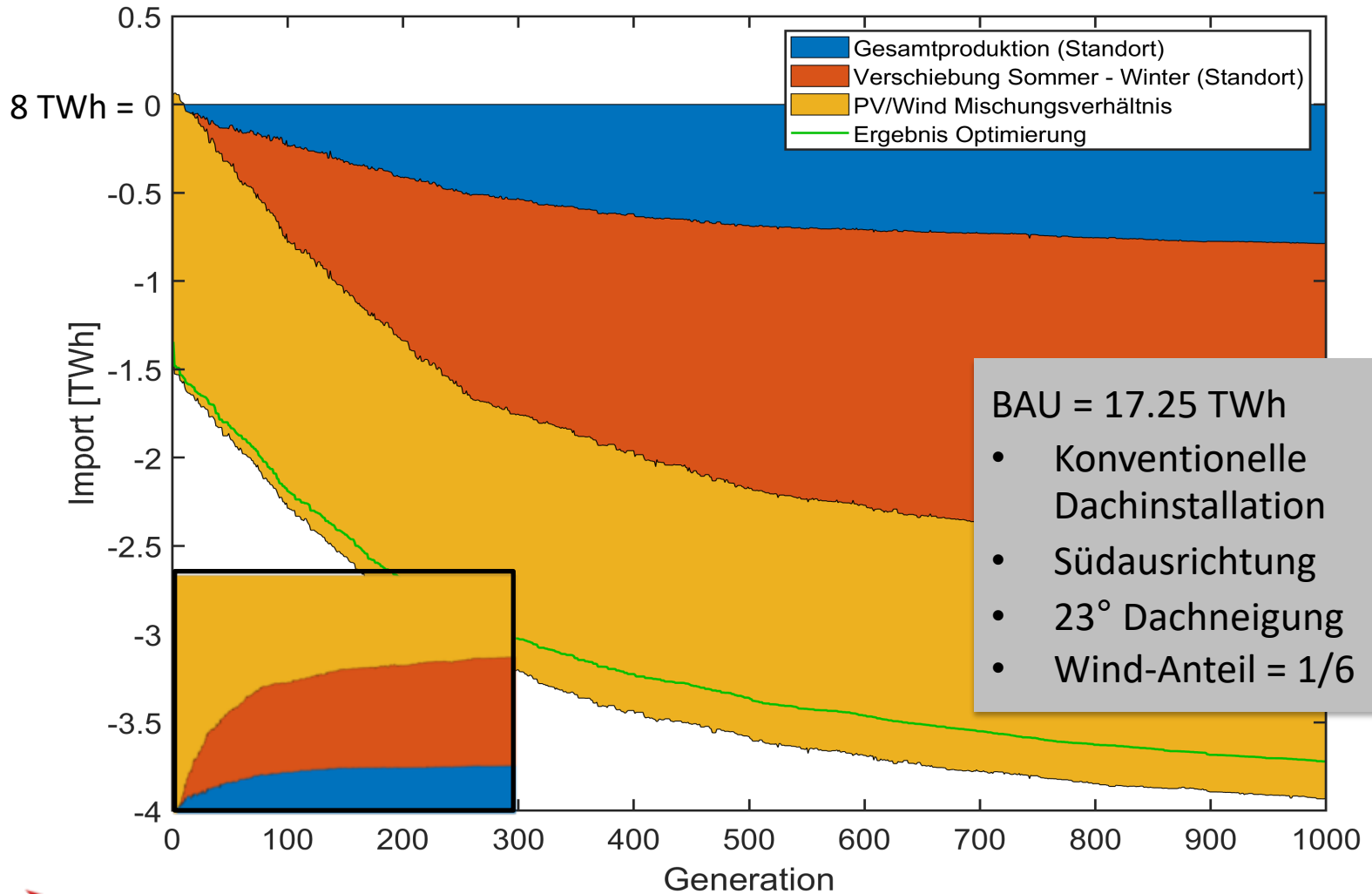
Standortwahl – PV



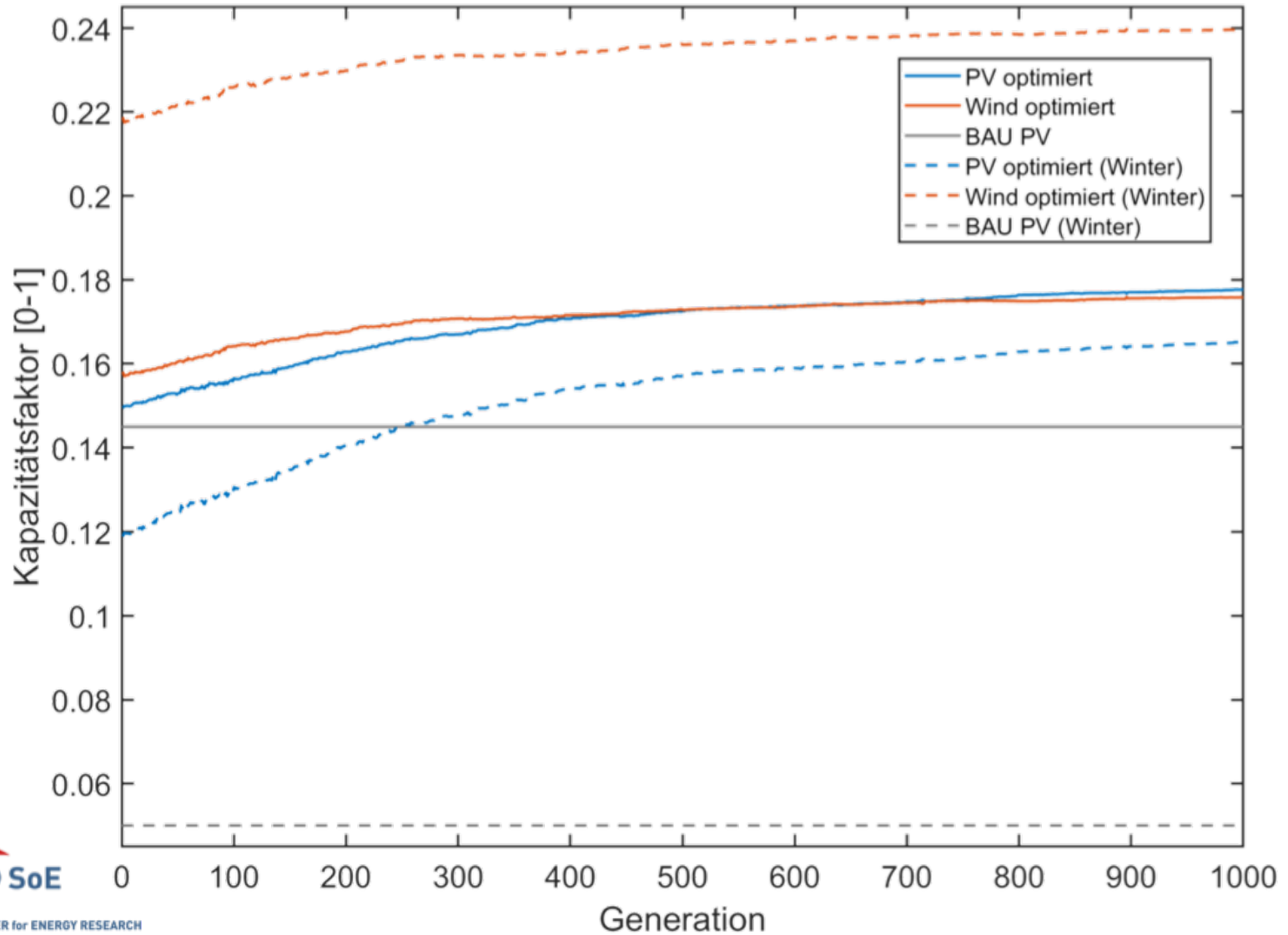
Mischungsverhältnis PV-Wind



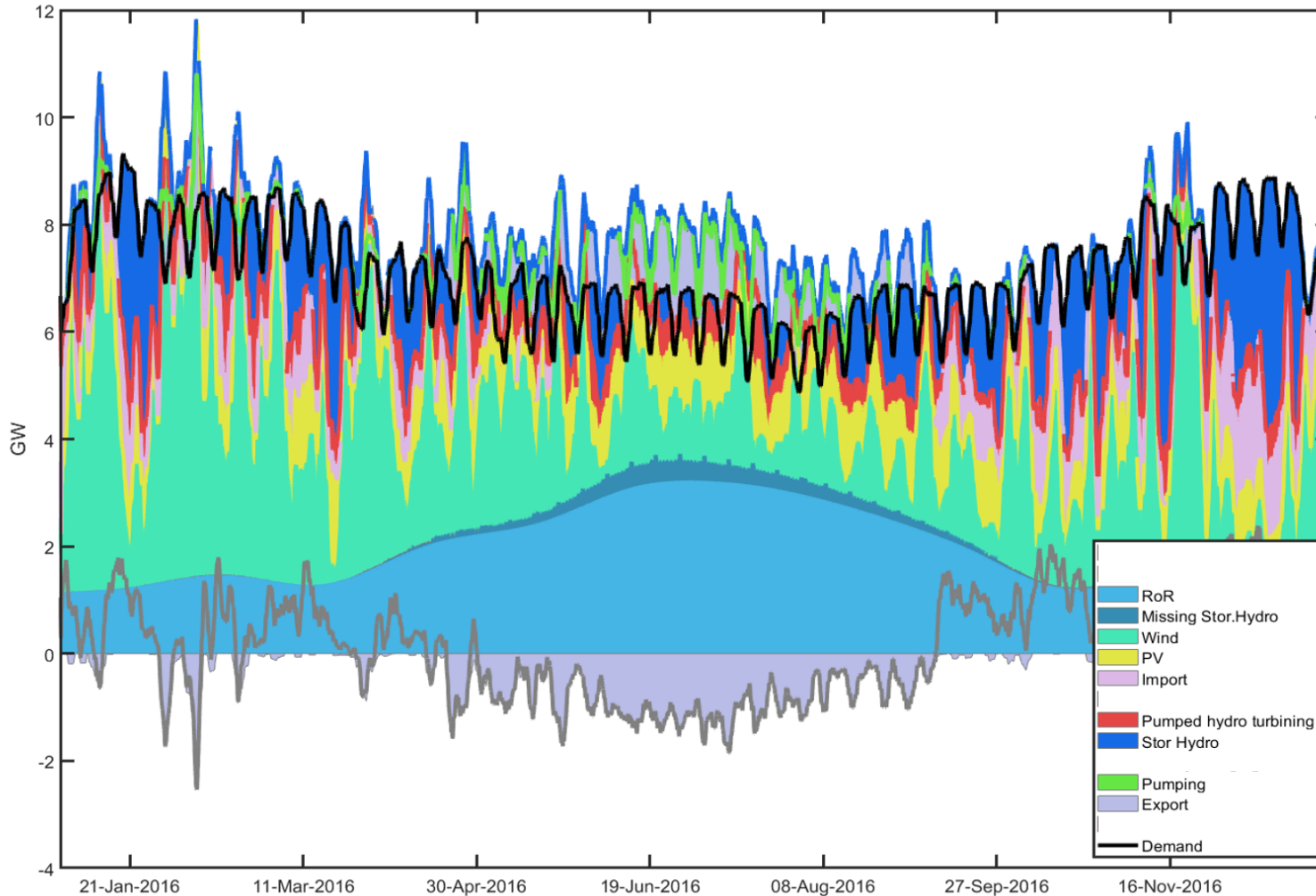
Importreduktion



Kapazitätsfaktoren



Jahresgesamtansicht



Spilled water (energy): 0.63%

Max negative total volume: 0.79 mio m3

Storage Hydro production: 17735.44 GWh

Non modeled stor.Hydro production: 1120.14 GWh

Pump consumption: 2308.87 GWh

Run-Of-River production: 16567.24 GWh

Solar production: 8098.17 GWh

Wind production: 19808.97 GWh

Geoth production: 0.00 GWh

Surplus production (free disp.gen): 0.00 GWh

Surplus potential: 0.00 GWh

Curtailement: 0.00%

Swiss demand: 64567.15 GWh

Swiss residual demand: 16663.76 GWh

Portion of residual demand: 25.81%

Import: 5385.87 GWh

Export: 4148.69 GWh

Net import: 1237.18 GWh

Swiss production (with pumping): 63329.96 GWh

Losses: 0.00 GWh

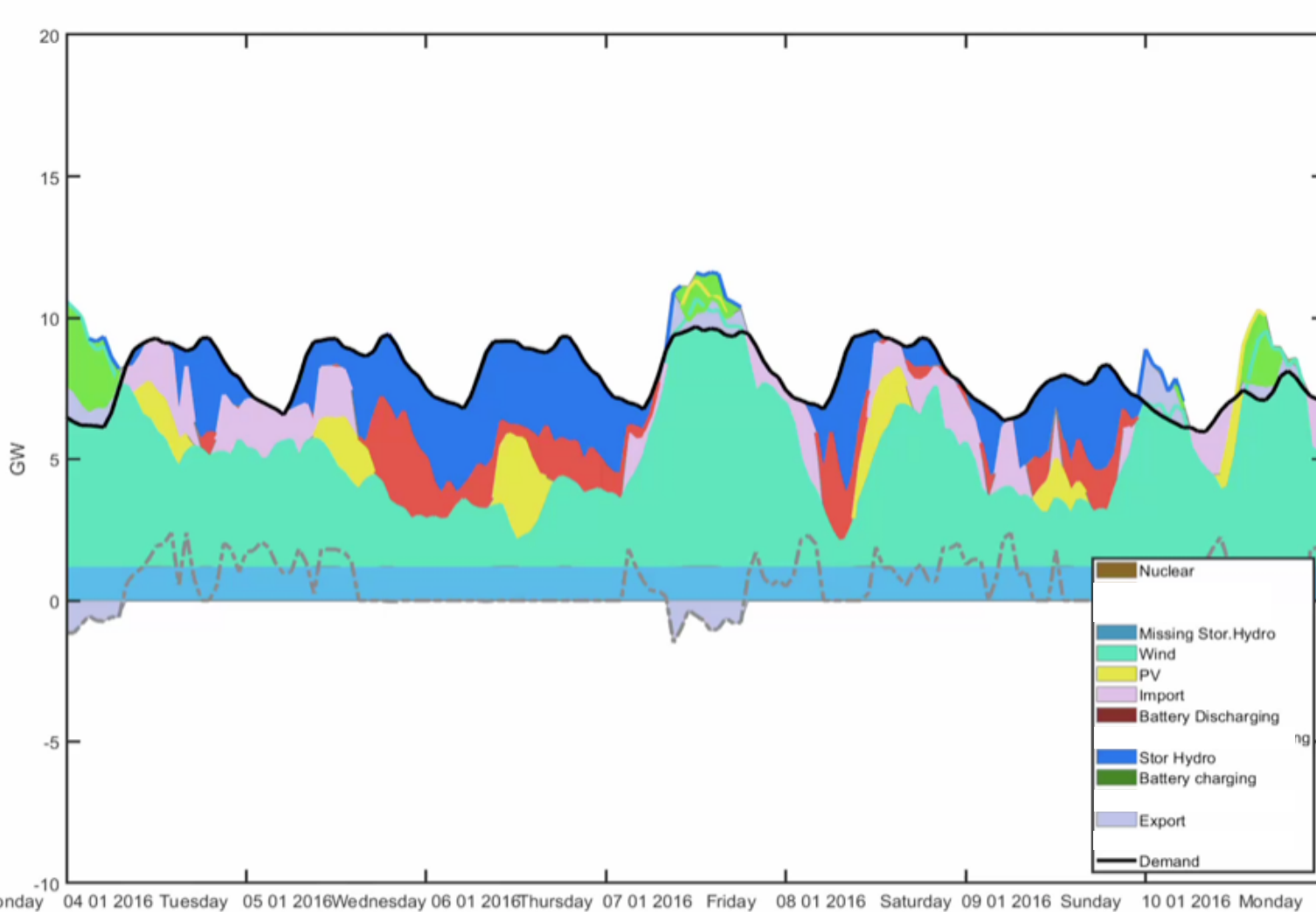
Losses portion of demand: 0.00%

LineLosses: 0.00 GWh

EnergyStoredDiff: 0.13 GWh

TransmittedEnergy: 234133.27 GWh

Wochenansicht



Spilled water (energy):
3.52%

Max negative total volume:
0.01 mio m3

Storage Hydro production:
318.31 GWh

Non modeled stor. Hydro production:
4.73 GWh

Pump consumption:
36.60 GWh

Run-Of-River production:
190.78 GWh

Solar production:
68.75 GWh

Wind production:
724.92 GWh

Geoth production:
0.00 GWh

Surplus production (free disp.gen):
0.00 GWh

Surplus potential:
0.00 GWh

Curtailement:
0.00%

Swiss demand:
1384.33 GWh

Swiss residual demand:
358.55 GWh

Portion of residual demand:
25.90%

Import:
135.46 GWh

Export:
58.63 GWh

Net import:
76.83 GWh

Swiss production (with pumping):
1307.50 GWh

Losses:
0.00 GWh

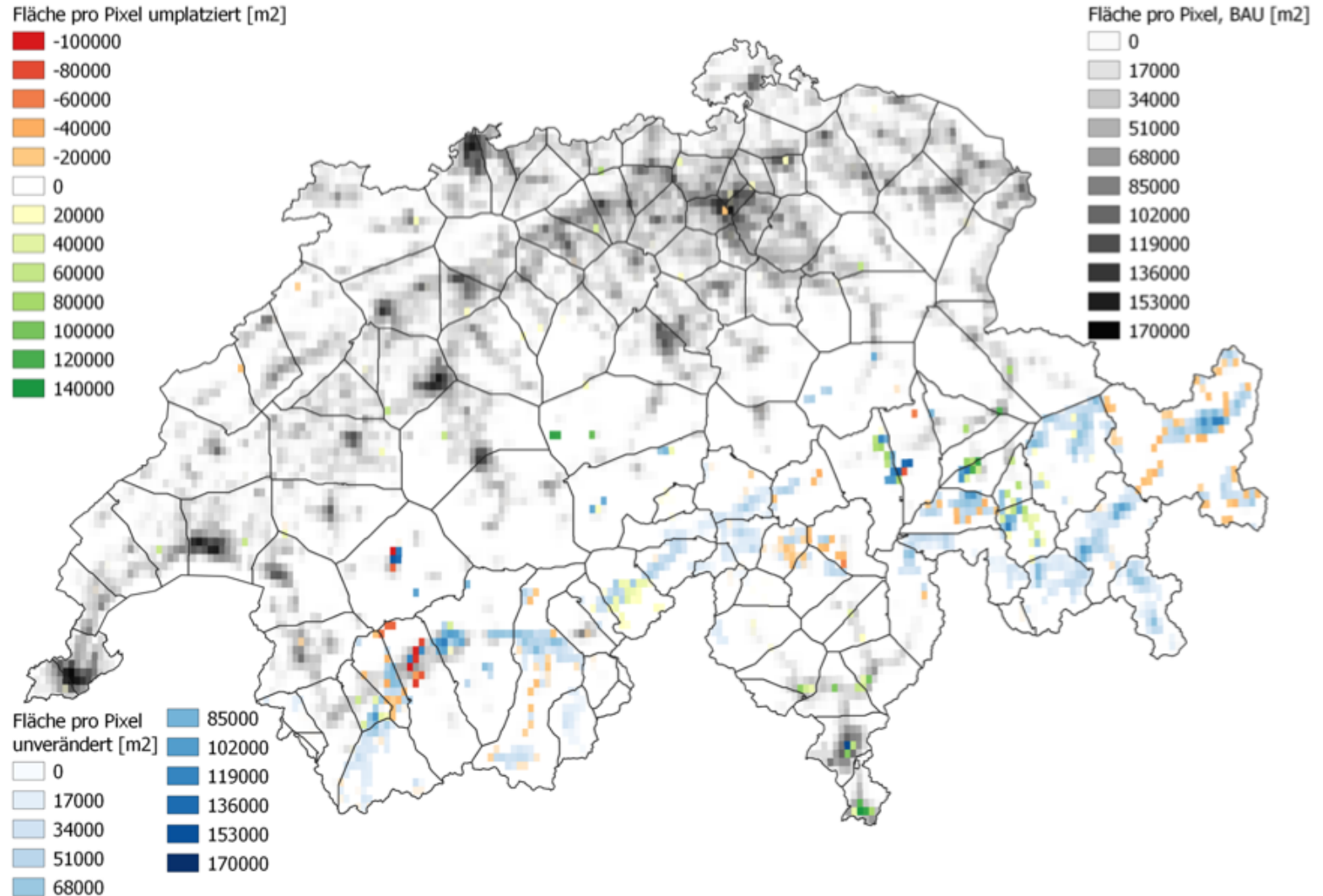
Losses portion of demand:
0.00%

LineLosses:
0.00 GWh

EnergyStoredDiff:
-6.99 GWh

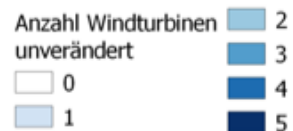
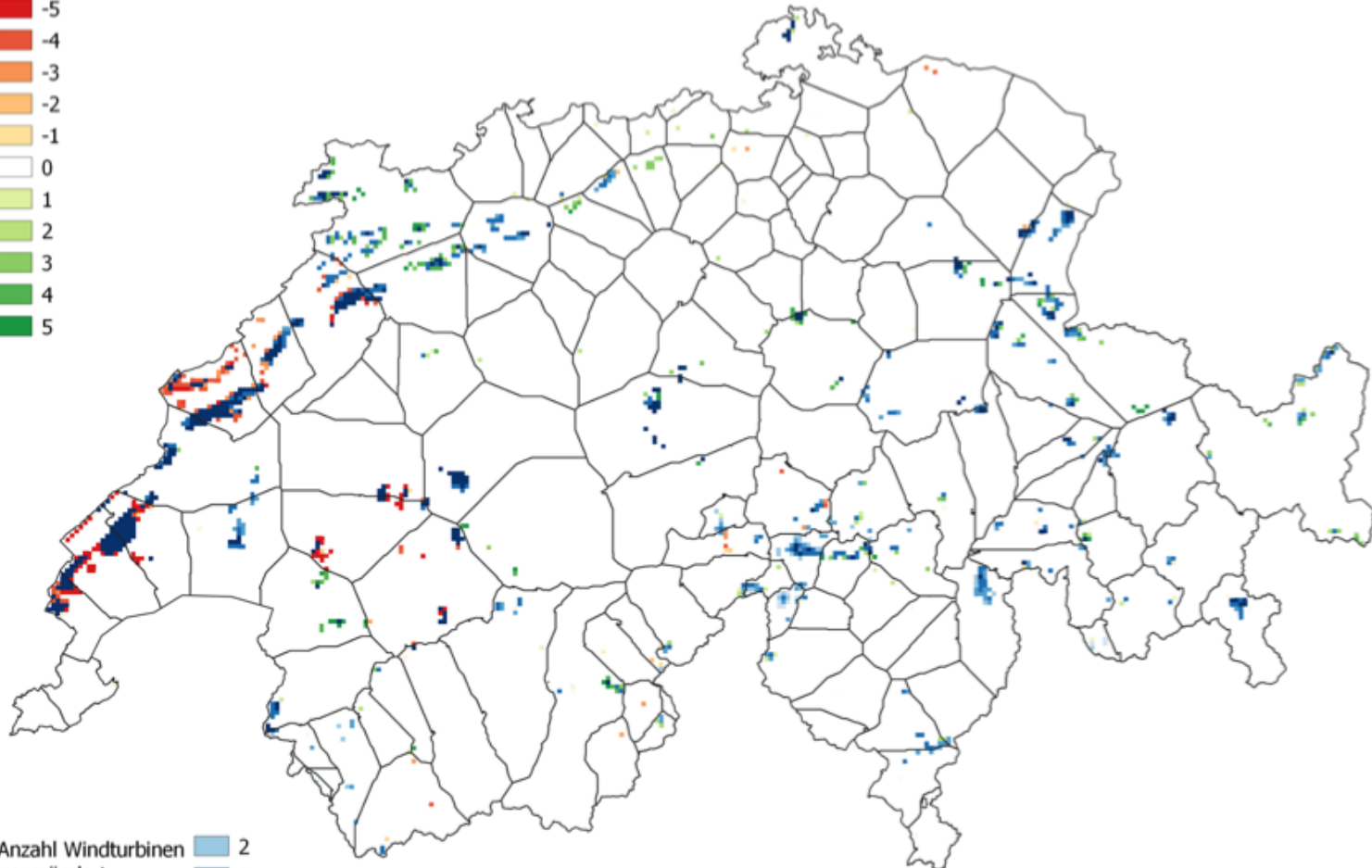
TransmittedEnergy:
4629.90 GWh

Kompatibilität mit dem Stromnetz - PV

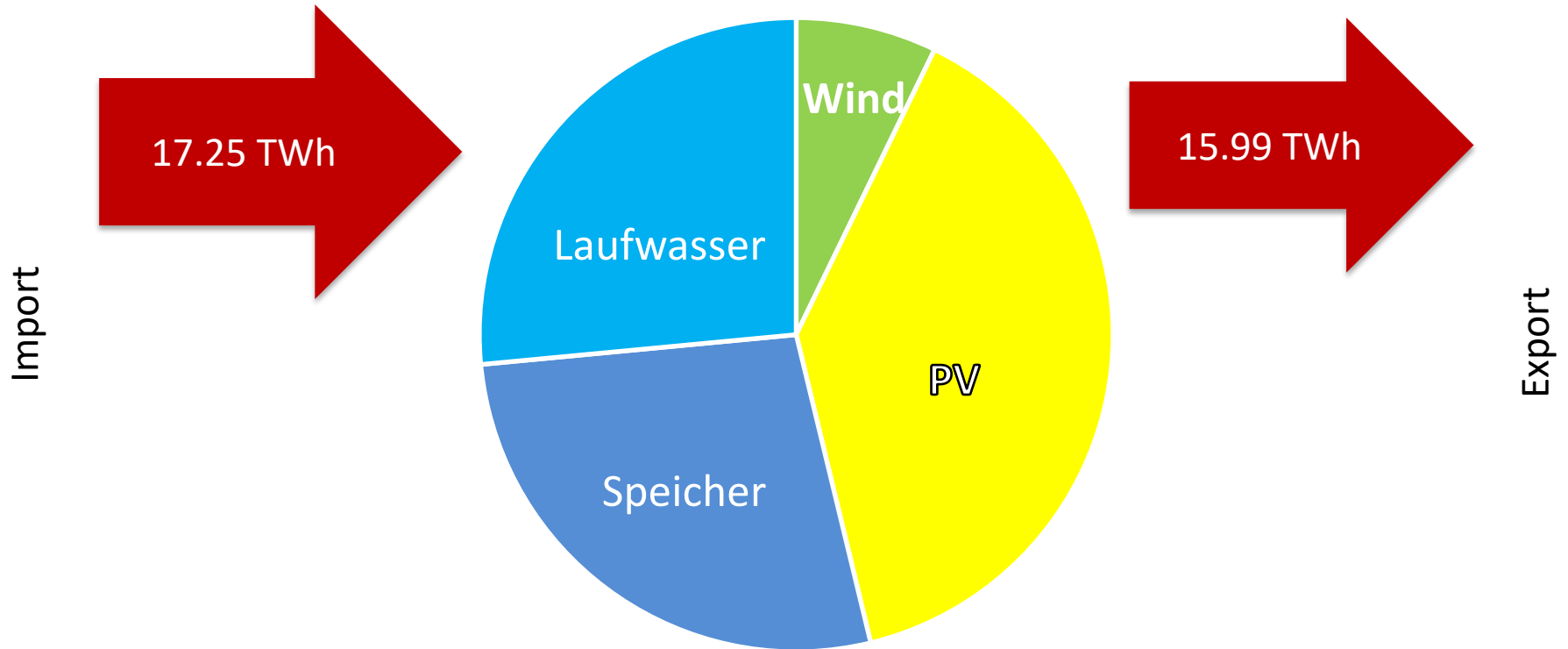


Kompatibilität mit dem Stromnetz - Wind

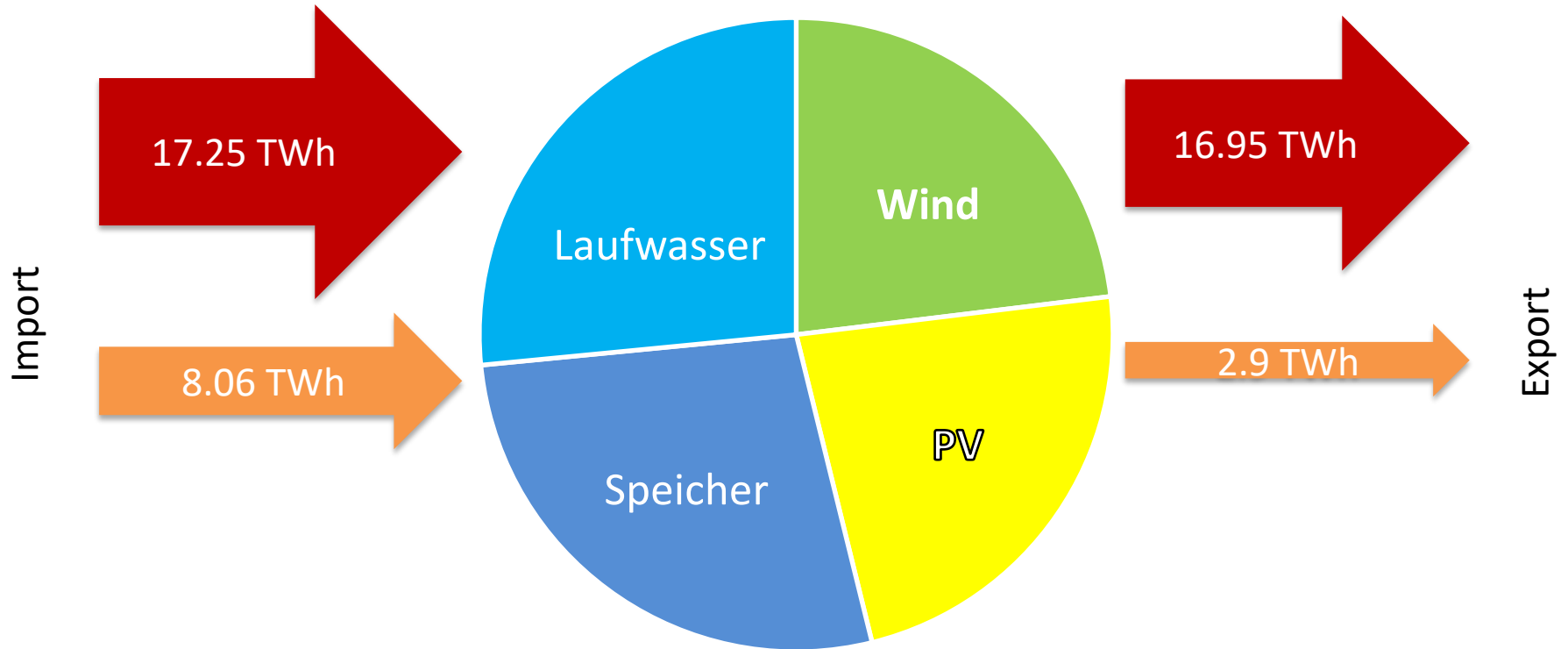
Anzahl Windturbinen umplatziert



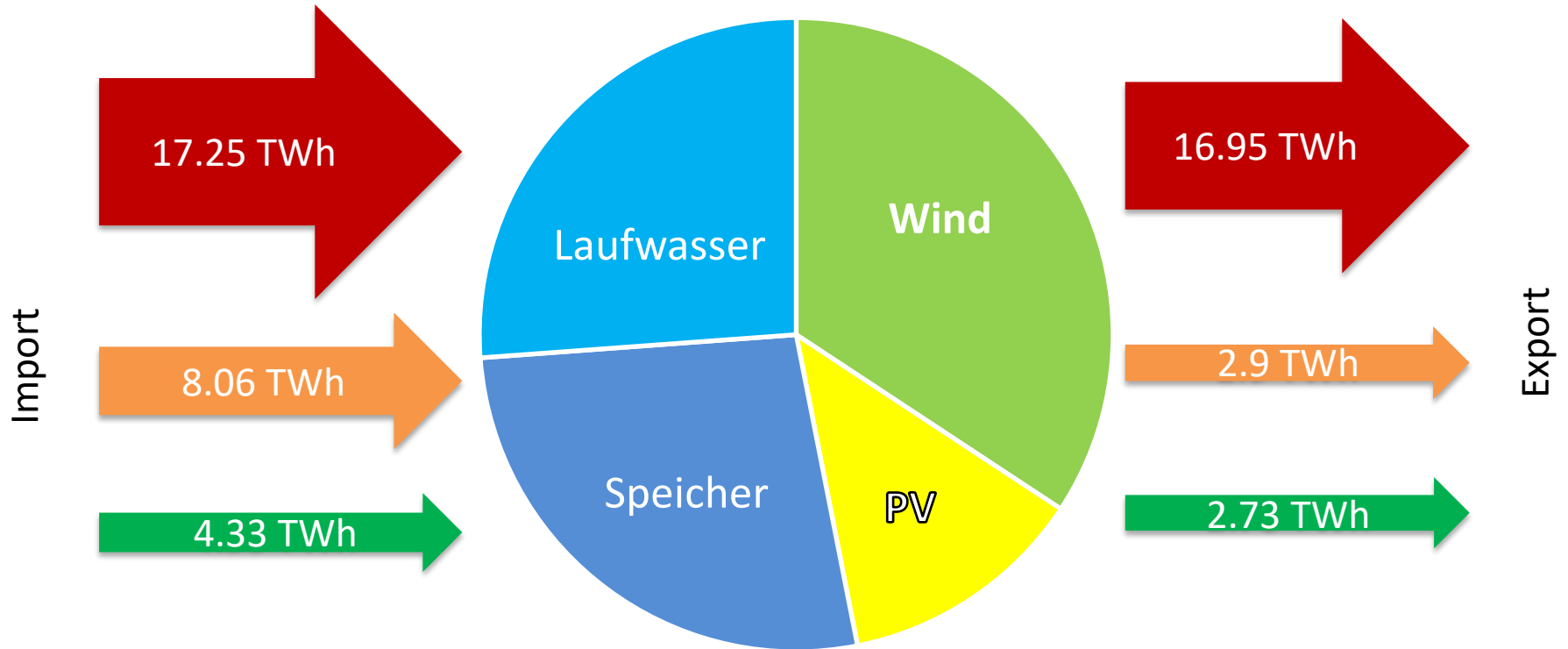
Zusammenfassung



Zusammenfassung



Zusammenfassung



Möglich mit gegebenem Stromnetz und strengen Standorteinschränkungen

Erstrebenswert für Autonomie: grosser Windanteil,
PV mit Winterproduktion und Netzkompatibilität