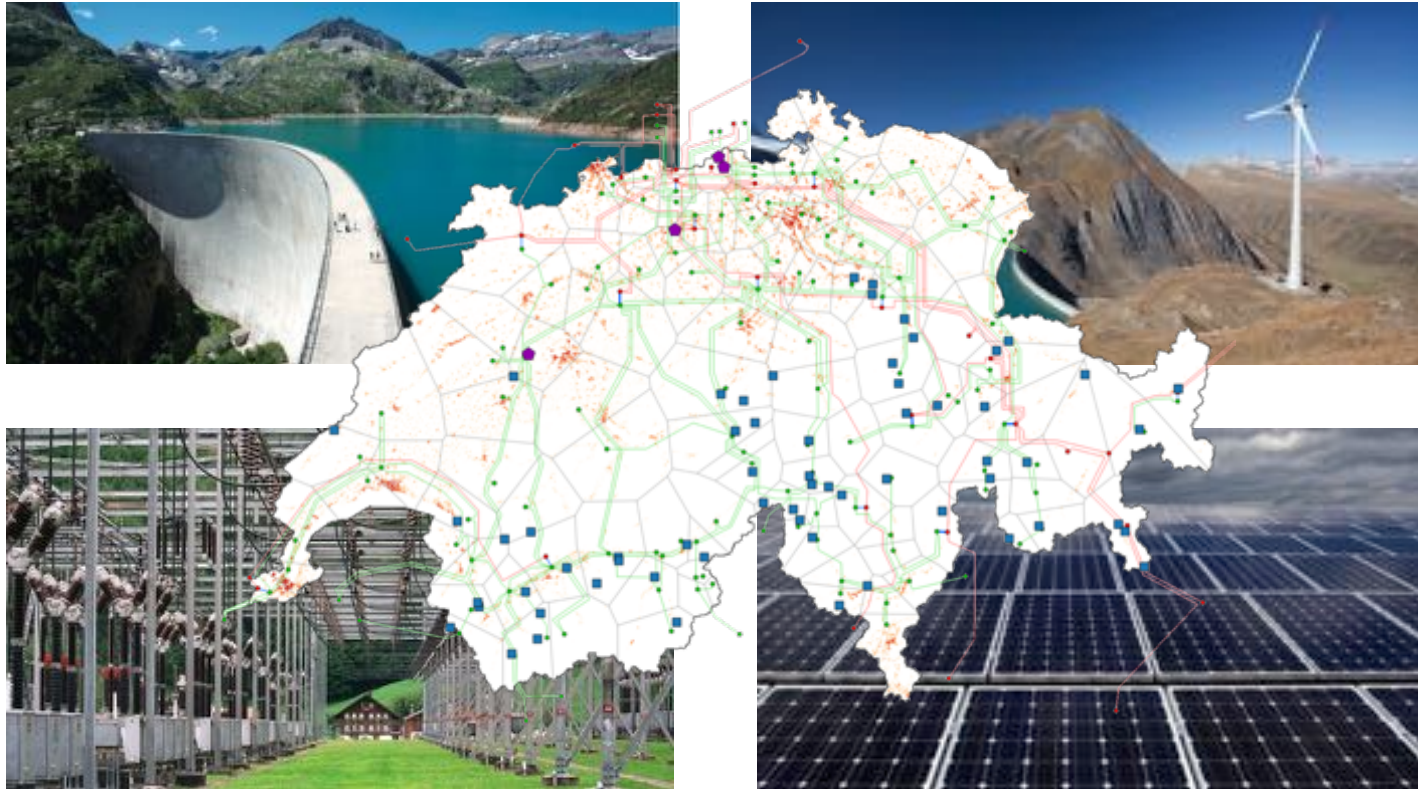


# WIE SICH WASSER, SONNE UND WIND ZU EINEM 100% ERNEUERBAREN ELEKTRIZITÄTSSYSTEM IN DER SCHWEIZ ERGÄNZEN



Energiegespräche Disentis, 2020

Jérôme Dujardin, Annelen Kahl, Varun Sharma, Michael Lehning

Welche erneuerbare  
Energiequelle?

Wieviel?

Wo installiert?

Netzintegration?

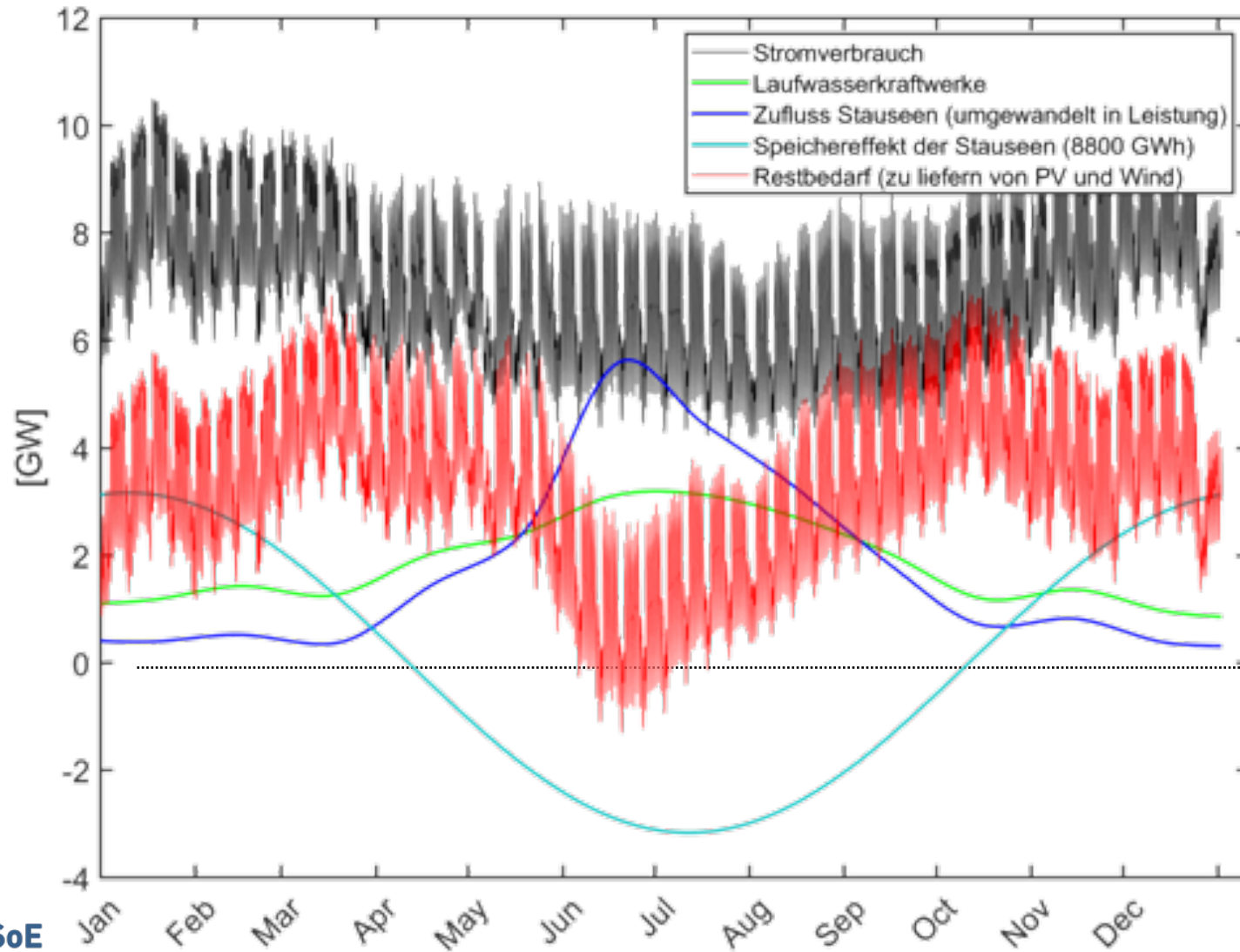


Hoher Verbrauch  
im Winter

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*

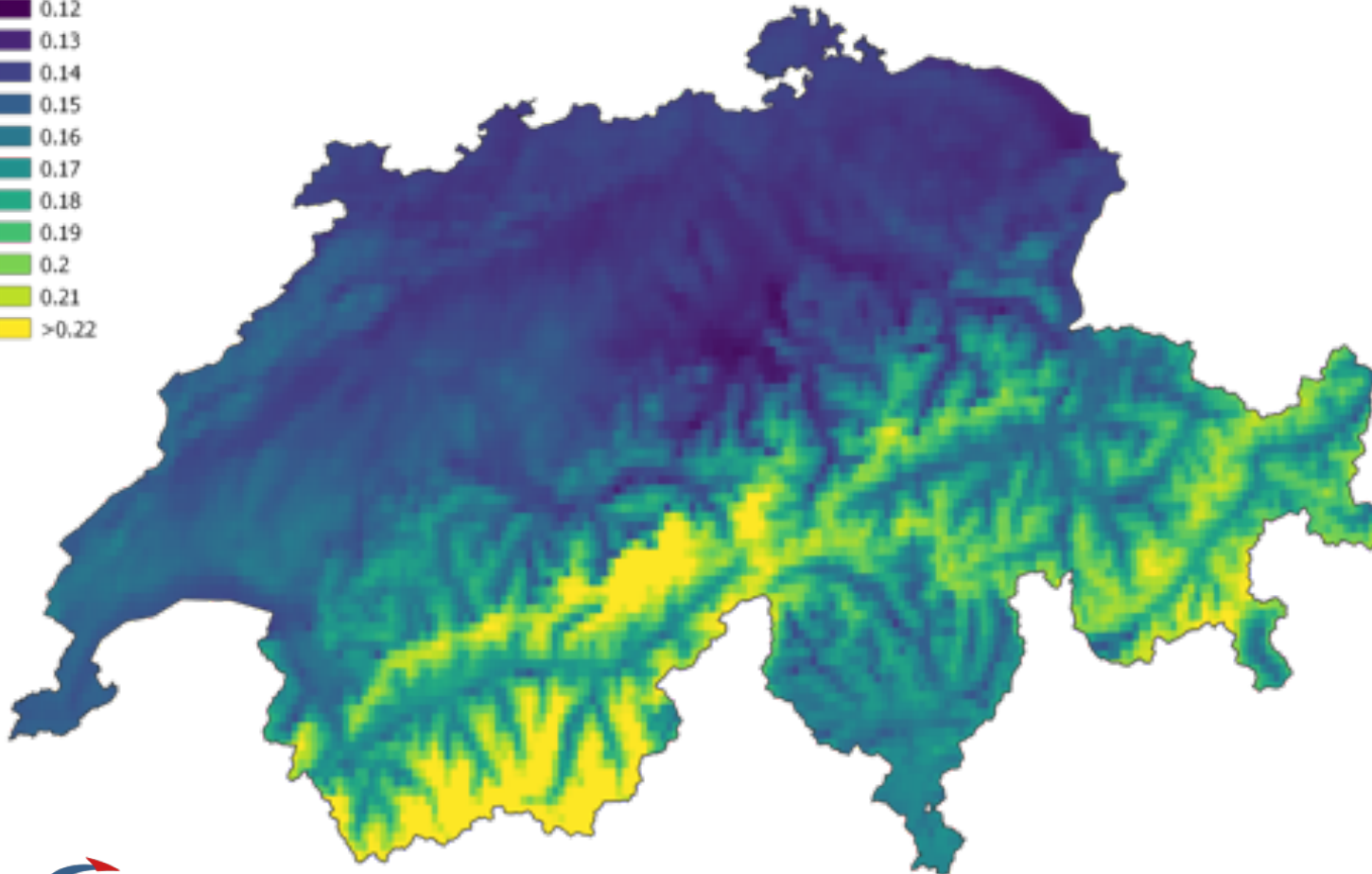
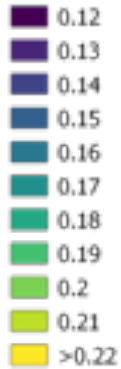
*Kompatibilität mit dem Stromnetz*

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



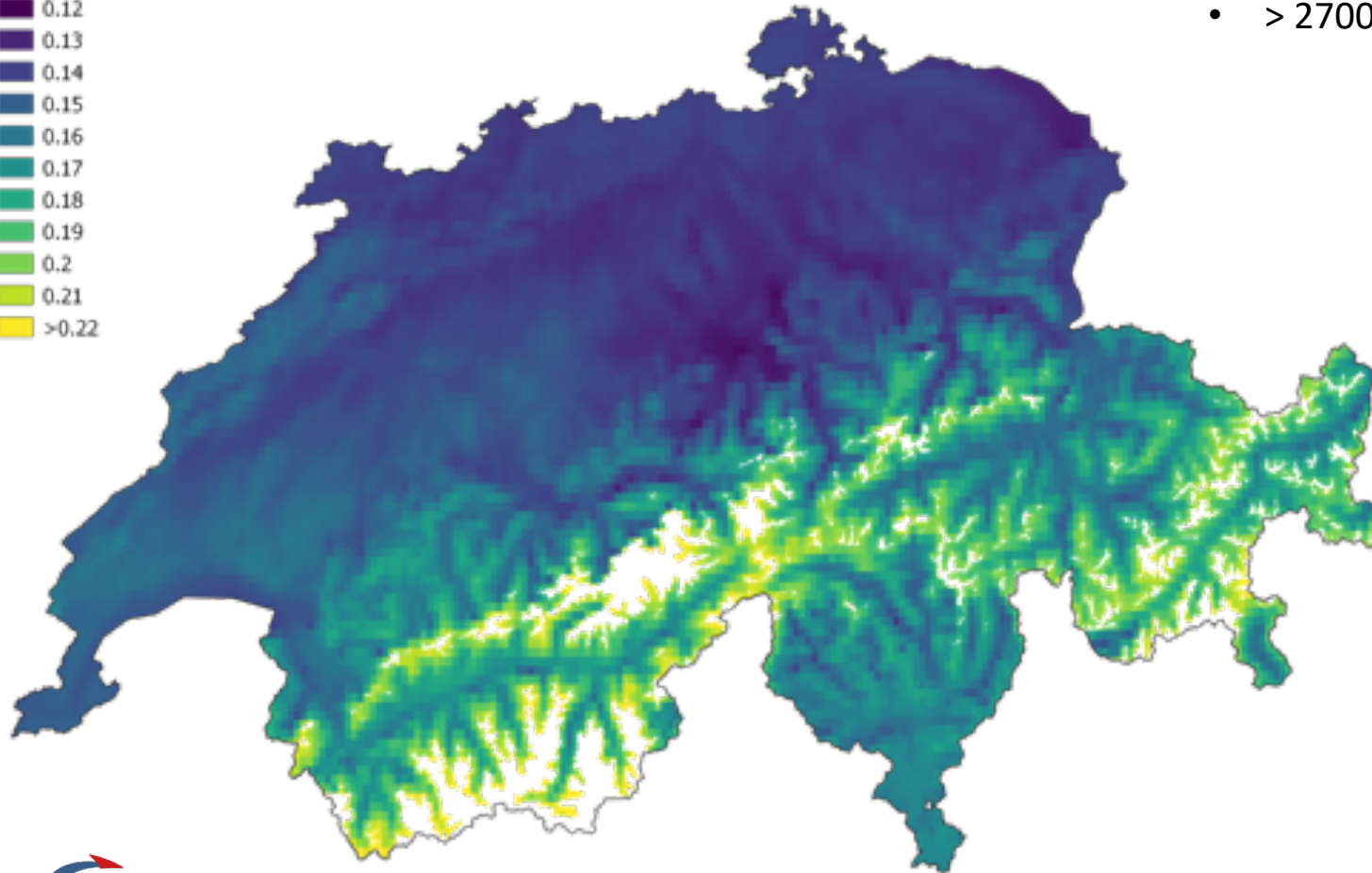
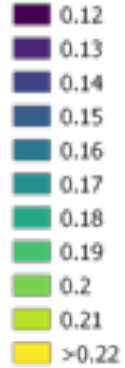
# GIS Standortwahl PV

Capacity factor [0-1]



# GIS Standortwahl PV

Capacity factor [0-1]



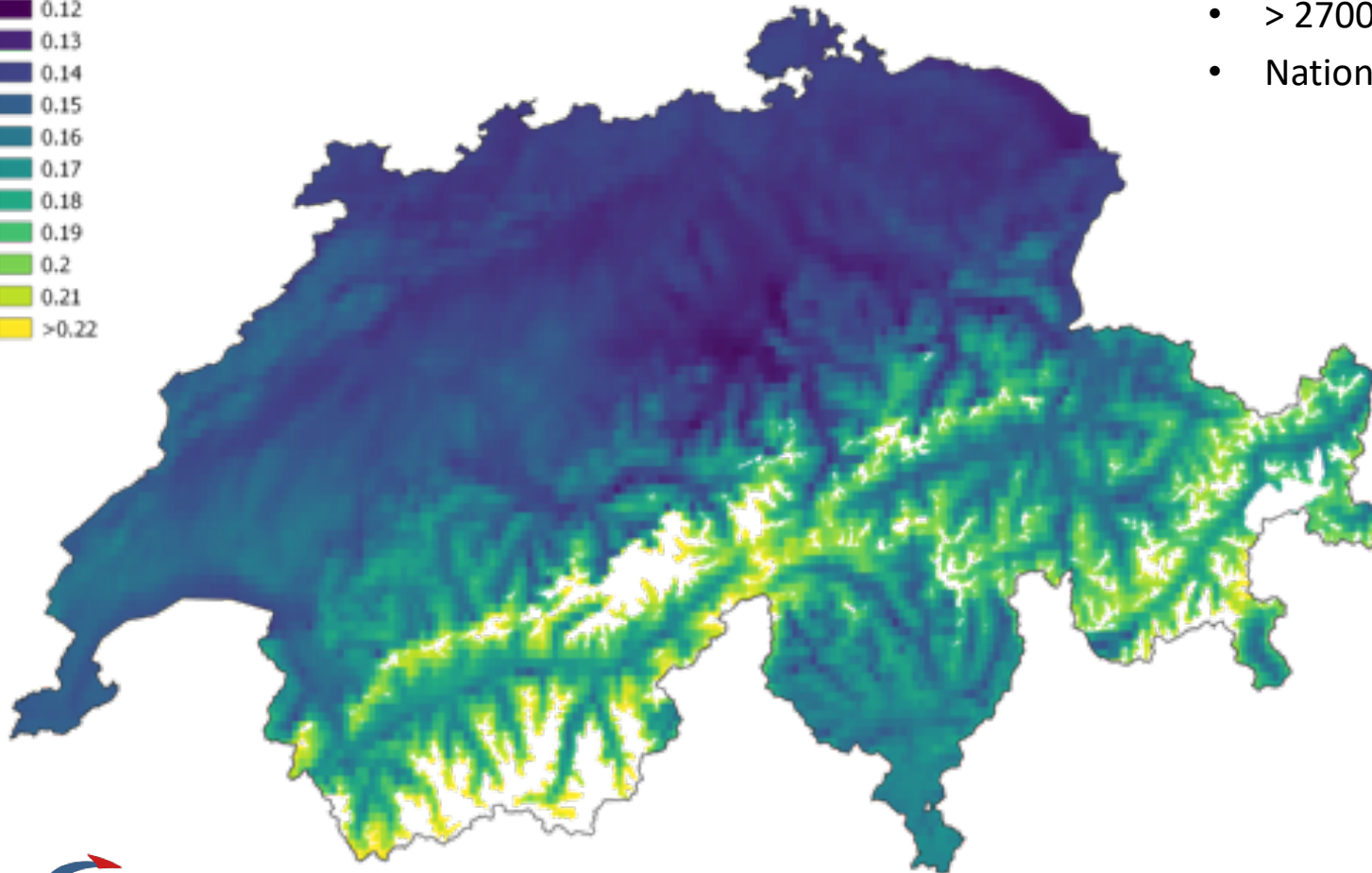
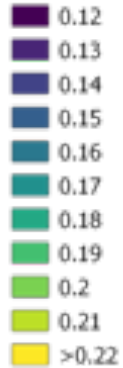
Ausschlusskriterien:

- > 2700m ü.d.M.



# GIS Standortwahl PV

Capacity factor [0-1]

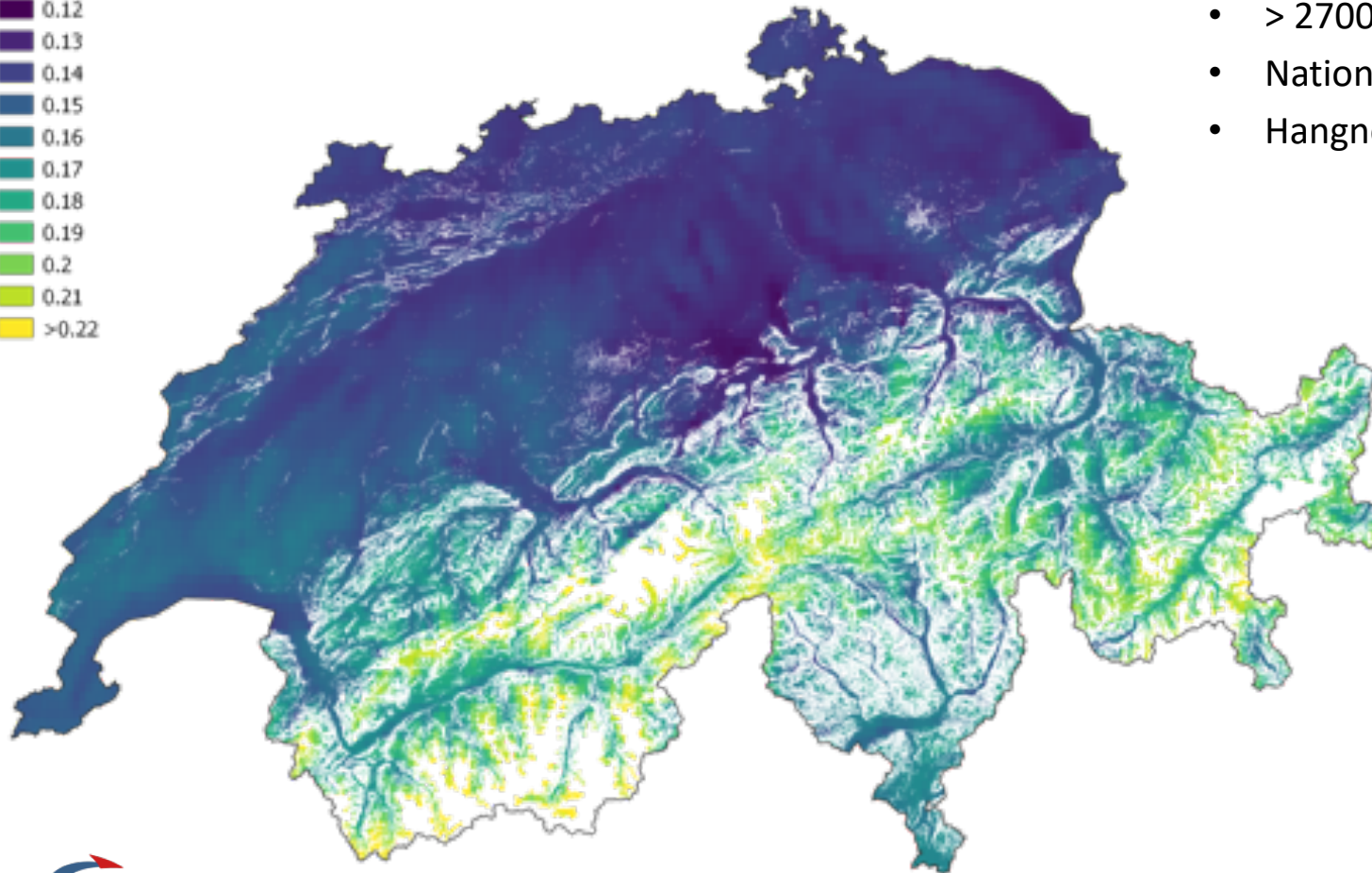
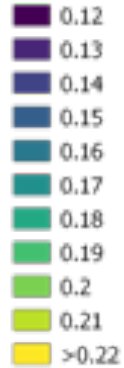


Ausschlusskriterien:

- > 2700m ü.d.M.
- Nationalpark

# GIS Standortwahl PV

Capacity factor [0-1]

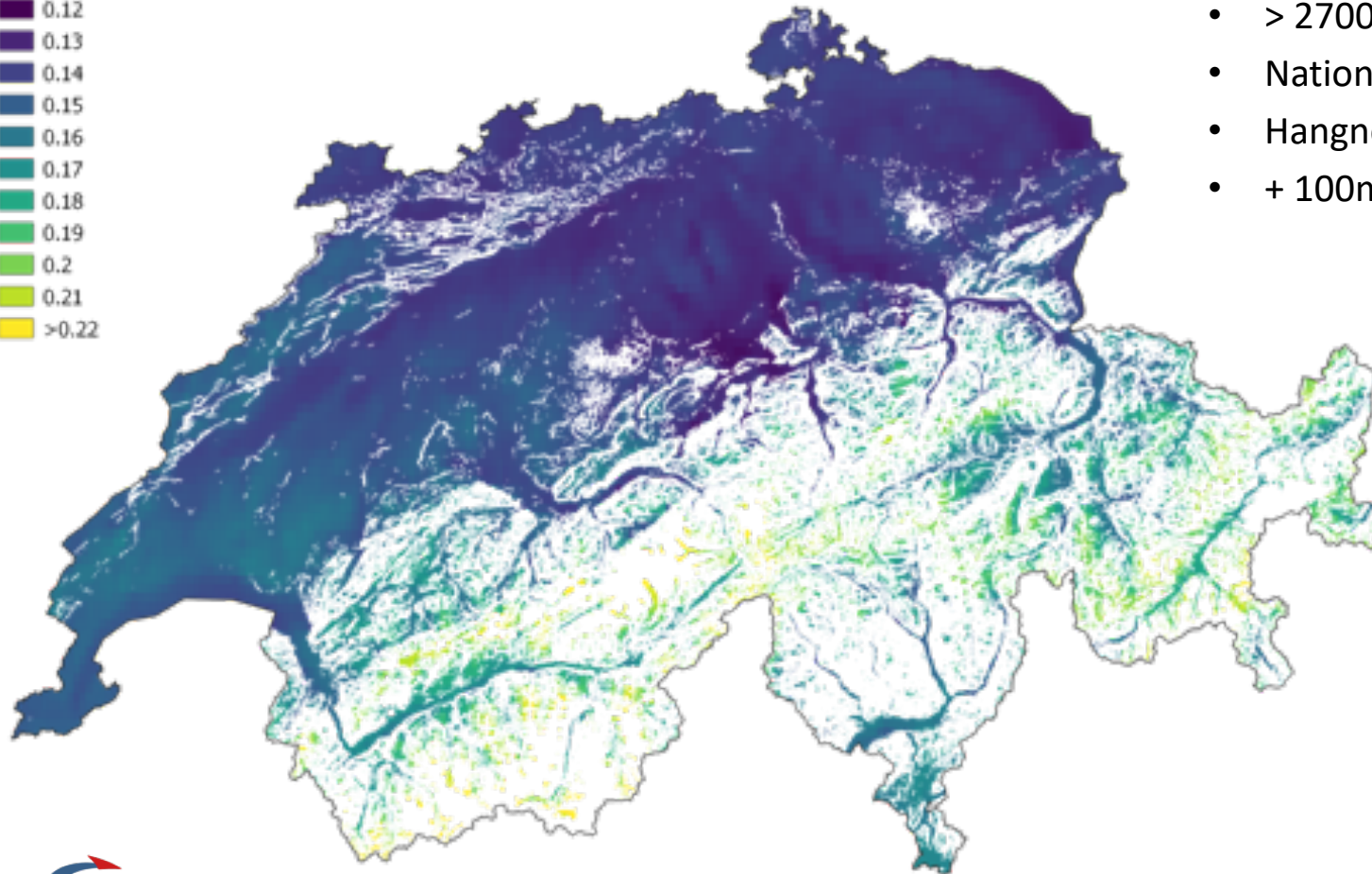
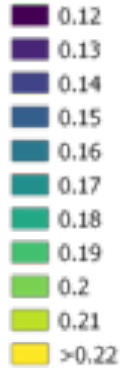


Ausschlusskriterien:

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

# GIS Standortwahl PV

Capacity factor [0-1]



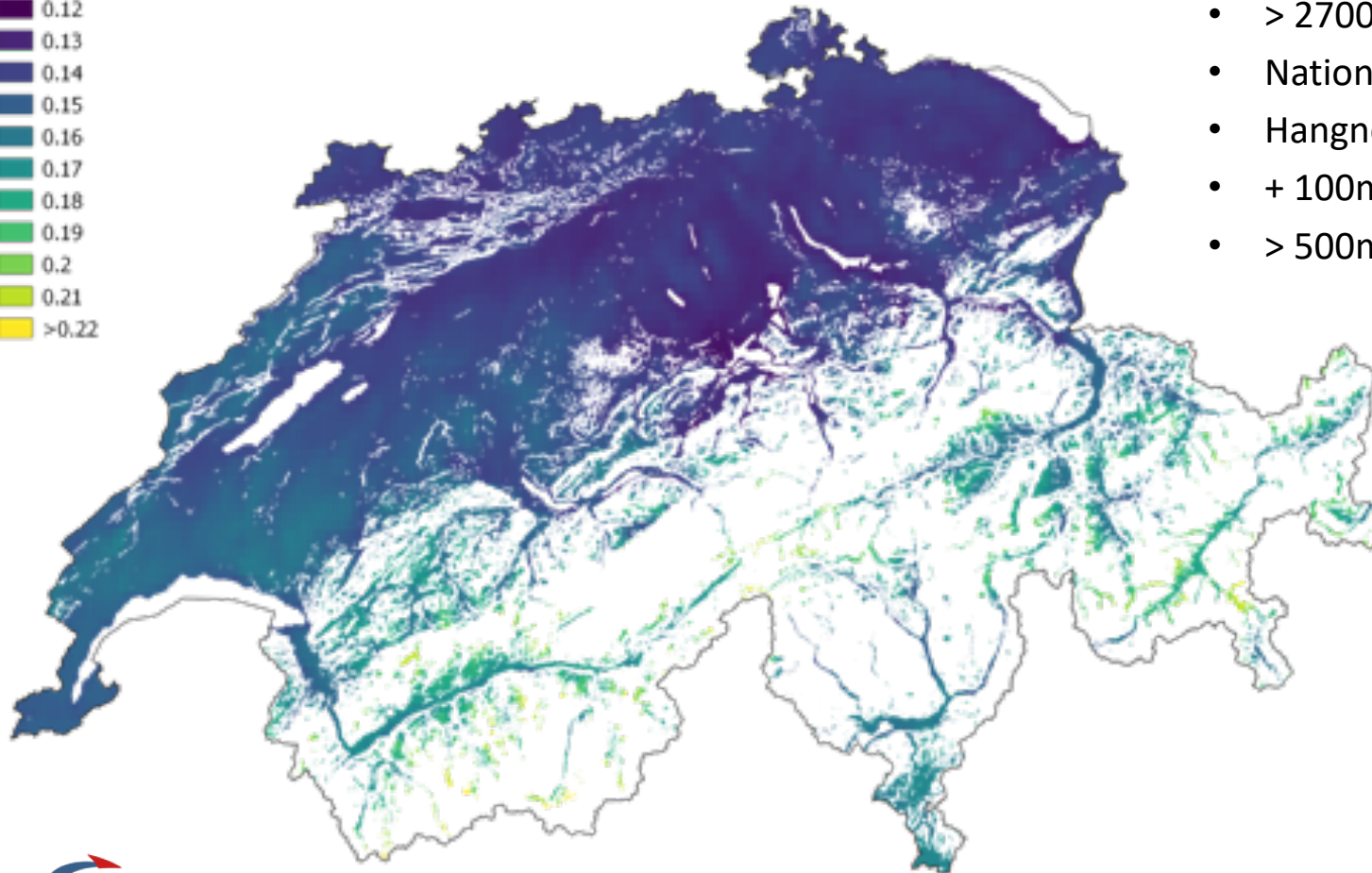
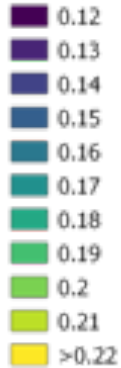
Ausschlusskriterien:

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



# GIS Standortwahl PV

Capacity factor [0-1]

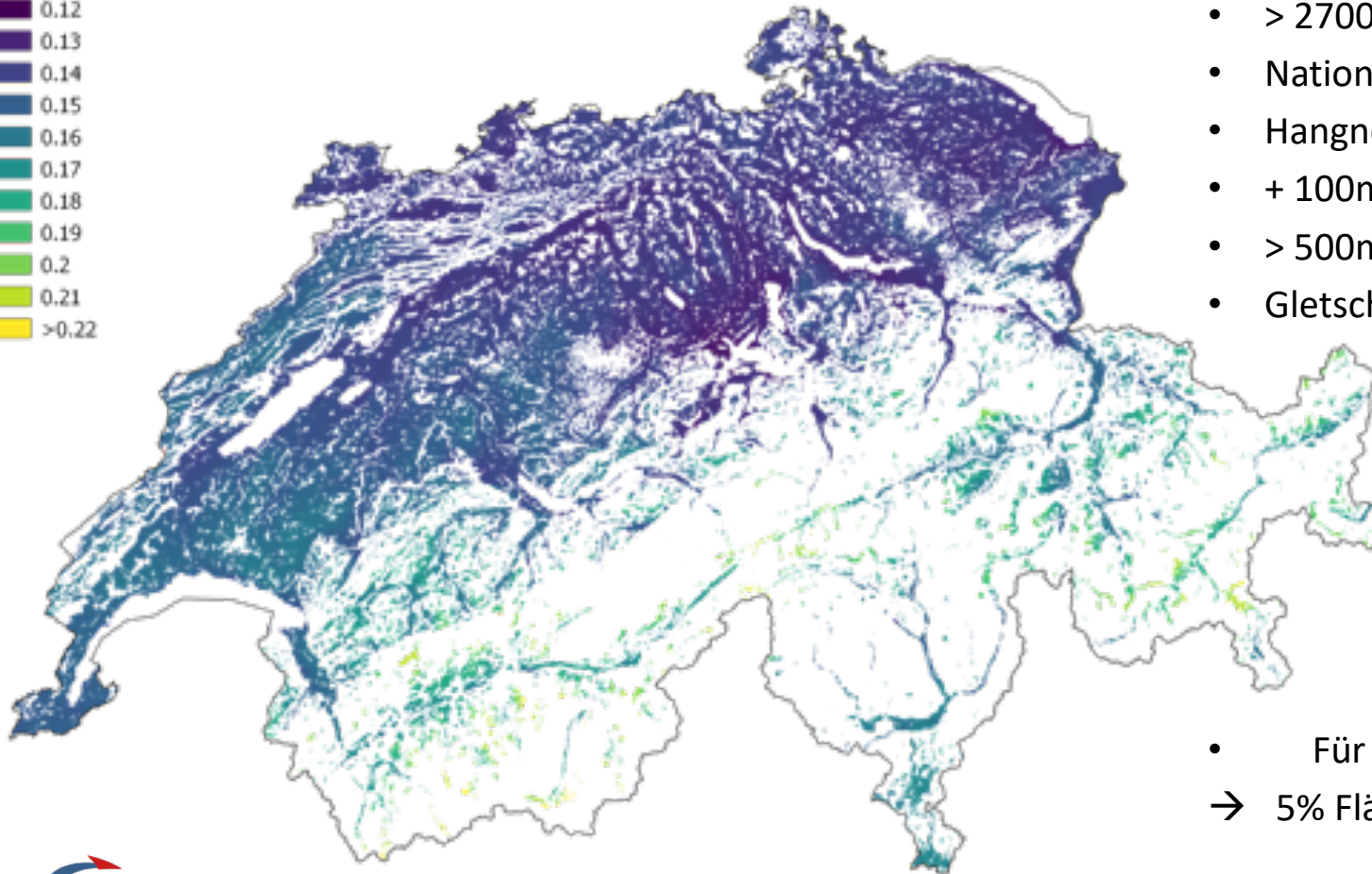
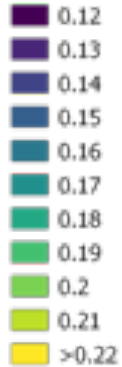


Ausschlusskriterien:

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

# GIS Standortwahl PV

Capacity factor [0-1]



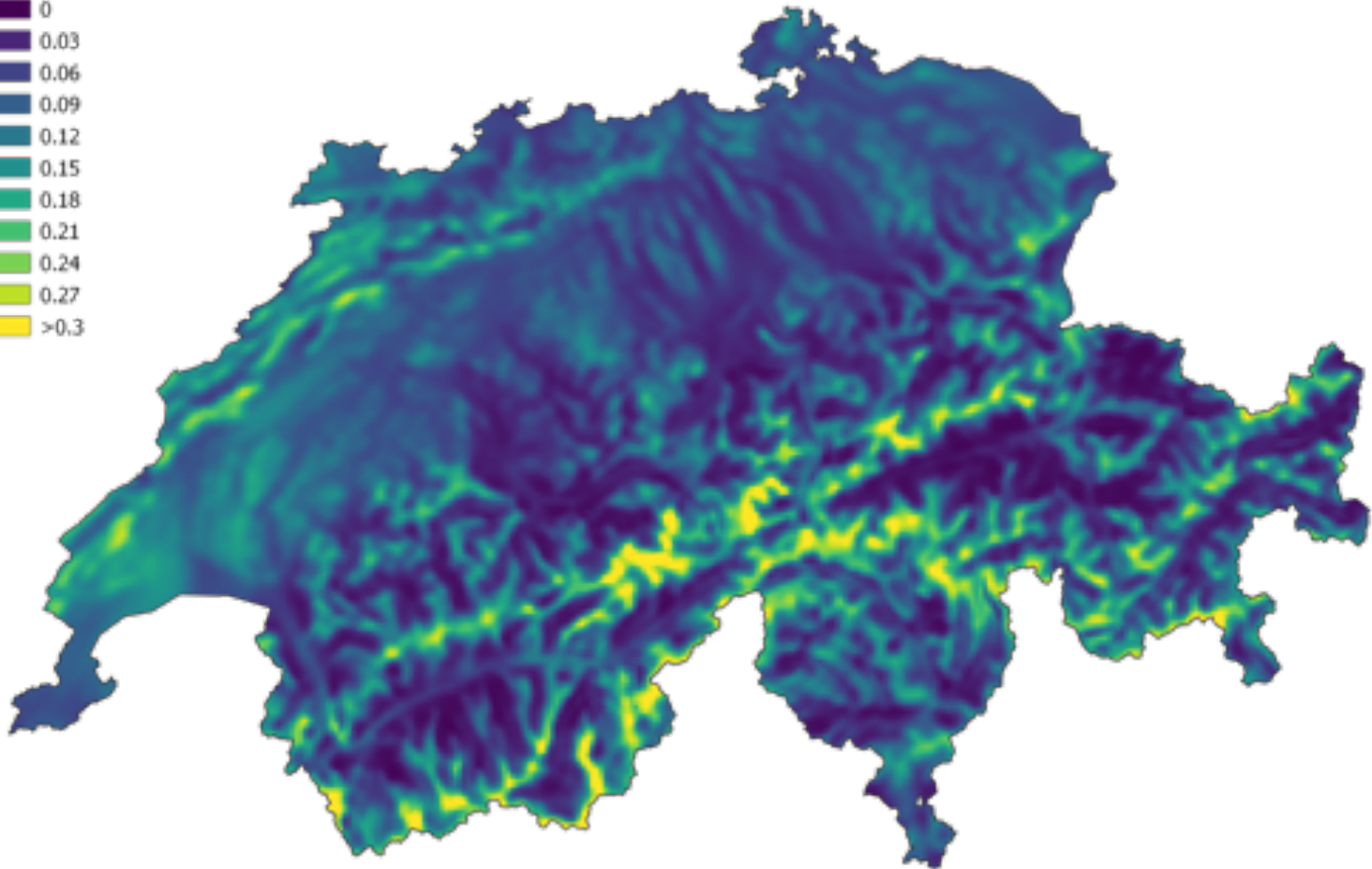
Ausschlusskriterien:

- > 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

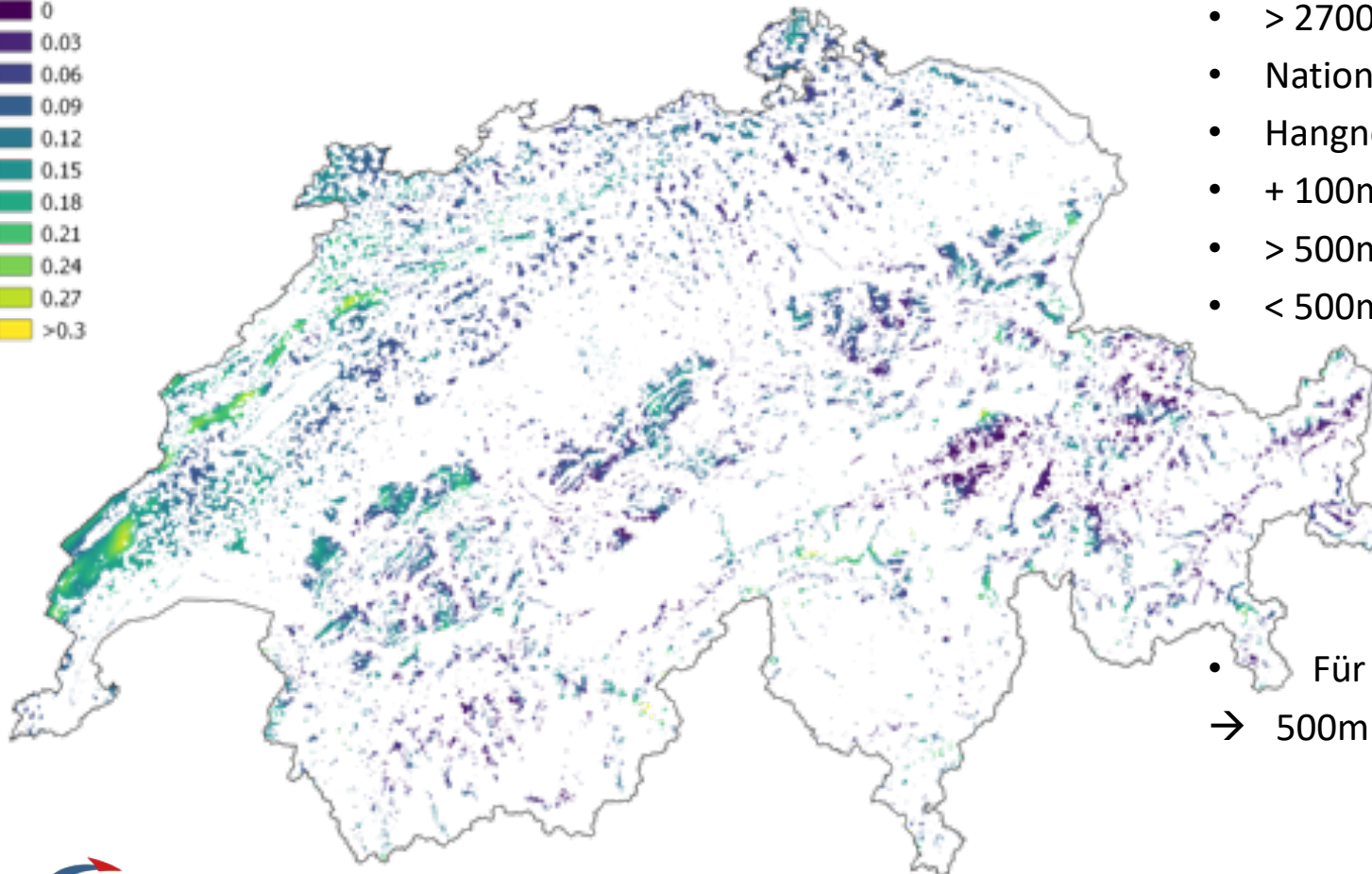
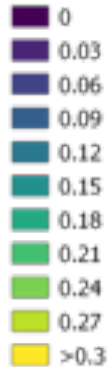
Capacity factor [0-1]





# 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*

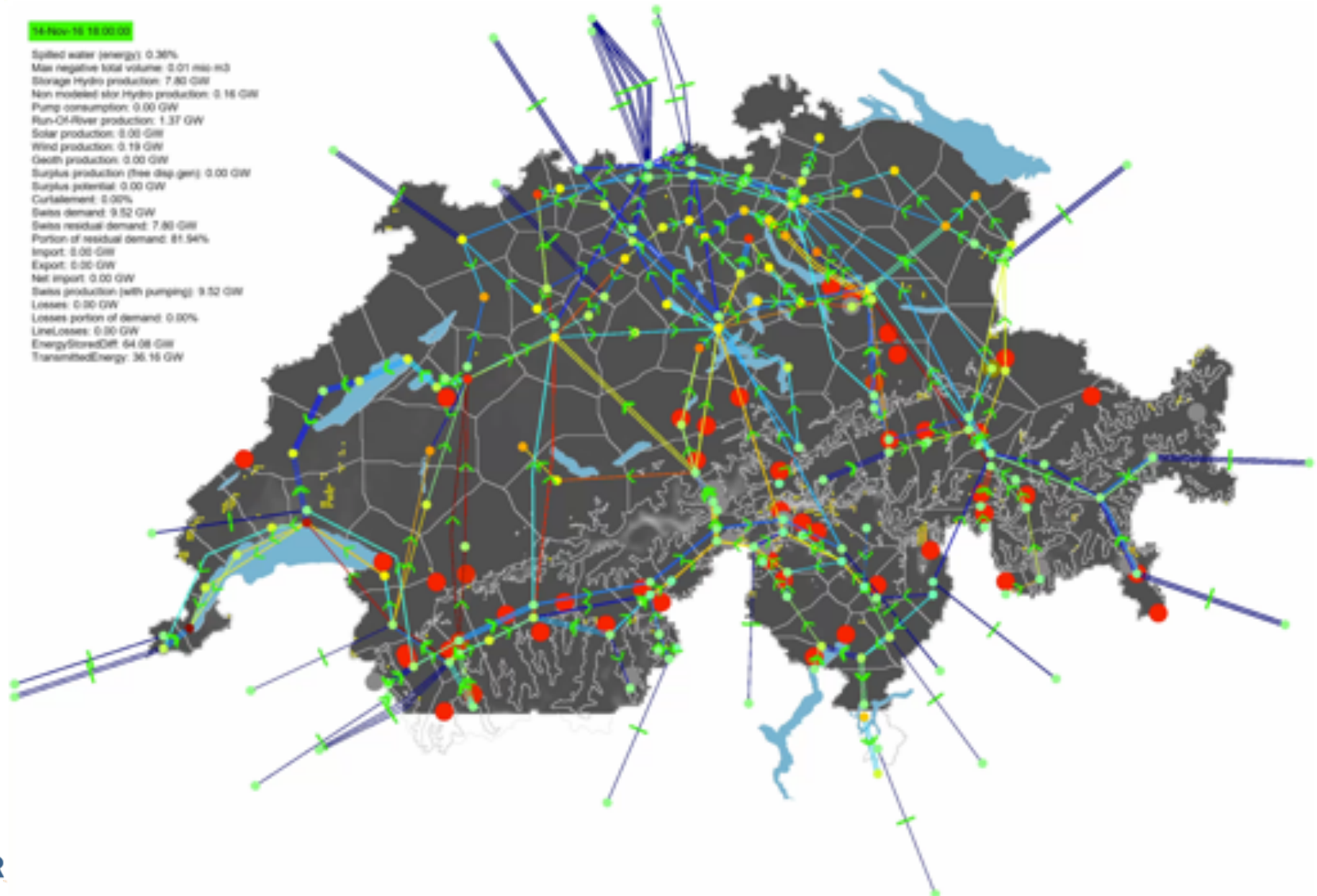
*Kompatibilität mit dem Stromnetz*

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

# Wasserkraft und Stromnetz



# Optimal Power Flow





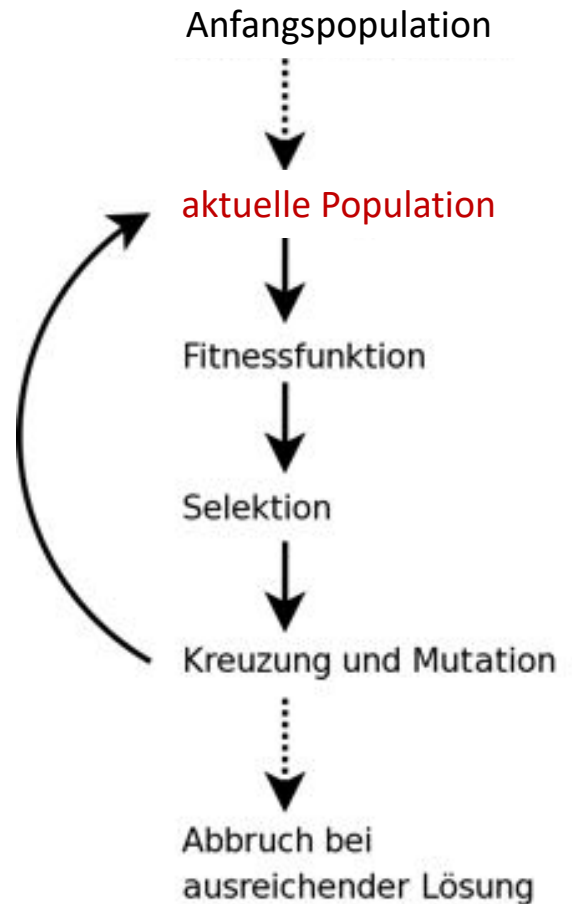
# Ablauf Optimierung



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



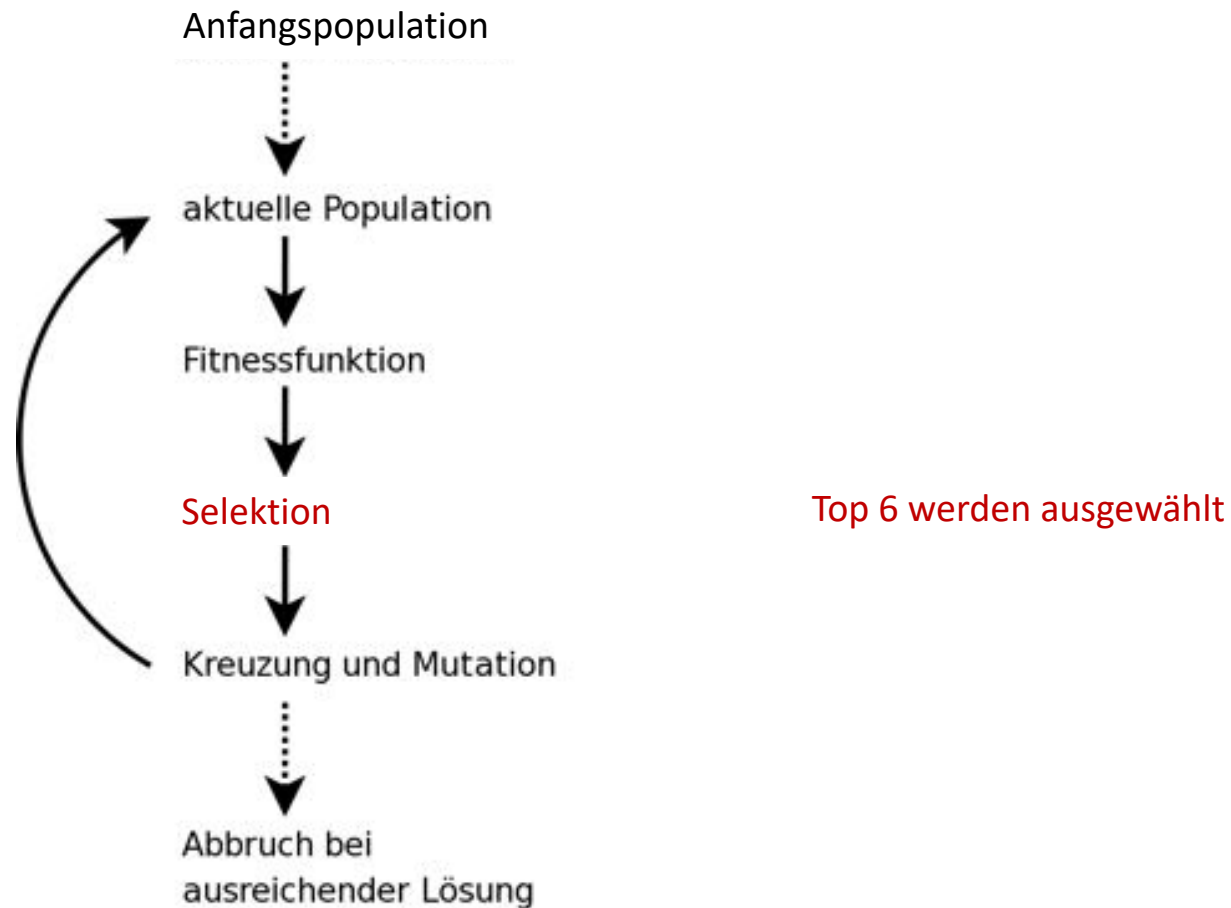
# Ablauf Optimierung



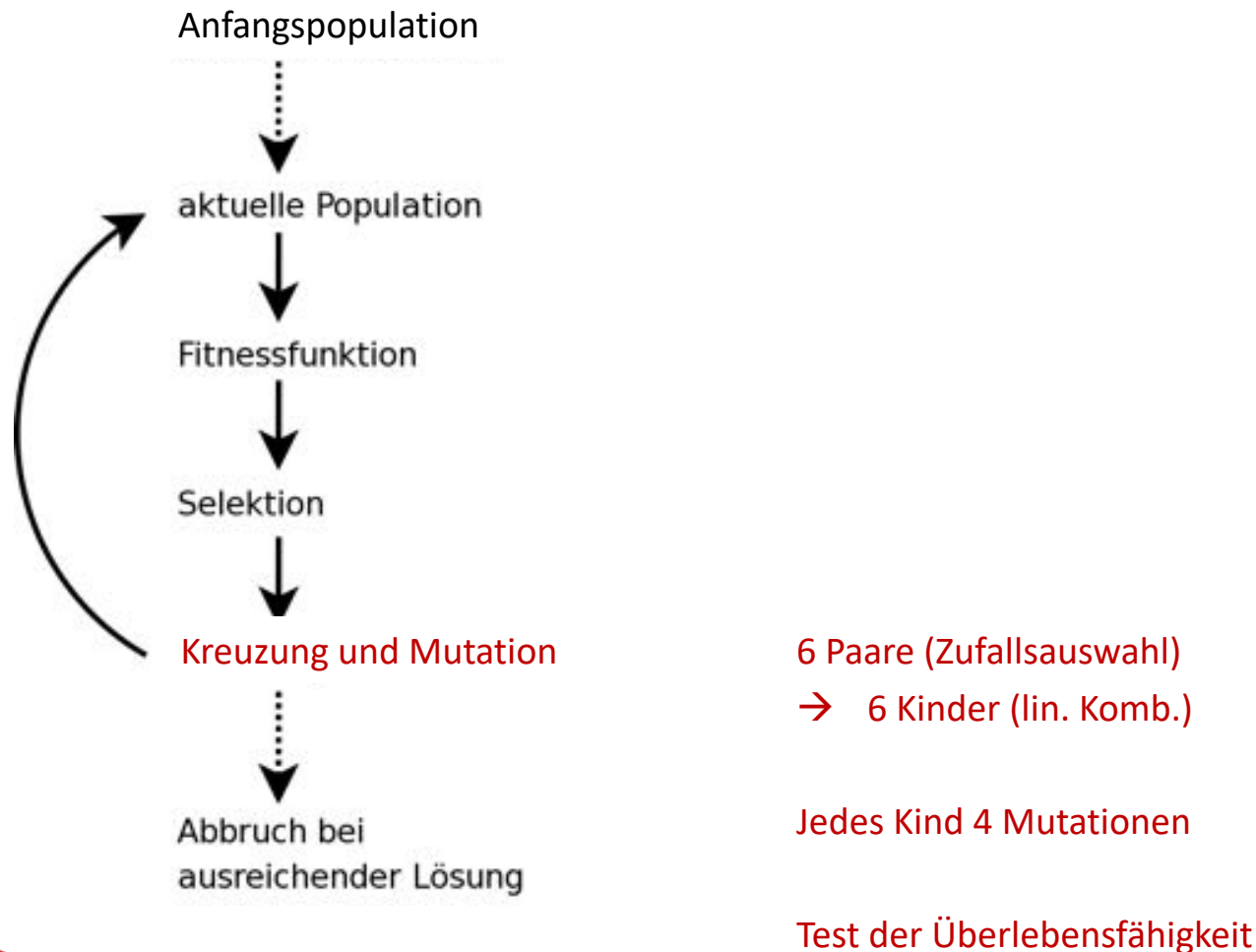
Qualitätsbewertung der 12 Lösungen:  
Energieautonomie

≡ Reduktion des jährlich benötigten Imports

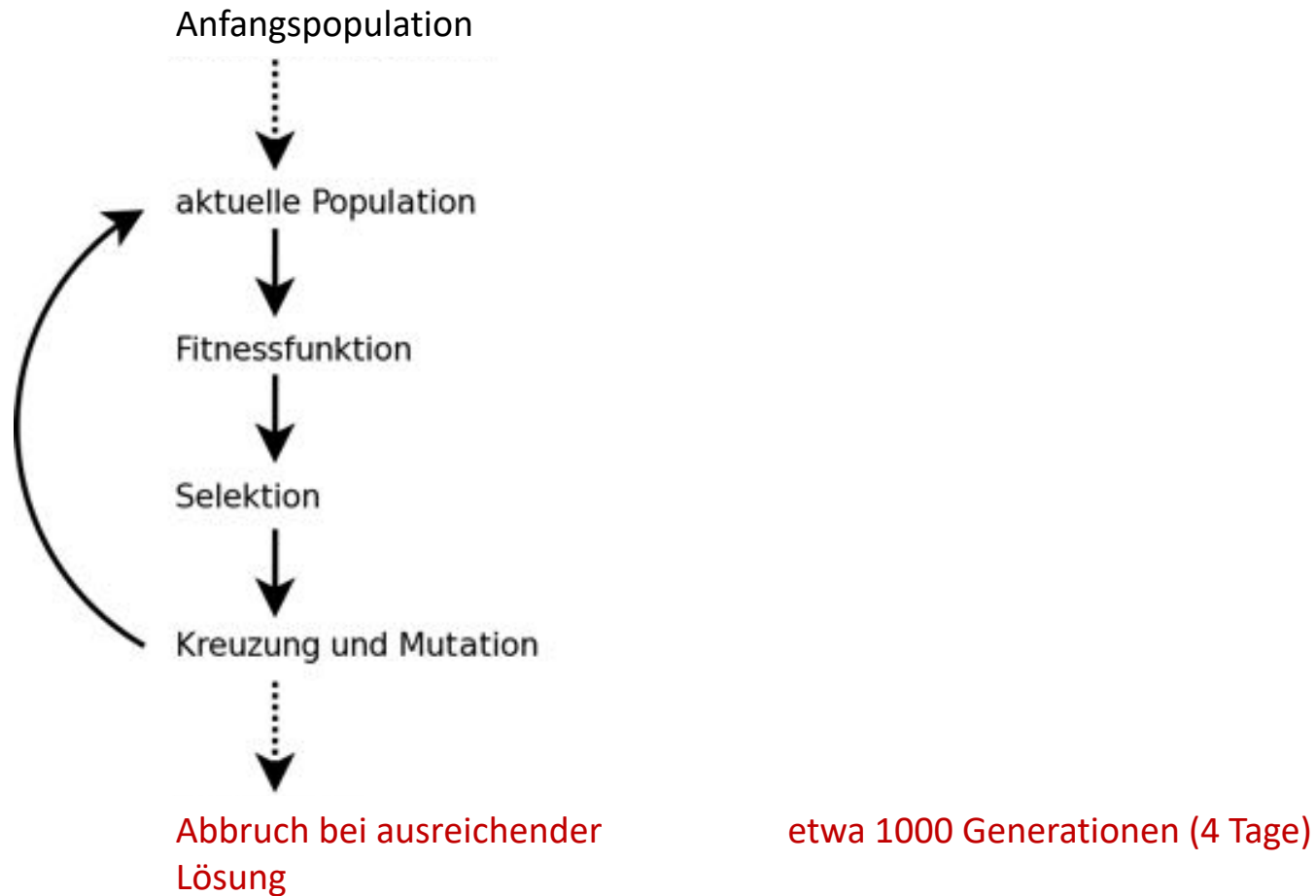
# Ablauf Optimierung



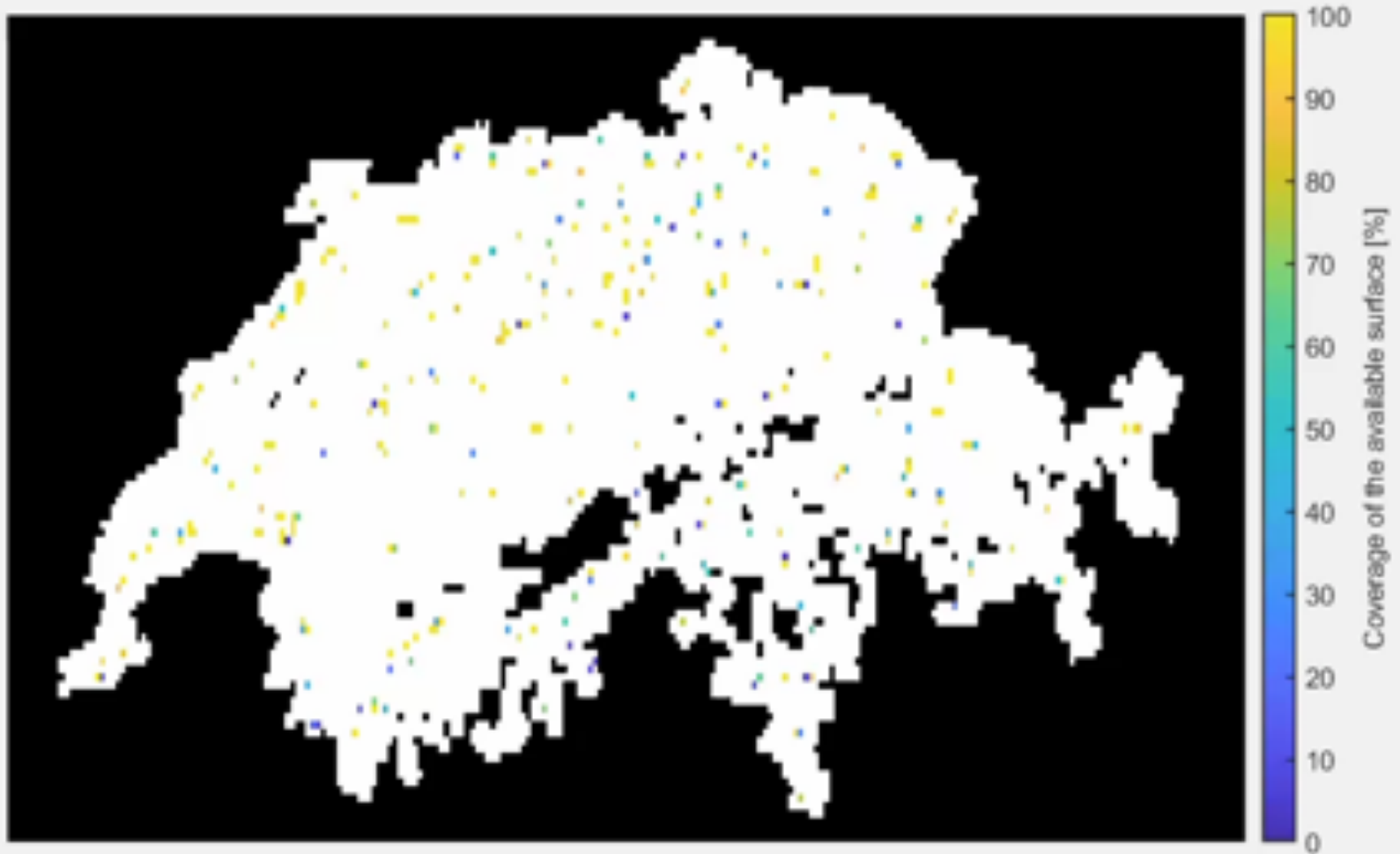
# Ablauf Optimierung



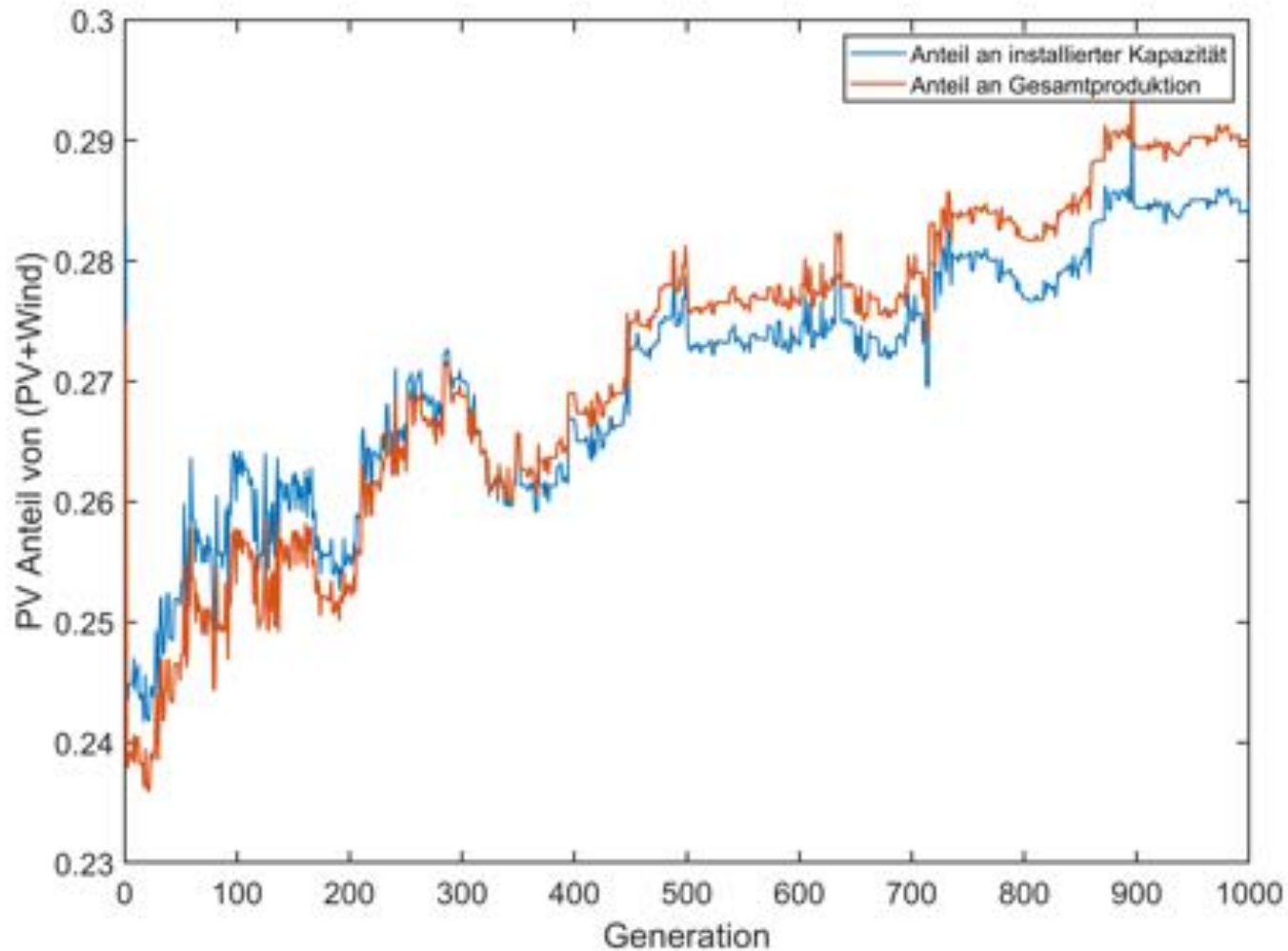
# Ablauf Optimierung



# Standortwahl – PV

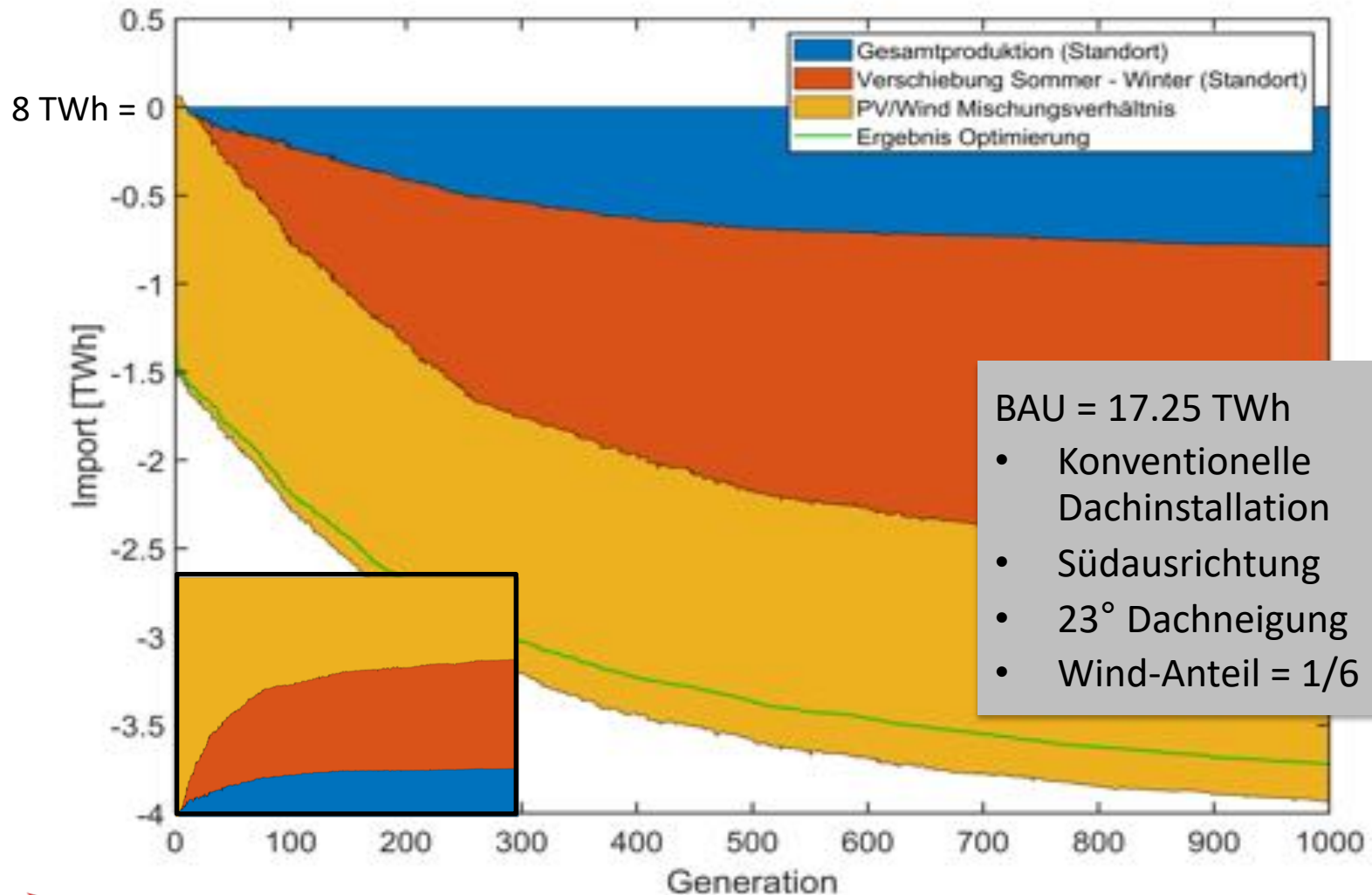


# Mischungsverhältnis PV-Wind

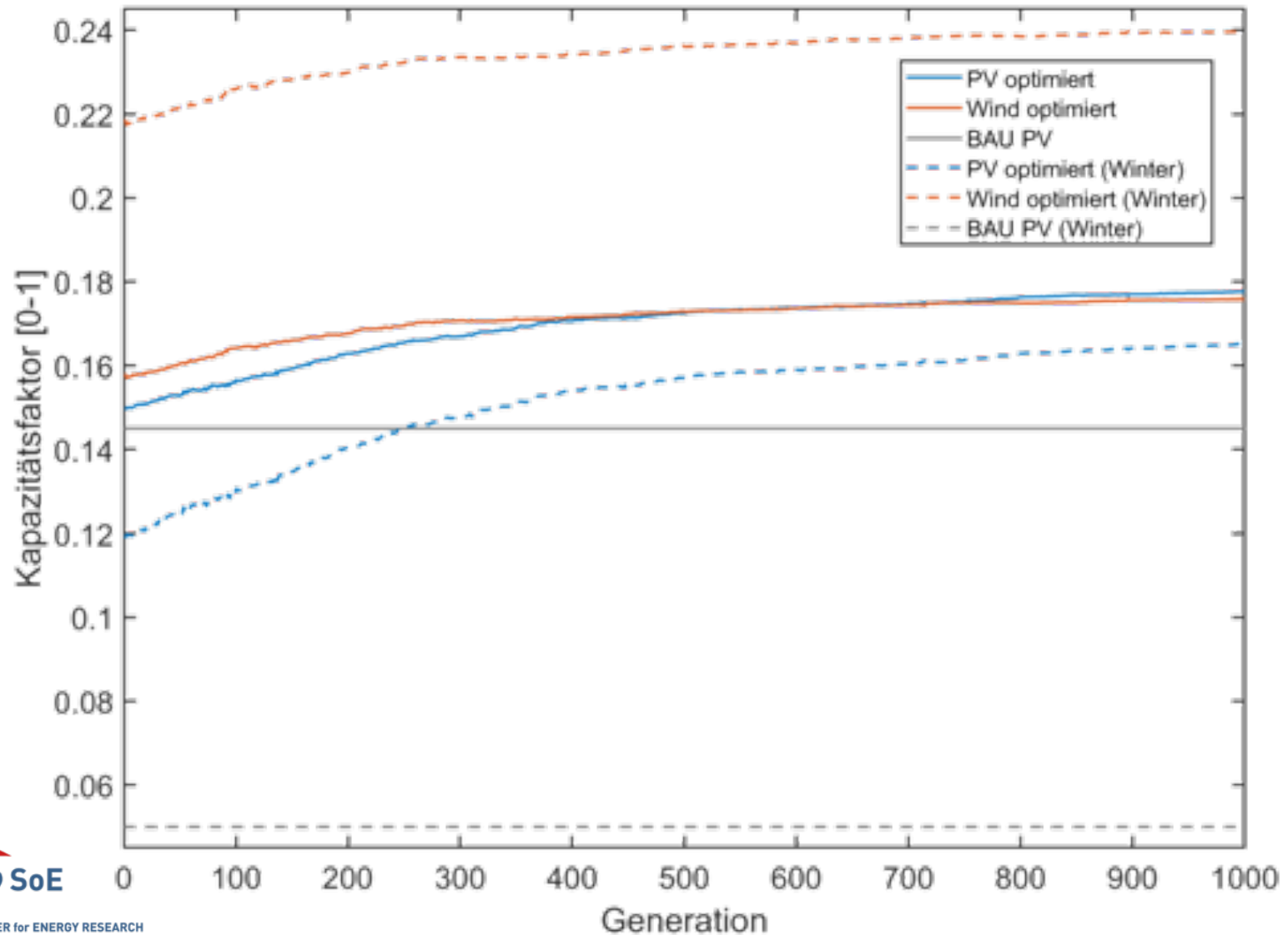




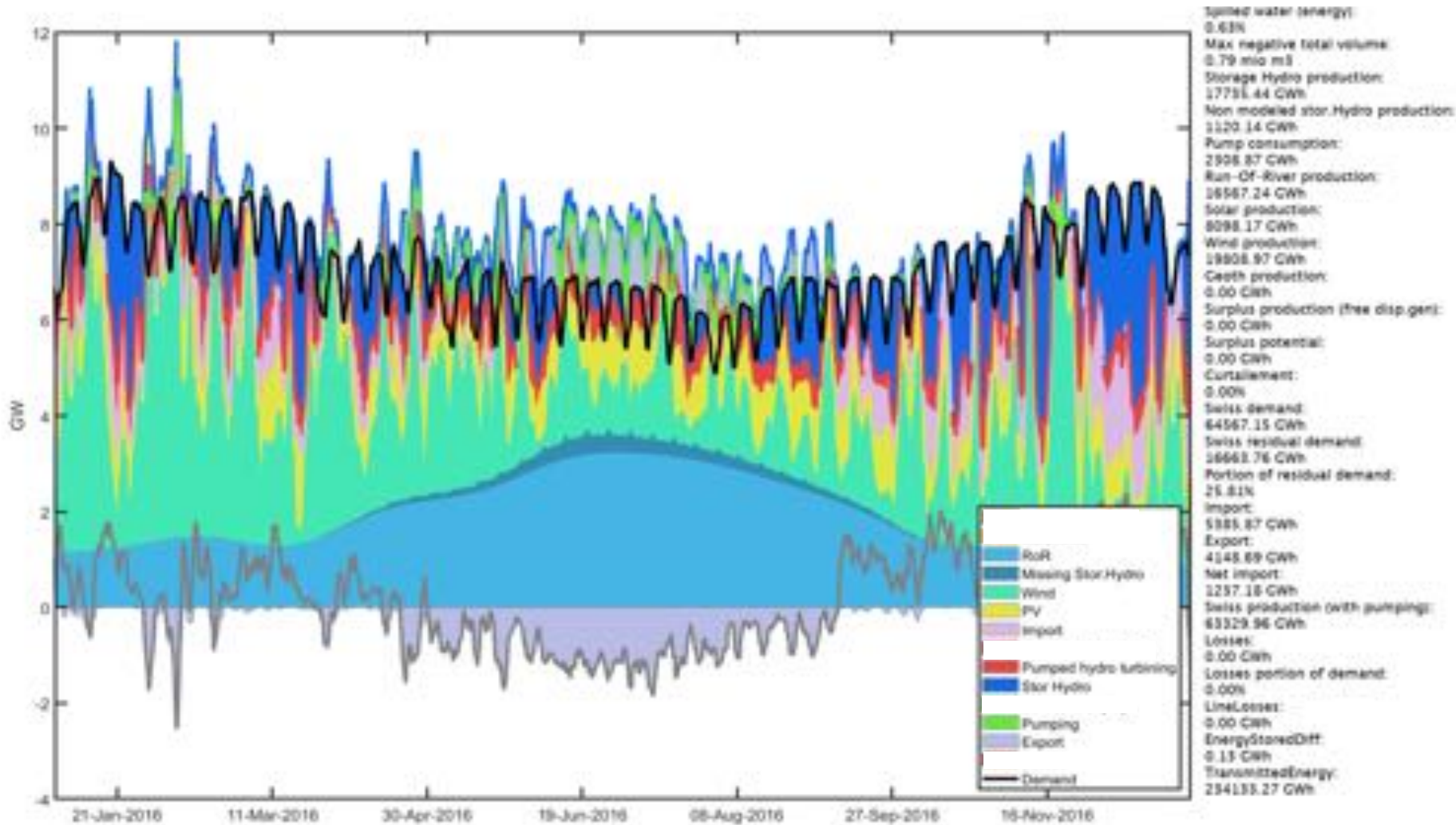
# Importreduktion



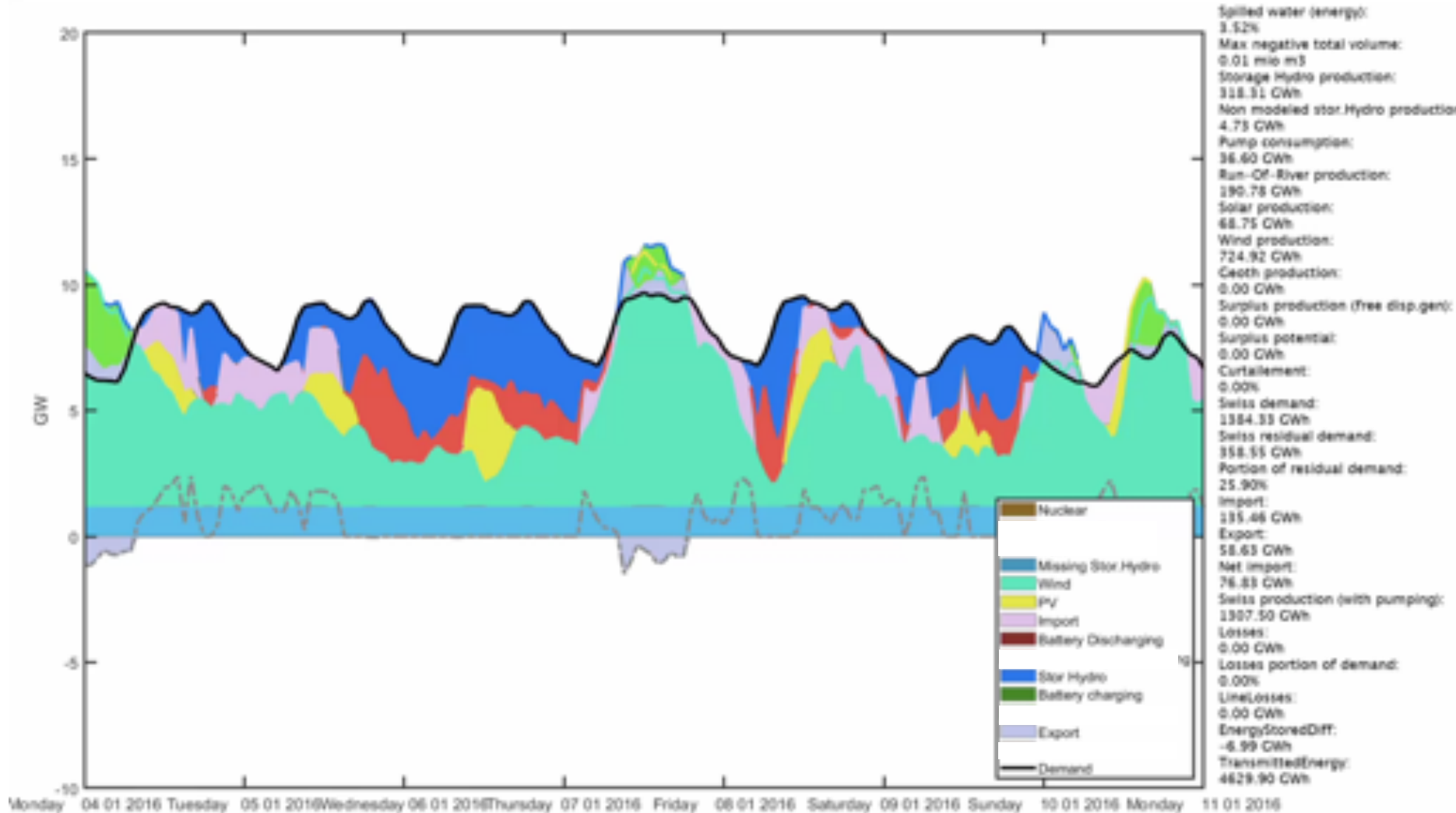
# Kapazitätsfaktoren



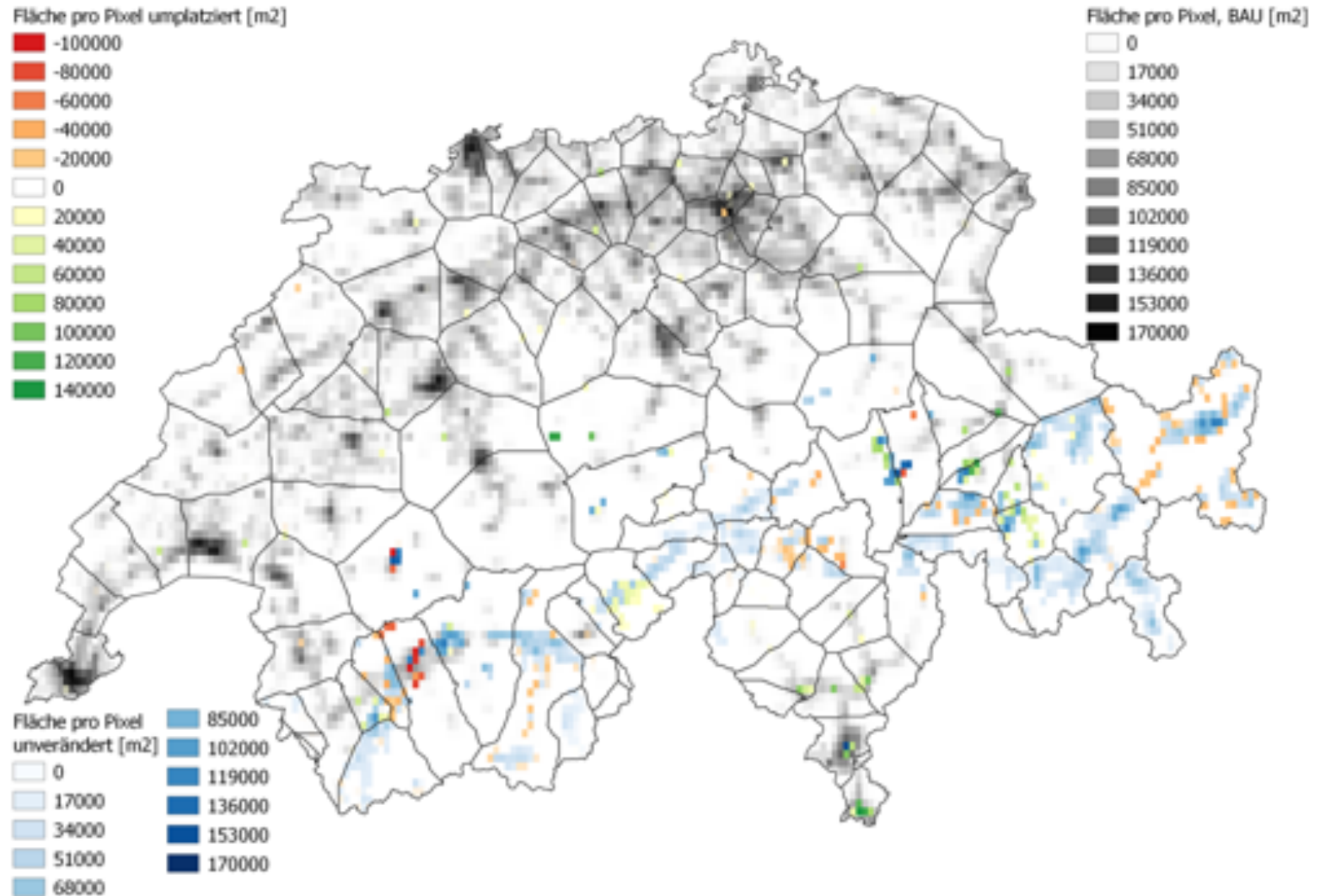
# Jahresgesamtansicht



# Wochenansicht



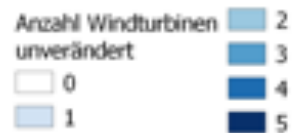
# Kompatibilität mit dem Stromnetz - PV



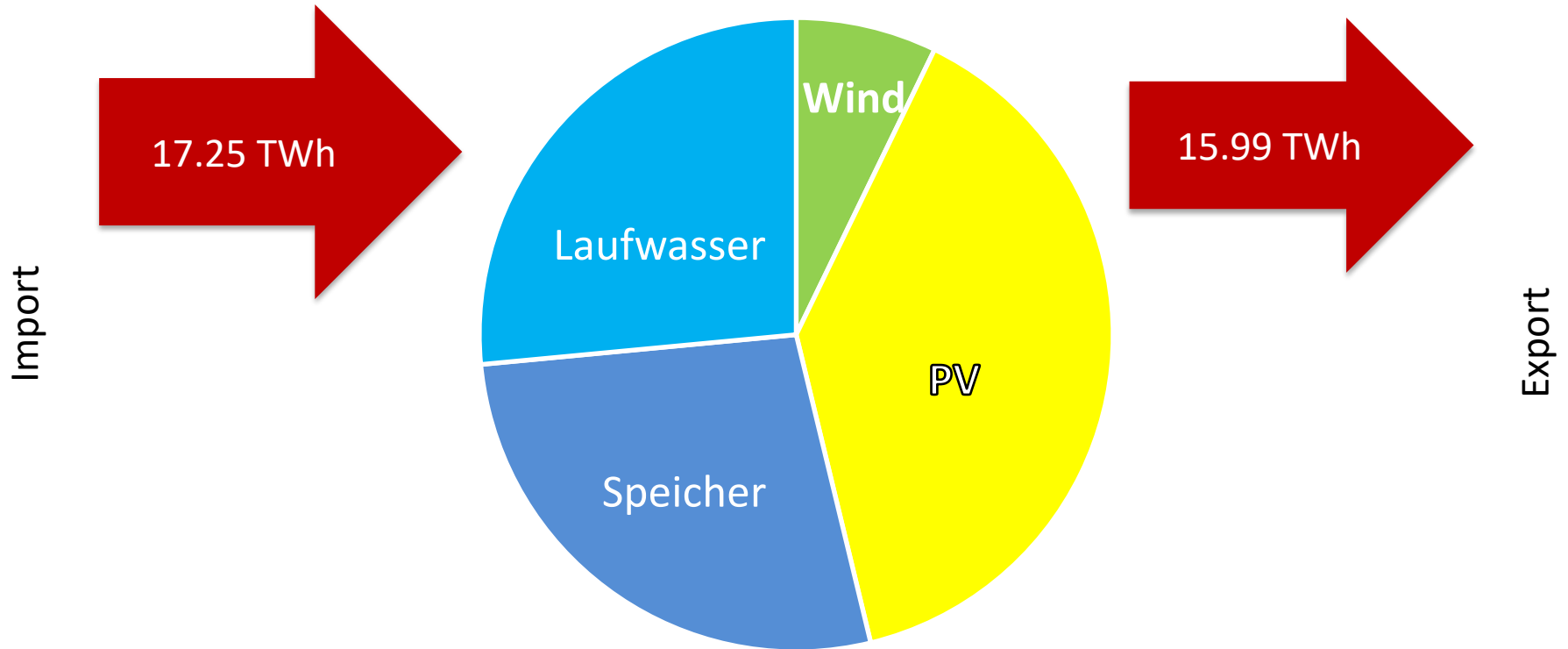


# Kompatibilität mit dem Stromnetz - Wind

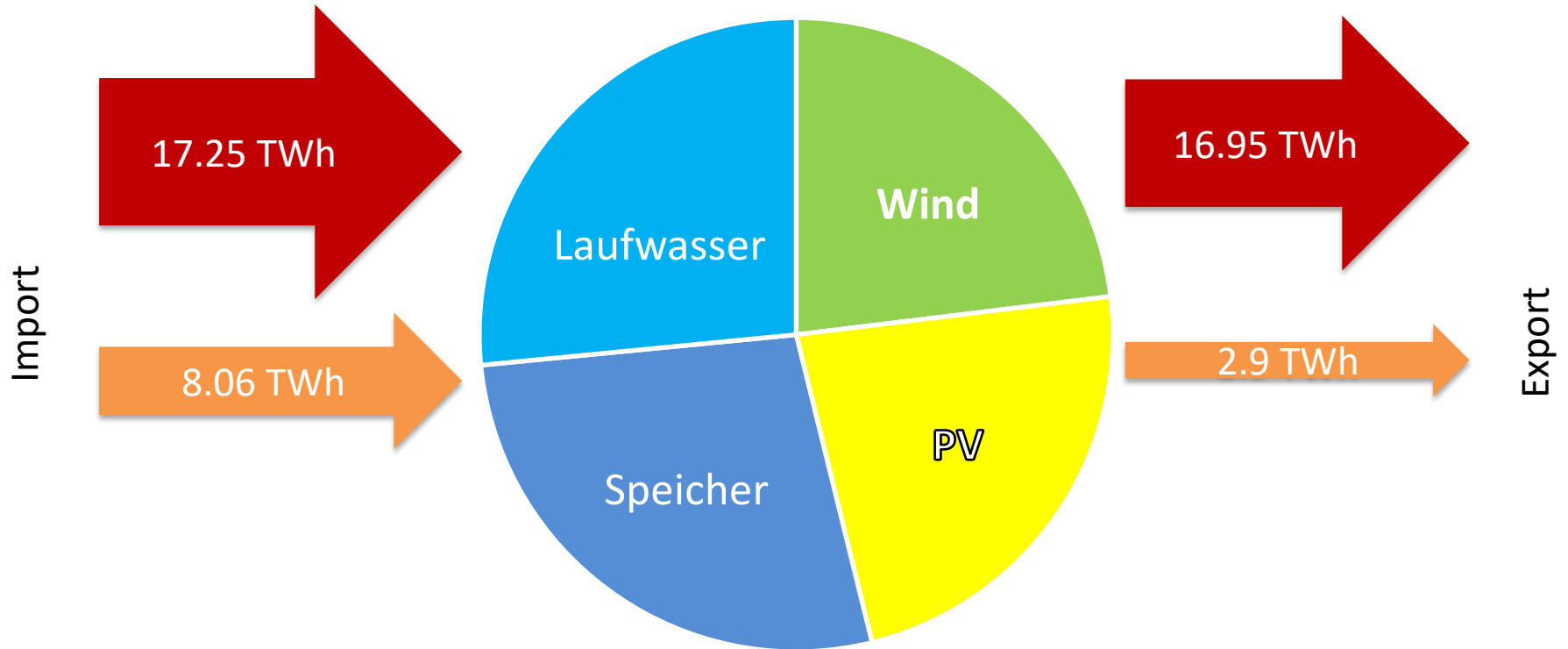
Anzahl Windturbinen umplatziert



# Zusammenfassung

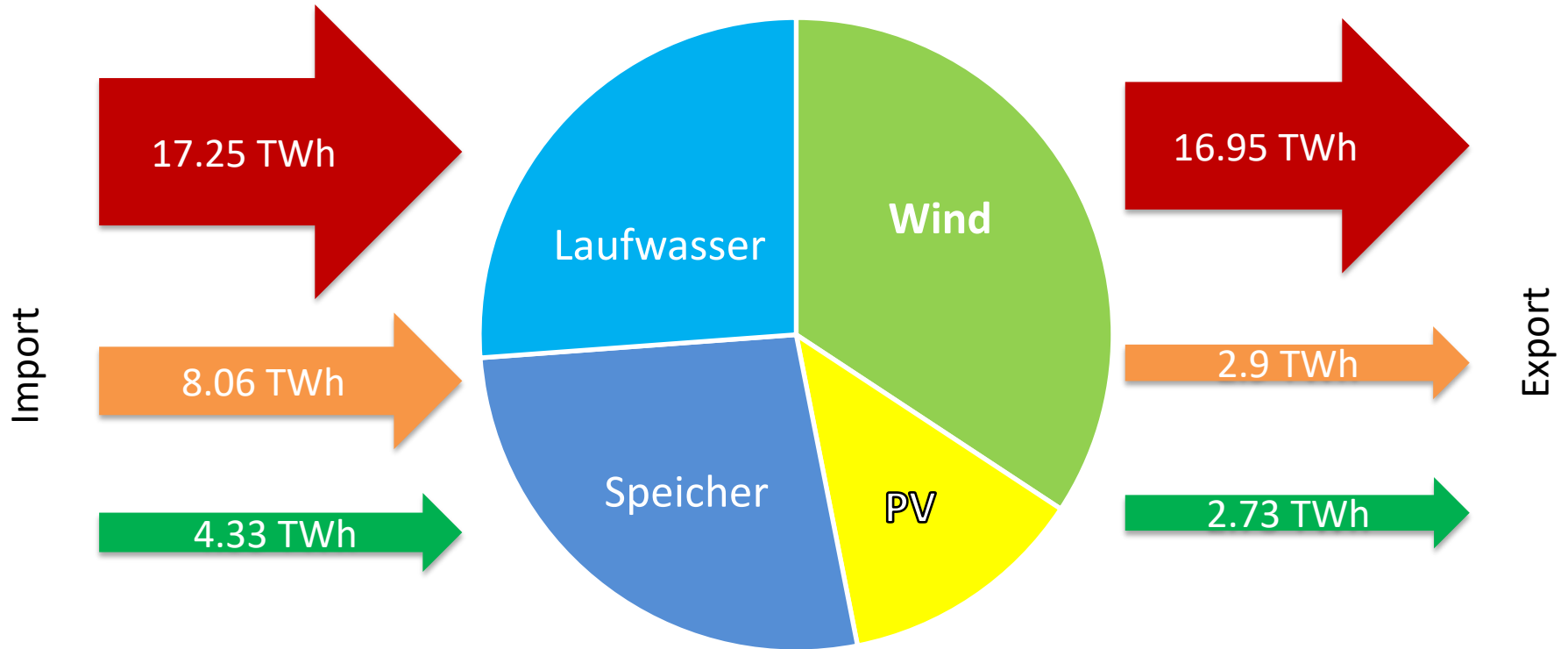


# Zusammenfassung





# Zusammenfassung



Möglich mit gegebenem Stromnetz und strengen Standorteinschränkungen

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

# Zusammenfassung

- Schweiz 100% erneuerbar ist möglich
- Kompatibel mit Stromnetz 2025
- muss aber intelligent geplant werden
- viel Windkraft und PV mit Winterproduktion statt wenig Windkraft und viele Solardächer
- sonst keine Energieautonomie

# Diskussionspunkte

- Anstatt Kosten eines installierten kW: Kosten pro kWh Winterstrom
- Übung macht den Meister:
  - Beispiel Lac des Toules & Muttsee,
  - neue Techniken, neue Modellierungen verursachen hohe Kosten.
  - jede Wiederholung wird es kosteneffizienter und besser
  - wir brauchen solche Vorreiterprojekte und diese Projekt müssen gefördert werden.