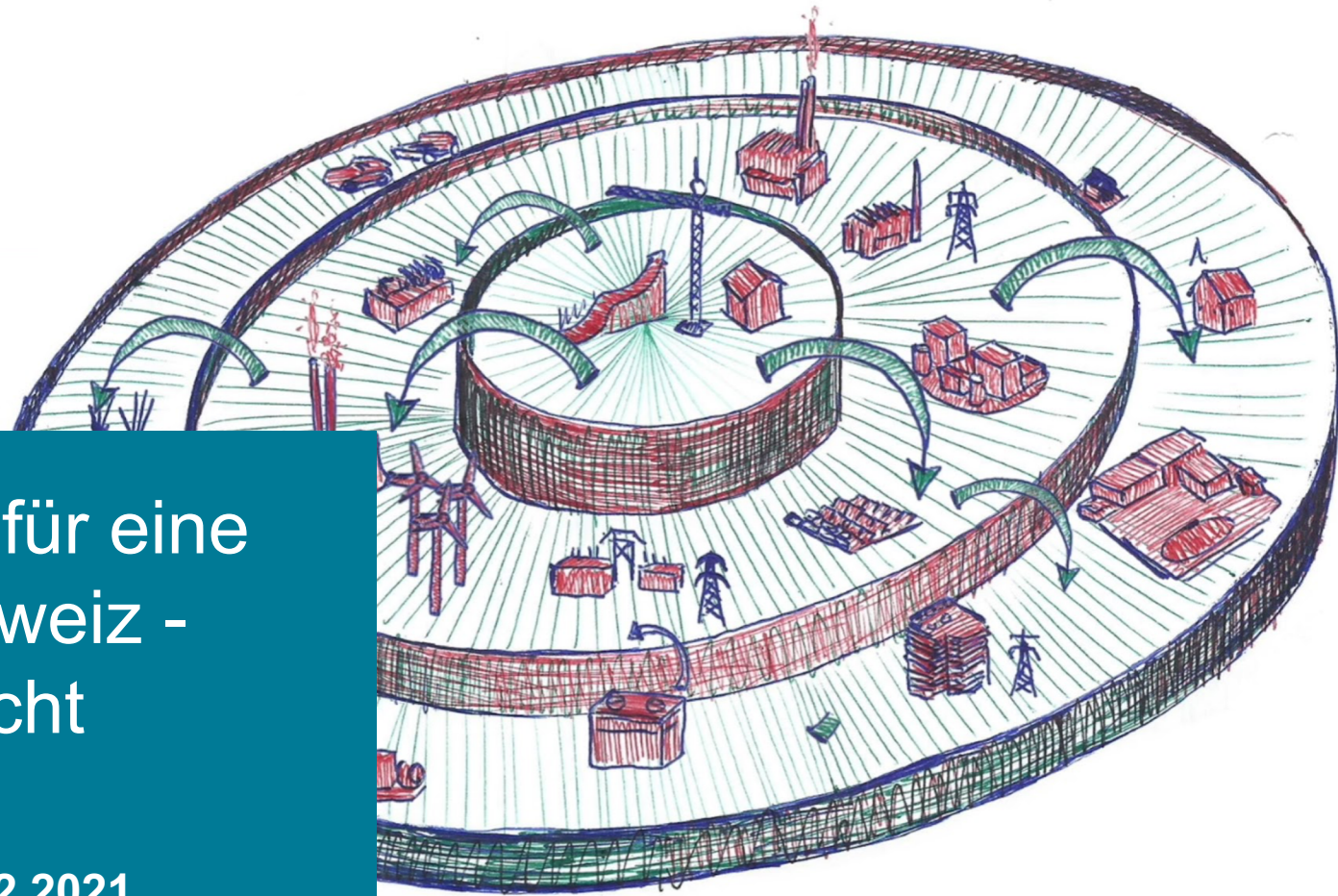


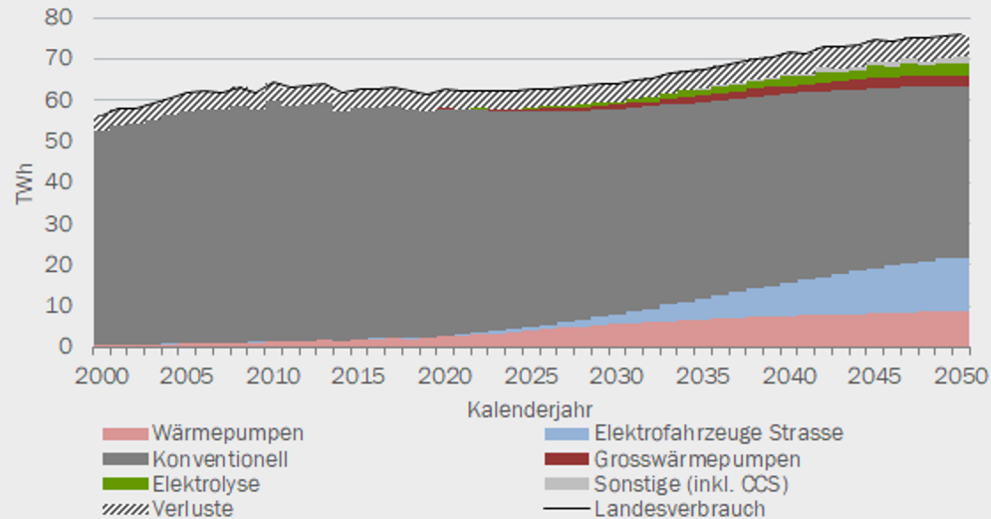
# Energieszenarien für eine klimaneutrale Schweiz - technologische Sicht

Energy Week @ ETH, 01.12.2021  
Prof. Gabriela Hug



# Motivation | Steigender Strombedarf, Ausstieg aus der Kernkraft, und fehlendes Stromabkommen mit der EU als zentrale Herausforderungen

Erwarteter Strombedarf der Schweiz, 2020-2050 <sup>1</sup>



- ❖ Zusätzlicher Strombedarf von rund **14 TWh bis 2050**, entspricht einer **Zunahme von 25%** im Vergleich zu heute
- ❖ **Elektrifizierung der Heizungen** (Wärmepumpen) und der **Mobilität** (Elektrofahrzeuge) als Haupttreiber für den steigenden Strombedarf

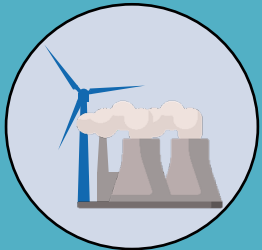


Was sind die Auswirkungen dieser Herausforderungen auf das Schweizer Stromsystem?

# Szenarien sind keine Vorhersagen! <sup>1</sup>

# Methodik | Nexus-e Plattform <sup>1</sup>

## Energiesystem Optimierung <sup>i</sup>



## Stromsystem Optimierung

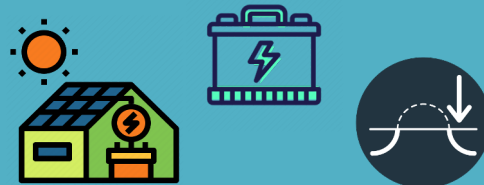
### Zentrale Stromerzeuger und -speicher



## Lebenszyklusanalyse <sup>i</sup>



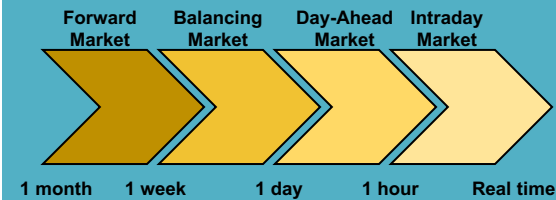
### Dezentrale Stromerzeuger und -speicher <sup>ii</sup>



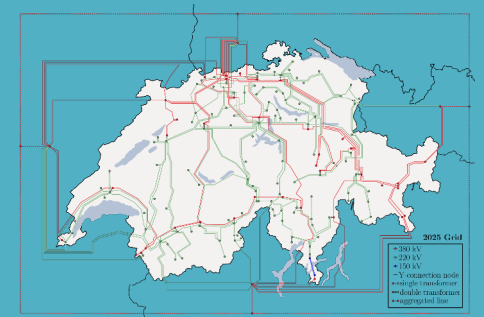
i: in Entwicklung

ii: Zwei unterschiedliche Versionen: Optimierung und Simulation

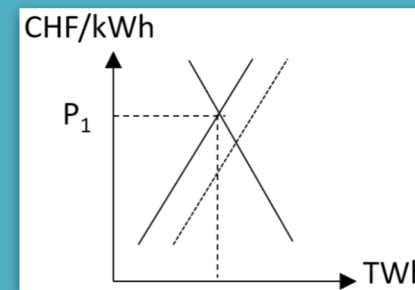
## Strommarkt Optimierung



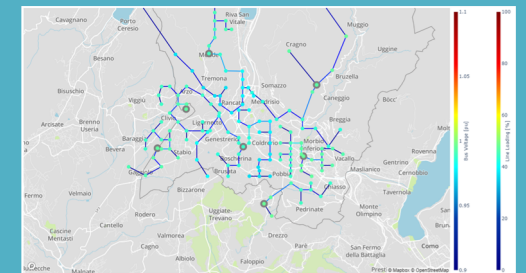
## Analyse des Übertragungsnetzes



## Makroökonomische Analyse

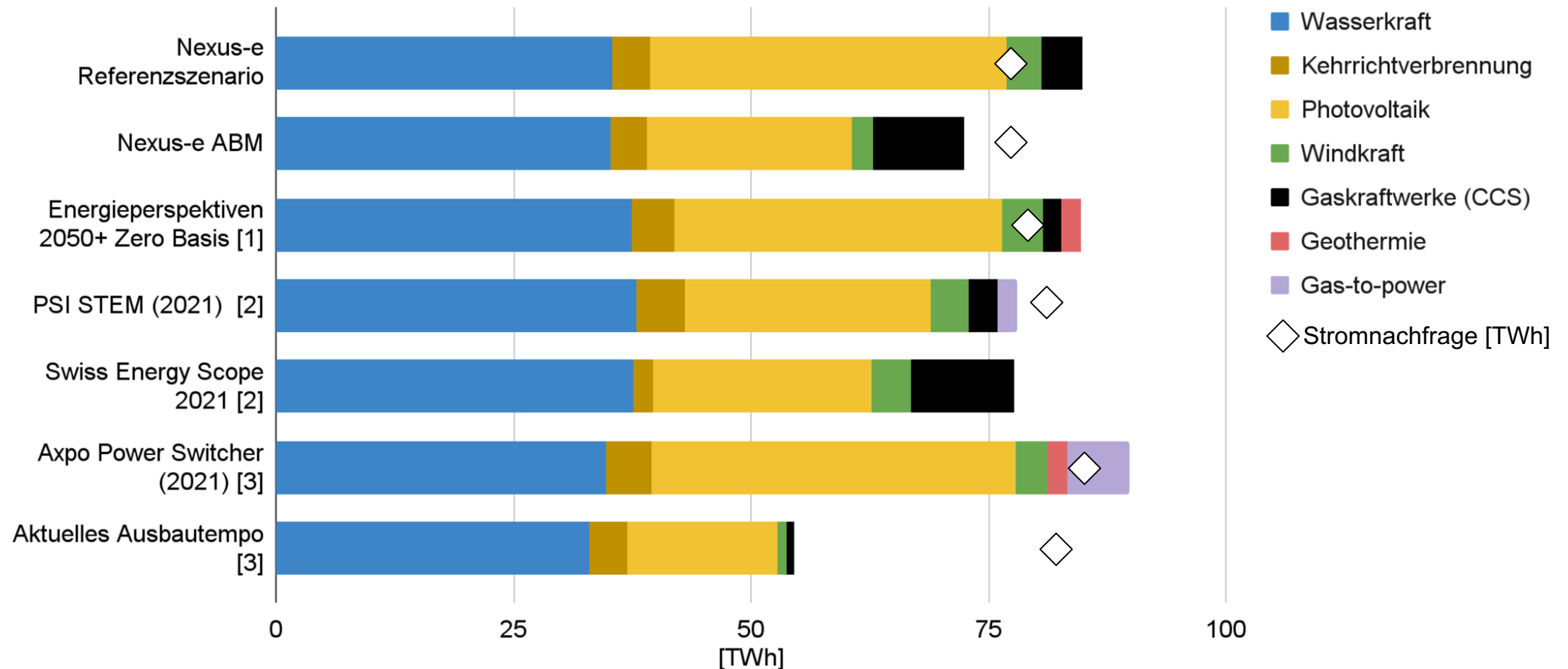


## Analyse des Verteilnetzes <sup>i</sup>





# Vergleich Netto-Null Szenarien 2050 | Stromerzeugung Schweiz

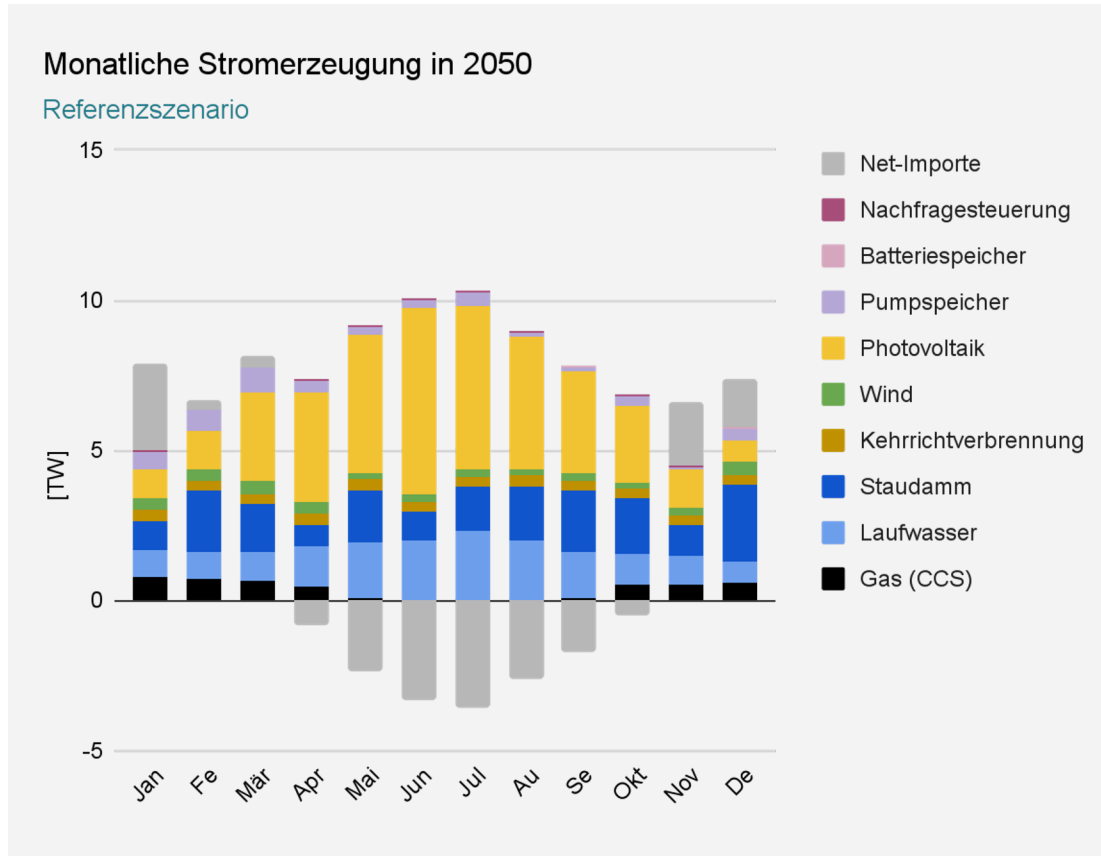


[1]: BFE Energieperspektiven 2050+, Szenario Zero Basis, <https://www.bfe.admin.ch/bfe/en/home/policy/energy-perspectives-2050-plus.html>

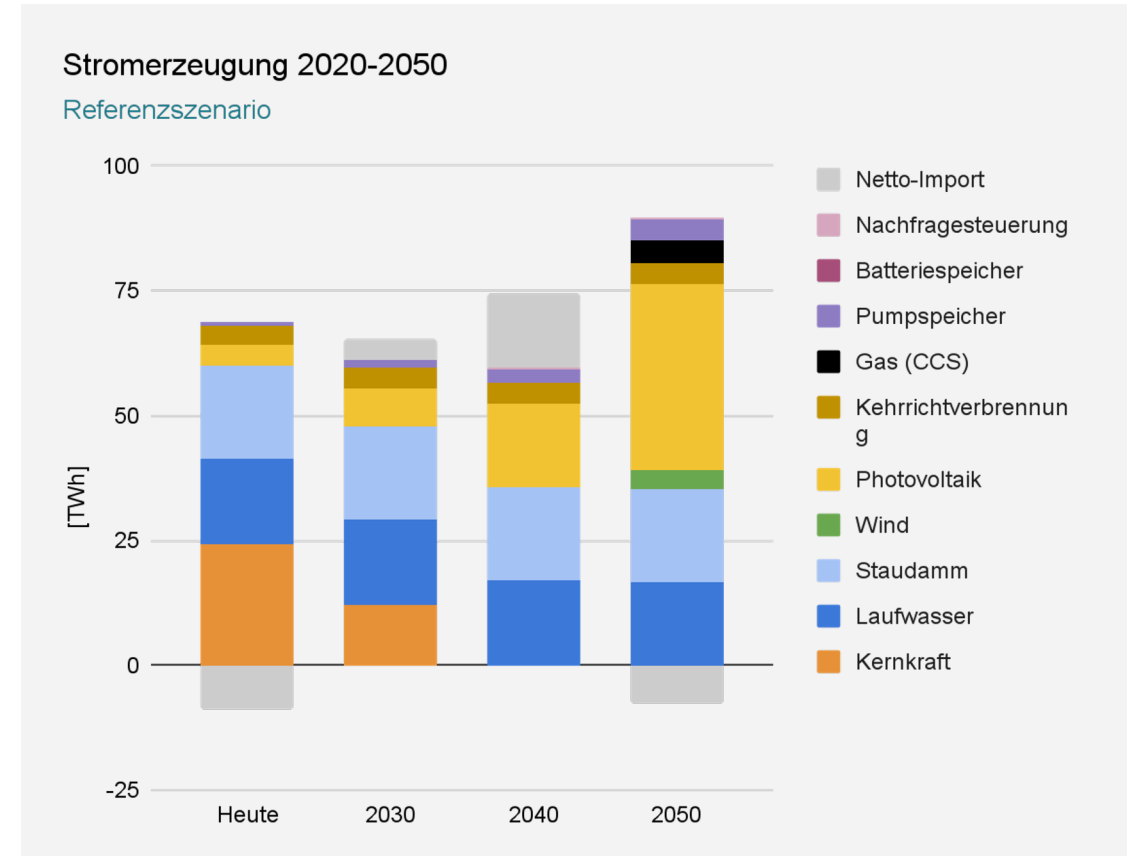
[2]: JASM (2021). Transformation of the Swiss Energy System for a Net-Zero Greenhouse Gas Emission Society. JASM synthesis report.

[3]: Axpo Power Switcher (2021). <https://powerswitcher.axpo.com/>

# Referenzszenario Nexus-e | Starker Zubau von Photovoltaik-Anlagen gleicht Ausstieg aus Kernkraft nur langfristig aus



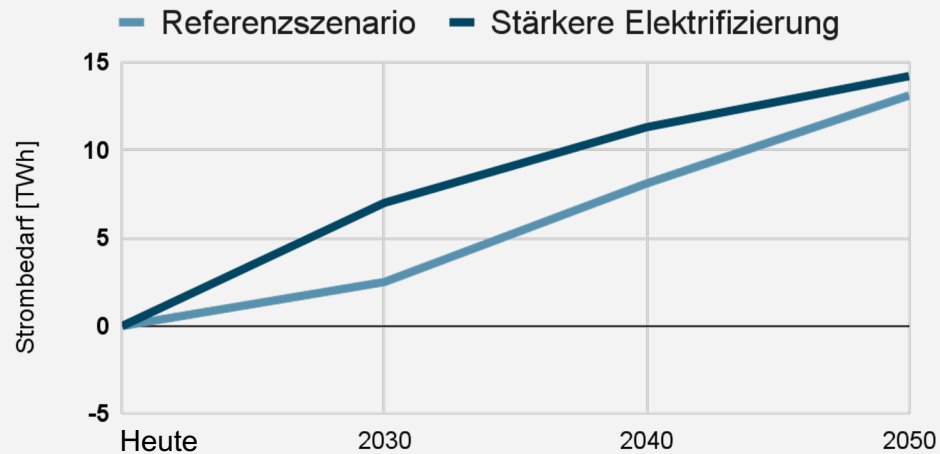
Die Schweiz bezieht - wie auch heute schon - Strom aus den Nachbarländern in Wintermonaten und exportiert dafür Solarstrom in den Sommermonaten



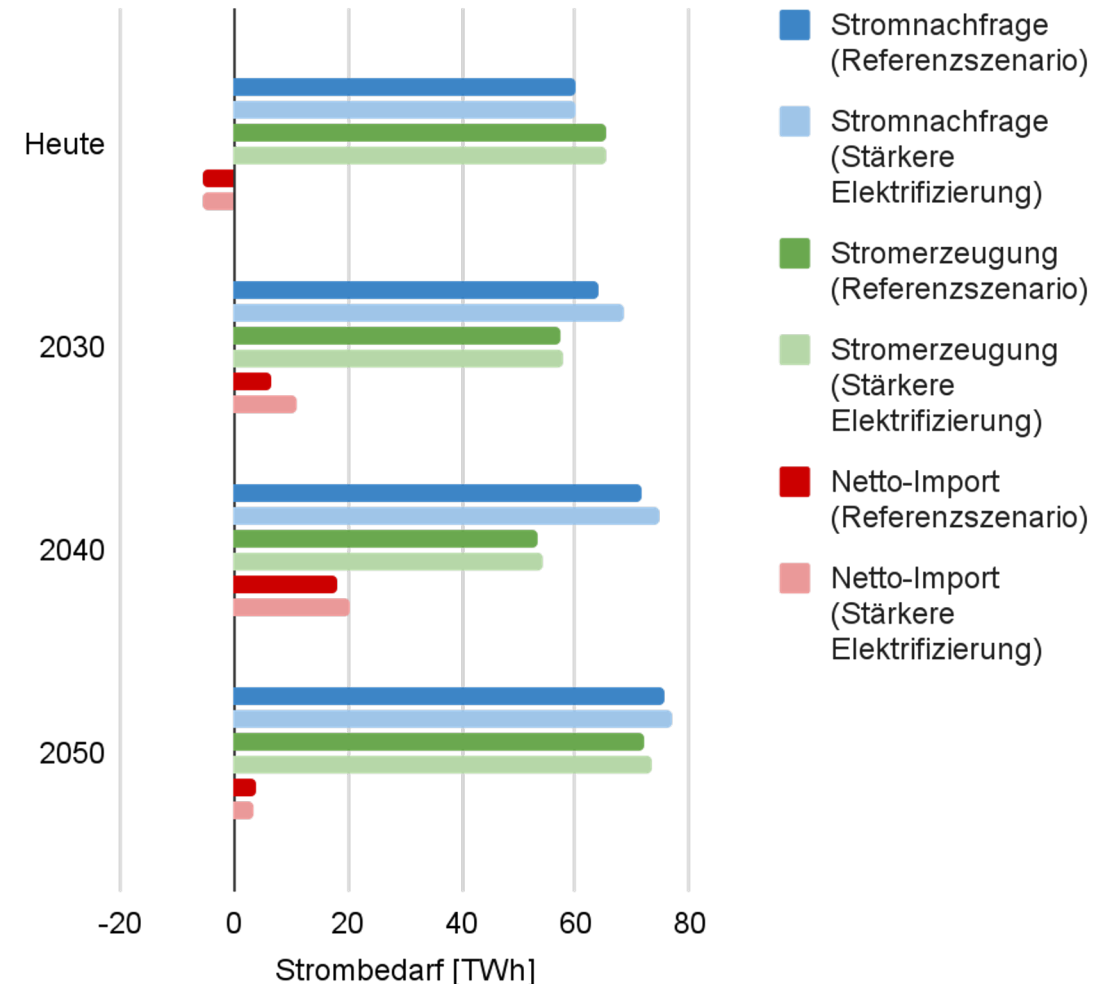
Hohe Importe vor allem in 2030 und 2040, da Ausstieg aus Kernkraft erst langsam durch Zubau von PV-Anlagen ausgeglichen wird

# Studie 1 | Schnellerer und höherer Anstieg des Strombedarfs durch Elektrofahrzeuge wird vorwiegend durch Importe abgedeckt

## Wir vergleichen 2 Szenarien



- Höherer Strombedarf durch Elektromobilität wird teilweise durch Investitionen in zusätzliche Stromerzeugungskapazitäten abgedeckt
- Netto-Importe steigen in 2040 auf über 20% des inländischen Strombedarfs

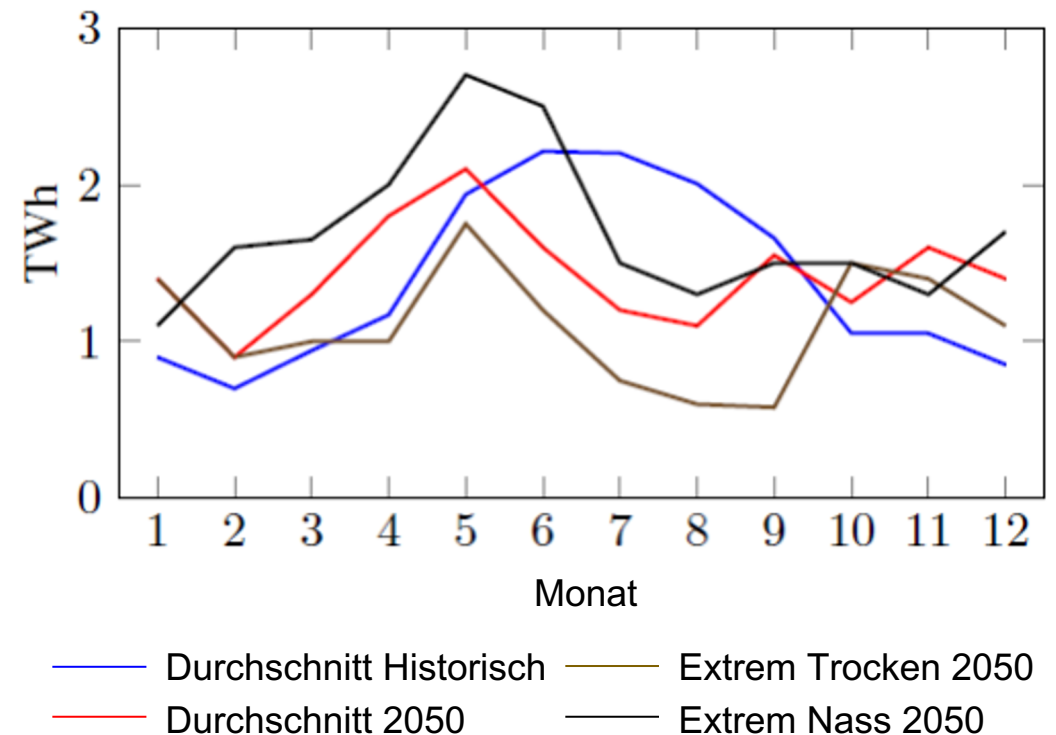


# Studie 2 | Klimawandel und Wasserkraft

## Wie wirkt sich der Klimawandel auf die Verfügbarkeit von Wasserressourcen und Wasserkraft aus? <sup>1</sup>

- In 2050 wird **weniger Wasser** in den Flüssen in der Schweiz fließen
- Verfügbarkeit von Wasserkraft verschiebt sich **vom Sommer in den Frühling**
- Extreme Jahre werden **noch extremer**

## Zuflussraten von Laufwasserkraftwerken für 4 hydrologische Szenarien <sup>1</sup>



[1]: J. Savelsberg, M. Schillinger, I. Schlecht, and H. Weigt, "The impact of climate change on Swiss hydropower," Sustainability, vol. 10, 7 2018.  
[2]: Raycheva et al (Submitted to PES GM 2022 Conference). Generation Expansion Planning in Switzerland Considering Climate Change Scenarios

# Studie 2 | Klimawandel und Wasserkraft

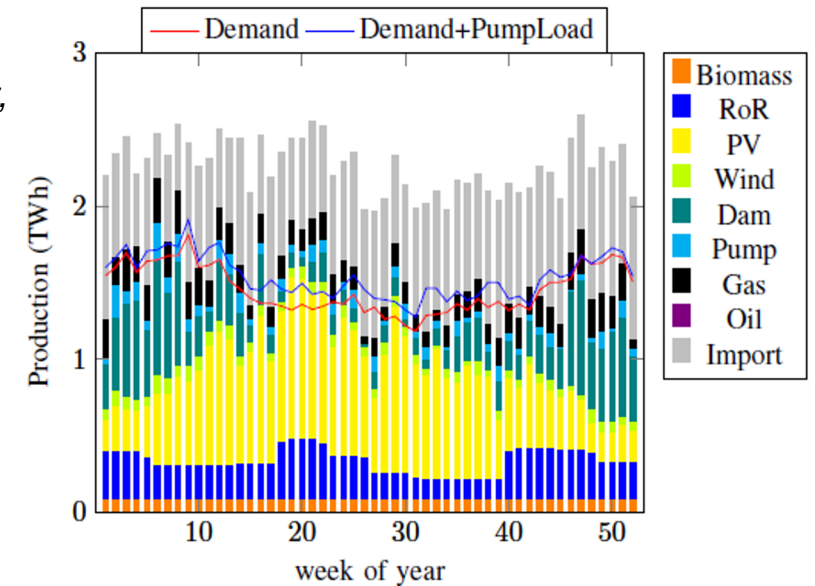
## Wie wirkt sich der Klimawandel auf die Verfügbarkeit von Wasserressourcen und Wasserkraft aus? <sup>1</sup>

- In 2050 wird **weniger Wasser** in den Flüssen in der Schweiz fließen
- Verfügbarkeit von Wasserkraft verschiebt sich **vom Sommer in den Frühling**
- Extreme Jahre werden **noch extremer**

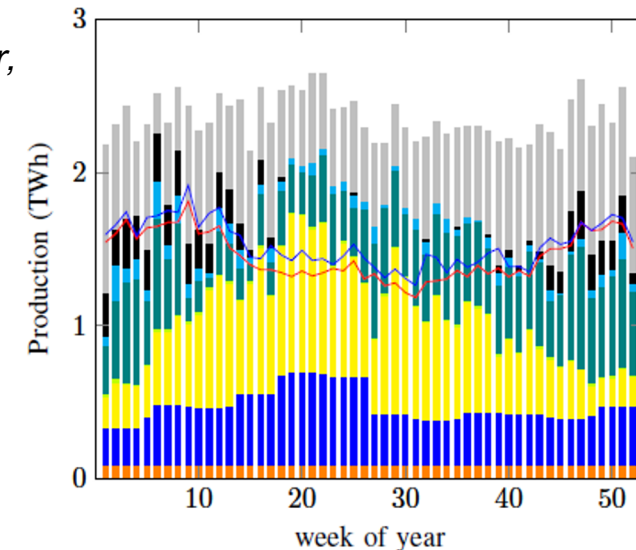
## Was bedeutet das für das Schweizer Stromsystem? <sup>2</sup>

- **Weniger Stromproduktion** aus Wasserkraft in einem Jahr, ...
- ... aber mehr in den Wintermonaten. Dadurch **weniger Bedarf an Stromimporten**.
- **Investitionsentscheidungen schwieriger** aufgrund hoher jährlicher Unterschiede

Dry year,  
2050



Wet year,  
2050

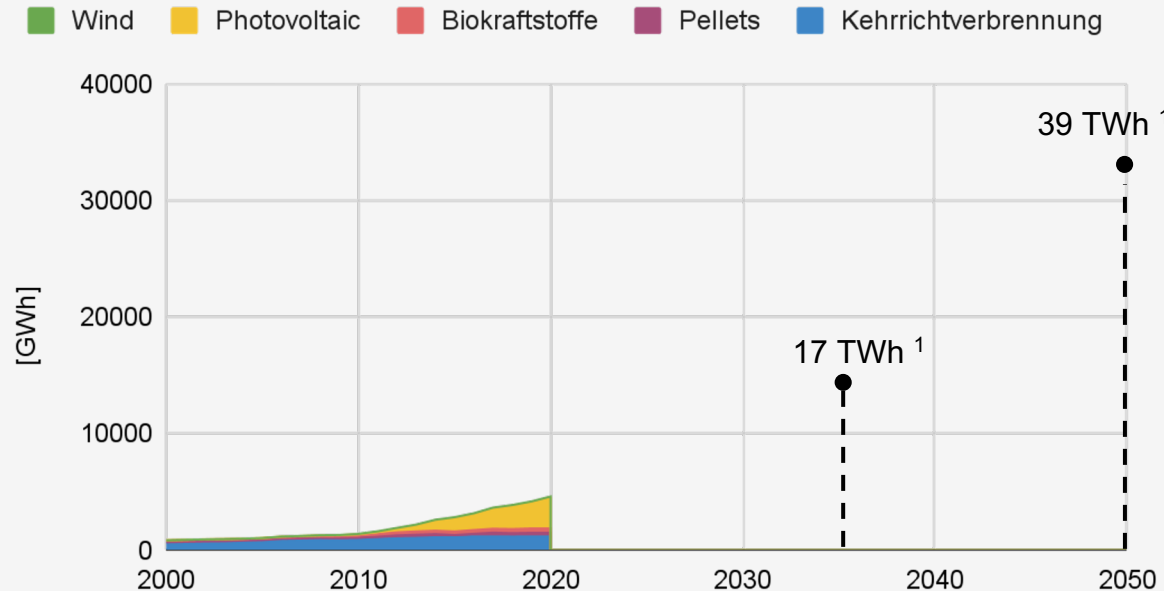


[1]: J. Savelsberg, M. Schillinger, I. Schlecht, and H. Weigt, "The impact of climate change on Swiss hydropower," Sustainability, vol. 10, 7 2018.  
[2]: Raycheva et al (Submitted to PES GM 2022 Conference). Generation Expansion Planning in Switzerland Considering Climate Change Scenarios



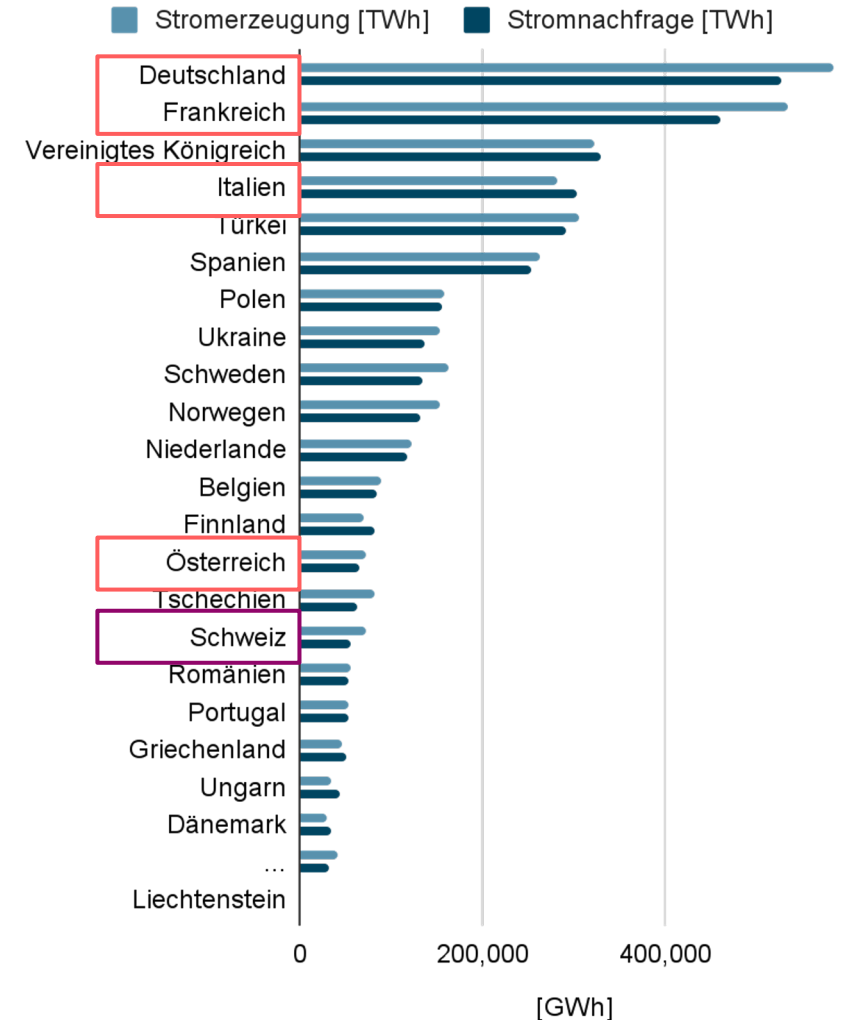
# Studie 3 | Schweizer Stromsystem und seine Nachbarn

Stromerzeugung Erneuerbare Energien (exkl. Wasserkraft) Schweiz <sup>2</sup>



**Wie abhängig ist die Zielerreichung für Erneuerbare Energien in der Schweiz von den Entwicklungen in den Nachbarländern?**

Stromerzeugung und -nachfrage in Europa, 2020 <sup>3</sup>



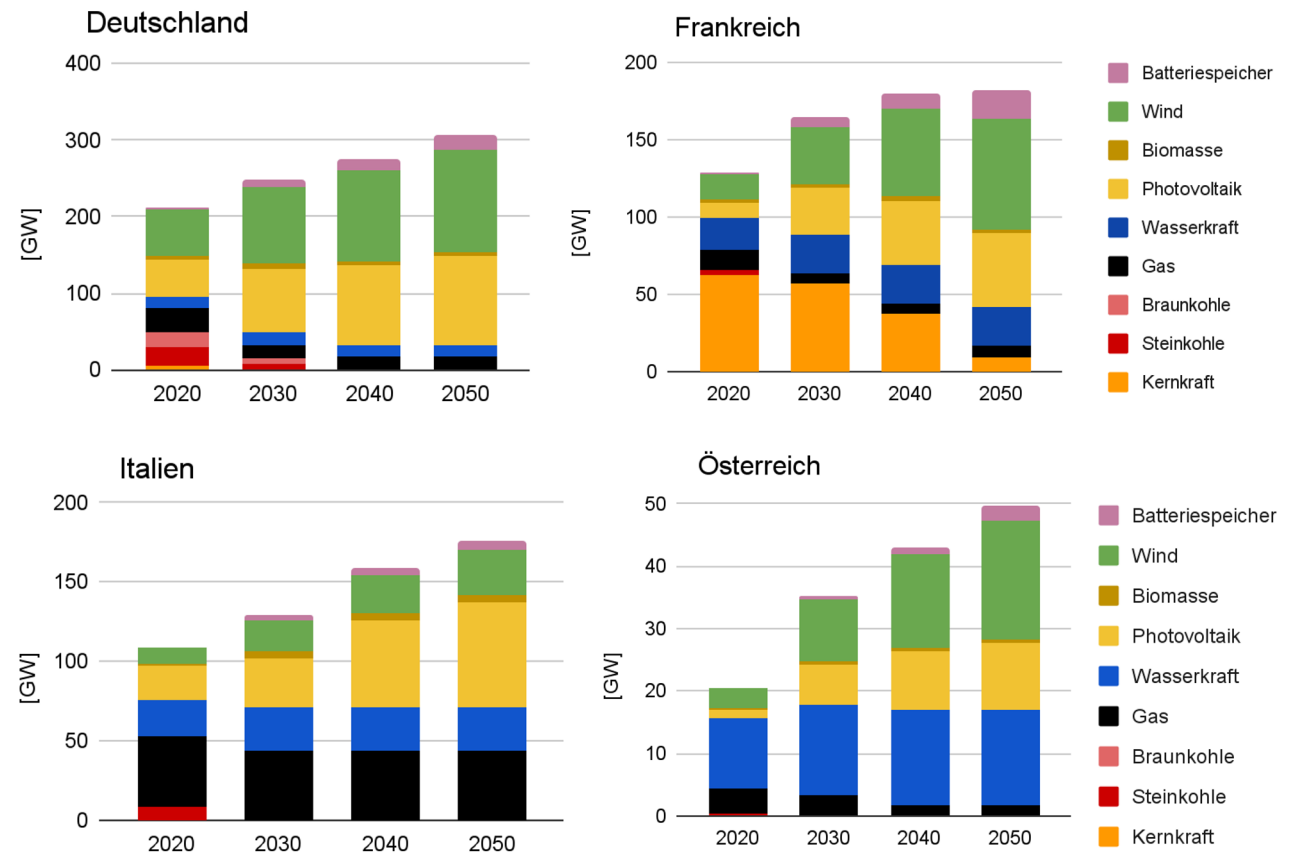
# Studie 3 | Schweizer Stromsystem und seine Nachbarn

**Referenzszenario:** Entwicklung in Nachbarländern (Österreich, Deutschland, Frankreich, Italien) gemäss ENTSO-E TYNDP “Global Ambition” Szenario

**Szenario “Überkapazität Erneuerbare Energien (EE)”:** Nachbarländer mit 50% mehr Wind- und Solarstrom in allen Szenario-Jahren im Vergleich zum Referenzszenario

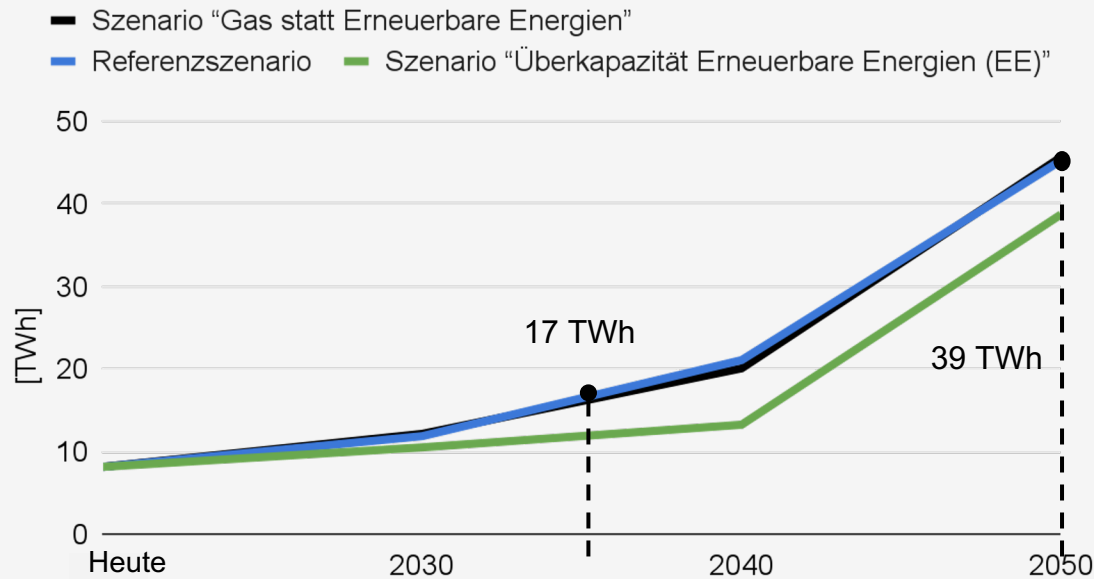
**Szenario “Gas statt Erneuerbare Energien”:** 50% weniger Wind- und Solarstrom, dafür mehr Gaskraftwerke

Entwicklung Nachbarländer im Referenzszenario (von TYNDP 1)



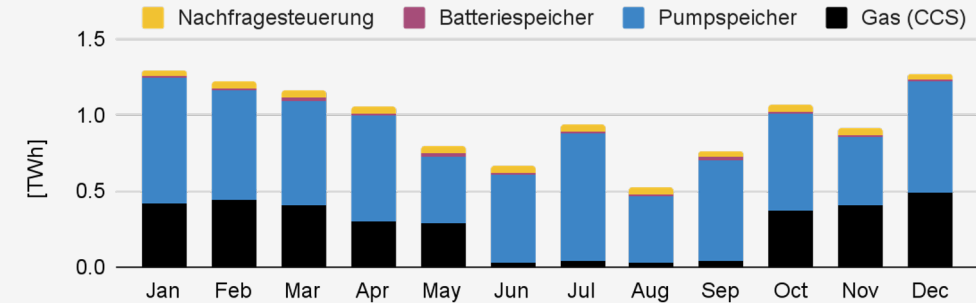
# Studie 3 | Schweizer Stromsystem und seine Nachbarn

## Stromerzeugung Erneuerbare Energien (exkl. Wasserkraft) Schweiz

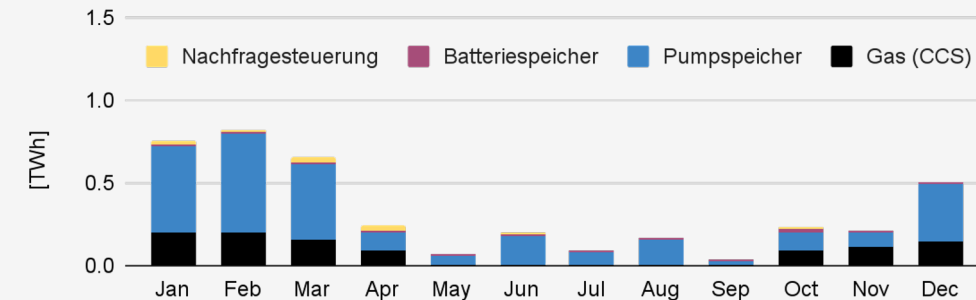


- ❖ 2035 und 2050 Zielwerte werden nicht erreicht wenn Nachbarländer hohen Zubau von Erneuerbarer Energien anstreben
- ❖ Im Referenzszenario und "Gas statt Erneuerbare Energien" Szenario werden alle Zielwerte erreicht

## Szenario "Überkapazität Erneuerbare Energien"

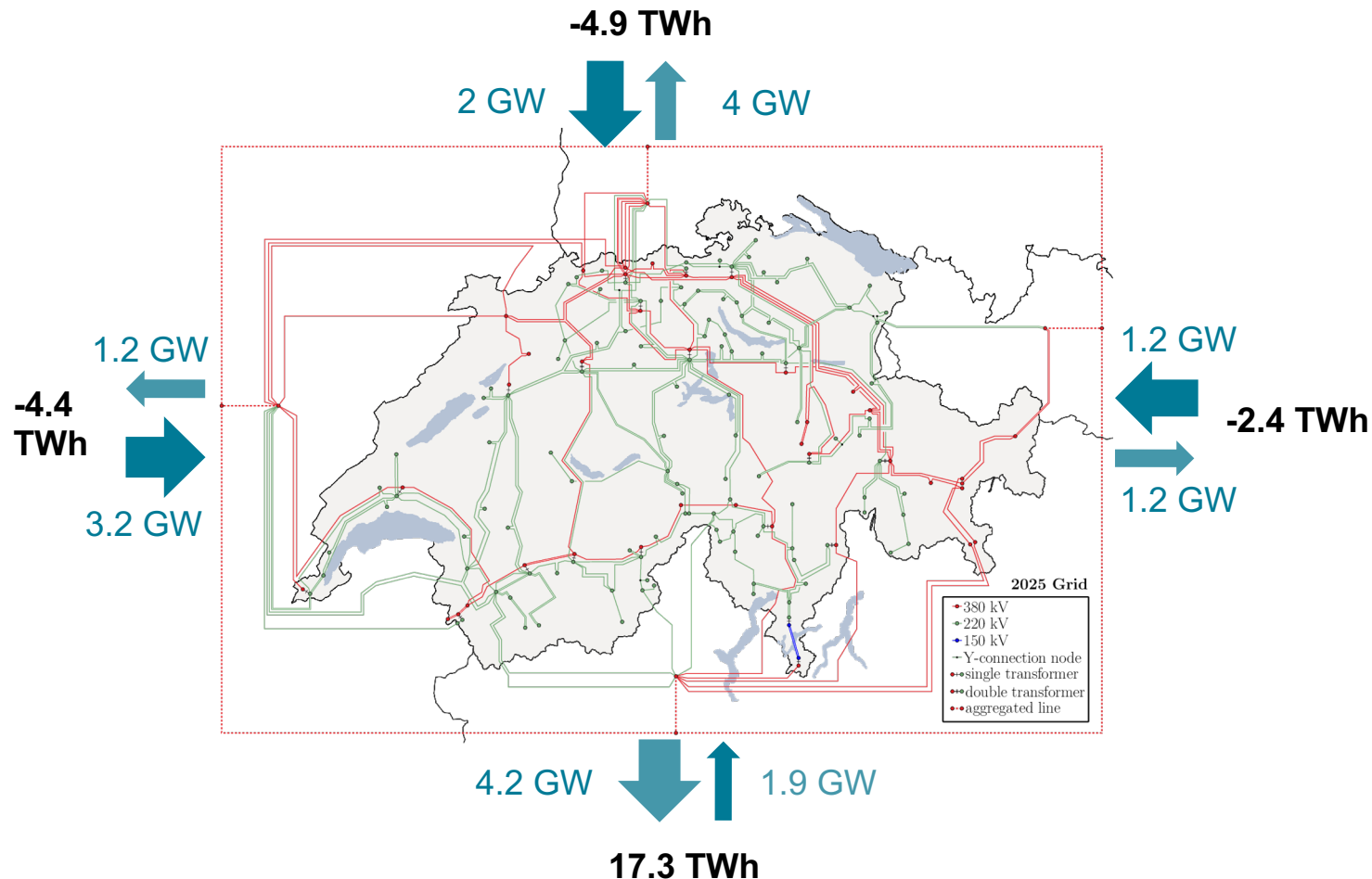


## Szenario "Gas statt Erneuerbare Energien"



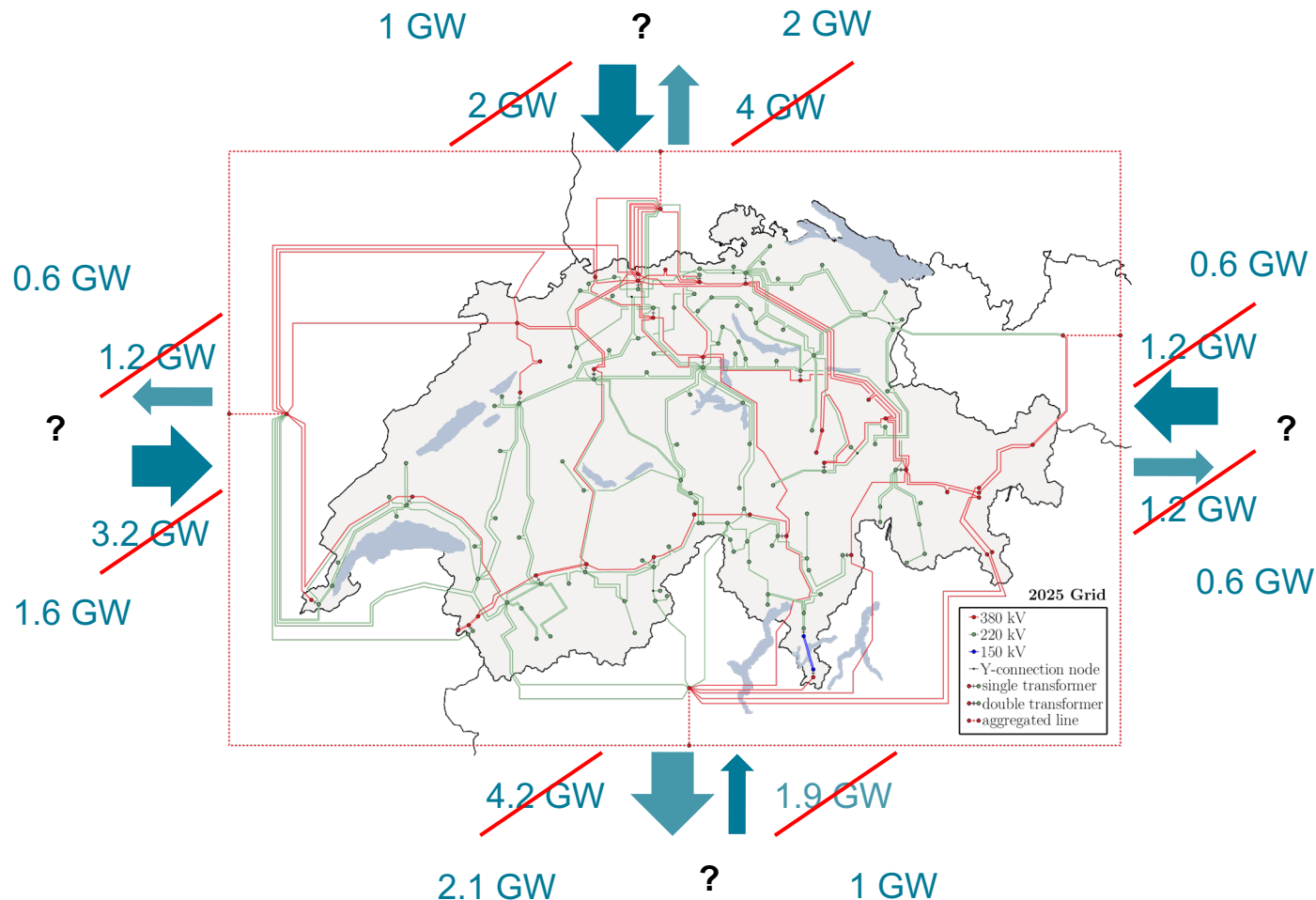
- ❖ Bei Überkapazität von Erneuerbaren in Nachbarländer wird der Zubau von flexiblen Einheiten kosteneffizienter als Erneuerbare Energien
- ❖ Flexibilität (Gas) in Nachbarländern reduziert Einsatz von flexiblen Einheiten (Pumpspeicher) in der Schweiz

# Studie 4 | Wichtigkeit des Stromhandels für das Schweizer Stromsystem



- ❖ Die Schweiz ist ein **Stromtransit-Korridor**
- ❖ Problematisch sind **ungeplante Transite**
- ❖ Ab 2025, 70% der Kapazität der grenzüberschreitenden Leitungen für EU Stromhandel reserviert
- ❖ **Einschränkungen des Stromhandels** könnte die Versorgungssicherheit in der Schweiz schwächen

# Studie 4 | Wichtigkeit des Stromhandels für das Schweizer Stromsystem



Net Transfer Capacities (NTC) 2022: Swissgrid

Historical Net Exports 2020: Schweizerische Elektrizitätsstatistik 2020

- ❖ Die Schweiz ist ein **Stromtransit-Korridor**
- ❖ Problematisch sind **ungeplante Transite**
- ❖ Ab 2025, 70% der Kapazität der grenzüberschreitenden Leitungen für EU Stromhandel reserviert
- ❖ **Einschränkungen des Stromhandels** könnte die Versorgungssicherheit in der Schweiz schwächen

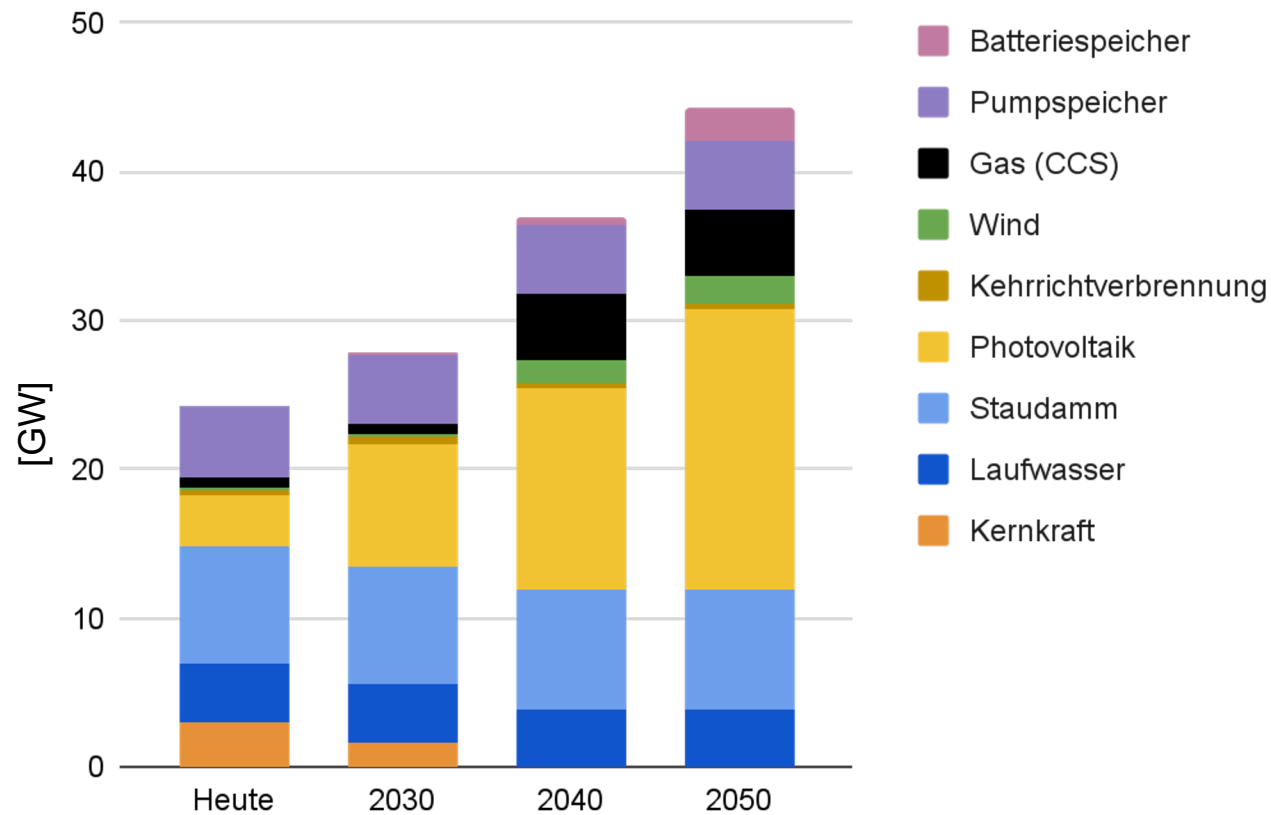
Was ist der Einfluss von Handelsbeschränkungen (NTCs - 50%) auf die Entwicklung des Schweizer Stromsystems?



# Studie 4 | Wichtigkeit des Stromhandels für das Schweizer Stromsystem

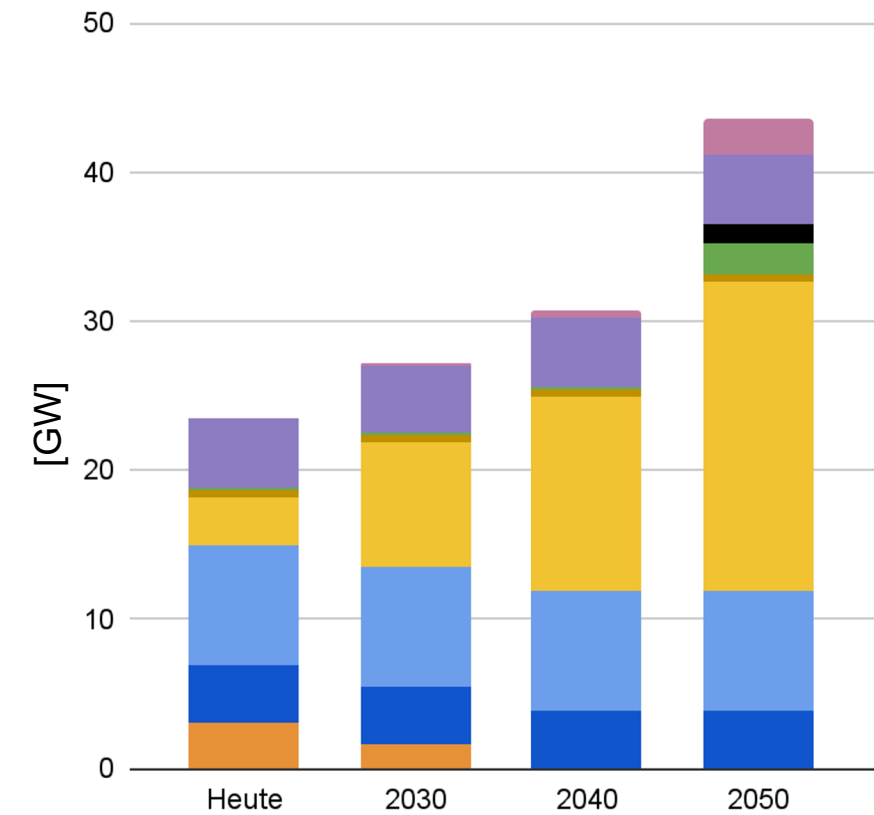
Installierte Stromerzeugungskapazität 2020-2050

Eingeschränkter Stromhandel (NTC -50%)



Installierte Stromerzeugungskapazität 2020-2050

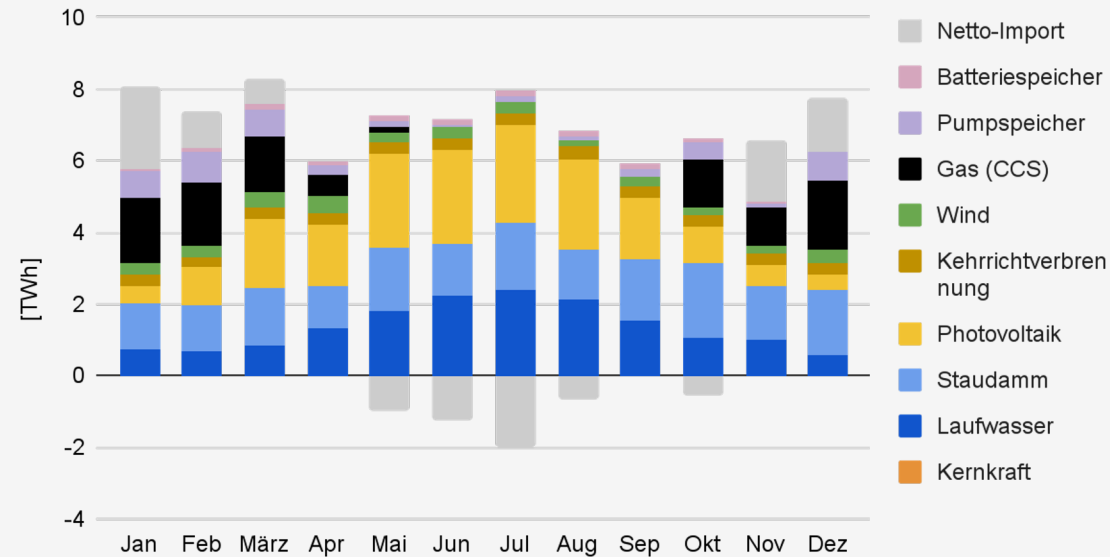
Referenzszenario



# Studie 4 | Wichtigkeit des Stromhandels für das Schweizer Stromsystem

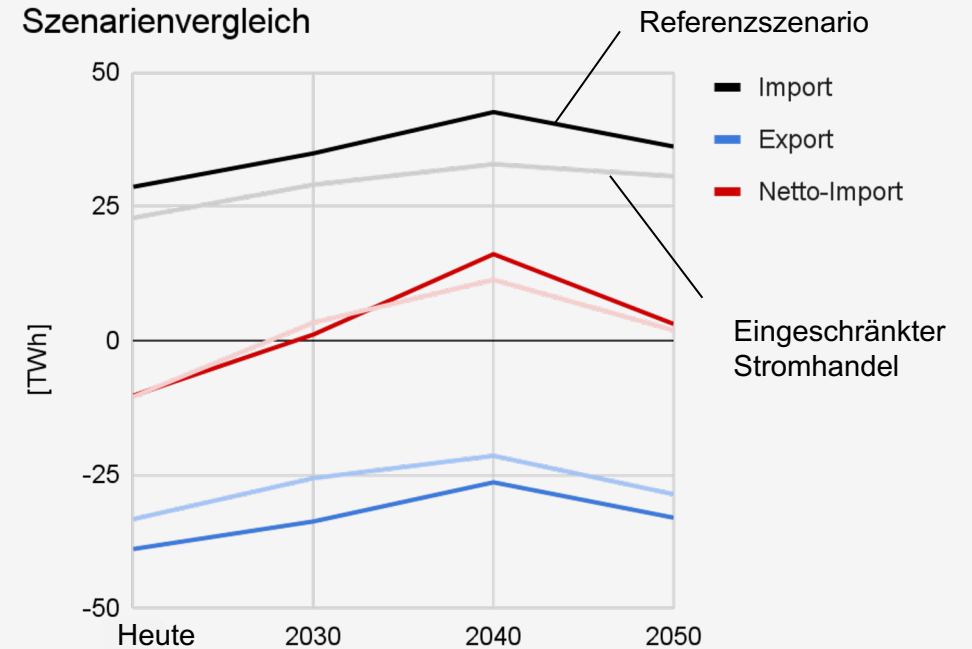
## Monatliche Stromerzeugung 2050

Eingeschränkter Stromhandel (NTC -50%)



- ❖ Gaskraftwerke decken grossen Anteil an Strombedarf in den Wintermonaten
- ❖ Im Sommer, aufgrund von Überkapazitäten an Erneuerbaren, kein Strom aus Gaskraftwerken notwendig

## Szenarienvergleich



- ❖ Einschränkung des Stromhandels [GW] um 50% führt zu 15-25% weniger Export und Import
- ❖ Netto-Importe leicht reduziert in 2040

# 5 Kernaussagen zum Mitnehmen



**Höhere Stromimporte als heute in den Wintermonaten** aufgrund Ausstieg aus der Kernenergie und steigendem Strombedarf, insbesondere 2030/2040



**Schnellere Elektrifizierung** von Transport und Wärme **verstärkt** die **Importabhängigkeit** mittelfristig, ist aber aus technischer und ökonomischer Sicht machbar



**Klimawandel** führt zu **saisonalen Veränderungen** in der Verfügbarkeit **der Wasserkraft** - auch stärkere Unterschiede zwischen Jahren erschweren Investitionsentscheidungen



Kostenoptimale Entwicklung des **Schweizer Stromsystems hängt von Entwicklungen in Nachbarländern** ab



Bei Einschränkung des Stromhandels mehr inländische Stromerzeugungskapazität notwendig



**Prof. Dr. Gabriela Hug**  
Power System Lab  
(PSL)



**Dr. Turhan Hilmi Demiray**  
Research Center for  
Energy Networks (FEN)



**Prof. Dr. Giovanni Sansavini**  
Reliability and Risk  
Engineering Laboratory  
(RRE)



**Prof. Dr. Massimo Filippini**  
Chair of Energy and  
Public Economics  
(EEPE)



**Prof. Dr. Andre Bardow**  
Chair of Energy and  
Process Systems  
Engineering (EPSE)



**Dr. Christian Schaffner**  
Energy Science Center  
(ESC)

# Danke für ihre Aufmerksamkeit.

Prof. Dr. Gabriela Hug  
[hug@eeh.ee.ethz.ch](mailto:hug@eeh.ee.ethz.ch)

Weitere Informationen unter:  
[www.nexus-e.ethz.ch](http://www.nexus-e.ethz.ch)



**Dr. Jared Garrison**  
FEN



**Dr. Blazhe Gjorgiev**  
RRE



**Dr. Mengshuo Jia**  
PSL



**Dr. Florian Landis**  
EEPE



**Ludger Leenders**  
EPSE



**Elena Raycheva**  
PSL



**Han Xuejiao**  
PSL



**Dr. Marius Schwarz**  
ESC



**Pranjali Jain**  
ESC

**ETH** zürich

**FEN**  
RESEARCH CENTER FOR ENERGY NETWORKS  
FORSCHUNGSSTELLE ENERGIENETZE

**PSL** | Power  
Systems  
Laboratory

**epse**  
ENERGY & PROCESS | SYSTEMS ENGINEERING

**Energy  
Science  
Center**

**RRE**  
Reliability and Risk Engineering

**ETH** zürich

Energy Science Center (ESC)