

Technische Lösungen für die Dekarbonisierung – zentral, dezentral und integriert

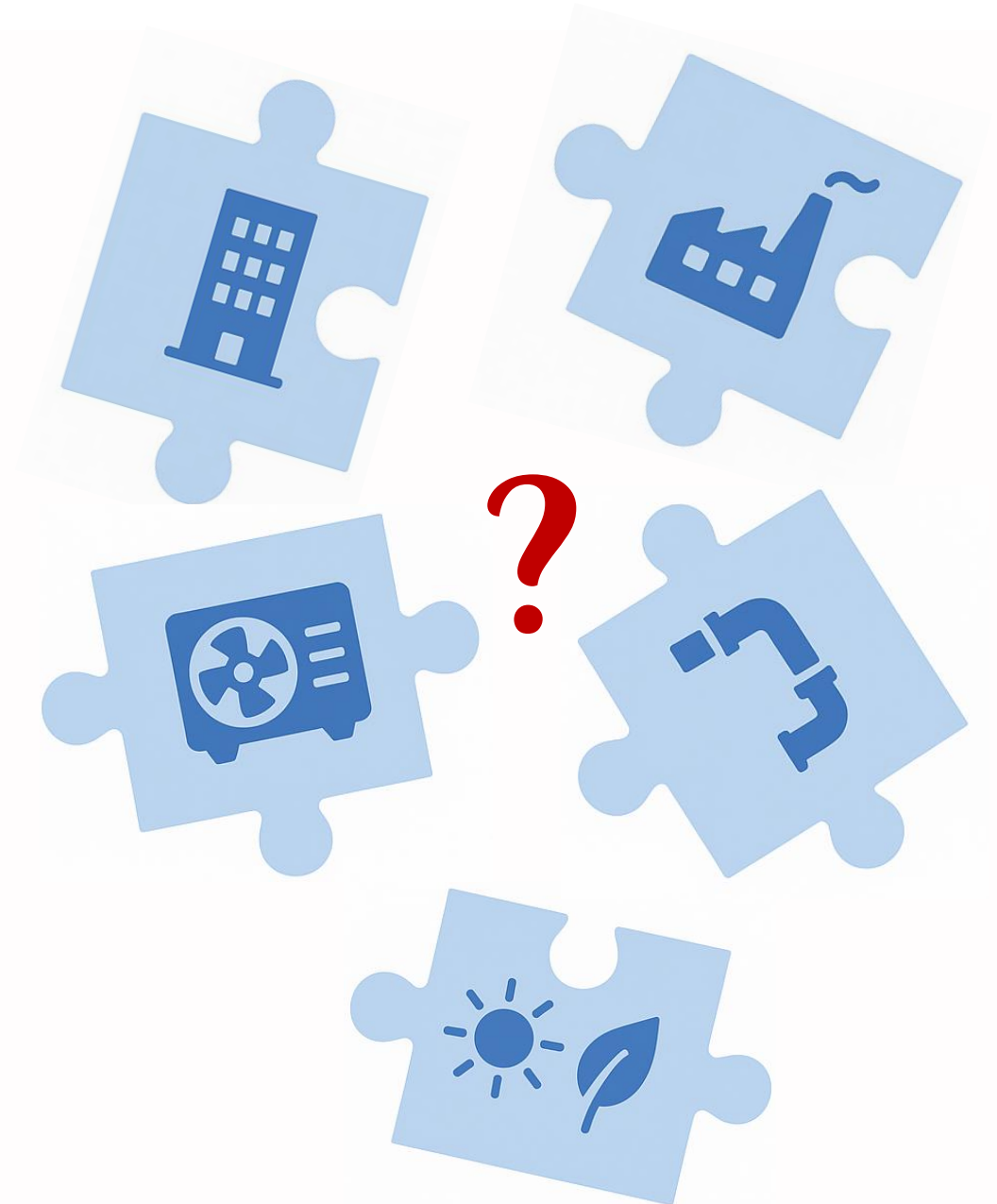
Rahmenbedingungen,
Herausforderungen und der Bedarf
an Systemintegration

Prof. Dr. Natasa Vulic

Erneuerbare Energien und Gebäudetechnik (EEGT)

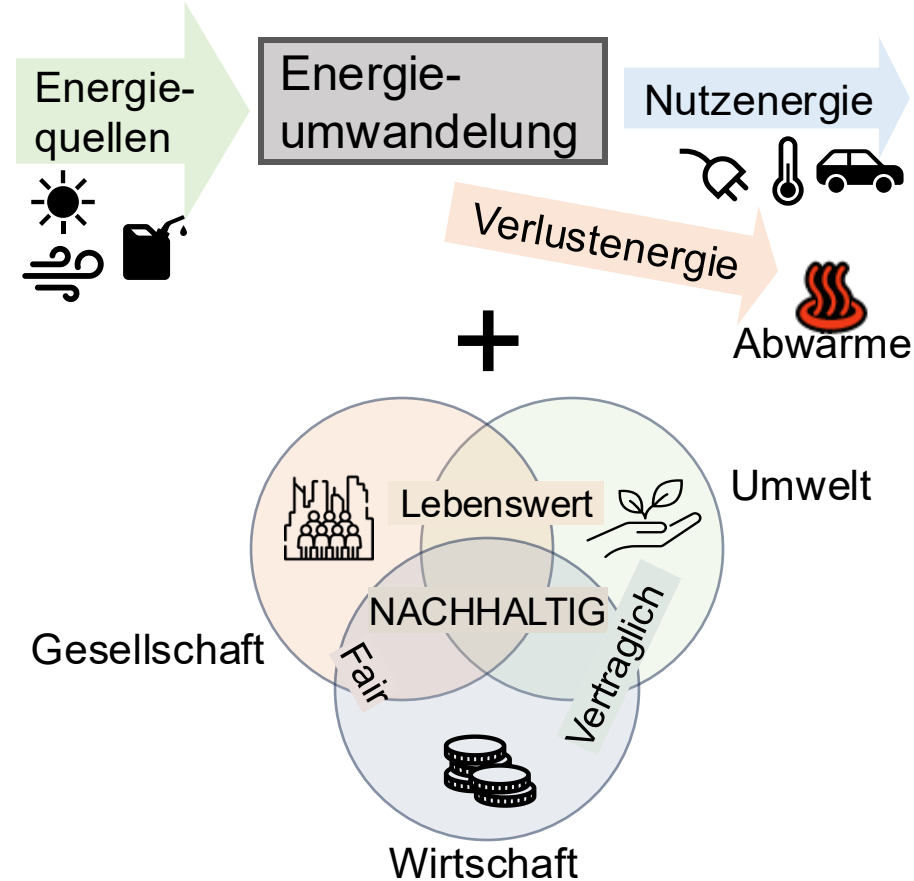
Institut für Nachhaltigkeit und Energie am Bau (INEB)

12.11.2025

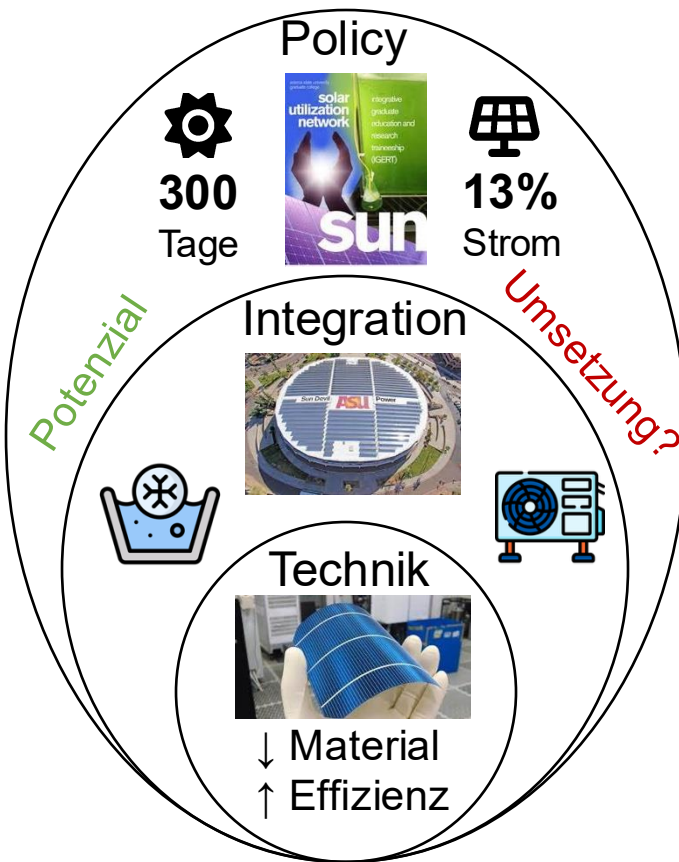


Disziplinübergreifende Ansätze im Energiesystemdesign

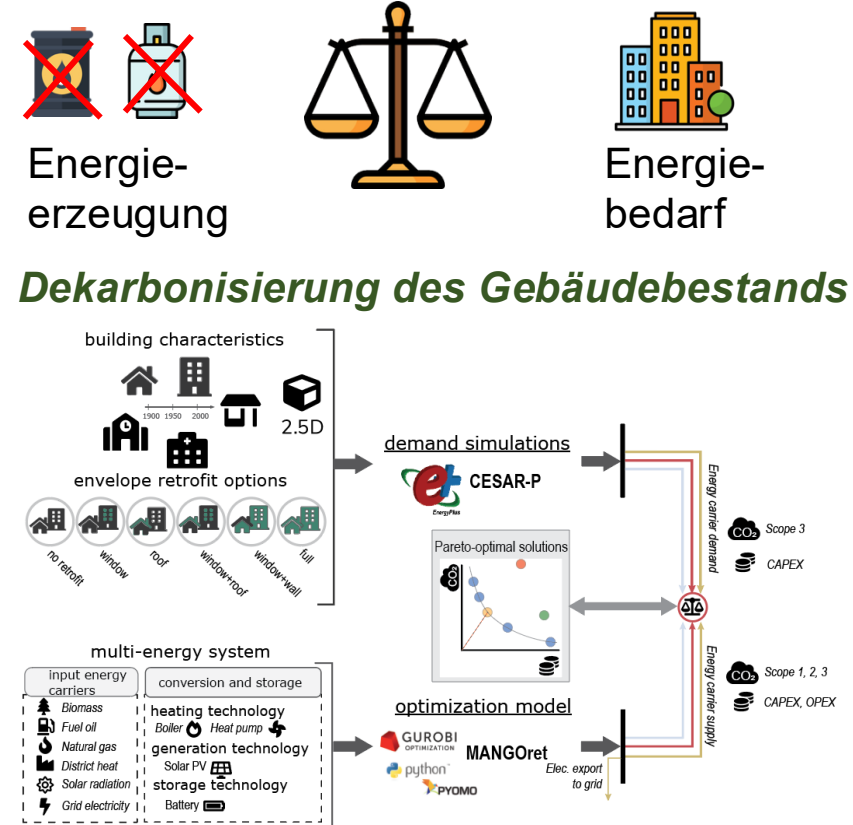
Nachhaltige Energietechnologien



PV Technik und Integration



Integrierte Multienergiesysteme



Quelle: N Vulic et al, ECOS, 2024

BSc Maschinenbau (Energie und Umwelt)
BSc Nachhaltigkeit (Nach. Energietechnologien)

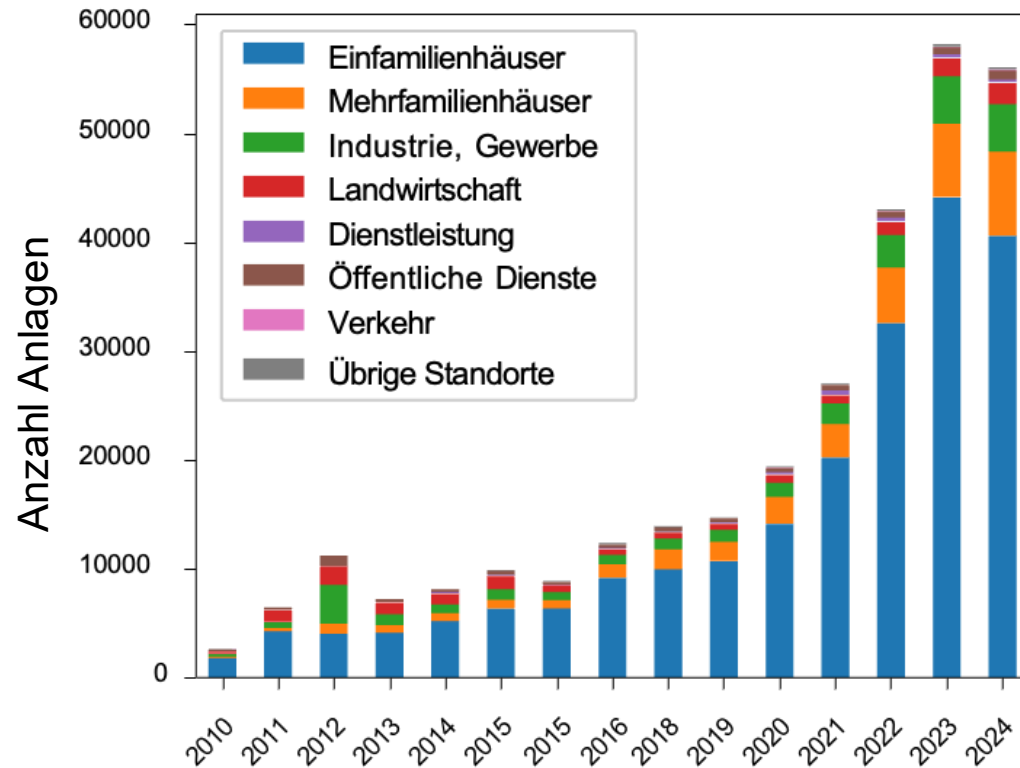
MSE Elektrotechnik
PhD Elektrotechnik (Solar Zellen)

Postdoc, Urban Energy Systems, Empa
Scientist, Urban Energy Systems, Empa

Photovoltaik und Wärmepumpen als Treiber der Energiewende

Die jährlich installierte PV-Anlagen

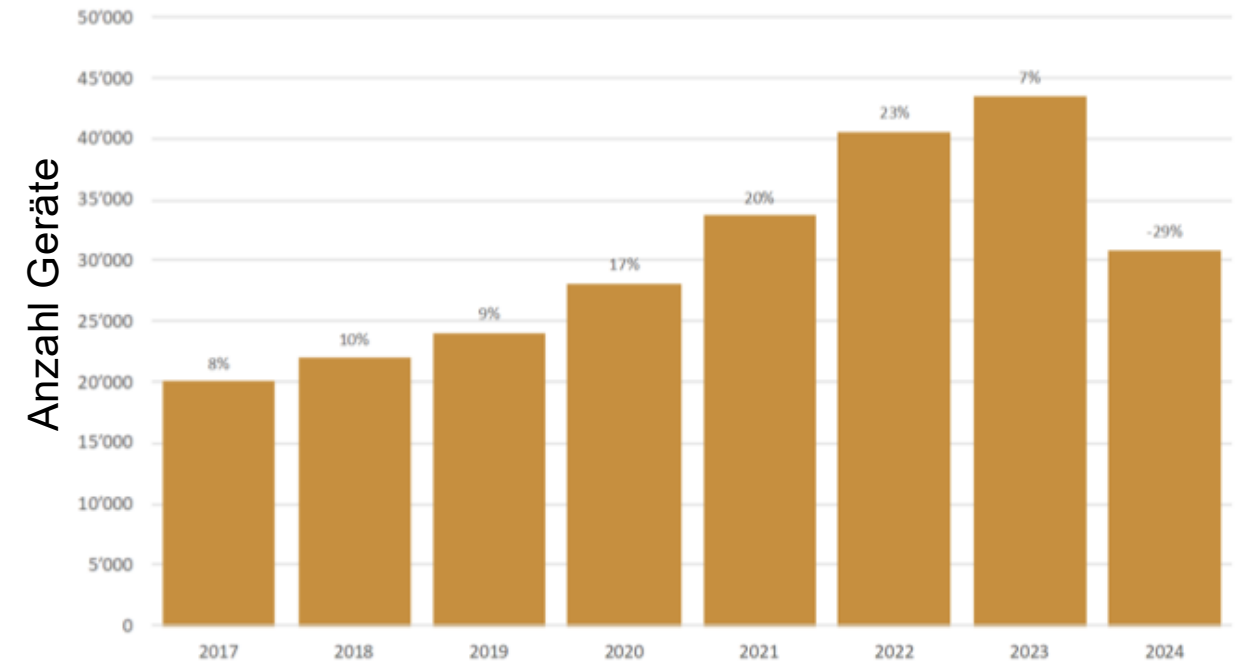
Installationen 2021-2024 x2



Daten: Swissolar

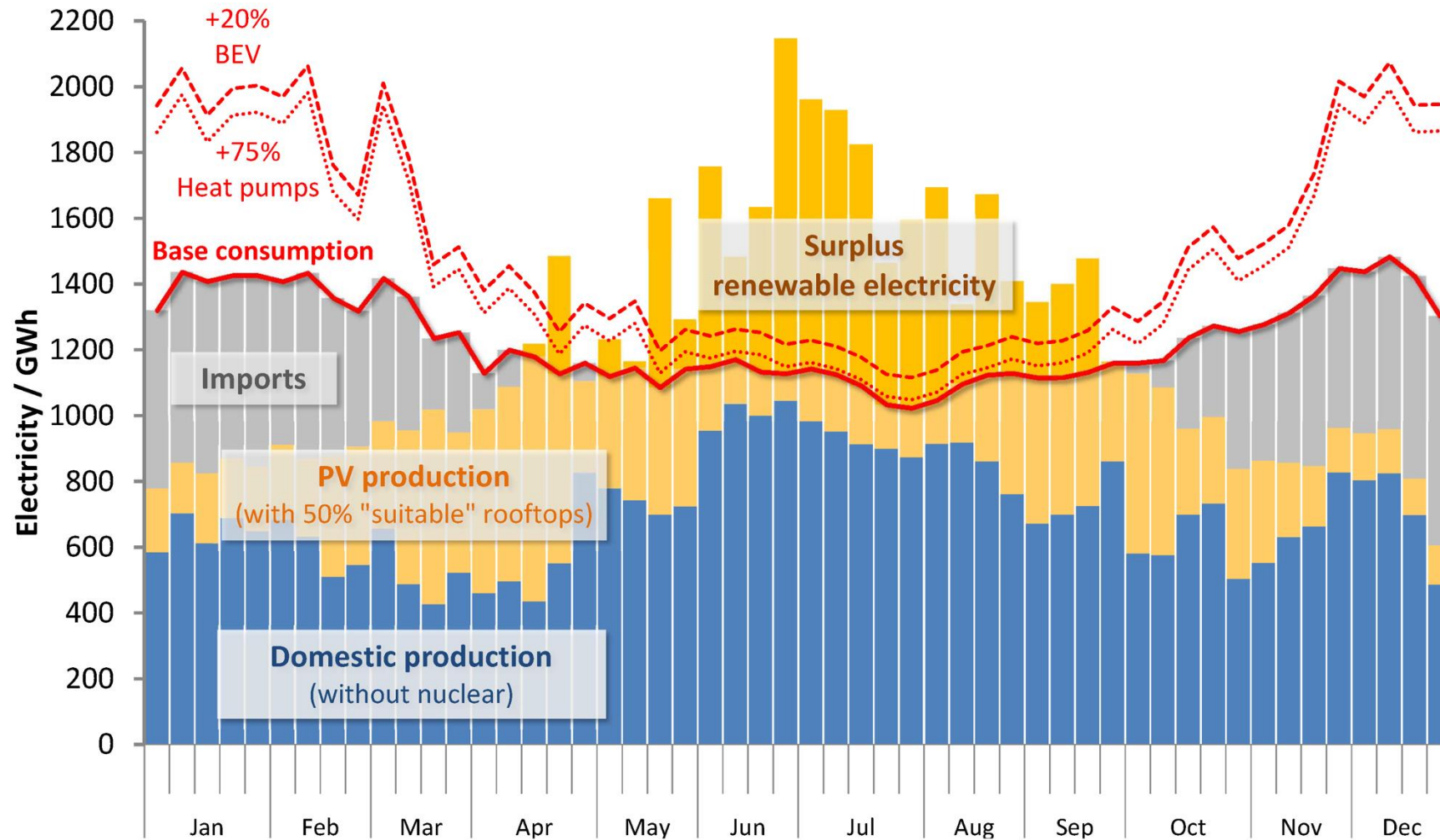
Die jährlich installierte WP-Anzahl Geräte

Installationen 2017–2023 × 2 → Rückgang ab 2024



Quelle: FWS

...und eine Herausforderung für das Energiesystem?



Quelle: M. Rüdisüli et al., *Energies*, 2019

Über das Grundstück hinaus und Teil des Energiesystems

Importierte Energieträger

Heizöl



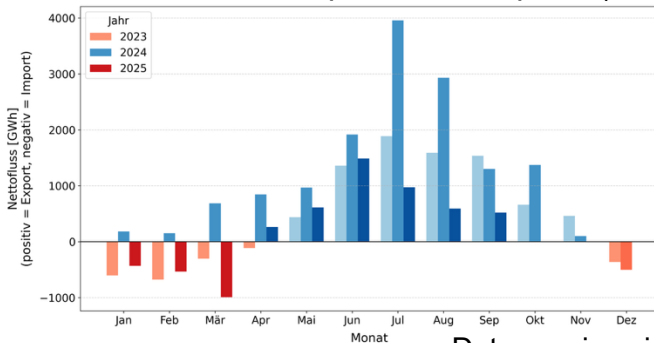
Erdgas



(Winter)strom



Monatliche Nettoimporte und -exporte (GWh)



Infrastruktur

Fernwärmenetz
Nahwärmenetz
Gasnetz
Stromnetz
Transport

Lokale Energieträger

Überall Verfügbar





- ☁ Umweltwärme
- ⚙ Solarenergie
- ⚡ Strom*

Standortabhängig

- 🌍 Erdwärme
- 🏠 Grundwasserwärme
- 🌊 Oberflächenwasserwärme
- 🏭 Abwärme
- 🌲 Biomasse*
- 🌾 Biogas*

Optionen für ein resilienteres, nachhaltiges Energiesystem

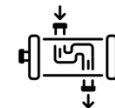
Energiebedarf

-  Raumwärme
-  Warmwasser
-  Strombedarf
-  Raumkühlung






Energieumwandlung und -transfer

- Wärmepumpe
-  Wärmetauscher
-  Holz- und Pelletkessel
-  Brennwertkessel

- Strom
- Solarwärme
- Nahwärme
- Fernwärme
- Anergie
- Biogas



Energieträger (primär)

-  Sonnenenergie
-  Umweltwärme
-  Erdwärme
-  Grundwasser
-  Oberflächenwasser
-  Abwärme (Industrie, ARA, KVA)
-  Biomasse (Holz/Pellet)
-  Organische Reststoffe

Leitfragen für die Planung lokaler Energiesysteme

Lokale Analyse

Systematische Perspektive

1. Wie hoch ist mein Energiebedarf – und welche Ressourcen stehen zur Verfügung?	4. Welche Lösungsansätze gibt es – und wie sensitiv sind sie gegenüber veränderten Annahmen ?
2. Was sind meine Ziele – und welche Rahmenbedingungen bestehen?	5. Wie robust ist das System gegenüber Extremereignissen ?
3. Wie entwickeln sich Bedarf, Ressourcen und Rahmenbedingungen in Zukunft – und mit welcher Unsicherheit ?	6. Wie wirkt sich die Lösung auf das Gesamtsystem aus – und welche Rückkopplungen entstehen auf lokaler Ebene ?

Umsetzungsebenen von Energiesystemlösungen

Individuell < 1 Jahr

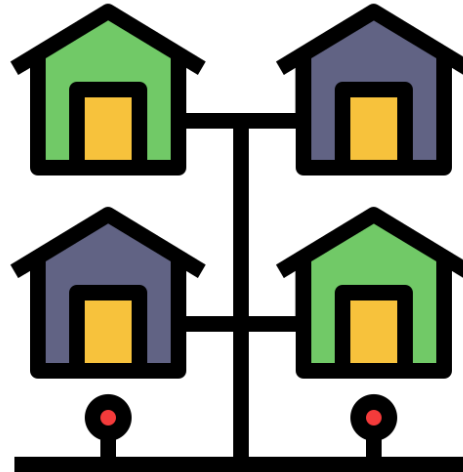


Eigenverbrauch, einfache Umsetzung

- Begrenzte Systemintegration;
- Hohe Autonomie, aber geringe Flexibilität

Beispiel: Luft-Wasser WP mit PV

Energiegemeinschaft 1-3 Jahre



Lastenausgleich und Effizienzgewinne

- Geteilte Investitionen
- Erfordert Koordination, rechtliche und organisatorische Strukturen

Beispiel: Nahwärmeverbund mit Grosse Erdsonden WP und Speicher

Quartier / Stadt 3+ Jahre



Skaleneffekte, Systemintegration

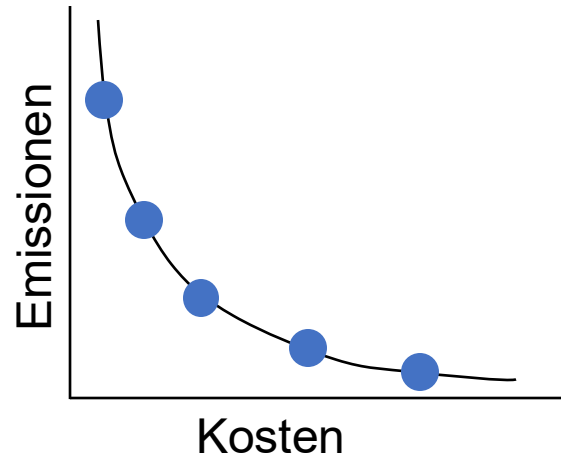
- Beitrag zur Netzstabilität, Resilienz
- Hoher Planungsaufwand, politische Steuerung erforderlich

Beispiel: Fernwärme mit Abwärme (aus Industrie, KVA, ARA) + Biogas

Modellierungsansätze für Multi-Energiesysteme

Mehrzieloptimierung

Abwägung zwischen Wirtschaftlichkeit und Klimaschutz → *zielorientiert*



Ziel: Minimierung der Gesamtkosten und Emissionen

Ergebnisse: Technologiewahl und Dimensionierung

Szenarioanalyse

Einbindung von Entscheidungsträgern in die Szenarioentwicklung → *umsetzungsorientiert*



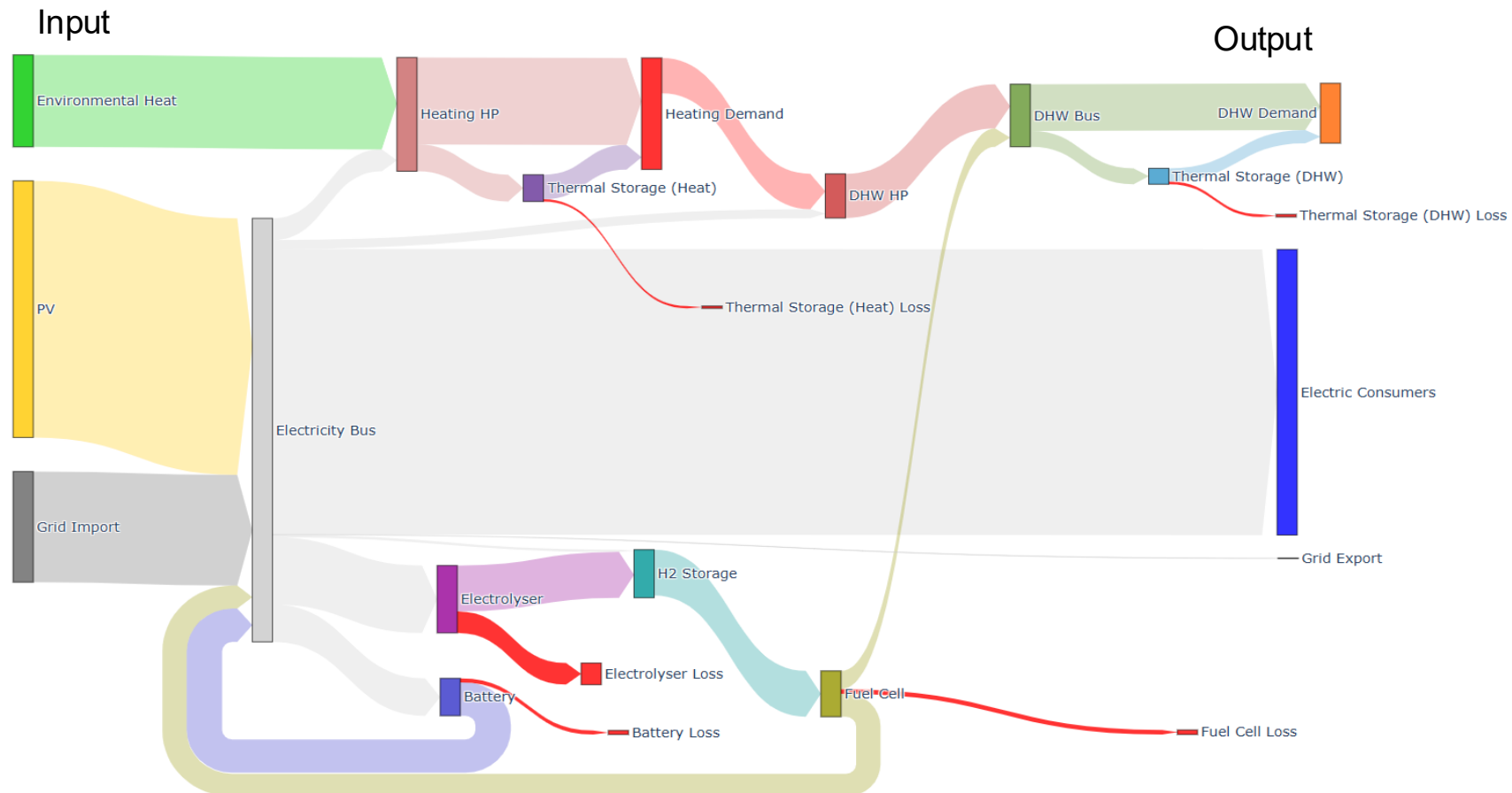
Ziel: Bewertung vordefinierter Szenarien anhand von KPIs

Objektive KPIs: Kosten, Emissionen, Autarkiegrad, Netzbelastung

Subjektive KPIs: Nutzerakzeptanz, Zahlungsbereitschaft, Einschätzung der Fairness

Modellierung eines lokalen Energiesystems: Anwendungsbeispiel

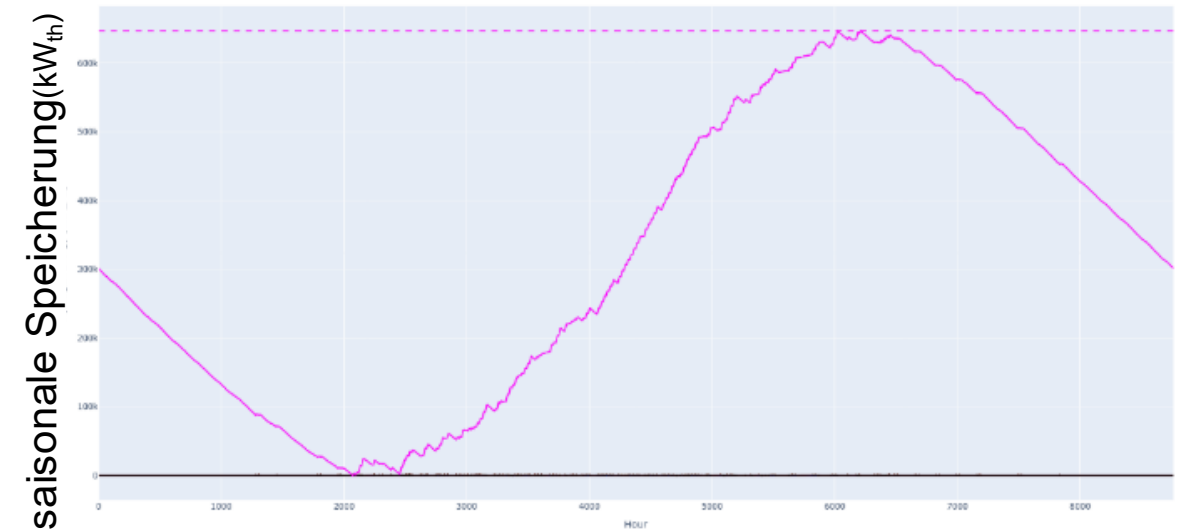
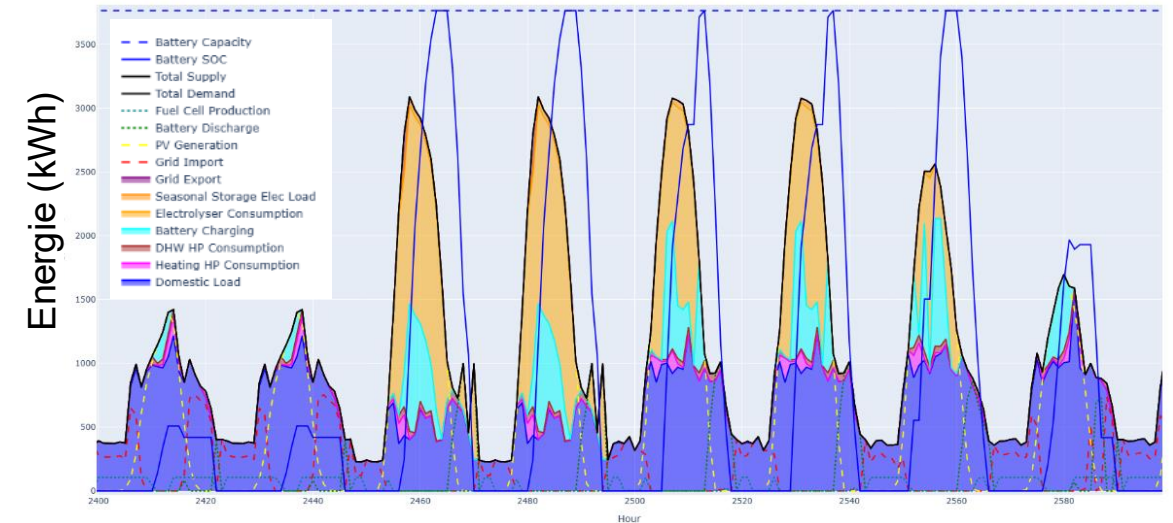
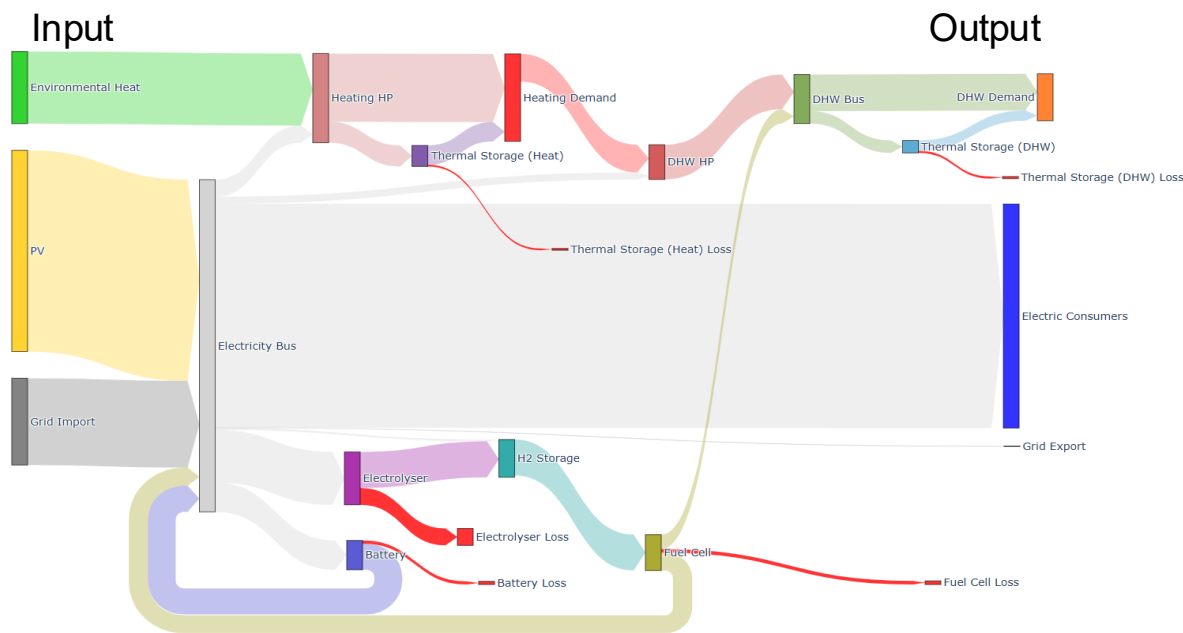
Energieflussdiagramm mit Umwandlung, Verlusten, Energierückgewinnung und Endenergiebedarf



Quelle: Michael Mollet, Masterthesis, FHNW

Modellierung eines lokalen Energiesystems: Anwendungsbeispiel

Energieflussdiagramm mit Umwandlung, Verlusten, Energierückgewinnung und Endenergiebedarf



Quelle: Michael Mollet, Masterthesis, FHNW

Gemeinsam gestalten: Forschung, Praxis und lokale Akteure im Dialog

Wissens- und Praxistransfer

- **Machbarkeitsstudien, Pilot- und Demonstrationsprojekte** als Brücke zwischen Forschung und Praxis
- **Skalierbarkeit und Übertragbarkeit** auf andere Quartiere oder Gemeinden
- **Lernprozesse** für Planung, Betrieb und politische Entscheidungsfindung



Foto: Gemeinde Aesch / Joël Gernet

Interdisziplinarität und Kooperation

- **Zusammenarbeit über Disziplinen hinweg** (Technik, Planung, Ökonomie, Soziologie)
- **Gemeinsame Zieldefinition** mit lokalen Akteuren (*EVUs, Behörden, Endverbraucher, Industrie/Gewerbe*)
- **Abstimmung von Prioritäten:** Wirtschaftlichkeit, Klimaziele, Versorgungssicherheit, Akzeptanz
- **Partizipativer Prozess** als Voraussetzung für erfolgreiche Umsetzung



Über Technologie hinaus – gemeinsames Lernen und Gestalten nachhaltiger Energiesysteme

Wesentliche Erkenntnisse

- **Interdisziplinäres Denken als Grundlage:** Dekarbonisierung erfordert ein Zusammenspiel von Technik, Planung, Wirtschaft und Gesellschaft.
- **Schneller Ausbau von PV und Wärmepumpen:** Erfolgsgeschichten – aber auch neue Herausforderungen für Netze, Flexibilität und Systemintegration.
- **Lokale Kontexte entscheiden:** Energiebedarf, Ressourcen, Ziele und Akteure variieren – Lösungen müssen angepasst und resilient sein.
- **Vom Individuum zur Gemeinschaft:** Kooperative Ansätze auf Quartier- und Stadtebene ermöglichen Synergien und Effizienzgewinne.
- **Wissens- und Praxistransfer als Schlüssel:** Pilot- und Demonstrationsprojekte verbinden Forschung und Umsetzung – und fördern gemeinsames Lernen mit lokalen Akteuren.

Nachhaltige Energiesysteme entstehen nicht allein durch Technologie sondern durch Zusammenarbeit.

Wie können wir Sie unterstützen?

Unterstützung bei Design und Betrieb nachhaltiger Multi-Energiesysteme

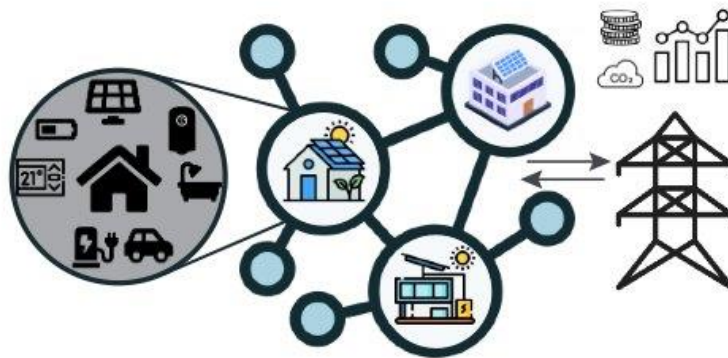
- Planung von **Wärmeversorgungsstrategien** in neuen Quartieren
- **Fallstudie** zur **Flexibilität** in **lokalen Energiegemeinschaften**
- **Szenarioanalysen** zur **Dekarbonisierung bestehender Quartiere**

Erneuerbare Energie und Gebäudetechnik (EEGT)

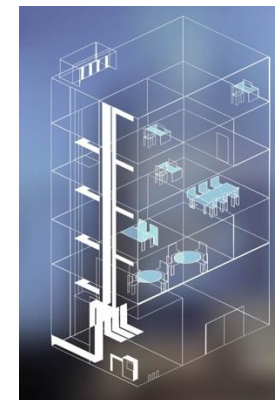
Zirkularität von PV



Nachhaltige Multi-Energiesysteme



Monitoring und Betriebsoptimierung



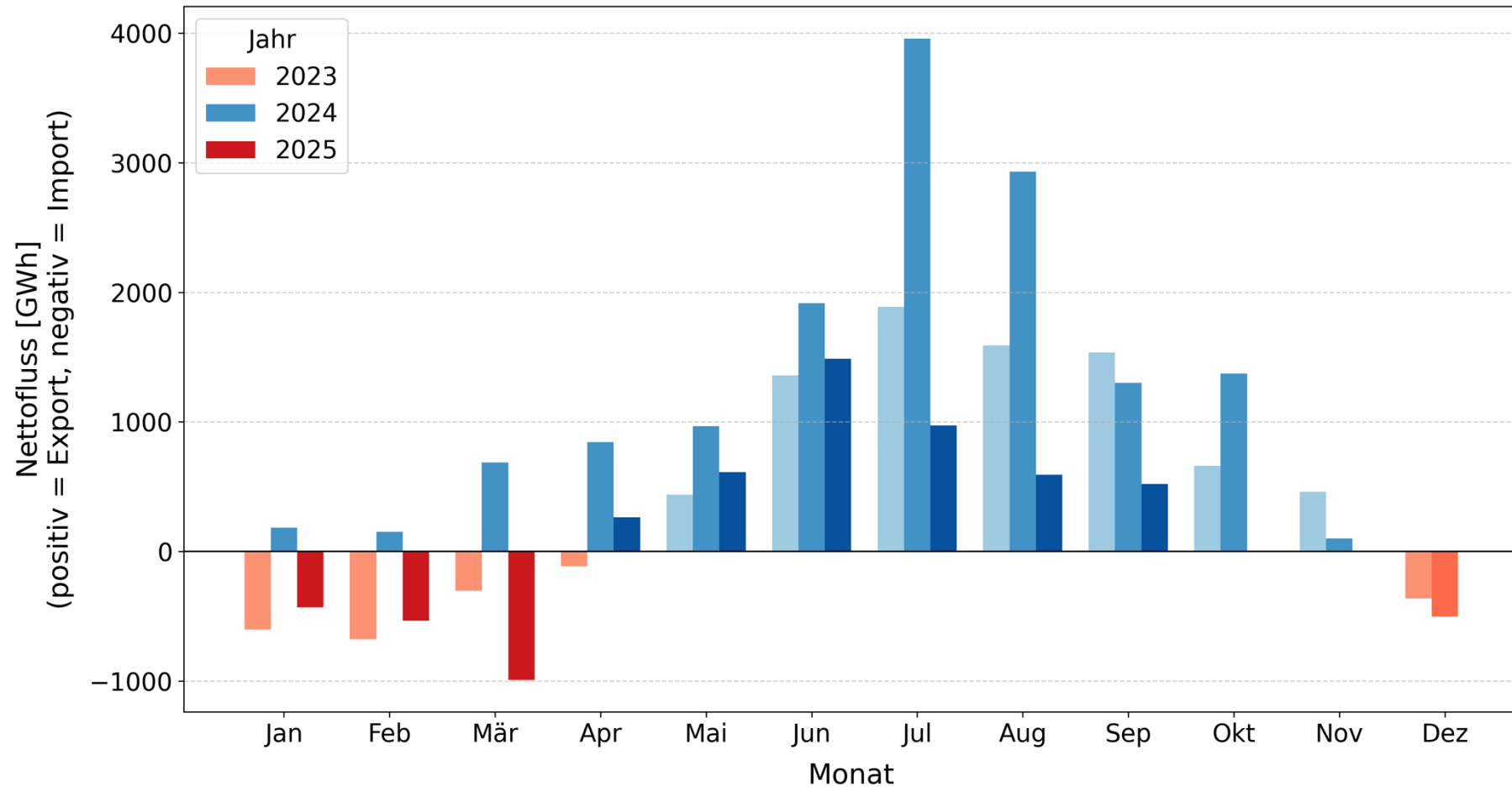
ERL



Prof. Dr. Natasa Vulic, Natasa.Vulic@fhnw.ch

Strom Export-Import (2023-2025)

Monatliche Nettoimporte und -exporte (GWh)



Daten: swissgrid