

# MULTIKRITERIELLE BEWERTUNG UND OPTIMIERUNG

Anwendungsbeispiele sektoreng gekoppelter Energiesysteme

WWNW

GEFÖRDERT VOM



ENaQ

Durch gemeinsame Förderung von



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



# Projekte und Umsetzungsphasen



- **ENaQ: Quartier “Helleheide”**
  - Laufzeit: Januar 2018 – Dezember 2023
  - Ziel: Entwicklung Quartier auf ehemaligem Fliegerhorst Oldenburg
- **Zero Emission: Wasserstoffstandort Lampoldshausen**
  - Laufzeit: Juni 2020 – Dezember 2022
  - Aufbau H2-Infrastruktur für Raketenwissenschaft
  - Konzept für Klimaneutralität
- **Wärmewende Nordwest**
  - Laufzeit: April 2021 – November 2025
  - Ziel: Konzeptentwicklung für schnell umsetzbare Transformationsstrategien



ENaQ:  
Förderkennzeichen 03SBE111

WWNW:  
Förderkennzeichen 03SF0624L

# ENaQ: KPI Workshops



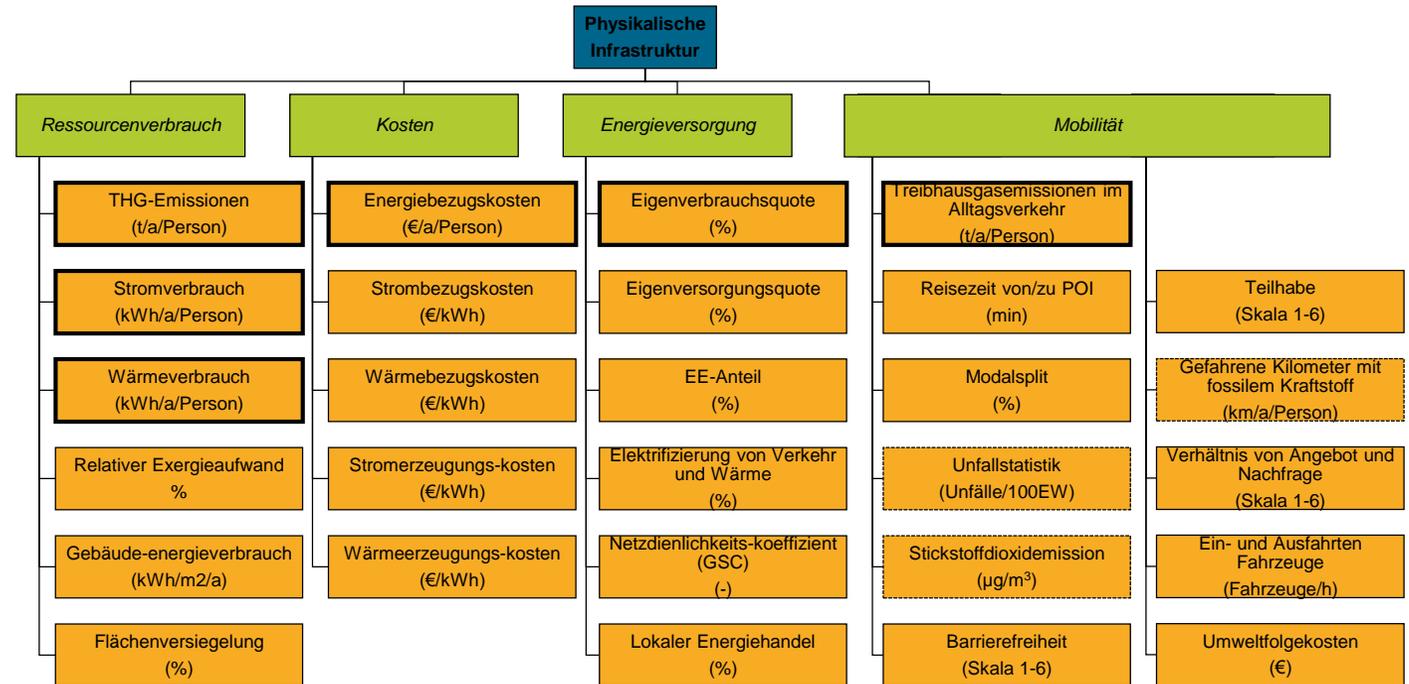
1. Welche Ziele?
2. Wie quantifizierbar?

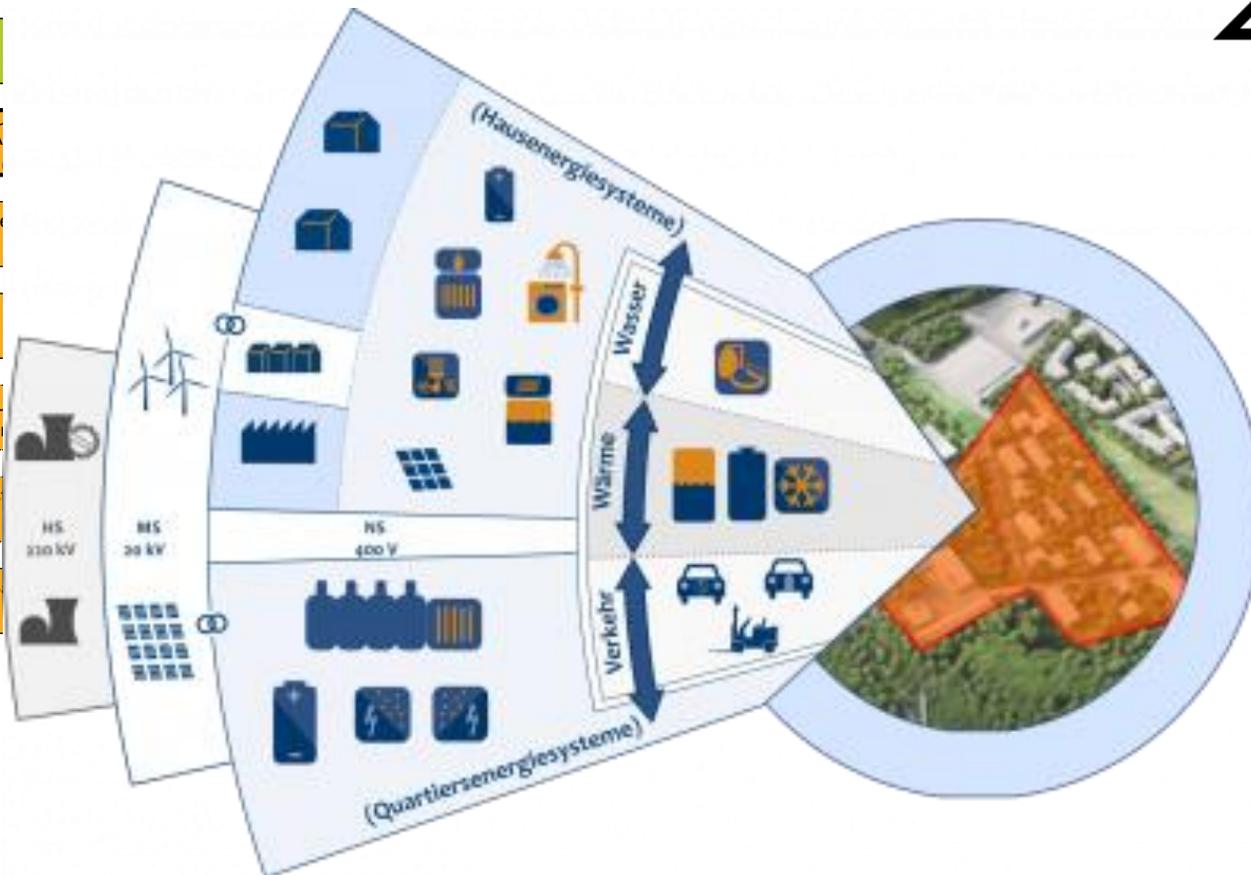
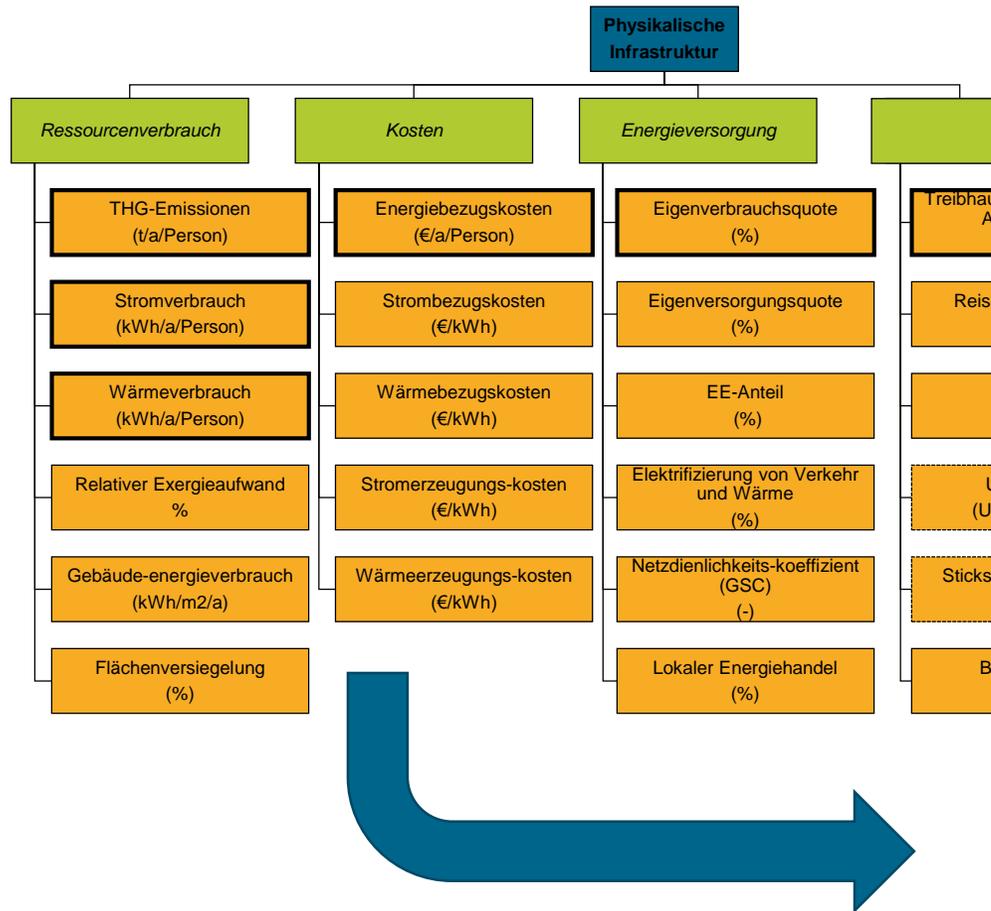
Dimension				
Energiesystem				
Kategorie		Indikator		
Klimaschutz		Treibhausgasemissionen		
Einheit	Erhebungsfrequenz	Typ	Verantwortlich	Version
t/a	jährlich	Erforderlich	DWG	0.1
Definition				
Treibhausgasemissionen pro Person und Jahr				
Begründung anhand der Projektzielsetzung				
Ziel des ENaQ-Projekts ist ein möglichst klimafreundlicher Quartiersbetrieb ( <i>Ziel 1.1</i> ). Dies erfordert, die Emission von Treibhausgasen zu minimieren.				
Interpretation				
Ein abnehmender Trend und niedrigere Werte werden als positiv erachtet.				
Berechnungsmethode				
Genauere Beschreibung der Berechnungsmethode (ggf. Verweis auf externes Methodendokument)				
Datenquellen				
Nennung der Messstellen und erforderlicher Messgrößen im Quartier, z.B.:				
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ BHKW: jährlicher Verbrauch in Tonnen je Energieträger</li> <li>▪ Netzbetreiber: jährlicher Stromimport und Stromexport des Quartiers in kWh</li> </ul>				
Zielwert (Jahr)				
3 t/a (2022)				



# Festgelegte Indikatoren

- ENaQ: 99-Seitiger KPI-Katalog, herausragend:
  - THG-Emissionen
  - Kosten (Annuität) → später Aufspaltung CAPEX/OPEX
  - Eigenverbrauchsquote
- Zero Emission
  - Investitionen (heute)
  - Emissionen (heute)
  - Netzdienlichkeit (2040)
- WWNW:
  - Skalierbarkeit
  - THG-Emissionen
  - Ressourcenausnutzung
  - Autarkie
  - Annuität (CapEx)
  - Betriebskosten
  - Performance in Szenarien
  - Performance in Stresstests

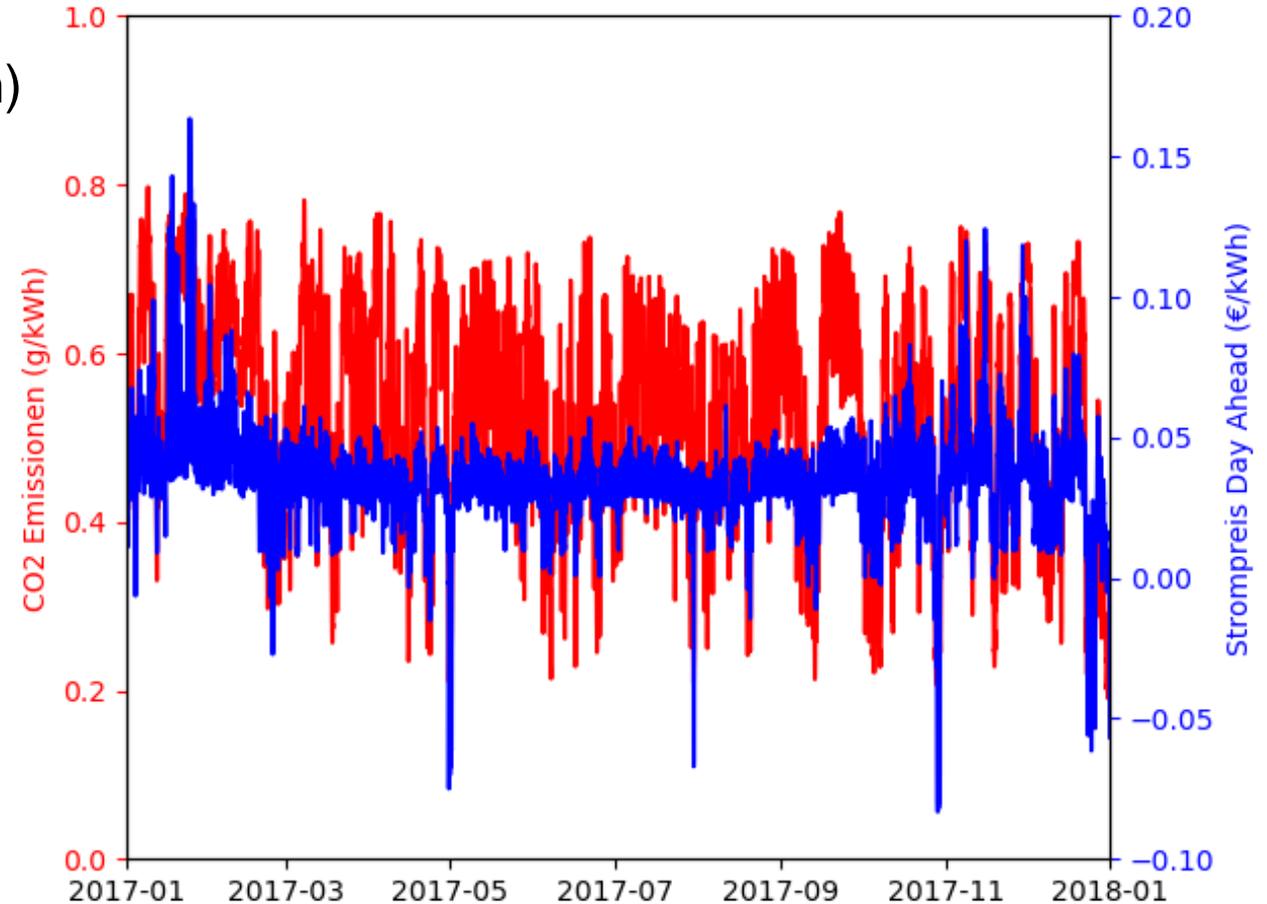
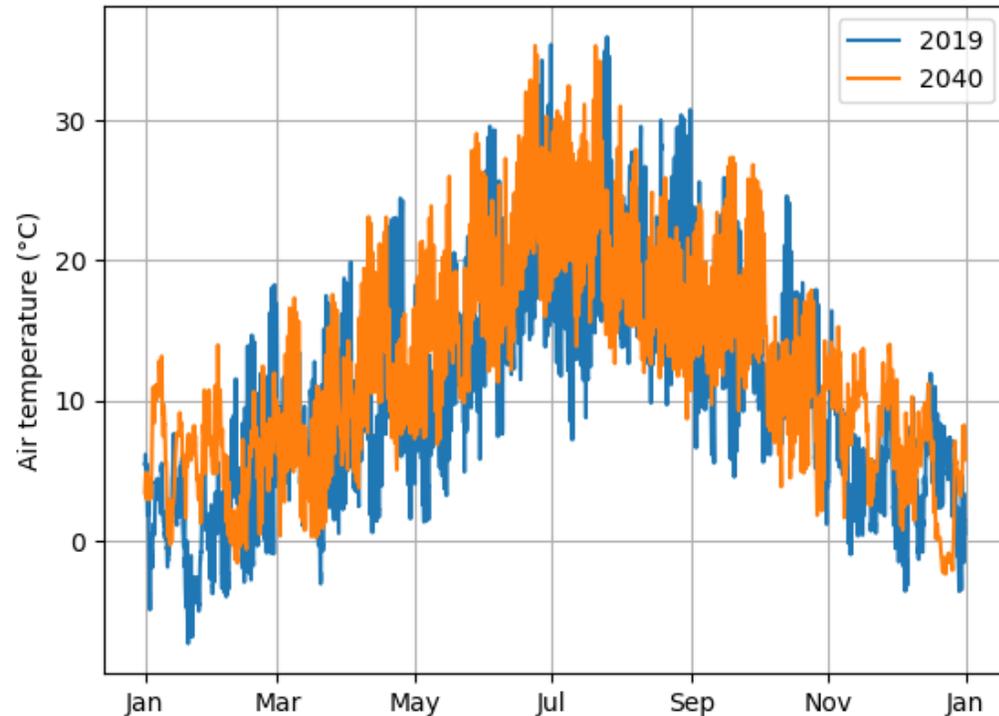




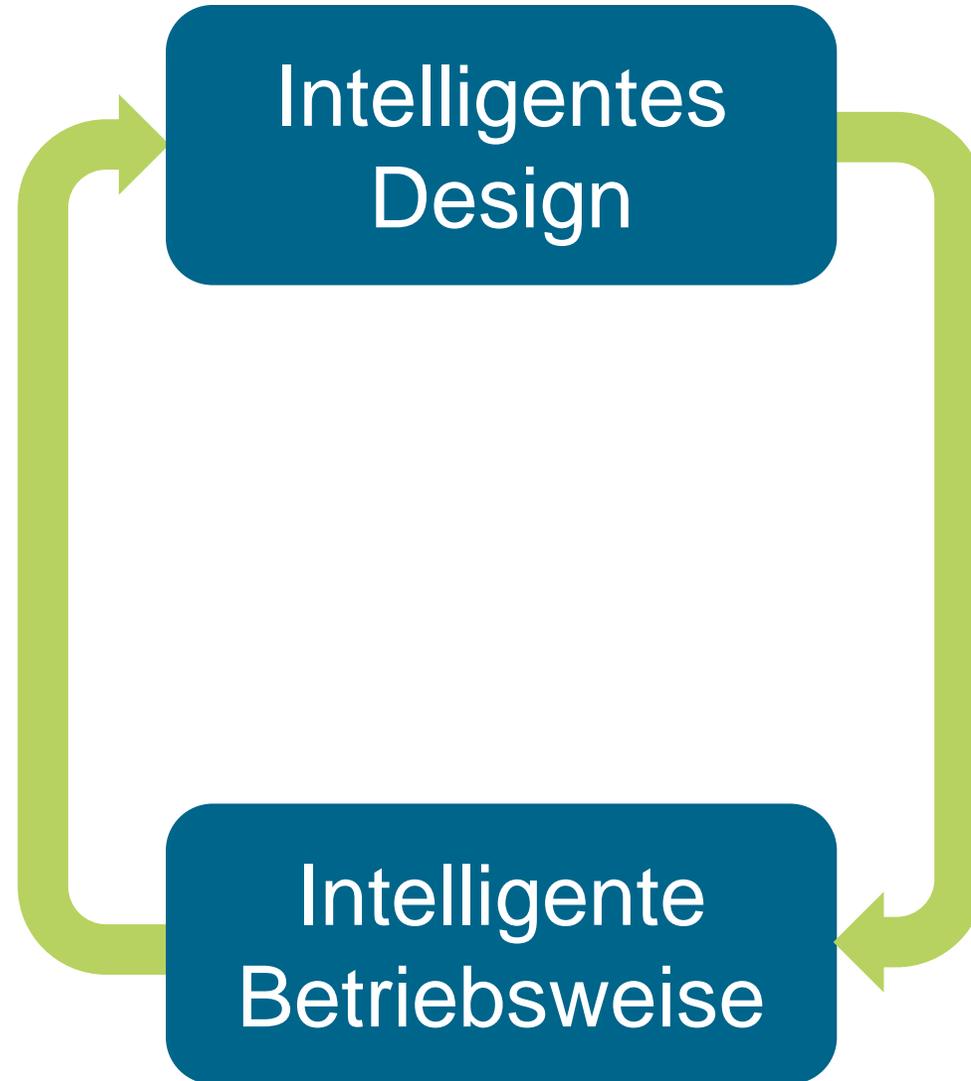
# VON KPI ZUM ENERGIESYSTEM

# Exkurs: Zeitabhängigkeit

- Randbedingungen (Eingangsgrößen) sind zeitabhängig
- Beispiele:
  - Wetter (→ Wärmeverbrauch)
  - Volatile Stromerzeugung



# Berücksichtigung der Betriebsführung



# Optimierung nach Indikatoren

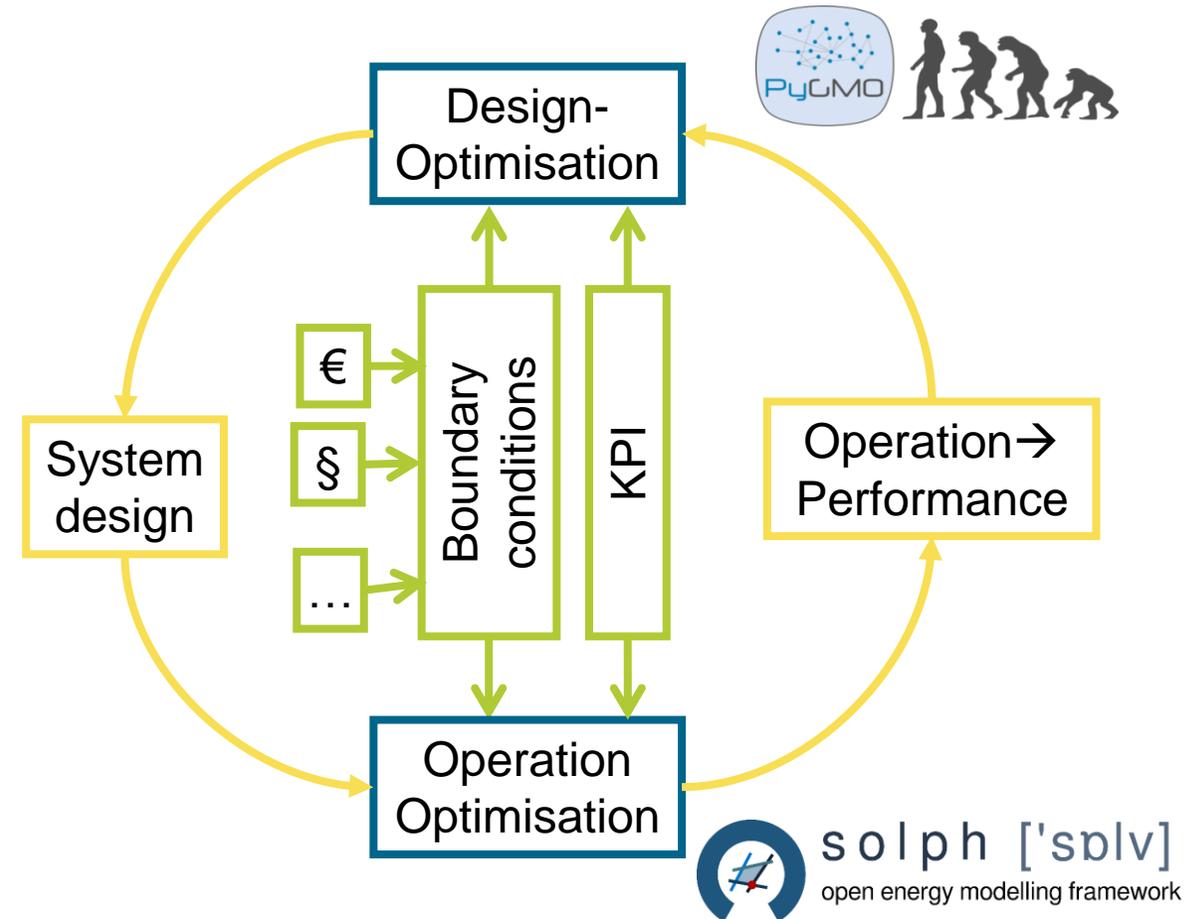


## Design-Optimierung:

- > Nichtlinear (z.B. Investitionen)
- > Viele Ziele gleichzeitig, keine Gewichtung vorab
- > Lange Rechenzeiten

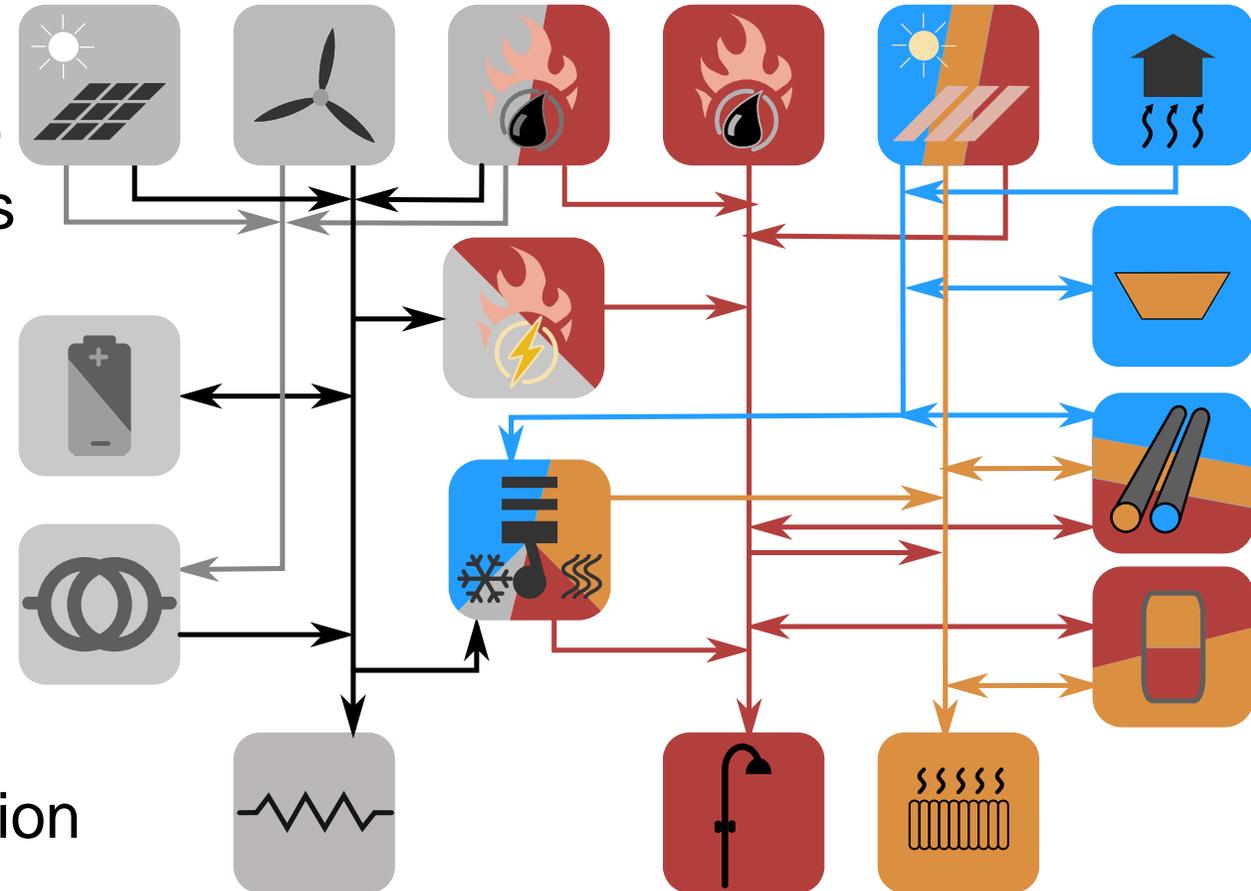
## Betriebs-Optimierung:

- > Für jedes Design
- > Linear (→ schnell)



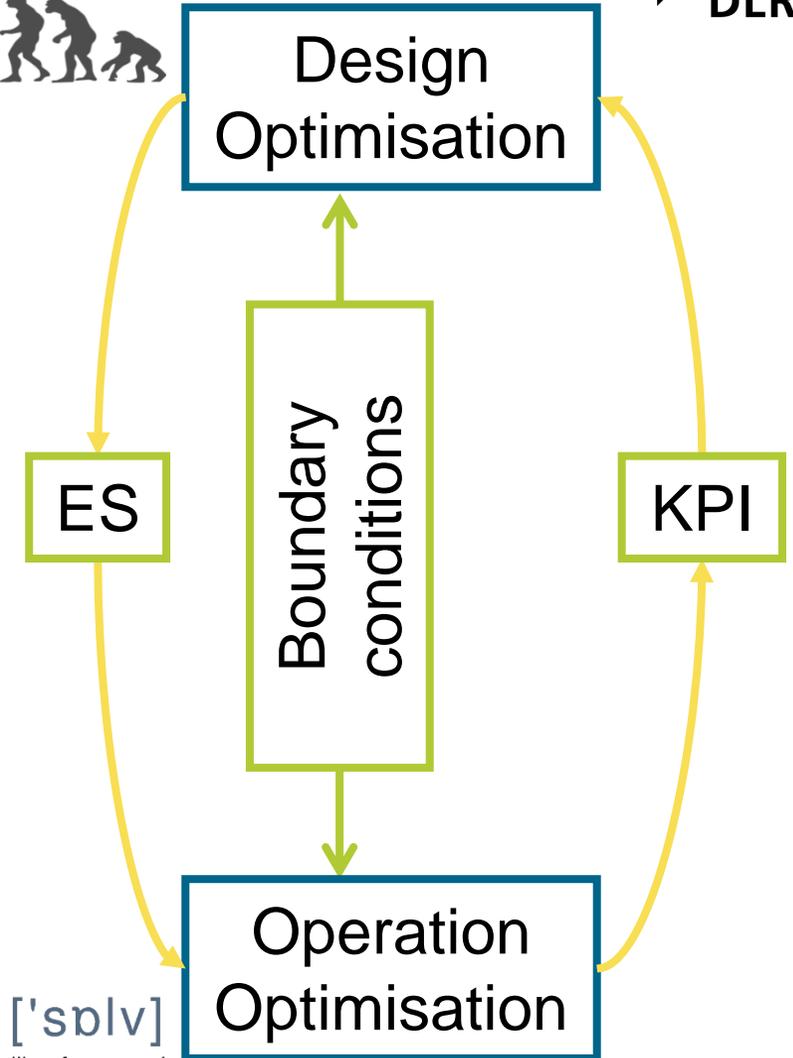
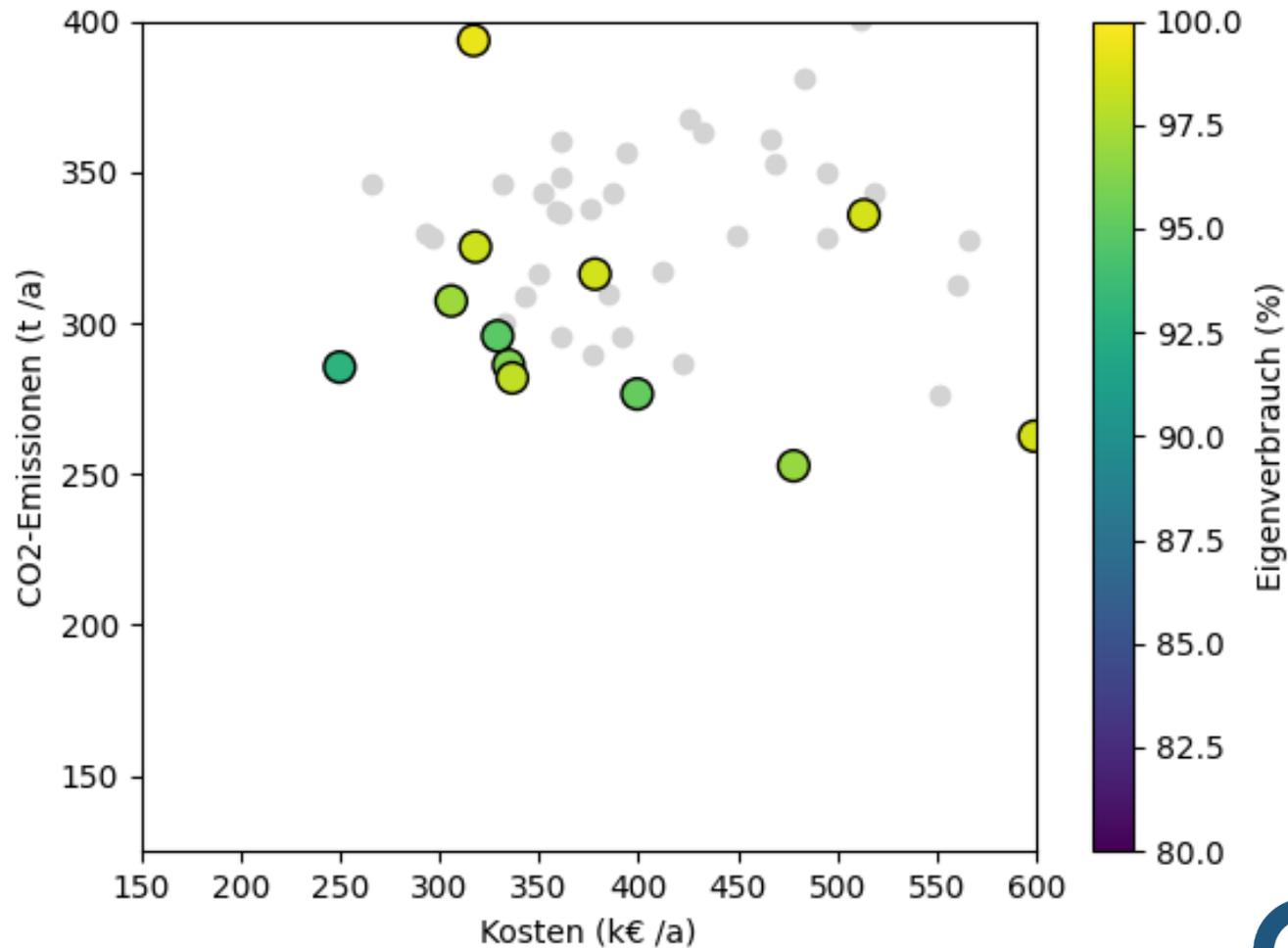
# Generisches Energiesystemmodell

- Optimiert Betriebsweise auf Kosten (+ CO2-Schattenpreis)
- Wärme mit Temperaturniveaus
- Vorgegeben:
  - Verknüpfungen
  - Verbräuche
  - Spezifische Erzeugung
- Anlagengröße wird optimiert durch Heuristik (0 möglich)
- Jede Anlagenkonfiguration entspricht einer KPI-Kombination

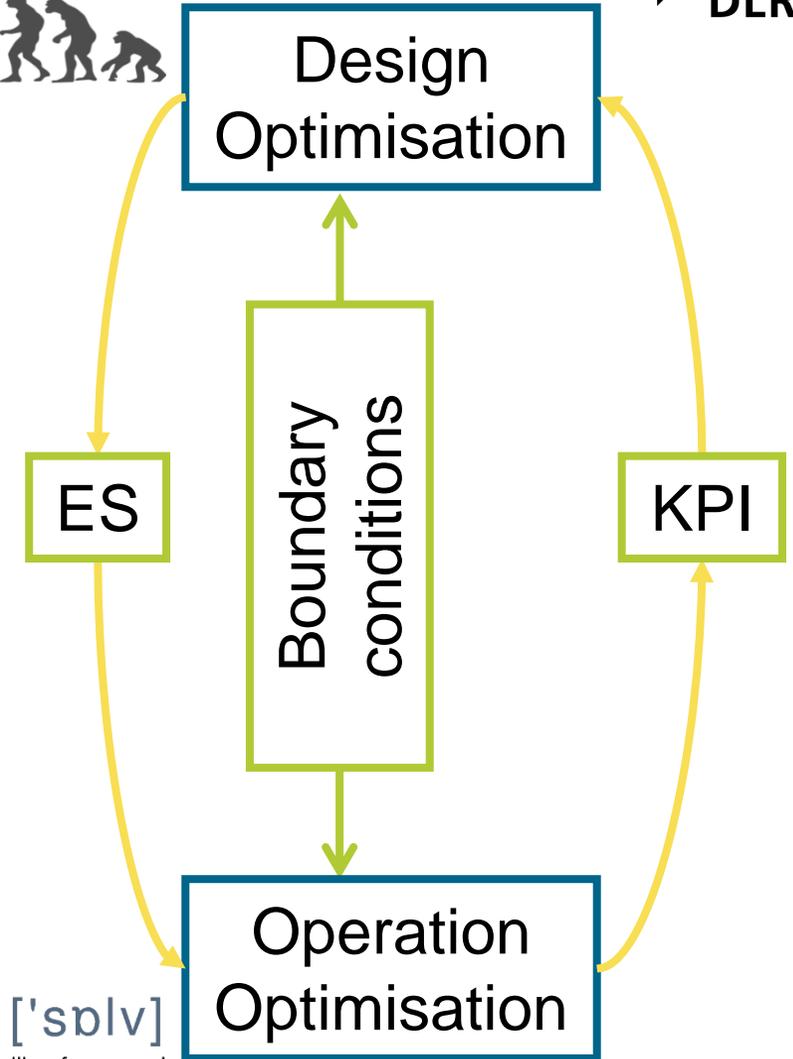
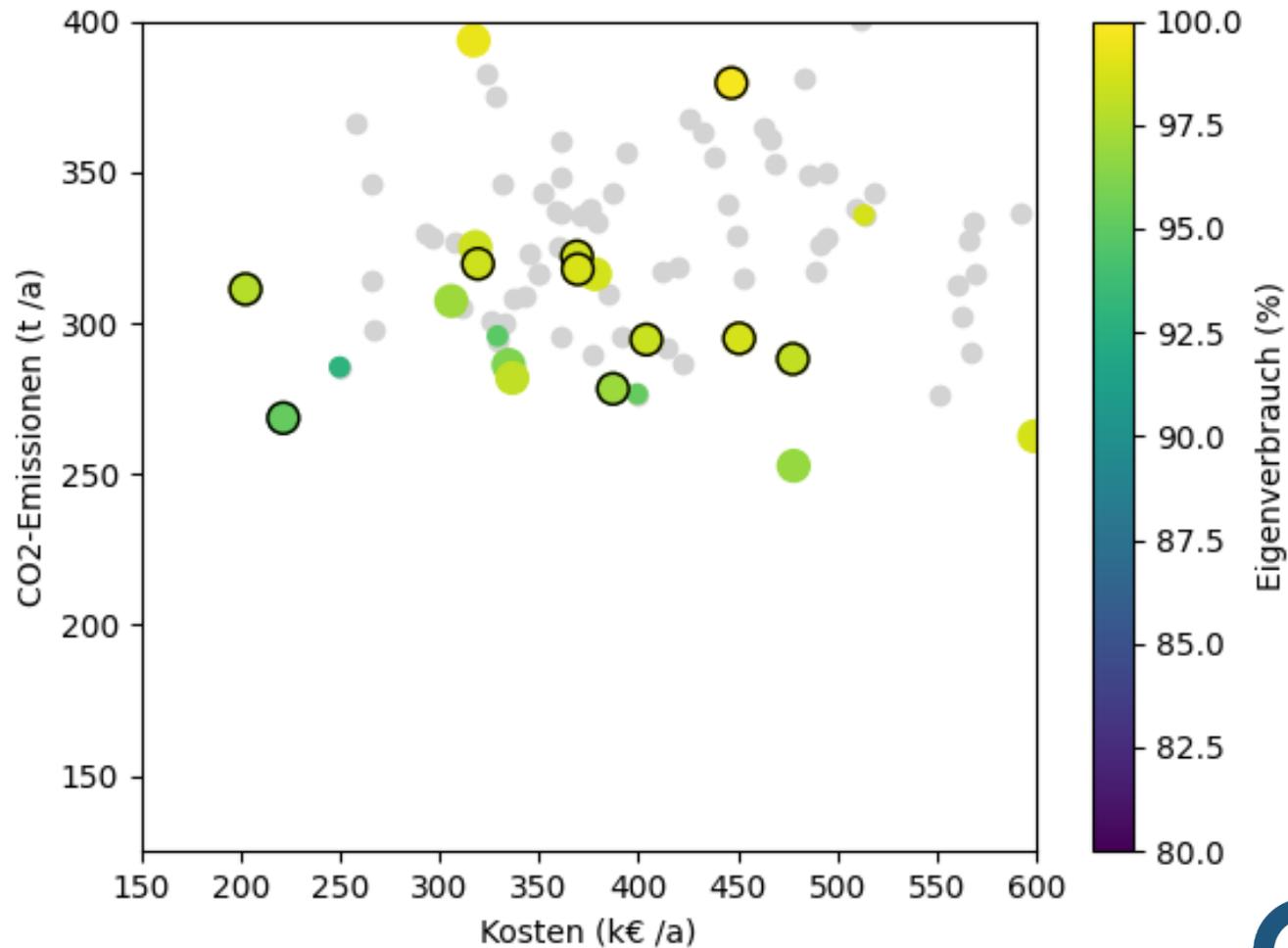


Mathematische Beschreibung: [arXiv:2012.12664](https://arxiv.org/abs/2012.12664), [arXiv:2211.14080](https://arxiv.org/abs/2211.14080)  
Python package: <https://pypi.org/project/mtress/>

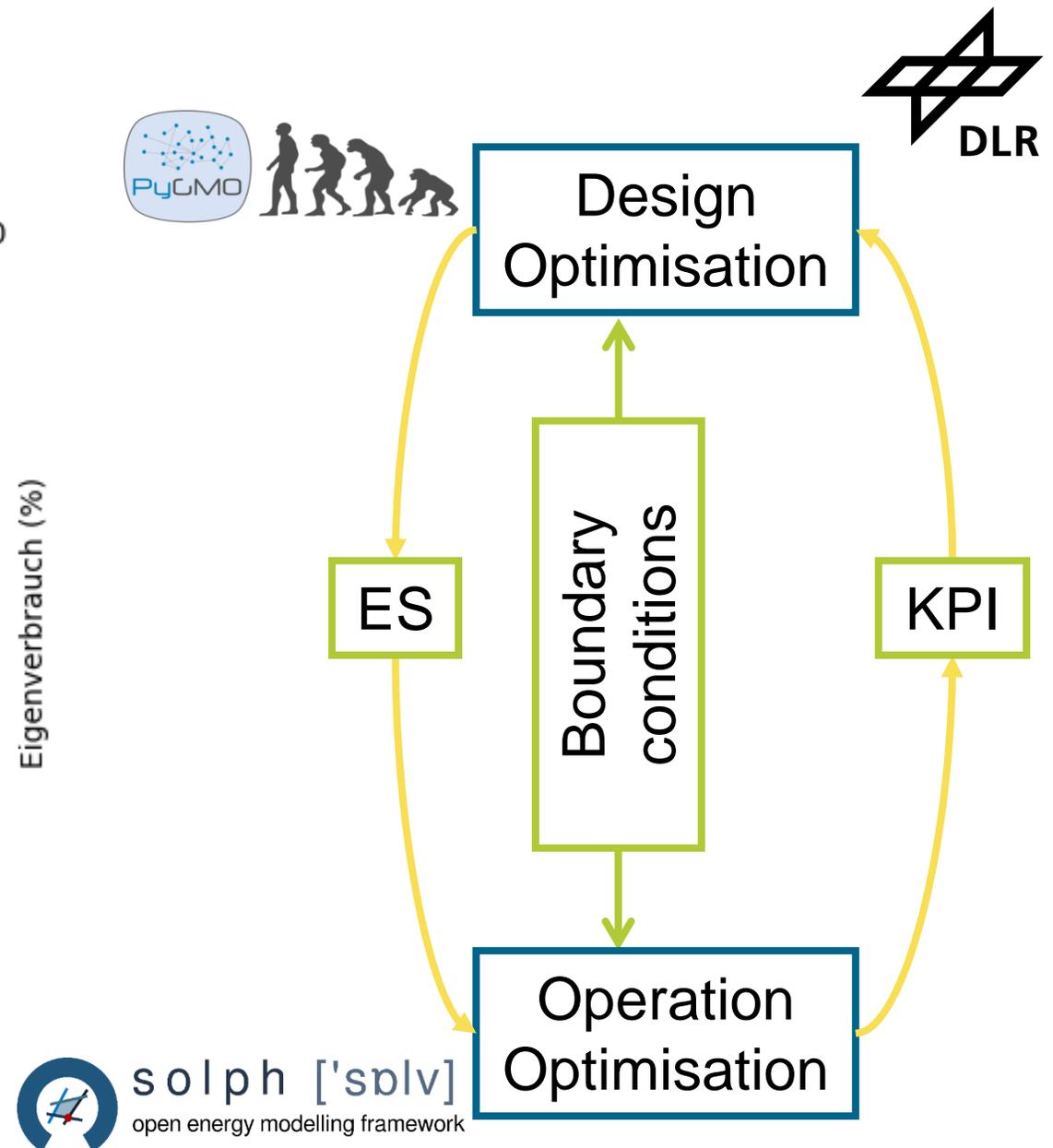
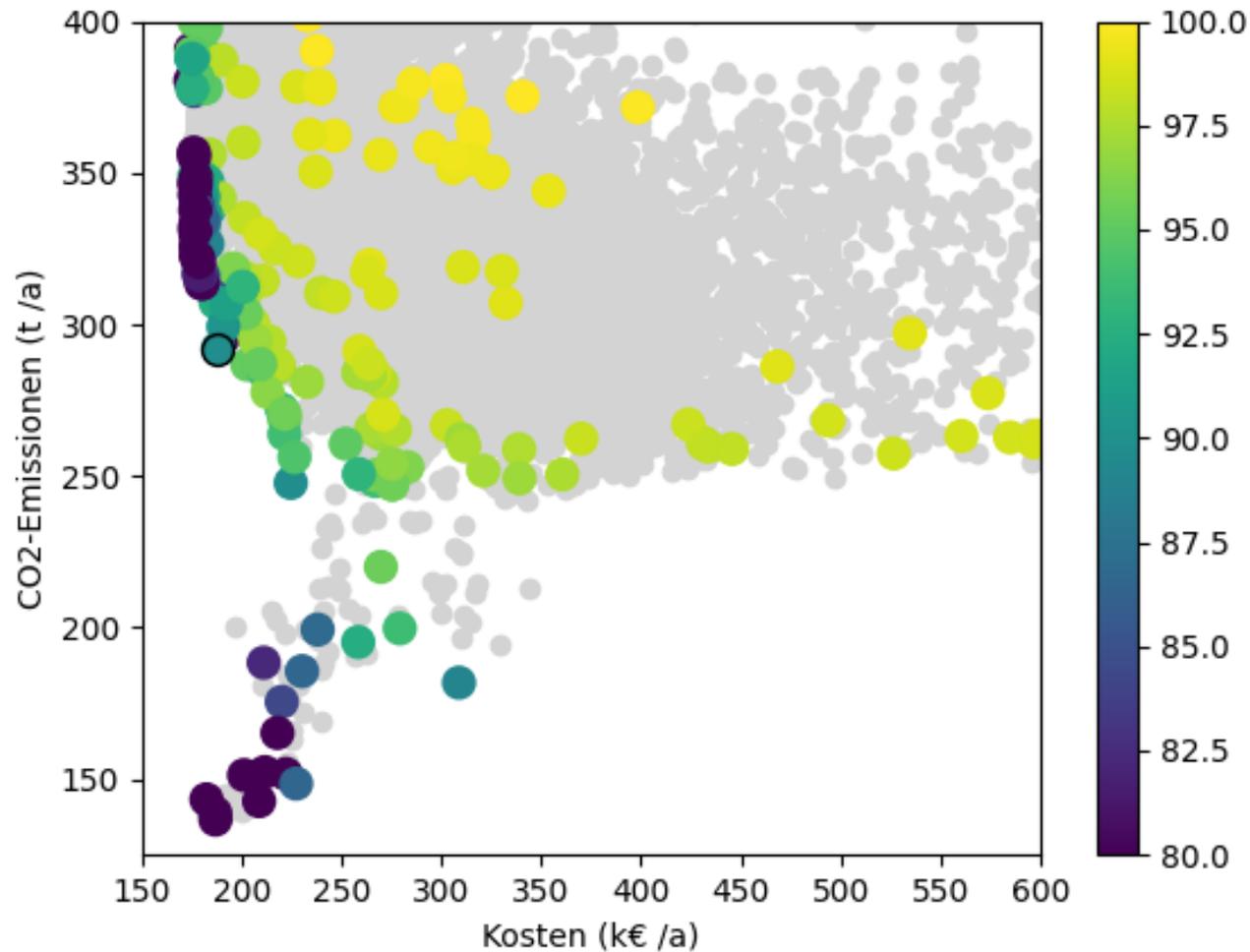
# Pareto-Optimierung in Aktion



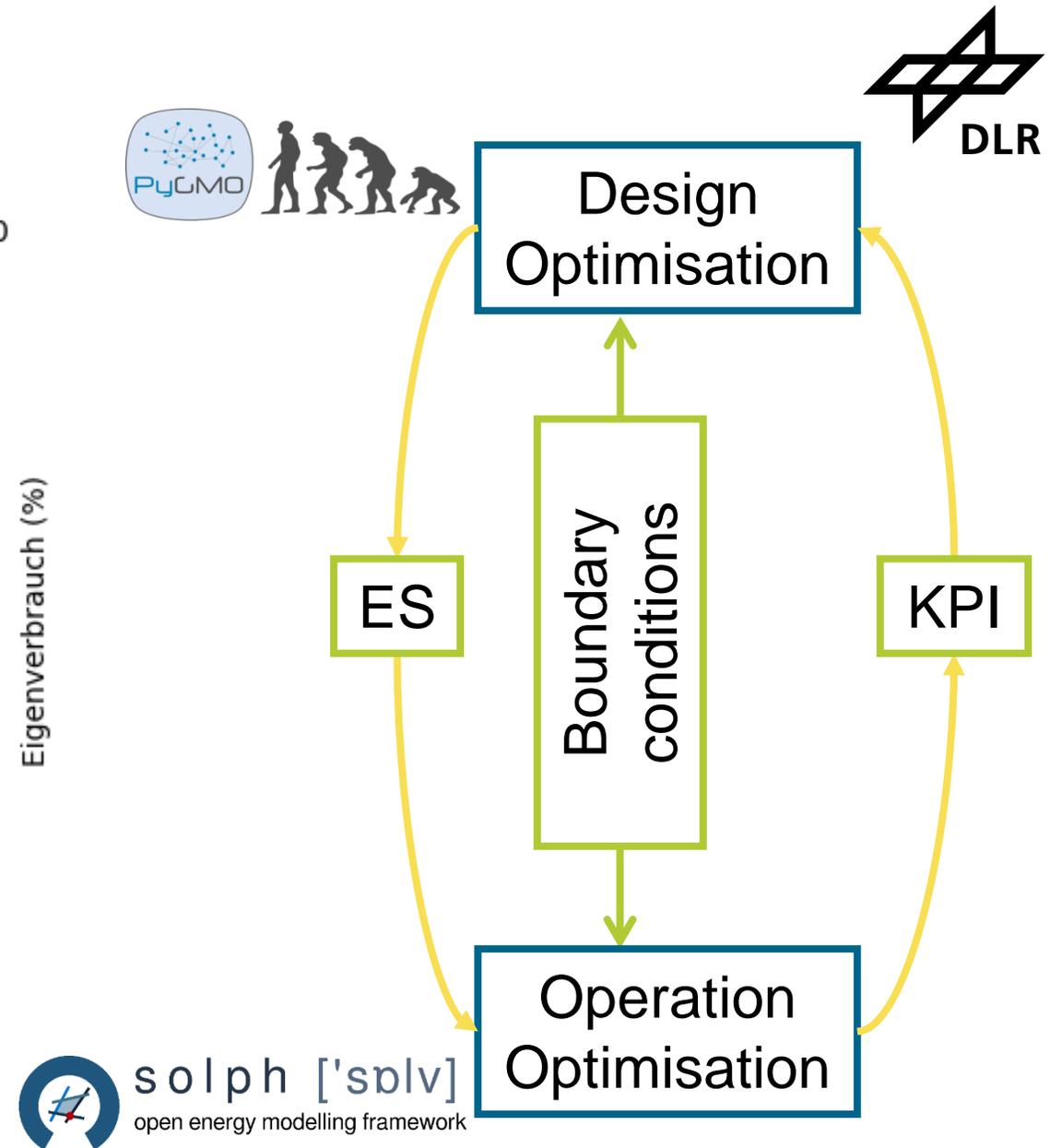
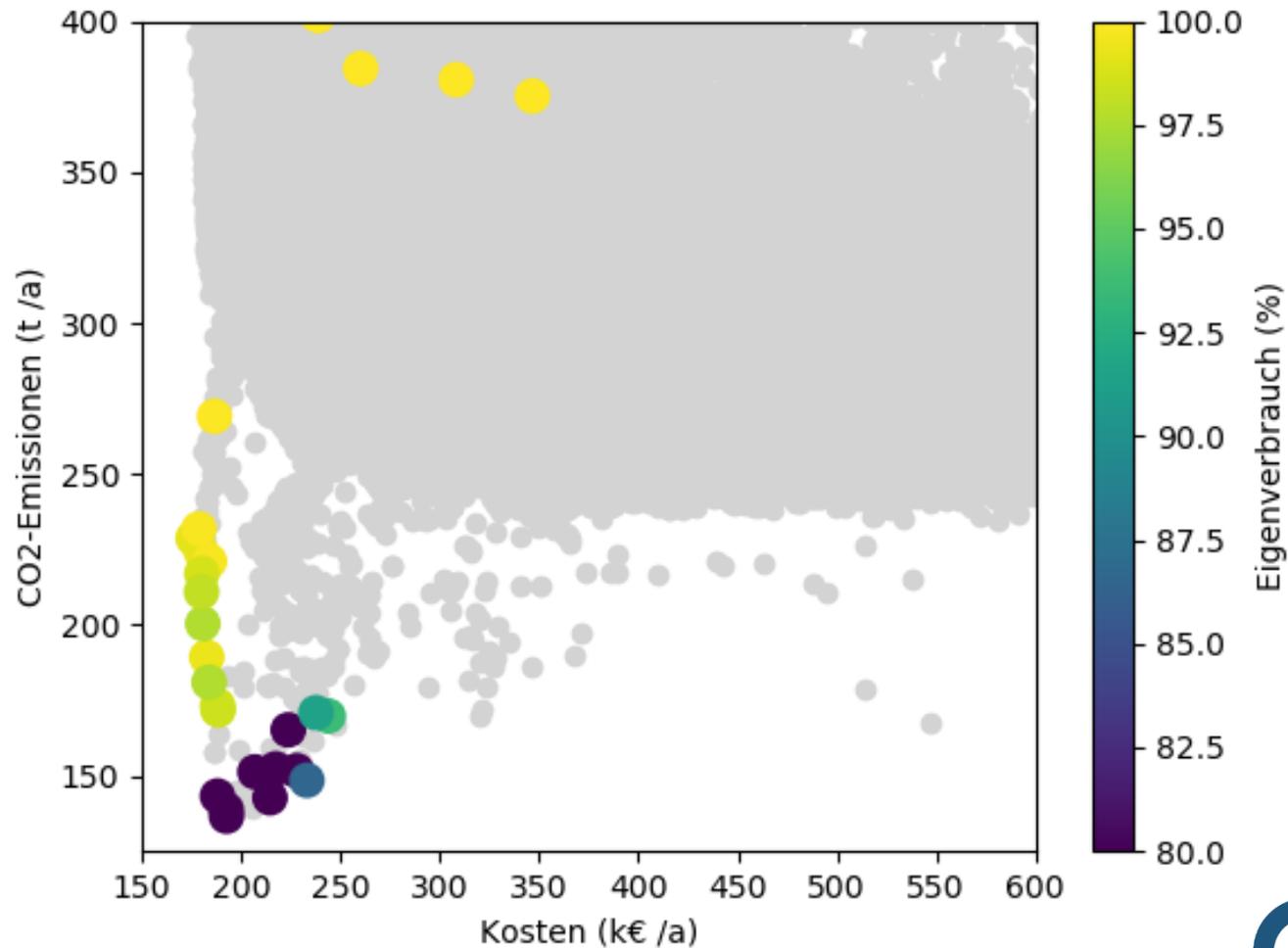
# Pareto-Optimierung in Aktion



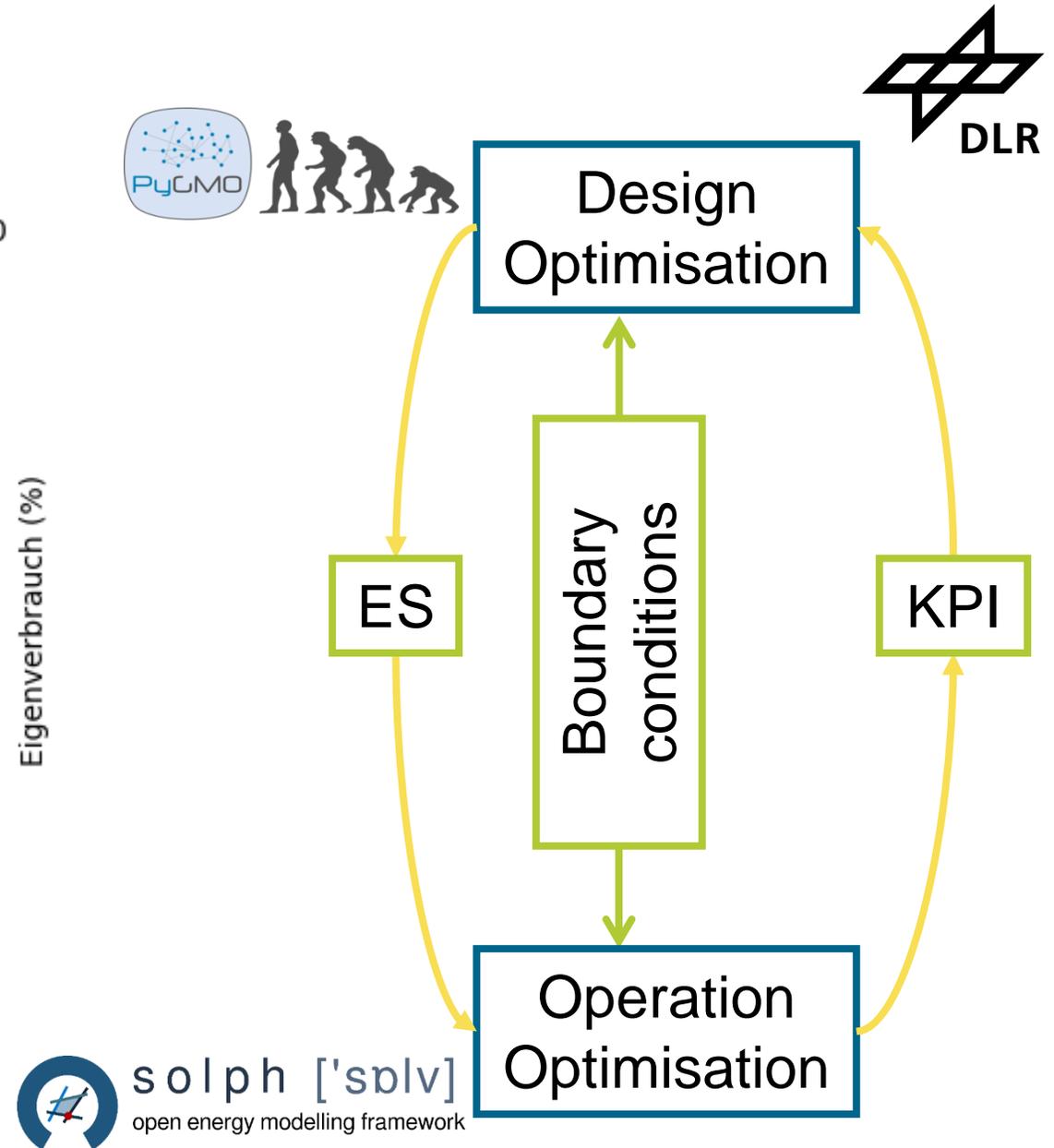
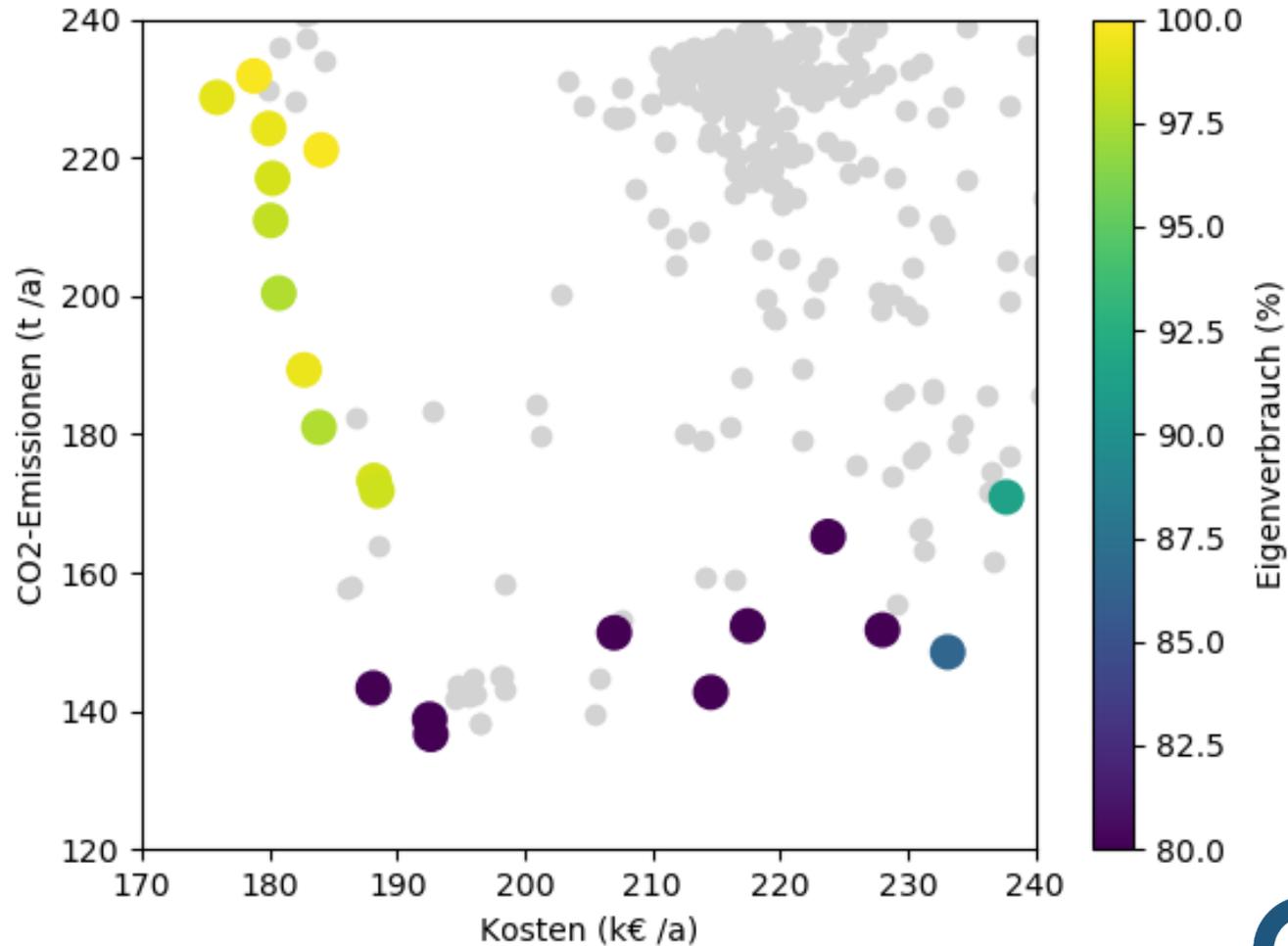
# Pareto-Optimierung in Aktion



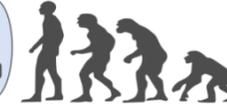
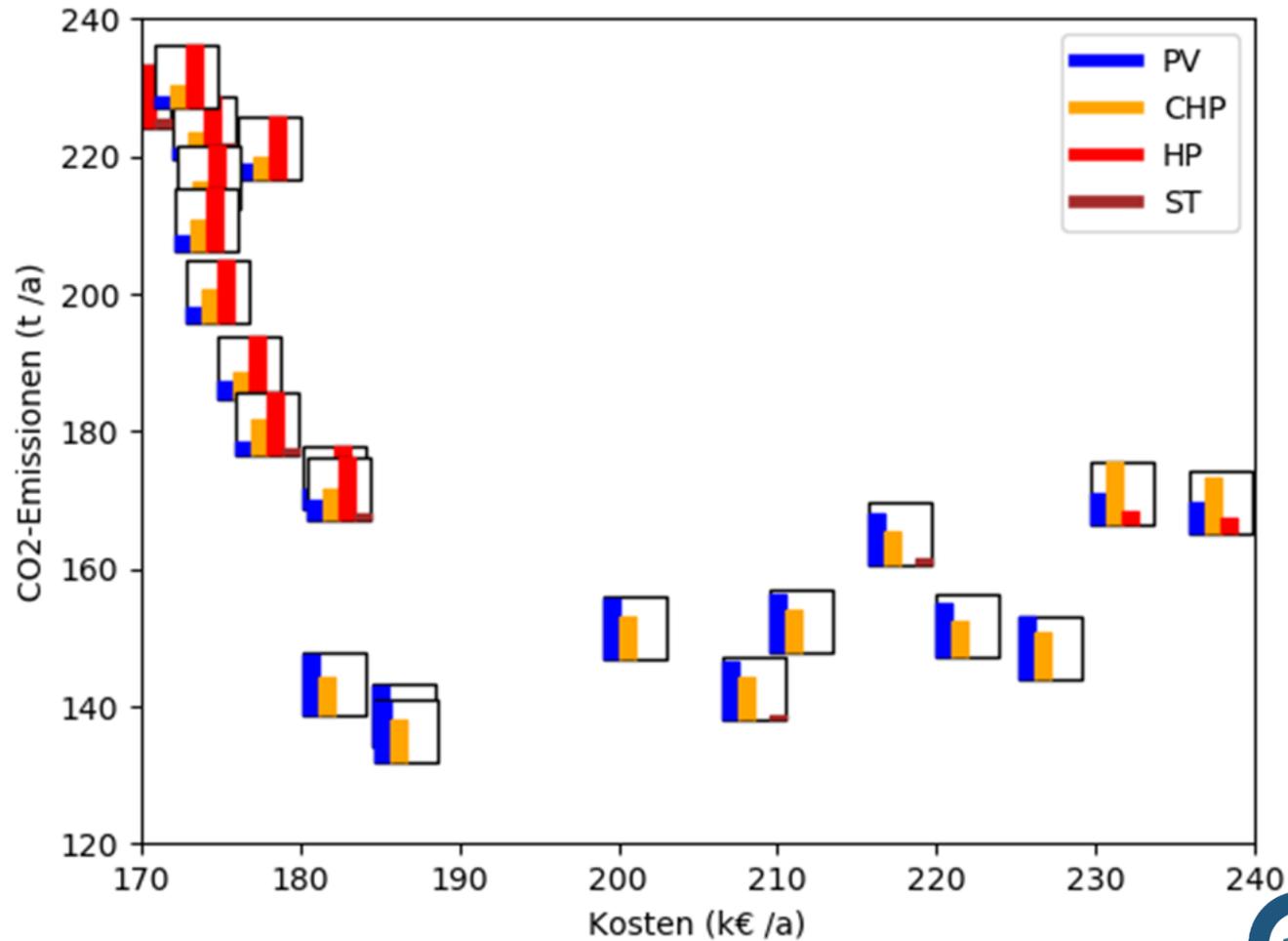
# Pareto-Optimierung in Aktion



# Pareto-Optimierung in Aktion



# Pareto-Optimierung in Aktion



Design Optimisation

ES

Boundary conditions

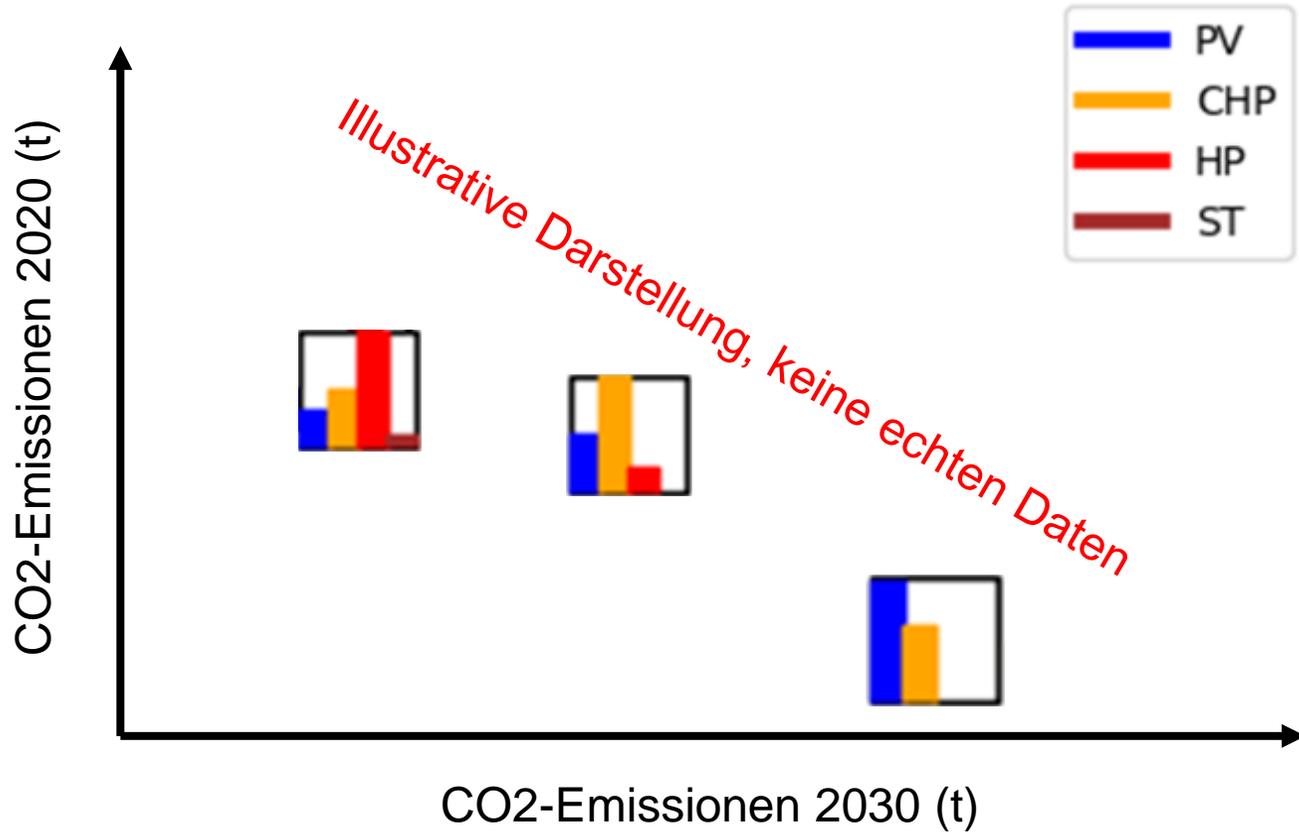
KPI

Operation Optimisation

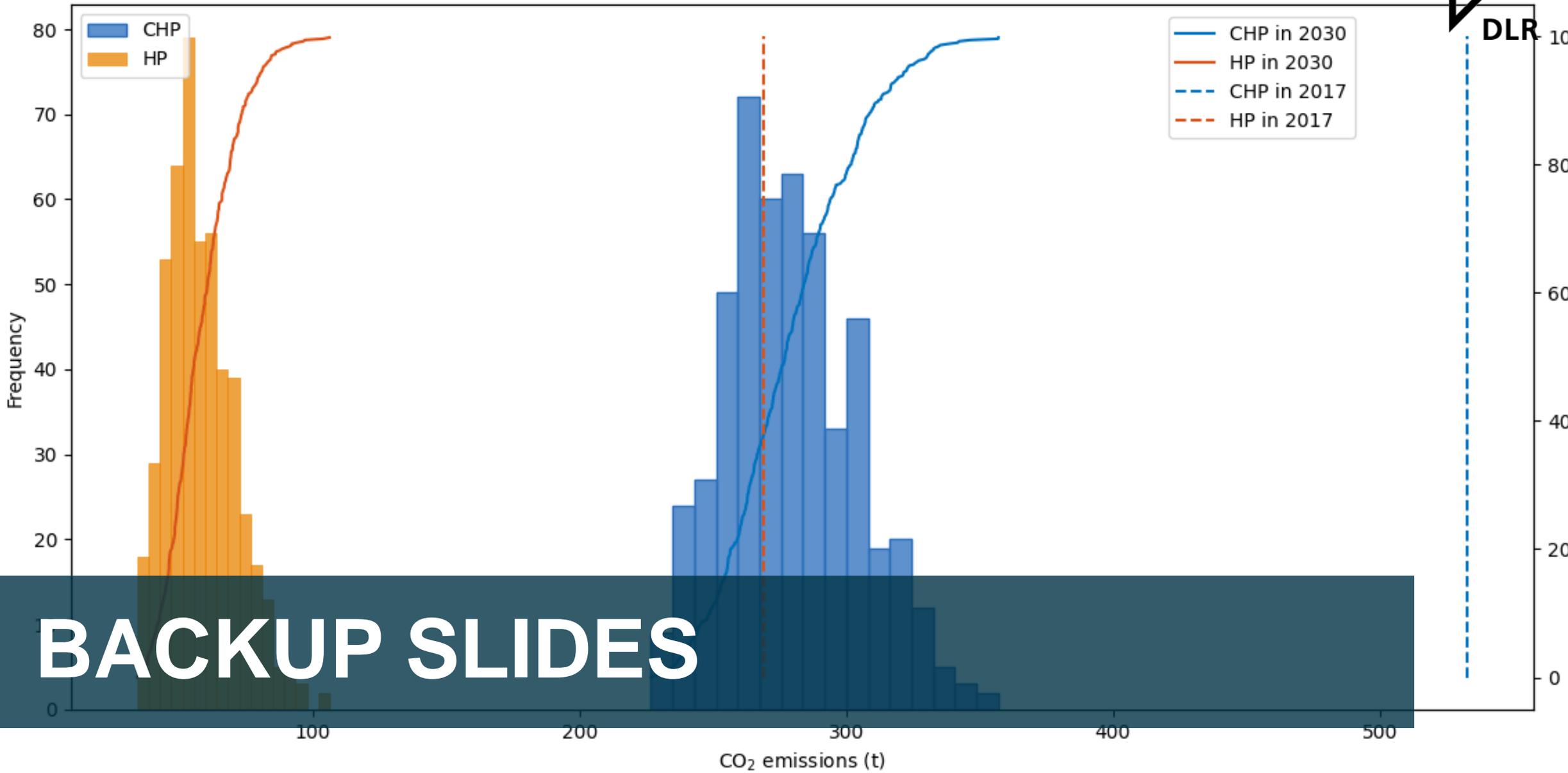


solph ['sɒlv]  
open energy modelling framework

# Optimierung auf Zukunftsszenarios

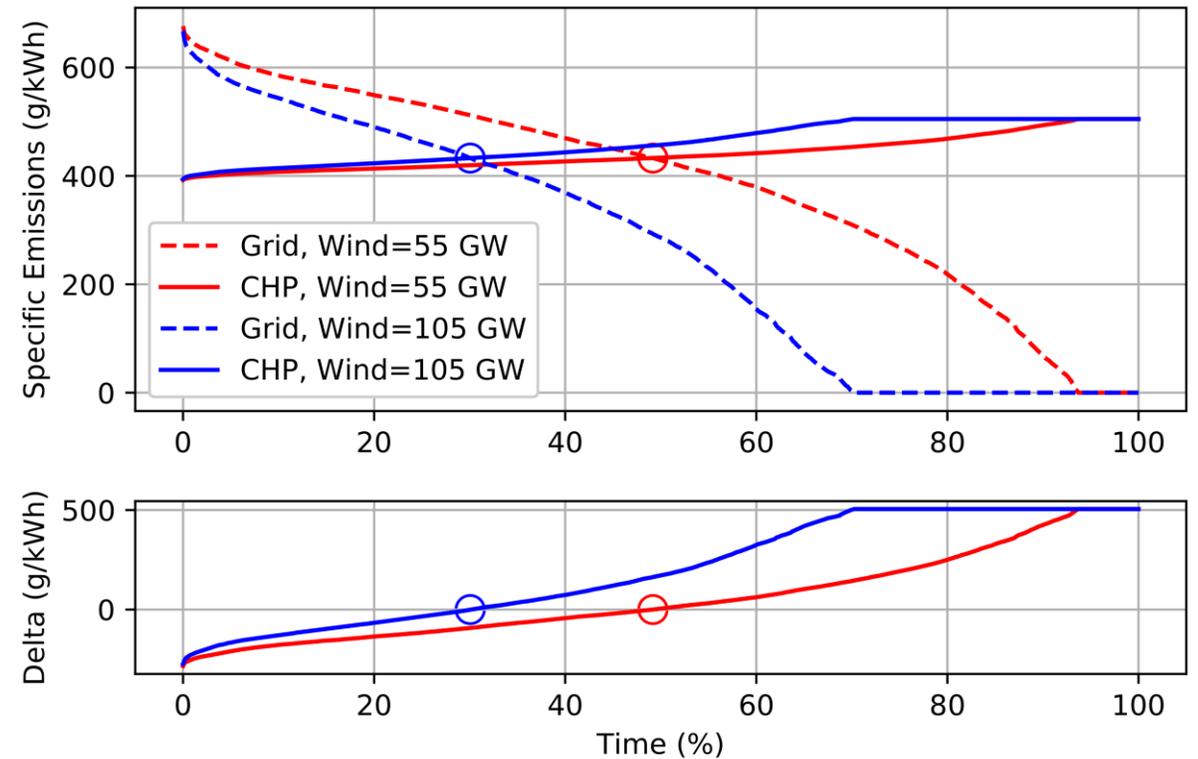
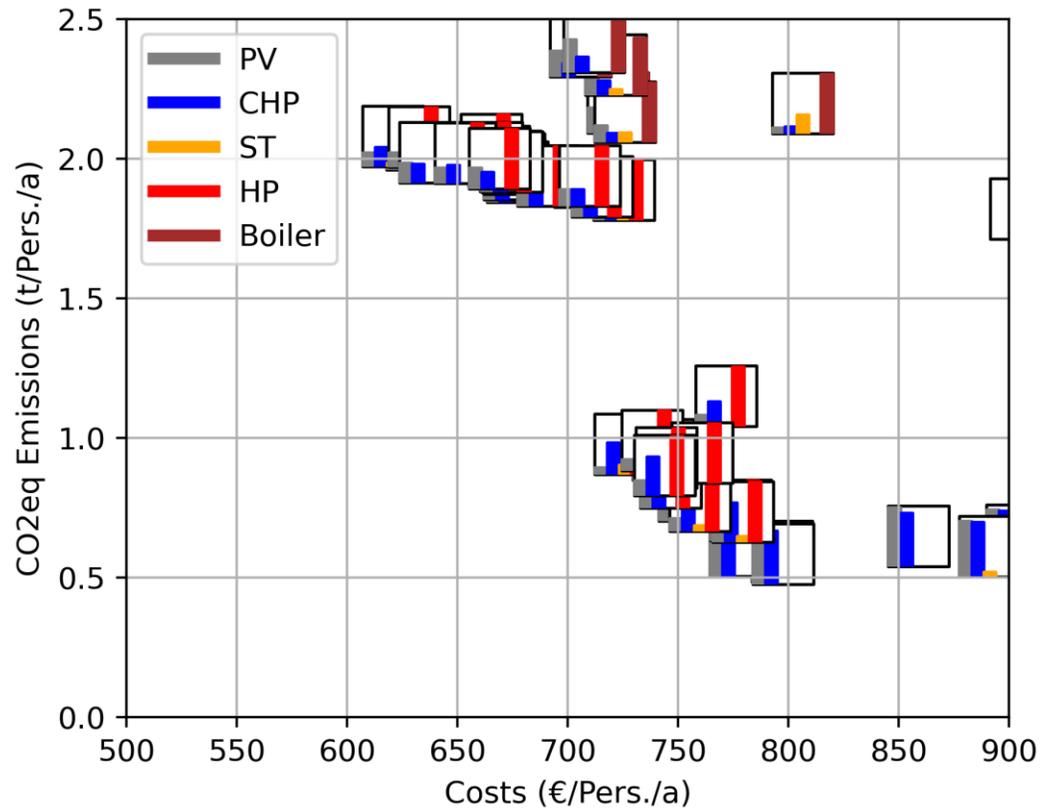


- Indikator-geleitete Optimierung von Energiesystemen
  - Definition von Zielen
  - Herleitung von Indikatoren
  - Pareto-Optimierung
  - Auswahl geeigneter Systeme
  
- Ausblick
  - Realitätscheck in ENaQ (aktuell Bauphase)
    - Monitoring
    - Anwendung intelligenter Betriebsführung
  - Risiko-minimierende Auslegung



BACKUP SLIDES

# CHP vs. Heat Pump: Size matters

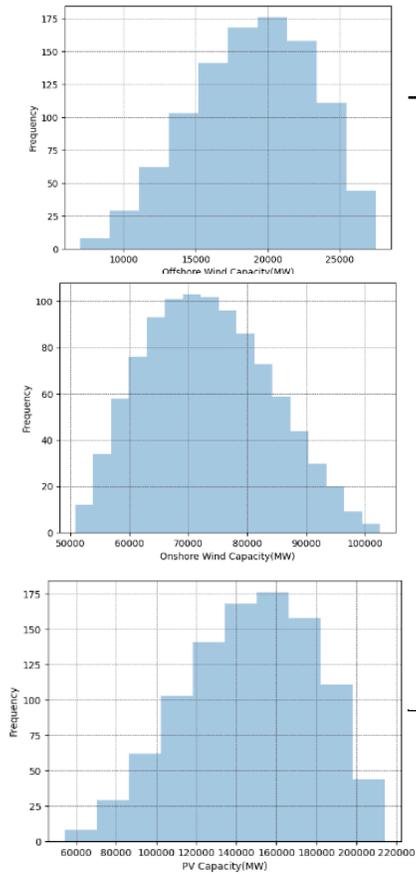


Klement et al., "Local Energy Markets in Action: Smart Integration of National Markets, Distributed Energy Resources and Incentivisation to Promote Citizen Participation". *Energies* 2022. <https://doi.org/10.3390/en15082749>

# Modellierung der Zukunft → Monte-Carlo (Methode)

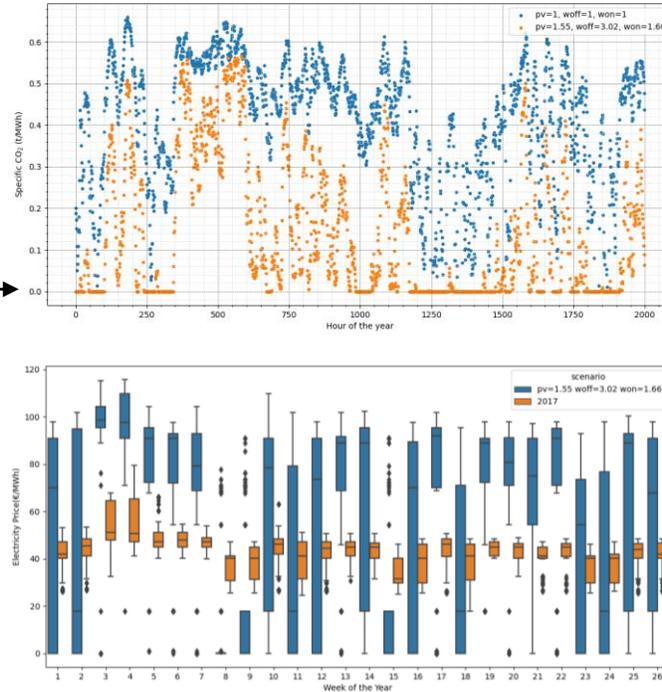


## Eingangsv-Verteilungen



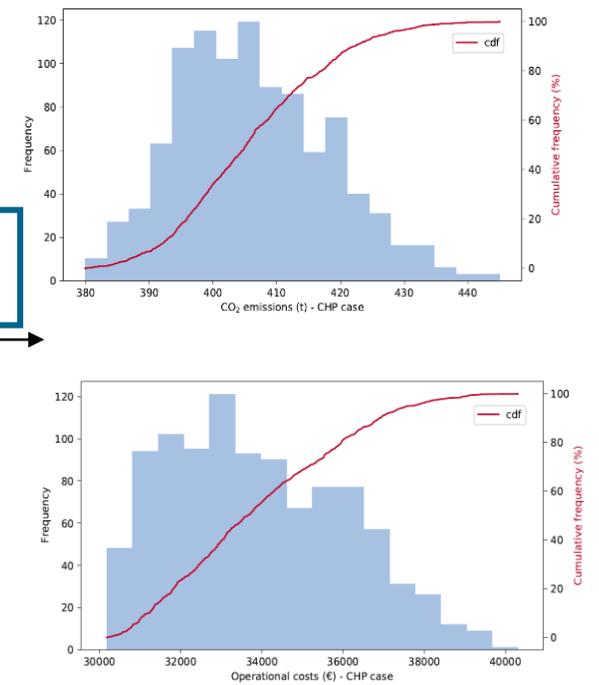
DEFLEX

## Zwischenschritt: Zeitreihen

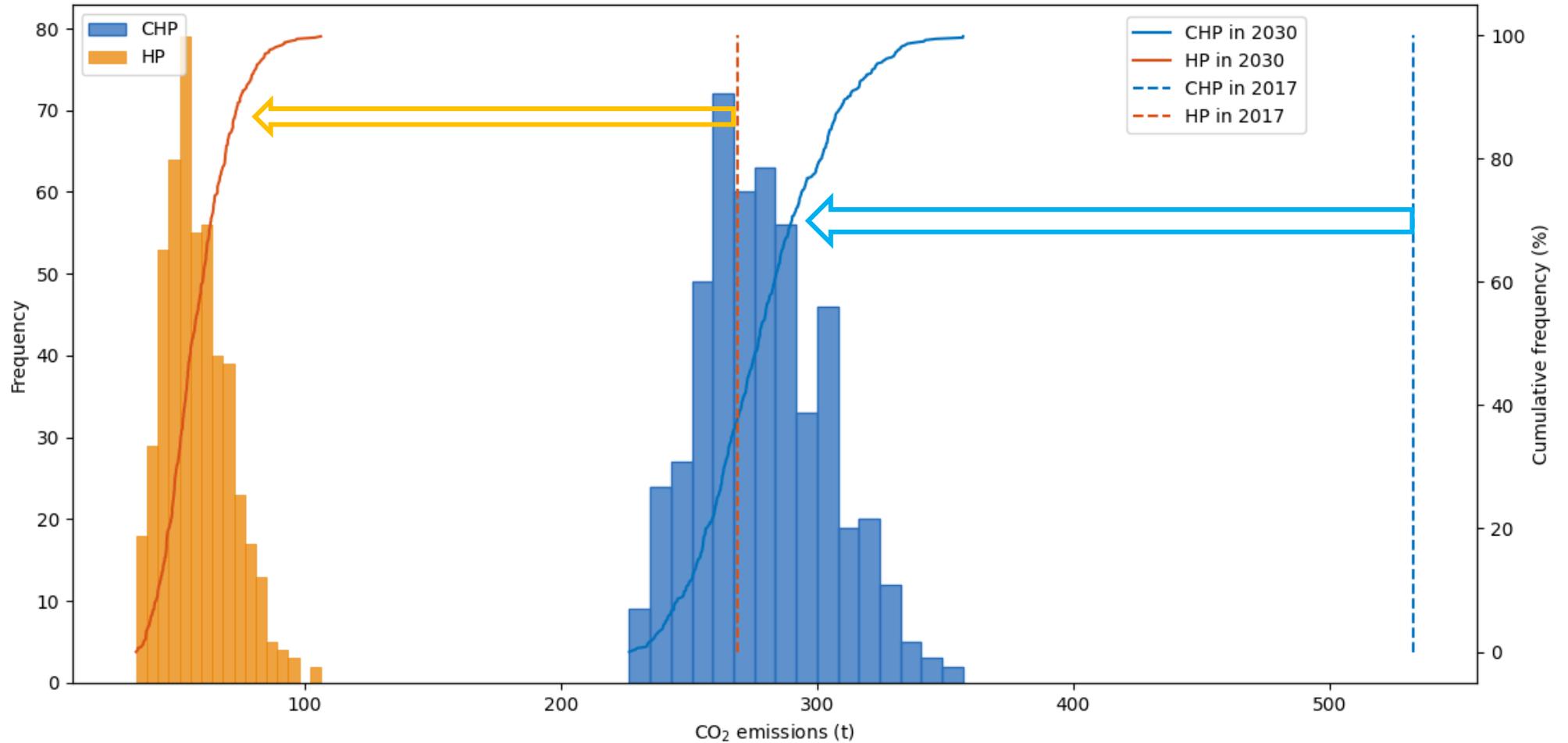


MTRESS Simulation

## Indikator-Verteilungen



# Modellierung der Zukunft → Monte-Carlo (Ergebnisse)



Turhan, <https://elib.dlr.de/146157/>