

# ISES

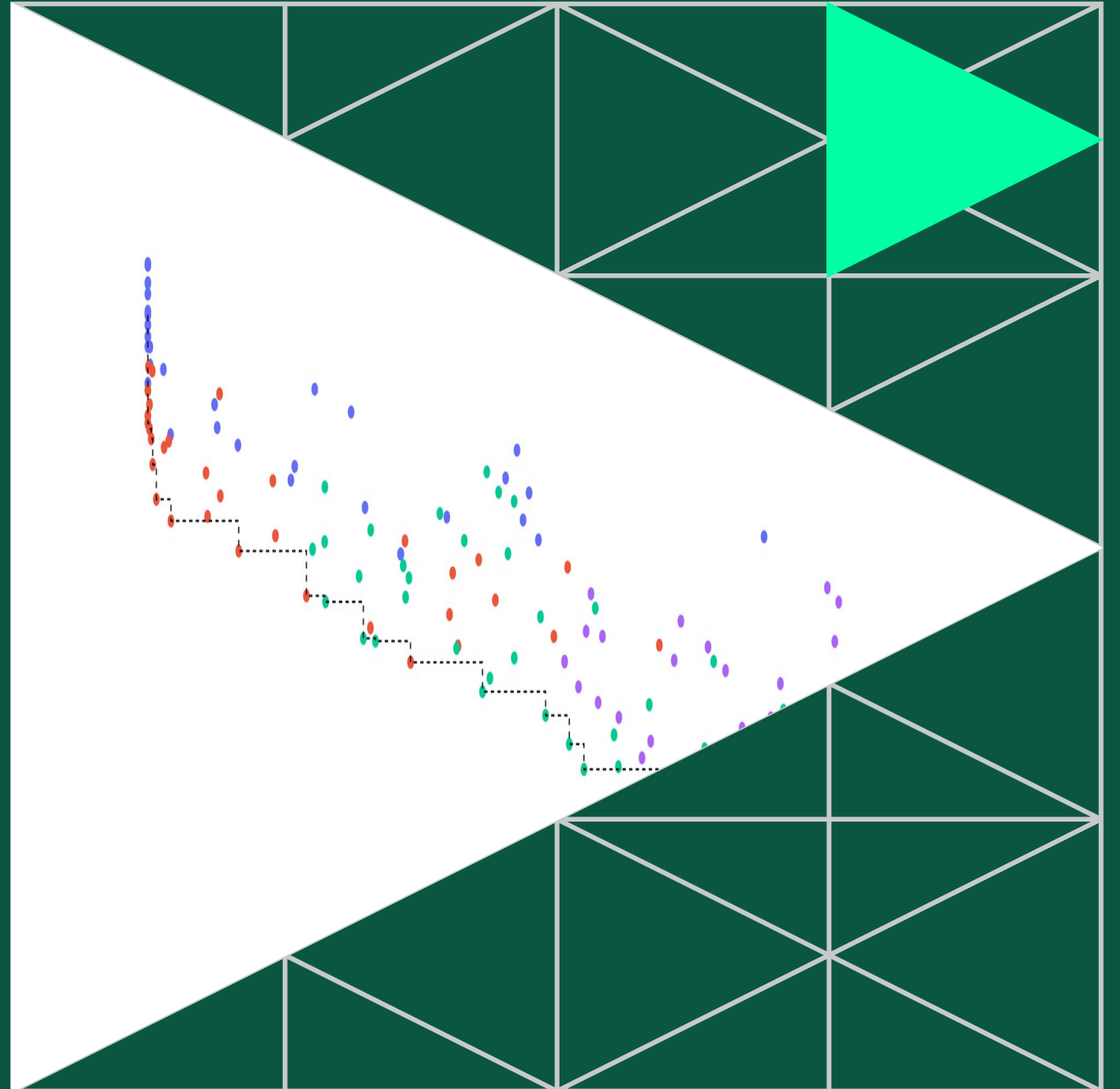
Institut für Nachhaltige  
Energiesysteme

## VALIDIERUNG EINER WERKZEUGKETTE ZUR MULTIKRITERIELLEN OPTIMIERUNG VON ENERGIESYSTEMEN AUF MODELICA BASIS

Sebastian Mortag, Herbert Palm

18. Symposium Energieinnovation, 14.-16.02.2024, Graz

HM 



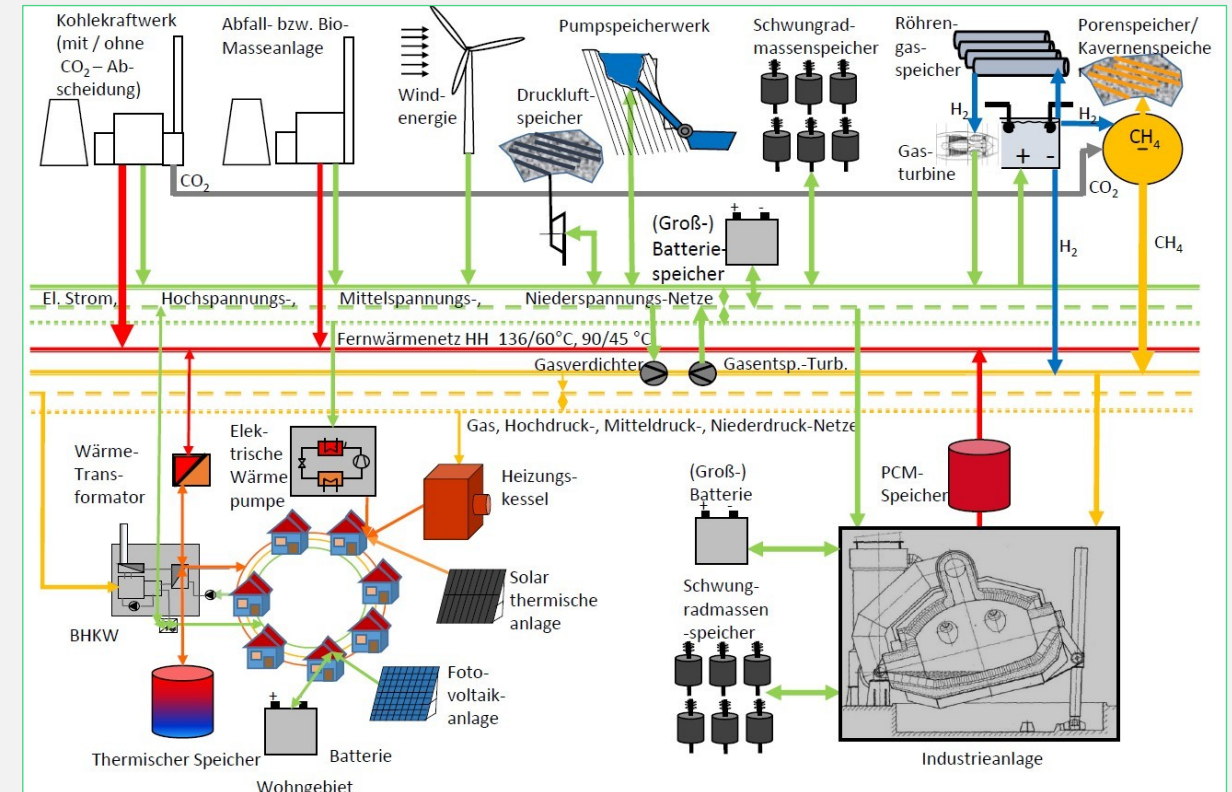
# Hintergrund und Motivation

## Energiewende auf kommunaler Ebene

- Trend zur Dezentralisierung
- Nachhaltige Primärenergieträger
- Sektorenkopplung

## Aber

- Hohe Kosten von proprietärer Software
- Nicht ausreichende Energienutzungspläne (ENP)
- Entscheidungsprozesse ohne Trade-off Analyse



Transientes Verhalten gekoppelter Energienetze mit hohem Anteil Erneuerbarer Energien, Technische Universität Hamburg-Harburg, Abschlussbericht, L. Andresen, P. Dubucq, R. Peniche, G. Ackermann, A. Kather, G. Schmitz, Technische Informationsbibliothek, Hannover, 2017, doi: 10.2314/GBV:1002659345

→ **Entwicklung einer Werkzeugkette zur Simulation und Multikriteriellen Optimierung von Energiesystemmodellen auf Basis von frei verfügbaren Komponenten**

## Schritt 1 - Verifikation von Komponenten

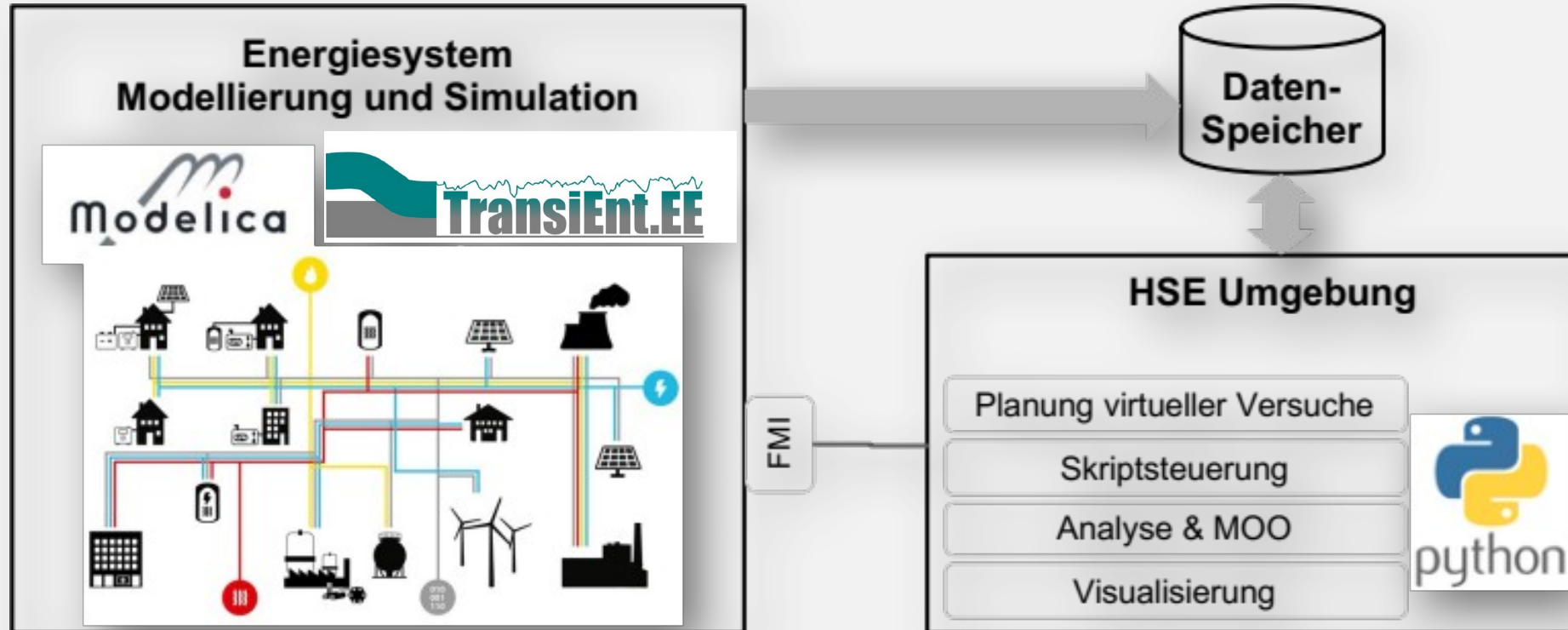
- Simulationen von Erzeugeranlagen über unterschiedliche Parameterausprägungen
- Berechnung der prozentualen Abweichung der Leistungserträge von bekannten Ergebnissen mit proprietärer Software



## Schritt 2 - Validierung auf Systemebene

- Szenario-basierter Vergleich von Autarkie und Eigenverbrauch
- Vergleichende Betrachtung von Ausbaualternativen mittels voll-faktoriellem Design und Multikriterieller Optimierung

# Übersicht der Werkzeugkette

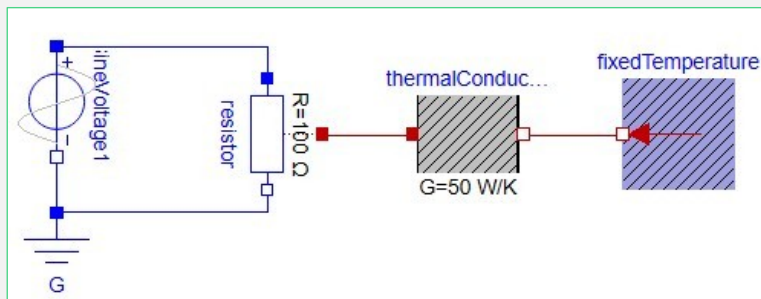
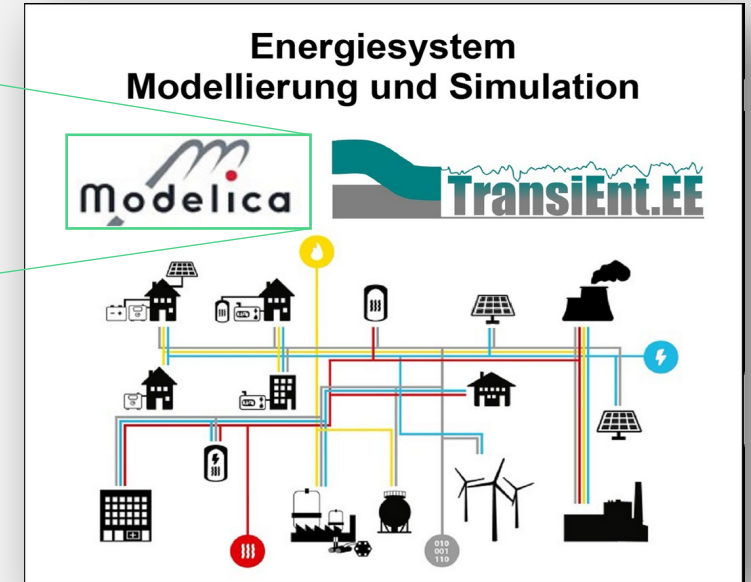


**FMI:** Functional Mock-Up Interface  
**HSE:** Hyper-Space Exploration  
**MOO:** Multi-Objective Optimization

# Aufbau der Werkzeugkette

## Energiesystemmodellierung mit Modelica

- Objekt-orientiert Modellierung multiphysikalischer Systeme
- Differenzialgleichungs-basierte Beschreibung physikalischer Prozesse



Beispiel eines elektrischen Widerstands mit thermischen Effekten in Modelica

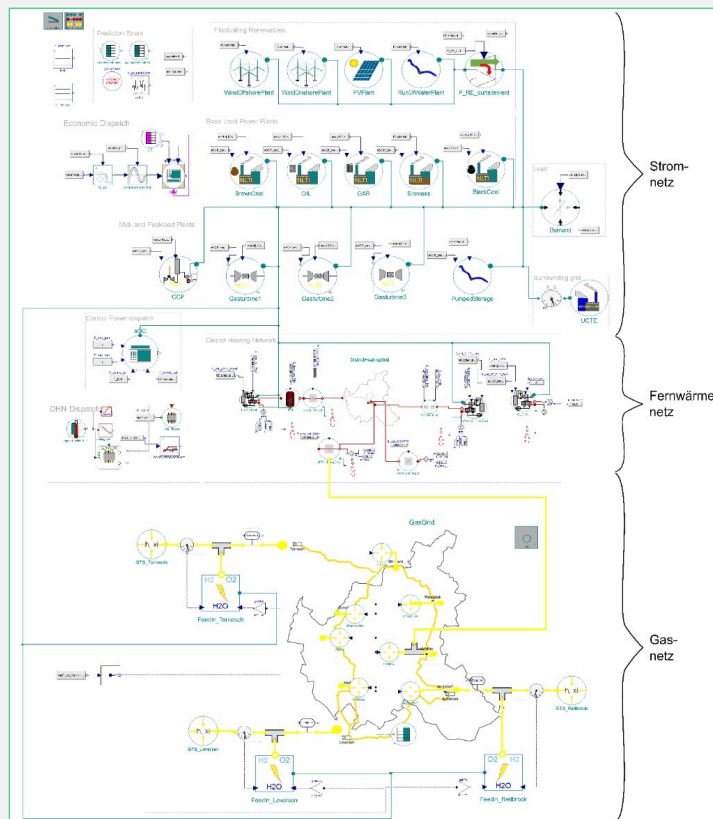
equation

```
G.p.i+SineVoltage1.n.i+resistor.n.i = 0.0;  
SineVoltage1.n.v = G.p.v;  
resistor.n.v = G.p.v;  
SineVoltage1.p.i+resistor.p.i = 0.0;  
resistor.p.v = SineVoltage1.p.v;  
fixedTemperature.port.Q_flow+thermalConductor.port_b.Q_flow = 0.0;  
thermalConductor.port_b.T = fixedTemperature.port.T;  
resistor.heatPort.Q_flow+thermalConductor.port_a.Q_flow = 0.0;  
thermalConductor.port_a.T = resistor.heatPort.T;
```

# Aufbau der Werkzeugkette

## Modellierung von Sektor-gekoppelten Energiesystemen mit TransiEnt

- Sammlung generischer Energiesystemkomponenten
- Parametrisierbar mit variablem Level-of-Detail
- Abbildung von Erzeugung und Verbrauch von Strom, Gas und Wärme

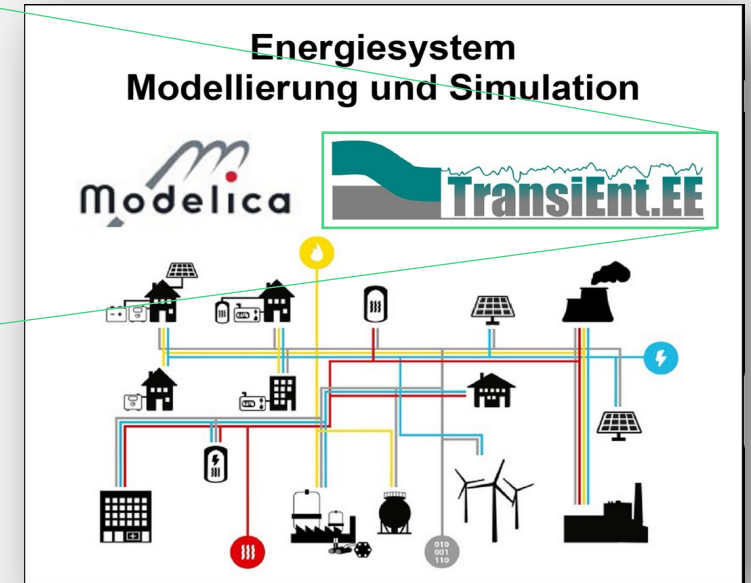


- TransiEnt
- UsersGuide
- Basics
- Components
- Producer
- Consumer
- Grid
- Storage
- Examples
- SimCenter
- ModelStatistics

Transientes Verhalten gekoppelter Energienetze mit hohem Anteil Erneuerbarer Energien, Technische Universität Hamburg-Harburg, Abschlussbericht, L. Andresen, P. Dubucq, R. Peniche, G. Ackermann, A. Kather, G. Schmitz, Technische Informationsbibliothek, Hannover, 2017, doi: 10.2314/GBV:1002659345

Validierung einer Werkzeugkette zur multikriteriellen Optimierung von Energiesystemen

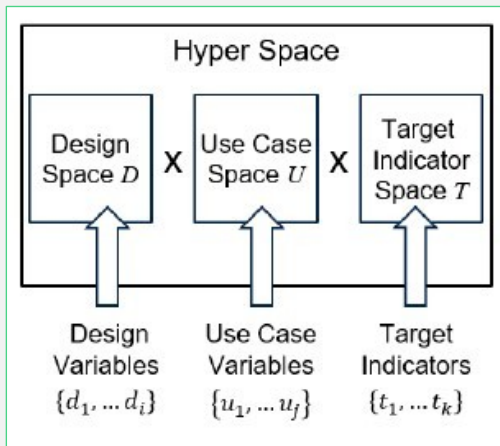
15. Februar / Sebastian Mortag



# Aufbau der Werkzeugkette

## Hyper-Space Exploration Umgebung

- Framework zur Multikriteriellen Optimierung
- Ermöglicht Trade-Off Analysen komplexer Systeme
- Planung und Auswertung virtueller Versuche



H. Palm and J. Holzmann, "Hyper Space Exploration A Multicriterial Quantitative Trade-Off Analysis for System Design in Complex Environment," 2018 IEEE International Systems Engineering Symposium (ISSE), Rome, Italy, 2018, pp. 1-6, doi: 10.1109/SysEng.2018.8544435.

## HSE Umgebung

Planung virtueller Versuche

Skriptsteuerung

Analyse & MOO

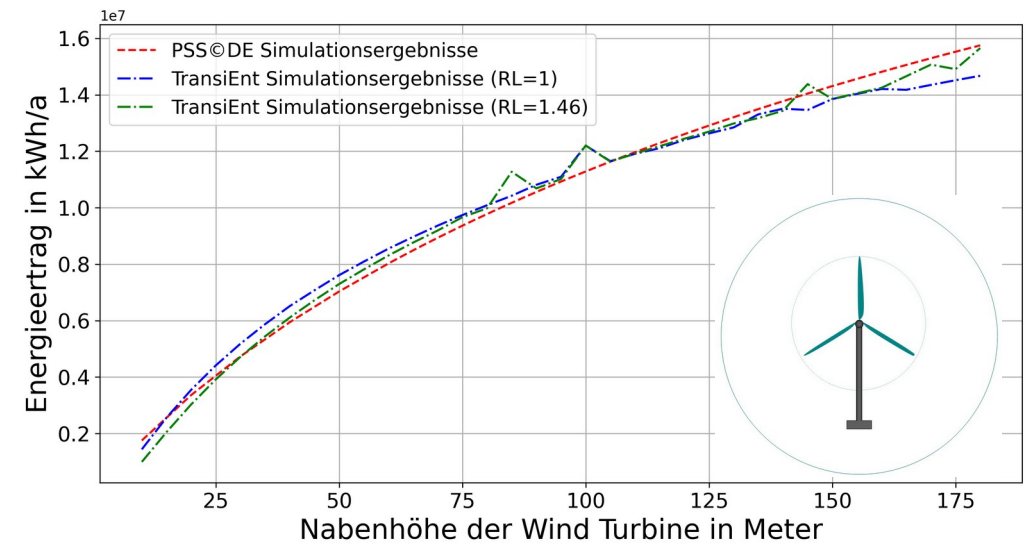
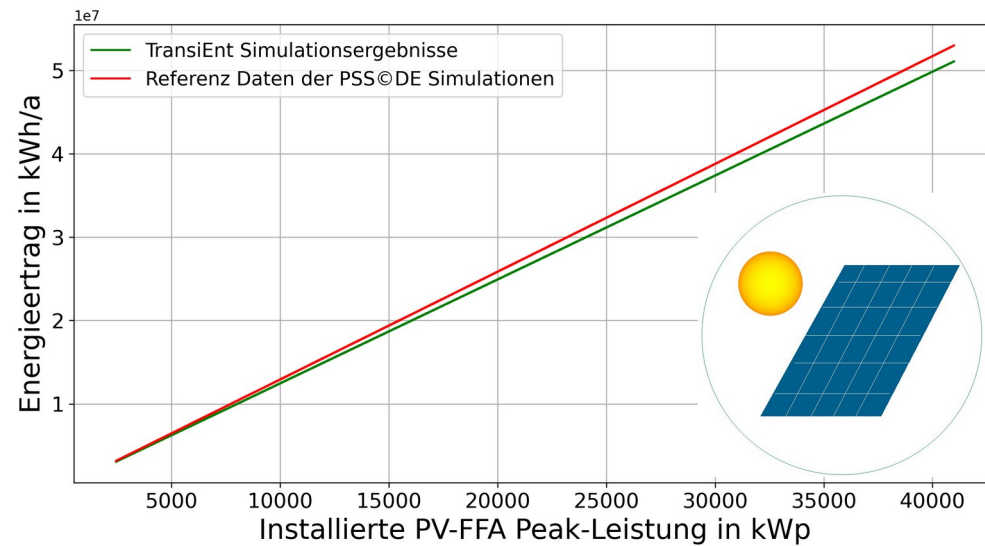
Visualisierung



# Ergebnisse

## Verifizierung der Komponenten

- Systematische Untersuchung der Komponenten PV-FFA und WKA
- Vergleich von Jahreserträgen über Variation der installierten Peak-Leistung bzw. Nabenhöhe
- Simulationsergebnisse weichen im Mittel um <5% von den Referenzwerten ab



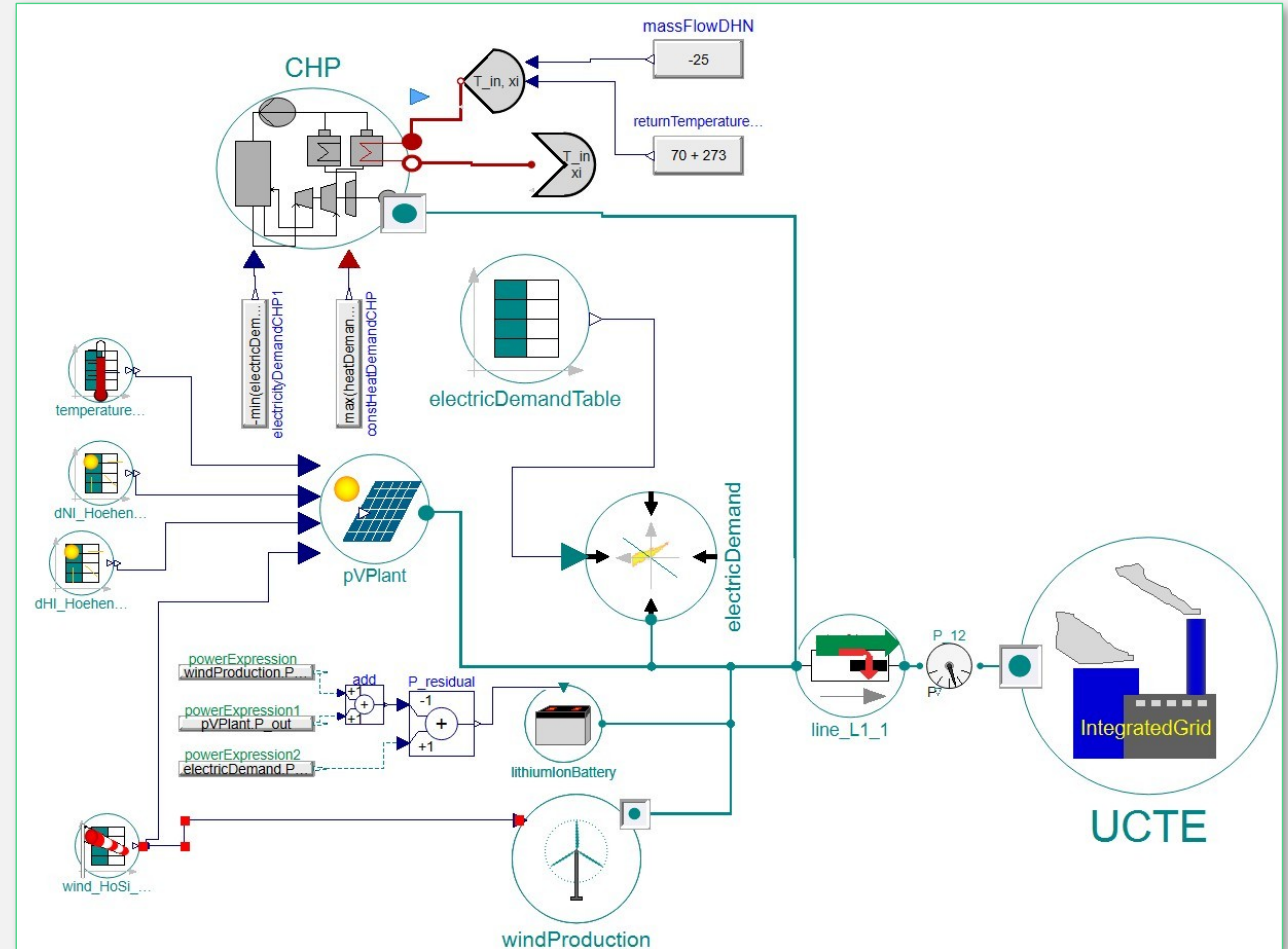


# Ergebnisse

## Szenario-basierte Validierung

- Bedienung des Systems mit historischen Umweltdaten
- Jährlicher Strombedarf von 43,7GWh
- 0 bis 3 Windkraftanlagen mit 5,7MW Nominalleistung
- 0 bis 21MWp installierte PV-FFA Peak-Leistung
- 0 bis 100MWh elektrischer Energiespeicher

## Definition der Zielgrößen (KPIs)



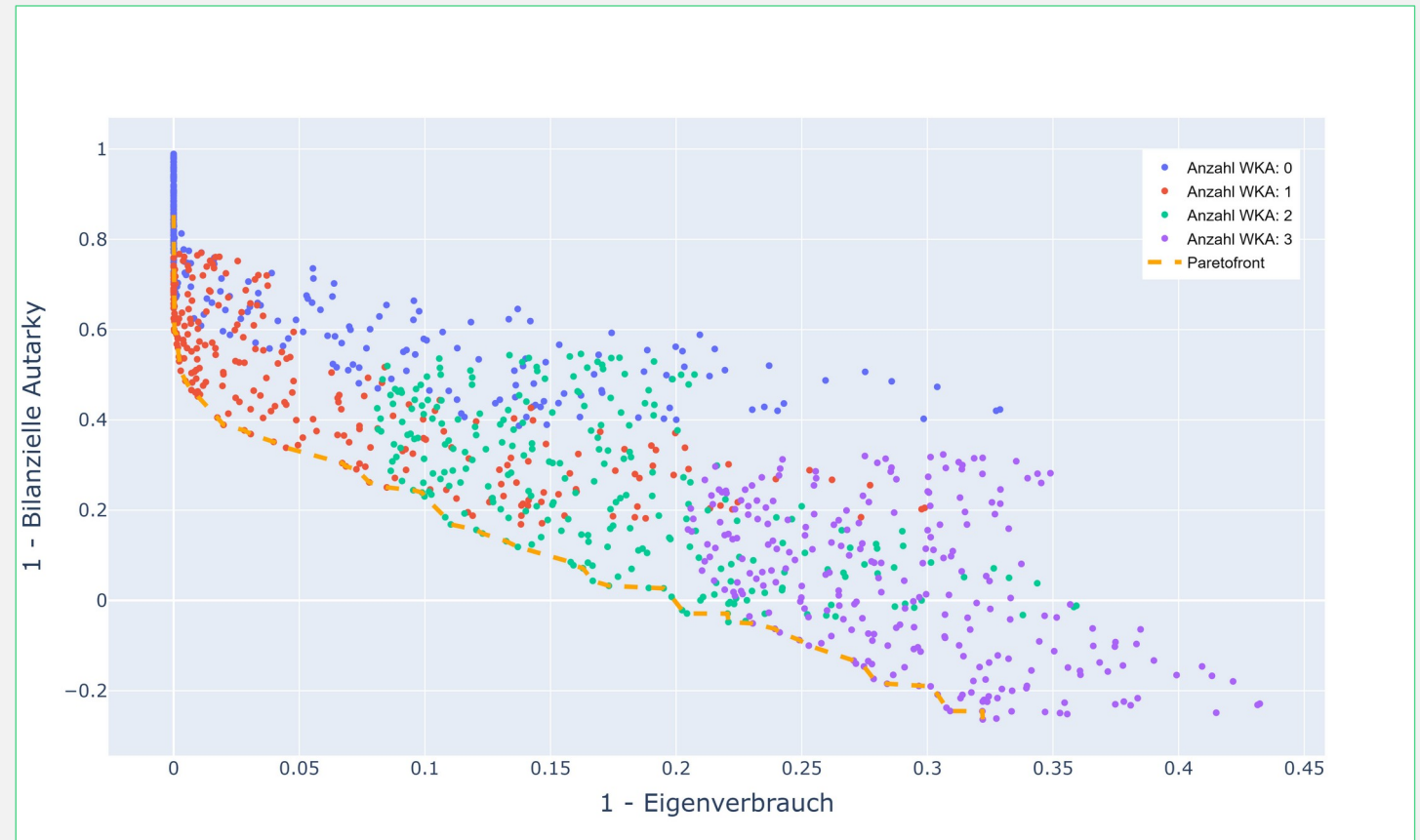
Validierung einer Werkzeugkette zur multikriteriellen Optimierung von Energiesystemen

15. Februar / Sebastian Montag

# Ergebnisse

## Szenario-basierte Validierung

- Auswertung des Systems mittels vollfaktoriellem Versuchsplan
- Parallelisierte Berechnung von 1000 Datenpunkten
- Benötigte Rechenzeit: 3h10min.
- Ermitteltes Hypervolumen: 0,516



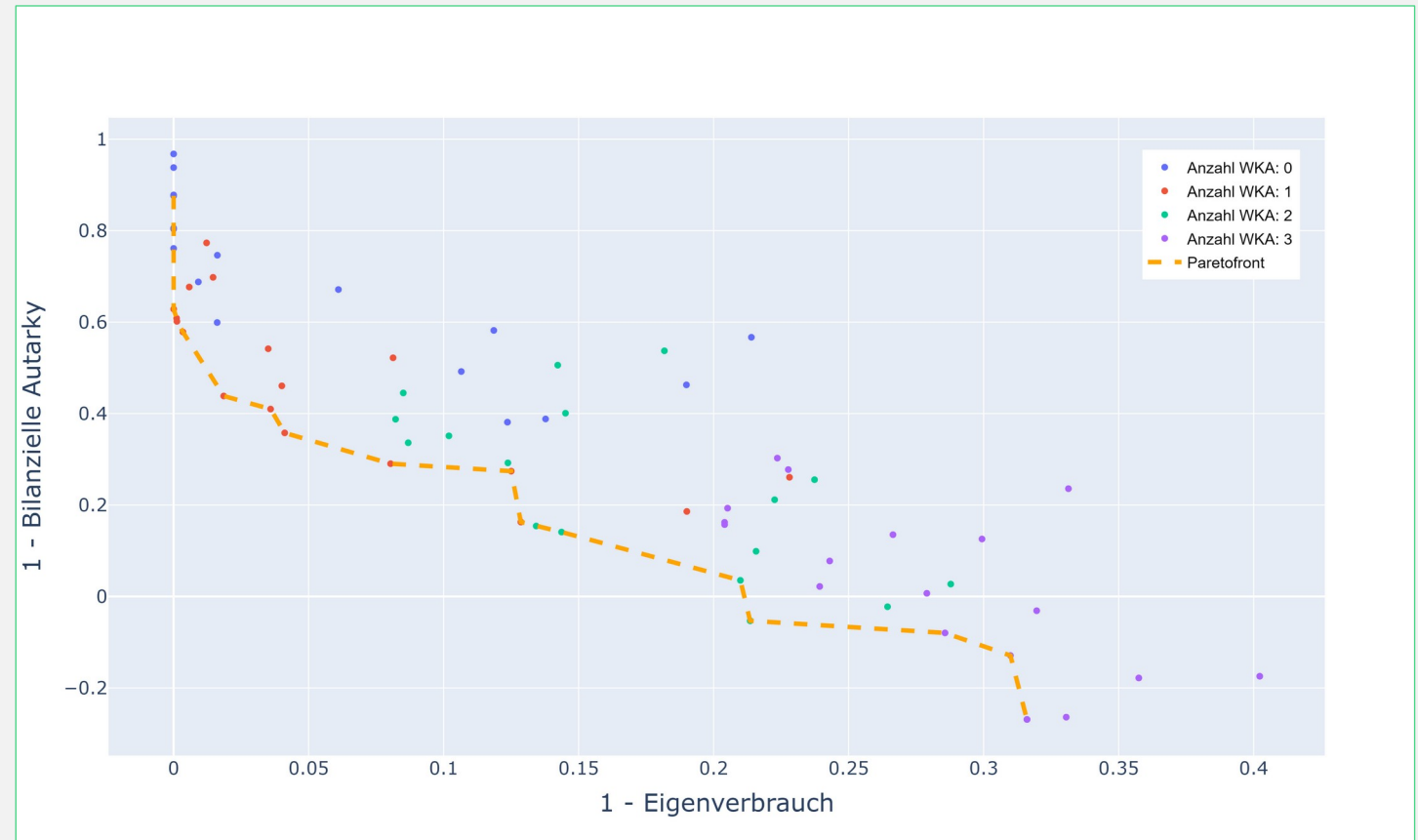
Validierung einer Werkzeugkette zur multikriteriellen Optimierung von Energiesystemen

15. Februar / Sebastian Montag

# Ergebnisse

## Szenario-basierte Validierung

- Auswertung des Systems mittels automatisch identifizierter Paretofront
- 72 ausgewertete Simulationen
- Benötigte Rechenzeit: 35min.
- Ermitteltes Hypervolumen: 0,496 (<4% Abweichung)
- Faktor >5 beschleunigte Berechnung der Paretofront



Validierung einer Werkzeugkette zur multikriteriellen Optimierung von Energiesystemen

15. Februar / Sebastian Mortag

# Zusammenfassung & Ausblick

- Komponenten sind verifiziert, Fehler im Mittel  $<5\%$
- Szenario-basierte Validierung ermittelt vergleichbare Ergebnisse mit  $<4\%$  Abweichung des Hypervolumen
- Systematische Untersuchung von gegenläufigen Zielgrößen mit Faktor  $>5$  geringerer Rechenzeit

- Weitere Anwendungen im Bereich Energiesystemauslegung sind geplant
- Für weitere Anwendungsbereiche nehmen wir gerne Anregungen und Ideen entgegen
- Entwickler Source Code steht auf Anfrage zur Verfügung

# Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

## Kontakt

Sebastian Mortag  
mortag@hm.edu

Prof. Dr. Herbert Palm  
herbert.palm@hm.edu