



# Modellbasierte Analyse der Auslegung und des Betriebs kommunaler Energieversorgungssysteme

Thomas Bexten  
Björn Roscher  
Daniel Weintraub  
Ralf Bachmann  
Ralf Schelenz  
Peter Jeschke  
Rik W. De Doncker  
Manfred Wirsum

# Modellbasierte Analyse der Auslegung und des Betriebs kommunaler Energieversorgungssysteme

---

## Überblick

- Motivation und Hintergrund
  - Strukturwandel der Energieversorgung
  - Projekt „Kommunale Energieversorgungssysteme der Zukunft“
- Stationäres Simulationswerkzeug
  - Zielsetzung
  - Methodik
- Exemplarische Simulationsrechnung
  - Eingangsparameter
  - Ergebnisse
- Fazit und Ausblick

# Modellbasierte Analyse der Auslegung und des Betriebs kommunaler Energieversorgungssysteme

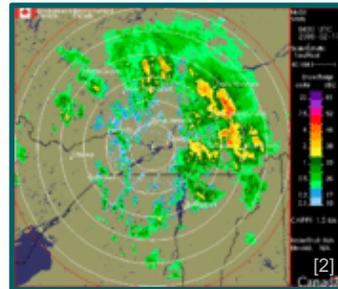
## Strukturwandel der Energieversorgung

### Herausforderungen durch regenerative Stromerzeugung

Hohe Volatilität



Geringe Prognostizierbarkeit



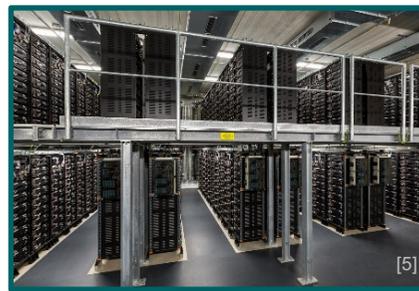
Geringe Akzeptanz



## Kommunale Energieversorgungssysteme der Zukunft



Dezentrale Strukturen



Strom-Speichertechnologien



Nutzer-Interaktion

### Entwicklungstendenzen in der Energietechnik

# Modellbasierte Analyse der Auslegung und des Betriebs kommunaler Energieversorgungssysteme

---

## Das Projekt „Kommunale Energieversorgungssysteme der Zukunft“

- Zielsetzung:
  - Entwicklung integrierter technischer, ökonomischer und gesellschaftlicher Lösungen für zukünftige dezentral geprägte Energieversorgungssysteme
  - Entwicklung eines stationären Simulationswerkzeugs zur Analyse dieser Systeme ist Schwerpunkt des Projekts
- Projektteam:
  - Interdisziplinär besetztes Projektteam bestehend aus sieben Instituten der RWTH Aachen
  - Kompetenzen in den Bereichen der Ingenieurwissenschaften, der Ökonomie und der Sozialwissenschaften
- Förderung:
  - Initiale Förderung durch den Strategie-Fonds der RWTH Aachen



# Modellbasierte Analyse der Auslegung und des Betriebs kommunaler Energieversorgungssysteme

---

## Entwicklung eines stationären Simulationswerkzeugs

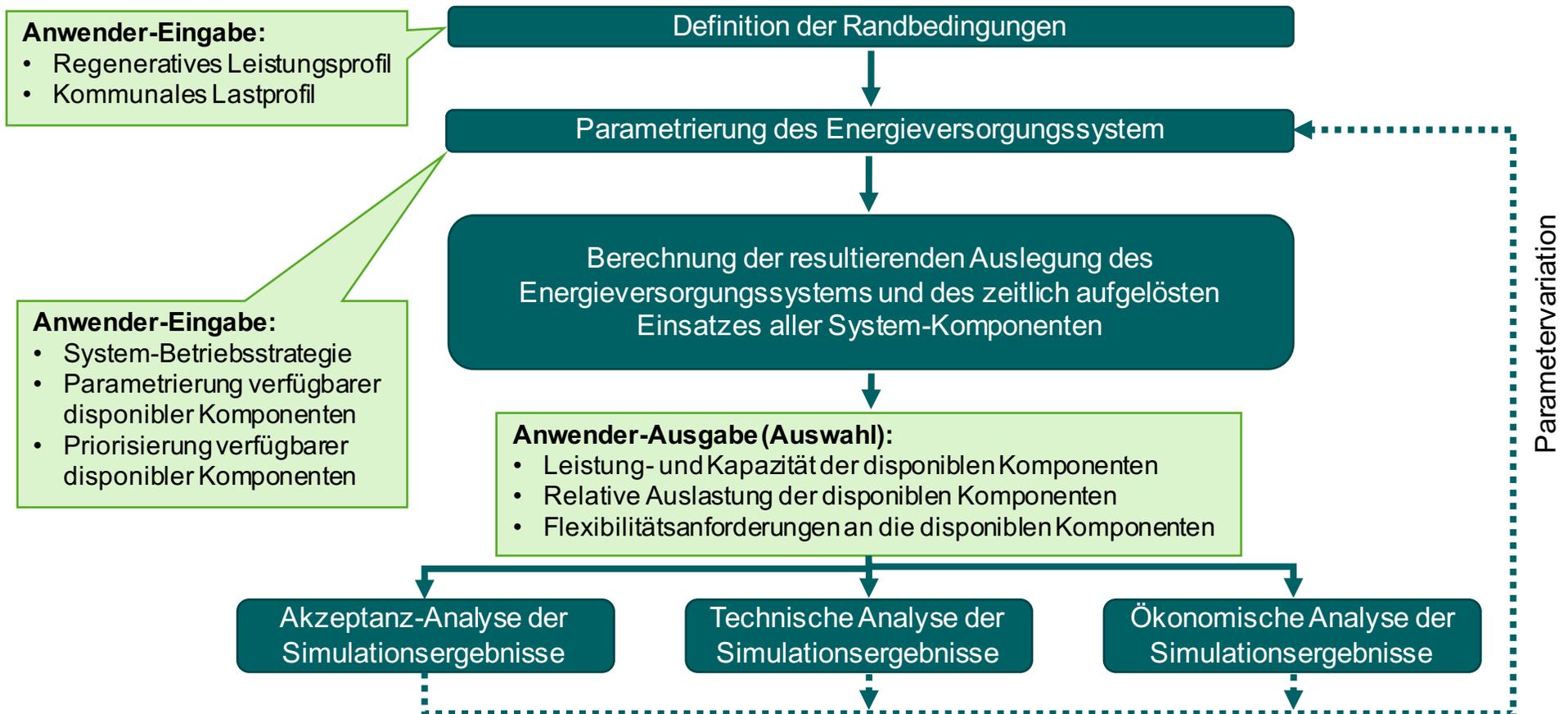
Zielsetzung	
<b>Technisch</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Analyse der Komponenten-Leistung- und Kapazität</li><li>• Analyse der Komponenten-Flexibilitäts-Anforderungen</li><li>• Analyse der relativen Komponenten-Auslastungen</li><li>• Bewertung von Komponenten-Effizienz- oder Flexibilitätssteigerungen</li></ul>
<b>Ökonomisch</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Bereitstellung der Eingangsparameter für ökonomische Modelle</li></ul>
<b>Akzeptanz</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Bereitstellung der Eingangsparameter Akzeptanz-Modelle</li></ul>



Stationäres Simulationswerkzeug basierend auf einer Vernetzung modularer Komponenten-Modelle mit Leistungs- und Lastprofilen in MATLAB/Simulink

# Modellbasierte Analyse der Auslegung und des Betriebs kommunaler Energieversorgungssysteme

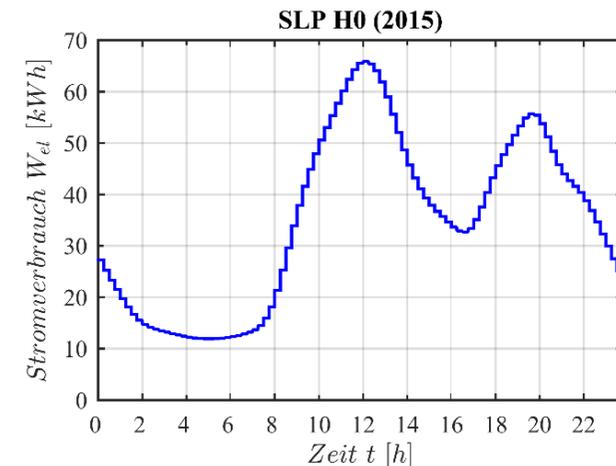
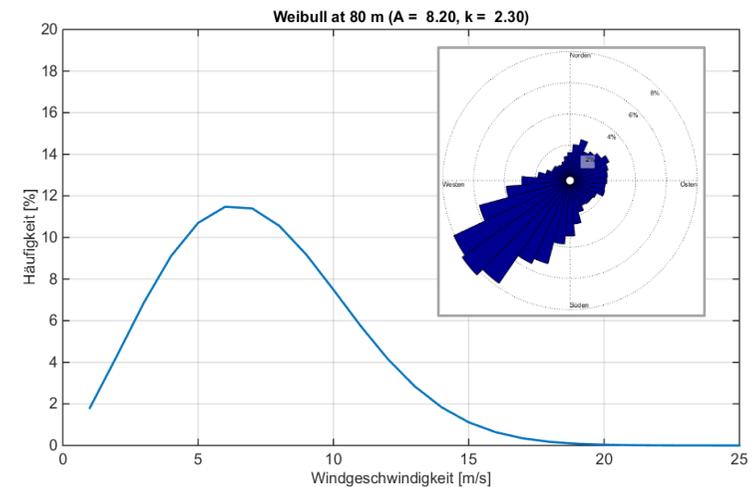
## Methodik des stationären Simulationswerkzeugs



# Modellbasierte Analyse der Auslegung und des Betriebs kommunaler Energieversorgungssysteme

## Definition der Randbedingungen und der System-Betriebsstrategie

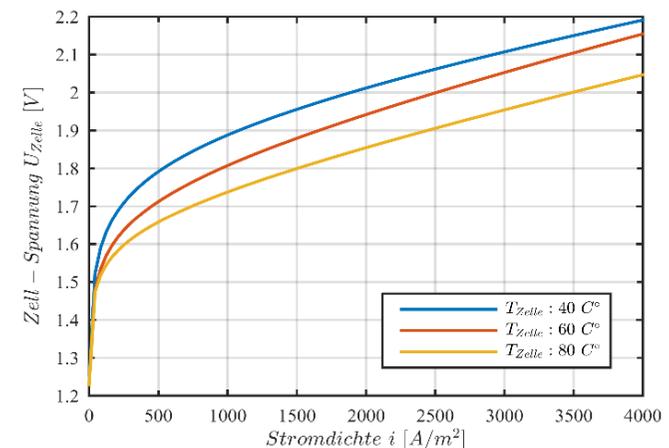
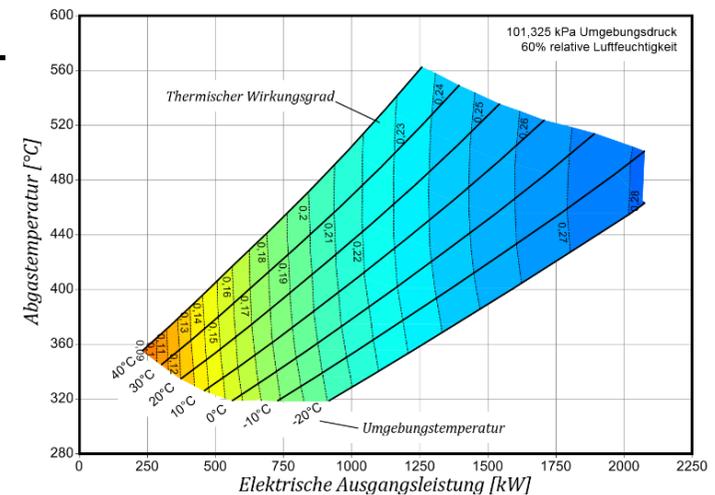
- Regenerative Stromerzeugung:
  - Erzeugung eines elektrischen Windenergie-Leistungsprofils durch Windenergie-Analgen-Modell
  - Erzeugung eines elektrischen Solarenergie-Leistungsprofils durch Photovoltaik-Analgen-Modell
- Kommunale- Strom und Wärmelast:
  - Erzeugung von Verbrauchsprofilen durch Strom- und Gas-Standardlastprofil-Modell
- System-Betriebsstrategie:
  - Zielsetzung die durch Koppelung regenerativer Erzeugungskapazitäten mit disponiblen Energiewandlungs- und Speichersystemen umgesetzt werden soll



# Modellbasierte Analyse der Auslegung und des Betriebs kommunaler Energieversorgungssysteme

## Parametrierung des Energieversorgungssystem-Modells

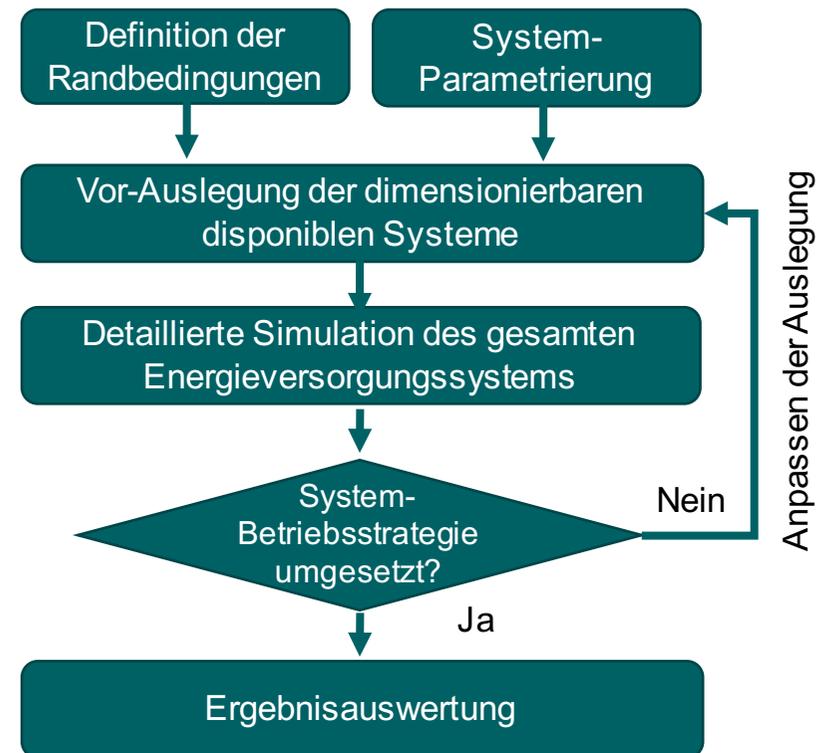
- Konfiguration der disponiblen Energiewandlungs- und Speicher-Komponenten:
  - Auswahl der zur Verfügung stehenden Komponenten
  - Auswahl der frei dimensionierbaren Komponenten
  - Priorisierung der Abrufreihenfolge der Komponenten bei Auftreten entsprechender Residuallasten
- Parametrierung der Energiewandlungs- und Speicher-Komponenten-Modelle:
  - Modelle liegen direkt in MATLAB/Simulink oder in vorgeschalteten spezialisierten Modellierungsprogrammen vor (e.g. GasTurb)
  - Parametrierung hinsichtlich Voll- und Teillastverhalten entsprechend der Modellanforderungen
  - Vorgabe der Flexibilitätsparameter (i.e. zulässige Leistungsgradienten, Anfahrzeiten, etc.)



# Modellbasierte Analyse der Auslegung und des Betriebs kommunaler Energieversorgungssysteme

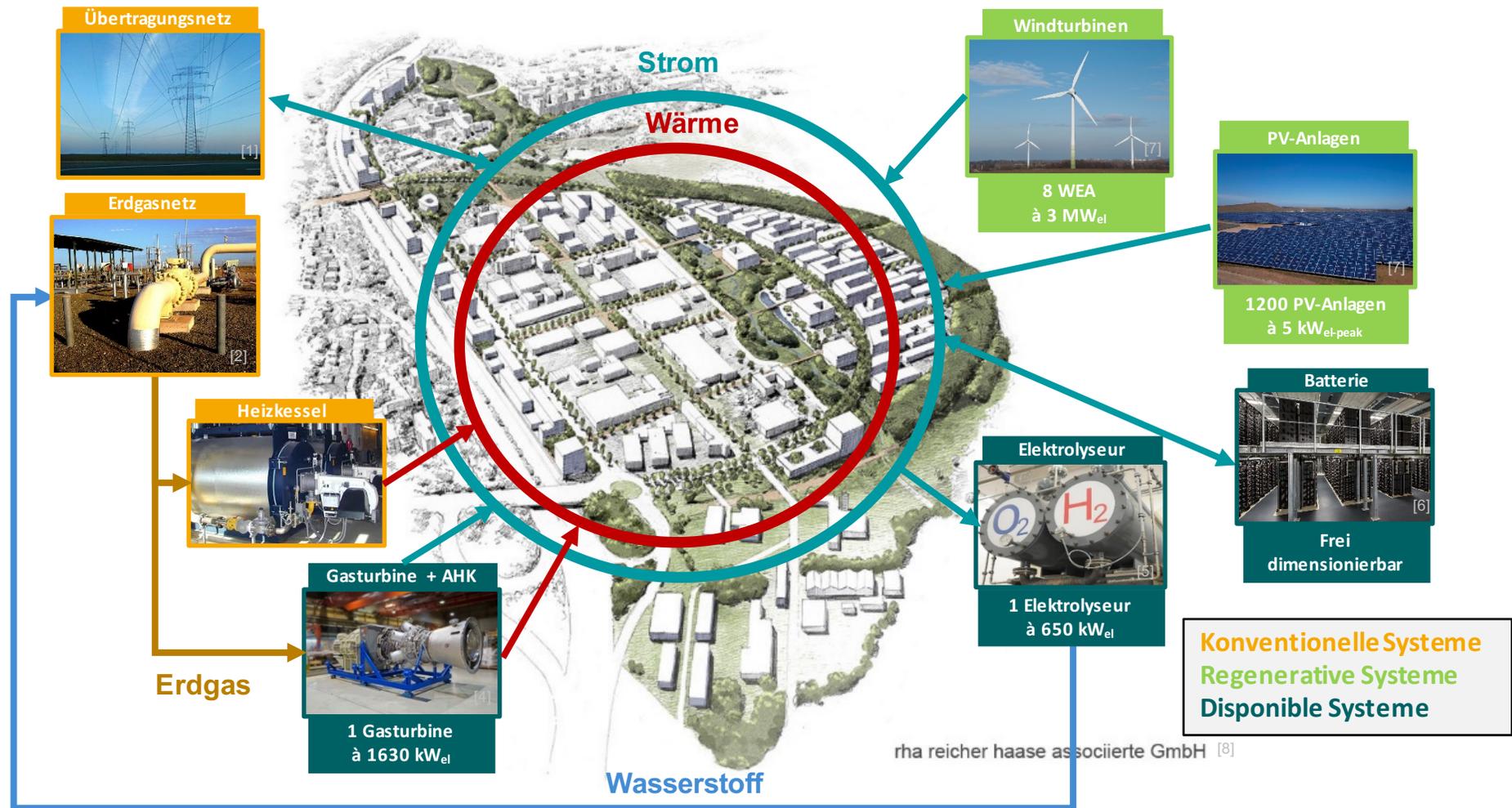
## Berechnungsalgorithmus des Simulationswerkzeugs

- Vor-Auslegung :
  - Nutzung vereinfachter Effizienz-Kennlinien aller relevanten Komponenten
  - Generierung eines Start szenarios für die erste detaillierte System-Simulation
- Detaillierte System-Simulation :
  - Berücksichtigung der vorgegebenen Flexibilitätsparameter aller Komponenten
  - Iterative Anpassung der Auslegung bis System-Betriebsstrategie umgesetzt ist
- Ergebnisauswertung:
  - Leistung und ggf. Kapazität der dimensionierbaren Komponenten
  - Anforderungen an betriebliche Flexibilität (e.g. Anzahl Start) aller Komponenten



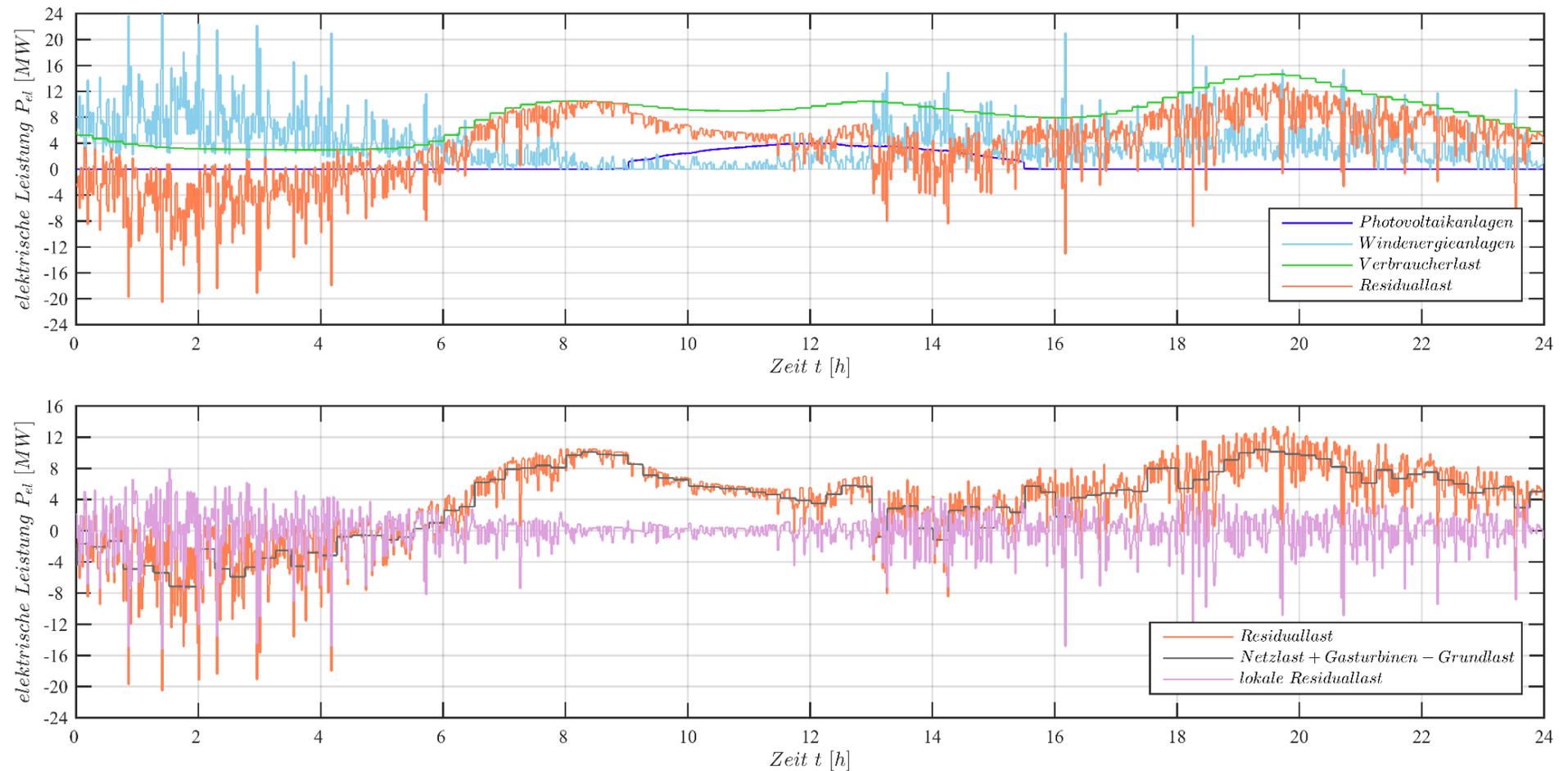
# Modellbasierte Analyse der Auslegung und des Betriebs kommunaler Energieversorgungssysteme

## Eingangsparameter einer exemplarischen Simulationsrechnung



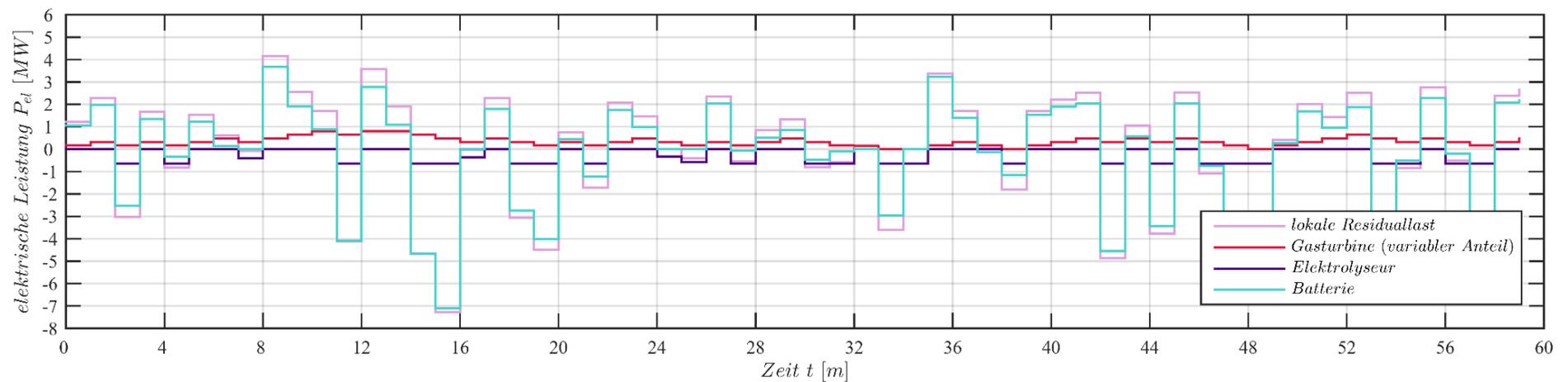
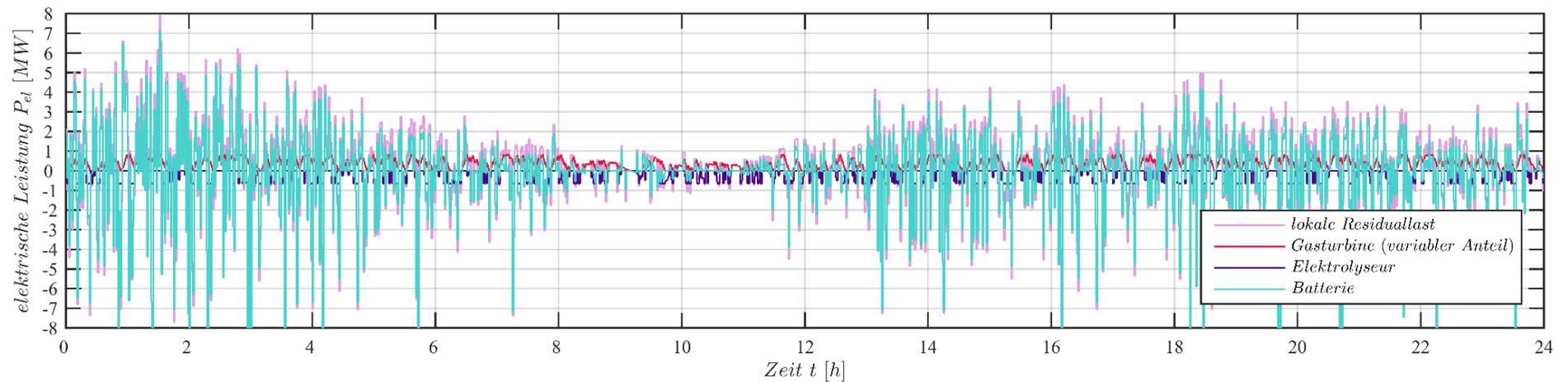
# Modellbasierte Analyse der Auslegung und des Betriebs kommunaler Energieversorgungssysteme

## Ergebnisse der exemplarischen Simulationsrechnung (1/3)



# Modellbasierte Analyse der Auslegung und des Betriebs kommunaler Energieversorgungssysteme

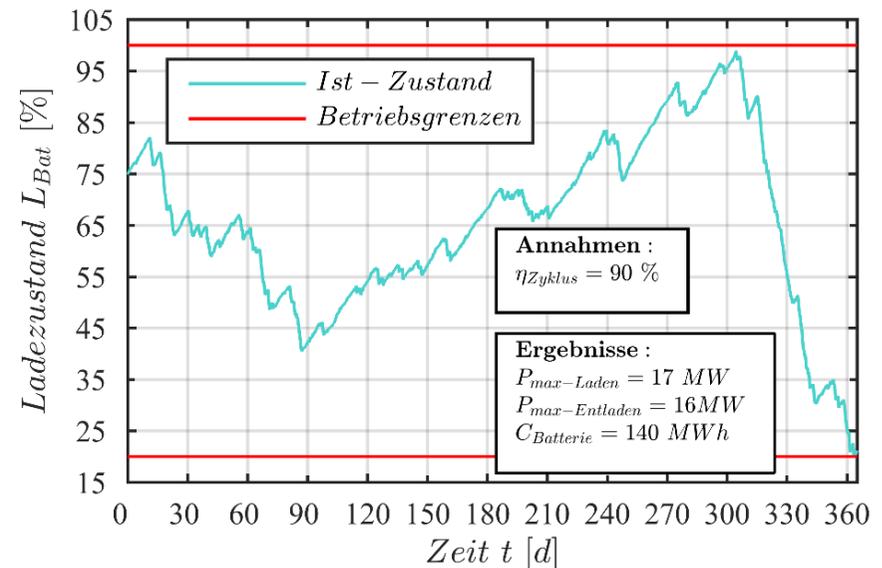
## Ergebnisse der exemplarischen Simulationsrechnung (2/3)



# Modellbasierte Analyse der Auslegung und des Betriebs kommunaler Energieversorgungssysteme

## Ergebnisse der exemplarischen Simulationsrechnung (3/3)

- Hohe Volatilität der Windenergie-Stromerzeugung führt zu hoher Volatilität der lokalen Residuallast
- Betriebliche Flexibilität der Gasturbine ist nicht ausreichend zur Kompensation der Volatilität der positiven Residuallast
- Volatilität der negativen Residuallast resultiert in einer hohen Anzahl an Startvorgängen des Elektrolyseurs
- Batterie wird zur Kompensation der Volatilität der Residuallast benötigt



		GT	EZ
Startvorgänge	[-]	0	101411
Volllaststunden	[h]	6021	3271
max. positiver Leistungsgrad.	[kW/min]	160	650
max. negativer Leistungsgrad.	[kW/min]	160	650

## Fazit und Ausblick

- Fazit:
  - Simulationswerkzeug ermöglicht die Analyse der Auslegung und der Anforderungen an die betriebliche Flexibilität von disponiblen Systemkomponenten in dezentralen Energieversorgungssystemen mit hohen Anteilen an regenerativer Stromerzeugung
  - Exemplarische Simulationsrechnung zeigt den Einfluss der hohen Volatilität der regenerativen Stromerzeugung auf die Auslegung und den Betrieb der disponiblen Energiewandlungs- und Speichersysteme
- Ausblick:
  - Zunehmende Automatisierung der Definition der Randbedingungen und der Parametrierung der Komponentenmodelle entsprechend der Nutzereingaben
  - Erweiterung der Modellbibliothek um weitere disponible Komponenten
  - Verstärkte Fokussierung auf die Modellierung der Wärmeerzeugung und -speicherung

**Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!**

