



## Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. René Hofmann Universitätsprofessor TU Wien

Forschungsfokus: Simulation of complex industrial and energy production systems, optimization of the operation and control issues of industrial energy systems & processes, optimization strategies (multi components), integration of renewable energy systems, advanced methods and industrial applications, increasing energy efficiency, demand-side-management, Pinch-Point methods for dynamic process integration of heat pumps and thermal energy storages, industrial application of thermal energy storages.

Seit Mai 2015: University Professor for Industrial Energy Systems, TU Wien sowie Senior Scientist, AIT und seit Jänner 2018 zudem Thematic Coordinator, in der Competence Unit Thermal Energy Systems, Center for Energy, AIT.

# Smart Industrial Concept!

Holistic Approach with Digitalization of Industrial Processes  
and Applications for 2050 and beyond



TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
WIEN



**AIT**  
AUSTRIAN INSTITUTE  
OF TECHNOLOGY  
TOMORROW TODAY

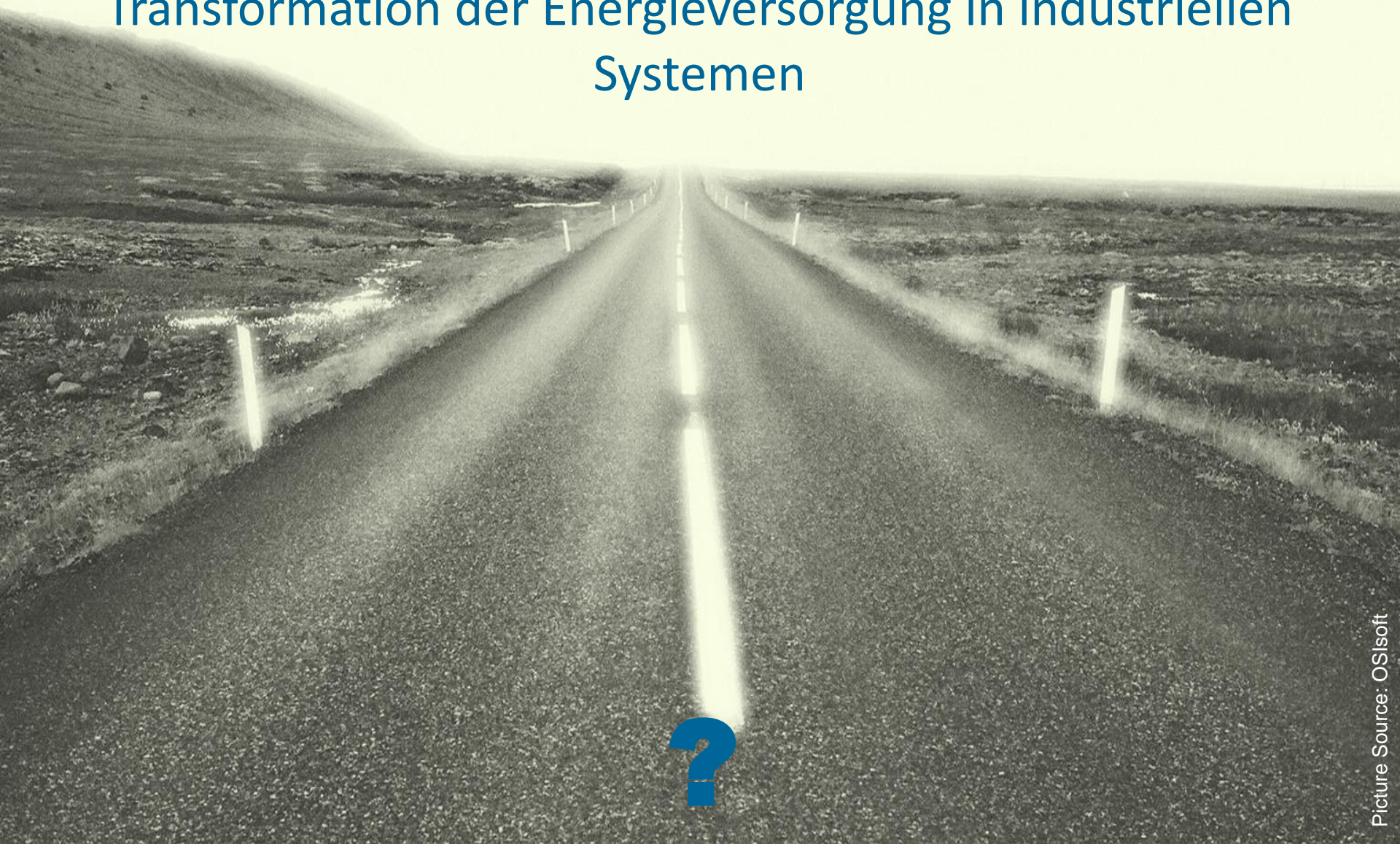
**René Hofmann**  
Wissenschaftlicher Leiter SIC!

Vienna Cooperation Doctoral School  
Evon Up2Date, Schielleiten 20.06.2018



# Wandel des Energiesystems

## Transformation der Energieversorgung in industriellen Systemen



Picture Source: OS!soft

# Die Herausforderungen...



## Herausforderung

- Diversifizierung der Energieerzeugung
- Lastflexibilisierung
- Volatilität der erneuerbaren Energien
- Berücksichtigung des Energiemarktes

## Energieintensive Industrie - Energieversorgungssystem

- **Optimaler Anlagenbetrieb** → schöpft das volle Potenzial von Industrieanlagen aus.
- **Bedarf an neuem flexiblen Design** und prädiktiven Automatisierungs-/Regelungskonzepten

# Das Ziel...



## Energie 4.0

- Dekarbonisierung & Digitalisierung der Industrie (Kernthemen)
- Erforschung komplexer industrieller Systeme zur digitalen und physikalischen (technologischen) Transformation
- Flexibilisierungskonzept von industriellen Energieversorgungsanlagen mit optimal ausgelegten Komponenten für einen optimalen Betrieb → Kopplung unterschiedlicher Forschungsbereiche
- Aufbau interdisziplinärer Kompetenzfelder

# SIC! in a Nutshell

## Übergeordnetes Ziel

Mehrwert durch gezielten Dateneinsatz

Methodenentwicklung für energieoptimalen Betrieb industrieller Anlagen

Optimales Anlagendesign für zukünftiges Umfeld

Berücksichtigung gegenseitiger Interaktion Industrie ↔ Energienetze



Einsatzoptimierung (KWK, P2X, Speicher, Wärmepumpe, etc.)



Datenverarbeitung und -aufbereitung



Energiemarkt  
Erzeugung  
dezentral/volatil  
Sektorenkopplung



Optimale Auslegung der Energieversorgung



## Automatisierung und Regelungskonzept

# Forschungskompetenzen



Datengetriebene Modellierung

Netze Energiemärkte



Datenverarbeitung und Automatisierung

Industrie im Verteilnetz und Sektorkopplung



Reglerentwicklung

Prozessanalyse Prozessintegration

Betriebsoptimierung

Optimale Auslegung und Planung



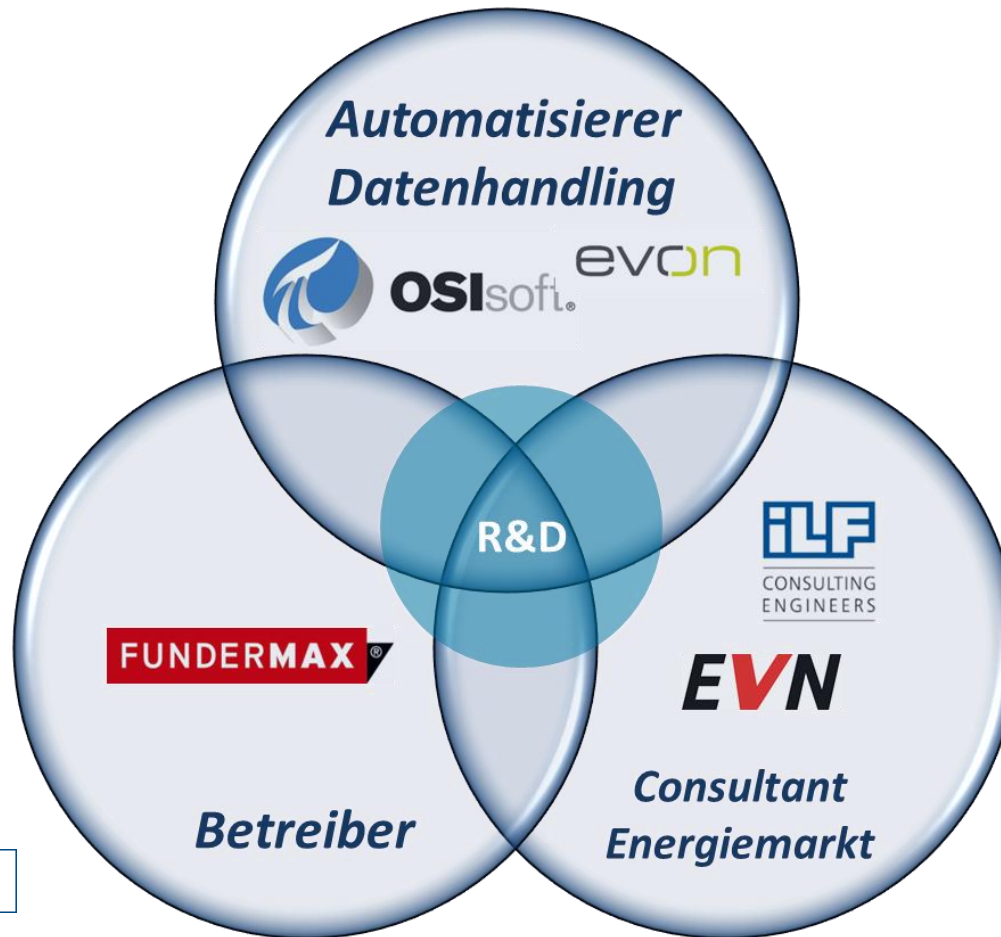
Mathematische Optimierung

Thermodynamische Systeme



# SIC! geschlossener ausgewogener Ansatz

Industrielle Expertenerfahrung...



...auf Basis der wissenschaftlichen Exzellenz



# SIC! [Smart Industrial Concept]

Datenverarbeitung  
und  
Automatisierung

PhD#1



TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
WIEN

Optimale Auslegung  
und Planung

PhD#4



TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
WIEN

CONSULTING  
ENGINEERS

Industrie im  
Verteilnetz und  
Sektorkopplung

PhD#6



AUSTRIAN INSTITUTE  
OF TECHNOLOGY  
TOMORROW TODAY

Einsatzoptimierung

PhD#3



TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
WIEN



PhD#2



TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
WIEN

PhD#8



MONTAN  
UNIVERSITÄT  
WWW.UNILEOBEN.AC.AT

PhD#7



MONTAN  
UNIVERSITÄT  
WWW.UNILEOBEN.AC.AT

PhD#5



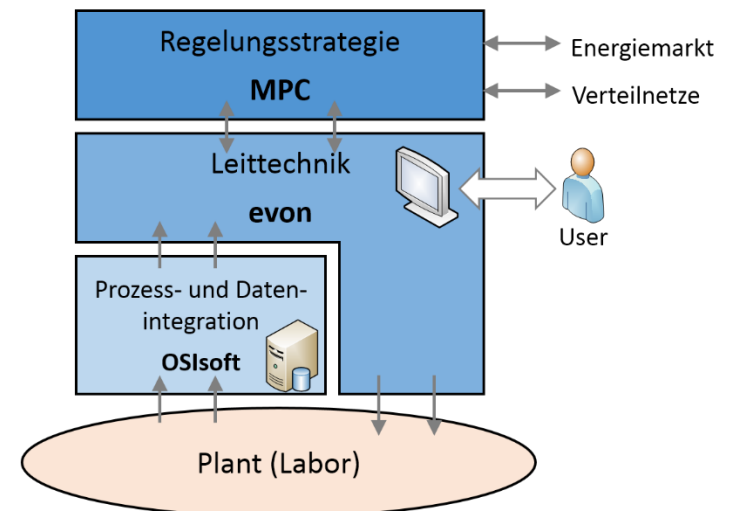
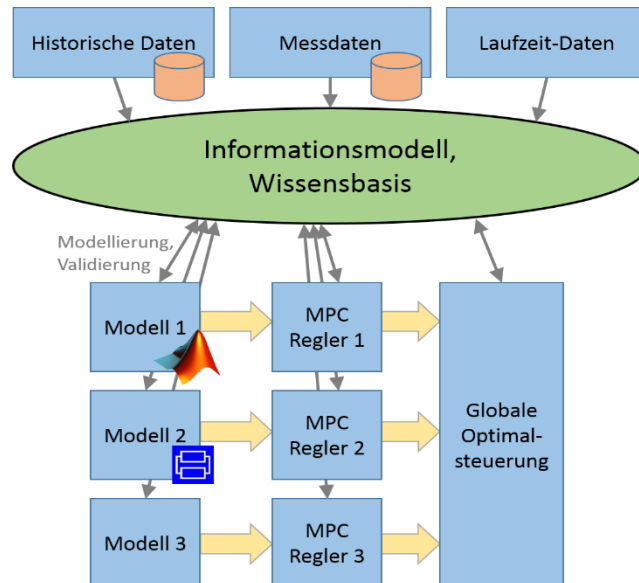
AUSTRIAN INSTITUTE  
OF TECHNOLOGY  
TOMORROW TODAY


**PhD#1:** Informationsmodellierung für datengetriebene Modellierung von komplexen Energiesystemen

**PhD#2:** Intelligente Regelkonzepte zur flexiblen Optimierung von Energiesystemen mit Speichern



Komponentenentwicklung

Laufzeitsystem



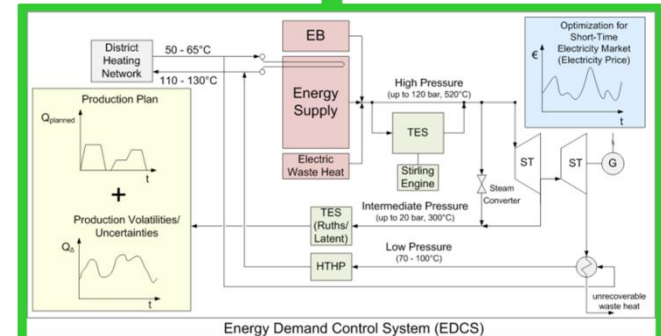
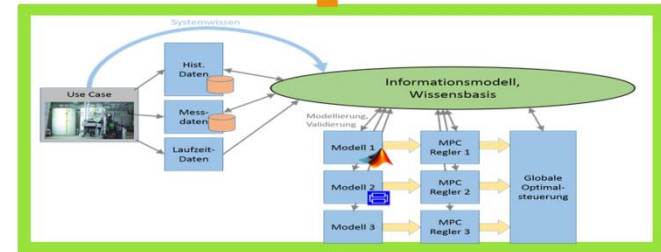
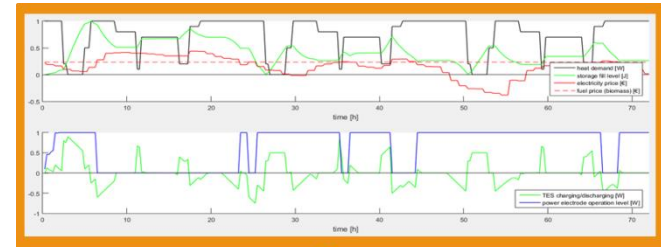


TECHNISCHE UNIVERSITÄT WIEN

**PhD#4:** Auslegungsoptimierung und dynamische Komponentenmodellierung für lastflexible industrielle Energieversorgungsanlage

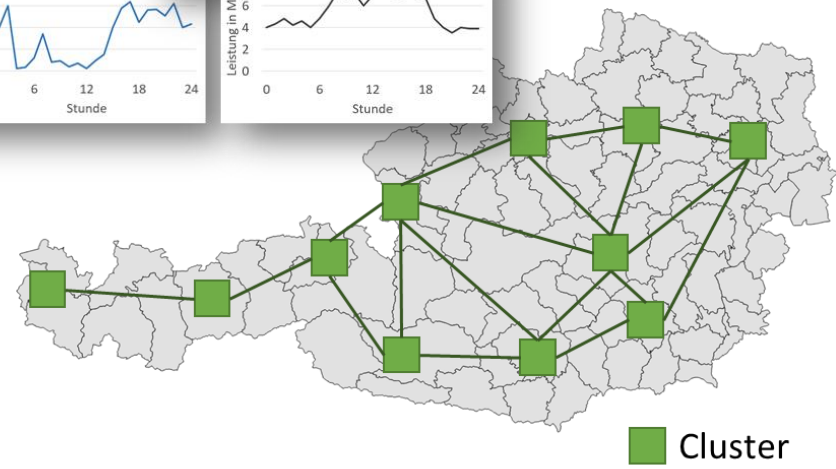
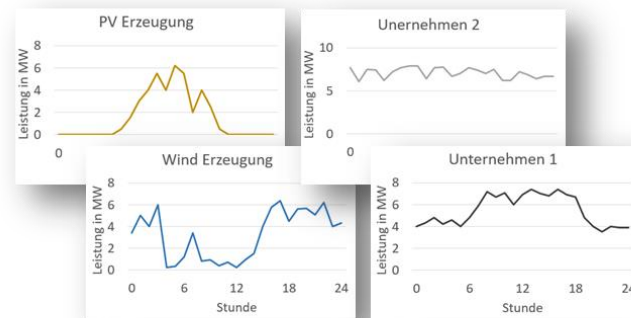
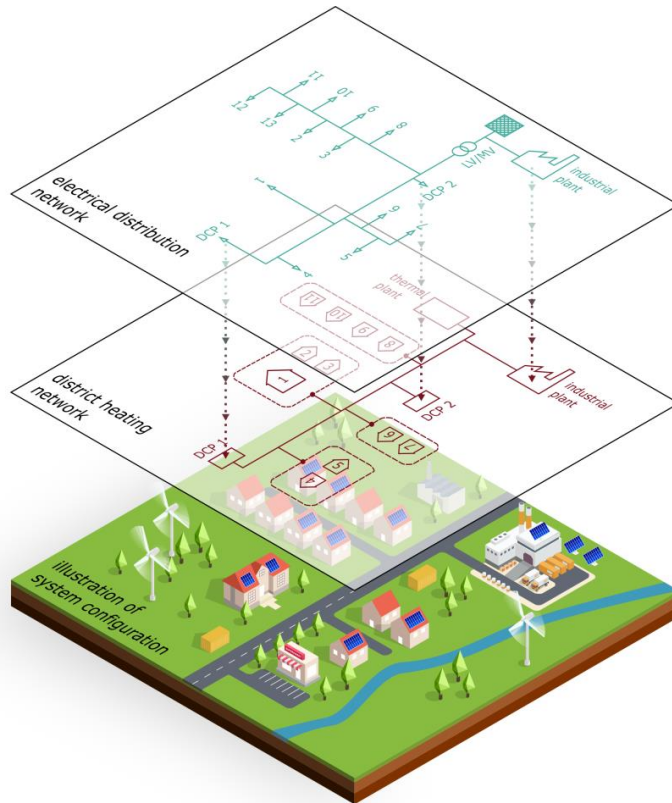
**PhD#8:** Weiterentwicklung einer Auslegungsmethode zur energie-trägerübergreifenden last/erzeugungsflexiblen Planung industrieller Energiesysteme





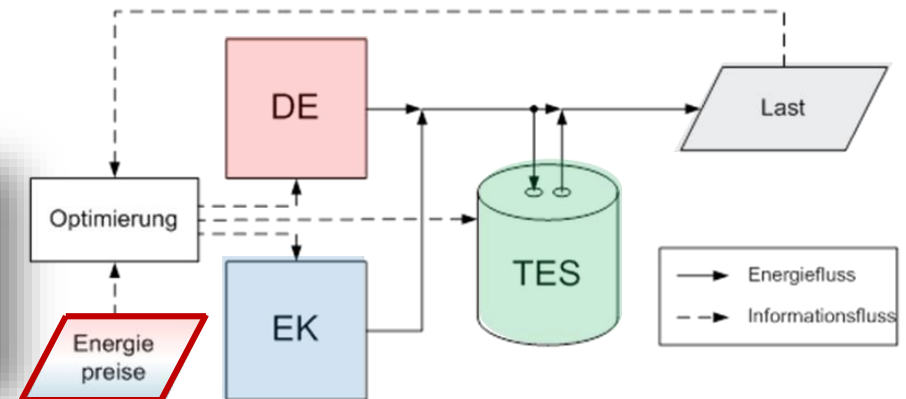
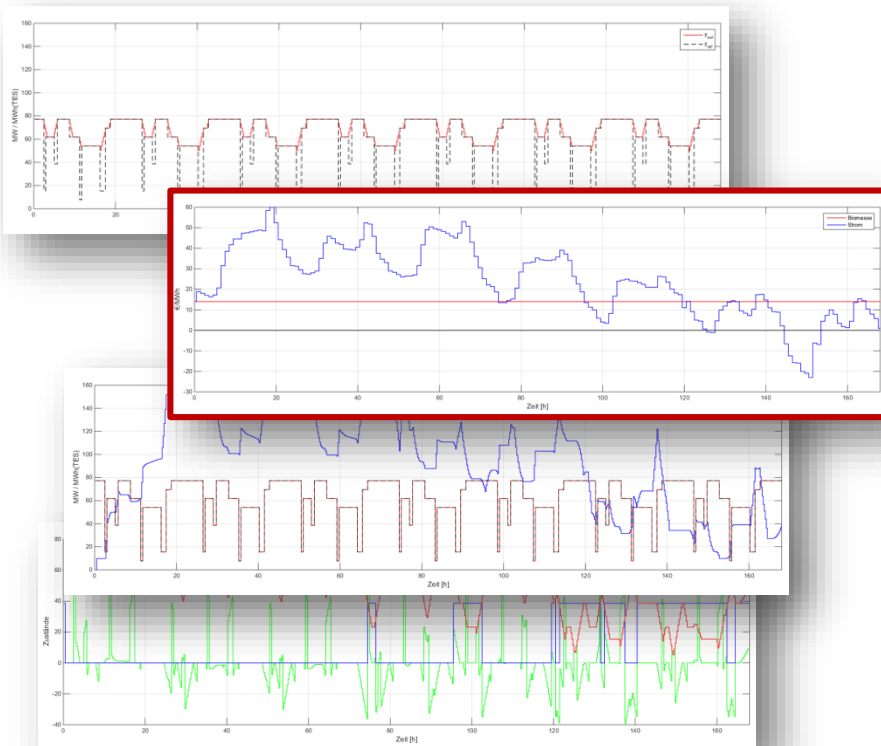
**PhD#6:** Industrie in hybriden elektrisch-thermischen Verteilnetzen

**PhD#7:** Vergleich innovativer Methoden zur Auslegung industrieller Energiesysteme unter Einbeziehung regionaler Aspekte

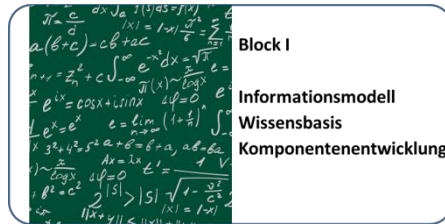


**PhD#3:** Betriebsführungskonzepte mit Integration von Speichern zur Lastflexibilisierung der energie-intensiven Industrie

**PhD#5:** Methodenentwicklung zur optimalen Steuerung der Versorgung energieintensiver Industrieprozesse unter Einbindung von Abwärme und Einsatz von Komponenten zur Erhöhung der Lastflexibilität



# Kompetenzbereiche PhDs



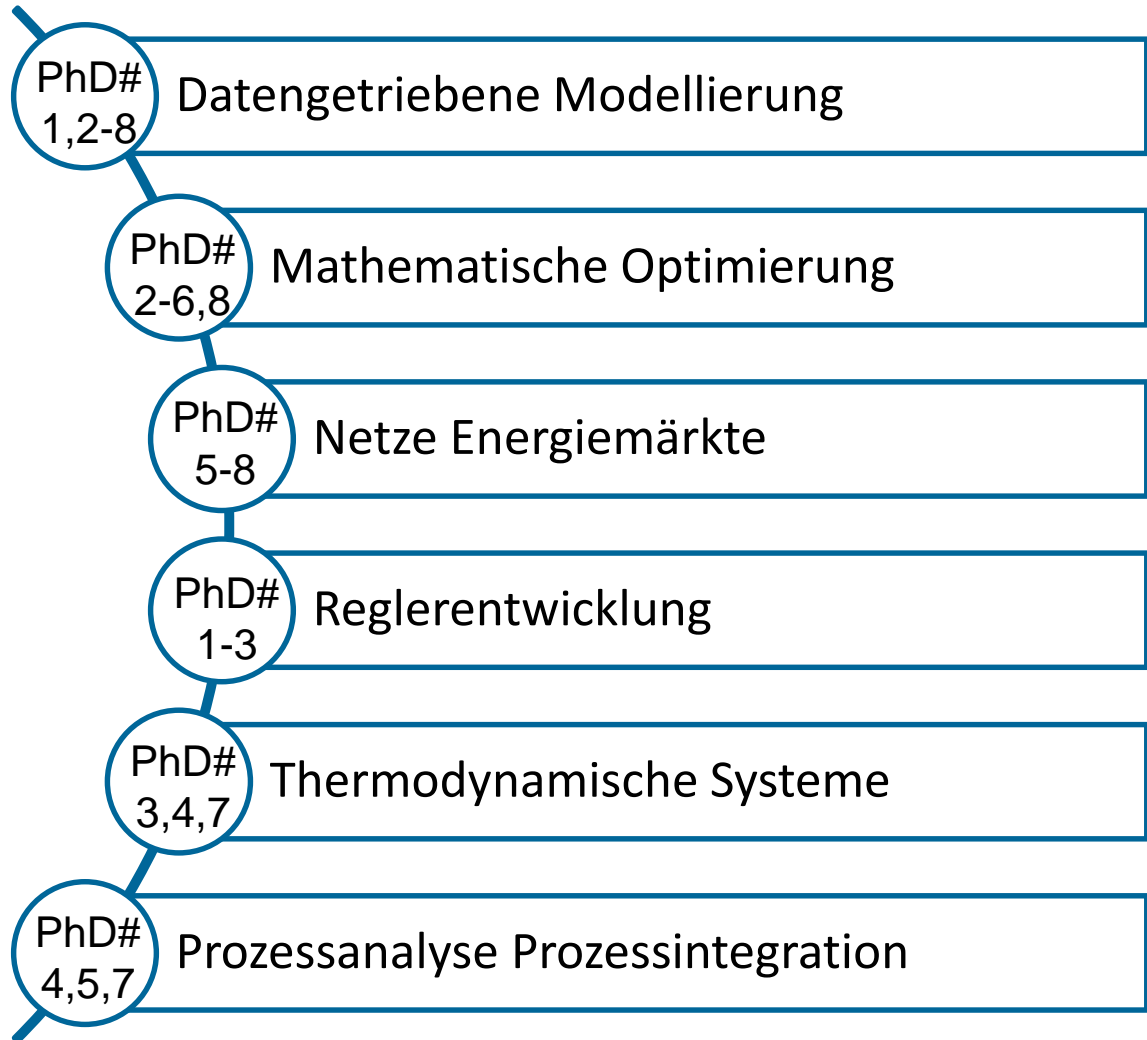
Block I  
Informationsmodell  
Wissensbasis  
Komponententwicklung

The image shows a green chalkboard with various mathematical formulas and equations, including  $a(x+b) = cx + d$ ,  $e^{ix} = \cos x + i \sin x$ , and  $\frac{d}{dx} \ln x = \frac{1}{x}$ .



Block II  
Laufzeitsystem

The image shows a person pointing at a chalkboard with a circular diagram containing the words 'Define', 'Control', 'Measure', 'Analyze', and 'Improve'.



# PhD#5

## Einsatzoptimierung

Methodenentwicklung zur optimalen Steuerung der Versorgung energieintensiver Industrieprozesse unter Einbindung von Abwärme und Einsatz von Komponenten zur Erhöhung der Lastflexibilität



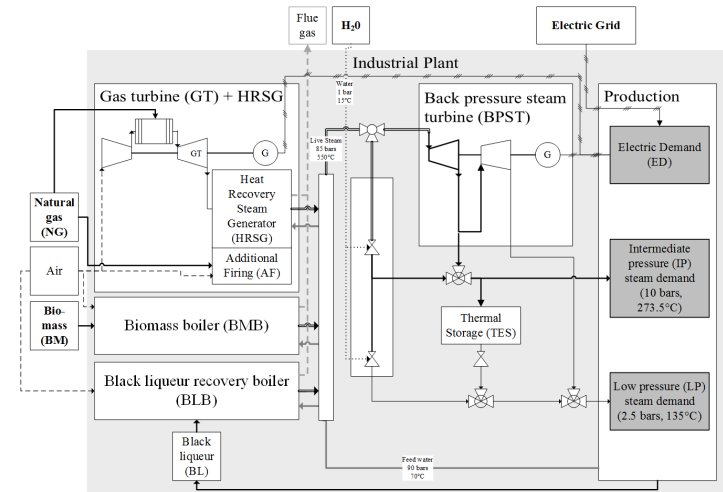
Dipl.-Ing.(in) Sophie Panuschka  
sophie.panuschka@ait.ac.at  
AIT Austrian Institute for Technology GmbH  
Center for Energy

## Konventionelle Erzeuger

(An- und Abfahrkapazitäten, Beschränkungen)

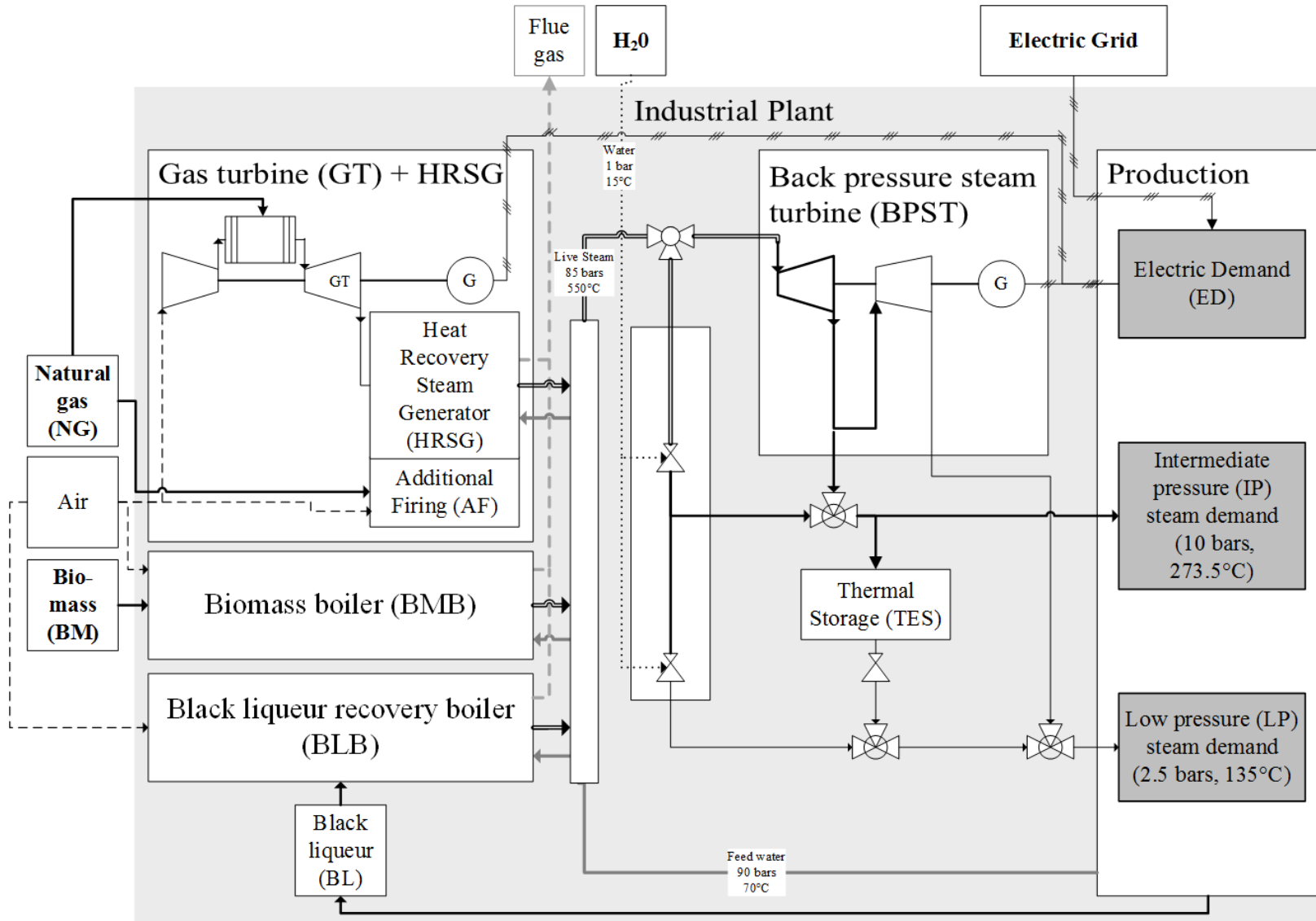
- ✓ Gasturbine + Abhitzeessel + Zusatzfeuerung
- ✓ Biomassekessel
- ✓ Schwarzlaugekessel
- ✓ Dampfturbine

thermischer Energiespeicher, Strompreise



Quelle: Conference paper (3rd SEE SDEWES Conf. 2018 Novi Sad); Panuschka, S.; Hofmann, R.: Modelling of Industrial Energy Systems for Flexibility Increase via Operation Optimization with MILP

# Energieversorgungssystem





# Optimierungs-/Extremwertprobleme

- ✓ Variablen
- ✓ Nebenbedingungen/Beschränkungen (constraints)
- ✓ Ziel-/Kostenfunktion (objective function)

## Allgemeine Form

$$\begin{aligned} \min \quad & f(x) \\ \text{s.t.} \quad & g(x) \leq 0 \\ & h(x) = 0 \end{aligned}$$



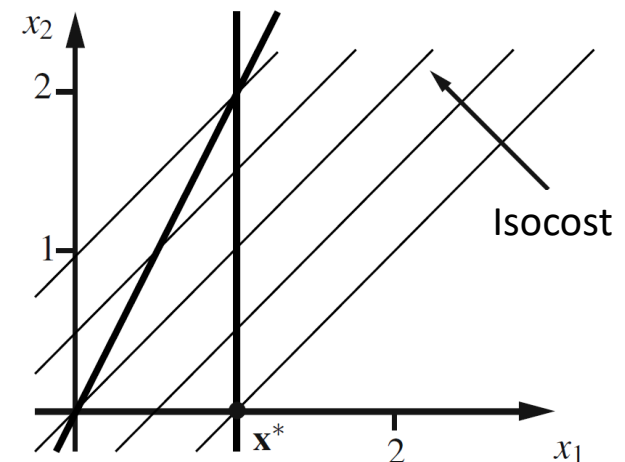
## MILP

$$\begin{aligned} \min \quad & c^T x \\ \text{s.t.} \quad & A^T x \leq 0 \end{aligned}$$

## MILP-UC

- ✓ Nur lineare Terme → Lineare Näherungen
- ✓ Unit Commitment = kombinatorisches Problem
  - Integer-Variablen, die für logische Constraints benötigt werden
  - Integer-Variablen verursachen hohen Rechenaufwand
- ✓ Globales Optimum garantiert
- ✓ Angemessene Berechnungszeiten

## Lineare Constraints



**Motivation:** Übergang zu einem nachhaltigeren Energiesystem erfordert Flexibilitäten

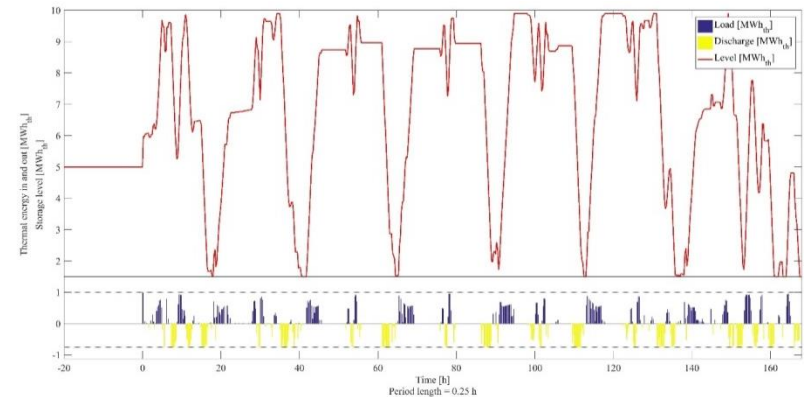
**Methode:** Industrieanlagenmodell für den Zweig der österreichischen Zellstoff- und Papierindustrie [MILP kostenoptimale Bereitstellung incl. wirtschaftliche RB, Umwandlungs- und Wärmespeichereinheiten] für verschiedene Stromtarifstrukturen:

- ✓ BAU-Szenario feste Strompreise
- ✓ FLEX (FLEXibel Strompreise) Szenario

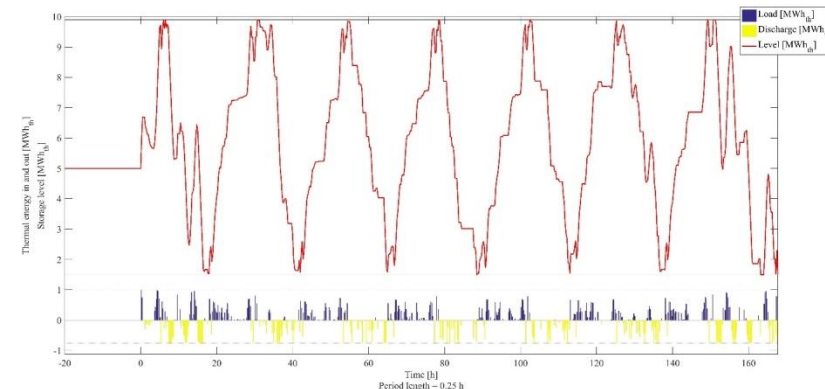
**Ergebnisse:**

- ✓ Kostenreduktion für schwankende Strompreise vergl. mit aktueller Tarifstruktur und Strompreisen
- ✓ Speicherbe- und -entladestrategien

**FLEX  
scenario**

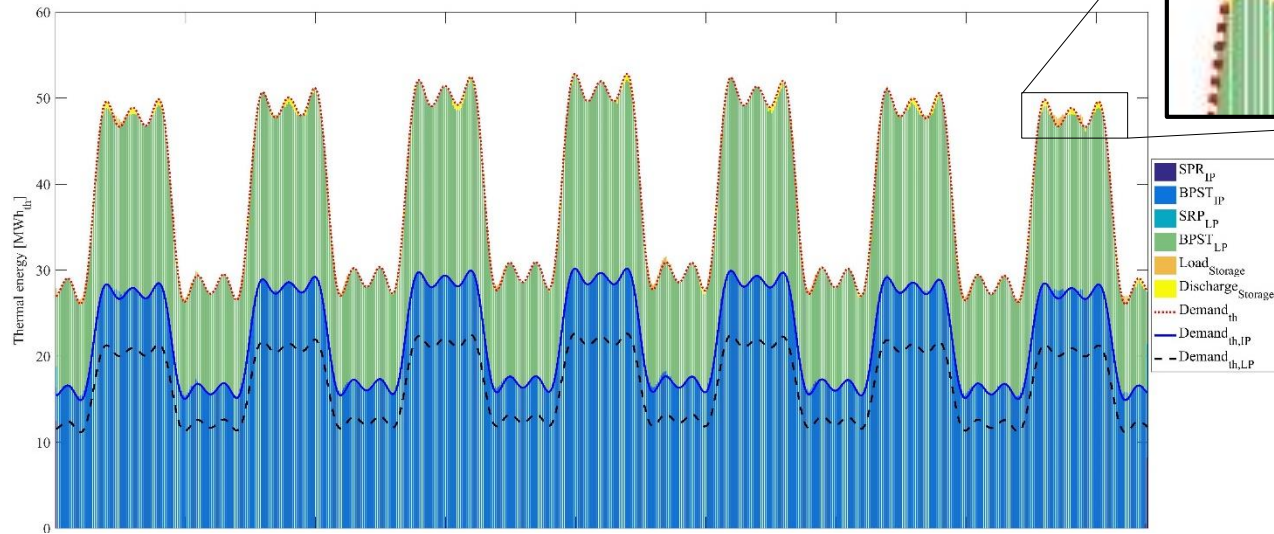


**BAU  
scenario**

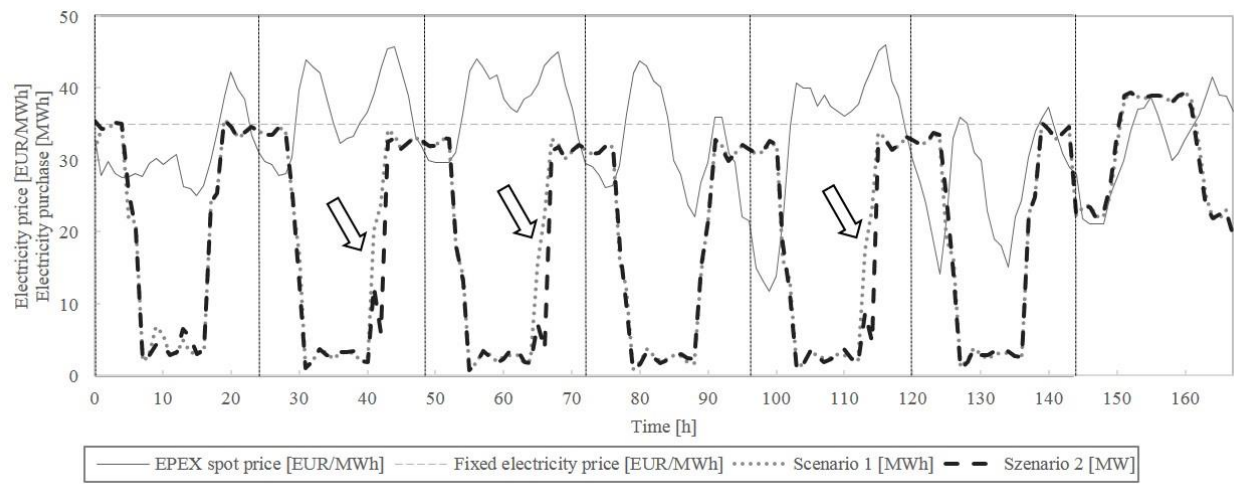


# Frischdampferzeugung und -umwandlung | Strom - Kosten, Einkauf & Produktion

FLEX  
scenario

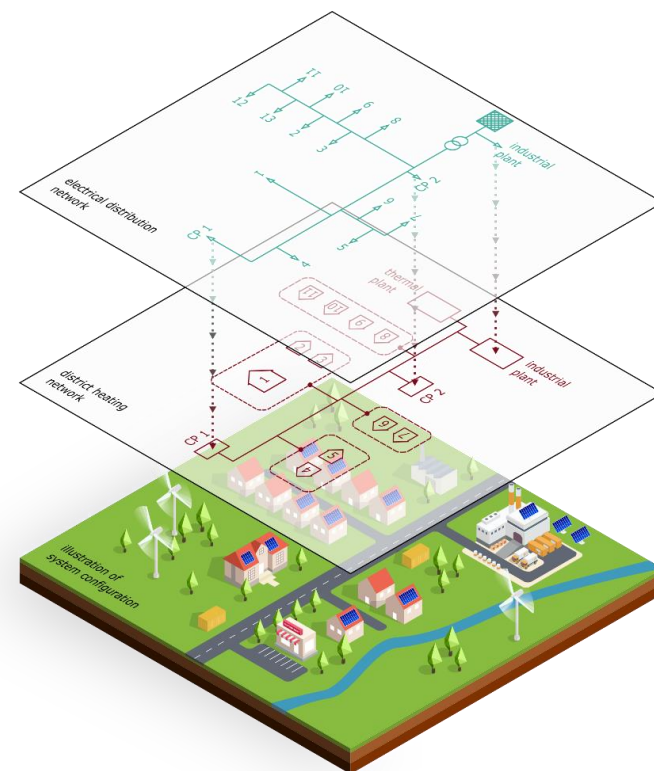


Differences  
BAU (1)  
und FLEX  
(2)  
scenario



## Planung und Betrieb intelligenter gekoppelter Fernwärme- und Stromverteilungsnetze

- ✓ P2H und KWK
- ✓ Integration von elektrischen und thermischen Speichern auf Netzwerkebene
- ✓ Lokale Dienste für das elektrische und/oder thermische Netz bereitstellen
- ✓ Nutzung von überschüssigem Strom aus erneuerbaren Energien
- ✓ Betrieb, der für beide Netze vorteilhaft ist?!



# Methode: Simulation thermischer/elektrischer Netze und Co-simulation

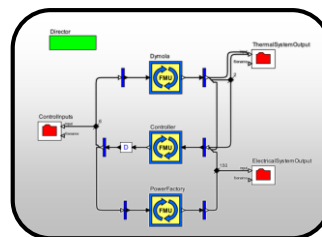
## Einsatz von domänenspezifischen Modellierungs- und Simulationswerkzeugen

- ✓ Fernwärme
- ✓ Elektrisches Netz
- ✓ Regler Implementierung
- ✓ Kopplung von Werkzeugen auf Basis des Functional Mock-up Interface (FMI) Standards



- ✓ Optimierung der Größe von Speicher- und Umwandlungseinheiten in gekoppelten Verteilnetzen
- ✓ Die Simulation wird als Black-Box-Zielfunktion behandelt.

Design Variablen



Co-Simulation



Zielfunktionswert

# Methode: Simulation thermischer/elektrischer Netze und Co-simulation

## Dynamisch statt stationär

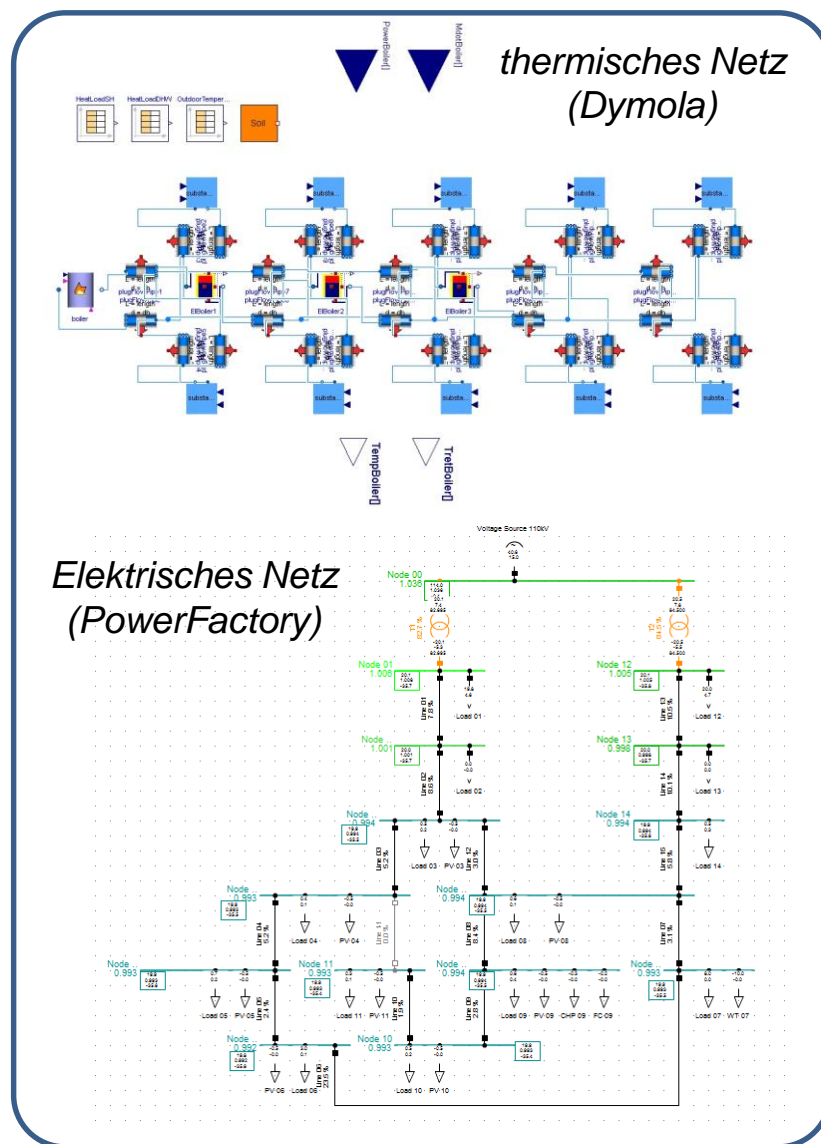
- ✓ Thermischer Einfluss mehrerer Wärmequellen und ändernder Vorlauftemperatur im Netz

## Physikalische Modelle

- ✓ Objektorientiert, flexibel, volle Kontrolle über den Code, gepflegte Bibliotheken (z.B. IBPSA)

## Leistungsflussanalyse erforderlich, um die Auswirkungen zu untersuchen von

- ✓ zeitvariable Lasten und Generierung
- ✓ Implementierung der Steuerung
- ✓ Speicher-Integration
- ✓ Kopplung mit Systemen unterschiedlicher Dynamik (z.B. Fernwärme)



# PhD#7

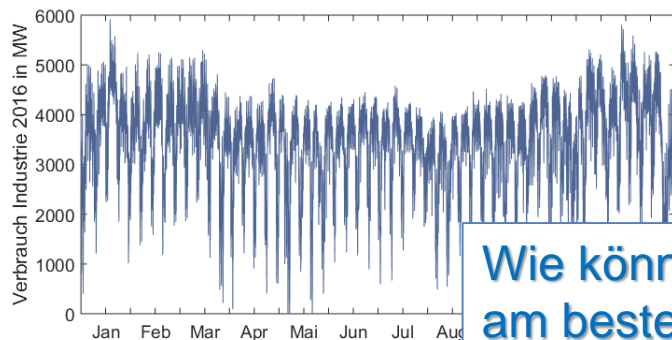
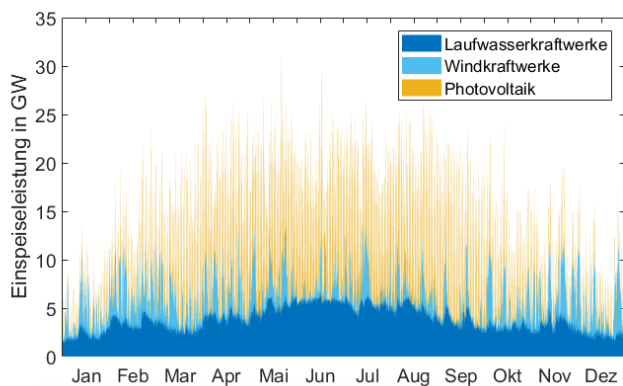
## Vergleich innovativer Methoden zur Auslegung industrieller Energiesysteme unter Einbeziehung regionaler Aspekte

Industrie im  
Verteilnetz und  
Sektorkopplung

**EVT**  
EnergieverbundTECHNIK

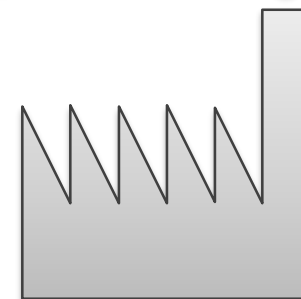
**MONTAN**  
UNIVERSITÄT  
WWW.UNILEOBEN.AC.AT

Dipl.-Ing. Christoph Sejkora  
christoph.sejkora@unileoben.ac.at  
Lehrstuhl für Energieverbundtechnik  
Montanuniversitaet Leoben



Wie können industrielle Anlagen  
am besten ausgelegt werden?

- Verbesserung der Prozesse
- Einführung neuer Prozesse
- Kombination von Prozessen
- Auslegung von Speichern
- Demand Response
- ...



# Beispiel Speicherauslegung

## Analyse der Residuallast

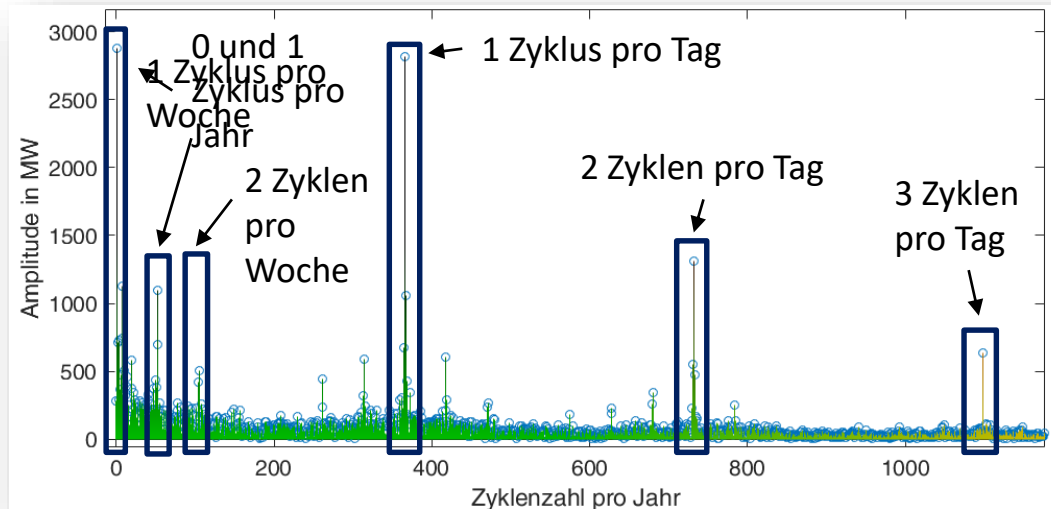
Diskontinuierliche Fourier Transformation

→ Beschreibung der Residuallast mithilfe von Sinus- und Cosinusfunktionen

$$\begin{aligned}
 \text{Residuallast} = & C_1 * \sin(\omega_1) + C_1 * \cos(\omega_1) + \dots & \text{Amplitude} \rightarrow C_n \\
 & + C_2 * \sin(\omega_2) + C_2 * \cos(\omega_2) + \dots & \text{Zyklenzahl} \rightarrow \omega_n
 \end{aligned}$$

Liefert Aussagen über die Periodizität des Signals:

- Welche Frequenzen sind wichtig?
- Speicher? Lastverschiebung?



- Tageskomponente
- Jahreskomponente
- Zusätzliche Leistung
- Wochenkomponente

ToDo: Ableitung der benötigten Kapazität



# Nächste Schritte

**Umsetzung der Software und Hardwareanbindung (evon und OSIssoft) im Lab**

**Bereitstellung der Fernwirktechnik (EVN)**

**Besetzung noch zu vergebender PhD-Stellen:**

- ✓ Methoden der Informationsmodellierung für die datengetriebene Modellbildung von komplexen Energiesystemen
- ✓ Intelligente Regelkonzepte zur flexiblen Optimierung von Energiesystemen mit Speichern

**Abbildung des USE-Cases (Fundermax) und Definition der Einzeltechnologien (TES, HTWP, EK, PV, etc.) – (ILF)**

...

# Vielen Dank! Ergänzende Fragen?



TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
WIEN



**AIT**  
AUSTRIAN INSTITUTE  
OF TECHNOLOGY  
TOMORROW TODAY

**René Hofmann**  
Wissenschaftlicher Leiter KK SIC!

Vienna Cooperation Doctoral School  
Evon Up2Date, Schielleiten 20.06.2018

