

---

# ENERGY SAVINGS OF INTERCOMPANY HEAT INTEGRATION

## A METHODOLOGICAL FRAMEWORK – PART I

A.Aydemir, C.Rohde, S.Möhren

---

---



---

# Gliederung

---

---

- Industrielle Abwärme
- Überbetriebliche Wärmeintegration
- Stand der Forschung
- Zielsetzung des Beitrags
- Modellierungsansatz
- Ergebnisse für eine Fallstudie

---

# Industrielle Abwärme

---

---

*Nebenprodukt*

*derzeit ungenutzt*

*Ausrüstung und Prozessen*

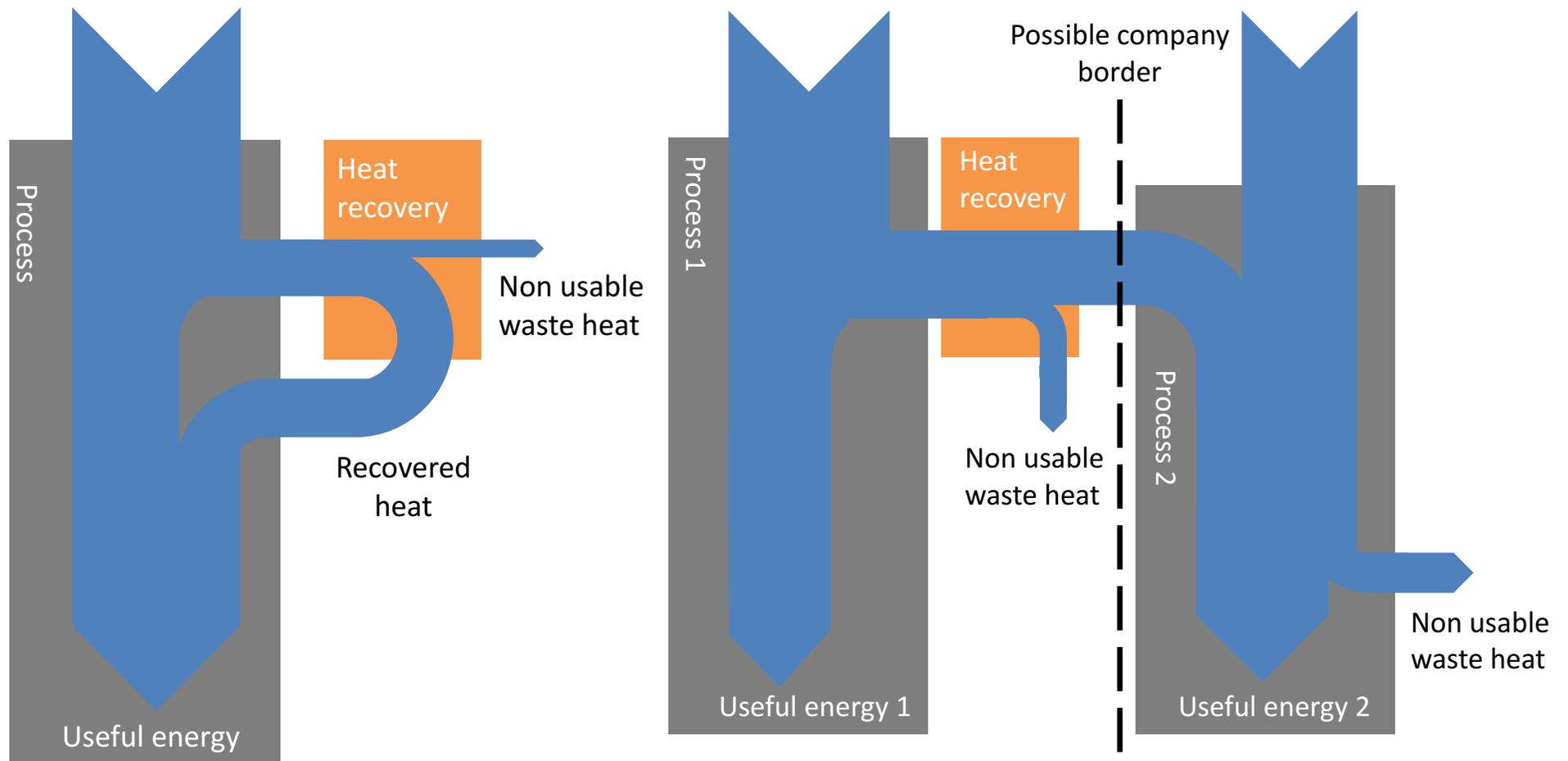
*Ineffizienzen von*

*thermodynamische Beschränkungen*

*Abwärme sinnvoll für weitere Zwecke nutzen*

Je nach Branche werden ungenutzte Potenziale angegeben, die zwischen **3% und 40%** der aufgewendeten Endenergie für Prozesswärmeanwendungen liegen (Pehnt et al (2010)).

# Steigerung der Energieeffizienz durch potenzielle Nutzung von Abwärme



In Anlehnung an Hirzel et al. (2013)

---

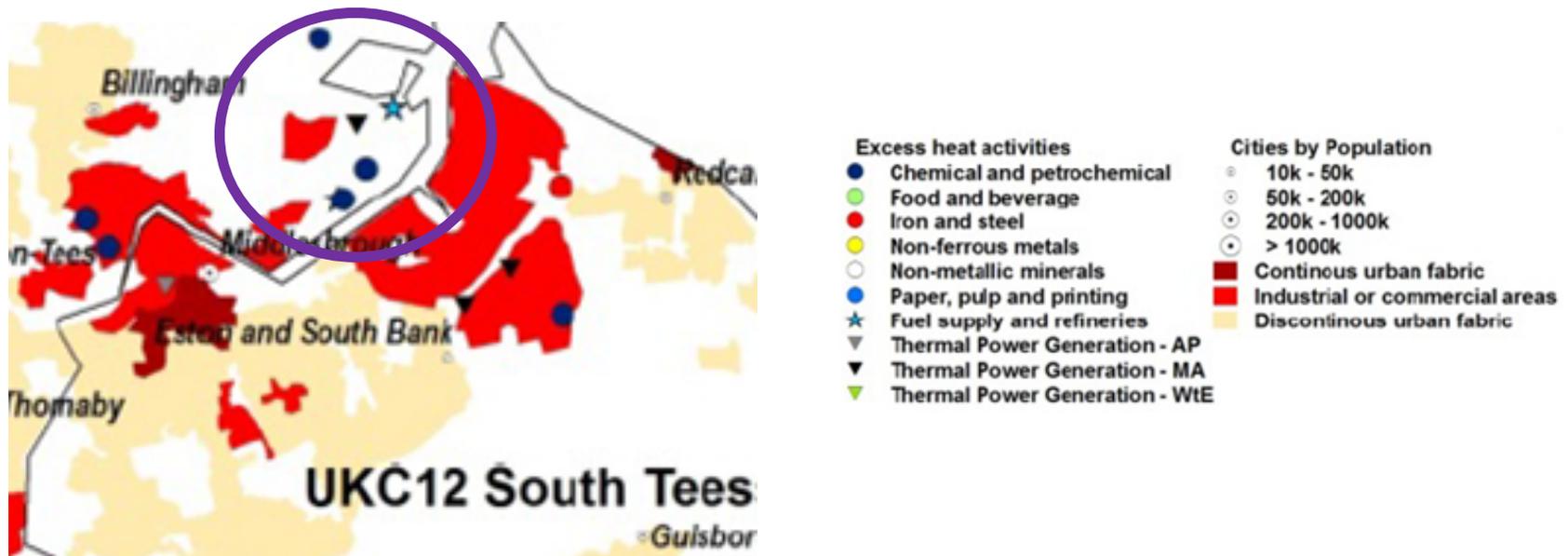
# Wärmeintegration

## Allgemein

---

- Das Entwerfen von optimalen Wärmetauschernetzwerken zur Wärmerückgewinnung wird als Wärmeintegration bezeichnet.  
(Dunn et al., 2000)
- Die Prozessintegration bezeichnet einen ganzheitlichen Ansatz zur Prozessgestaltung, zum Nachrüsten von Prozessen und zum Betrieb von Prozessen. Dabei wird die Einheit des Prozesses in den Vordergrund gestellt, im Gegensatz zu Ansätzen, bei denen die Optimierung von Grundoperationen des überliegenden Prozesses im Fokus steht.  
(Dunn et al. (2000), El-Halwagi (1997))
- Oft wird Prozess- und Wärmeintegration synonym verstanden.

# Überbetriebliche Wärmeintegration Form der außerbetrieblichen Nutzung



---

# Überbetriebliche Wärmeintegration

## Stand der Forschung

---

---

- Fallstudien zur (überbetrieblichen) Wärmeintegration (real, fiktiv) [1]
- Geographisch aufgelöste Potenzialstudien zur Nutzung Abwärme [2]

### **Offene Punkte:**

- Kein strukturierter Rahmen vorhanden im Hinblick auf Potenzialstudien
- Keine geographisch aufgelöste Potenzialstudie für Deutschland

### **Ansatz:**

- Ein strukturierter Rahmen, der Methoden der Raumanalyse und der Wärmeintegration kombiniert könnte für Potenzialstudien in Betracht gezogen werden.

---

[1] Hackl et al. (2011), Ludwig (2012), Hiete et al. (2012)

[2] elementenergy(2014), McKenna et al. (2010)

---

# Zielsetzung des Beitrags

---

---

- **Ziel des Beitrags ist es eine Methode zur Bewertung von Energieeinsparpotenzialen durch überbetriebliche Wärmeintegration zu präsentieren und zu validieren.**
- **Zudem wird die Tauglichkeit der Methode im Hinblick auf den übergeordneten Rahmen diskutiert.**

---

# Methodisches Vorgehen

---

- Formulierung des Problems als lineares Transportproblem (Cerde et al., 1983)

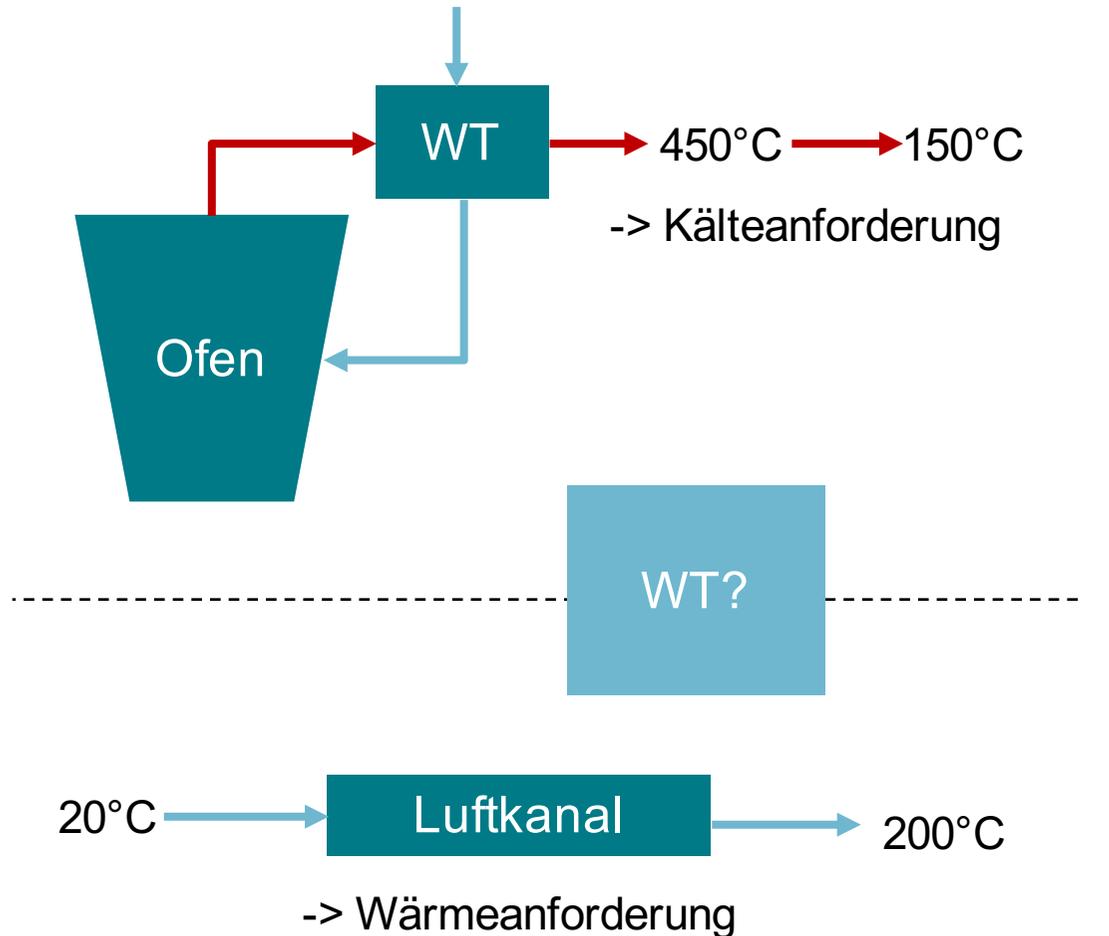
$$\min_{q_{ik,jl}} \sum_{i=1}^C \sum_{k=1}^L \sum_{j=1}^H \sum_{l=1}^L C_{ik,jl} \cdot q_{ik,jl}$$

- Rein energetischer Entwurf oder mit Beachtung von Kosten

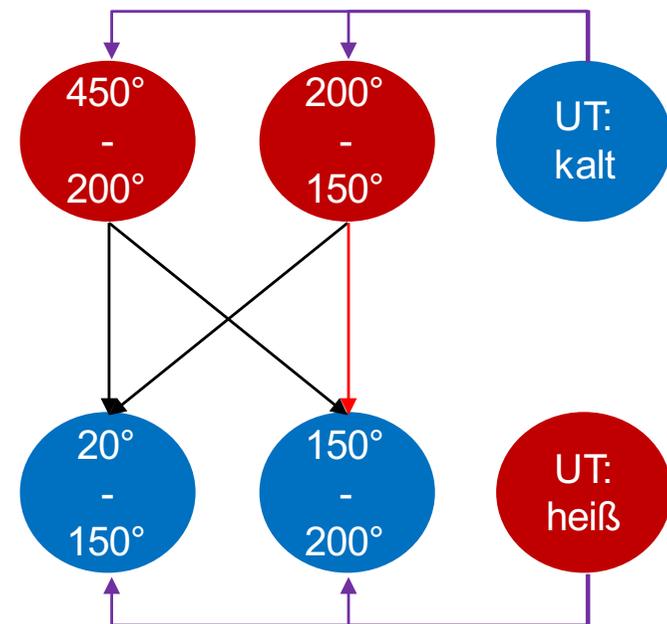
	energetic	economic
$C_{ik,jl} =$	$\begin{cases} 0 \\ 0 \\ 1 \\ M \end{cases}$	$\begin{cases} c_w + c_{pi} + c_{pu} + c_{hl} \\ 0 \\ c_u \\ M \end{cases}$

- Randbedingungen: im Beitrag

# Methodisches Vorgehen Visualisierung – fiktives Beispiel



Temperaturliste\* [ $^{\circ}\text{C}$ ]:  
20 | 150 | 200 | 450



Energetisch:

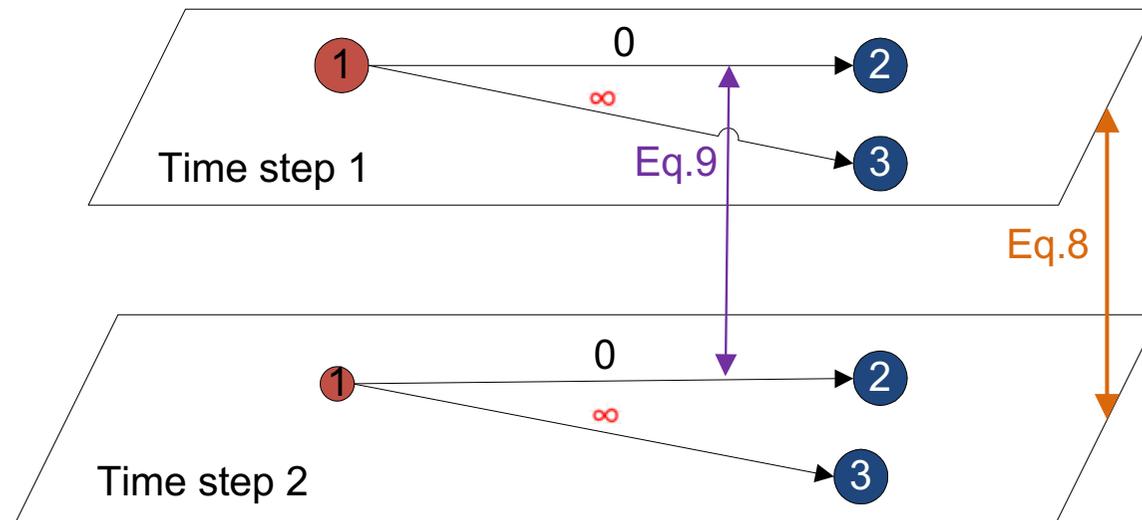
- Schwarze Pfeile: 0
- Lila Pfeile: 1
- Rote Pfeile:  $\infty$

---

# Methodisches Vorgehen

## Berücksichtigung von Teillastfällen

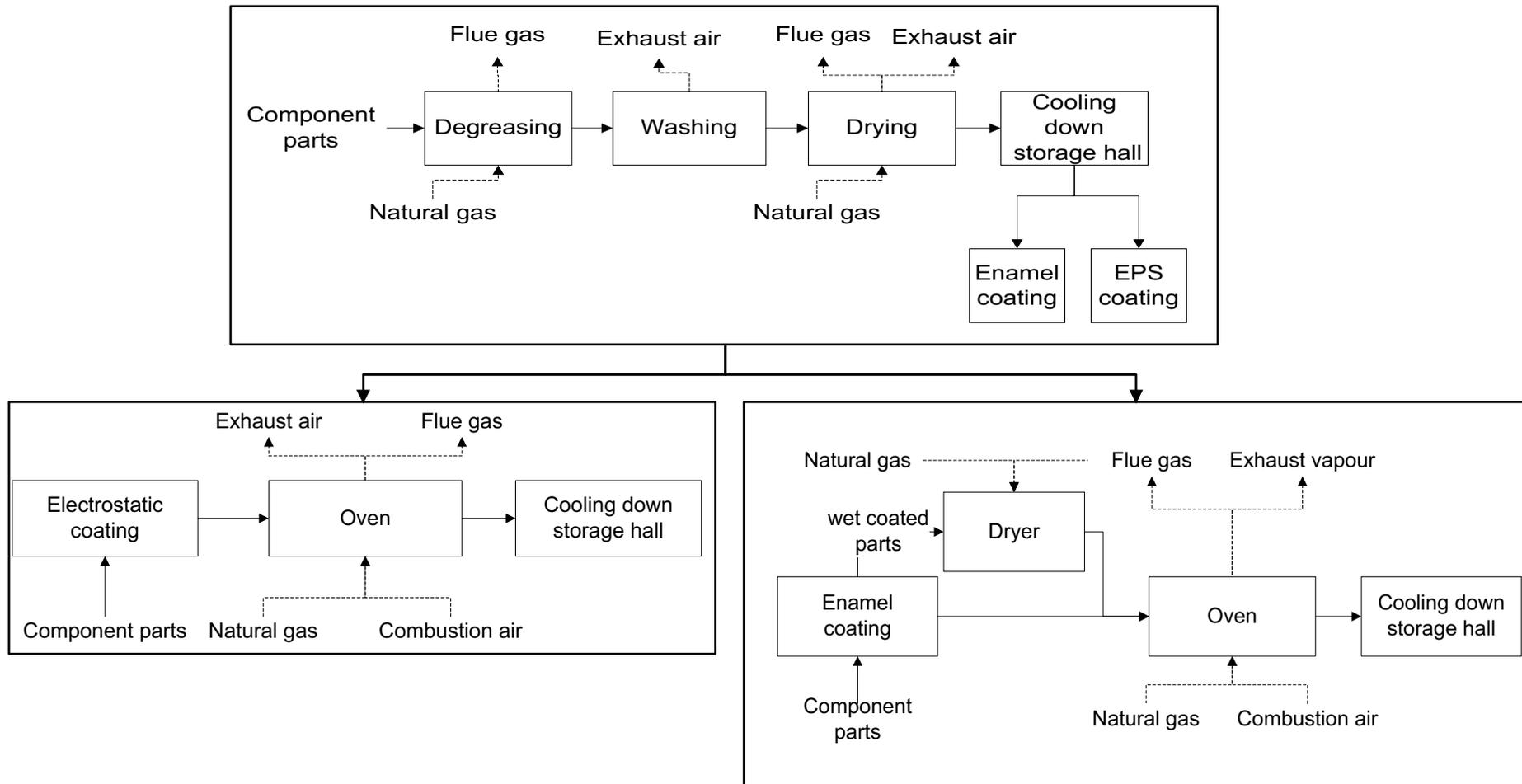
---



- Bilden von Zeitintervallen
- Zusätzliche Randbedingungen
  - Verbindungen werden nur innerhalb eines Zeitintervalls gezogen (Eq. 8)
  - Zwischen Zeitintervallen: Relation bei Verbindungen, die gleiche Prozesse betreffen (Eq. 9)

# Fallstudie

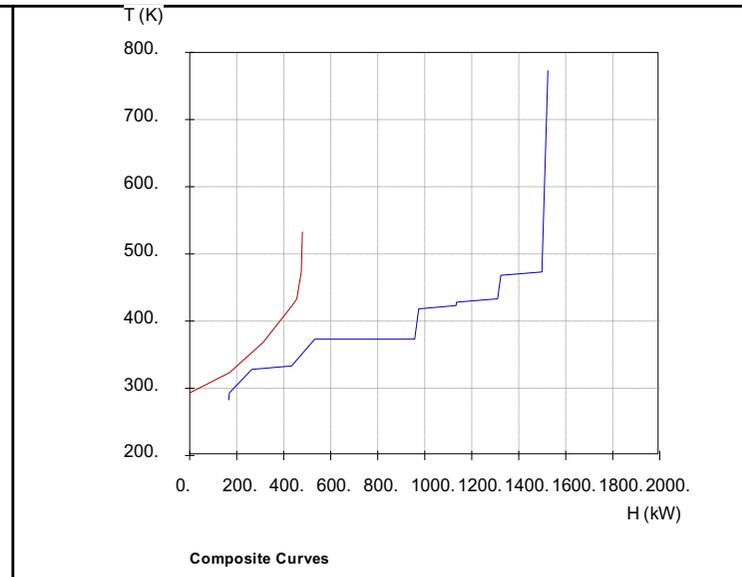
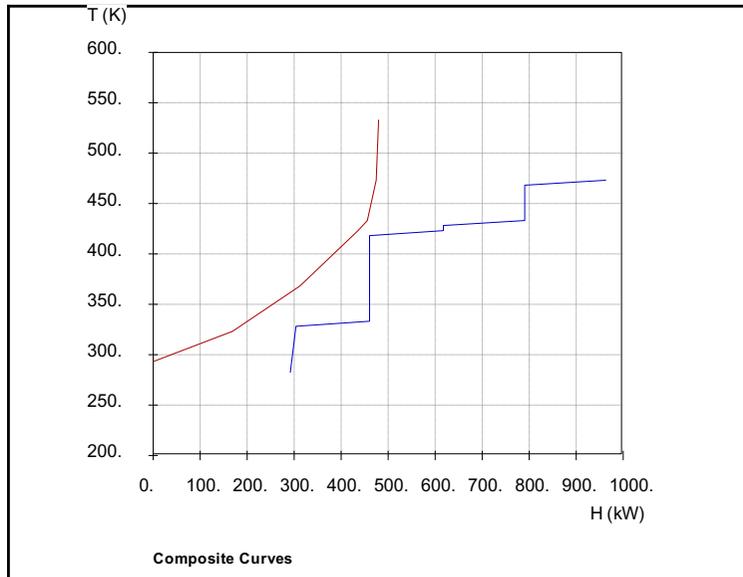
## Beschichtungsanlage+ fiktiver Anlage



- Fiktive zweite Anlage: Wärmeabnehmer (Wasser/Dampf-Senken)

# Fallstudie

## Energetische Optima



### Minimum energy requirements resulting from the Pinch analysis

Only coating plant:

- Energy target (heating): 483.8 kW.
- Energy target (cooling): 291.7 kW

Combined system:

- Energy target (heating): 1044.4 kW.
- Energy target (cooling): 165.8 kW.

### Minimum energy requirements resulting from our model implementation

- Energy target (heating): 483.7 kW.
- Energy target (cooling): 291.8 kW

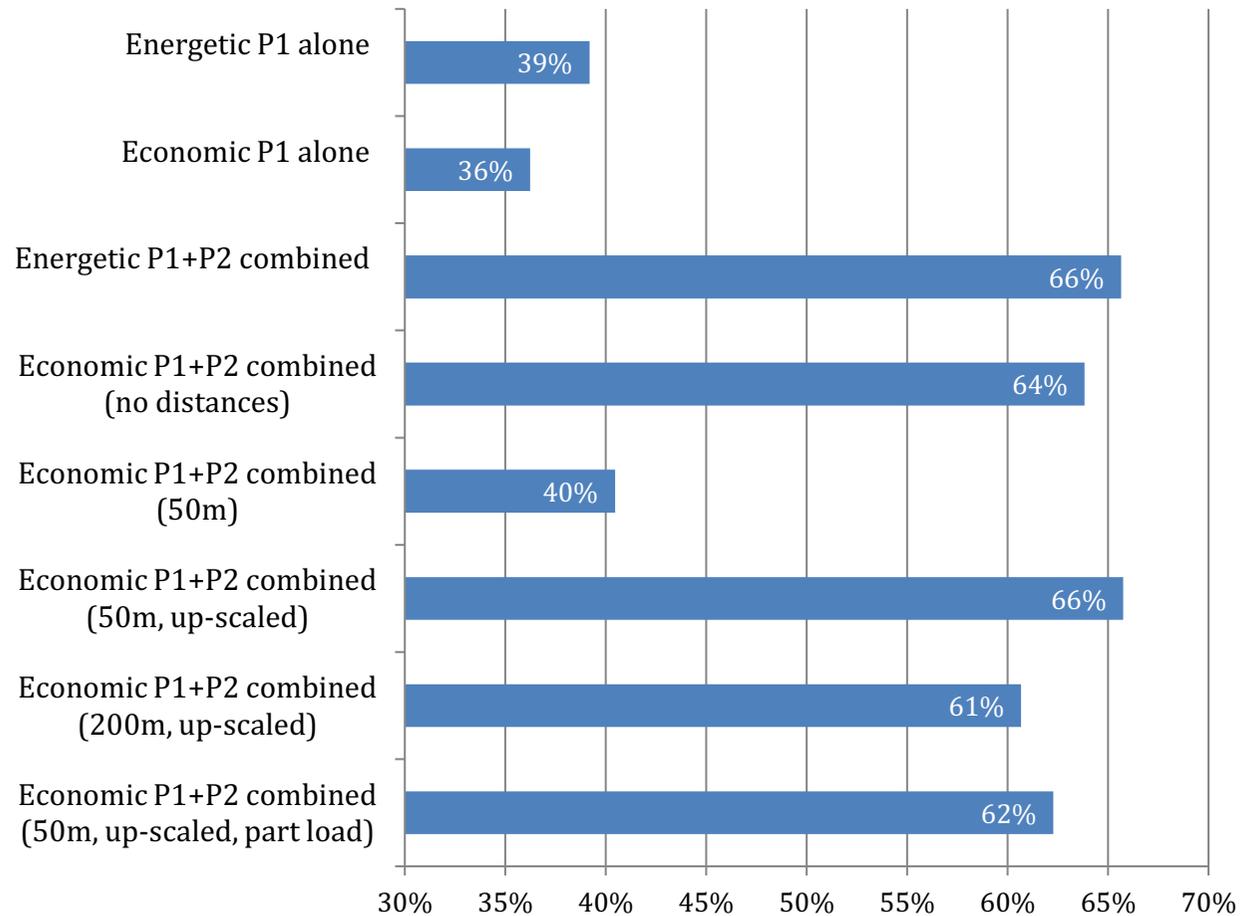
- Energy target (heating): 1043.8 kW.
- Energy target (cooling): 165.8 kW.

# Fallstudie

## Sensitivitäten

---

---



---

# Fazit und Ausblick

---

---

- Theoretische (energetische) Optima werden gefunden.
- Relevante Kosten können plausibel adressiert werden.
- Teillast kann beim Netzwerkentwurf plausibel adressiert werden (antizipiert).
- Mathematisch formuliert, d.h. Anpassen/Erweitern durch Randbedingungen möglich, bspw.
  - Mindestgröße für Wärmetauscher
  - Minimale Amortisation je Wärmetauscher
- Lineares Optimierungs-Problem: viele Fälle auswertbar in vergleichsweise kurzen Zeiten
- Anbinden an Methoden der Raumanalyse möglich
- Aufbauen von Datengerüsten
- Teilweise generisch
- Exemplarische Fallstudien

---

---

# Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Ali Aydemir, M.Sc.

Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI

Breslauer Straße 48 | 76139 Karlsruhe

Telefon +49 721 6809-305

[ali.aydemir@isi.fraunhofer.de](mailto:ali.aydemir@isi.fraunhofer.de)

<http://www.isi.fraunhofer.de>

---