



Betrieb verbundener Nahwärmenetze mit getrennten Eigentümern



QM Heizwerke Fachtagung, Bad Vöslau
14. Oktober, 2021




Christopher Zemann, Daniel Muschick,
Valentin Kaisermayer und Markus Gölles

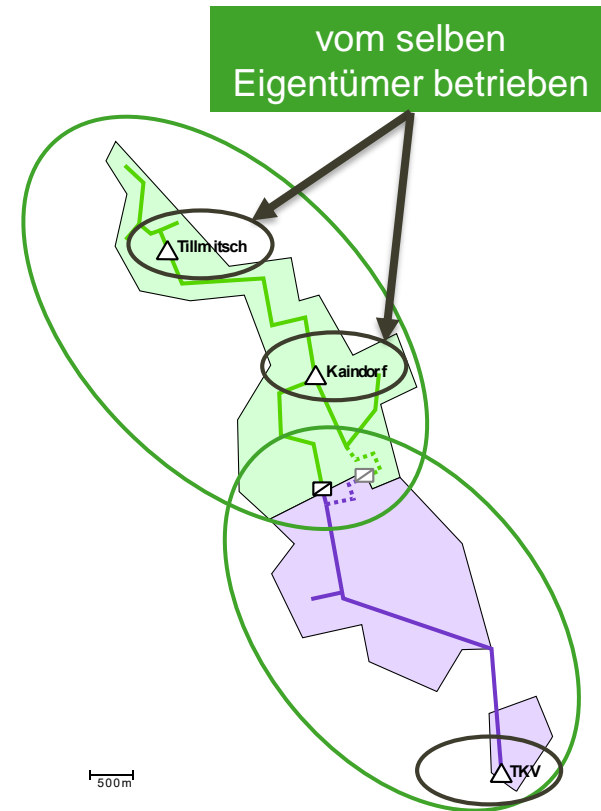


Motivation

Verbindung von Wärmenetzen (1 / 2)

Warum ist es sinnvoll, Wärmenetze zu verbinden?

- Erläuterung am Beispiel des Projekts  **ThermaFLEX**
- Drei Wärmenetze bei Leibnitz in der Steiermark.
- Sind gewachsen und haben die Grenzen ihrer Nachbar-Wärmenetze erreicht.
- Die Wärmenetze werden durch **zwei getrennte Eigentümer** betrieben.



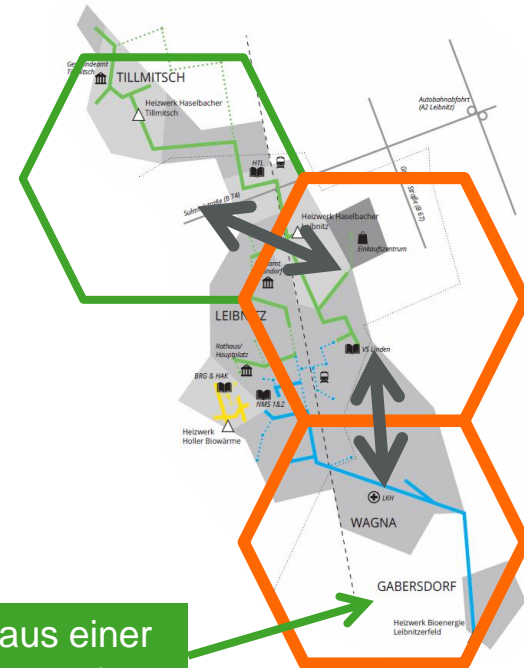
Motivation

Verbindung von Wärmenetzen (2 / 2)

Warum ist es sinnvoll, Wärmenetze zu verbinden?

- Erläuterung am Beispiel des Projekts **ThermaFLEX**
- Das südliche Wärmenetz kann den Bedarf nur mit einem zusätzlichen Gaskessel decken
- Biomassekessel mit Überkapazitäten in einem nahe gelegenen Wärmenetz
- **Gesamtziel: Verbindung der Wärmenetze um**
 - CO₂ Emissionen zu senken (z.B. Gaskessel)
 - Abwärmenutzung zu maximieren

Synergieeffekte im Gesamtsystem nutzen



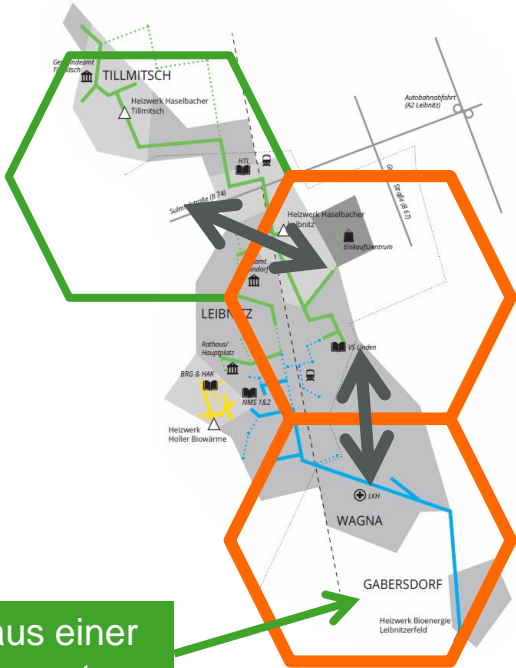
Abwärme aus einer Tierkörperverwertung

Fragestellungen beim Betrieb von verbundenen Wärmenetzen

- Die Kosten für die Wärmerzeugung und CO₂ Emissionen sind variable. Abhängig von der aktuellen Produktion / Bedarf / Puffer-Ladezustand (z.B. welche Erzeuger sind aktuell aktiv)
- Hydraulische Begrenzungen erlauben nicht die Versorgung aller Verbraucher durch alle Erzeuger.
- Es herrschen vertragliche Rahmenbedingungen, die immer berücksichtigt werden müssen.
- Die Richtung des Wärmetransports sollte sich nicht zu oft ändern

Lösung: Identifikation einer optimalen Betriebsstrategie

Synergieeffekte im Gesamtsystem nutzen



Abwärme aus einer Tierkörperverwertung

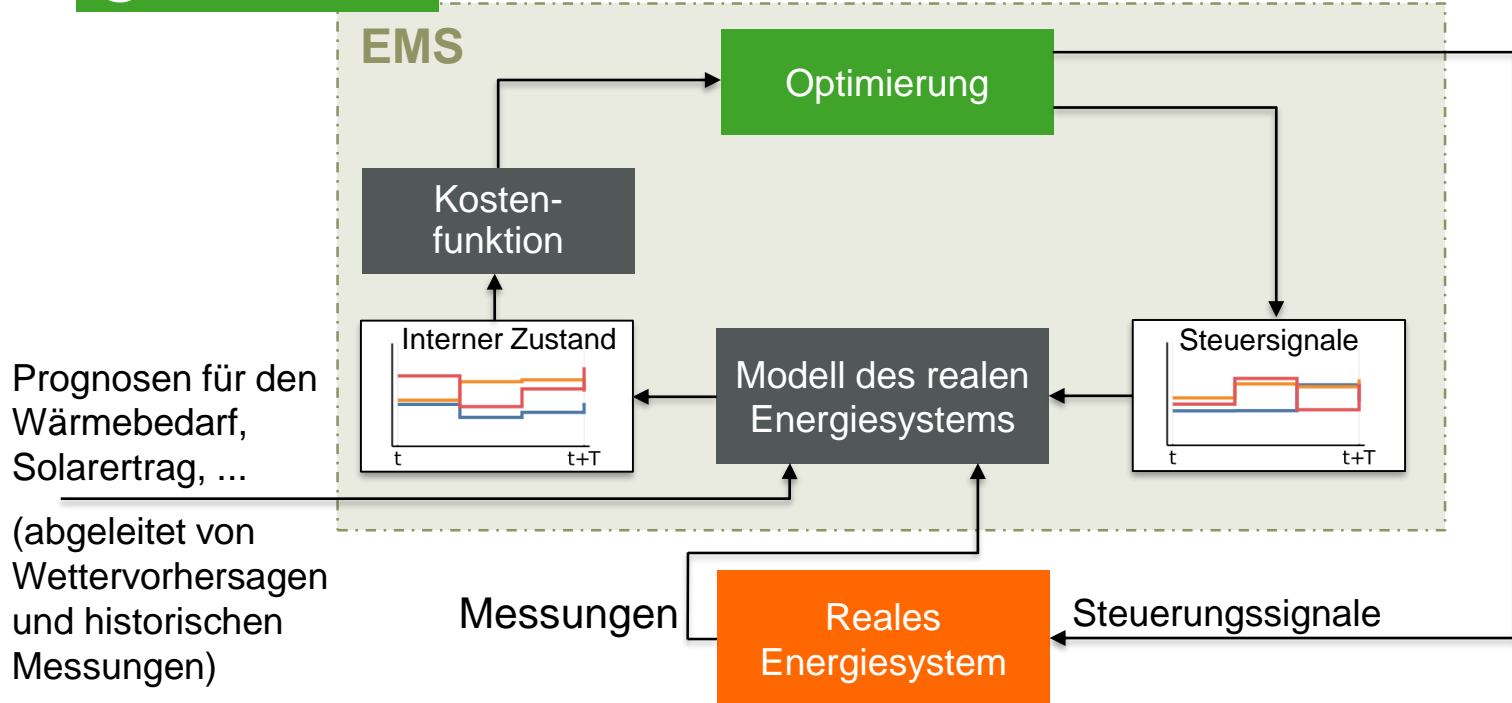
- **Andere Beispiele:**
 - Integration von (dezentralen) solarthermischen Anlagen führt oft zur gleichen Situation → **eigentumsübergreifendes Energiesystem**
 - Bidirektionale Nutzung von Pufferspeichern → **erhöhte Komplexität**

- **Fragestellung:** Wie lassen sich diese Systeme optimal betreiben?

Optimierungsbasierte prädiktive übergeordnete Regelung

Energie Management System (EMS)

 alle 15 Minuten



Optimierungsbasierte prädiktive übergeordnete Regelung

Modulares Framework für das EMS

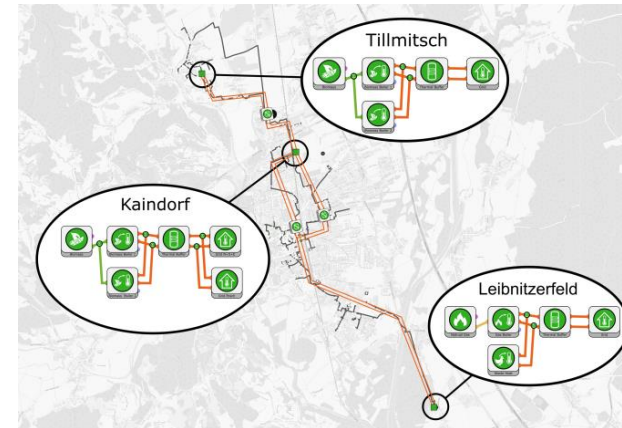
Beschreibung des Energiesystems durch

- Prosumer (Erzeugung / Verbrauch von Energie)
- Verbindungen (Transport von Energie)

Spezifische Kostenfunktionen für alle Prosumer (Strafe/Belohnung für (un)beabsichtigtes Verhalten)

- Brennstoffkosten
- Kosten für Einschalten von Erzeugern
- ...

Automatische Generierung des Optimierungsproblems, welches alle 15 Minuten gelöst wird.



$$\begin{aligned}
 c_l(k, i) = & \sum_{j \in A} (c_j(k) \text{abs}(\xi_j(k))) \\
 & + \sum_{j \in B} (c_j(k) \xi_j(k)) \\
 & + \sum_{j \in C} \left(c_j(k) \text{abs} \left(\frac{\xi_j(k) - \xi_j(k-1)}{T_s} \right) \right) \\
 & + \sum_{j \in D} \left(c_j(k) \frac{\xi_j(k) - \xi_j(k-1)}{T_s} \right) \\
 & + \sum_{j \in E} (\text{abs}(z_{1,j}(k))) \\
 & + \sum_{j \in F} (\text{abs}(\xi_j(k) - r_j(k)))
 \end{aligned}$$

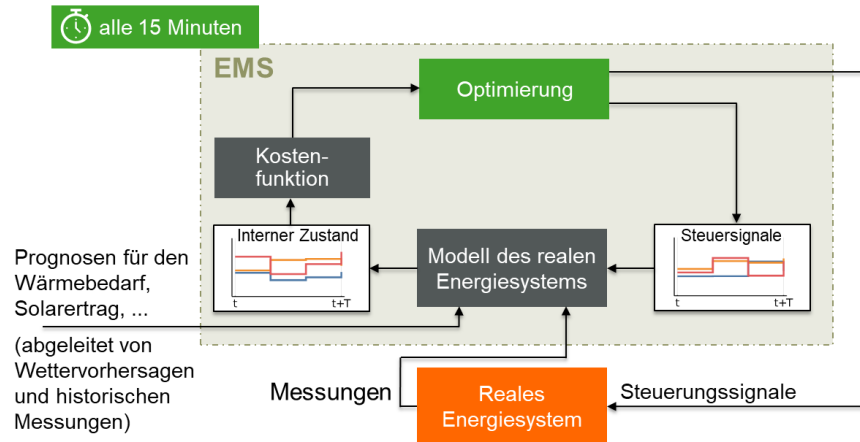
s.t.: $z_{1,j}(k) = \xi_j(k) - z_{2,j}(k), \quad \forall j \in E$
 $lb_j \leq z_{2,j}(k) \leq ub_j, \quad \forall j \in E$

$$\min \sum_k \sum_{i \in \mathcal{P}} c_l(k, i)$$

Optimierungsbasierte prädiktive übergeordnete Regelung

Wichtigste Vorteile

- Systematischer Ansatz für ein breites Spektrum von Energiesystemen
- Automatische Ermittlung der optimalen Betriebsstrategie (online)
- Explizite Berücksichtigung von spezifischen Randbedingungen (z.B. Preise, Mindestlaufzeiten, vertraglich definierte Bedingungen,...)
- Einfache Berücksichtigung von Randbedingungen (z.B. Kapazitäten, ...)
- Einfache Berücksichtigung von Prognosen



Wie lassen sich Energiesysteme bestehend aus mehreren Wärmenetzen optimal betreiben?

- Einsatz von optimierungsbasierten prädiktiven übergeordneten Reglern
Energie Management System (EMS)

- **Sollten die Systeme, die verschiedenen Betreibern gehören, getrennt betrieben werden?**
 - Sollte es eine gemeinsame, umfassende Kontrollstrategie geben?
 - Wie sollten die Preisgestaltung und die Geschäftsmodelle aussehen?
 - ...

→ Exemplarische Simulationsstudie innerhalb



Beispielhafte Ergebnisse

Methodik

Betrachtete Fälle

- Fall 1: Getrennter Betrieb der Wärmenetze mit separatem EMS für jedes Netz
- Fall 2: Gemeinsame Optimierung der Wärmenetze mit einem globalen EMS

Soziales Optimum

Simulationsbedingungen

- Zeitraum: 6 Monate
- Historische Daten für Rahmenbedingungen
 - Verbrauch, Abwärmeertrag, Wetterbedingungen,

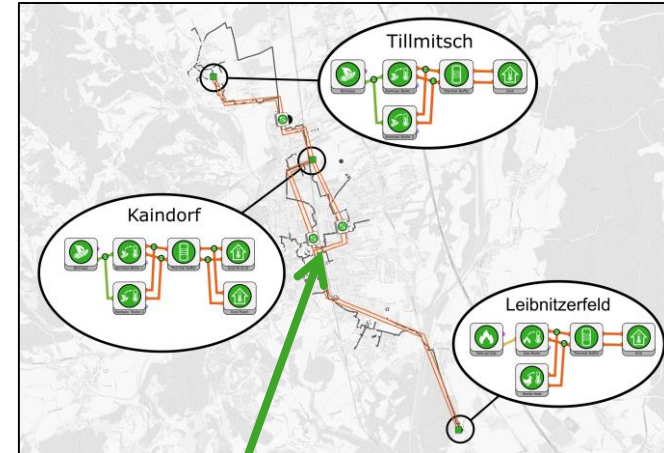
Vergleich von

- Gesamtbetriebskosten
- CO₂ Emissionen

Beispielhafte Ergebnisse

Details zu den Wärmenetzen

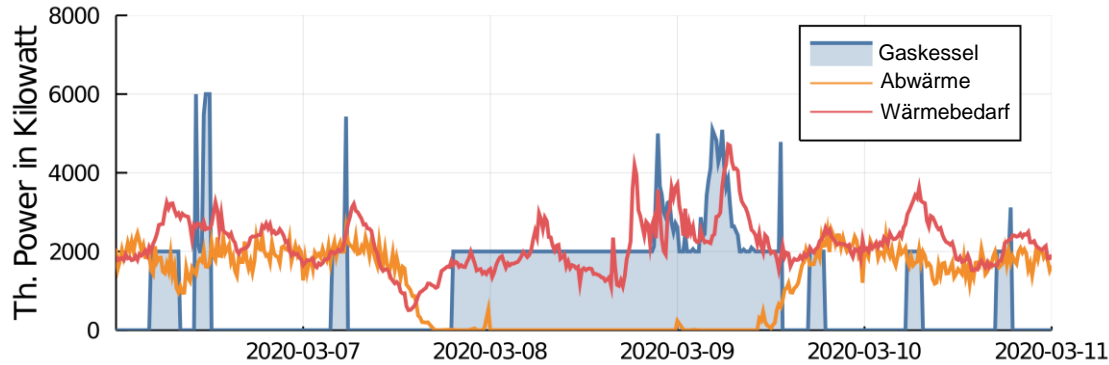
Berücksichtigte Wärmenetze				
Wärmenetze	Produktionskapazität	Jährlicher Wärmebedarf	Speicherkapazität	Abwärmepotenzial
Tillmitsch	Zwei 800 kW Biomassekessel	~ 4 GWh	25 m ³	
Kaindorf	3,2 MW und 2,4 MW Biomassekessel	~ 12 GWh	75 m ³	
Leibnitzerfeld	6 MW Gaskessel	~ 15 GWh	2 x 223 m ³	~ 4.5 MW von einer Tierkörperverwertung



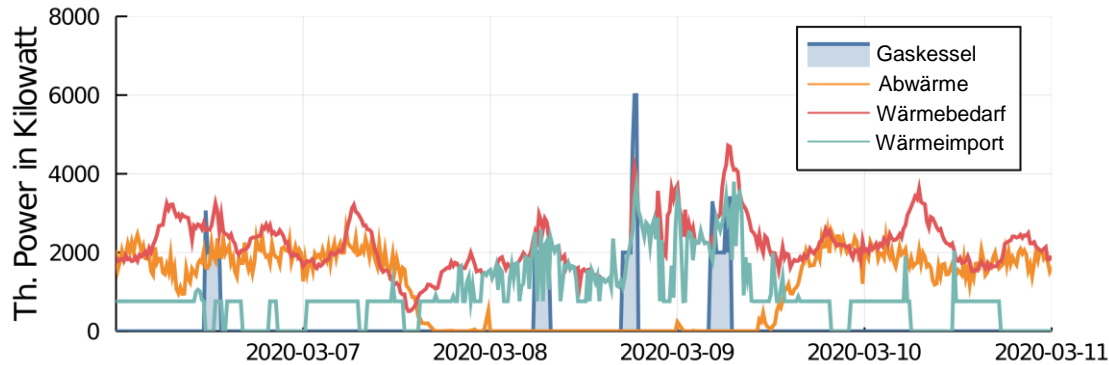
Wärmeübertrager	
Wärmenetze	Übertragungskapazität
Tillmitsch ↔ Kaindorf	1 MW
Kaindorf ↔ Leibnitzerfeld	4 MW

Vereinfachende Annahme: Modelliert als ein Wärmetauscher

Beispielhafte Ergebnisse Südliches Netz (Leibnitzerfeld)

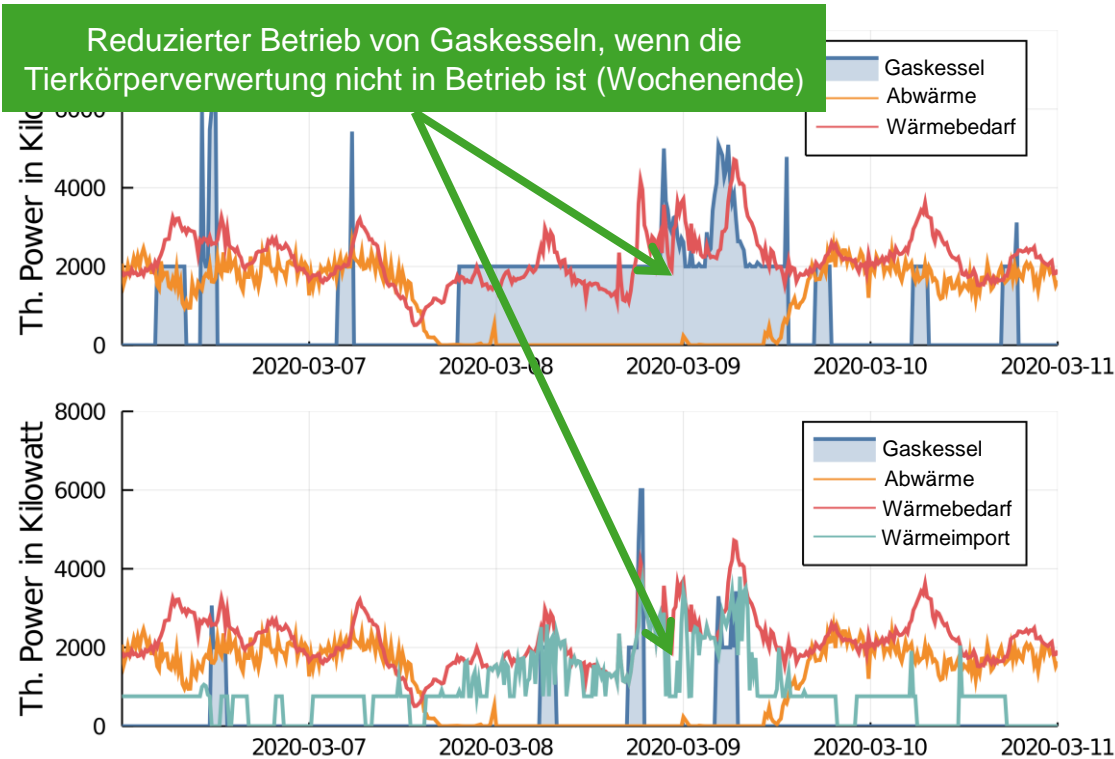


Getrennter Betrieb



Gemeinsame Optimierung

Beispielhafte Ergebnisse Südliches Netz (Leibnitzerfeld)



Getrennter Betrieb

Gemeinsame Optimierung

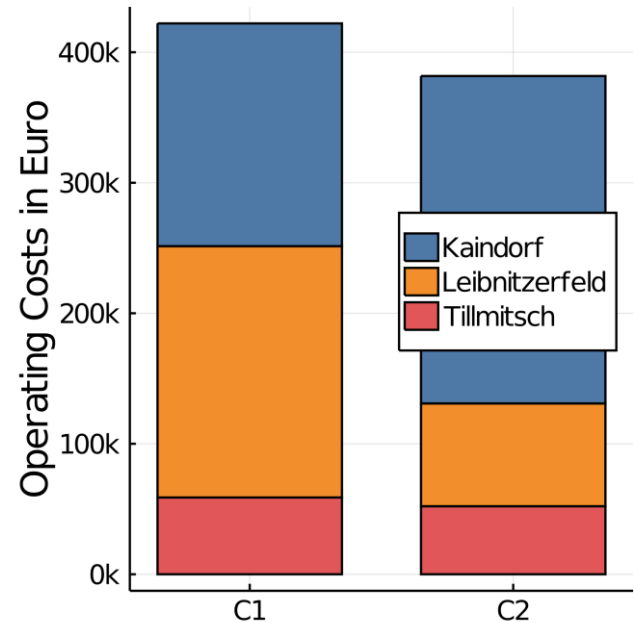
Vergleich

Gesamtbetriebskosten

Angenommene Kostenfaktoren

- Brennstoffkosten
 - Gas: 42 €/MWh
 - Holzhackgut: 23.65 €/MWh
- Kosten für Abwärme: 10 €/MWh
- Betriebskosten
 - Gaskessel: 1 €/h
 - Biomassekessel: 1 €/h
- Kosten je Einschaltung
 - Gaskessel: 1 €/Einschaltung
 - Biomassekessel: 10 €/Einschaltung

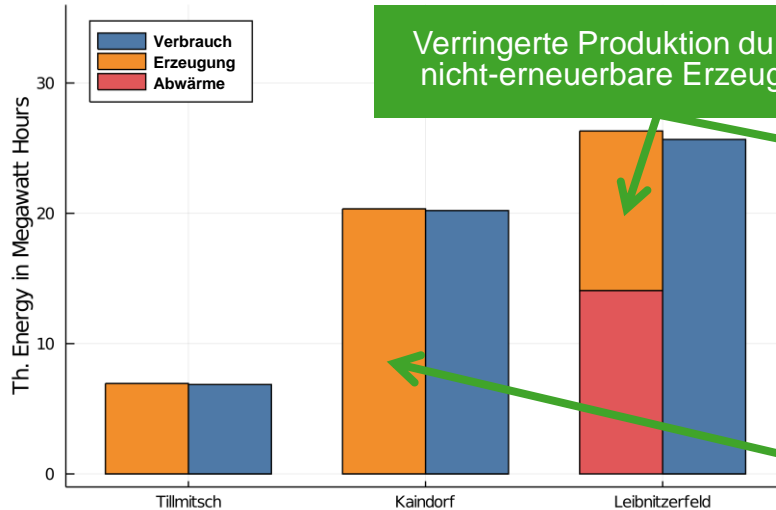
Senkung der Gesamtbetriebskosten um 9%



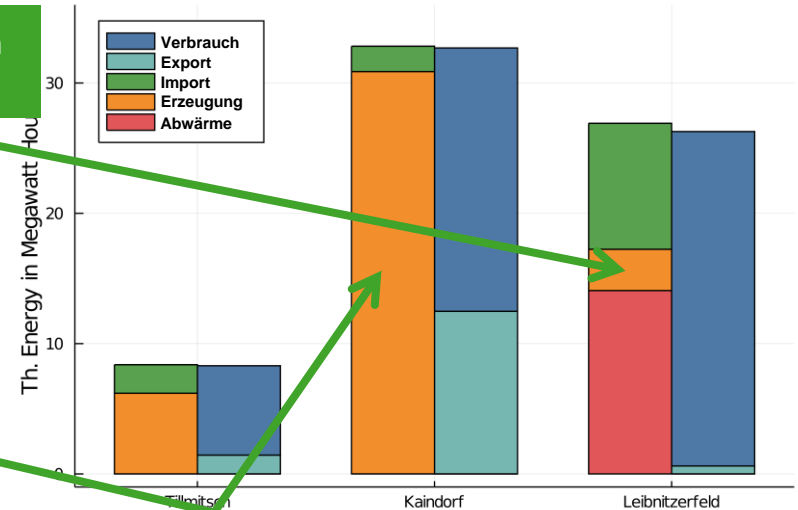
Vergleich Energiebilanz

Getrennter Betrieb

Gemeinsame
Optimierung



Verringerte Produktion durch
nicht-erneuerbare Erzeuger



Steigerung der
Produktion aus
erneuerbaren Energien

Vergleich

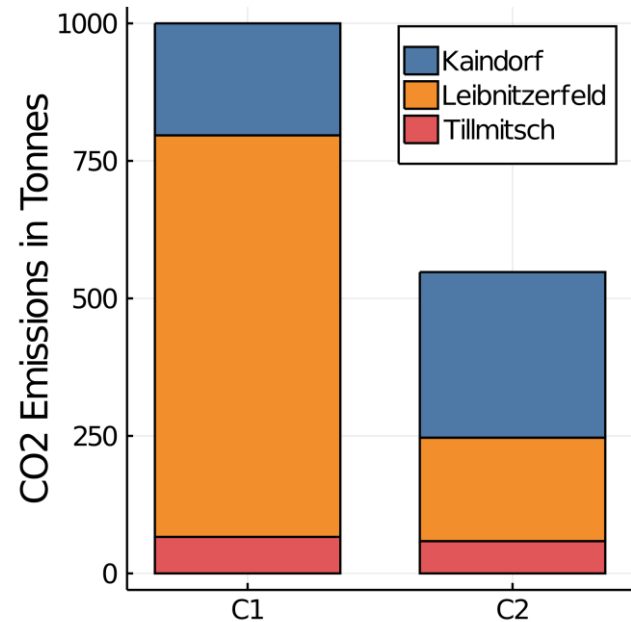
CO₂ Emissionen

Angenommene Emissionsfaktoren

- CO₂ Emissionen^[1]
 - Gas: 202 g/kWh
 - Holzhackgut: 29 g/kWh

[1] Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle, "Merkblatt zu den CO₂ Faktoren," p. 3, 2019.

Senkung der gesamten CO₂-Emissionen um 45%



- **Zunahme der Zahl der eigentumsübergreifenden Energiesysteme**
 - Großes Potenzial bei der Kopplung von bestehenden Wärmenetzen
 - Beispielhafte Simulationsstudie
 - 9% Senkung der Gesamtbetriebskosten
 - 45% Senkung der gesamten CO₂-Emissionen
 - Integration von weiteren (dezentralen) erneuerbaren Energiequellen (z.B. Solarthermie)

- **Erweiterung: Demand-Side Management**

- **Viele offene Fragen hinsichtlich ihrer praktischen Anwendung**
 - Kosten und Geschäftsmodelle
 - Optimale Betriebsstrategie
 - ...



Weitere Fragestellungen

- Wie können potenzielle Einsparungen fair unter den Netzbetreibern aufgeteilt werden?
 - Betriebskosten
 - Die Betriebskosten eines Netzes können steigen, die anderer Netze können sinken.
 - Auswirkung auf die Wartungskosten
 - (Re-)Investitionskosten (zusätzliche Wärmetauscher)
- Wie würde das Preismodell aussehen?
- Ist es rechtlich möglich, das Energiesystem als Ganzes zu betreiben?
 - Jeder Netzbetreiber kann individuelle Verträge mit seinen Kunden abschließen
- Zusätzliche Aspekte
 - Unterschiedliche Schnittstellen, Datenschutz
- Sind die Netzbetreiber überhaupt an einem sozialen Optimum interessiert?



Betrieb verbundener Nahwärmenetze mit getrennten Eigentümern

QM Heizwerke Fachtagung, Bad Vöslau
14. Oktober, 2021

Daniel Muschick

daniel.muschick@best-research.eu

Tel.: + 43 5 02378-9248

Markus Gölles

markus.goelles@best-research.eu

Tel.: + 43 5 02378-9208