

WIRTSCHAFTLICHE BEWERTUNG DER INTEGRATION EINES THERMISCHEN SPEICHERS IN DAS LINZER FERNWÄRMENETZ MITTELS HEAT-MERIT- ORDER-MODELL

19. Symposium Energieinnovation

13. Februar 2026

Katharina Rusch



TREASURE



This project has received funding from the European Union's Horizon Europe research and innovation programme under the grant agreement No 101136095.

Agenda

- Motivation und zentrale Fragestellung
- Vorschau der Ergebnisse
- Use Case: Fernwärmenetz Linz
- In-a-nutshell: Heat Merit Order Modell
- Integration des Speichers
- Ergebnisse
- Schlussbemerkungen

Motivation

- Fernwärme als zentraler Baustein zu einem regional, erneuerbaren und effizienten Energiesystem
 - Steigende Anforderungen an Flexibilität in Energiesystemen
 - Thermische Speicher als Möglichkeit zur
 - Erhöhung der Flexibilität und Versorgungssicherheit
 - Verringerung der Abhängigkeit von CO₂-intensiven Erzeugungseinheiten
- Die Integration thermischer Speicher kann die Einsatzweise der Wärmeerzeugung verändern und Emissionen beeinflussen – welche Auswirkungen hat sie auf die variablen Kosten der Wärmebereitstellung?

Zentrale Fragestellung

Zentrale Forschungsfrage: Ist die Integration eines kurzfristigen thermischen Speichers im Linzer Fernwärmenetz wirtschaftlich sinnvoll?

Ziel der Arbeit:

- Quantifizierung potenzieller Kosteneinsparungen
- Anwendung (und Weiterentwicklung) des Heat-Merit-Order-Modells*
- Vergleich:
 - Business-as-usual
 - Business-as-usual mit Speicher

* Moser et al., 2020; Rusch & Moser, 2025

Vorschau der Ergebnisse

- Die variablen Wärmeaufbringungskosten können im Durchschnitt über die betrachteten Jahre um 17,4 % p.a. gesenkt werden.
 - Im Durchschnitt werden jährlich 110 GWh aus dem Speicher entladen, was ca. 98 Zyklen entspricht.
- Hoher wirtschaftlicher Hebel durch Flexibilisierung, insbesondere in Gas-KWK-dominierten Fernwärmenetzen, da das Strom-Gas-Preisverhältnis gezielt genutzt werden kann

Use Case: Fernwärmenetz Linz

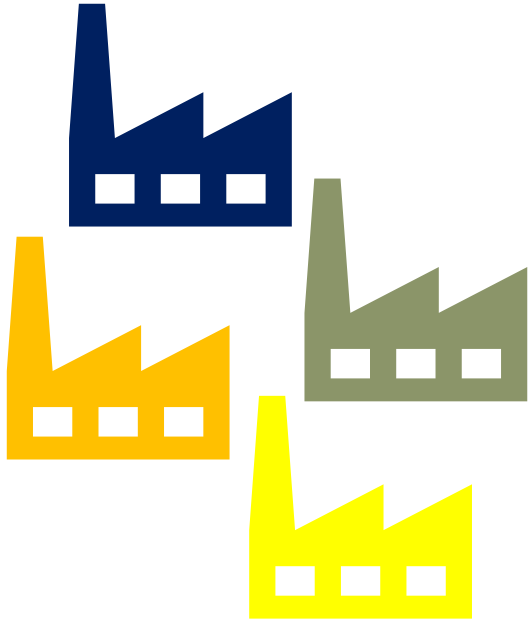
Technische Eckdaten

- Typ: Tankspeicher (kurzfristig)
 - Volumen: 35.000 m³
 - Kapazität: 1.300 MWh
 - Be-/Entladeleistung: 140 MWh/h
- Ziel der Integration eines Speichers: kurzfristige wirtschaftliche Optimierung des Einsatzes von Wärmeerzeugern



Quelle: Oberösterreichische Nachrichten (2019)

Use Case: Fernwärmenetz Linz



- Müllverbrennungs-KWK: 45MW th; 15 MW el
- Biomasse KWK: 23 MW th
- Gas KWK (Mitte und Süd): 322 MW th
- Gaskessel (HOB): 120 MW th

KWK = Kraft-Wärme-Kopplung

„el“ = 'Thermisch statt elektrisch: Thermische Energie aus Situationen, in denen auf die Stromerzeugung zugunsten einer höheren Gewinnung thermischer Energie verzichtet wird. Berücksichtigung der Stromeffizienz.

In-a-nutshell: Heat Merit Order Modell

- Ökonomische Perspektive: Angebotskurve/Grenzkostenkurve
 - Für den lokalen Fernwärmemarkt
 - Im kurzfristigen Horizont
- Optimierung des Einsatzes von Wärmeerzeugungsanlagen entsprechend ihren Grenzkosten
- Ex-post Simulation
- Innovation:
 - Zugang zu einem intransparenten Markt
 - Möglichkeit, die maximalen Kosten für eine Investition rückwirkend zu berechnen
 - Welche Investitionen könnten getätigt werden und wie hoch sind die verbleibenden Einsparungen?

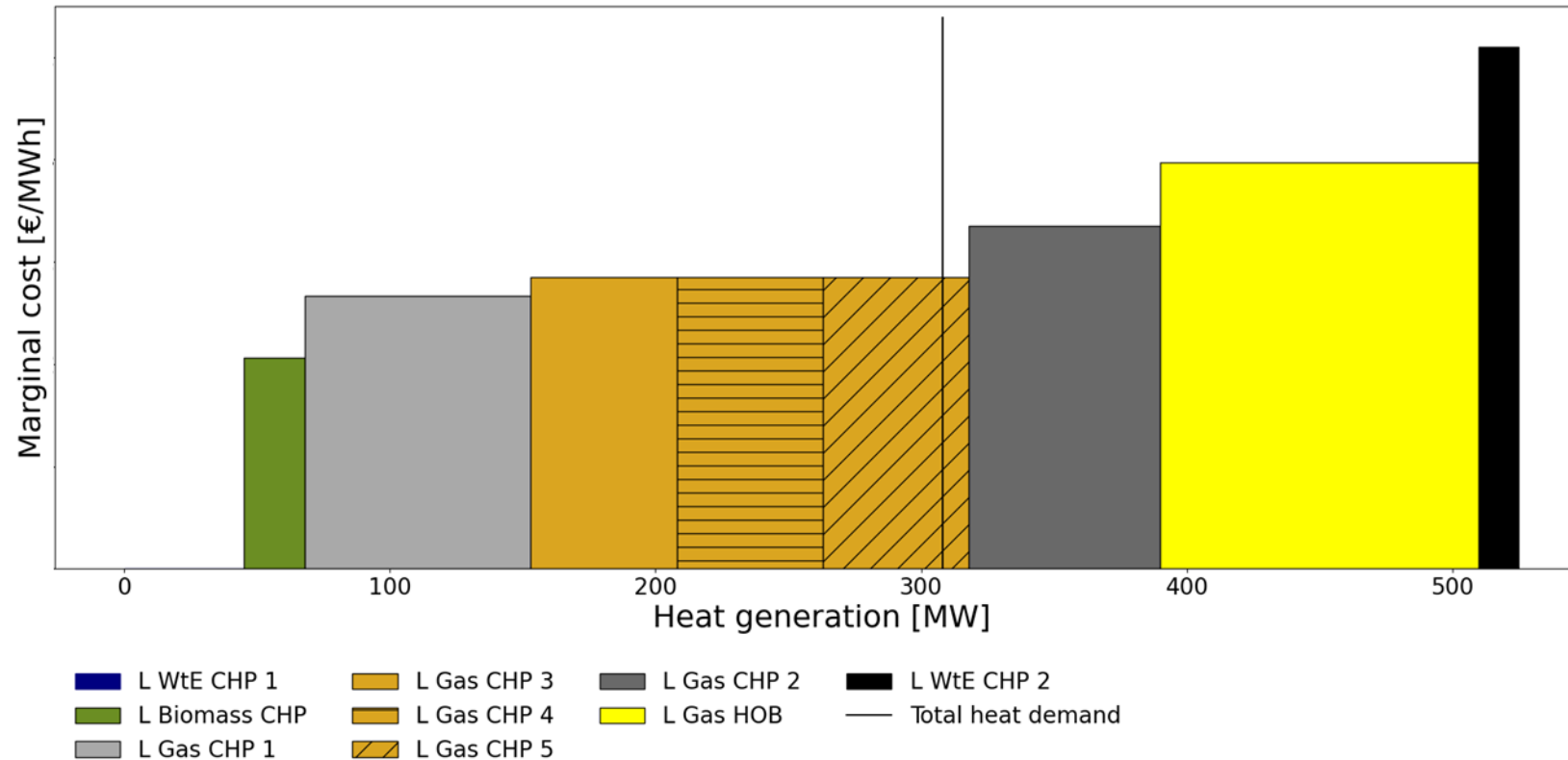
In-a-nutshell: Heat Merit Order Modell

Annahmen

- Alle Wärmeerzeugungsanlagen sind gebaut.
- Die Wärme erfüllt alle technischen Anforderungen für die Einspeisung in das Fernwärmenetz (z. B. Temperatur, Druck).
- Die Berechnung der Wärmeerzeugungskosten der Gas-KWK basiert auf den Spotmarktkosten für Gas und Strom. Andere potenzielle Ertragskomponenten der Anlagen, insbesondere im Bereich anderer Strommärkte, werden nicht berücksichtigt.

In-a-nutshell: Heat Merit Order Modell

Aufsteigende Reihenfolge der Einheiten nach Grenzkosten. Beispiel: Stunde 109 → 05.01.2019 13 Uhr



CHP = Combined heat and power
HOB = Heat only boiler
WtE CHP unit - Waste-to-Energy CHP unit

Integration des Speichers im Modell

Rolle des Speichers im Heat Merit Order Modell

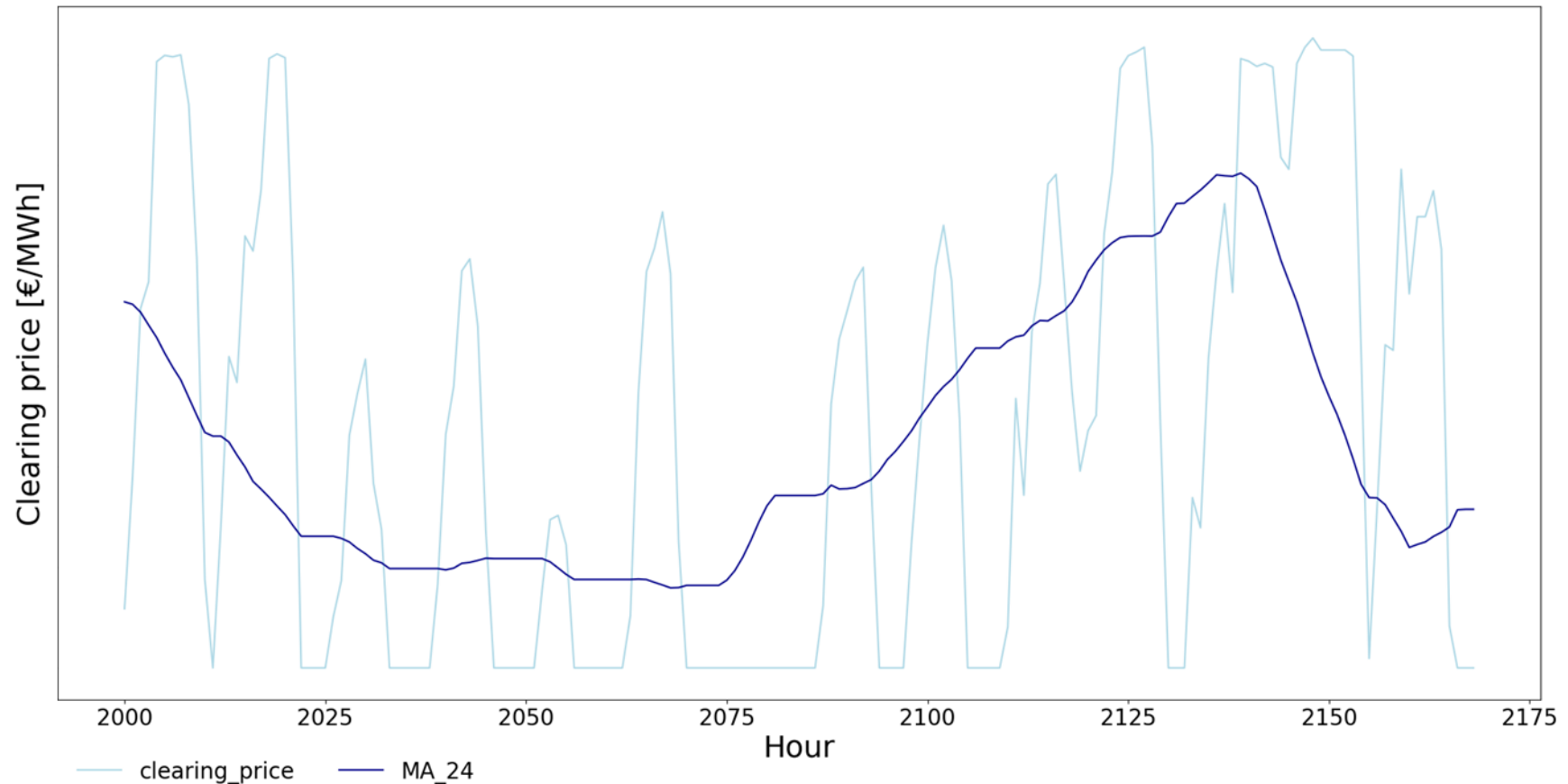
- Laden → zusätzliche Last
- Entladen → zusätzliche Erzeugungseinheit

Entscheidungslogik des Speichers:

- Speicher wird geladen, wenn: der zukünftige Clearingpreis höher ist als aktuelle und genügend Kapazität von Wärmeeinheiten zur Einspeicherung verfügbar ist
- Speicher wird entladen, wenn: der aktuelle Clearingpreis höher ist als zukünftige und die gespeicherte Wärme innerhalb der Grenzkosten-Reihung zur Deckung der Nachfrage eingesetzt wird
- Ökonomischer Indikator: 24 Std vorwärts-orientierter Durchschnitt des Clearingpreises (BAU)

Integration des Speichers im Modell

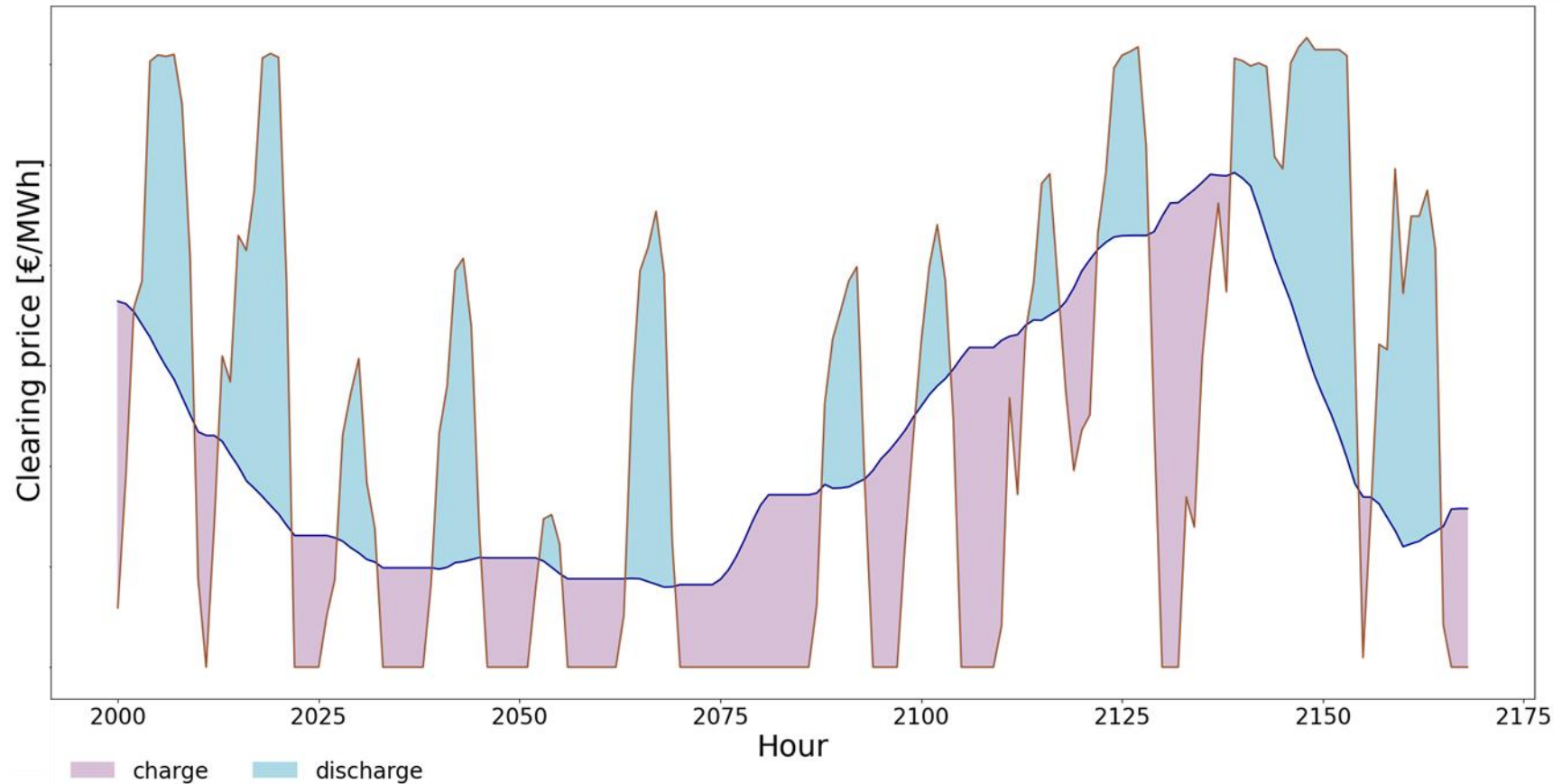
Ökonomischer Indikator zur Definition von Ein- und Ausspeicherungsperioden des Speichers. Beispiel: KW 10



MA = moving average

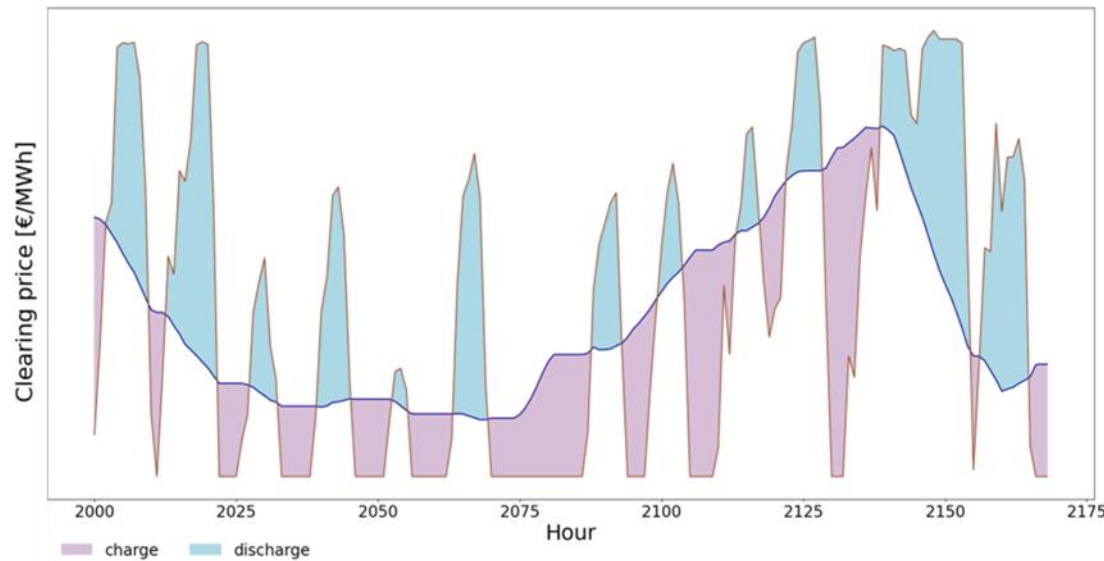
Integration des Speichers im Modell

Ökonomischer Indikator zur Definition von Ein- und Ausspeicherungsperioden des Speichers. Beispiel: KW 10

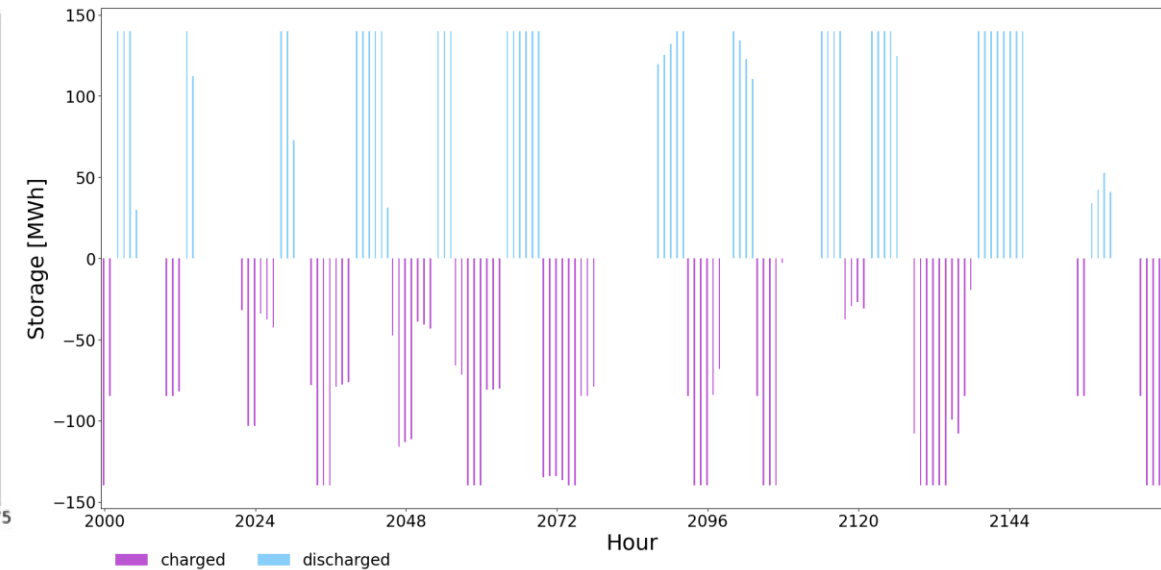


Integration des Speichers im Modell

Clearingpreis in KW 10



(Ent-)Ladung in KW 10



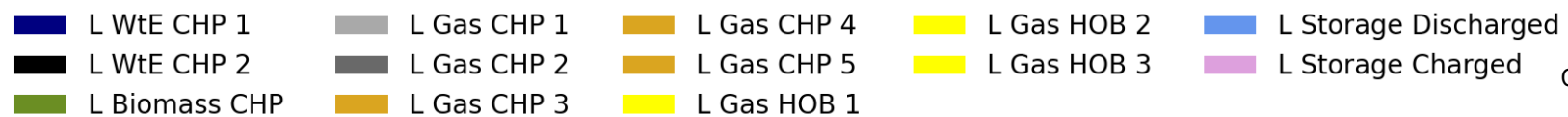
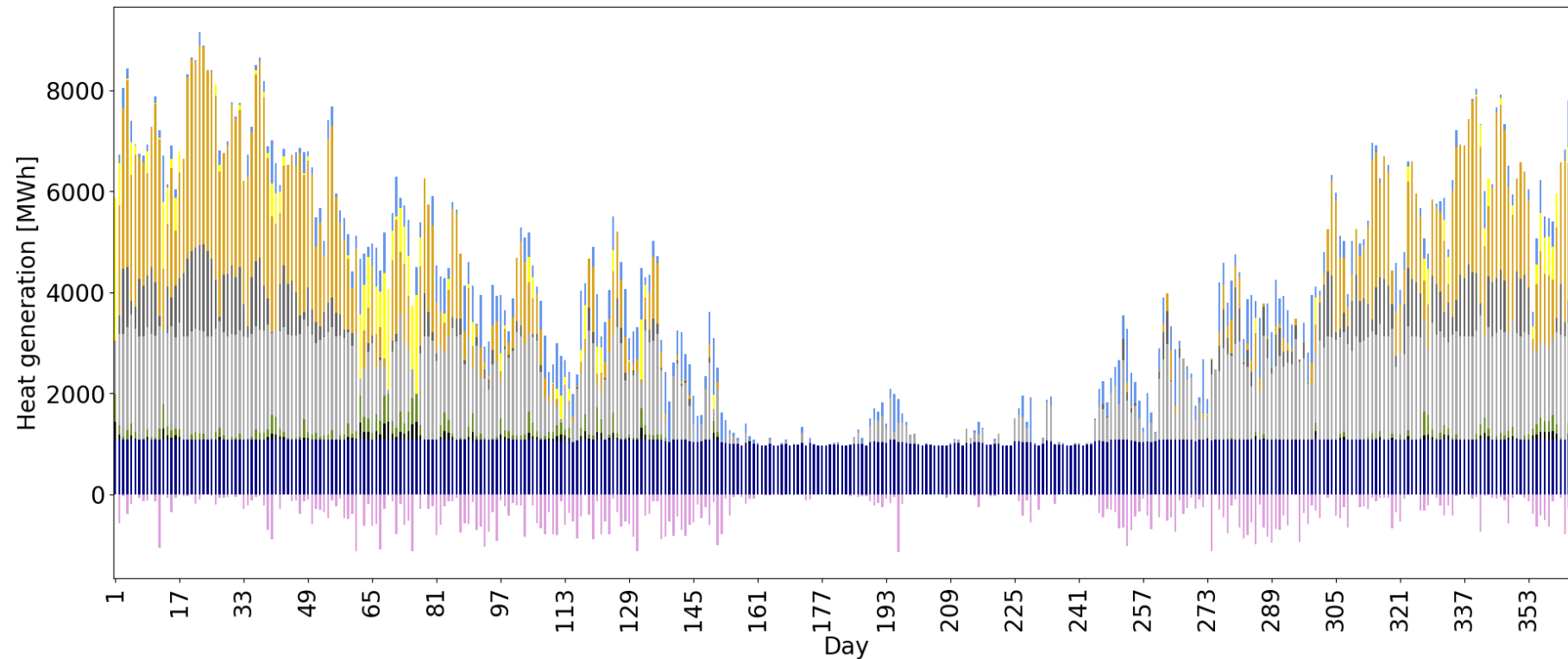
Die linke Abbildung zeigt die Anzeigen für die Lade- und Entladezeiten des Speicheralgorithmus. Die rechte Abbildung zeigt, wie der Algorithmus funktioniert hat.

Kostenbewertung

- Berechnung
 - Stündliche variable Kosten $(\text{€/MWh})_h$ * erzeugte Wärme $(\text{MWh})_h$
 - Aggregation auf Jahreskosten
- Vergleich Business-as-usual vs. Business-as-usual mit Speicher
- Betrachtung der Jahre 2018-2021
- Zentraler Heat Merit Order Modellcharakter
 - Die Integration des Speichers kann variable Gesamtkosten nur senken oder neutral sein
 - Berechnete Einsparungen bei den variablen Kosten \neq automatische Wirtschaftlichkeit

Ergebnisse

→ Im Schnitt über betrachtete Jahre: Ausspeicherung 110 GWh/Jahr



CHP = Combined heat and power
HOB = Heat only boiler
WtE CHP unit- Waste-to-Energy CHP unit

Ergebnisse

- Im Durchschnitt über alle Jahre entlädt der Speicher 110 GWh/Jahr, was ca. 98 Zyklen/Jahr entspricht
 - Überwiegend wird durch den Speicher Wärme von Gas-KWK zu Zeiten eines geringen Strom-Gas-Preisverhältnisses sowie Wärme des Gaskessels (HOB) ersetzt
 - Die Beladung des Speichers erfolgt von Gas-KWK zu Zeiten eines hohen Strom-Gas-Preisverhältnisses, Biomasse-KWK und Müllverbrennungs-KWK
- Senkung der berechneten variablen Wärmekosten im Durchschnitt über alle Jahre um 17,4 % p.a.
- Hoher wirtschaftlicher Hebel durch Flexibilisierung, insbesondere in Gas-KWK-dominierten Fernwärmenetzen, da das Strom-Gas-Preisverhältnis gezielt genutzt werden kann

Schlussbemerkungen

- Das Ergebnis stellt eine obere Abschätzung des Potenzials der Einsparung variabler Gesamtkosten dar, denn Rampen, Teillast oder Speicherverluste sind im Modell nicht berücksichtigt.
- Das Heat Merit Order Modell ist ein transparentes, wertvolles Analyseinstrument zur Einschätzung der Wirtschaftlichkeit der Integration eines thermischen Speichers ins Fernwärmenetz.
- Thermische Speicher erhöhen Flexibilität im Fernwärmenetz und senken die variablen Gesamtkosten der Wärmeaufbringung signifikant.
- Die Wirtschaftlichkeit der Integration eines thermischen Speichers hängt vom spezifischen Anlagenpark des Fernwärmenetzes ab und muss individuell untersucht werden.

Ausblick

- Kalibrierung und Weiterentwicklung des Heat-Merit-Order-Modells für zukünftige Simulationen von Speichern unterschiedlicher Typen und Größenordnungen in verschiedenen Wärmenetzen
 - z.B. PTES im EU-Horizon Projekt TREASURE*
- Zukünftiger Fokus: Integration nachhaltiger Erzeugungsquellen, v.a. in den Sommermonaten wie industrielle Abwärme, Solar- und Geothermie



* <https://www.treasure-project.eu/>

Referenzen

- S. Moser, S. Puschnigg, and V. Rodin. Designing the heat merit order to determine the value of industrial waste heat for district heating systems. Energy, 200:117579, 2020.
<https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117579>
- K. Rusch and S. Moser. A new era of district heating thinking? Economic feasibility of implementing supra-regional connections of existing district heating networks. Energy, 136664, 2025.
<https://doi.org/10.1016/j.energy.2025.136664>

Danke!

Katharina Rusch
rusch@energieinstitut-linz.at



Energieinstitut an der JKU Linz | Altenberger Straße 69 | 4040 Linz | Austria