



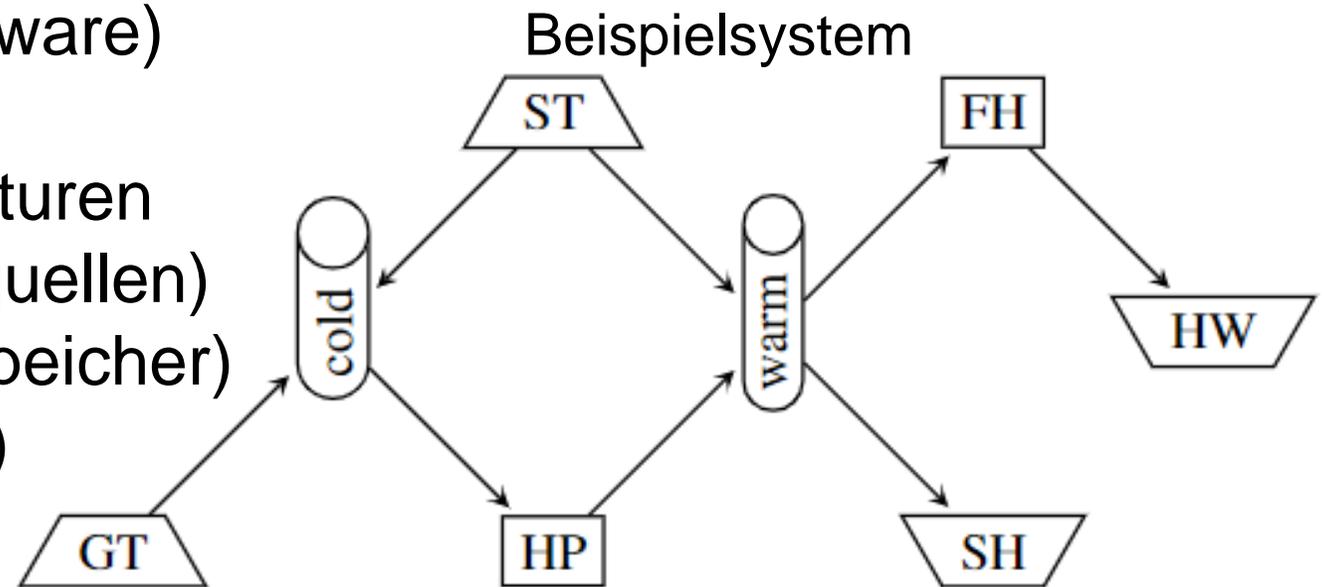
Temperatur und Massestrom in Linearen Optimierungsmodellen

P. Schönfeldt, G. Petrin, S. Schlüters

Ziele

- Optimierte Betriebsführung eines erneuerbaren Heizsystems
- Anwendbarkeit für optimierte Regelung
- Lineares Energiesystemmodell
 - Rechenzeit
 - Zugänglichkeit (Freie Software)
 - Kompatibilität
- Berücksichtigung der Temperaturen
 - Energiegewinne (Wärmequellen)
 - Energieverluste (Wärmespeicher)
 - Effizienz (Energiewandler)
- Problem ist bilinear:

$$\dot{Q} = \rho c_p \dot{V} \times (T_i - T_o)$$





Hintergrund: MTRESS

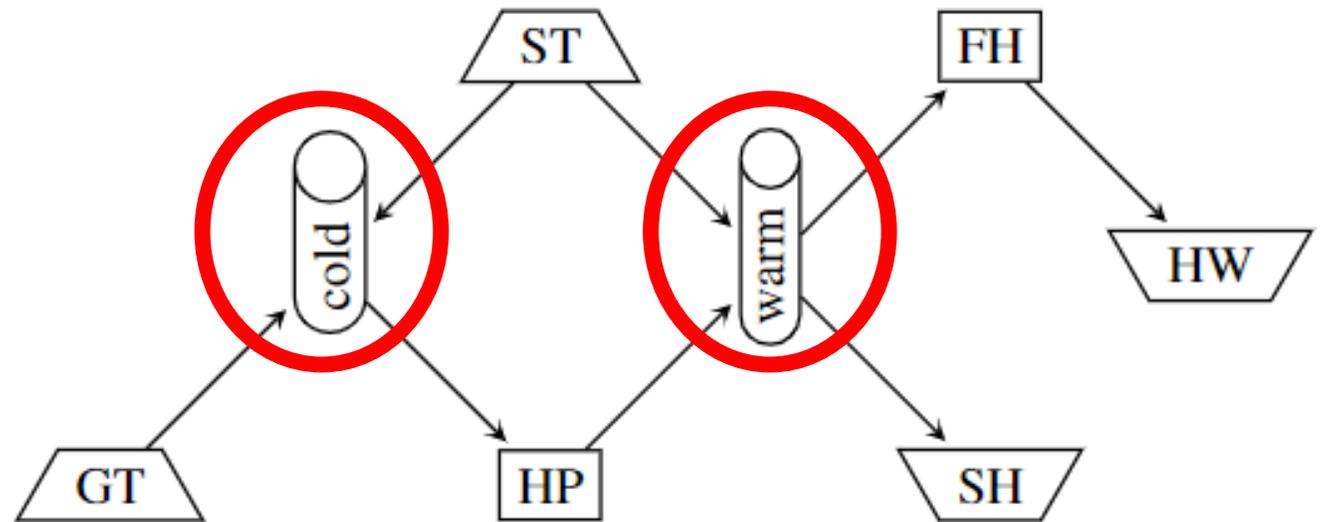
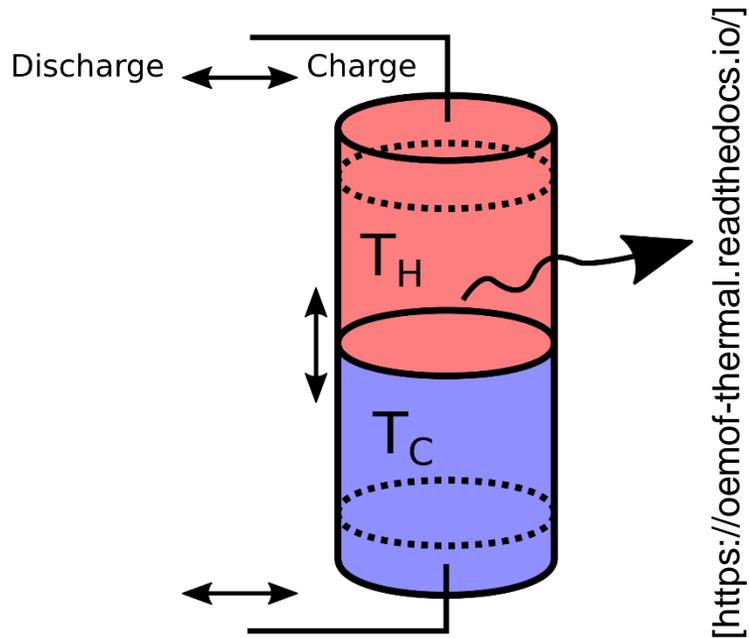
- Model Template for Renewable Energy Supply Systems
- Optimierter Betrieb für vernetzte Anlagen
- Abstraktionsschicht auf oemof.solph
- Detaillierte Energiesystemmodelle einfach erstellen
- Komponentenmodelle
 - Automatische Verknüpfung anhand Energieträger
 - Manuelle Verknüpfung verschiedener Orte
 - Modellierung anhand von Datenblättern der Einzelanlagen
- Modellierungsansätze
 - Fokus auf Geschwindigkeit (Temperaturniveaus)
 - Fokus auf Genauigkeit (Temperatur als Variable)
 - Wahlmöglichkeit je Komponente

Wärmespeicher (1)

Energie

$$Q = \rho c_p V \times (T_S - T_{\text{ref}})$$

Temperaturniveaus innerhalb:



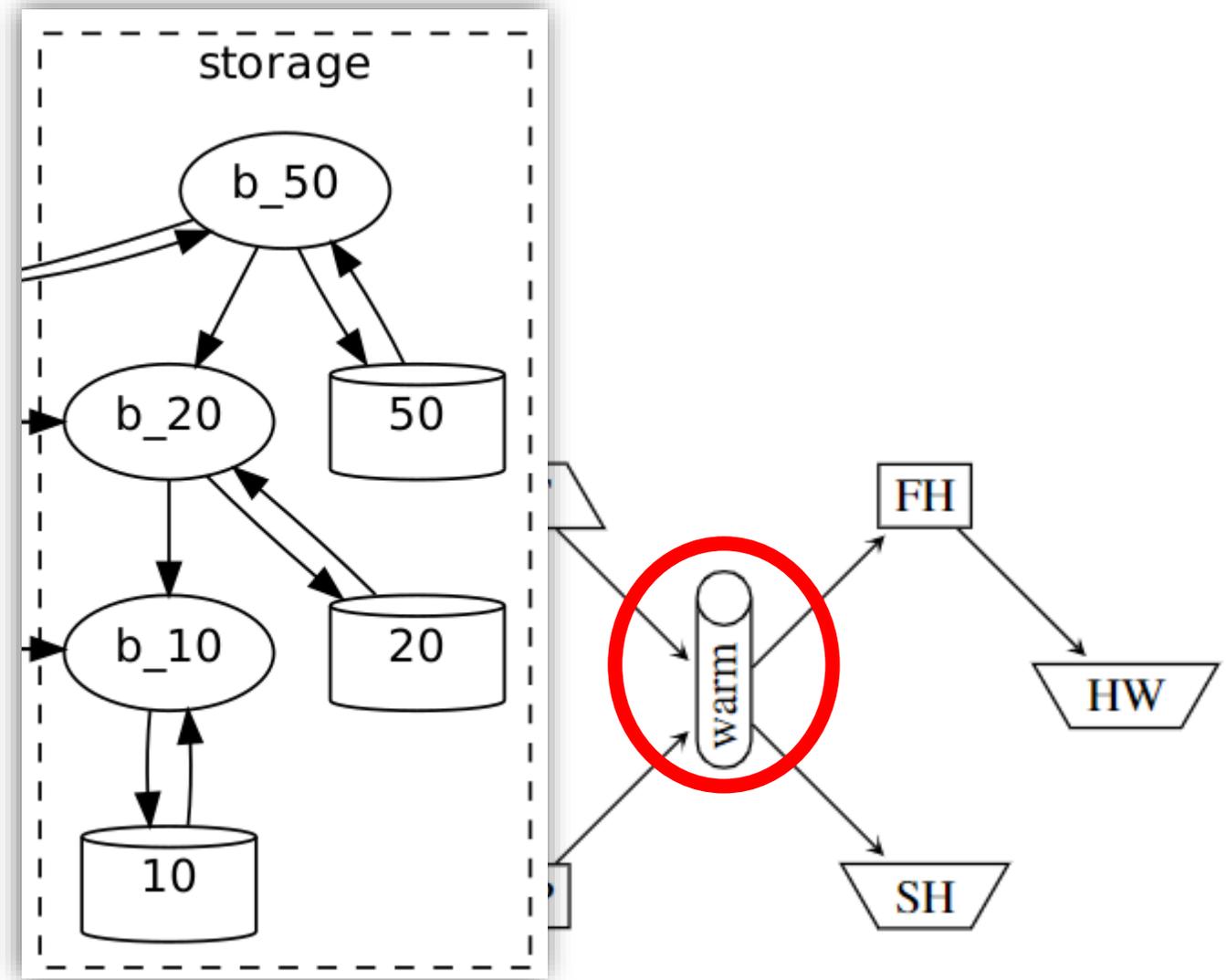
Wärmespeicher (2)

Energie

$$Q = \rho c_p V \times (T_S - T_{\text{ref}})$$

Temperaturniveaus innerhalb:

- Warenlager-Modell mit Verlusten ausschließlich nach außen
 - Temperaturniveaus unabhängig
 - Kürzeste Rechenzeiten
(Modellierung von Verlusten verkürzt Rechenzeit)
- Schicht-Modell mit Verlusten zum nächsten Temperatur-Niveau
 - Jede Temperatur verfügbar
 - Realistischere Abbildung

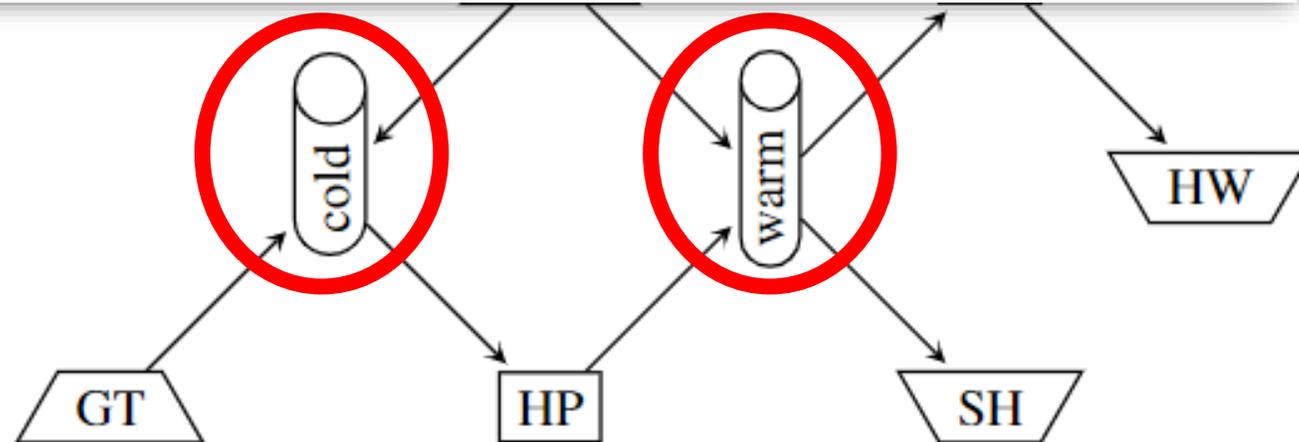
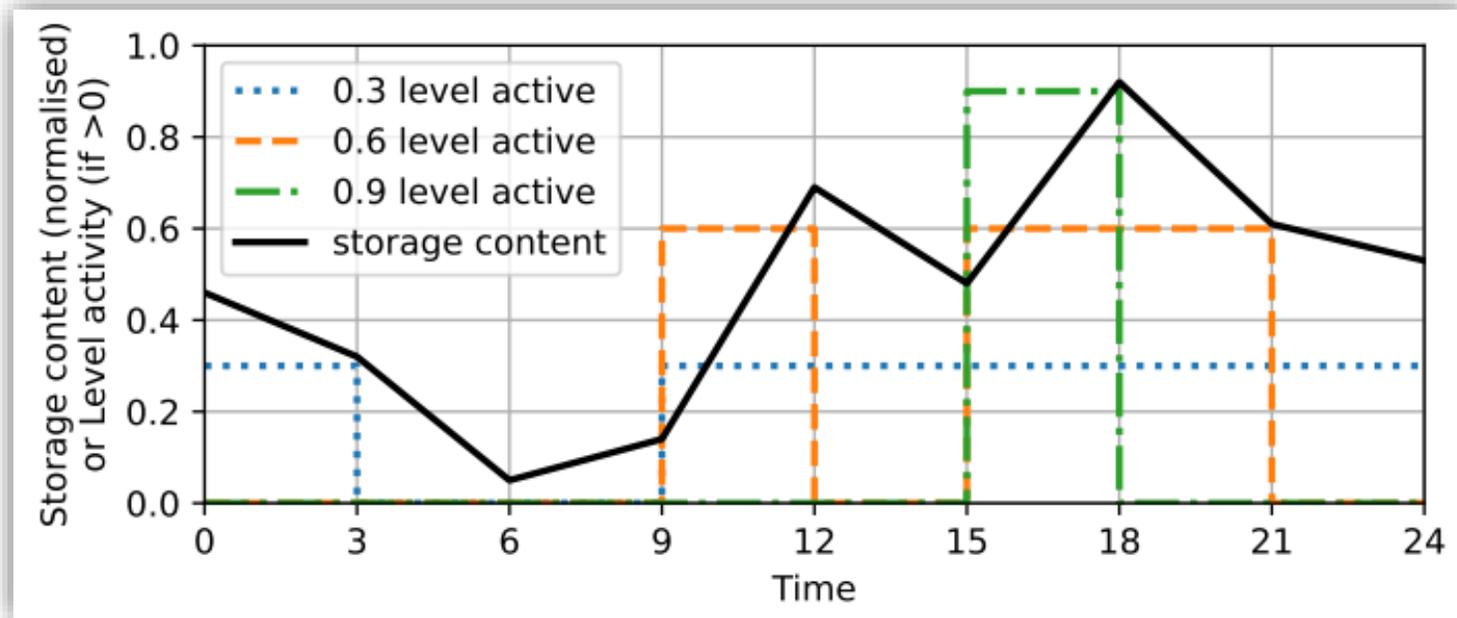
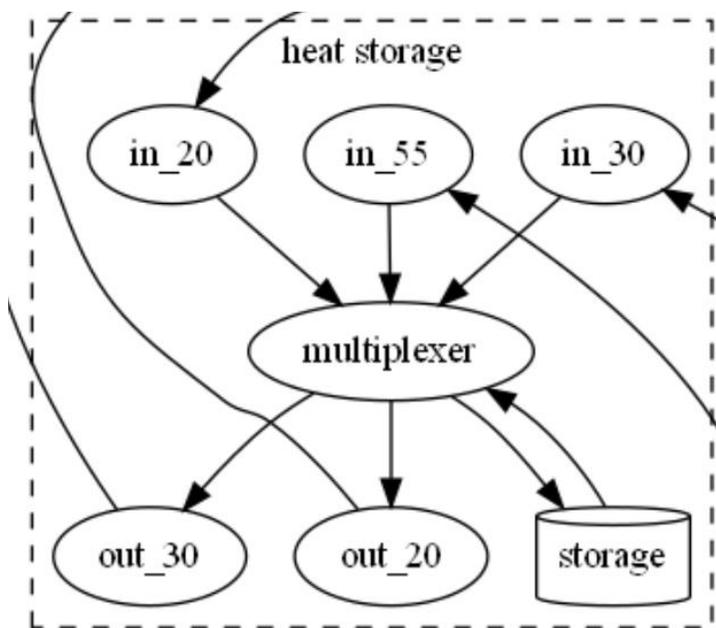


Wärmespeicher (3)

Energie

$$Q = \rho c_p V \times (T_S - T_{ref})$$

Temperaturniveaus außerhalb:



Wärmepumpe

Verknüpfung der Energieflüsse

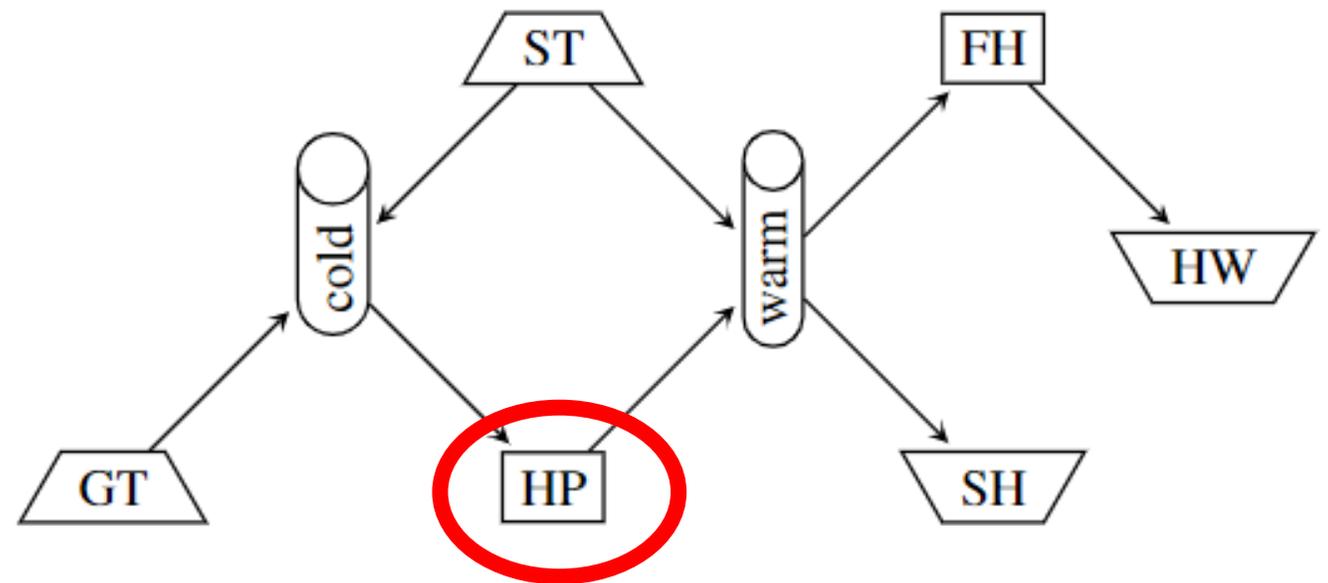
$$\begin{aligned}\dot{Q} &= P \times COP \\ &= \dot{A} \times \left(\frac{COP}{COP - 1} \right)\end{aligned}$$

$$COP = \eta_{\text{Lorenz}} \times \frac{\langle T_H \rangle}{\langle T_H \rangle - \langle T_C \rangle}$$

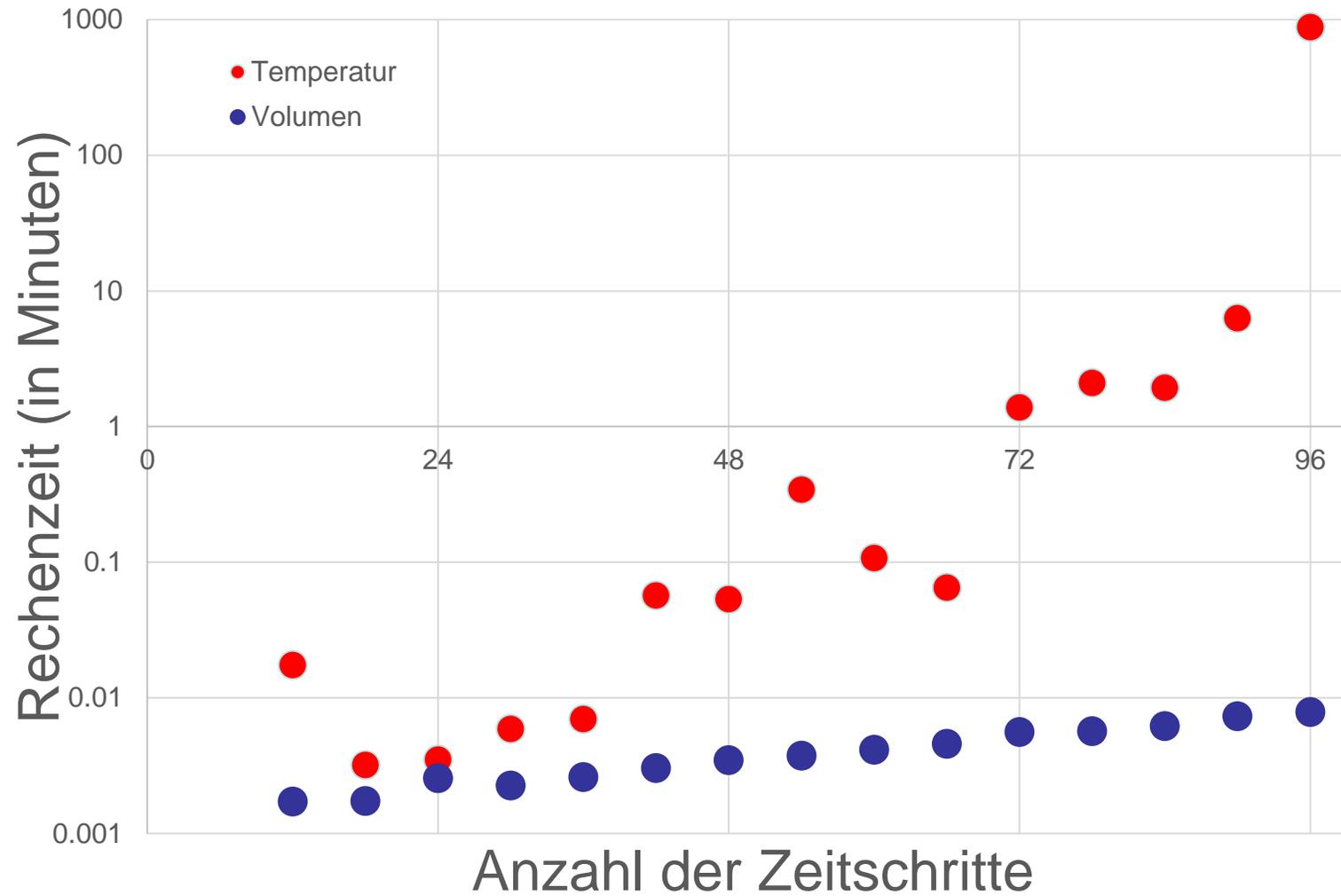
Linear mit variabler Temperatur:

$$\dot{Q} \leq \dot{Q}_{\text{max}} \times y_{\text{HP}},$$

$$P \geq \frac{\dot{Q}_{\text{max}}}{\eta_{\text{Lorenz}}} \times \left(y_{\text{HP}} - \frac{T_{\text{C},i} + T_{\text{C},o}}{2 \times \langle T_H \rangle} \right)$$

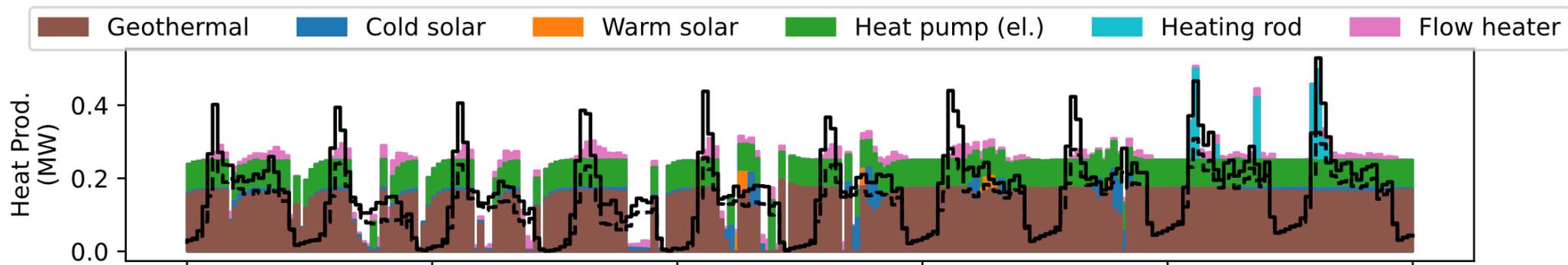


Laufzeit

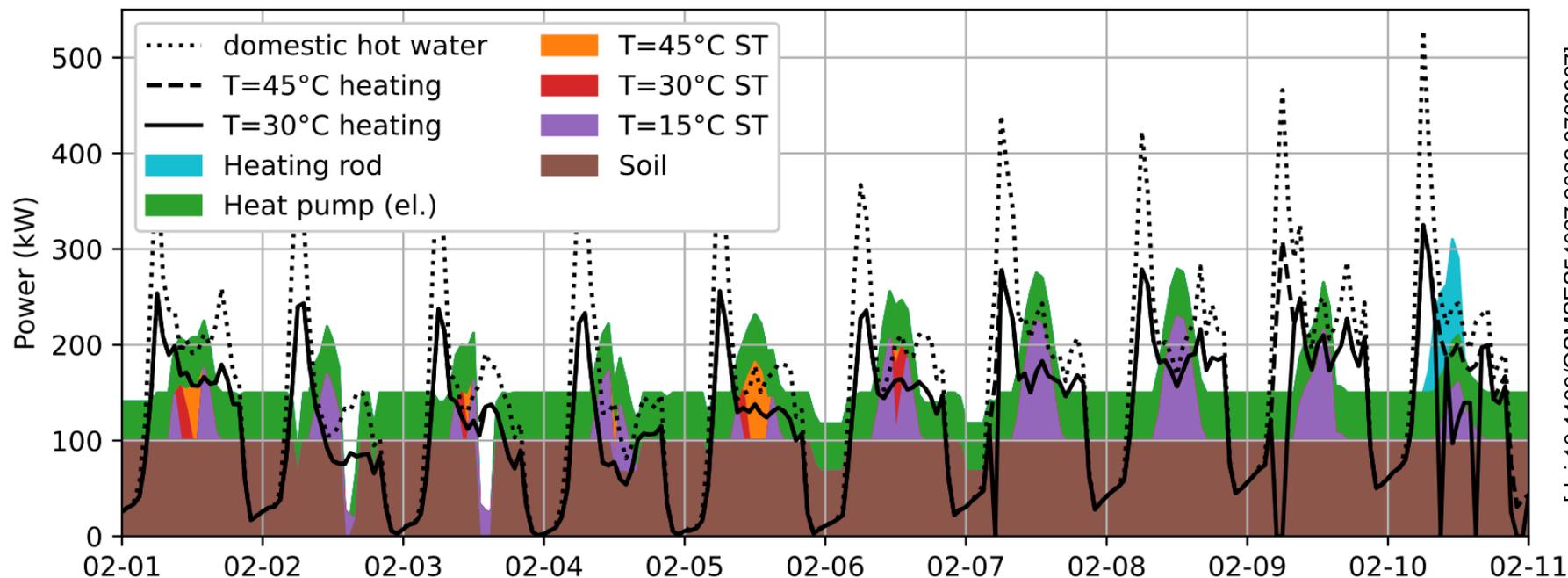


Wärmeflüsse

Variable Temperatur



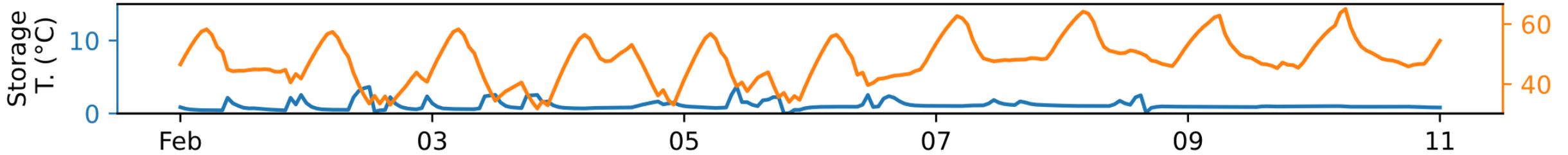
Temperatur-niveaus



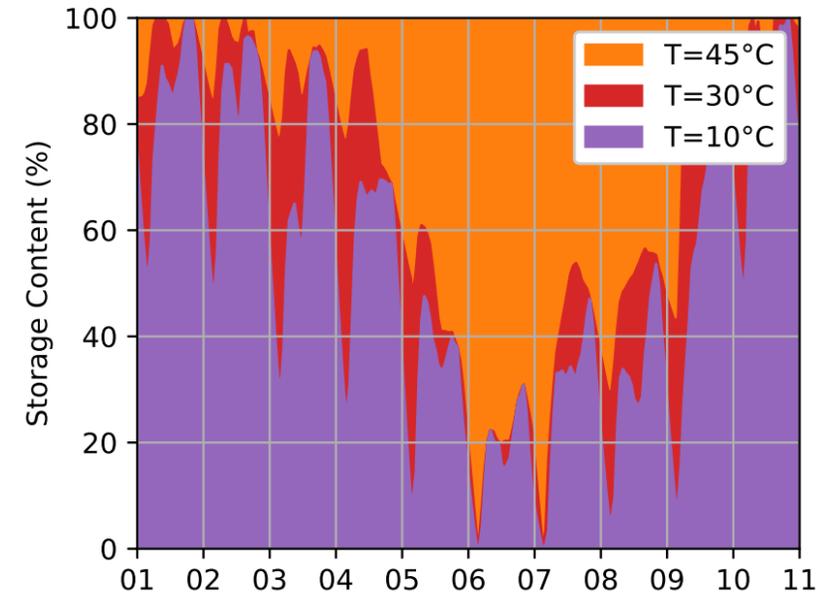
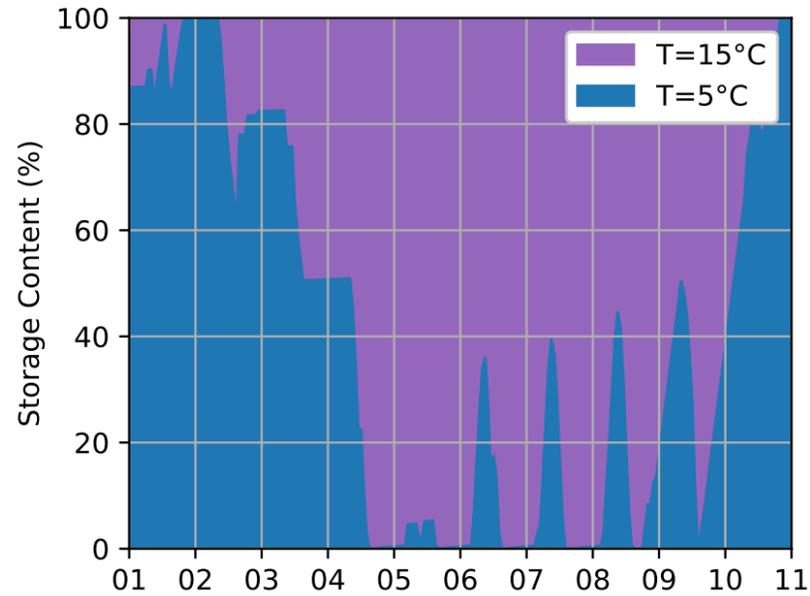
[doi:10.1109/OSMSE54027.2022.9768967]

Speicherfüllstand

Variable Temperatur



Temperatur- niveaus



[doi:10.1109/OSMSE54027.2022.9768967]



Zusammenfassung

- Diskrete Temperaturen:
 - (+) Mathematisch einfacher
 - (-) Ergebnisse teils zu optimistisch
- Diskrete Volumina:
 - (+) Übersetzung Simulation \leftrightarrow Messung
 - (-) Teillast-Modellierung aufwändig
- Beide Ansätze über Speicher kombinierbar:
(Ent-) Laden mit Temperaturbeschränkung
- Gezielte Nutzung je nach Einsatzzweck
 - Variable Temperatur für Einsatzplanung
 - Temperaturniveaus für Auslegungsoptimierung



Zusammenfassung

- Diskrete Temperaturen:
 - (+) Mathematisch einfacher
 - (-) Ergebnisse teils zu optimistisch
- Diskrete Volumina:
 - (+) Übersetzung Simulation \leftrightarrow Messung
 - (-) Teillast-Modellierung aufwändig
- Beide Ansätze über Speicher kombinierbar:
(Ent-) Laden mit Temperaturbeschränkung
- Gezielte Nutzung je nach Einsatzzweck
 - Variable Temperatur für Einsatzplanung
 - Temperaturniveaus für Auslegungsoptimierung

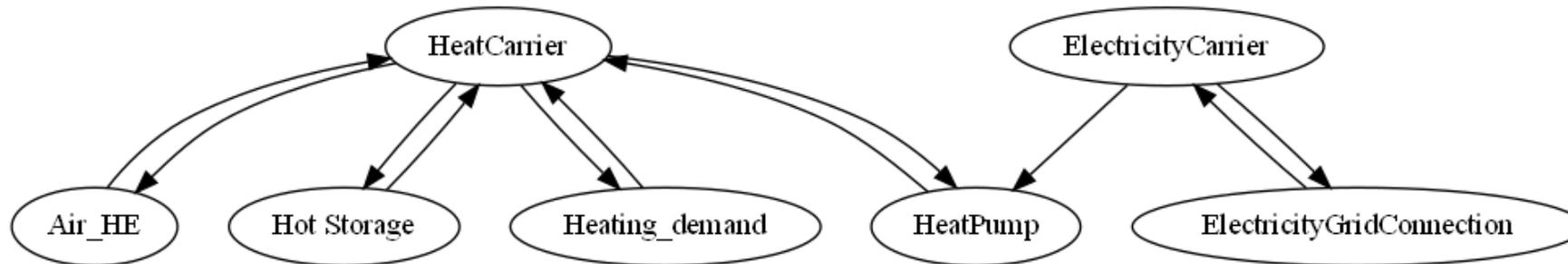
Danke für die Aufmerksamkeit!



Backup

Definitionen

- Energiesystem als Bipartiter Graph:
 - Knoten:
 - Energieträger (z.B. „Warmwasser auf Speichertemperatur“)
 - (Teil-) Komponenten in einem Betriebsmodus (z.B. „Solarthermie zur Erzeugung von Warmwasser“)
 - Kanten: Energieflüsse (oder andere Ressourcenflüsse)



- Diskretisierung der Zeit:
 - Leistung definiert während Zeitintervallen
 - Energie definiert an Zeitpunkten: $E(t) = E(t - \Delta t) + P \times \Delta t$

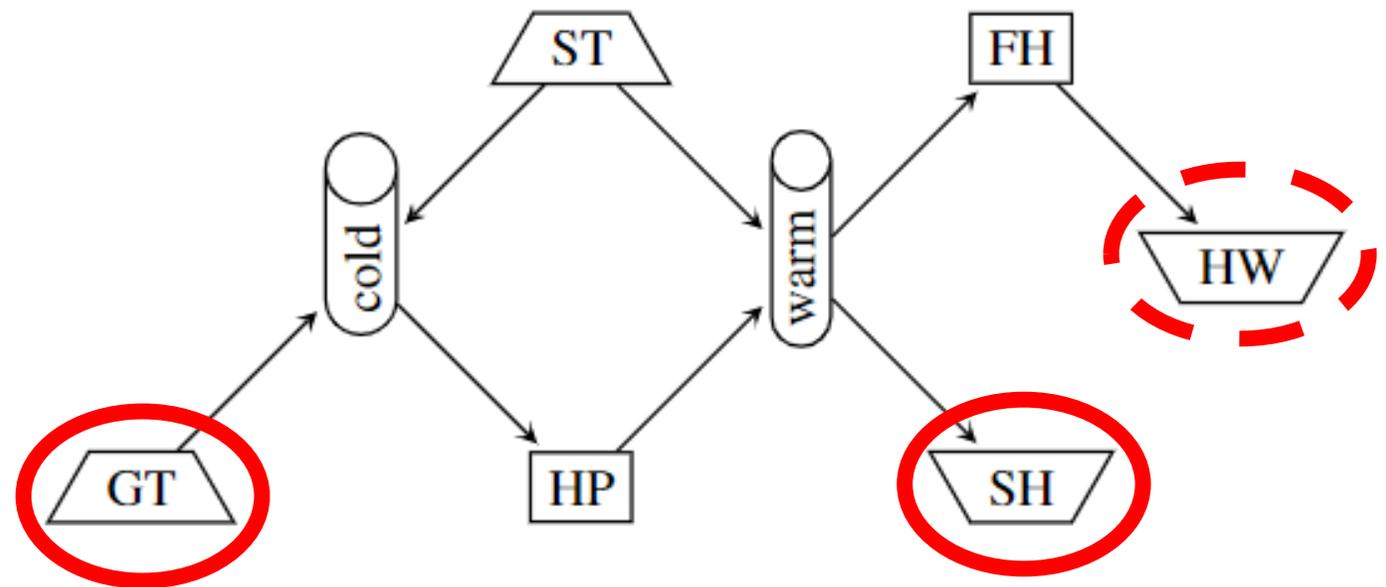
Wärmetauscher (1)

Energieübertragung

$$\dot{Q} = UA \times \frac{(T_i - T_a) - (T_o - T_a)}{\ln(T_i - T_a) - \ln(T_o - T_a)}$$

→ Temperaturänderung

$$T_o = (T_i - T_a) \times \exp\left(-\frac{AU}{\rho c_p \dot{V}}\right) + T_a$$



Solarthermie (Wärmetauscher 2)

Temperaturänderung

$$\frac{T_o - T_a - S/U_L}{T_i - T_a - S/U_L} = \exp\left(-\frac{U_L A_C F'}{\rho c_p \dot{V}}\right)$$

→ Temperatur-abhängige Energieübertragung

$$\dot{Q}_{ST,raw} = \dot{Q}_T \times \left(T_A + \frac{S}{U_L} - T_S\right)$$

$$\dot{Q}_T := \rho c_p \dot{V} \times \left(1 - \exp\left(-\frac{U_L A_C F'}{\rho c_p \dot{V}}\right)\right)$$

