



Universität Stuttgart



Deutsches Zentrum
für Luft- und Raumfahrt
Institut für Technische Thermodynamik



Untersuchung eines aktiven Latentwärmespeichersystems basierend auf einem rotierenden Trommel- Wärmeübertrager zur Dampferzeugung

Abschlusspräsentation zur Masterarbeit
07.09.2023

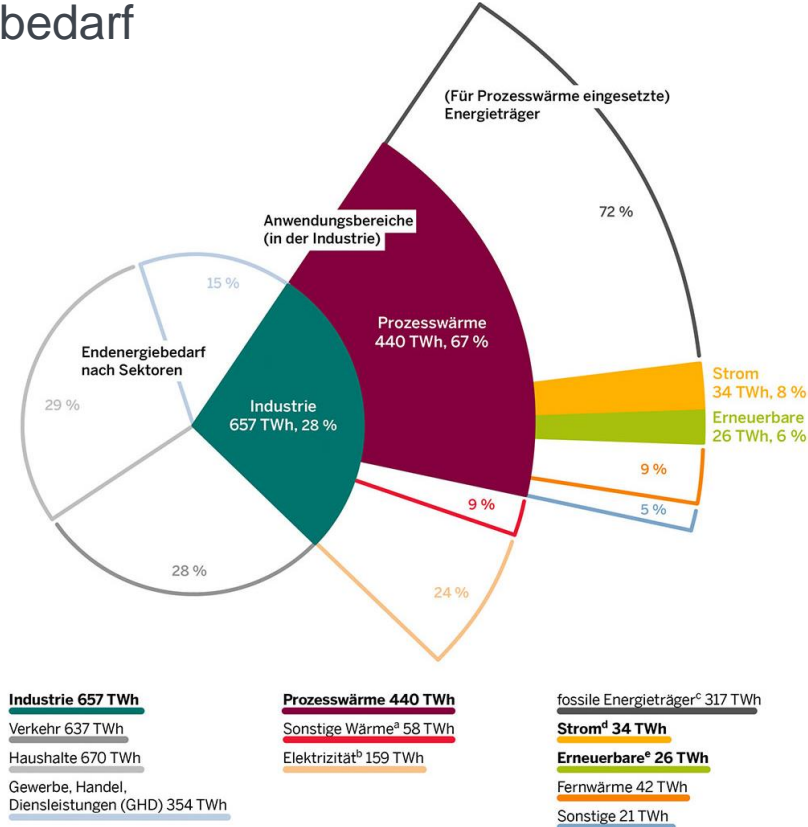
Leon
Sengün

Gliederung

- Motivation
- Latentwärmespeicher
- Konzept der Rotating Drum
- Versuchsaufbau
- Versuchsergebnisse
- Fazit & Ausblick



Thermischer Energiebedarf

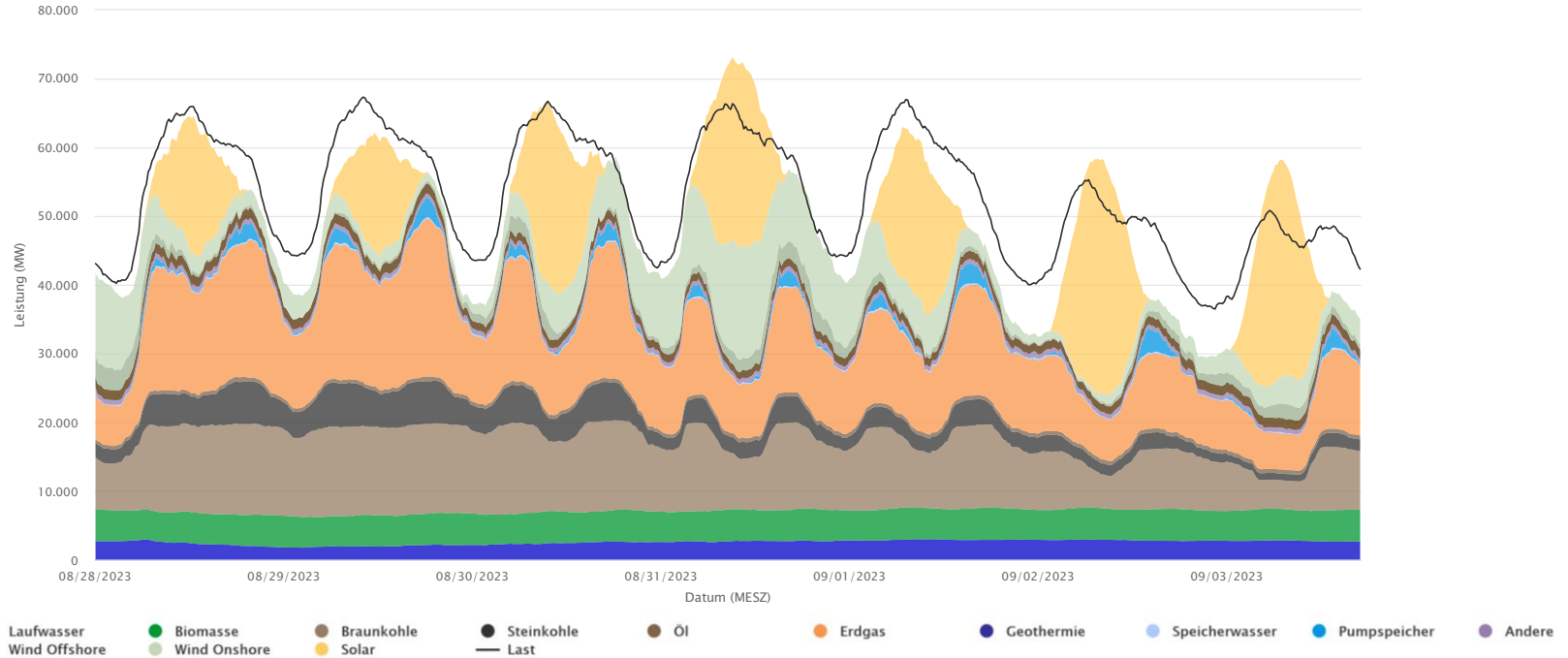


Quelle: NRW.Energy4Climate, <https://www.umsicht.fraunhofer.de/de/presse-medien/pressemitteilungen/2022/waermewende-industrie.html>

Erneuerbare Energien: Angebot zeitlich variabel

Gesamte Nettostromerzeugung in Deutschland in Woche 35 2023

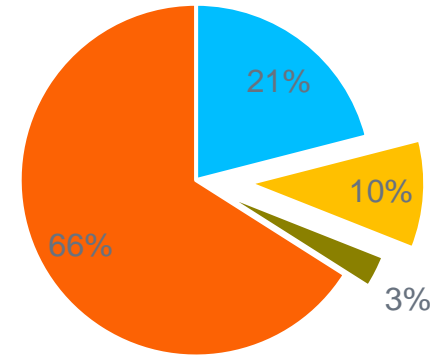
Energetisch korrigierte Werte



Energy-Charts.info; Datenquelle: ENTSO-E, AG Energiebilanzen; Letztes Update: 08/29/2023, 1:35 PM GMT+2

- Prozessdampf: vielseitig nutzbarer Energieträger
- Einsatz in:
 - Papierherstellung
 - Chemischer Industrie
 - Lebensmittelverarbeitung
- Ziele der Arbeit:
 - Aufbau & Inbetriebnahme eines Versuchsstands zur thermischen Energiespeicherung & Dampferzeugung
 - Durchführung & Analyse erster Versuche

Prozesswärmebedarf

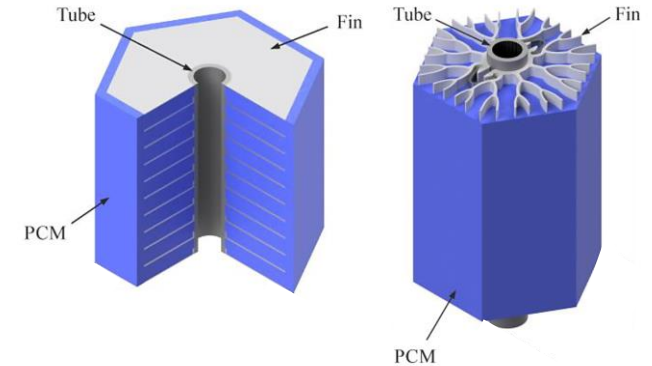


■ <100 °C ■ 100-250°C ■ 250-500°C ■ >500°C

Quelle: SolSteam Ergebnisbericht,
<https://elib.dlr.de/125012/1/Schlussbericht%20SolSteam.pdf>

Prinzip

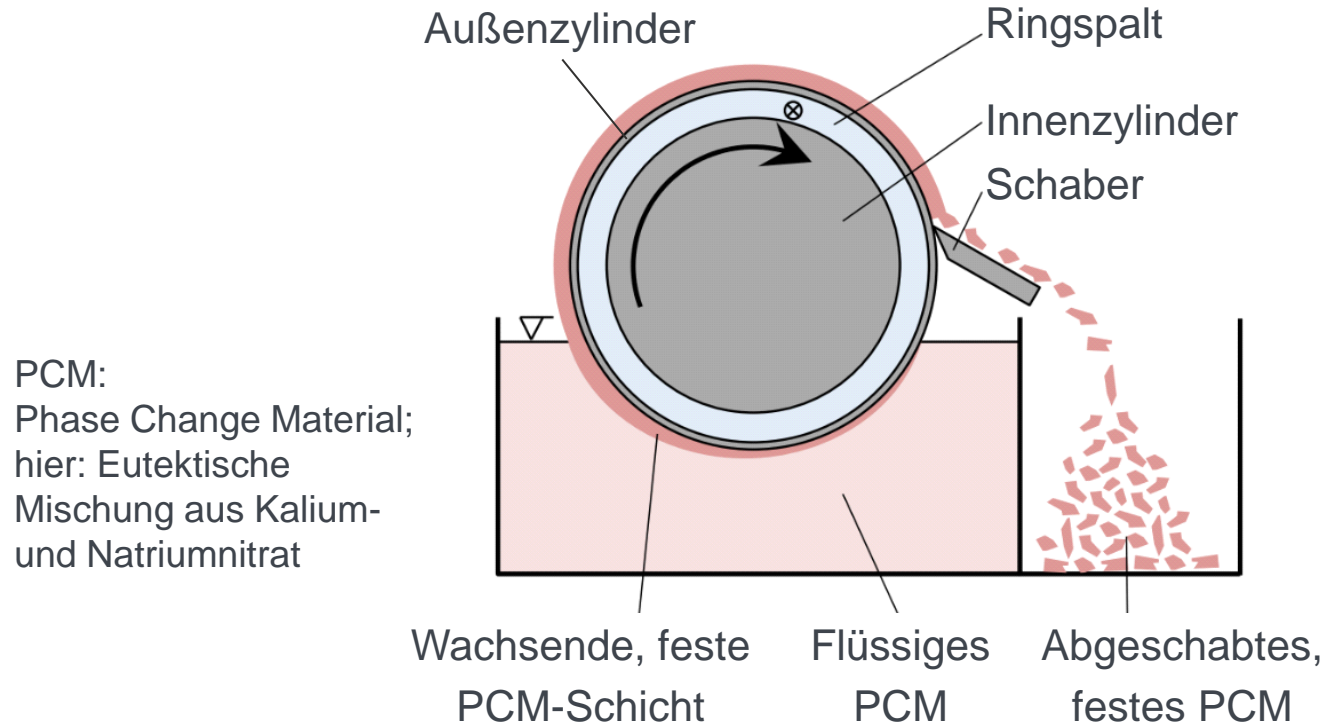
- Nutzung Phasenwechselenthalpie
- Herausforderung: Geringe Wärmeleitfähigkeit von Phasenwechselmedien
- Passiver Lösungsansatz:
 - Vergrößerung der Erstarrungsfläche
 - Z. B. Rippenrohr-Wärmeübertrager
- Aktiver Lösungsansatz:
 - Trennung flüssiger & fester Phase durch Entfernung erstarrter Schicht
 - Z. B. Rotating Drum



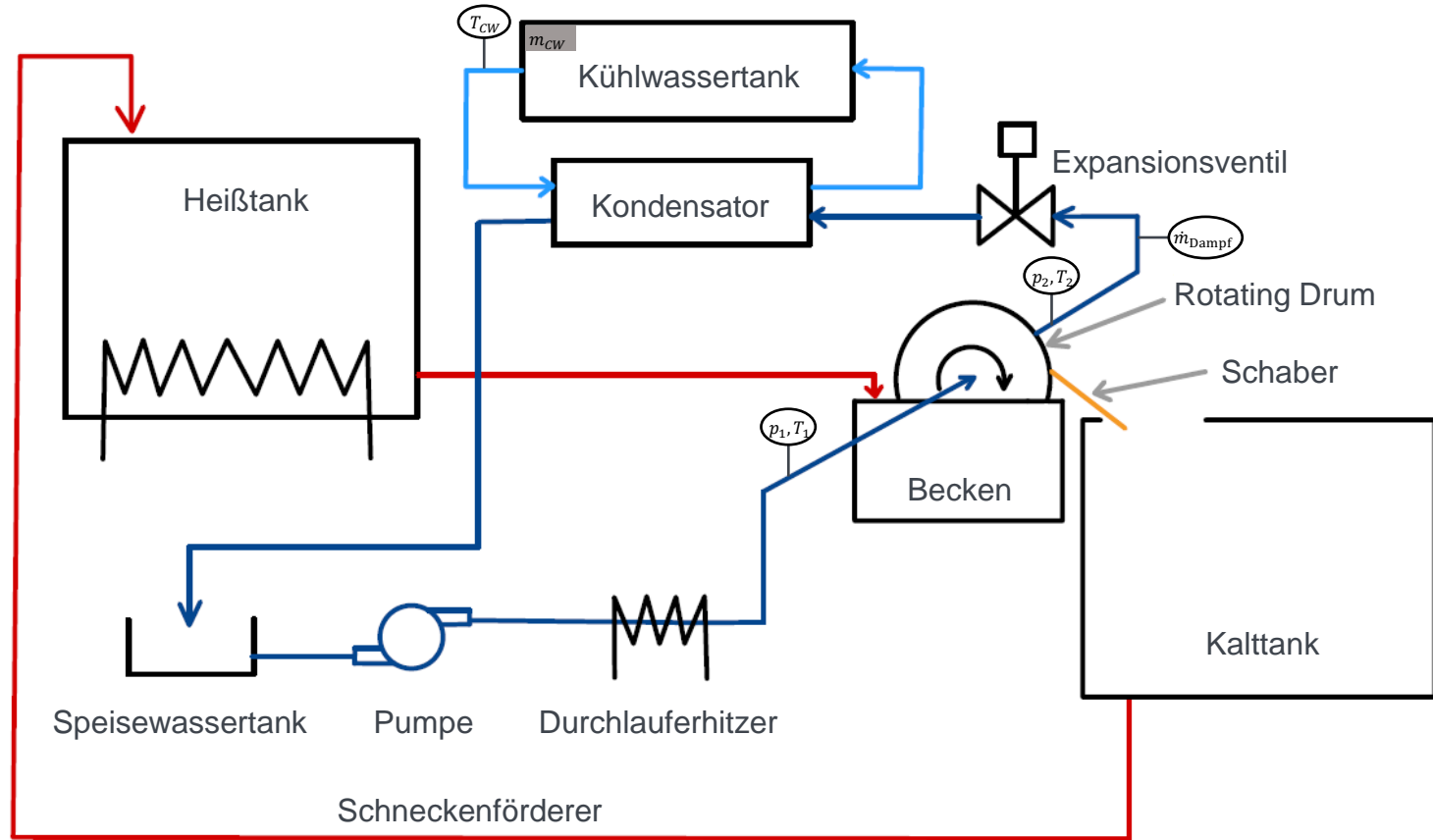
Rippenrohr-Wärmeübertrager (passiv)

Quelle: J. Vogel, M. Keller, und M. Johnson, „Numerical modeling of large-scale finned tube latent thermal energy storage systems“, doi: 10.1016/j.est.2020.101389.

Funktionsprinzip aktiver Latentwärmespeicher



Quelle: J. Tombrink und D. Bauer, „Simulation of a rotating drum heat exchanger for latent heat storage using a quasistationary analytical approach and a numerical transient finite difference scheme“, doi: 10.1016/j.applthermaleng.2021.117029.





Ausgangszustand



Fertige Versuchsanlage

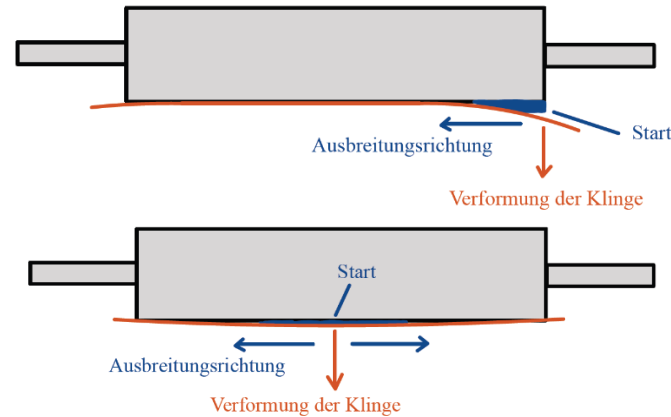
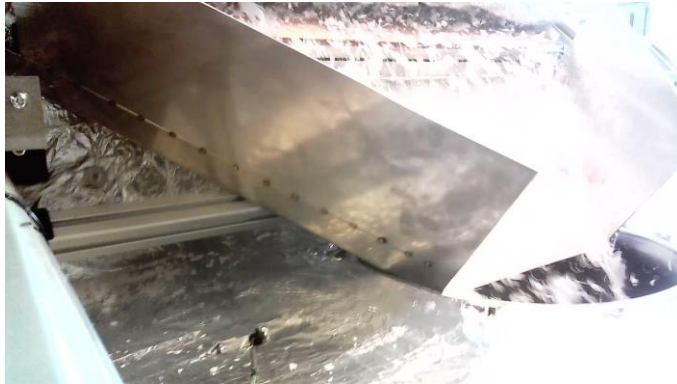
Qualitativ

- Normalzustand bei Entladung: PCM erstarrt & wird abgeschabt:

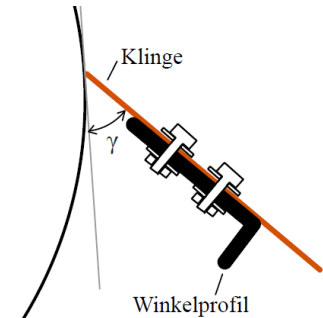


Qualitativ

- Instabiles Abschaben begrenzt Versuchsdauer
 - Verursacht durch lokalen Kontaktverlust der Schaber Klinge:



Aufbau Schaber:



Qualitativ

- Erstarrendes PCM haftet an Trommel ab $n = 5 \text{ min}^{-1}$



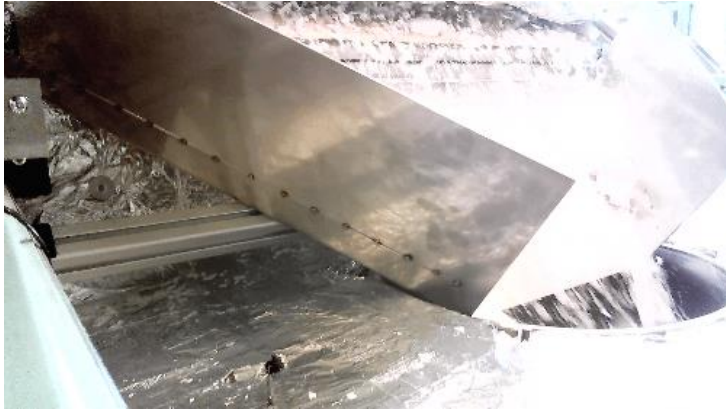
$n > 5 \text{ min}^{-1}$



$n < 5 \text{ min}^{-1}$

Qualitativ

- Materialstau durch PCM-Ablösung vor Schaberkontakt (auch „Plattenbildung“)
 - Tritt auf bis $n = 15 \text{ min}^{-1}$



$n = 20 \text{ min}^{-1}$



$n = 15 \text{ min}^{-1}$

Quantitativ

Versuch Nr.	1	2	3	4
Anpresskraft Schaber	Niedrig	Hoch	Hoch	Moderat
Materialstärke Schaberklinge	0,5 mm	0,5 mm	1,0 mm	1,0 mm
Kontaktwinkel γ	45°	45°	45°	30°
Anzahl Anläufe	2	3	3	3
Gesamte Versuchsdauer [s]	241	270	378	592

- Entladeleistung: $\dot{Q}_{\text{H}_2\text{O}} = \dot{m}_{\text{Dampf}}[h(p_2, T_2) - h(p_1, T_1)]$
- Entladene thermische Energie: $E_{\text{t,H}_2\text{O}} = \int_{t_1}^{t_2} \dot{Q}_{\text{H}_2\text{O}} dt$

Entladene Energie $E_{\text{t,H}_2\text{O}}$ der durchgeführten Versuche, in kWh

Versuch Nr.	1	2	3	4
Anlauf 1	0.59	0.70	1.29	2.18
Anlauf 2	1.39	1.08	1.91	0.96
Anlauf 3	-	0.33	0.10	1.44
Summe	1.99	2.10	3.30	4.58

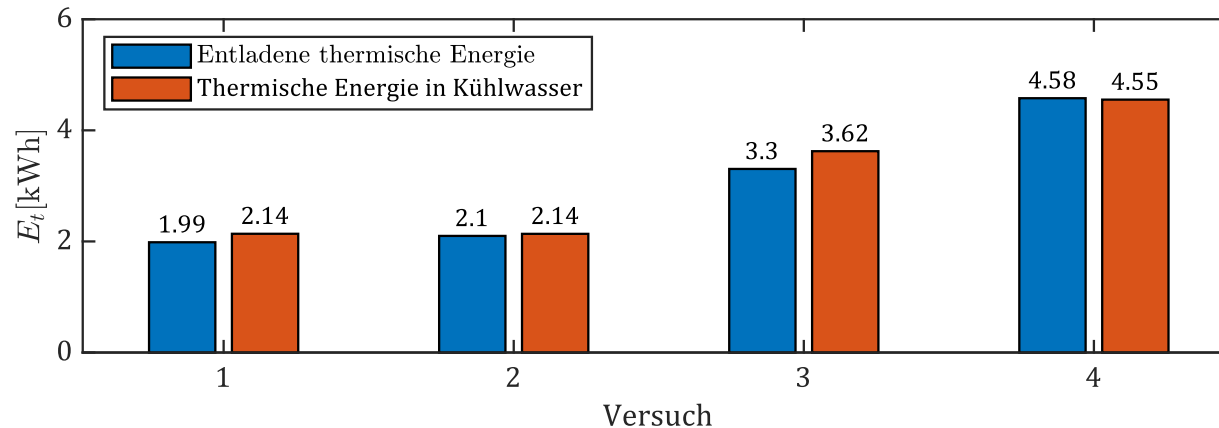
Quantitativ - Kühlleistung

- Kühlleistung: $\dot{Q}_{CW} = m_{CW} c_{p,CW}(T_{CW}) \frac{dT_{CW}}{dt}$

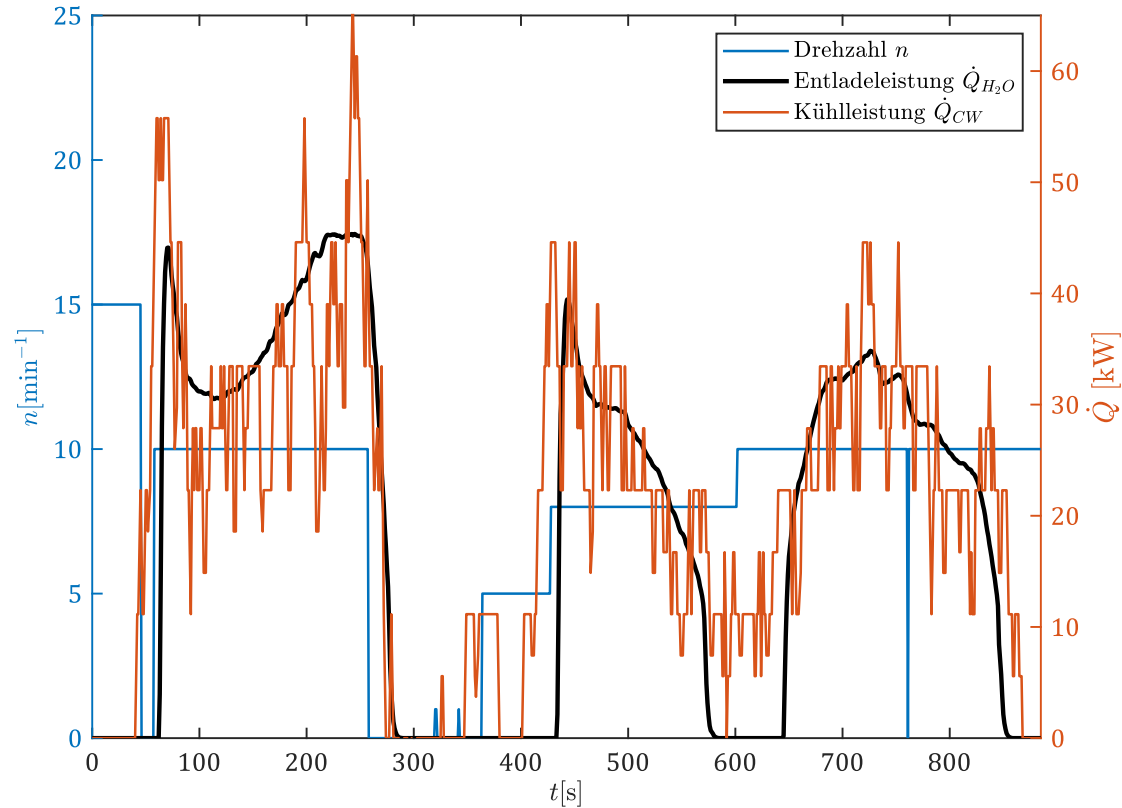
- Durch Kühlwasser abgeführte thermische Energie:

$$E_{t,CW} = m_{CW} \bar{c}_{p,CW} (T_{CW, \text{end}} - T_{CW, \text{start}})$$

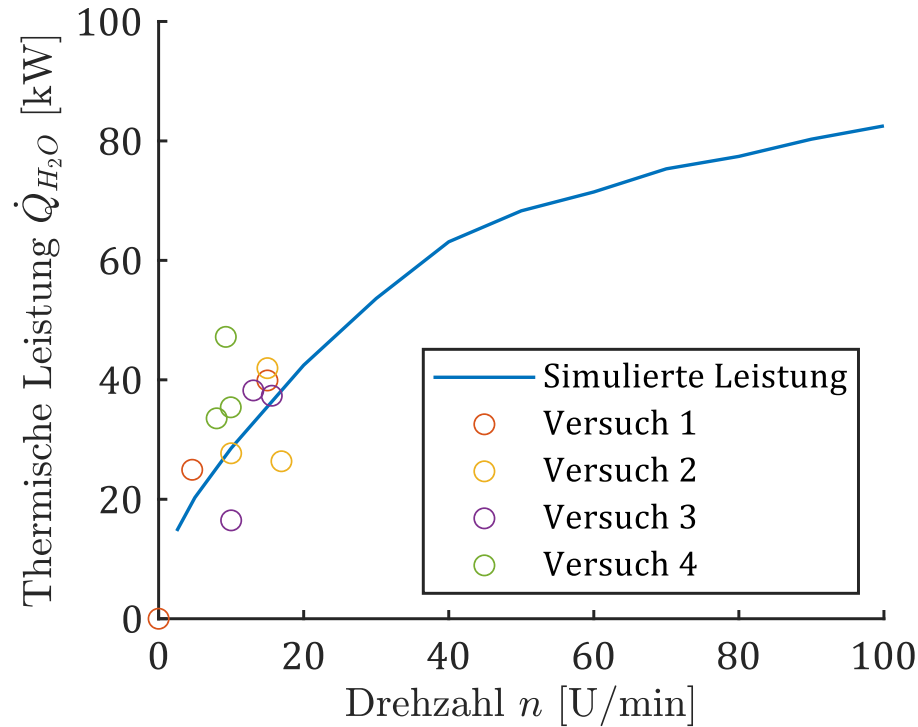
Vergleich E_{t,H_2O} mit $E_{t,CW}$:



Quantitativ – Versuch 4 von 4



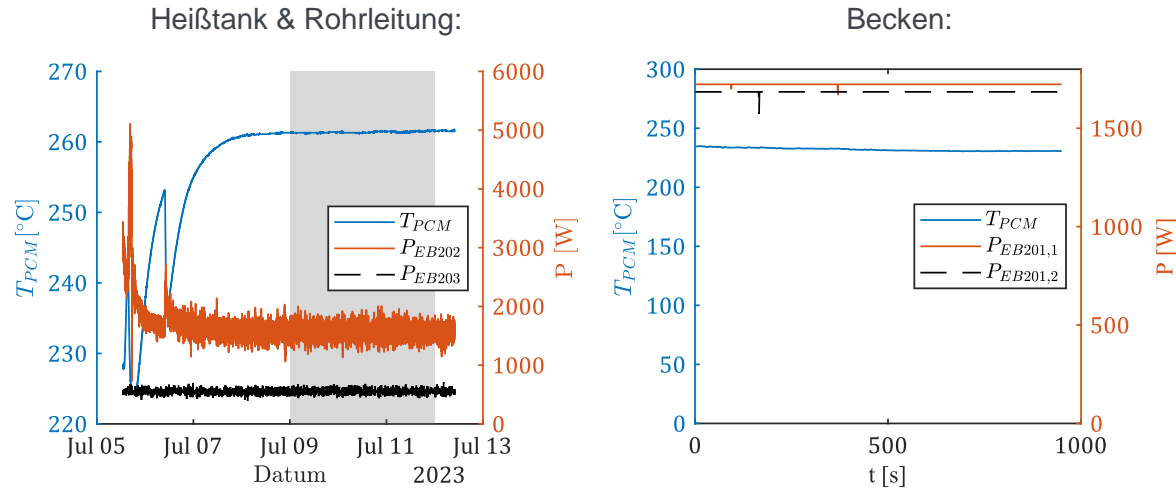
Vergleich mit Simulation



Quelle Simulationsdaten: J. Tombrink und D. Bauer, „Demand-based process steam from renewable energy: Implementation and sizing of a latent heat thermal energy storage system based on the Rotating Drum Heat Exchanger“, *Appl. Energy*, Bd. 321, 2022, doi: 10.1016/j.apenergy.2022.119325.

Verlustrechnung

Realer Verlust:



Vergleich mit Theorie:

Bezeichnung	Becken	Heißtank	Rohrleitung	Gesamt
$\dot{Q}_{L, \text{ theoretisch}}$ [kW]	0.97	1.01	0.11	2.09
$\dot{Q}_{L, \text{ real}}$ [kW]	3.41	1.57	0.56	5.54
Verhältnis real / theoretisch	3,52	1,56	5,07	2,64

- Fazit:
 - Versuchsstand aufgebaut & in Betrieb genommen
 - Prinzip der Rotating Drum erfolgreich zur Dampferzeugung validiert
 - Maximal 4,6 kWh entladen
 - Versuch mit Simulation vergleichbar
- Ausblick:
 - Sensitivitätsanalyse auf Grundlage der Fehlerrechnung
 - Wärmedämmung verbessern, Wärmebrücken reduzieren
 - Zuverlässigeres Abschaben durch steiferen Schaber, härtere Klinge
 - Durchflussmessung PCM



Universität Stuttgart

Vielen Dank!



Leon Sengün

E-Mail st175388@stud.uni-stuttgart.de

https://github.tik.uni-stuttgart.de/Leon-Senguen/Masterarbeit_V2

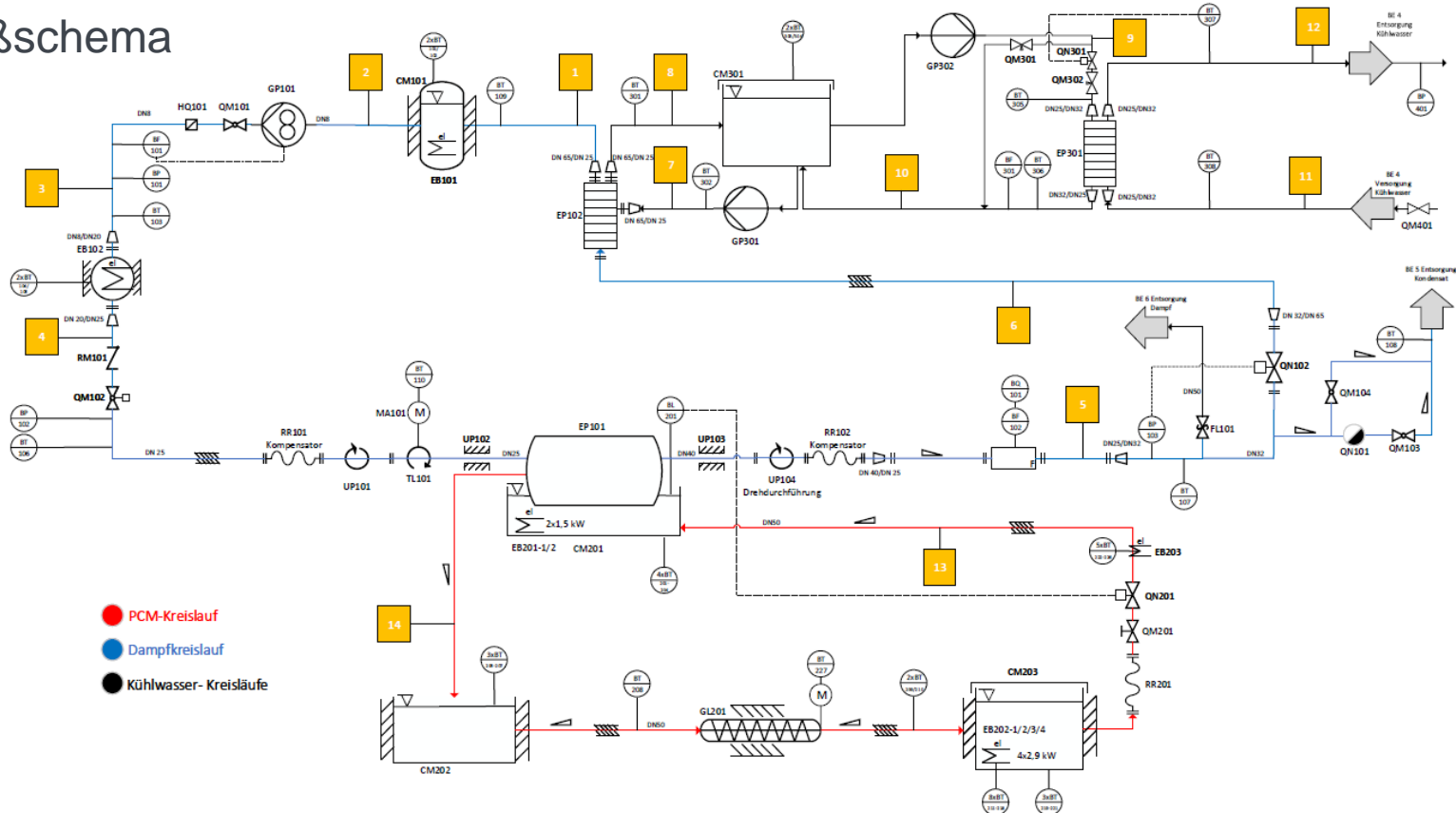
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt

Institut für technische Thermodynamik
Pfaffenwaldring 38-40, 70569 Stuttgart

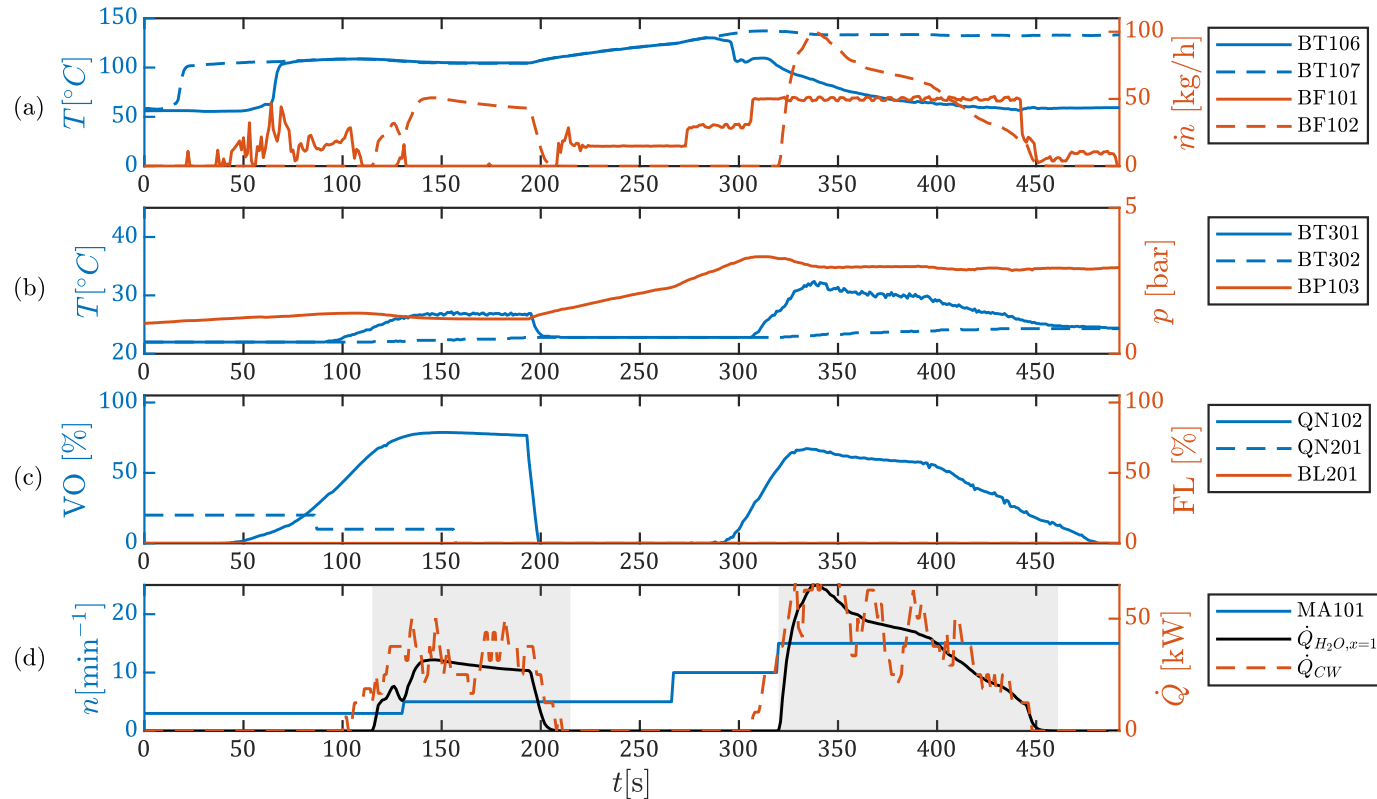
Universität Stuttgart

Institut für Thermodynamik der Luft- und Raumfahrt
Pfaffenwaldring 31, 70569 Stuttgart

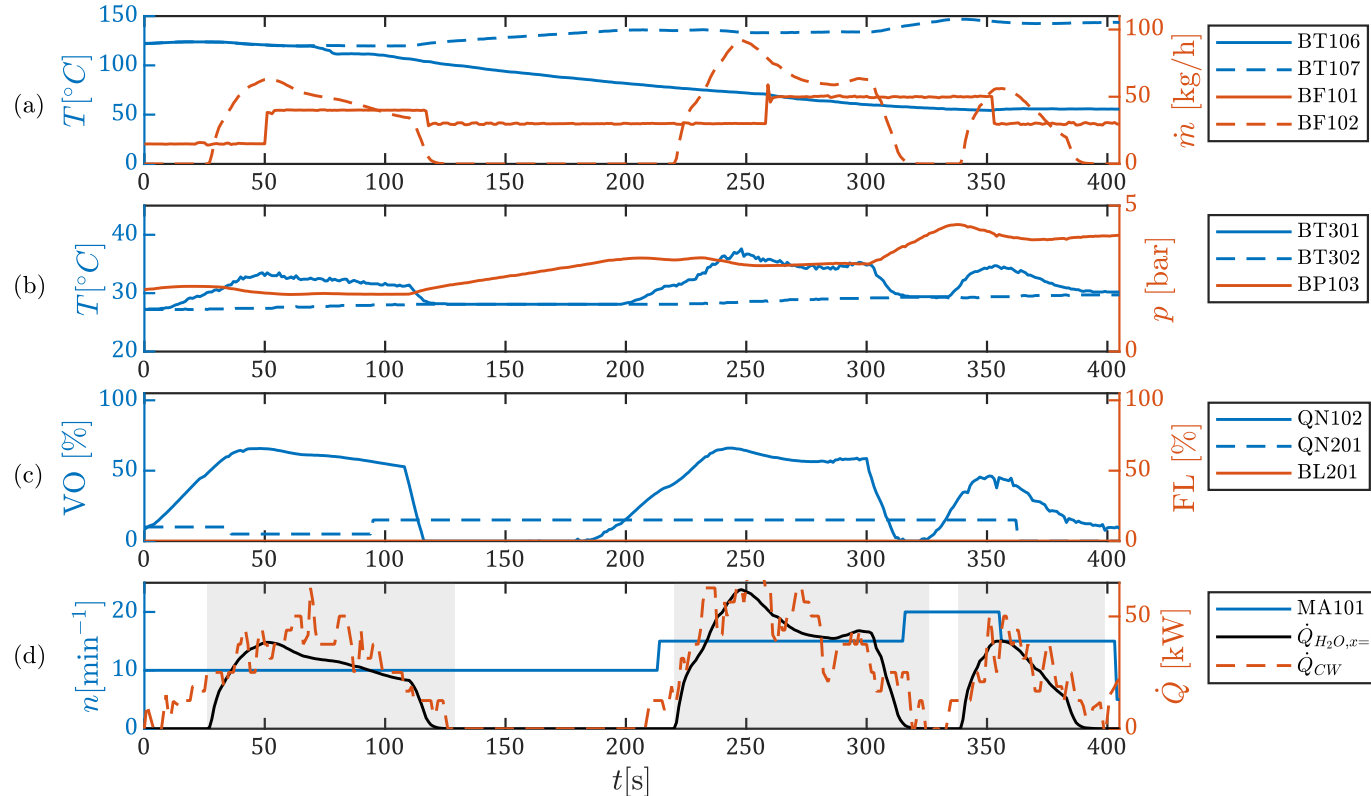
Fließschema



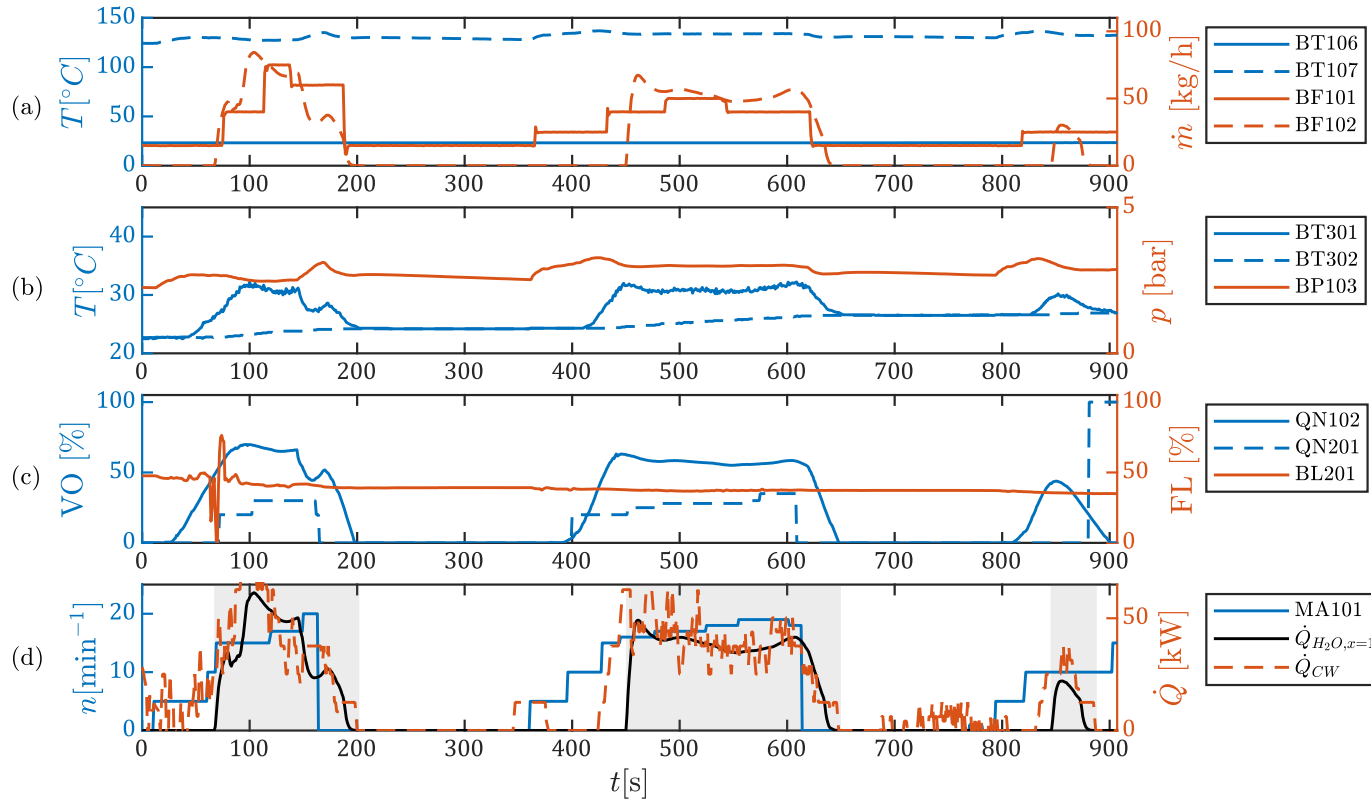
Quantitativ – Versuch 1



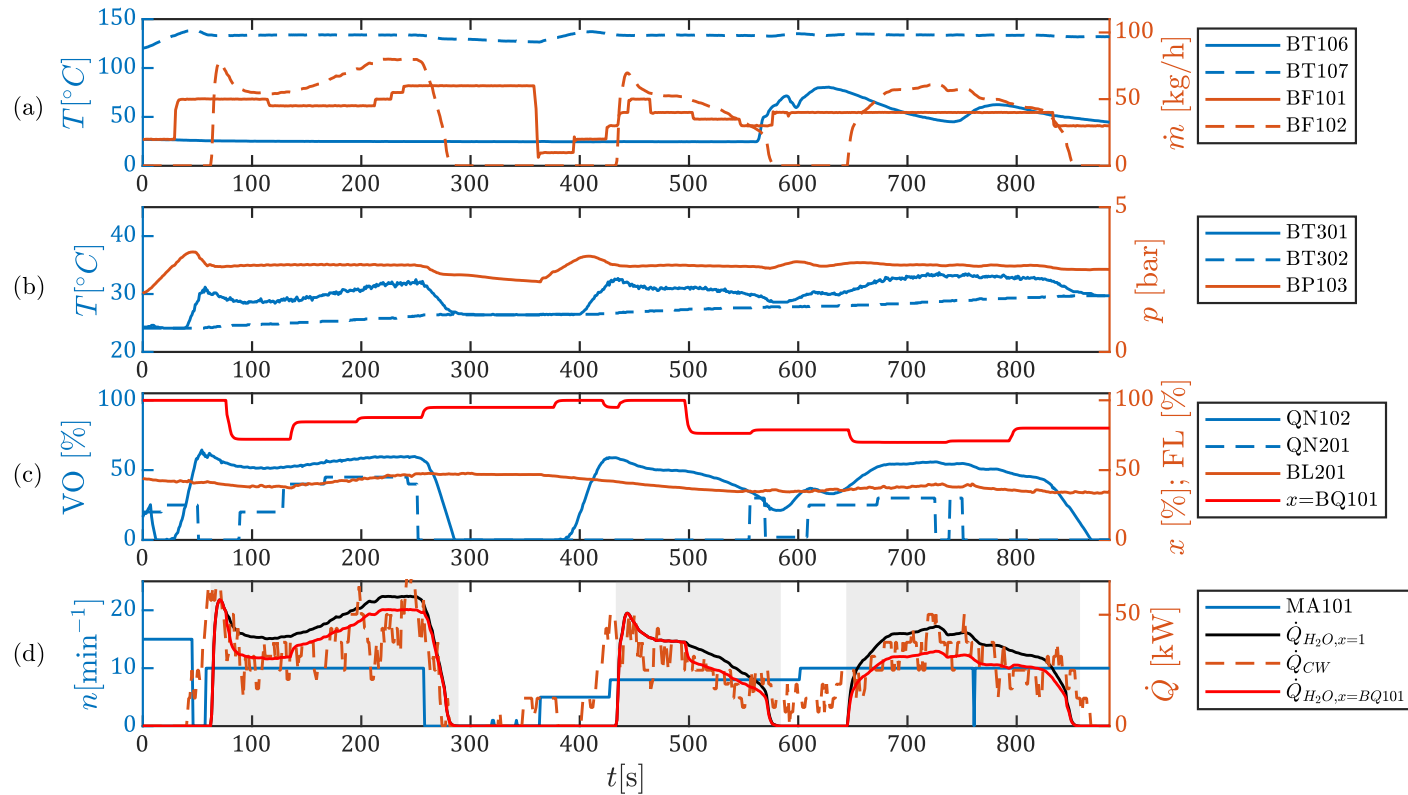
Quantitativ – Versuch 2



Quantitativ – Versuch 3



Quantitativ – Versuch 4



Fehlerfortpflanzung aus Messunsicherheiten

