



Hochschule
Zittau/Görlitz
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Institut für Prozeßtechnik,
Prozeßautomatisierung
und Meßtechnik



**Dynamische Simulation und experimentelle
Validierung eines thermischen Energiespeichers für
die Flexibilisierung thermischer Kraftwerke**
Torsten Klette, Alexander Kratzsch



Gefördert aus Mitteln
der Europäischen Union

Europa fördert Sachsen.



Europäischer Fonds für
regionale Entwicklung

STUDIERN_OHNE_GRENZEN



1. Motivation
2. Flexibles Kraftwerk
3. Versuchsanlage THERESA
4. Modellierung / Simulation
5. Aktueller Stand der Arbeiten
6. Zusammenfassung / Ausblick

Titel des Vorhabens:



Europa fördert Sachsen.
EFRE
Europäischer Fonds für
regionale Entwicklung

HOchtransientes THermisches EnergieSpeichersystem für eine anlagenschonende und energieeffiziente Flexibilisierung thermischer Energieanlagen HOTHESES

Modellentwicklung und experimentelle Validierung

Projektlaufzeit: 01.12.2015 – 30.11.2018

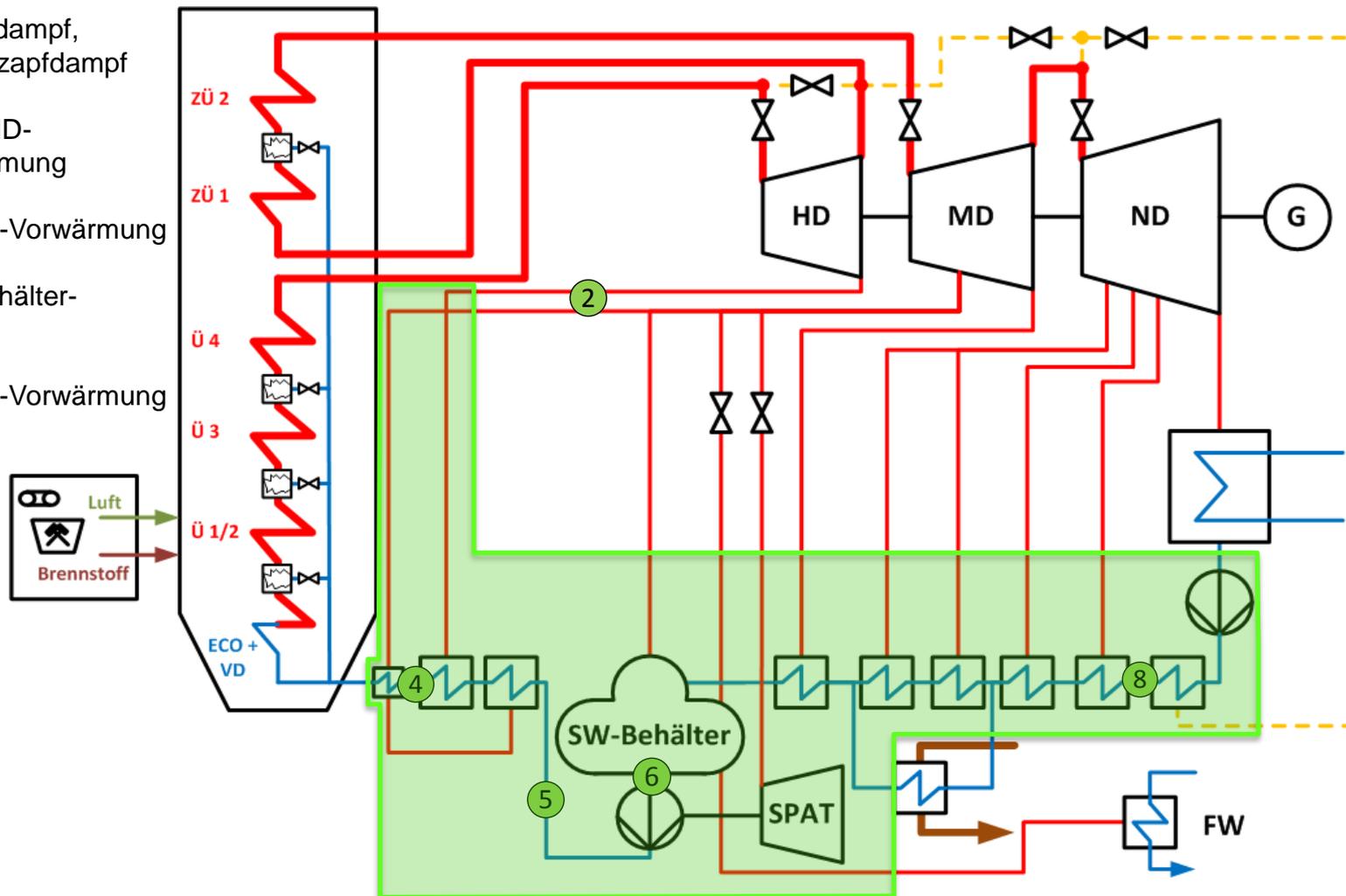
Projektleiter: Prof. Dr.-Ing. Alexander Kratzsch

Projektmitarbeiter: S. Braun, C. Vogel, T. Klette,
S. Härtelt, D. Kratzsch, T. Gubsch

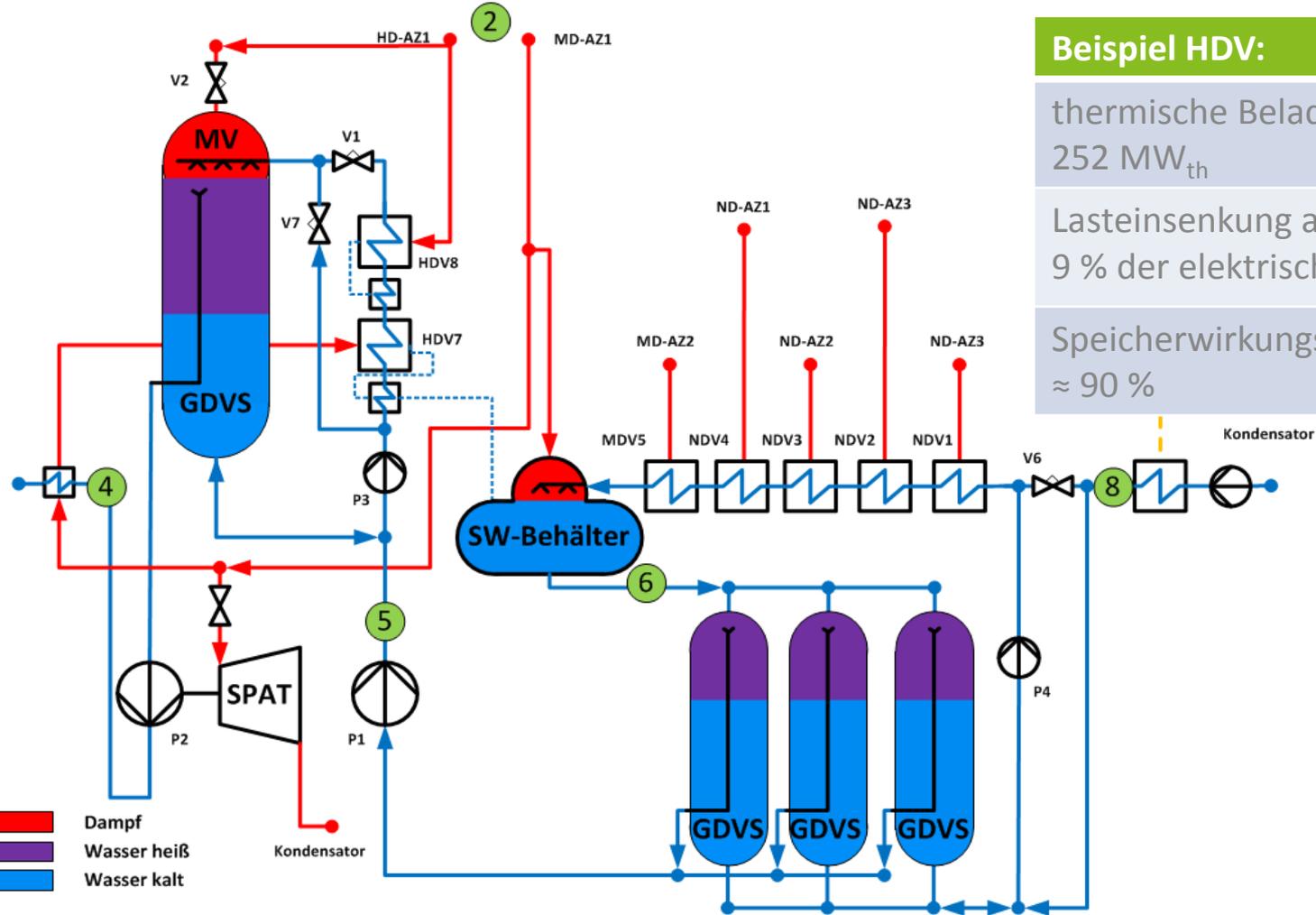


Betrachtete Integrationspunkte am Referenzkraftwerk

- ② HD-Abdampf, MD-Anzapfdampf
- ④ Nach HD-Vorwärmung
- ⑤ Vor HD-Vorwärmung
- ⑥ SW-Behälter-Austritt
- ⑧ Vor ND-Vorwärmung



Flexibilisierungskonzept mit Gleichdruckversdrängungsspeichern



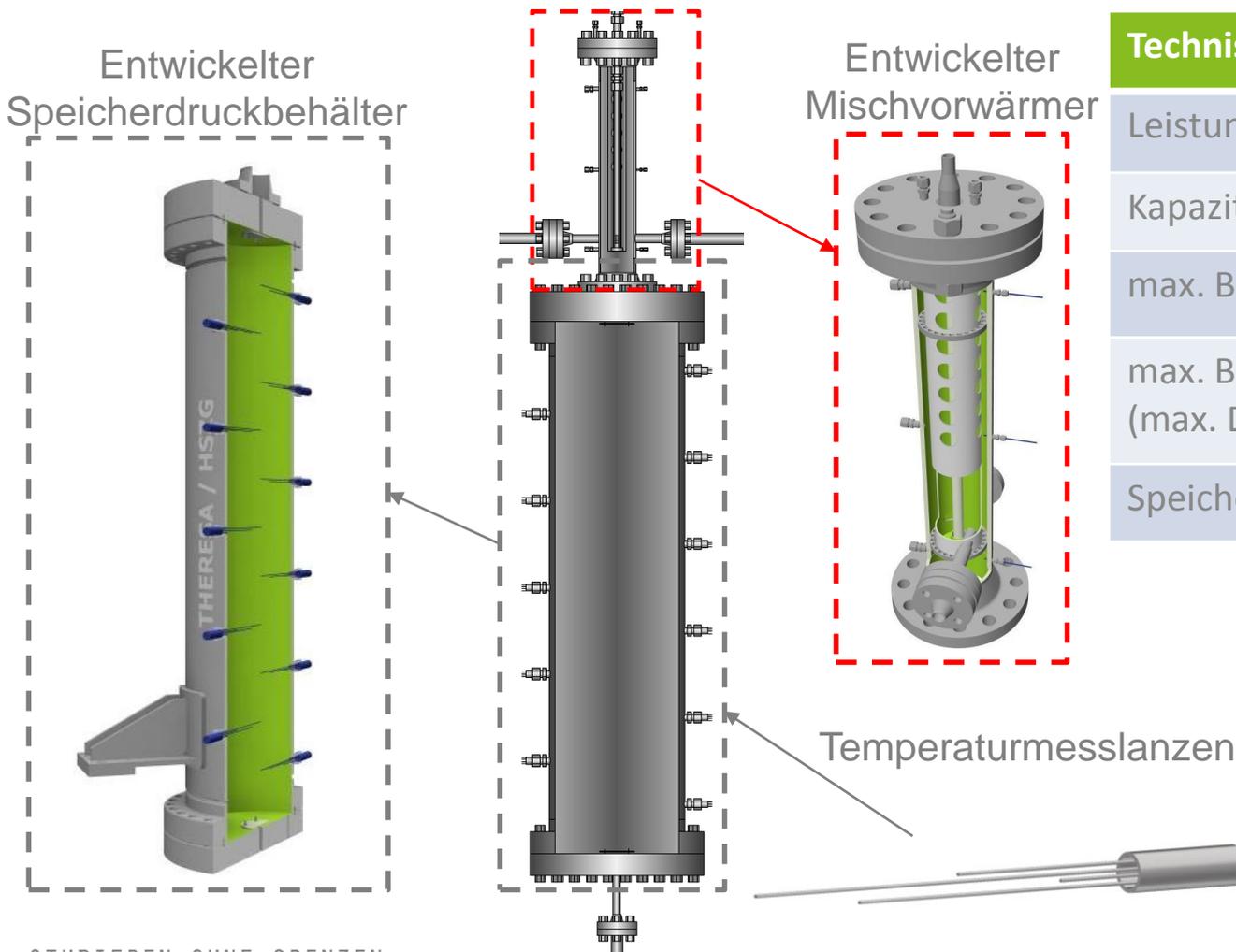
Beispiel HDV:

thermische Beladeleistung:
252 MW_{th}

Lasteinsenkung an der Turbine:
9 % der elektrischen Nennlast

Speicherwirkungsgrad:
≈ 90 %

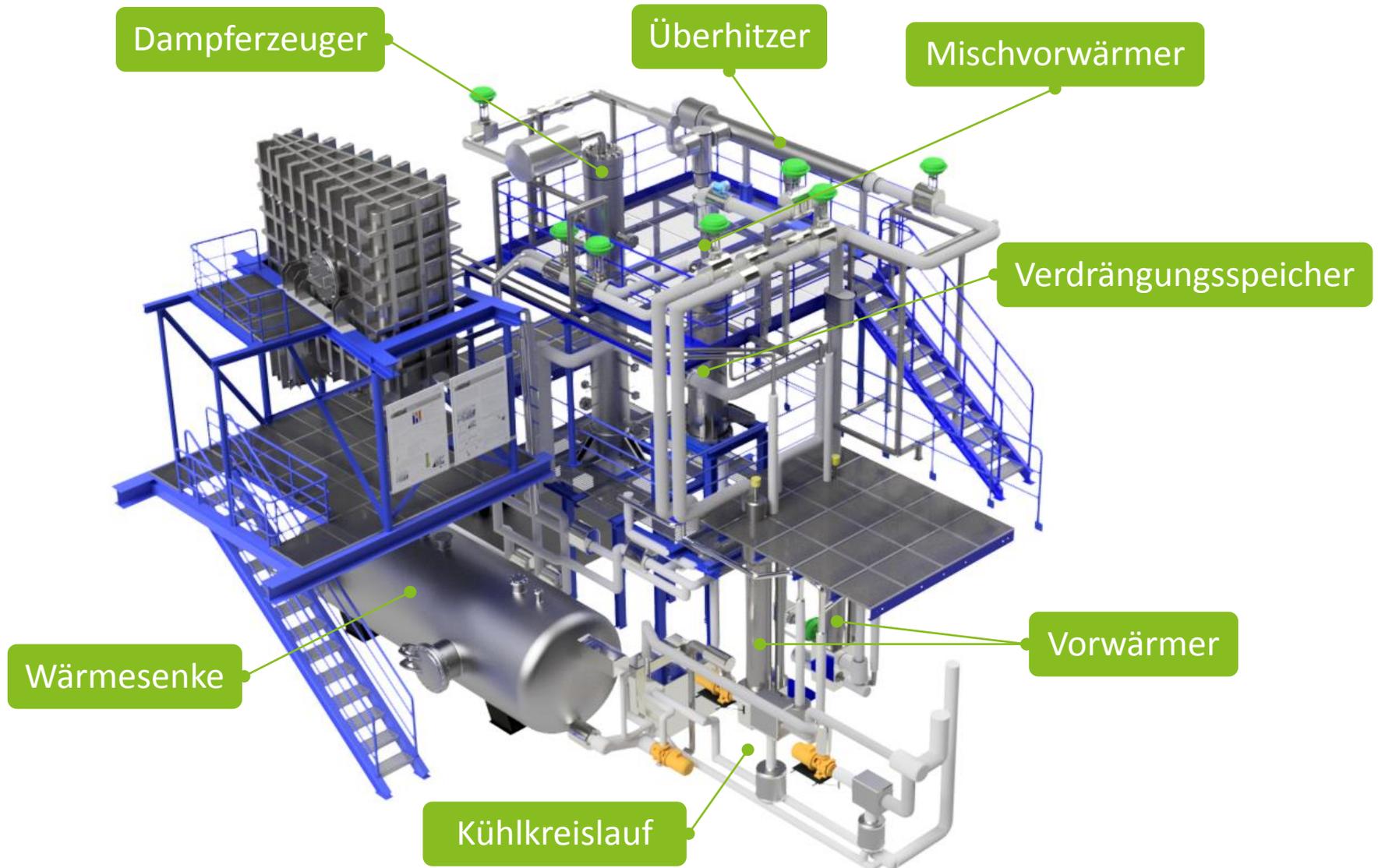
Zentrales Element: Gleichdruckverdrängungsspeicher mit Mischvorwärmer



Technische Daten:
Leistung : 180 kW _{th}
Kapazität: 50 kWh _{th}
max. Betriebsdruck: 60 bar
max. Betriebstemperatur: 275 °C (max. Dampftemperatur: 345 °C)
Speichervolumen: 600 l



Speicher in der VA THERESA



Simulationscode ATHLET (Analysis of Thermalhydraulics of Leaks and Transients)

- Thermohydraulik- Systemcode ATHLET wird von GRS entwickelt
- Entwicklung erfolgt für die Simulation von Leckagen und Transienten
- Validierter Systemcode (Integral Systemtest, Transienten in kommerziellen Anlagen)



↓

Nutzung des Simulationscodes ATHLET für detaillierte Untersuchungen des Speichersystems.

→

Vorteile:

- dynamische Prozesssimulation
- Nachbildung der Strömungswege im großtechnischen Maßstab
- Nachbildung der Verfahrenstechnik
- leichte Modellskalierung
- kurze Rechenzeit

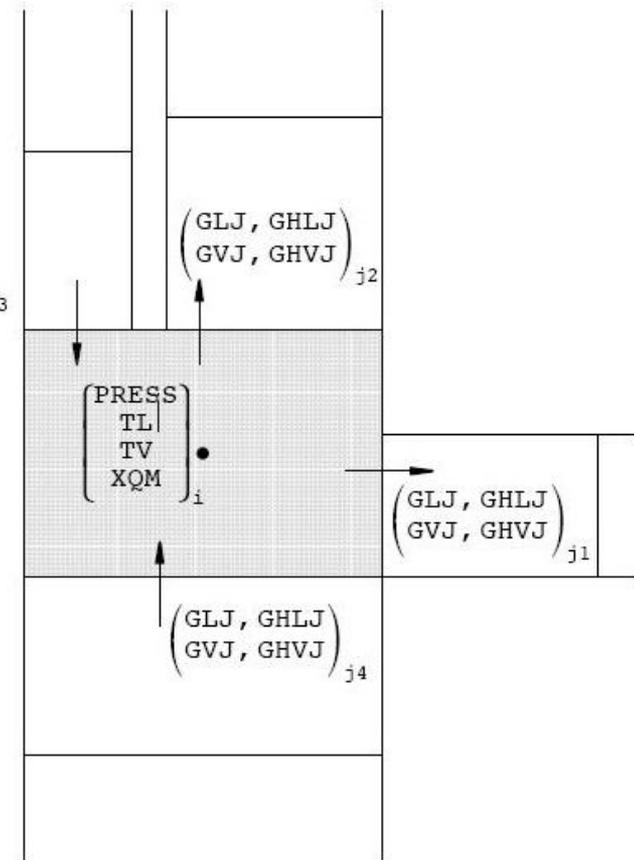
Thermofluidynamik im Simulationscode ATHLET

ATHLET verwendet standardmäßig ein 6-Gleichungssystem zur Lösung der Massen-, Energie- und Impulsbilanz.

Das 6-Gleichungssystem beinhaltet:

- separate Massenbilanzen (Wasser, Dampf),
- separate Energiebilanzen (Wasser, Dampf),
- separate Impulsbilanz, (Wasser, Dampf)

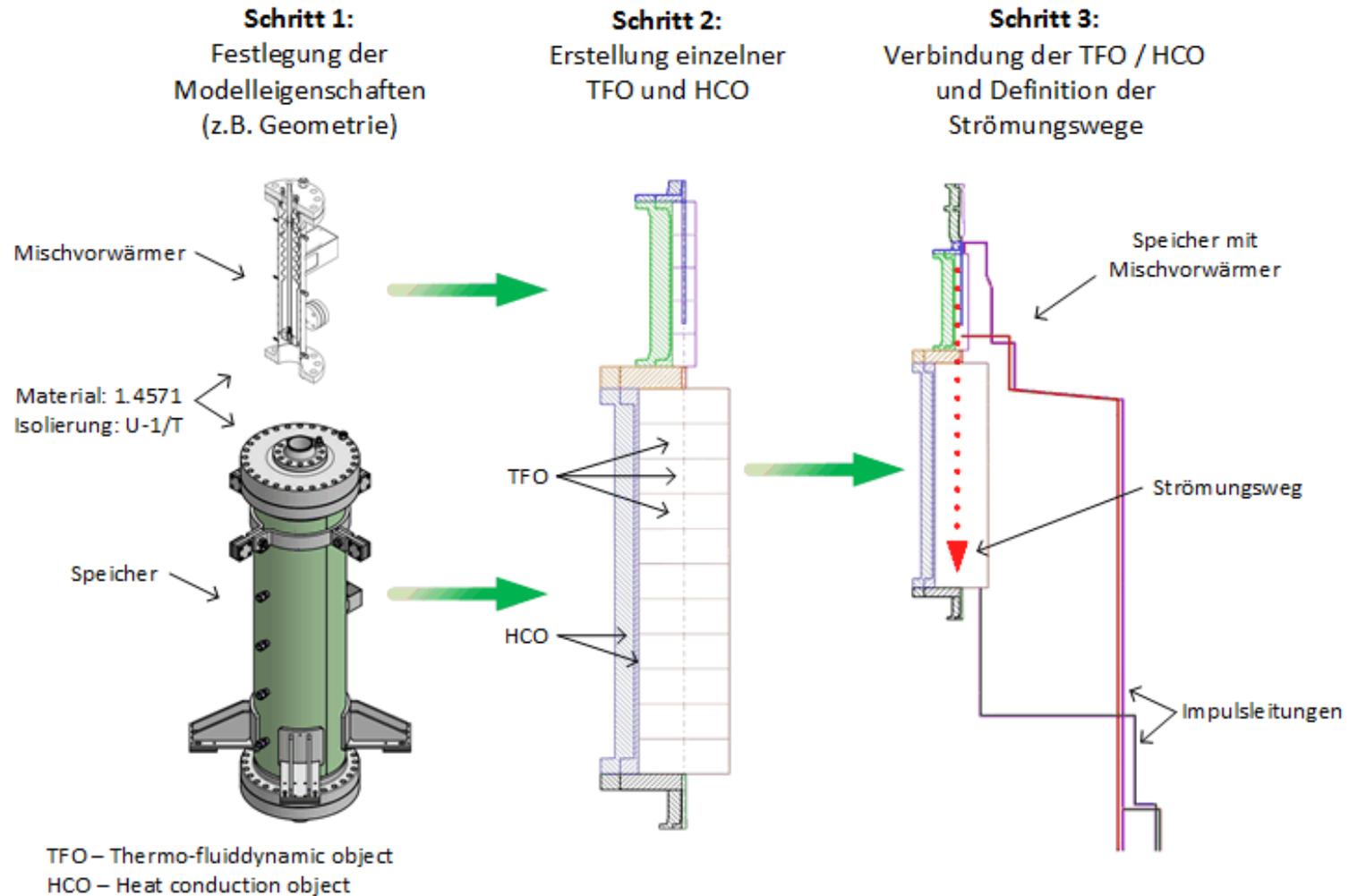
$$\begin{pmatrix} \text{GLJ}, \text{GHLJ} \\ \text{GVJ}, \text{GHVJ} \end{pmatrix}_{j3}$$



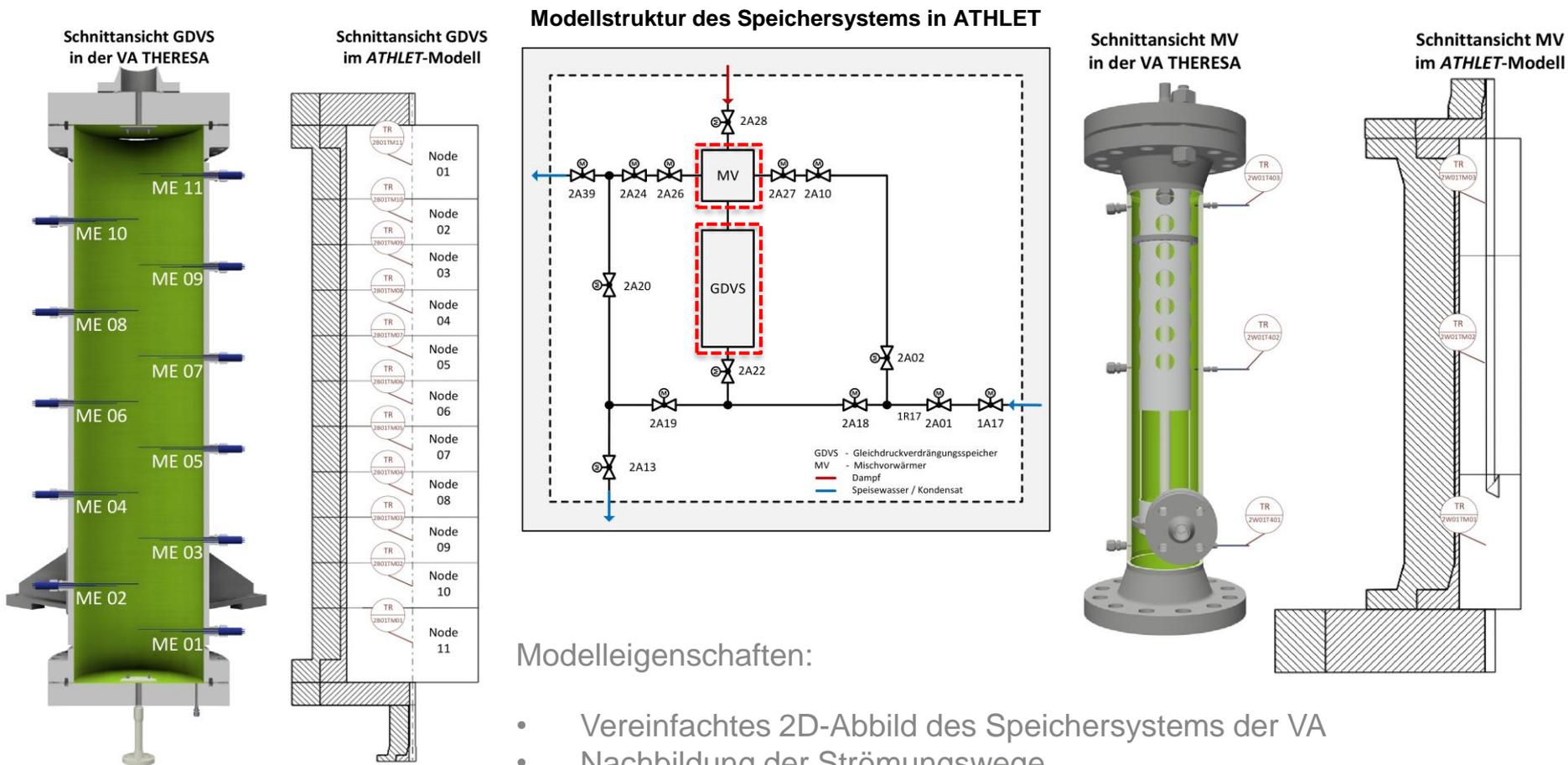
Variable	Einheit	Erklärung
GHLJ	W	Konvektive Energieübertragungsrate der flüss. Masse
GHVJ	W	Konvektive Energieübertragungsrate der dampff. Masse
GLJ	kg/s	Massenstrom flüssig
GVJ	kg/s	Massenstrom dampfförmig
PRESS	Pa	Druck
TL	°C	Flüssigkeitstemperatur
TV	°C	Dampfatemperatur
XQM	---	Dampfgehalt

[1] Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS), ATHLET Mod 3.1 Cycle A, GRS-P-1 / Vol.1: User's Manual, 2016

Modellentwicklung im Simulationscode ATHLET



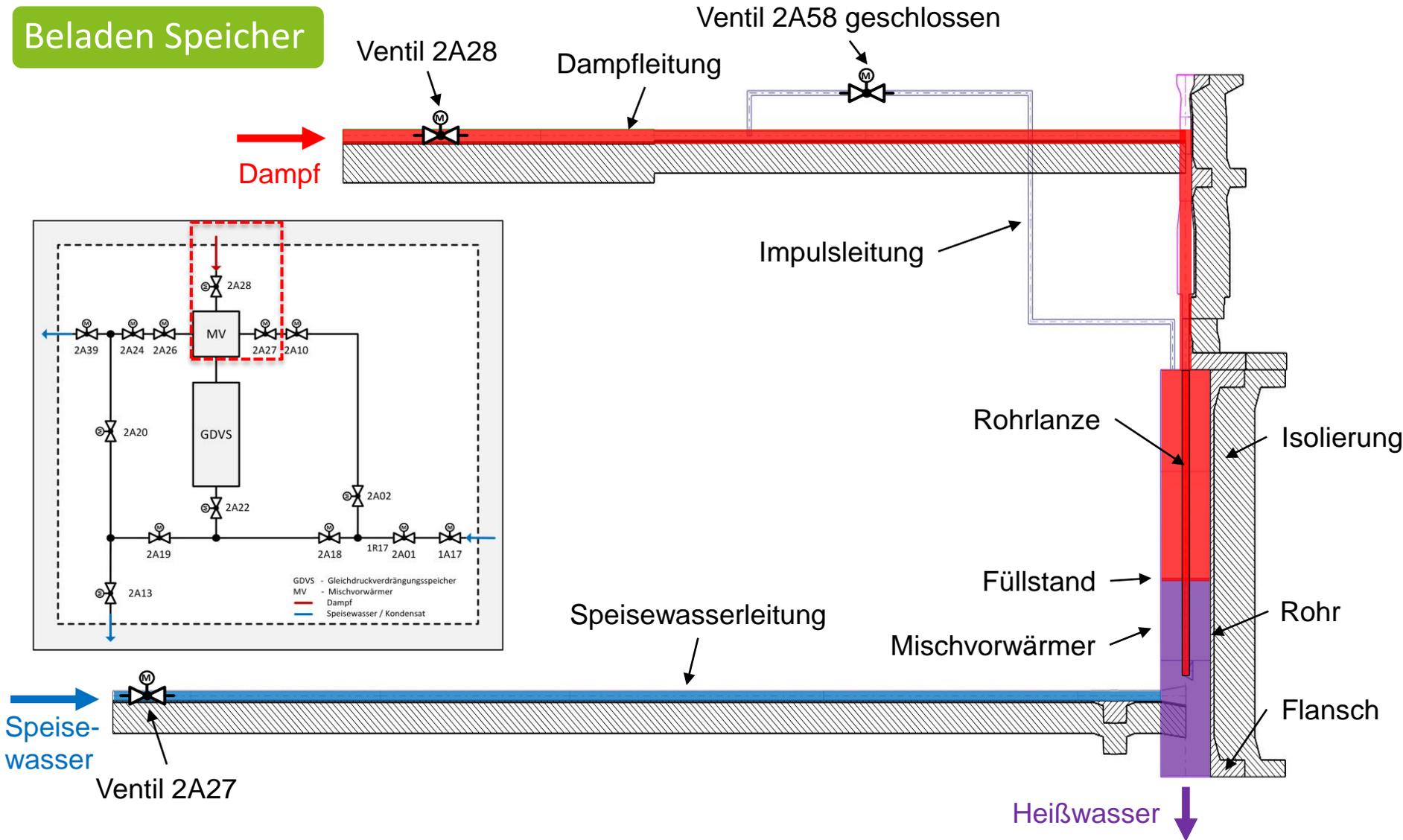
Modellstruktur des entwickelten Speichersystems



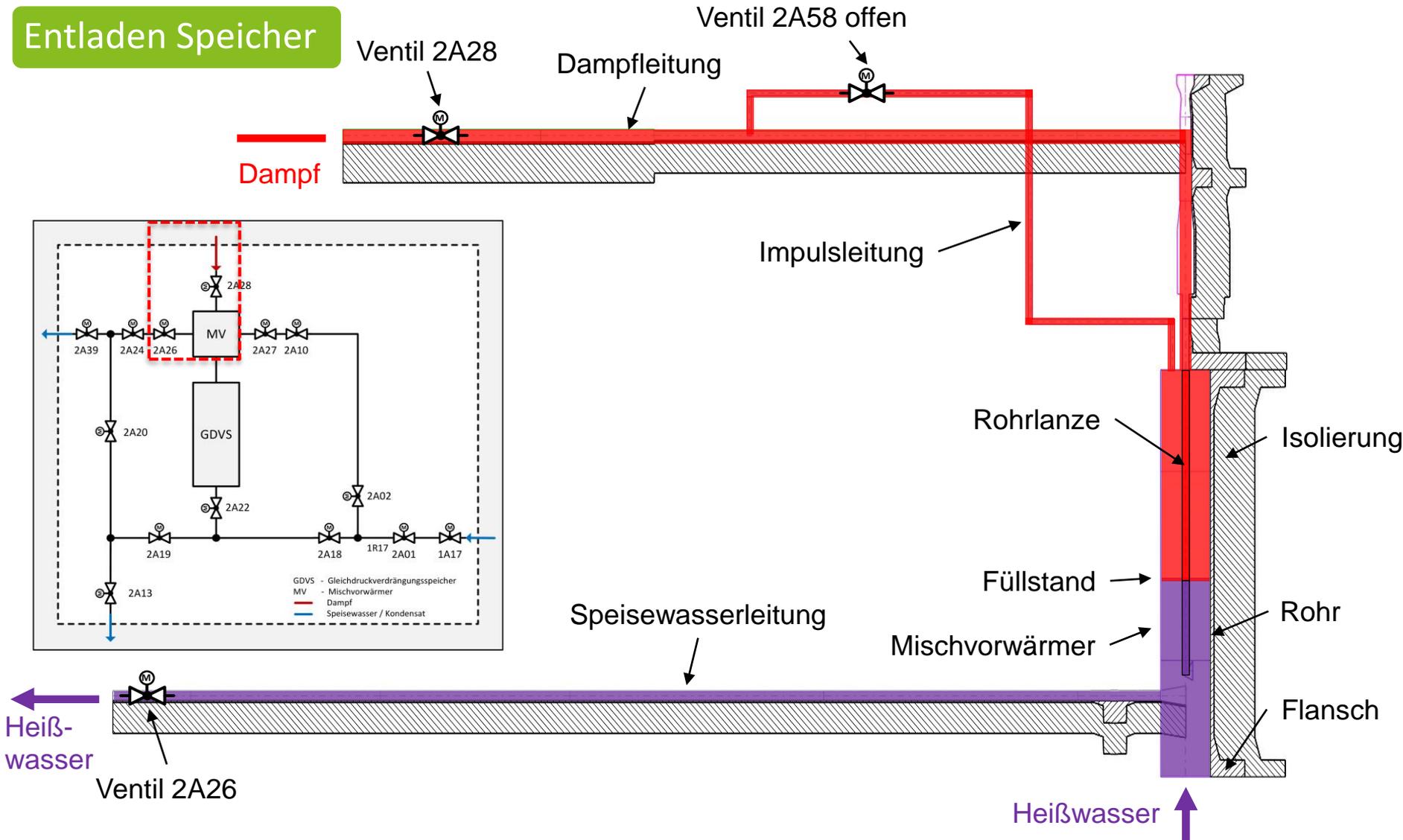
Modelleigenschaften:

- Vereinfachtes 2D-Abbild des Speichersystems der VA
- Nachbildung der Strömungswege
- Nachbildung der Komponenten (Geometrie, Material)
- Nachbildung der Messstellen und Regelung

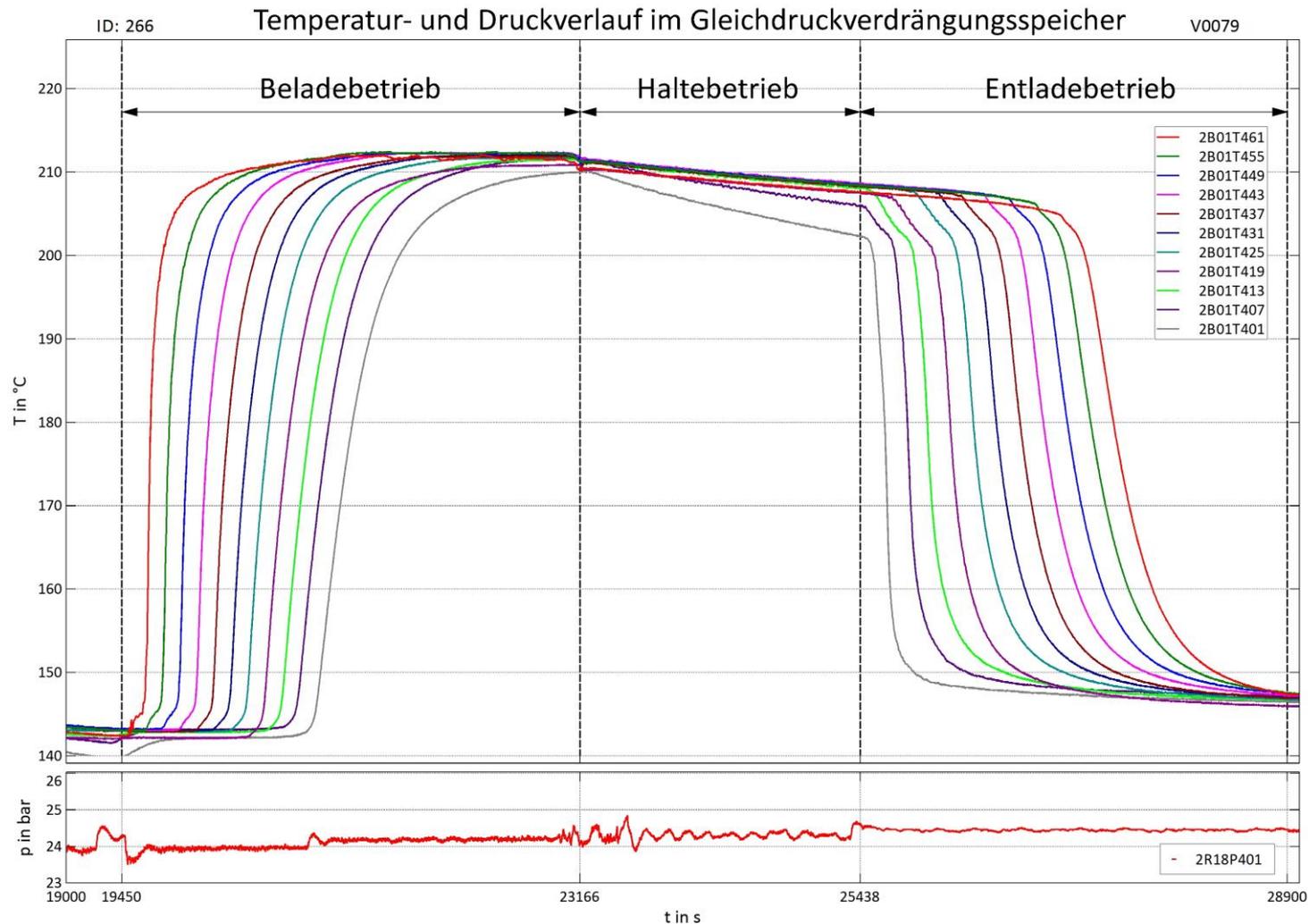
Beladen Speicher



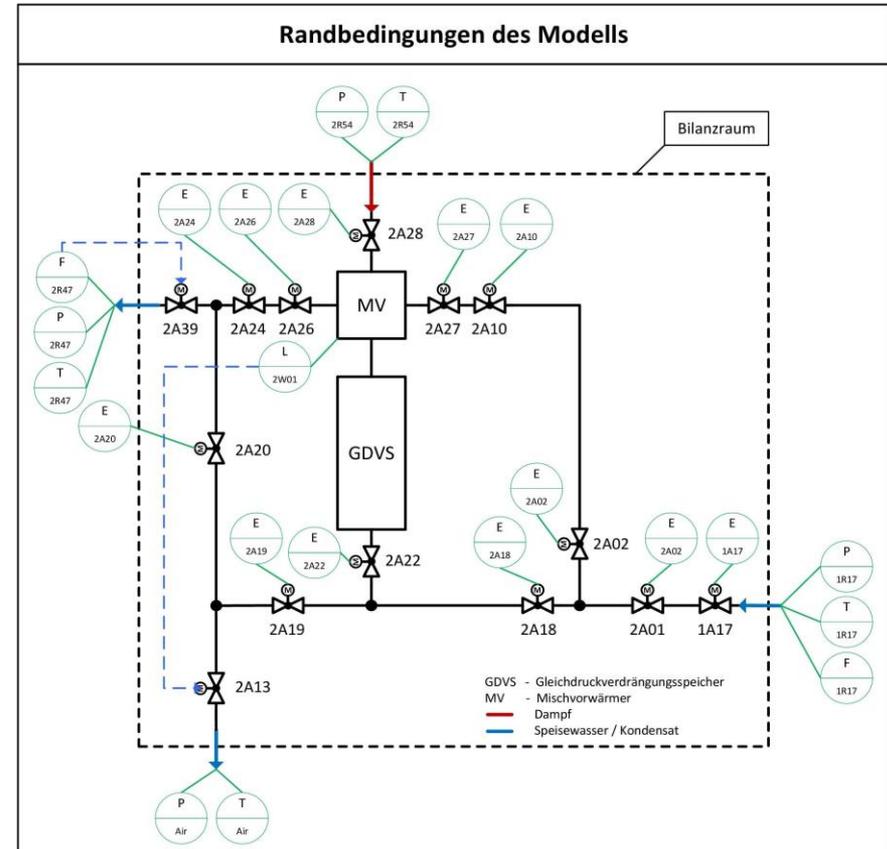
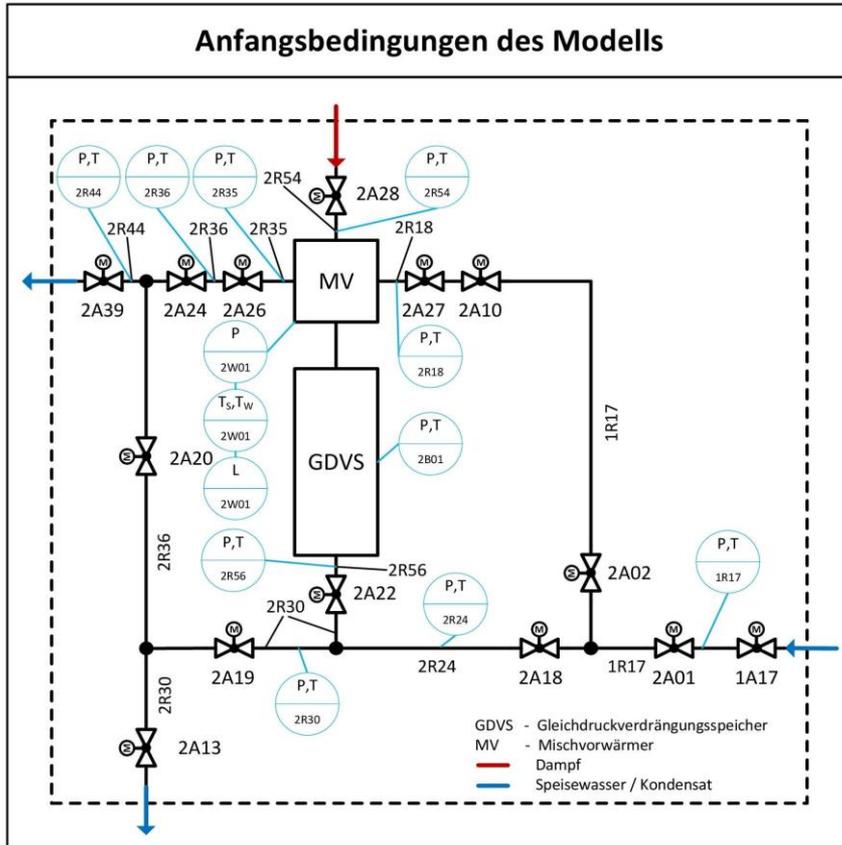
Entladen Speicher



Experimentelle Datenbasis anhand der Versuchsanlage THERESA



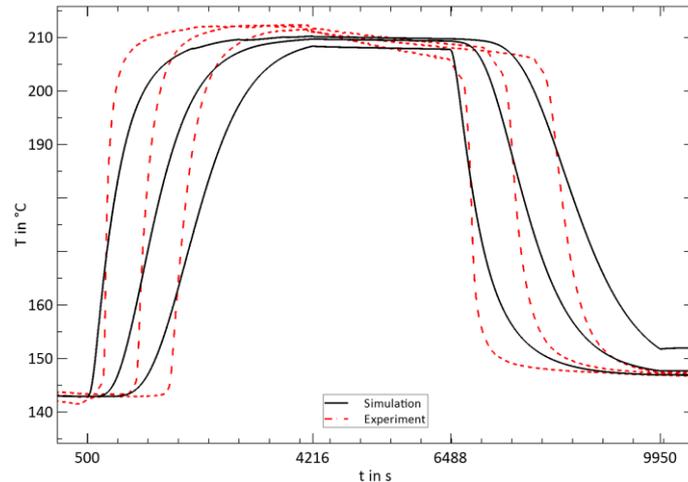
Modellverifizierung



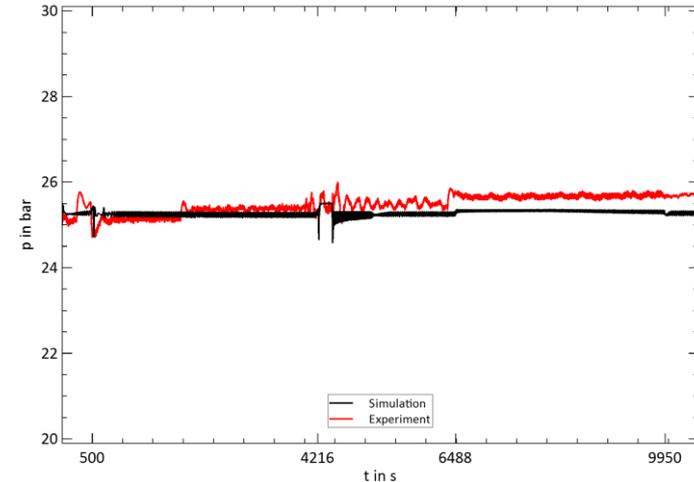
➔ Definition der Anfangs- und Randbedingungen ist immer fehlerbehaftet!

Modellverifizierung – Vergleich Simulation und Experiment

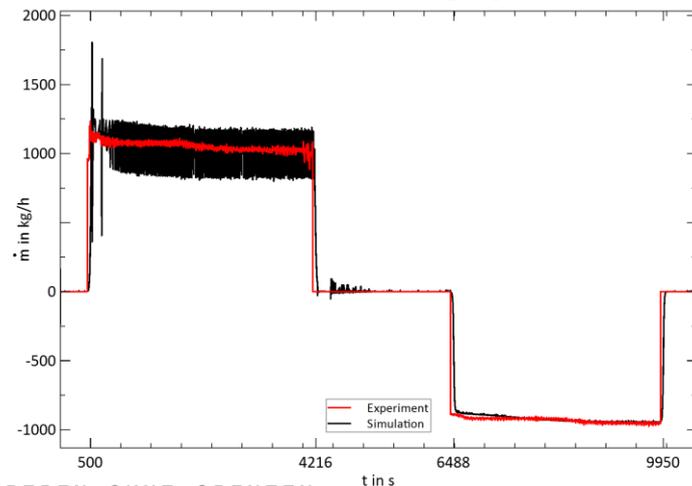
Temperaturverlauf im Verdrängungsspeicher



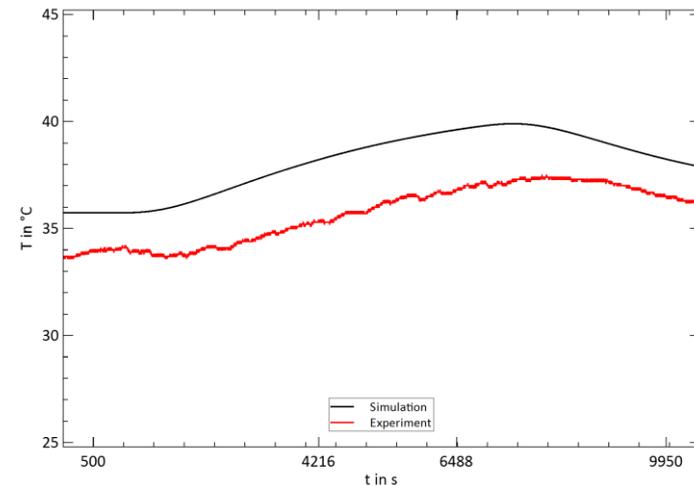
Druckverlauf im Verdrängungsspeicher



Massenstrom im Verdrängungsspeicher

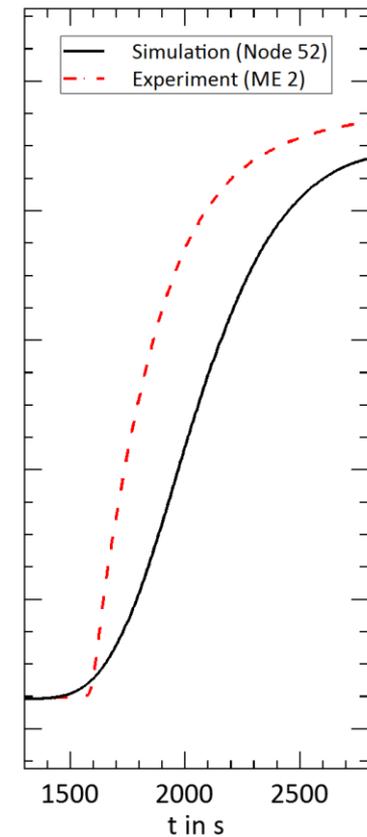
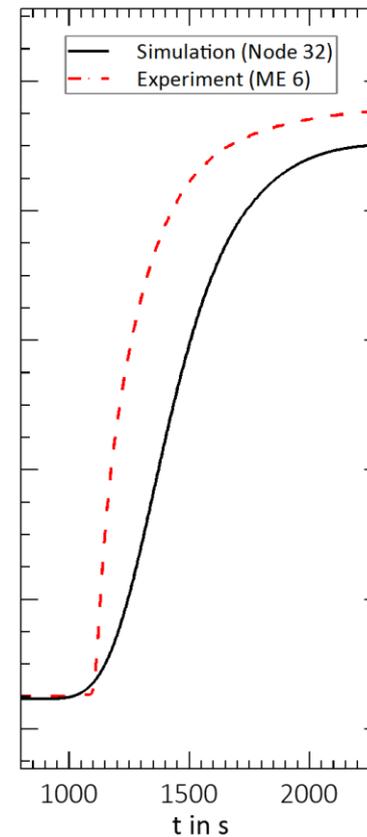
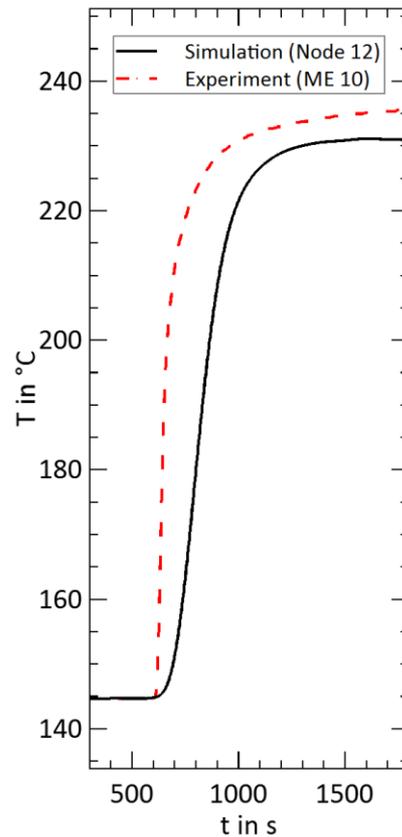
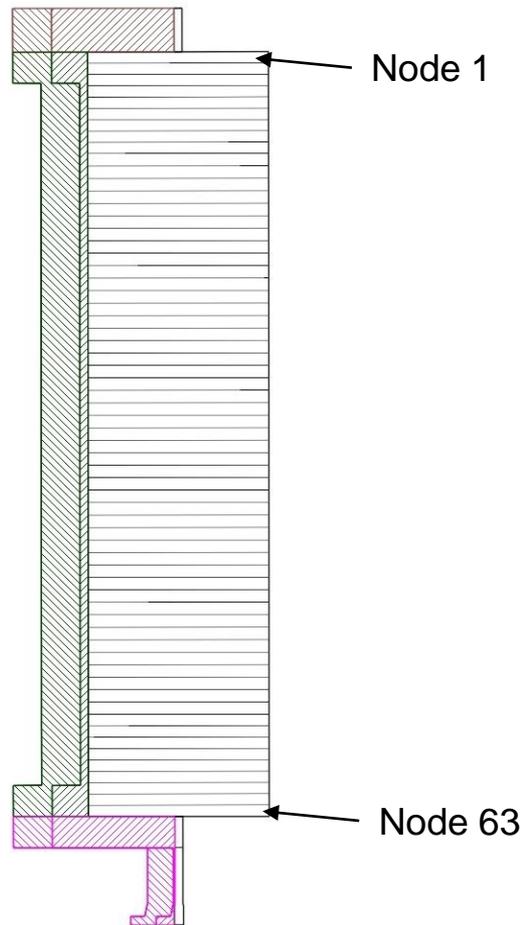


Oberflächentemperatur des Verdrängungsspeicher



Modellverifizierung – Vergleich Simulation und Experiment

➔ Anpassung der Anzahl der Nodalisation von 11 auf 63 Nodes im Speicher

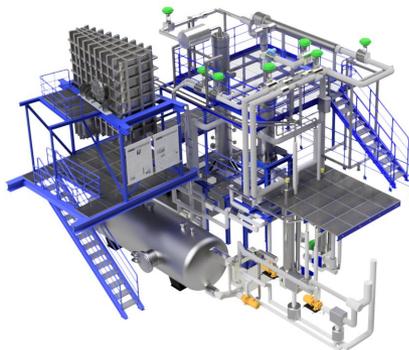


■ Stand der Arbeiten

- Funktionsnachweis für das Modell ist erbracht
- thermisches Speichersystem lässt sich mit ATHLET modellieren und simulieren (Temperaturschichtung)
- erfolgreiche Beladung (Einspeicherung) eines GDVS
- erfolgreiche Entladung (Ausspeicherung) eines GDVS
- Be- und Entladung in einer Simulation möglich (Strömungsumkehr)
- Abbildung der Verfahrenstechnik möglich (Strömungswege, Geometrie von Komponenten in 2D, Ventile)
- Einsatz des Simulationscodes ATHLET für einen nichtnuklearen Anwendungsfall

Strategie der weiteren Modellentwicklung

dynamisches Modell des
Speichersystems der VA THERESA



Anwendungsfelder:

- Datenbasis für das Speichersystem
- zusätzliche Informationen die nicht durch Messtechnik erfasst werden
- Vorbetrachtungen für experimentelle Untersuchungen

skalierbares dynamisches Modell des
Speichersystems



Anwendungsfelder:

- Skalierung auf reale Anlagen
- Auslegung von thermischen Speicherkonzepten
- Bewertung von Speicherkonzepten und deren Integration



Gefördert aus Mitteln
der Europäischen Union

Europa fördert Sachsen.



Europäischer Fonds für
regionale Entwicklung

Vielen Dank für Ihr Interesse!

Kontakt:

Ansprechpartner/-in:

Prof. A. Kratzsch
Direktor
Institut für Prozeßtechnik, Prozeßautomatisierung und Meßtechnik

Telefon: +49 3583 – 612 4282
Telefax: +49 3583 – 612 3449
E-Mail: A.Kratzsch@hszg.de
Web: www.hszg.de/ipm

Hausanschrift:

Hochschule Zittau/Görlitz
IPM
Theodor-Körner-Allee 16
02763 Zittau

