



THM

etem.TH M

Zentrum für Energietechnik
und Energiemanagement

TECHNISCHE HOCHSCHULE MITTELHESSEN



THESA

Institut für Thermodynamik, Energie-
verfahrenstechnik und Systemanalyse



Projektvorstellung High-T-Stor

Sektorenübergreifender Hochtemperaturspeicher zum Ausgleich volatiler
erneuerbarer Stromerzeugung

- 1 Anschluss Fernwärme
- 2 Inverse Gasturbine
- 3 Verdichtereinheit
- 4 HTS-Keramik-Stromspeicher

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung



FORSCHUNG AN
FACHHOCHSCHULEN

Gliederung

TECHNISCHE HOCHSCHULE MITTELHESSEN

1. Einführung in das Projekt High-T-Stor
2. Aufbau des Speichersystems
 1. Hochtemperaturspeicher
 2. Rückverstromung
3. Modellierung und Validierung
 1. Beladung
 2. Entladung
4. Lessons learned
 1. Hochtemperaturspeicher
 2. Rückverstromung



GEFÖRDERT VOM



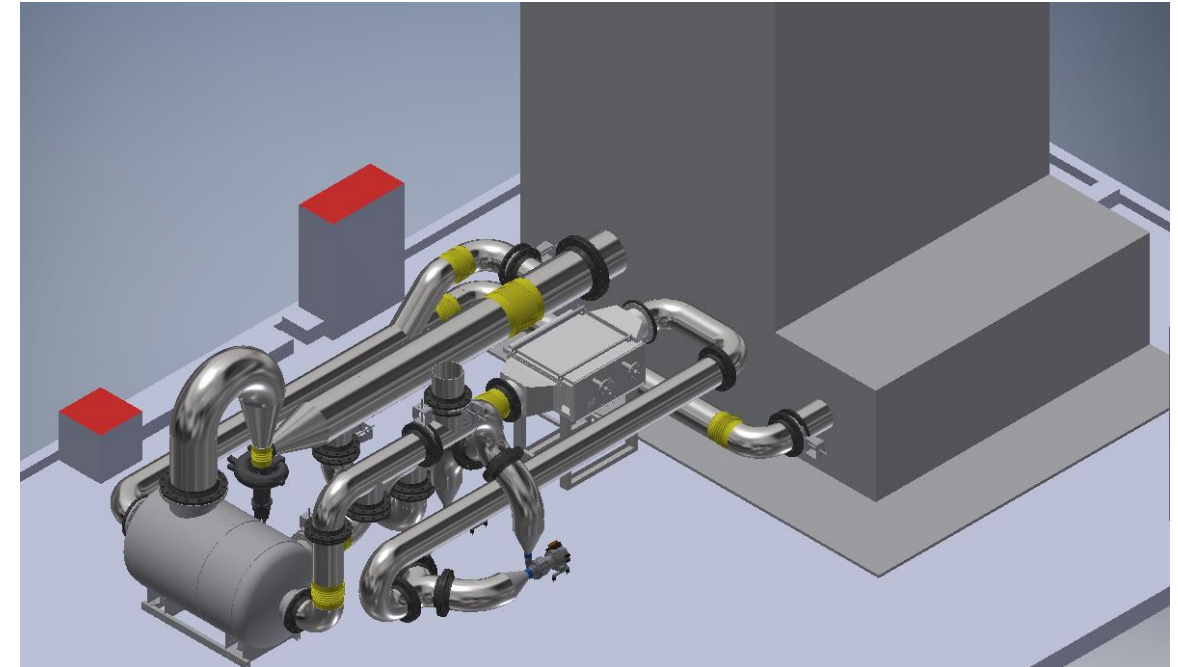
Bundesministerium
für Bildung
und Forschung



FORSCHUNG AN
FACHHOCHSCHULEN

1. Einführung in das Projekt High-T-Stor

- Projekt im Rahmen von FHInvest 2016:
Forschung an Fachhochschulen gefördert durch das
Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMMF)
- Projekttitle:
Sektorenübergreifender Hochtemperaturspeicher zum
Ausgleich volatiler erneuerbarer Stromerzeugung
- Akronym: High-T-Stor
- Höhe der Zuwendung: 1.580.280 €
- Förderkennzeichen: 13FH163IN6
- Laufzeit: 09/2017 bis 12/2019
- Projektpartner:



Gliederung

TECHNISCHE HOCHSCHULE MITTELHESSEN

1. Einführung in das Projekt High-T-Stor
- 2. Aufbau des Speichersystems**
 1. Hochtemperaturspeicher
 2. Rückverstromung
3. Modellierung und Validierung
 1. Beladung
 2. Entladung
4. Lessons learned
 1. Hochtemperaturspeicher
 2. Rückverstromung



GEFÖRDERT VOM

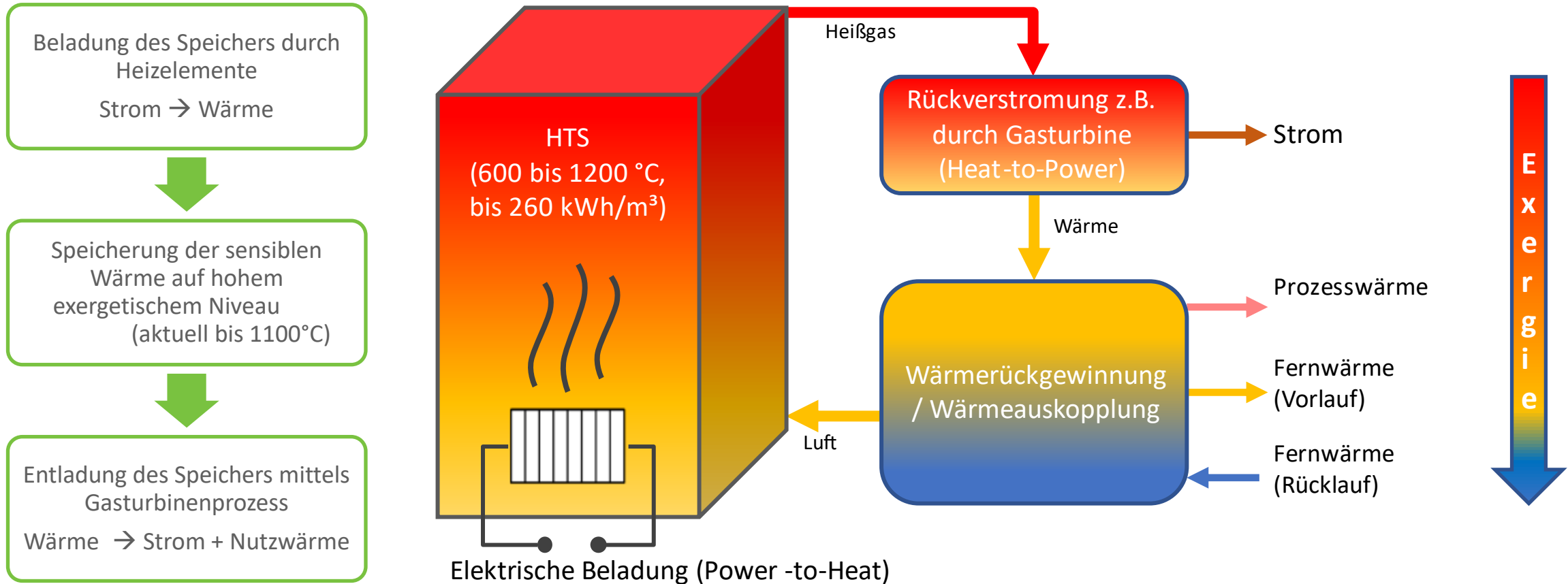


Bundesministerium
für Bildung
und Forschung



FORSCHUNG AN
FACHHOCHSCHULEN

2. Aufbau des Hochtemperaturspeicher-Systems



2.1 Hochtemperaturspeicher

- Gewichte: 18 t Steine, 5 t Isolierung
- Grundfläche: 3,2 m * 4,1 m
- Höhe: 6 m
- Installierte Leistung:
48 HE je 6,5 kW = 312 kW
- Max. Temperatur: 1050°C
- Gesamtspeicherkapazität: 6 MWh
- Nutzbar zur Rückverstromung:
1,5 MWh



2.2 Rückverstromung

Komponenten der inversen Gasturbine:

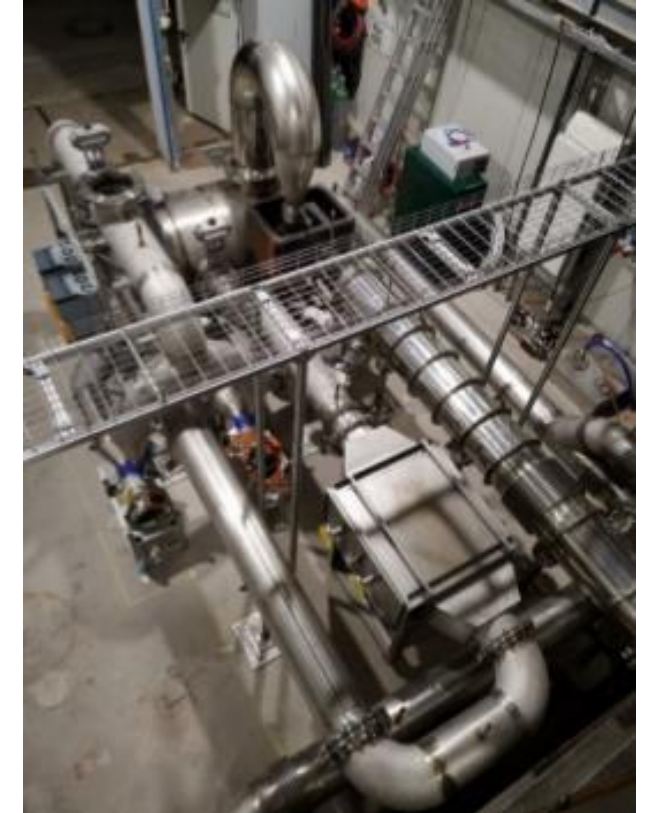
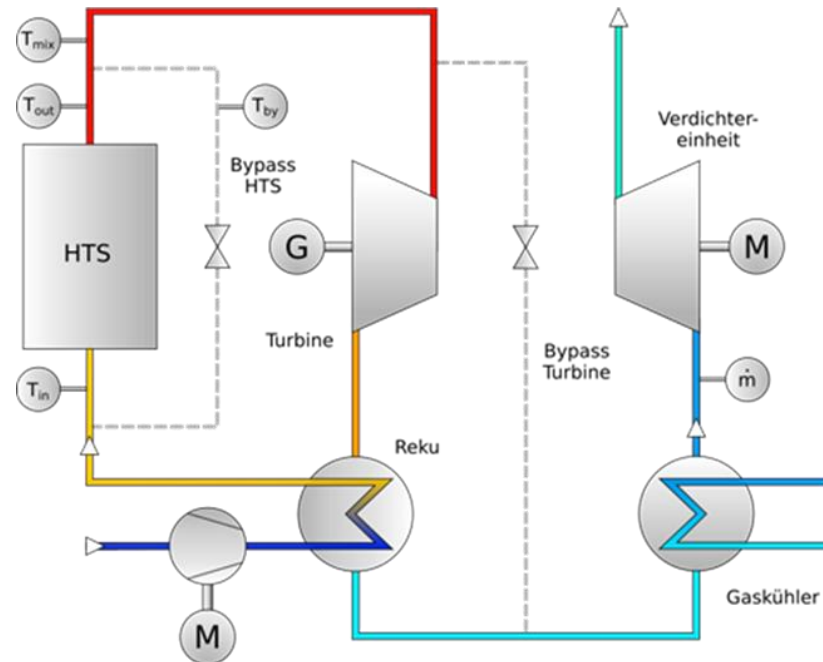
- Verdichter
- Rekuperator
- Gaskühler
- Generatorturbine

Prozesswirkungsgrade

- elektrisch: 15...20%
- gesamt: 85...90%

Vorteile der Inversen Gasturbine:

- Wärmespeicher steht nicht unter Druck!
- Maschinen aus der Automobilbranche



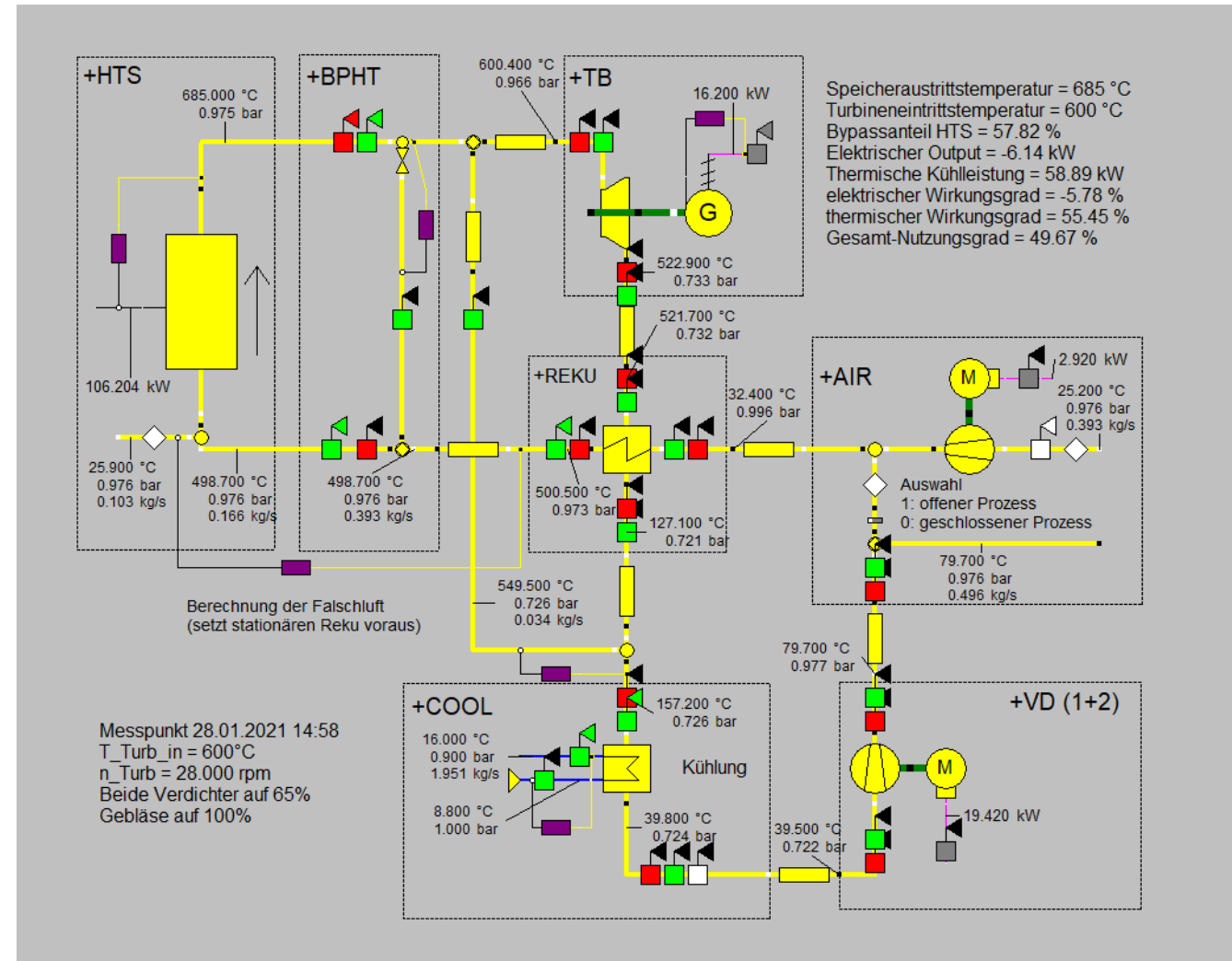
2.2 Rückverströmung

Inverse GT:

- Entspannung in den Unterdruck
- Flexible Betriebsführung durch getrennte Turbomaschinen
- Hocheffizienter Rekuperator

Probleme:

- Leckage am HTS
- Prozessinterne Leckagen
- Hohe Wärmeverluste
- Ineffizienter Gaskühler





Gliederung

TECHNISCHE HOCHSCHULE MITTELHESSEN

1. Einführung in das Projekt High-T-Stor
2. Aufbau des Speichersystems
 1. Hochtemperaturspeicher
 2. Rückverstromung
- 3. Modellierung und Validierung**
 1. Beladung
 2. Entladung
4. Lessons learned
 1. Hochtemperaturspeicher
 2. Rückverstromung



- 1 Anschluss Fernwärme
- 2 Inverse Gasturbine
- 3 Verdichtereinheit
- 4 HTS-Keramik-Stromspeicher

GEFÖRDERT VOM



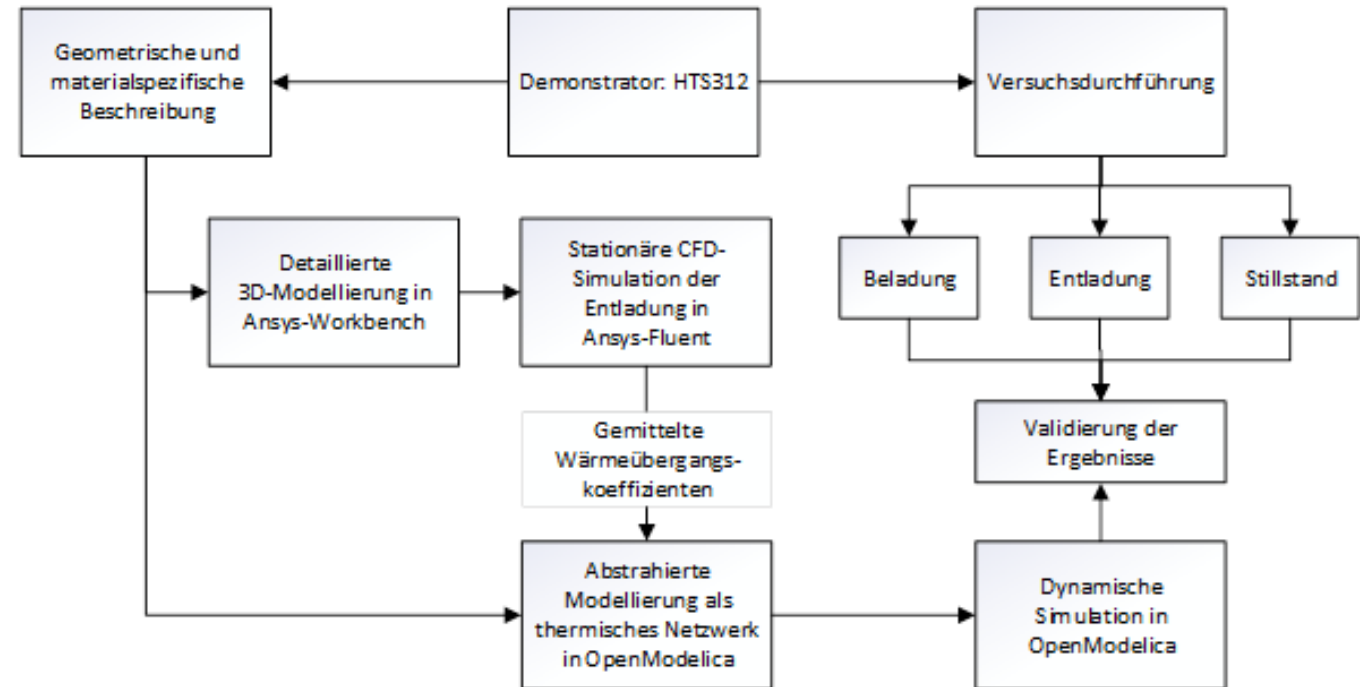
Bundesministerium
für Bildung
und Forschung



FORSCHUNG AN
FACHHOCHSCHULEN

3. Modellierung und Validierung

- Abstrahierte Modellierung in OpenModelica
- Detaillierte Modellierung in Ansys® Workbench (CFD-Simulation)
- Parametrisierung des thermischen Netzwerkes
- Bewerten der Ergebnisse

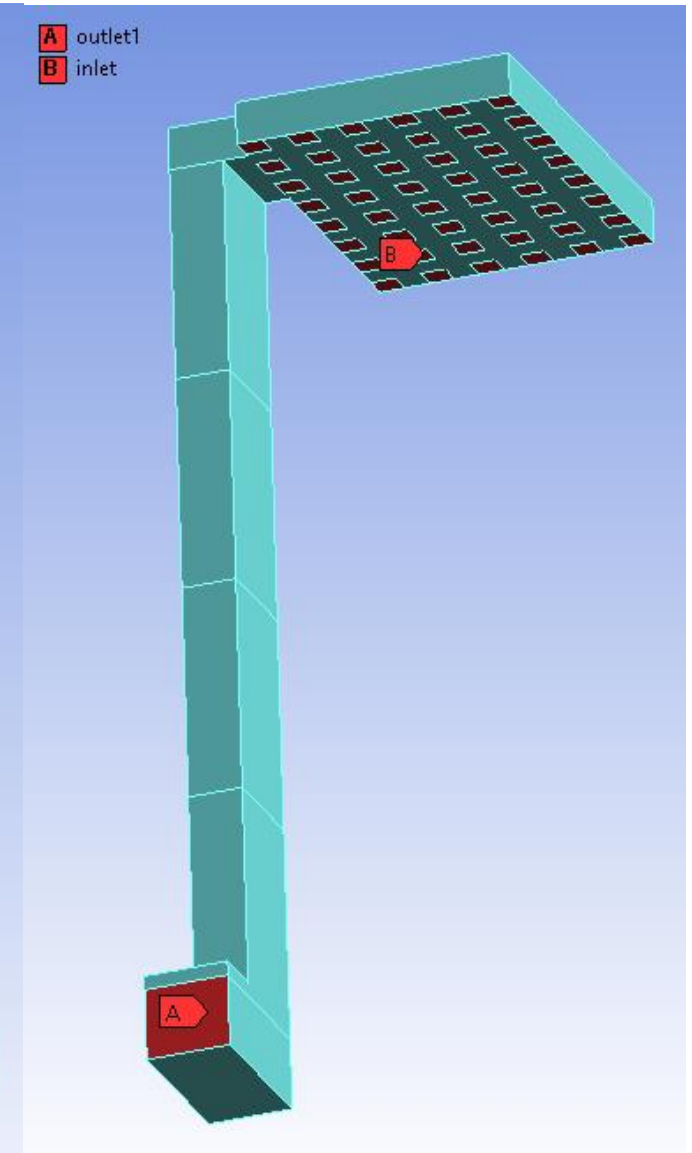
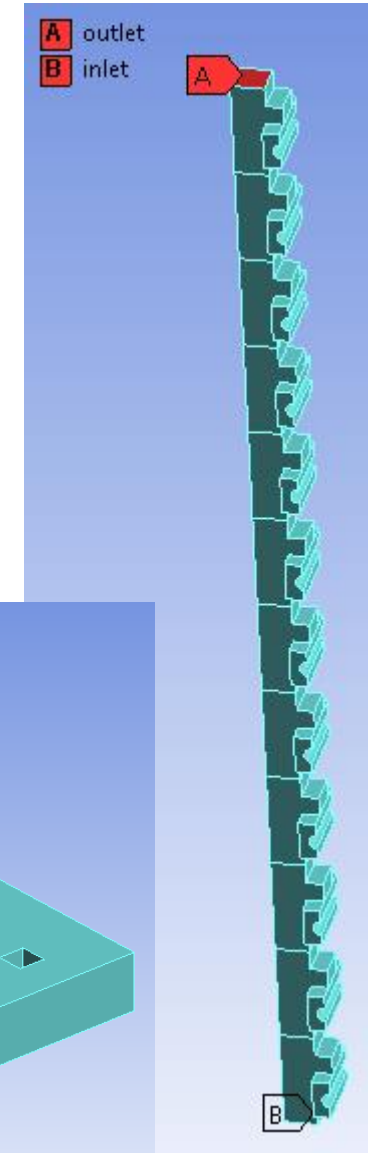
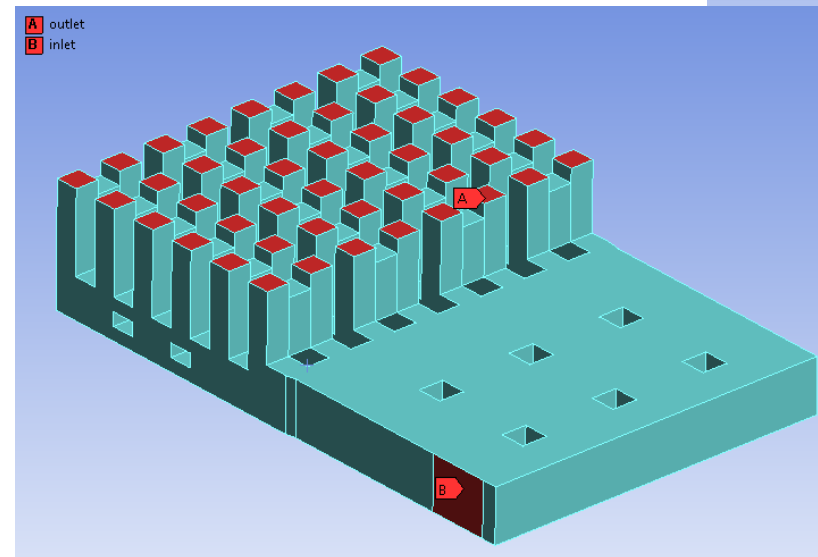


3. Modellierung und Validierung

Stationäre CFD-Simulation

- Reynolds-gemittelte Navier-Stokes-Gleichungen
- Massenerhaltung, Impulserhaltung, Energieerhaltung
- Turbulenzmodell k- ω -sst

Drei gekoppelte Teilmodelle



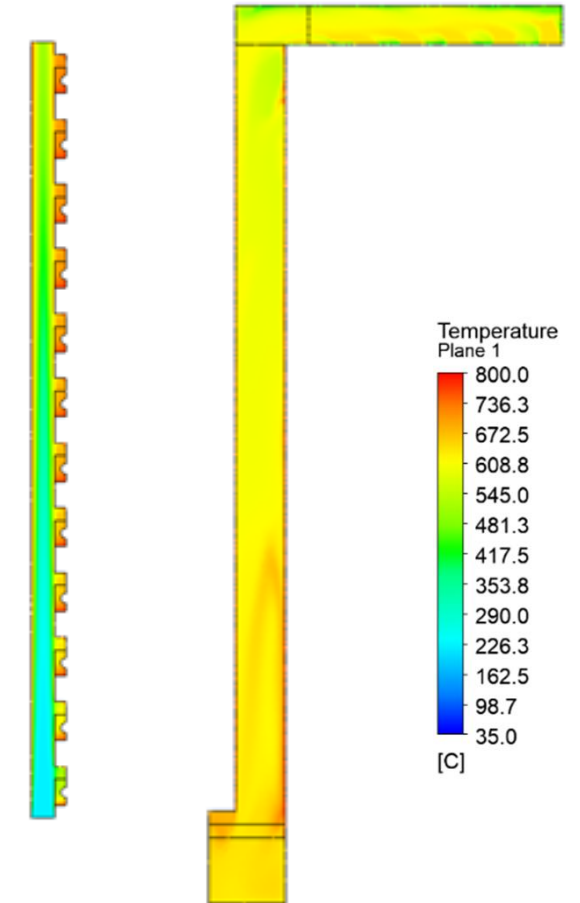
3. Modellierung und Validierung

Stationäre CFD-Simulation

- Reynolds-gemittelte Navier-Stokes-Gleichungen
- Massenerhaltung, Impulserhaltung, Energieerhaltung
- Turbulenzmodell k- ω -sst

Drei gekoppelte Teilmodelle

Entladung bei konst. Massenstrom und konst.
Wandtemperatur



3. Modellierung und Validierung

Thermisches Netzwerk

- Rohrleitungen

$$\dot{Q}_{1,2} = \dot{C}_{Luft} * (T_{Luft,Aus} - T_{Luft,Ein});$$
- Wärmeleitwiderstände

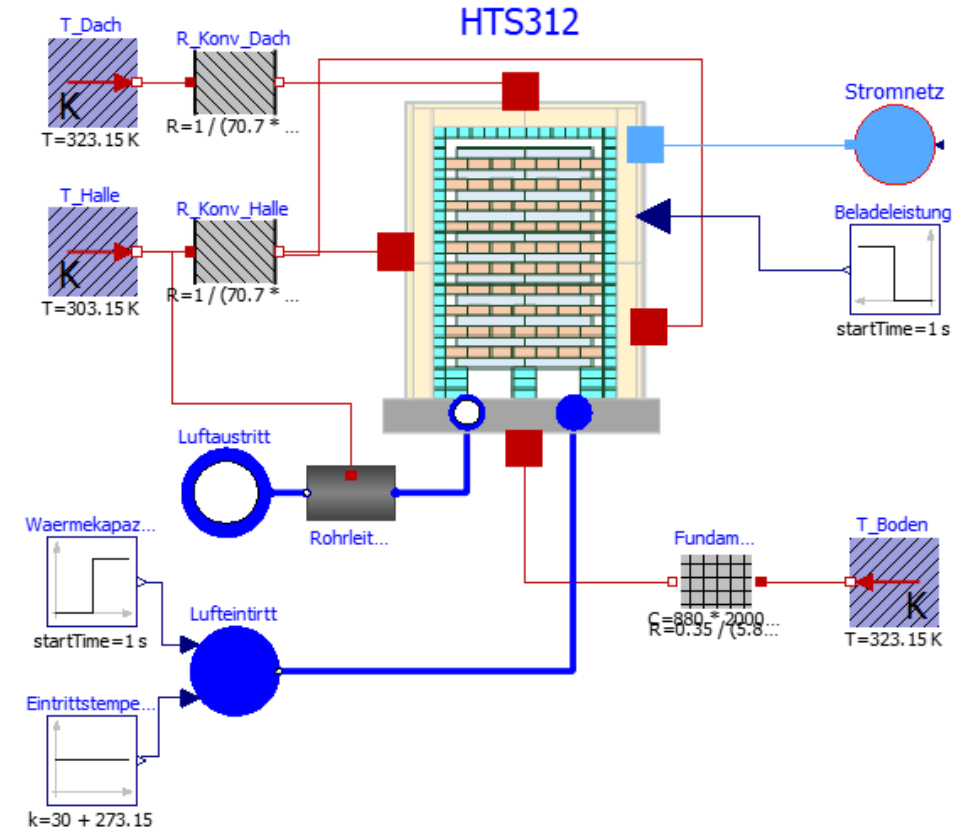
$$\Phi = \frac{T_{Luft,Aus} - T_{Luft,Ein}}{T_{HeatPort} - T_{Luft,Ein}} = \frac{\alpha * A}{\dot{C}_{Luft} + \alpha * A}$$
- Kapazitäten

$$\dot{Q}_{1,2} = \lambda(T) * \frac{A}{s} * (T_1 - T_2)$$
- Wärmestrahlung

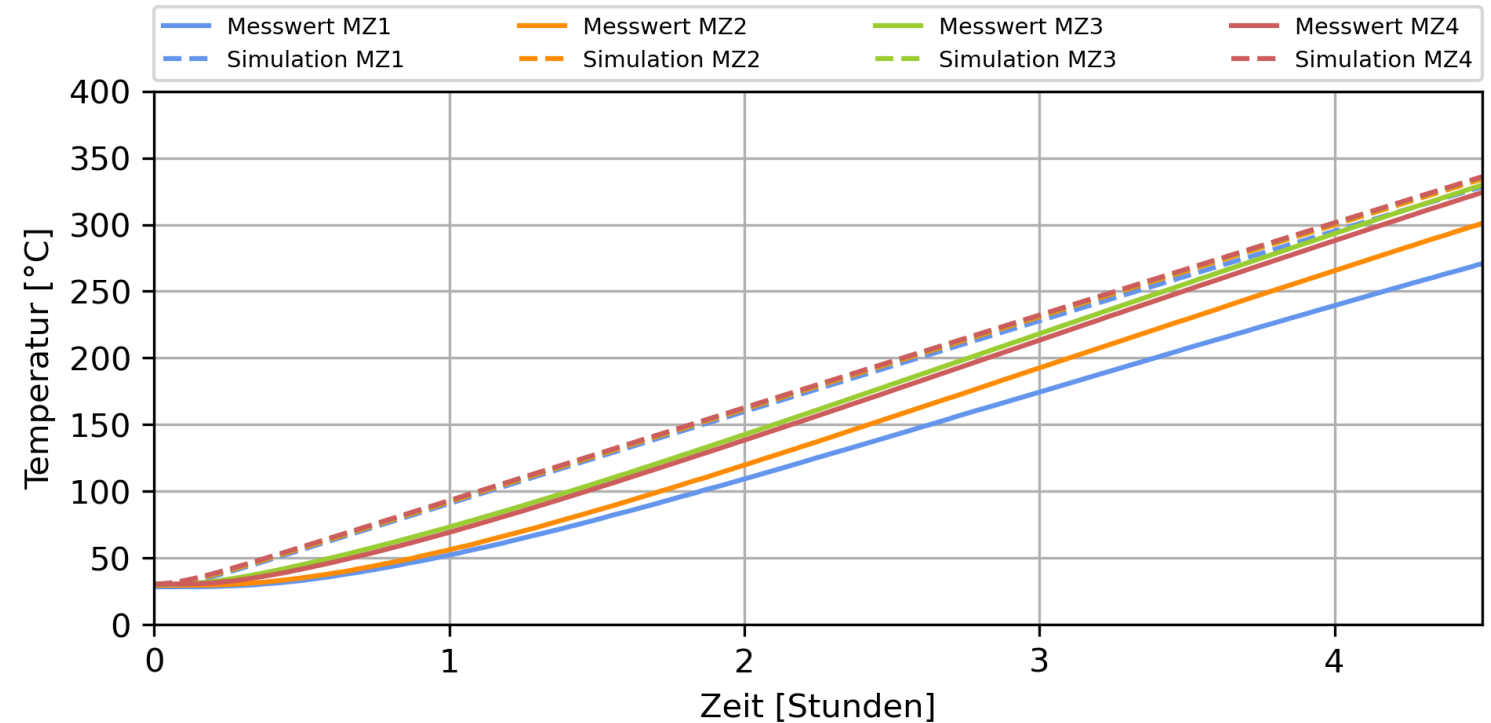
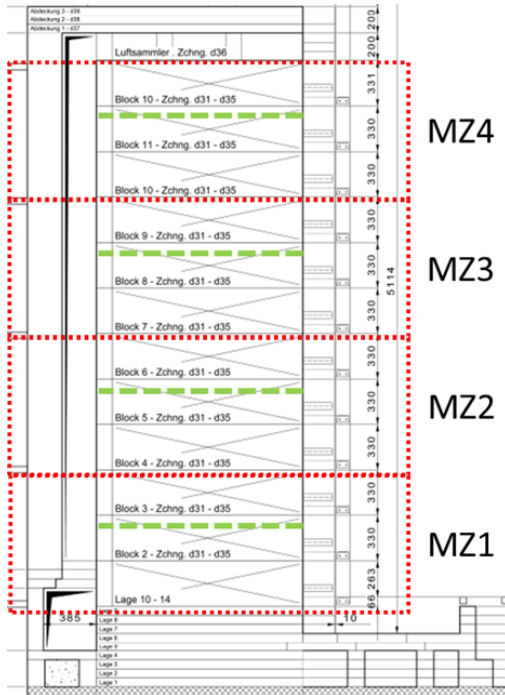
$$C = m * c_p; \dot{Q} = C * \dot{T}$$
- Wärmestahlung

$$\dot{Q}_{1,2} = \sigma * \epsilon_1 * \epsilon_2 * A * (T_1^4 - T_2^4)$$
- Randbedingungen

$$T_{Start}; T_{Umg}; \dot{C}_{Luft}; \dot{Q}_{HE} = -P_{el}$$

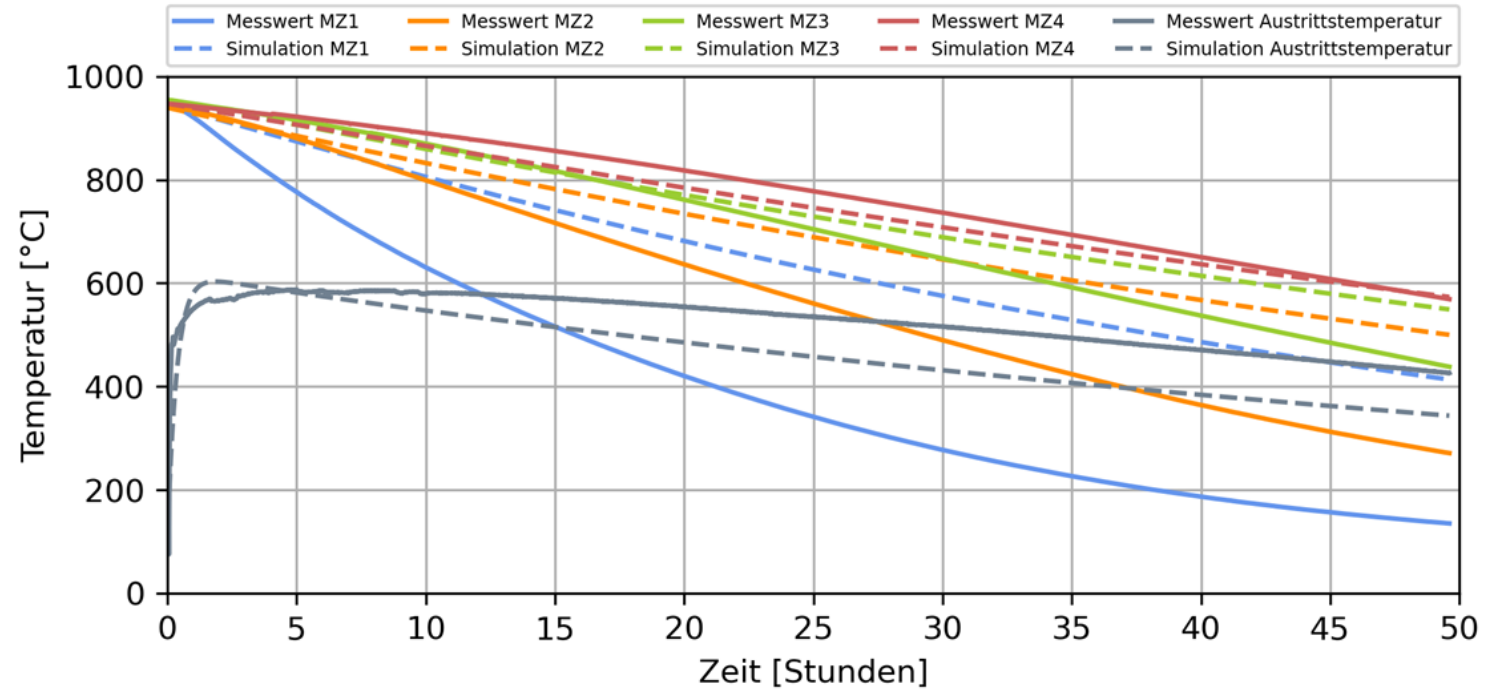
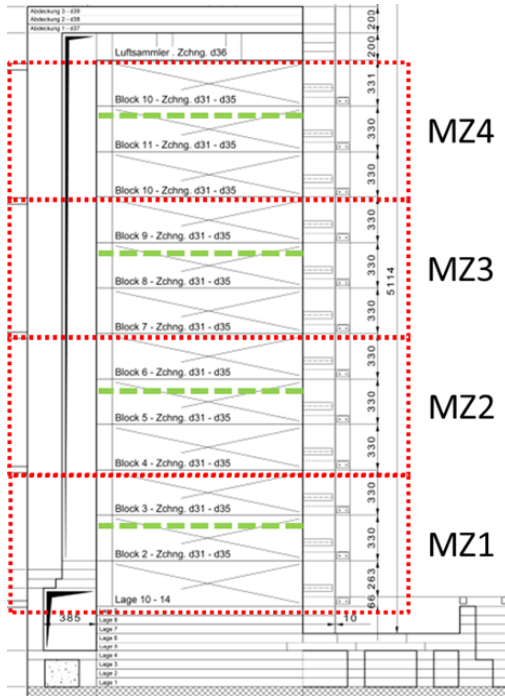


3. Modellierung und Validierung



- Start bei ca. 30°C
- 4,5 h Beladung mit Vollast (312 kW)
- Auswertung für gemittelte Messzonen

3. Modellierung und Validierung



- Start nach Beladung auf ca. 950 °C
- Entladung mit 0,133 kg/s, fast 50 h

Gliederung

TECHNISCHE HOCHSCHULE MITTELHESSEN

1. Einführung in das Projekt High-T-Stor
2. Aufbau des Speichersystems
 1. Hochtemperaturspeicher
 2. Rückverstromung
3. Modellierung und Validierung
 1. Beladung
 2. Entladung
4. **Lessons learned**
 1. Hochtemperaturspeicher
 2. Rückverstromung



GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung



FORSCHUNG AN
FACHHOCHSCHULEN

4. Lessons learned - HTS

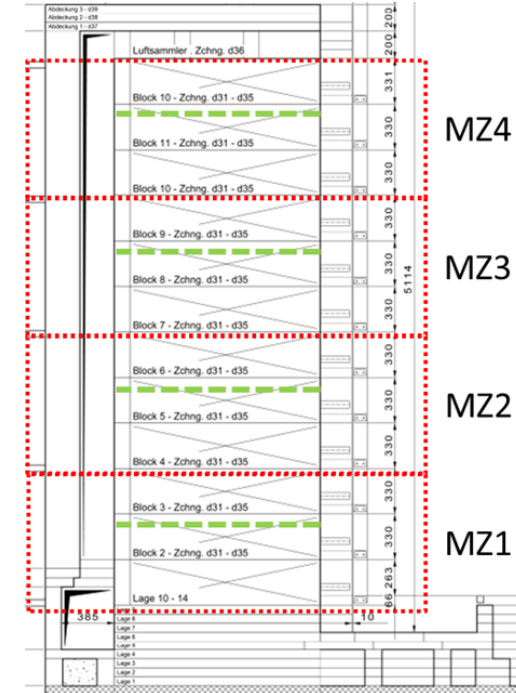
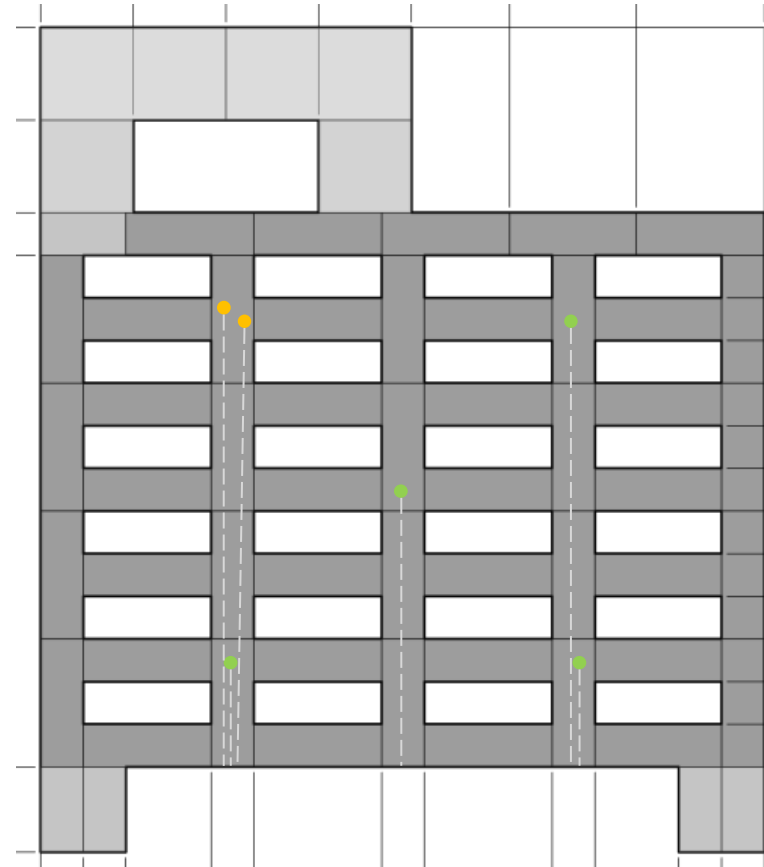
- Wärmeverluste optimieren:
 1. Dämmung ($\lambda = f(T)$)
 2. Kühlrippen vermeiden
 3. Leckagen über Heizelemente, Luftanschlüsse und Schüttung
 4. Thermo-Siphon thermisch entkoppeln
- genaue Positionierung der Thermoelemente beachten
- Heizelemente stützen oder vertikal installieren
- Luftführung im Verteiler und Sammler
- Möglichst kleine hydr. Durchmesser für bessere Wärmeübertragung
- Lebensdauer Mauerwerk



4. Lessons learned - HTS

- Wärmeverluste optimieren:
 1. Dämmung ($\lambda = f(T)$)
 2. Kühlrippen vermeiden
 3. Leckagen über Heizelemente, Luftanschlüsse und Schüttung
 4. Thermo-Siphon thermisch entkoppeln
- genaue Positionierung der Thermoelemente beachten
- Heizelemente stützen oder vertikal installieren
- Luftführung im Verteiler und Sammler
- Möglichst kleine hydr. Durchmesser für bessere Wärmeübertragung
- Lebensdauer Mauerwerk

Horizontaler Schnitt



4. Lessons learned - HTS

- Wärmeverluste optimieren:
 1. Dämmung ($\lambda = f(T)$)
 2. Kühlrippen vermeiden
 3. Leckagen über Heizelemente, Luftanschlüsse und Schüttung
 4. Thermo-Siphon thermisch entkoppeln
- genaue Positionierung der Thermoelemente beachten
- Heizelemente stützen oder vertikal installieren
- Luftführung im Verteiler und Sammler
- Möglichst kleine hydr. Durchmesser für bessere Wärmeübertragung
- Lebensdauer Mauerwerk



4. Lessons learned - IBC

- Prozessinterne Leckagen
- Hohe Wärmeverluste an Turbine
- Ineffizienter Gaskühler





<https://homepages.thm.de/~hg14859/HTS/>

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Projekt: „High-T-Stor“
BMBF-Maßnahme: FHInvest2016
Förderkennzeichen: 13FH163IN6

Alexej Paul, M.Sc.
alexej.paul@me.thm.de
+49 641/309 2135

Technische Hochschule Mittelhessen
Fachbereich Maschinenbau und Energietechnik
Institut für Thermodynamik, Energieverfahrenstechnik und Systemanalyse (THESA)



GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung



**FORSCHUNG AN
FACHHOCHSCHULEN**