

# Thermochemische Wärmetransformation: Wärmespeicher mit positivem $\Delta T$

Jana Stengler

Institut für Technische Thermodynamik, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) e.V.

*Sonnenkolloquium 2019*



Knowledge for Tomorrow



$$\frac{Q}{t} \sim \Delta T$$

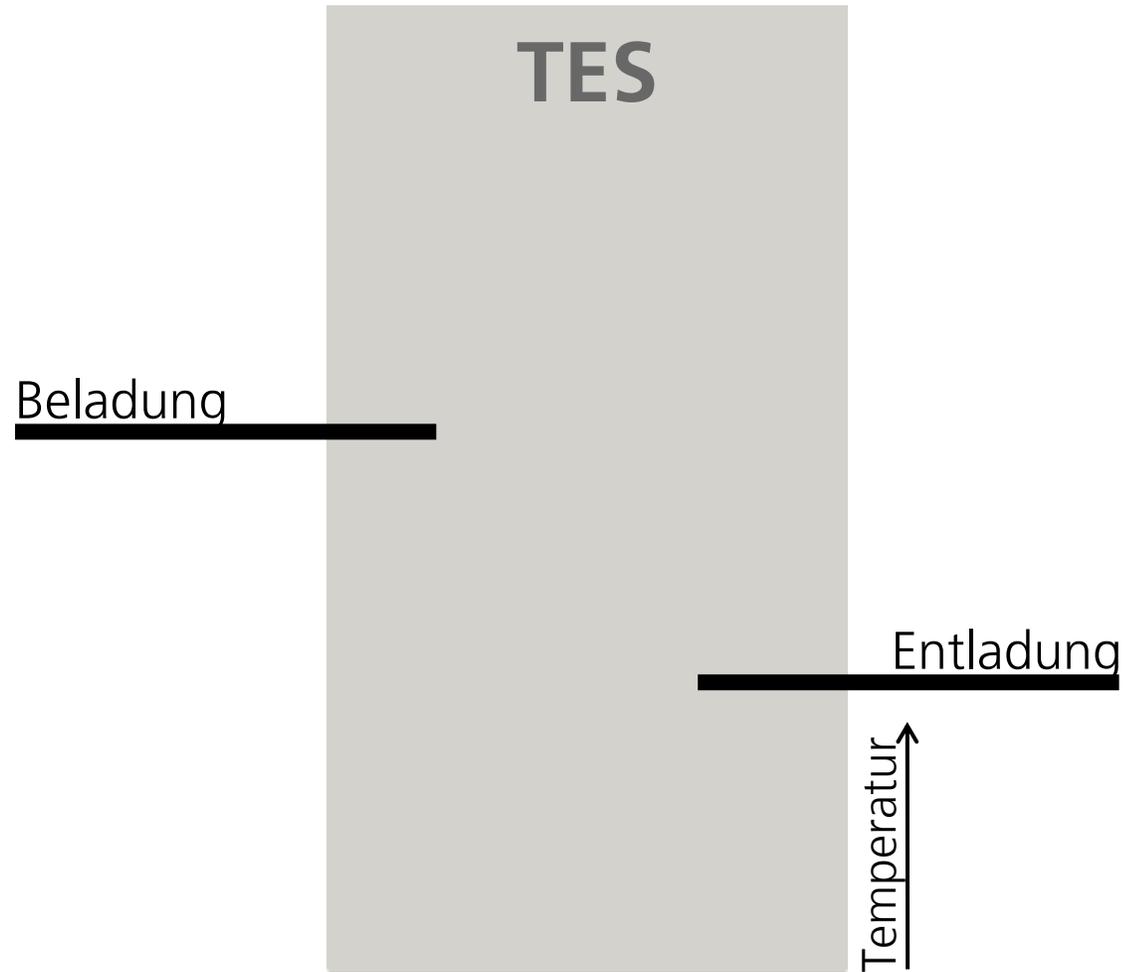
$Q$  – Wärmemenge (J)

$t$  – Zeit (s)

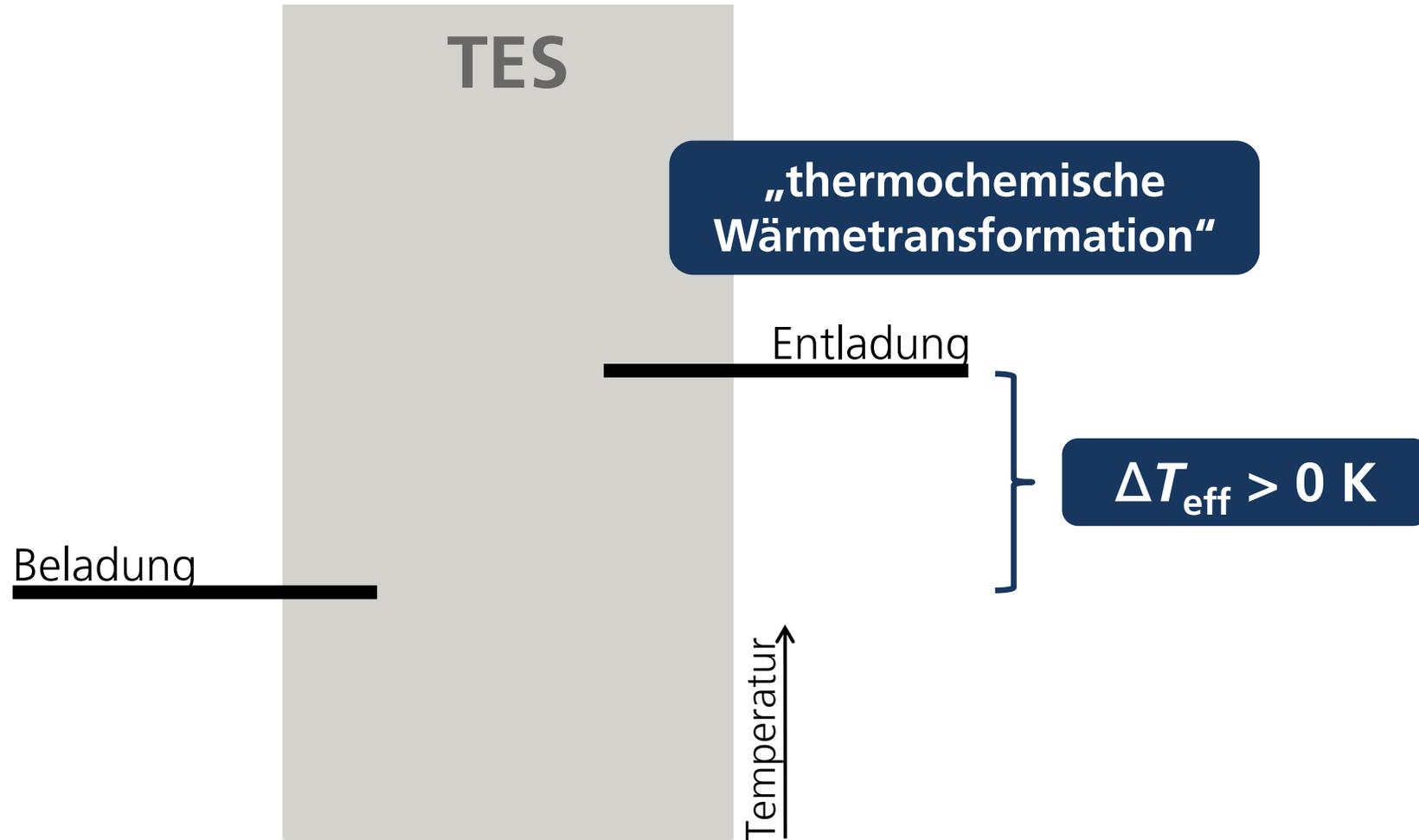
$T$  – Temperatur (K)



# Thermische Energiespeicherung (TES) im „klassischen“ Fall



# Thermische Energiespeicherung mit positivem $\Delta T$

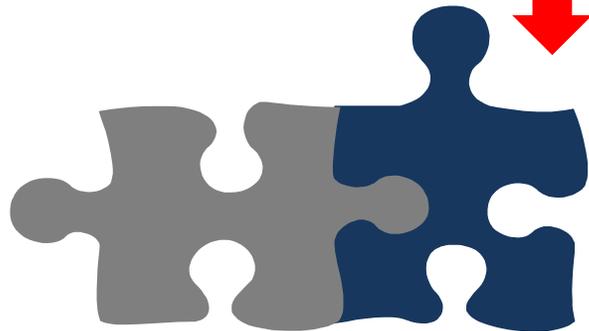
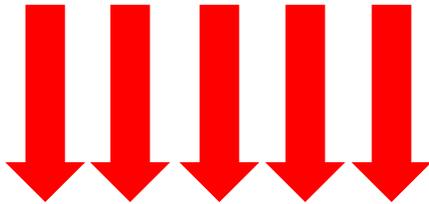


# Grundlagen thermochemischer Energiespeicherung und Wärmetransformation

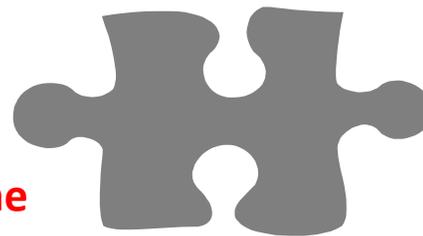
umkehrbare Gas/Feststoff-Reaktion



THERMISCHE ENERGIE

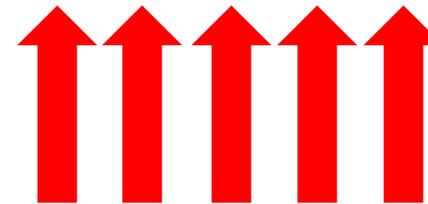


endotherme  
Reaktion

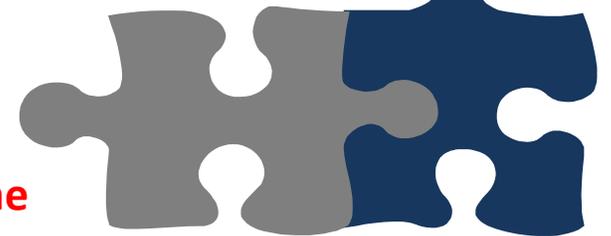


SPEICHERPHASE

THERMISCHE ENERGIE



exotherme  
Reaktion



ENTLADENER ZUSTAND



# Grundlagen thermochemischer Energiespeicherung und Wärmetransformation

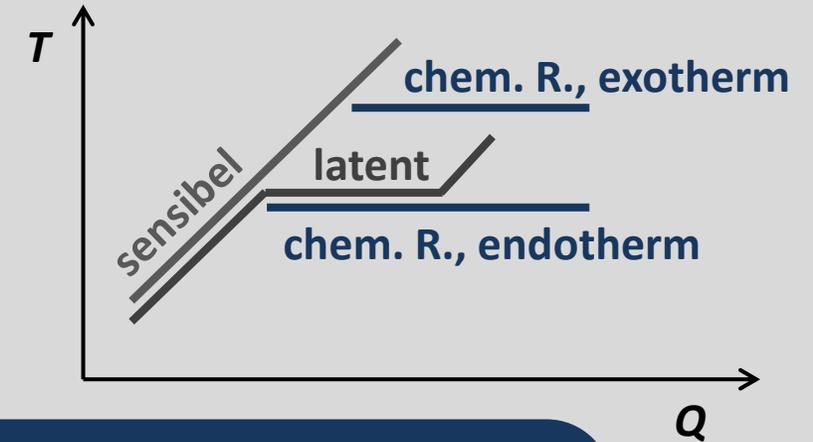
umkehrbare Gas/Feststoff-Reaktion



Wasserdampf/Feststoff-Reaktion



Wasser/Dampf-Gleichgewicht

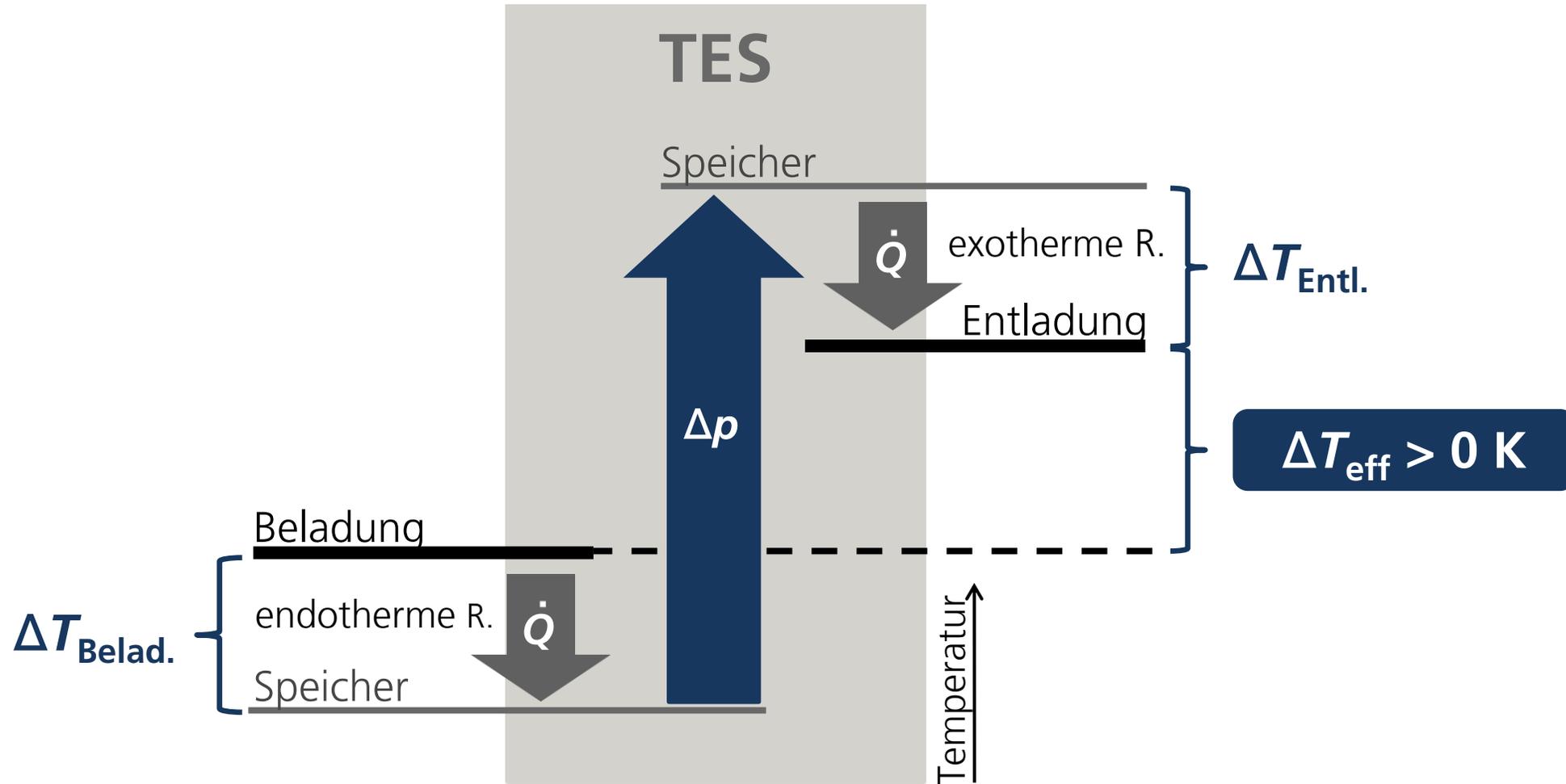


**Thermochemische Reaktionssysteme:**

- chemischer „Phasenwechsel“
- konstante Reaktionstemperatur  $T_R$
- $T_R$  ist wählbar durch Gaskonzentration/-druck  
=> gekoppelt an physikalischen Phasenwechsel



# Thermische Energiespeicherung mit positivem $\Delta T$



# Reaktionssystem zur thermochemischen Wärmetransformation: $\text{SrBr}_2/\text{H}_2\text{O}$

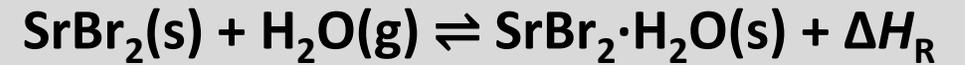
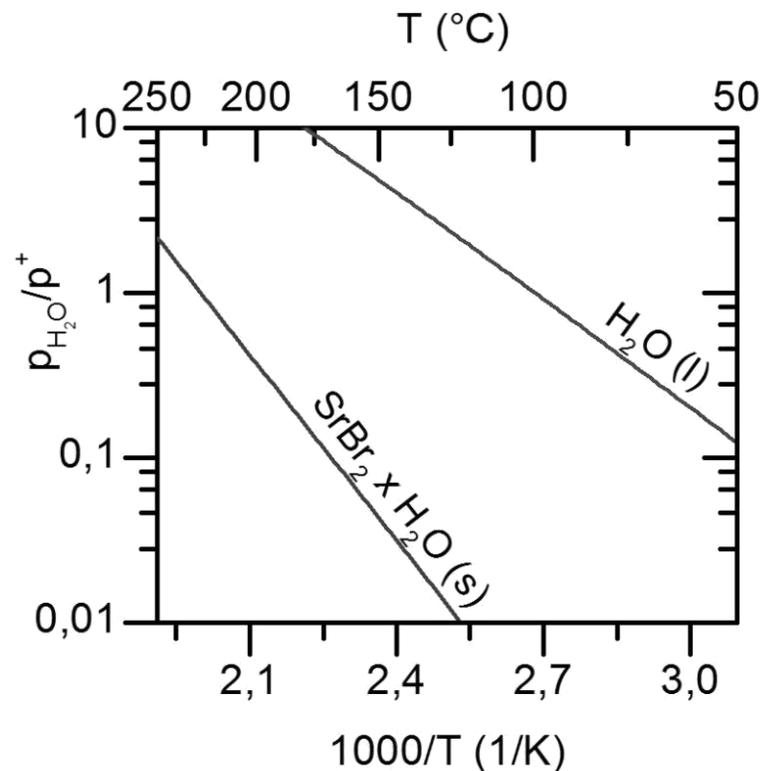
**M. Richter et al. (2018):**

A systematic screening of salt hydrates as materials for a thermochemical heat transformer. *Thermochimica Acta*, 659, 136–150.

$$\Delta H_R = 71,98 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta S_R = 143,93 \text{ J/mol} \cdot \text{K}$$

NBS Tables of Chemical  
Thermodynamic Properties  
298.15 K, 0.1 MPa



Speicherdichte: 88 kWh/m<sup>3</sup> (70 % Porosität)

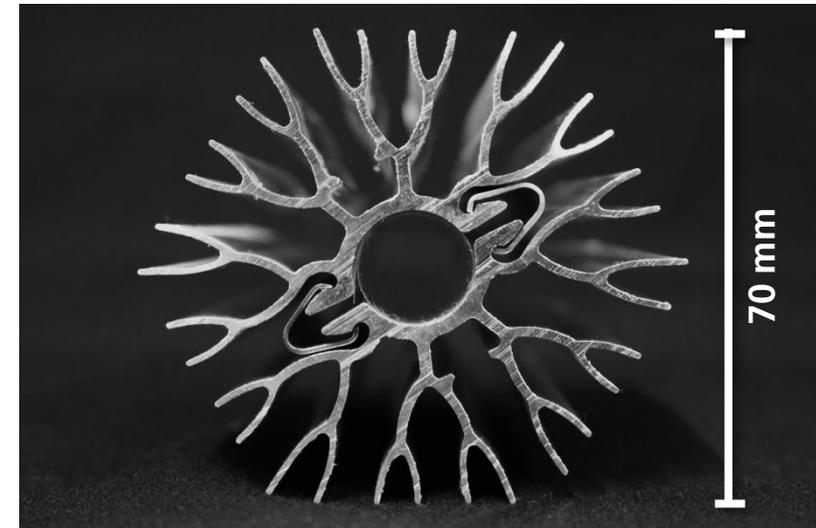
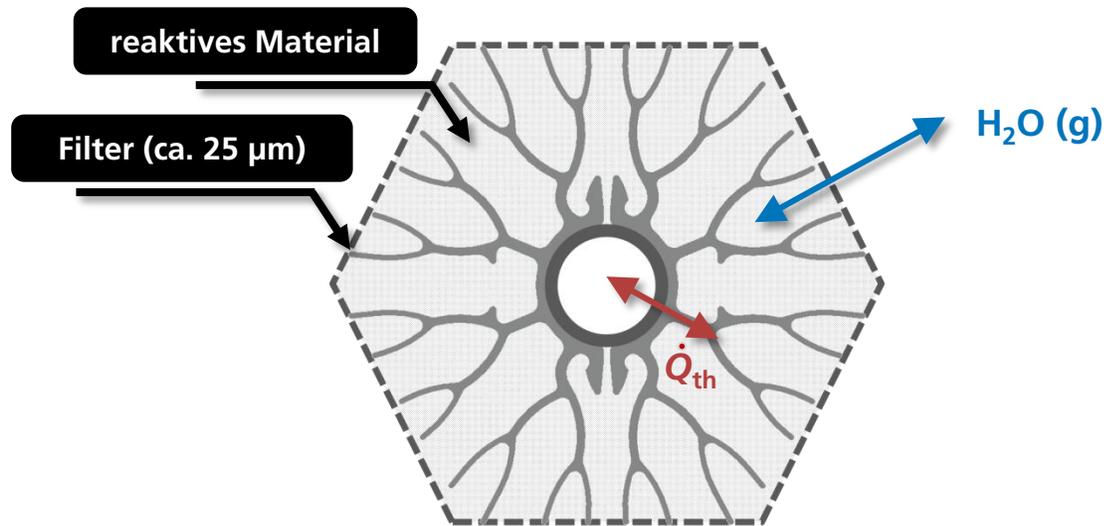


# Konzept für skalierbares Speichermodul mit hoher spezifischer thermischer Leistung

- Wärmeleitstruktur aus Aluminium, siehe DLR-Arbeiten zu Latentwärmespeichern
- Adaption für wasserdampfbasierte thermochemische Reaktionssysteme

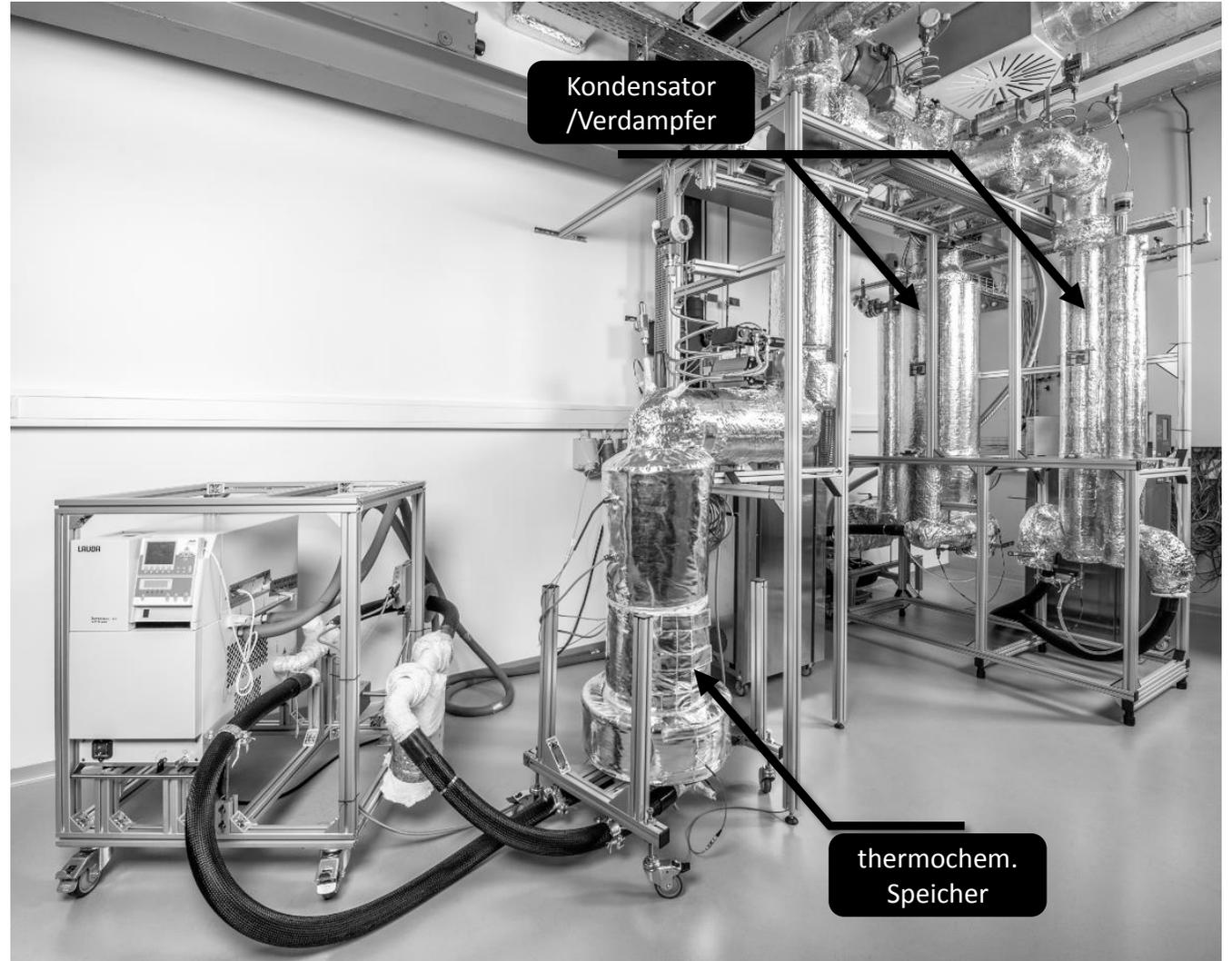
**M. Johnson et al. (2017)**

Design of high temperature thermal energy storage for high power levels. *Sustainable Cities and Society*, 35, 758-763.

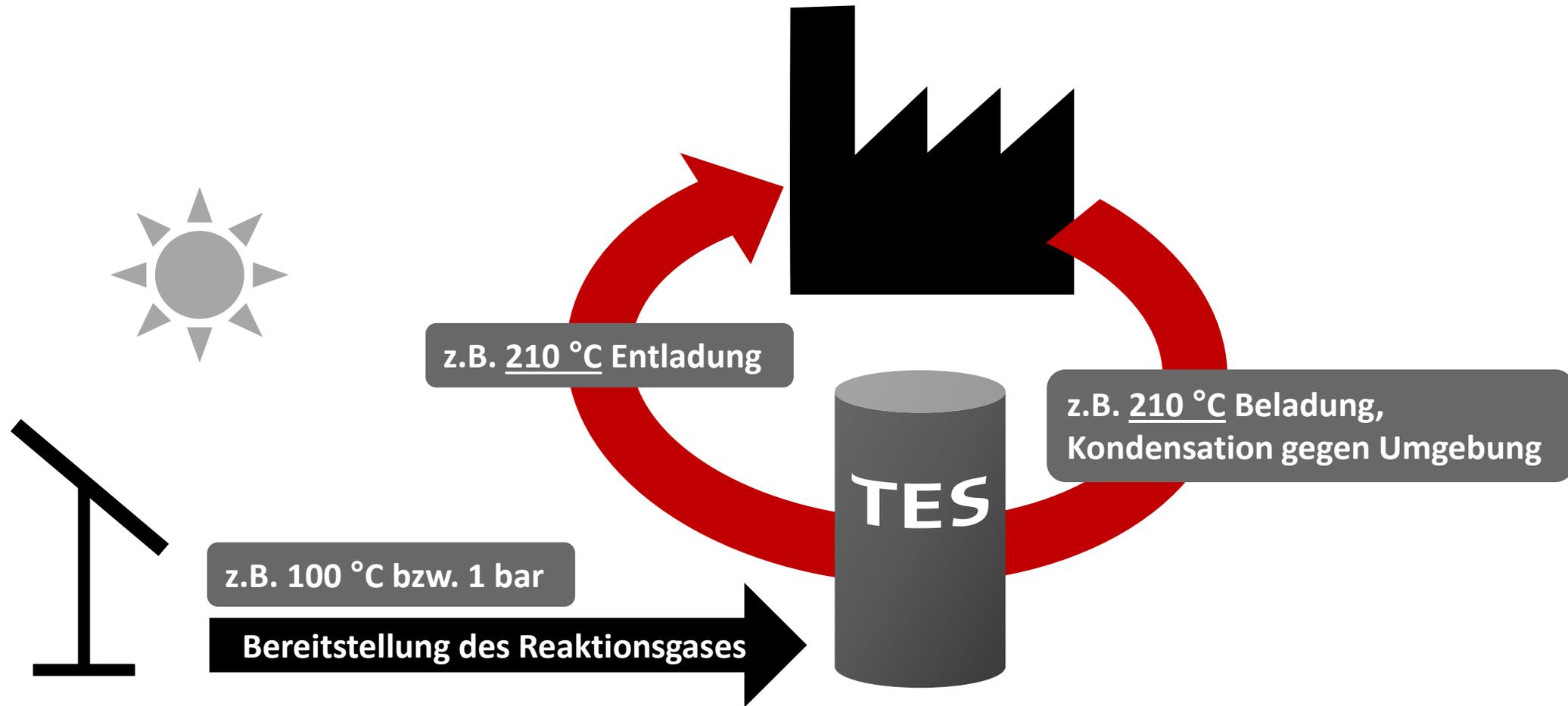


# Versuchsinfrastruktur zur Wärmetransformation

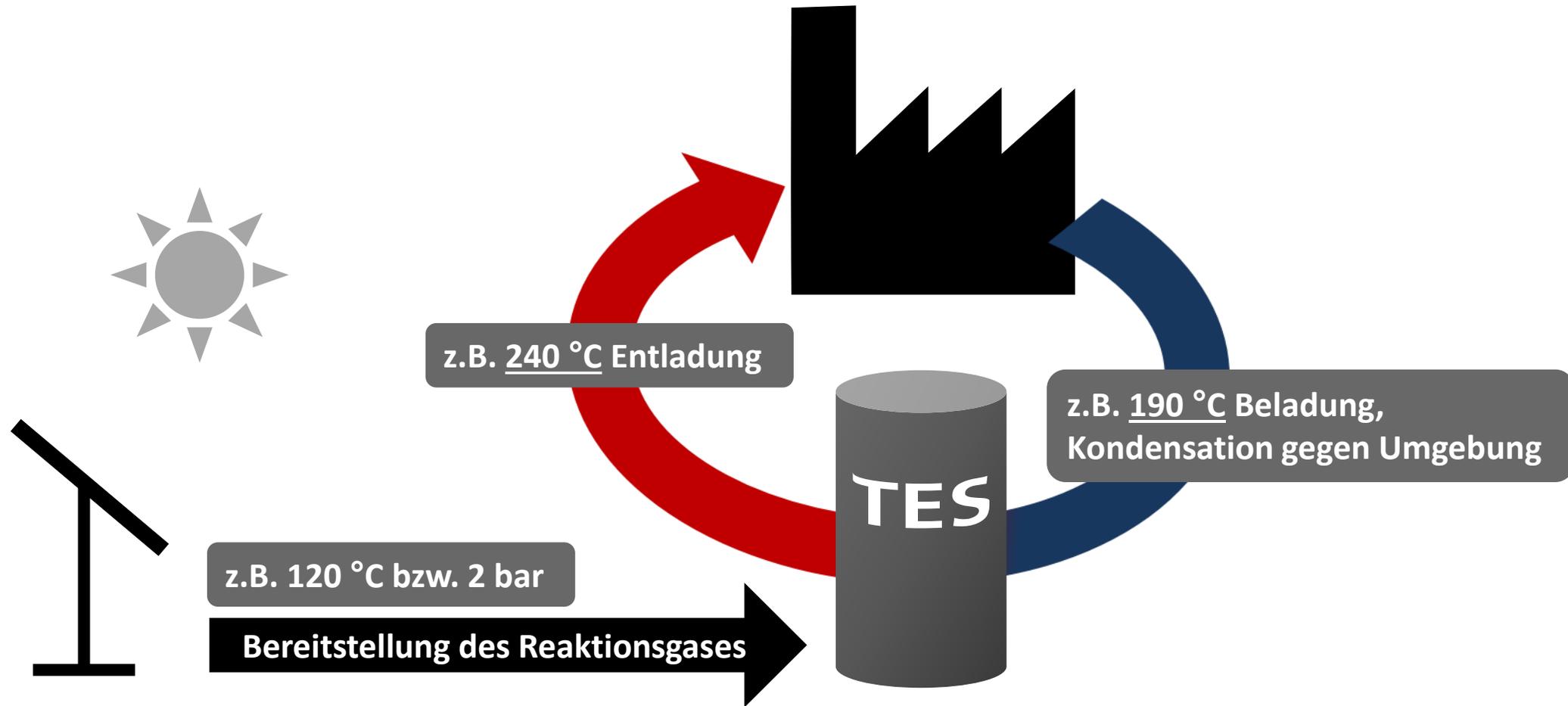
- **Untersuchung wasserdampf-  
basierter thermochemischer  
Speicherreaktoren**
- **Betriebsbedingungen:  
0.01 – 6 bar abs., max. 320 °C,  
8 kW therm.**
- **geschlossene Betriebsweise  
( $p_{\text{H}_2\text{O}} = p_{\text{abs.}}$ )**
- **5 – 100 kg Reaktionsmaterial**



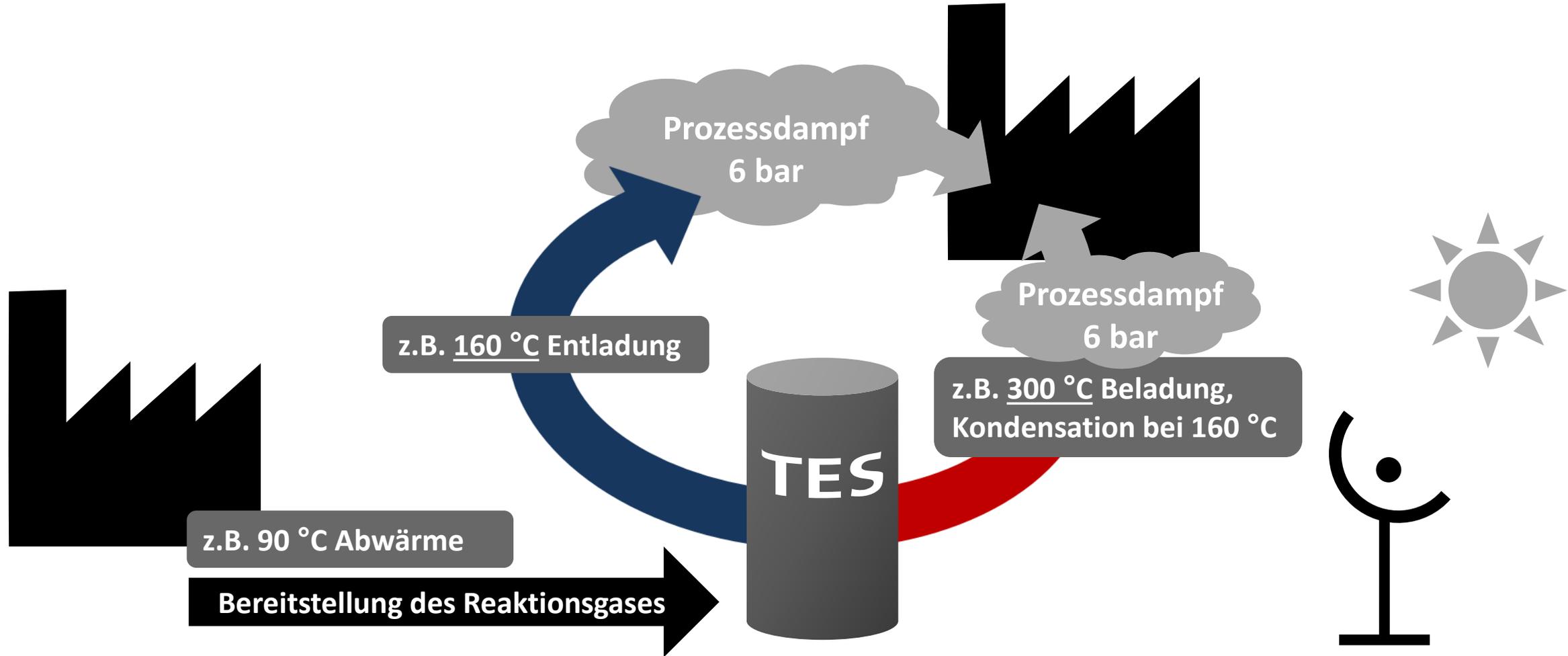
# Anwendungsbeispiel 1: Speicherung industrieller Abwärme



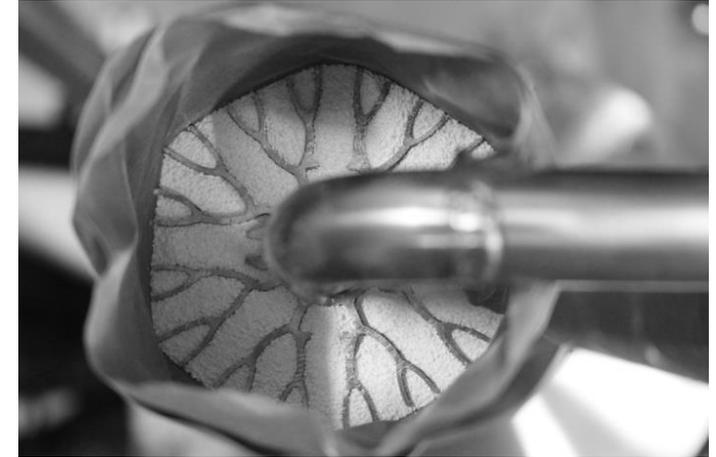
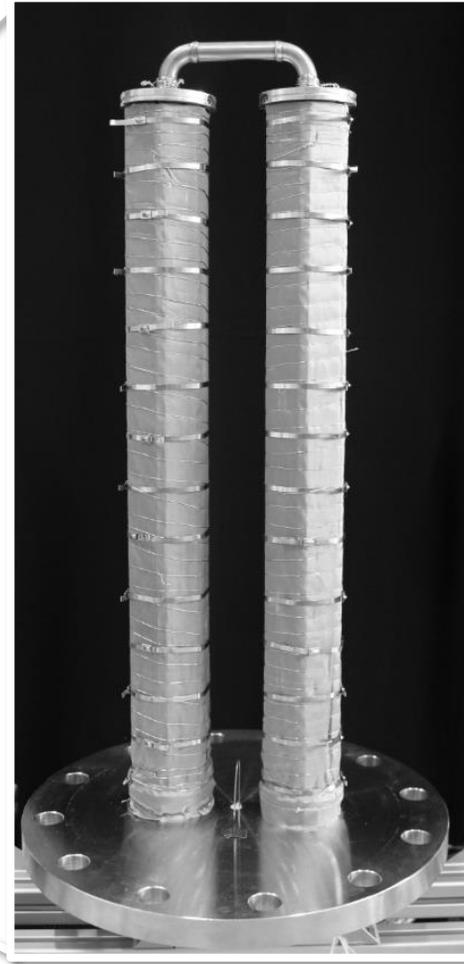
## Anwendungsbeispiel 2: Solarthermisches Aufwerten eines Prozesswärmestroms



# Anwendungsbeispiel 3: Solarthermische Dampfbereitstellung („thermochemische Wärmepumpe“)



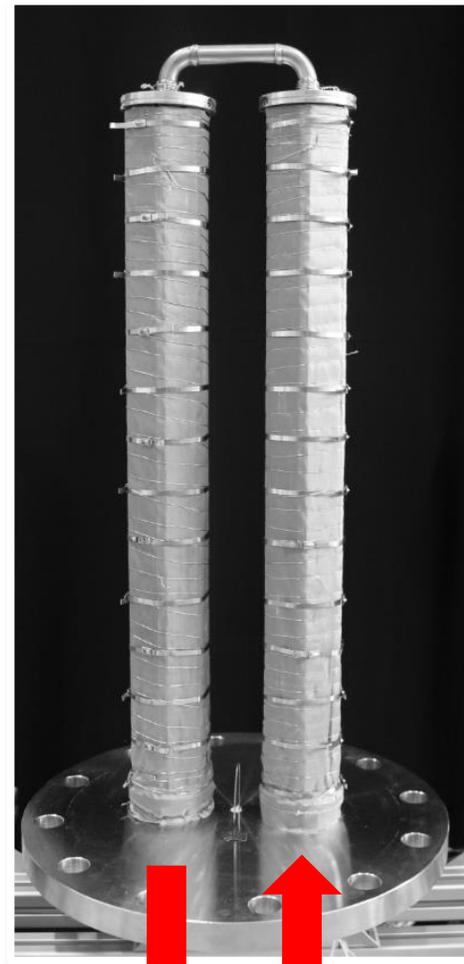
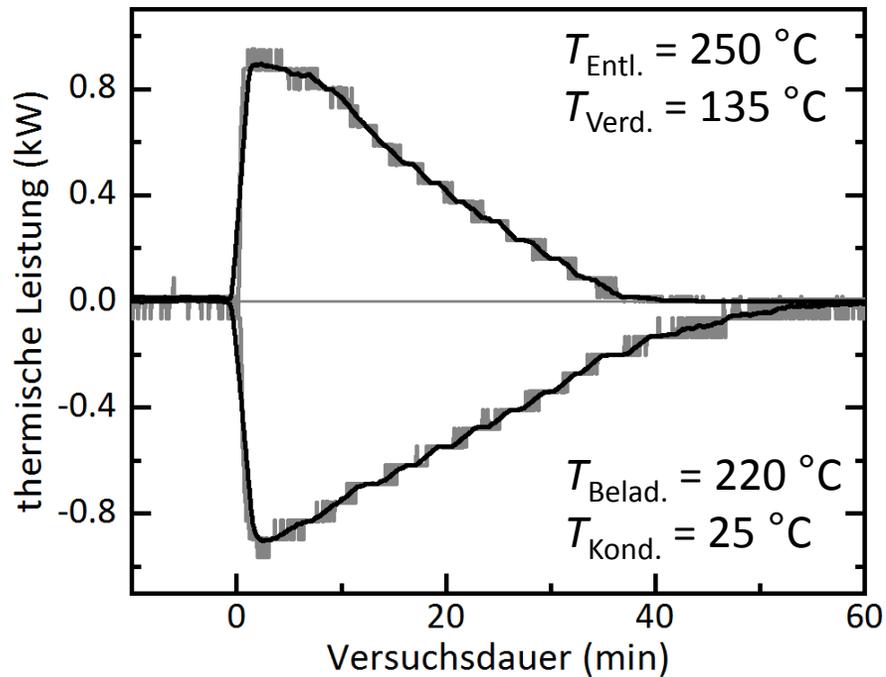
# Experimenteller Funktionsnachweis



**Effektive Speicherdichte:  
4,05 kg  $\text{SrBr}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$  / m  
=> 0.31 kWh/m Rippenrohr  
bzw. 70 kWh/m<sup>3</sup>**



# Experimenteller Funktionsnachweis



Wärmeträgerfluid

Speichermodul mit 1,25 m  
Rippenrohr

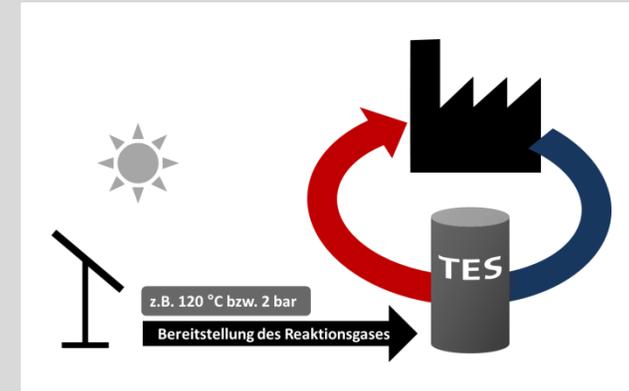
Erprobte maximale  
Entladetemperatur: 280 °C

Erprobte minimale  
Beladetemperatur: 178 °C

Maximal gemessene Leistung:  
ca. 1,25 kW (Peak)

# Zusammenfassung

Thermochemische Energiespeicher ermöglichen ein Anheben des Temperaturniveaus der gespeicherten Energie: **thermochemische Wärmetransformation**  
=> Integration in industrielle Prozesse zur Einkopplung solarer Wärmequellen, Zwischenspeicherung thermischer Energie und Effizienzsteigerung



## Untersuchung von $\text{SrBr}_2/\text{H}_2\text{O}$ als Reaktionssystem unter anwendungsrelevanten Betriebsbedingungen

- skalierbares Speichermodul mit axialen Wärmeleitstrukturen
- spezifische Speicherkapazität 0,31 kWh/m

### Experimentell nachgewiesen:

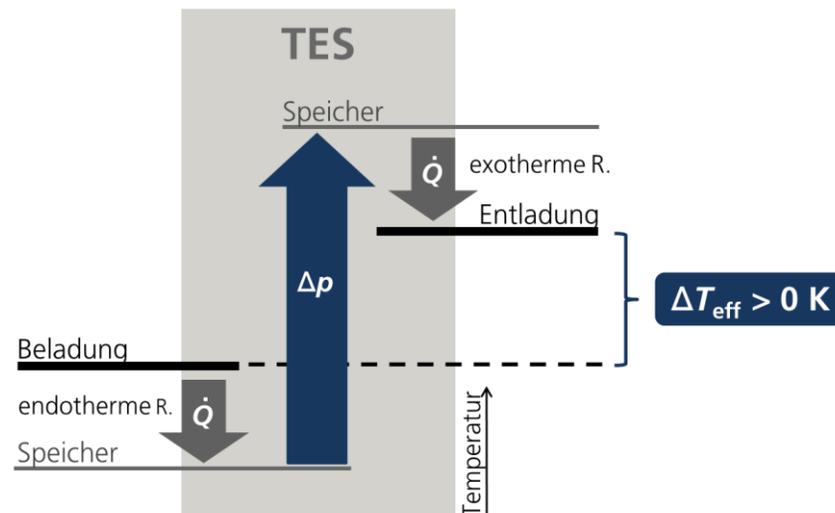
- Temperaturhub im Wärmeträgerfluid 102 K (178 -> 280 °C)
- thermische Leistung 1,25 kW bzw. 0,27 kW/kg



# Vielen Dank für die Aufmerksamkeit!

Jana Stengler

Institut für Technische Thermodynamik  
Thermische Prozesstechnik  
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) e.V.  
jana.stengler@dlr.de



Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



Knowledge for Tomorrow