

## Messprotokoll

### Untersuchung der wärmetechnischen Parameter eines Latentwärmespeichers

#### Auftraggeber:

Jekusol GmbH  
Dipl.-Ing. Klaus-Dietmar Lamprecht  
Anton-Bruckner-Weg 10  
D-07743 Jena

#### Ausführende:

Hochschule Zittau/Görlitz, Fakultät Maschinenwesen, Fachgebiet Energiesystemtechnik  
Dipl.-Ing.(FH) Christoph Ebermann  
Fraunhofer IFAM Dresden, Geschäftsfeld Energie und Thermisches Management  
Prof. Dr.-Ing. Jens Meinert

#### Herstellerangaben zum untersuchten PCM-Speicher:

- Speicherkapazität 80 MJ (entspricht 22 kWh)
- Speicherabmessungen 0,48 x 0,48 x 1,05 m → Speichervolumen 0,2419 m<sup>3</sup>
- Speichermasse 285 kg
- Speichermaterial PCM-1 (Schmelztemperatur 70 - 80 °C, Speicherdichte 650 kJ/Liter)

Es sind keine weiteren Angaben zum Aufbau des Speichers bekannt.

#### Versuchsanlage:

##### **Wärmespeicher-Testanlage TCV1 im Kraftwerkslabor an der Hochschule Zittau/Görlitz**

- Luftgekühlter Prozessthermostat mit einer Heiz- bzw. Kälteleistung von max. 30 bzw. 15 kW (Temperierung Wasser/Glykol-Primärkreislauf)
- Wärmeträgermedium Wasser in einem Sekundärkreislauf zum Anschluss von Wärmespeichern (thermische Ankopplung über Plattenwärmeübertrager)
- elektrische Umwälzpumpe im Sekundärkreislauf (stufenlos drehzahlregelbar)
- Bypass-Schaltung zur Ermöglichung eines definierten Versuchsbeginns und einer (möglichst) konstanten Vorlauftemperatur
- Erfasste Messgrößen:
  - Vor- und Rücklauftemperatur des Wärmeträgers (NiCr/Ni-Thermoelemente zugehörig zur Versuchsanlage)
  - PCM-Temperatur durch einen NTC-Sensor (installiert vom Hersteller, Position im Speicher unbekannt)
  - Volumenstrom des Wärmeträgers (elektromagnetisches Messverfahren)

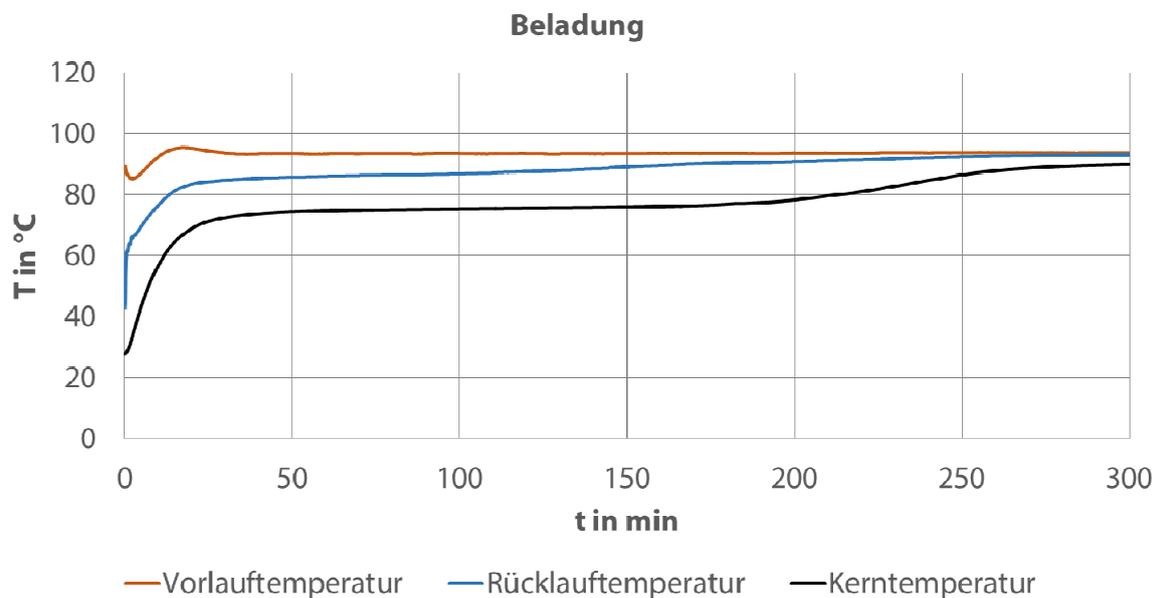
### Messfahrt 1 → Beladen des Speichers (04.05.2016)

Beginn/Ende der Messfahrt (ausgewerteter Zeitraum)	04.05.16, 7:03 Uhr bis 12.03 Uhr	
Messdauer	min	300
Zugeführte Wärmemenge (kumuliert)	MJ	78,293
	kWh	21,748
Mittlerer Wärmeträgerstrom	kg/s	0,1975
	l/min	12,413
Volumetrische Speicherdichte*	kWh/m <sup>3</sup>	89,90
	kJ/l	323,63
Mittlere thermische Leistung im Auswertezentrum	kW	4,35
Mittlere volumetrische Leistungsdichte*	kW/m <sup>3</sup>	17,98
Mittlere logarithmische Temperaturdifferenz** für die Wärmeübertragung im Speicher	K	14,60

\* ... gebildet mit Gesamtvolumen des Speichers

\*\* ... während des Schmelz-/Erstarrungsvorganges bei konstanter PCM-Temperatur (berechnet aus der Vor- und Rücklauf- sowie der gemessenen PCM-Temperatur)

Grafische Darstellung der Vorlauf-, Rücklauf- und der Kerntemperatur (= PCM-Temperatur):



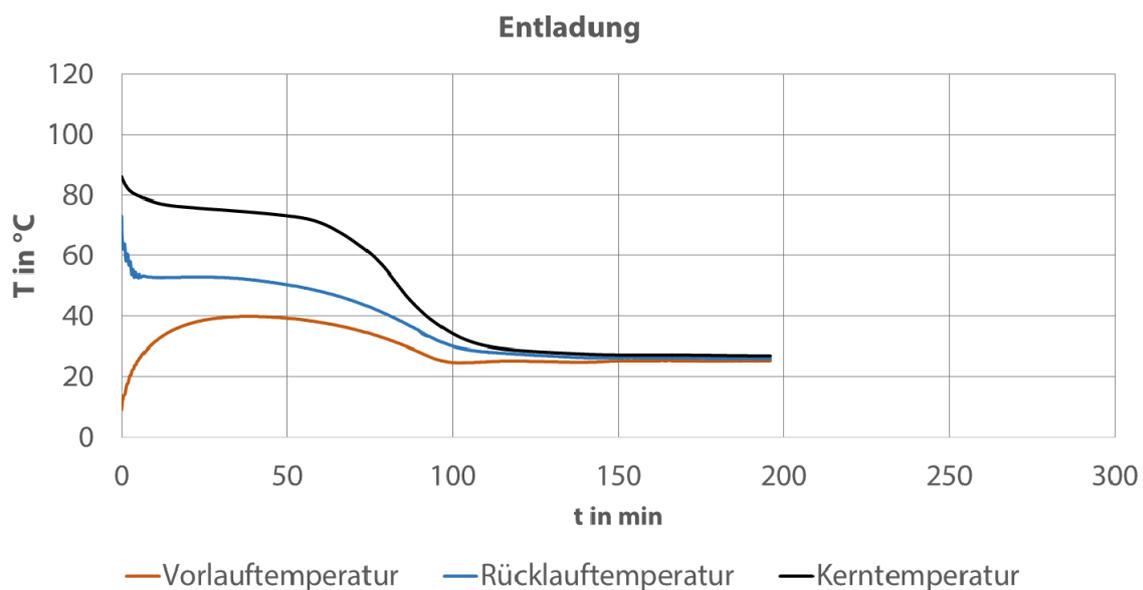
Kommentare zur Beladung:

- Vorlauftemperatur bei konstant etwa 95 °C (nach Einschwingen)
- Schmelztemperatur bei etwa 74 °C bis 77 °C, Dauer des Schmelzprozesses (im Bereich des Temperatursensors) etwa 180 min
- Speicherkapazität entspricht etwa den Vorgaben des Herstellers (22 kWh)
- Volumetrische Speicherdichte ist mit rund 90 kWh/m<sup>3</sup> sehr hoch (bezogen auf das Gesamtvolumen des Speichers inkl. Isolation)

## Messfahrt 2 → Entladen des Speichers (06.05.2016)

Beginn/Ende der Messfahrt (ausgewerteter Zeitraum)	06.05.16, 9:58 Uhr bis 13.14 Uhr	
Messdauer	min	195
Abgeführte Wärmemenge (kumuliert)	MJ	72,256
	kWh	20,071
Mittlerer Wärmeträgerstrom	kg/s	0,1935
	l/min	11,729
Volumetrische Speicherdichte*	kWh/m <sup>3</sup>	82,97
	kJ/l	298,68
Mittlere thermische Leistung im Auswertezentrum	kW	6,15
Mittlere volumetrische Leistungsdichte*	kW/m <sup>3</sup>	25,42
Mittlere logarithmische Temperaturdifferenz** für die Wärmeübertragung im Speicher	K	28,80

Grafische Darstellung der Vorlauf-, Rücklauf- und der Kerntemperatur (= PCM-Temperatur):



### Kommentare zur Entladung:

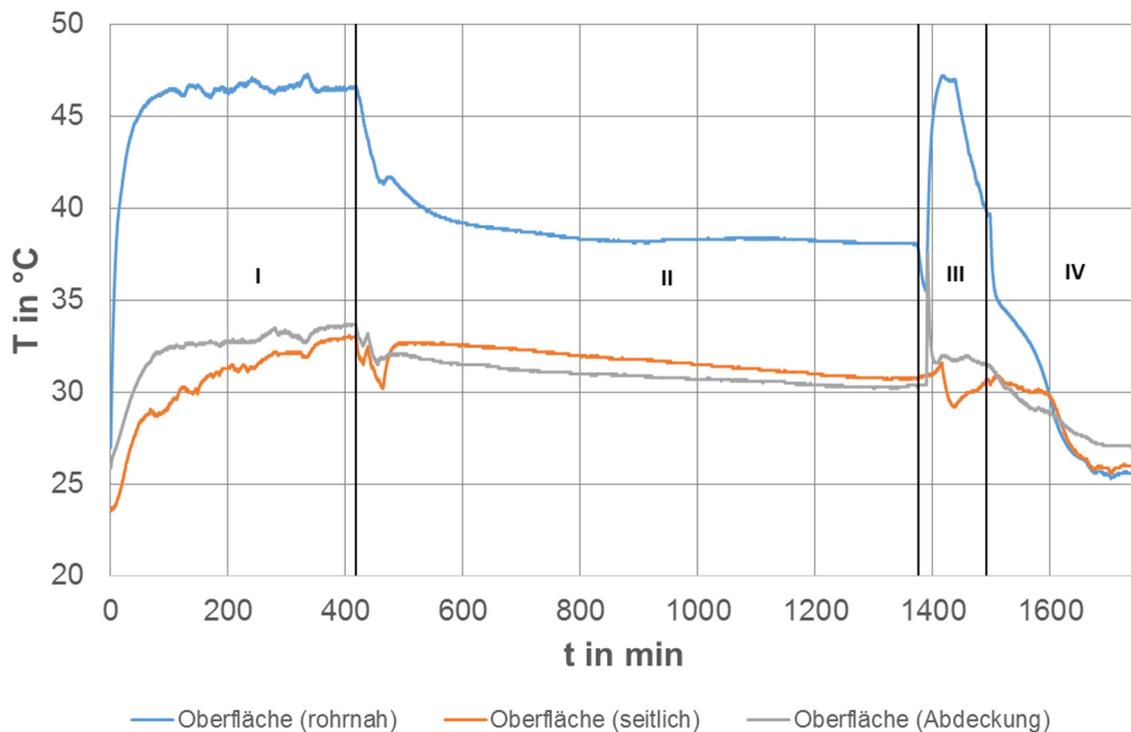
- Die Vorlauftemperatur kann an der Anlage leider nicht konstant eingestellt werden, dazu ist die Leistung des Speichers während des Entladens zu hoch.
- Dauer des Erstarrungsprozesses (im Bereich des Temperatursensors) etwa 60 min → deutlich schneller aufgrund einer größeren Temperaturdifferenz im Speicher
- Speicherkapazität etwas geringer (20 kWh) → etwas geringerer Temperaturbereich des PCM (Ende Beladung bei etwa 90 °C, Start Entladung bei etwa 85 °C)

### Kommentar bezüglich der Speicherverluste:

- Die gemessene PCM-Temperatur betrug nach Abschluss des Beladens am 04.05.2016 um 13:55 Uhr 90,63 °C. Am 06.05.2016 wurden um 06:30 Uhr 75,83 °C gemessen (nach etwa 40,5 Stunden Standzeit).

**Oberflächentemperaturmessung (Speicheraußenwand):**

- Messwerte von drei Oberflächentemperaturfühlern (Thermoelemente NiCr-Ni), aufgebracht an den Speicheraußenwandungen
- Positionierung der Fühler
  - 1x obere Abdeckung (flächenzentriert)
  - 1x Seitenwand zwischen Vor- und Rücklaufstutzen
  - 1x Seitenwand auf der gegenüber Vor- und Rücklaufstutzen (flächenzentriert)
- Bereich I – Beladung mit Vorlauftemperatur 95 °C
- Bereich II – Stillstand
- Bereich III – Nachladung mit Vorlauftemperatur 95 °C
- Bereich IV – Entladung mit Vorlauftemperatur von ca. 20 °C



Es treten lediglich im Bereich der oberen Abdeckung des Speichers höhere Oberflächentemperaturen auf, die während des Stillstands (Bereitschaftsphase) schnell absinken, so dass größere Wärmeverluste nicht zu erwarten sind.

**Druckverlustmessung:**

Der angegebene Gesamtdruck und der Differenzdruck (Druckverlust) beziehen sich auf die Durchströmung des Wärmespeichers mit Wasser bei  $T \approx 25 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Die Messung erfolgt mit piezoelektrischen Drucksensoren.

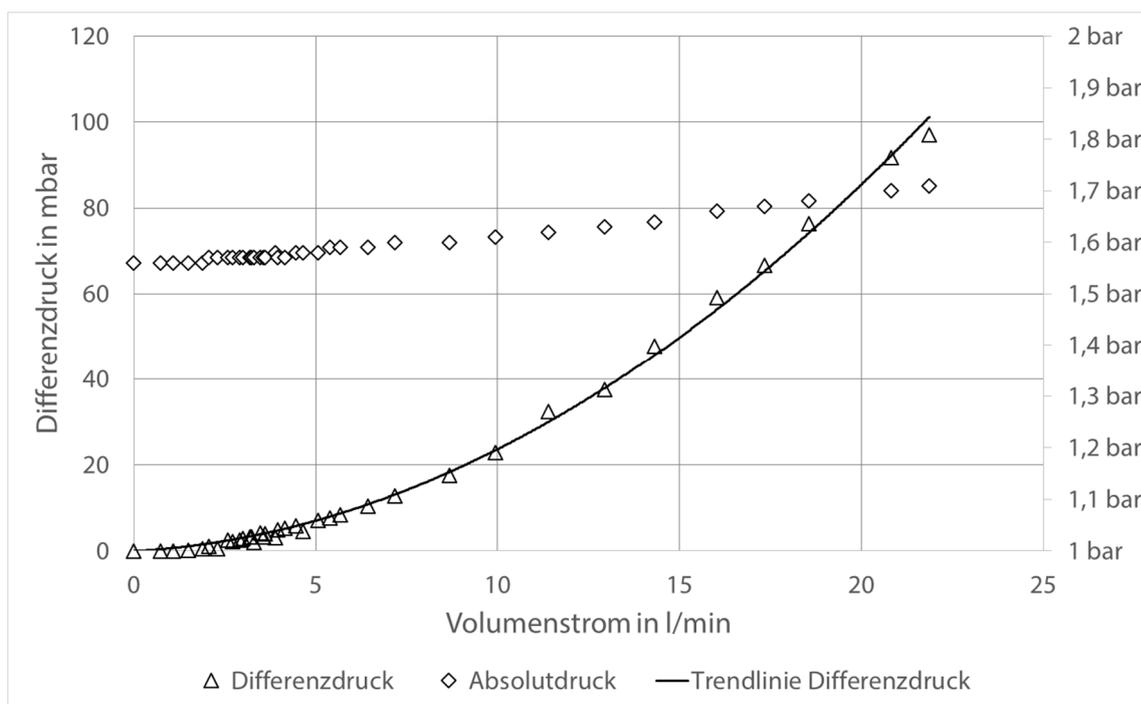


Abbildung 1: Differenz- und Absolutdruck in Abhängigkeit des Volumenstromes (22 kWh-Speicher)

Für den Differenzdruck bzw. Druckverlust kann nachfolgende quadratische Ausgleichsfunktion innerhalb des gemessenen Volumenstrombereiches angewendet werden:

$$\frac{\Delta p}{\text{mbar}} = 0,1906 \left( \frac{\dot{V}}{\text{l/min}} \right)^2 + 0,4599 \frac{\dot{V}}{\text{l/min}}$$

*Jens Meinert*

Prof. Dr.-Ing. Jens Meinert

Zittau, den 30.05.2016