

Inhaltsverzeichnis

| | |
|--|------------|
| Vorwort des Herausgebers | III |
| Vorwort des Autors | IV |
| Kurzfassung | V |
| Abstract | VI |
| Nomenklatur | XI |
| 1 Einleitung..... | 1 |
| 2 Stand der Forschung und Entwicklung | 3 |
| 2.1 Thermische Energiespeicherung | 3 |
| 2.2 Thermische Festbettsspeicher..... | 4 |
| 2.2.1 Arten und Anwendungen von thermischen Festbettsspeichern..... | 5 |
| 2.2.2 Berechnungsmethoden für thermische Festbettsspeicher | 6 |
| 2.3 Thermische Speicher in Kombination mit einem ORC | 7 |
| 2.4 Exergetische Bewertung | 10 |
| 2.4.1 Exergetische Bewertungsmethoden | 11 |
| 2.4.2 Exergetische Bewertung von thermischen Speichern | 16 |
| 3 Zielsetzung und Aufbau der Arbeit | 23 |
| 4 Entwicklung eines exergetischen Bewertungsverfahrens für TES in Energiesystemen | 25 |
| 4.1 Beschreibung der auftretenden Exergievernichtungen und Exergieverluste | 25 |
| 4.2 Einfluss physikalischer Aspekte | 29 |
| 4.3 Wechselwirkungen im System..... | 31 |
| 4.4 Vergleich mit alternativen Bewertungsmethoden..... | 33 |
| 5 Aufbau der Simulationsmodelle | 35 |
| 5.1 Modell des thermischen Festbettsspeichers..... | 36 |
| 5.1.1 Beschreibende Erhaltungsgleichungen und deren Diskretisierung..... | 38 |
| 5.1.2 Berechnung des effektiven Wärmeübergangskoeffizienten zwischen Partikeln und Fluid..... | 41 |
| 5.1.3 Berechnung des Druckverlustes im Festbett | 43 |
| 5.1.4 Berechnung der effektiven Wärmeleitfähigkeit des Festbetts..... | 44 |
| 5.2 Modelle der Speicherperipherie..... | 46 |
| 5.2.1 Beschreibende Gleichungen und deren Diskretisierung | 46 |

| | | |
|----------|--|-----------|
| 5.2.2 | Berechnung des Wärmeübergangskoeffizienten zwischen Rohrwand und Fluid. | 47 |
| 5.2.3 | Berechnung des Druckverlustes | 47 |
| 5.3 | Modell des ORC | 48 |
| 5.4 | Modellanpassungen zur Betrachtung physikalischer Aspekte | 49 |
| 6 | Die ORCTES-Demonstrationsanlage als Fallbeispiel | 51 |
| 6.1 | Aufbau der ORCTES-Anlage | 51 |
| 6.1.1 | Thermischer Festbetspeicher und Peripherie | 52 |
| 6.1.2 | ORC | 55 |
| 6.2 | Ermittlung der Stoffdaten | 56 |
| 6.2.1 | Stoffdaten des Speichermaterials | 56 |
| 6.2.2 | Stoffdaten der Wärmedämmung | 60 |
| 6.3 | Rand- und Startbedingungen | 61 |
| 6.3.1 | Versuchsreihen an der ORCTES-Demonstrationsanlage | 61 |
| 6.3.2 | Validierungsrechnungen | 62 |
| 6.3.3 | Netzunabhängigkeitsanalyse und Einschwingverhalten | 64 |
| 6.3.4 | Variationsrechnungen | 65 |
| 6.3.5 | Sensitivitätsanalyse | 66 |
| 6.3.6 | Optimierungsrechnung | 68 |
| 6.4 | Berechnung der Exergie und der Wirkungsgrade | 69 |
| 7 | Ergebnisse | 71 |
| 7.1 | Experimentelle Ergebnisse der ORCTES-Demonstrationsanlage | 71 |
| 7.2 | Validierungsrechnungen | 76 |
| 7.2.1 | Validierung anhand der Ergebnisse von Allen | 76 |
| 7.2.2 | Validierung anhand von Ergebnissen der Versuchsanlage der enolcon GmbH | 76 |
| 7.2.3 | Validierung anhand der Ergebnisse der ORCTES-Demonstrationsanlage | 79 |
| 7.3 | Netzunabhängigkeitsanalyse und Einschwingverhalten des numerischen Modells. | 83 |
| 7.4 | Variationsrechnungen | 84 |
| 7.4.1 | Einfluss der Variationsparameter auf die energetischen Wirkungsgrade | 84 |
| 7.4.2 | Einfluss der Variationsparameter auf die exergetischen Wirkungsgrade | 88 |
| 7.4.3 | Einfluss physikalischer Aspekte auf den exergetischen Wirkungsgrad in Abhängigkeit der Variationsparameter | 92 |
| 7.5 | Sensitivitätsanalyse | 102 |
| 7.6 | Optimierungsrechnung | 105 |

| | |
|--|------------|
| 8 Empfehlung für die Auslegung und Bewertung von thermischen Speichern in Energiesystemen | 111 |
| 8.1 Demonstrationsanlage des Fallbeispiels | 111 |
| 8.2 Kombination aus thermischem Festbettpeicher und ORC | 111 |
| 8.3 Bewertungsverfahren | 113 |
| 9 Zusammenfassung und Ausblick..... | 117 |
| 10 Summary and outlook | 123 |
| 11 Literaturverzeichnis | 129 |
| Anhang A..... | 151 |
| Anhang B..... | 153 |
| Anhang C..... | 154 |