

Studien- und Diplomarbeiten 2011

Christian Dorer: Numerische Untersuchungen zur Wärmeübertragung im System Tunnelluft – Bauwerk – Gebirge

Anastasia Hilnicenko: Berechnen von energetischen Gebäudekennwerten

Michael Jaumann: Bewertung des Endenergiebedarfs einer Luft / Wasser - Wärmepumpe mit Fußbodenheizung und Heizkörper

Katharina Kay: Untersuchung zum Einfluss von Betriebsunterbrechungen von HLK-Anlagen auf Büroräume

Stefanie Lux: Ausarbeitung einer Strategie für die CO₂-Neutralität eines internationalen Ingenieurunternehmens

Sebastian Petretschek: Green Buildings in China Indices and ways to improve energy-efficiency in Buildings

Sebastian Petretschek: Development of innovative and sustainable energy concepts for high-rise commercial buildings in China

Moritz Reininger: Erarbeitung von Lösungsansätzen zur Einhaltung eines maximalen ökologischen Fußabdrucks für Büroimmobilien

Dieter Schell: Vergleich der Temperaturschichtung und der Oberflächentemperaturen eines Typraums mit dem einfachen TRNSYS - Raummodell und dem detailliertem Raummodell TRNSYS 17-3D

Michael Wnuk: Beitrag zu einem Expertensystem zur Betriebsoptimierung für die Teilbereiche Kühlung, MSR-Technik und Beleuchtung

Jingzhu Zhang: Berechnen von energetischen Gebäudekennwerten - Ermittlung eines repräsentativen Nutzungsprofils für Wohngebäude -

OTTO F. SCHARR-PREIS FÜR ENERGIETECHNIK 2011



Bei der Diplomübergabe der Maschinenbau-Fakultäten der Universität Stuttgart erhielt im Juni 2011

Klaus Klimke

den Otto.-F.-Scharrpreis für Energietechnik, der mit 2000 Euro dotiert war. Seine Diplomarbeit, die er an unserem Institut schrieb, befasste sich mit dem „Einfluss der Witterung und der Betriebsstrategie auf die Jahresarbeitszahl von Luft-/Wasser-Wärmepumpen.“

Seit Januar 2011 ist er wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Bauklimatik und Haustechnik der Technischen Universität München. Hier beschäftigt er sich mit den Themen der Energieeffizienz bei Maximierung der Behaglichkeit von Gebäuden sowie dem

Lastmanagementverhalten von Gebäuden und Haustechnik. Seine Tätigkeitsschwerpunkte liegen hierbei im Bereich der Gebäude-, Anlagen- und Tageslichtsimulation.

DISSERTATIONEN UND FORSCHUNGSBERICHTE

Schmidt, M., Rott, S.: Schichtenspeicher mit variabler Entnahme der Fluidtemperatur. Universität Stuttgart 2011. IGE-14-11

Schmidt, M., Arold, J.: Expertensystem zur Identifikation und Definition niedrig-investiver Maßnahmen zur Senkung des Energieumsatzes und des Schadstoffausstoßes im Gebäudebestand – EXECO2. Universität Stuttgart 2011. IGE-15-11

PERSONALIA

Ab Mai 2012 ist Tobias Henzler als Doktorand der neu geschaffenen Graduierten- und Forschungsschule „Effiziente Energienutzung“ Stuttgart (GREES) tätig. Er bearbeitet das Promotionsthema „Adaptive Gebäudehüllen und ihr Potenzial zur Energieeinsparung in Gebäuden“ am IGE.

Gesamtaufwandszahl von Wärmepumpen mit unterschiedlichen Nutzenübergabesystemen

Jörg Arold

Einleitung

Aufgrund der Preisschwankungen bei fossilen Energieträgern und der öffentlichen Diskussion über Klimaschutz und CO₂-Einsparung sucht der Endverbraucher verstärkt nach Alternativen zu fossil befeuerten Wärmeerzeugern. Als eine

vergleichsweise günstigen Investitionskosten bei Luft/Wasser-Wärmepumpen im Vergleich zu Wasser/Wasser-Wärmepumpen zurückzuführen.

Energieeffizienz von Wärmepumpen in der Praxis

Um die real in der Praxis erreich-

zungen tendenziell eine höhere JAZ haben als die Anlagen mit Heizkörpern. Dies lässt sich auch recht einfach über die geringere Vorlauftemperatur der Fußbodenheizung erklären. Die Feldtests liefern für die Bewertung mittels der JAZ sehr interessante Ergebnisse. Für eine Bewertung von Heizungsanlagen nach ihrem End-/ bzw. Primärenergieverbrauch sind Feldtests jedoch ungeeignet, da es nahezu unmöglich ist, Wohngebäude mit gleichen Randbedingungen bzgl. Bausubstanz, Gebäudegeometrie, Gebäudeorientierung, Witterung und Nutzerverhalten zu finden. Für einen Vergleich verschiedener Heizungssysteme (Nutzenübergabe, Verteilung und Erzeugung) wäre dies allerdings notwendig. Aus diesem Grund ist für diese Betrachtung nur der Vergleich des rechnerischen Energiebedarfs sinnvoll, in diesem Fall wird eine gekoppelte Gebäude- und Anlagensimulation durchgeführt.

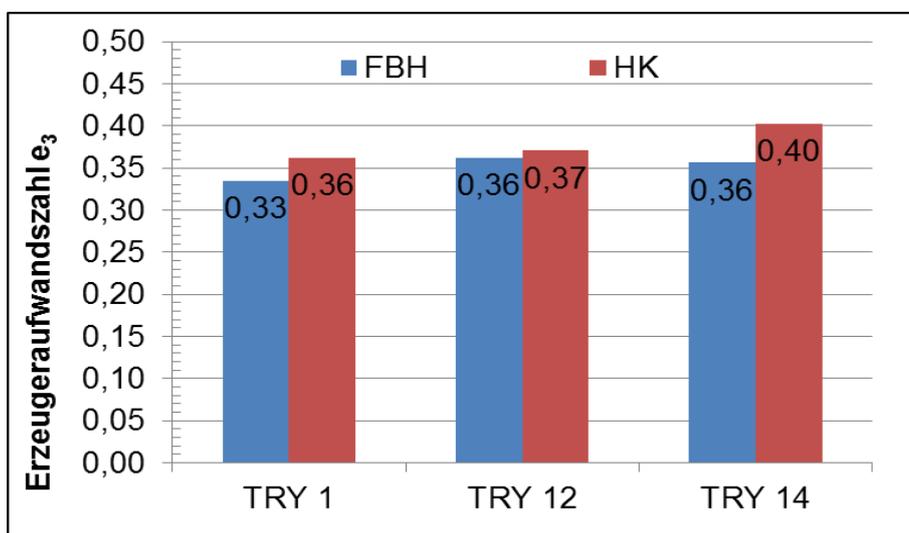


Bild 1: Erzeugeraufwandszahl der betrachteten Varianten

mögliche Alternative wird hier die -meist strombetriebene - Wärmepumpe angesehen.

In den letzten Jahren sind die Verkaufszahlen für Wärmepumpen stark gestiegen, was unter anderem auf die finanzielle Förderung seitens der Politik (z.B. durch das Marktanreizprogramm (MAP) der Bundesanstalt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle BAFA).

Während im Jahr 2005 noch ca. 20.000 Wärmepumpen verkauft wurden, betrug der Absatz 2009 schon ca. 55.000 Einheiten. Der prozentuale Anteil der Luft/Wasser-Wärmepumpen an den insgesamt verkauften Wärmepumpen ist auf fast 50% gestiegen. Dies ist auf die

ten Jahresarbeitszahlen zu ermitteln, wurden bereits mehrere Feldtests durchgeführt [2]. Dabei wurden Wärmepumpenanlagen in bewohnten Gebäuden vermessen und die Jahresarbeitszahl berechnet. Die im Mittel erreichte Jahresarbeitszahl beträgt dabei für Luft/Wasser-Wärmepumpen 2,74 und für Sole/Wasser-Wärmepumpen 3,70. Die Wärmepumpenanlagen schneiden damit selbst bei einer primärenergetischen Bewertung besser ab als z.B. Heizkessel mit fossilen Energieträgern. Bei der Auswertung dieser Feldtests wird häufig darauf hingewiesen, dass die Wärmepumpenheizungen mit Fußbodenhei-

Randbedingungen der Simulationen

Als Gebäudemodell wurde ein Einfamilienhaus betrachtet, welches in zwei thermische Zonen zusammengefasst ist (Erdgeschoß, EG und Obergeschoß, OG). Die beheizte Grundfläche beträgt jeweils 80 m². Der Dämmstandard erfüllt die Anforderungen der EnEV 2007, woraus eine Normheizlast von 7,1 kW (45 W/m²) resultiert. Es wird angenommen, dass das Gebäude von einem 4-Personen-Haushalt genutzt wird.

Die Nutzenübergabe erfolgt in einer Variante mit einer Fußbodenheizung (FBH) und in einer anderen Variante mit Heizkörpern (HK). Die Wärmeerzeugung funktioniert mit einer Luft/Wasser-Wärmepumpe, an welche ein Wärmespeicher angeschlossen ist. Der Aufwand zur Trinkwarmwasserbereitung wurde nicht betrachtet.

Klimadaten

Die benötigten Klimadaten, insbesondere die Außenlufttemperatur, die Außenluftfeuchte und die Solarstrahlung werden den Testreferenzjahren (TRY) des Deutschen Wetterdienstes (DWD) entnommen. Betrachtet werden die Klimadaten der TRY-Regionen 1 „Nordsee“, 12 „Oberrheingraben“ und 14 „Schwäbische Alb“. Hierbei handelt es sich um recht unter-

Deutschland vorkommenden Klimas gut abgedeckt.

Auslegung der Wärmepumpe und des Wärmespeichers

Die Wärmepumpe wurde so gewählt, dass sie bei A-7/W35 (Außenlufttemperatur $-7\text{ }^{\circ}\text{C}$ und Vorlauftemperatur $35\text{ }^{\circ}\text{C}$) die Normheizlast des Gebäudes decken kann.

Die Auslegung des Wärmespeichers erfolgte in Abhängigkeit der Normheizlast und einer möglichen Sperrzeit des Energieversorgers, für die 90 Minuten angesetzt wurden. Daraus ergibt sich eine Speichergröße von rund 950 l.

Der Speicher besitzt einen integrierten Heizstab, der die Wärmepumpe bei Temperaturen unterhalb des Bivalenzpunktes von $\vartheta_{Bi} = -8\text{ }^{\circ}\text{C}$ unterstützt. Der Bivalenz-

von Wärmepumpen in Kombination mit FBH höher ist als mit HK. Bild 1 zeigt die Erzeugeraufwandszahl e_3 , also den Reziprok Wert der JAZ. Je nach verwendeten Klimadaten ist e_3 um 0,01-0,04 höher. Für die JAZ bedeutet das, dass sie um bis zu 13% höher ist. Der Unterschied fällt also recht gering aus. Zwar ist die Auslegungsvorlauftemperatur der Heizkörper um 10 K höher als bei der FBH, aufgrund der steileren Heizkurve bei den HK fällt der Unterschied im Jahresmittel jedoch kleiner aus (ca. 6 K).

Bei der Gesamtaufwandszahl, welche die Aufwände für die Nutzenübergabe, Verteilung, Speicherung und Erzeugung berücksichtigt, sind die Unterschiede deutlicher, und fallen zugunsten der HK aus. Die Aufwandszahl $e_{1,2,3}$ liegt bei den Varianten mit HK 0,07 (im Falle des TRY 1 und 12) bzw. 0,05 (TRY 14) unter den Varianten mit FBH. Die Ergebnisse zeigen, dass der Mehraufwand für die Nutzenübergabe der FBH nicht durch die bessere Erzeugeraufwandszahl kompensiert wird.

Literatur

- [1] Bundesverband Wärmepumpe BWP, Pressemitteilung
- [2] Miara, M.; Effizienz von Wärmepumpensystemen, Vortrag im Rahmen der Vorlesung Sonderprobleme der HLK, Stuttgart, 23.11.2010
- [3] Jaumann, M.; Bewertung des Endenergiebedarfs einer Luft/Wasser-Wärmepumpe mit Fußbodenheizung und Heizkörper, unveröffentlichte Diplomarbeit, IGE 7-D-489, Universität Stuttgart, 2011

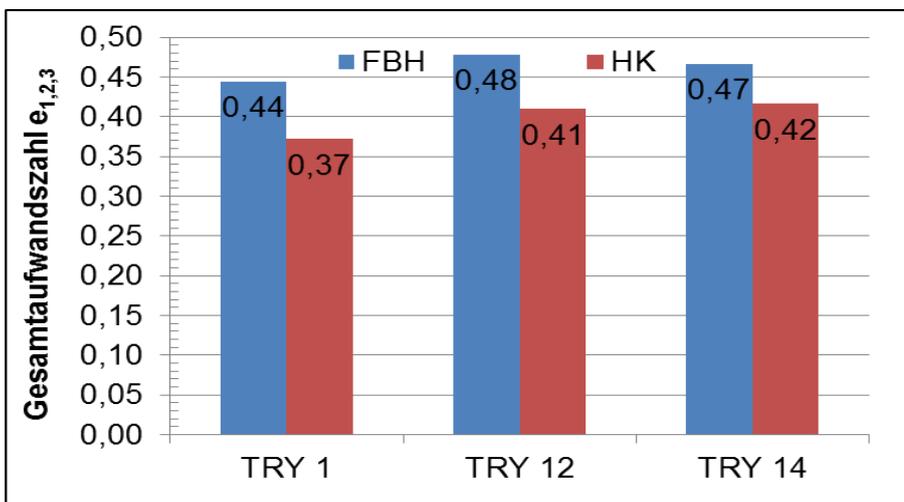


Bild 2: Gesamtaufwandszahl der betrachteten Varianten

schiedliche Klimaregionen. Das TRY 1 ist maritim geprägt, das TRY 12 ist kontinental und mild – gemäßigt. Das TRY 14 ist von den Höhenlagen der Schwäbischen Alb geprägt und damit recht kalt. Durch diese Auswahl der TRY-Daten wird die Bandbreite des in

punkt wurde anhand der Leistungskennlinie der Wärmepumpe ausgewählt. Der Betrieb erfolgt bivalent-parallel.

Ergebnisse und Fazit

Die Auswertung der Ergebnisse bestätigt tendenziell, dass die JAZ

Schichtenspeicher mit variabler Entnahme nach der Fluidtemperatur

Silke Rott

Einleitung

Sowohl die steigenden Energiekosten als auch die Verknappung der Rohstoffressourcen sind zwingende Gründe für eine Verbesserung der Anlagentechnik im Gebäudesektor. Eine der Hauptaufgaben liegt dabei in der Speicherung von Energie, unter anderem in Form von Wärmespeichern. Diese sollen die Energie zu Zeiten, in denen sie nicht benötigt wird, speichern und bei Bedarf wieder zur Verfügung stellen. Somit kann eine an den Bedarf angepasste und energiesparende Nutzenübergabe sowie ein unabhängiger Betrieb der Erzeugung realisiert werden. Warmwasserspeicher werden häufig in Einfamilienhäusern in Kombination mit Solarthermie zur Bereitstellung von Raumwärme und Warmwasser eingesetzt, sie finden ebenfalls Verwendung bei industriellen Anwendungen. Ein Anwendungsgebiet von Wärmespeichern ist beispielsweise die Bereitstellung von Warmwasser in Wäschereien. In diesen wird Warmwasser mit unterschiedlichen Temperaturniveaus für unterschiedliche Waschgänge benötigt. Diese Anforderungen nach Wasser mit unterschiedlichen Temperaturen können durch Schichtenspeicher realisiert werden. Da wärmeres Wasser eine geringere Dichte aufweist als kälteres, steigt das wärmere Wasser im Speicher nach oben, so dass sich in einem Schichtenspeicher eine Temperaturschichtung über die Höhe einstellt. Die Einschichtung des Speicherfluids muss dabei impulsarm erfolgen, um die Temperaturschichtung nicht zu zerstören.

Motivation

Stand der Technik sind Schichtenspeicher mit mehreren, meist vier an der Zahl, starren Entnahmestellen, die äquidistant über der Speicherhöhe angeordnet sind, um Wasser mit unterschiedlichen Temperaturen aus dem Speicher

über die gesamte Höhe des Speichers geführt werden, um das Speicherfluid mit der gewünschten Temperatur entnehmen zu können. Für den Abgleich von Ist- und Solltemperatur an der Entnahmeposition und die gekoppelte Fahrbewegung wird eine entsprechende

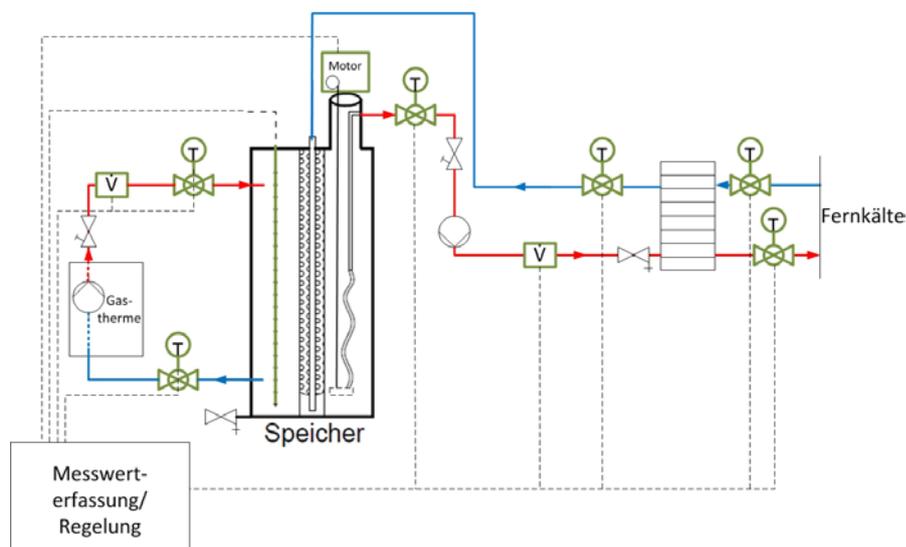


Bild 1: Prüfstands Aufbau

entnehmen zu können. Da in der Regel das entnommene Fluid nicht exakt die gewünschte Solltemperatur aufweist, wird außerhalb des Speichers ein Mischventil installiert, so dass die gewünschte Temperatur durch Beimischung eines kälteren Fluids erreicht wird. Die vorhandene Wärmeenergie kann folglich nicht optimal genutzt werden, es treten Verluste auf. Um die Temperaturdifferenz zwischen Ist- und Solltemperatur des Speicherfluids an dem Entnahmekopf zu minimieren, wurde anhand dieses Projektes in Zusammenarbeit mit der Kopf AG eine variable Entnahmeverrichtung bezüglich der Fluidtemperatur entwickelt. Dazu muss der Entnahmekopf variabel

Regelung entwickelt. Der Aufbau des Prüfstandes ist in Bild 1 dargestellt. Der benutzte Speicher besitzt ein Volumen von 1000 Litern und eine Höhe von zwei Metern.

Realisierung der Entnahmeverrichtung

Die Konstruktion der Entnahmeverrichtung sollte möglichst simpel erfolgen. Weitere Anforderungen waren eine geringe Störanfälligkeit sowie ein geringer Verschleiß. Um eine Wartung des Motors so einfach wie möglich durchführen zu können, soll der Antriebsmotor außerhalb des Speichers montiert werden, da das Öffnen des unter Druck stehenden Speichers einen vergleichsweise hohen Aufwand

erfordert. Ein weiteres wichtiges Kriterium bezüglich der Konstruktion war, dass die Fahrbewegung des Entnahmekopfes und die damit verbundene Impulseinbringung einen möglichst geringen Einfluss auf die Temperaturschichtung ausüben.

Es wurden unterschiedliche Konstruktionen miteinander verglichen, realisiert wurde ein Konzept, bei dem ein starres Rohr von oben bis zur halben Höhe in den Speicher eingesetzt wird, an dessen Ende sich ein flexibler Panzerschlauch befindet, siehe Bild 2. Am Ende des Panzerschlauchs befindet sich der Kopf mit einem horizontalen ringförmigen Entnahmespalt, der über ein Stahlseil mit einem Gewinde verbunden ist, so dass es über den Motor auf- und abgerollt werden kann. Der Entnahmekopf kann somit das Fluid in jeder Höhe des Speichers entnehmen.

Im Speicher wurde eine Lanze mit 19 Thermoelementen im Abstand von zehn Zentimetern installiert, um die Temperaturschichtung im Speicher zu messen.

Durchgeführte Messungen

Anfänglich wurden verschiedene Langzeitmessungen bezüglich des allgemeinen Schichtungsverhaltens von Schichtenspeichern durchgeführt. Für diese Messungen wurden verschiedene Temperaturzustände im Speicher erzeugt, vor Messbeginn wurde die Be- und Entladung ausgeschaltet, um lediglich den Einfluss der Dichtedifferenzen auf die Schichtung beschreiben zu können. Anschließend wurden Messungen während verschiedenen Entladezyklen mit der entwickelten Entnahmeverrichtung und aktiver Regelung untersucht. Im Folgenden soll kurz auf ein paar Messergebnisse eingegangen werden.

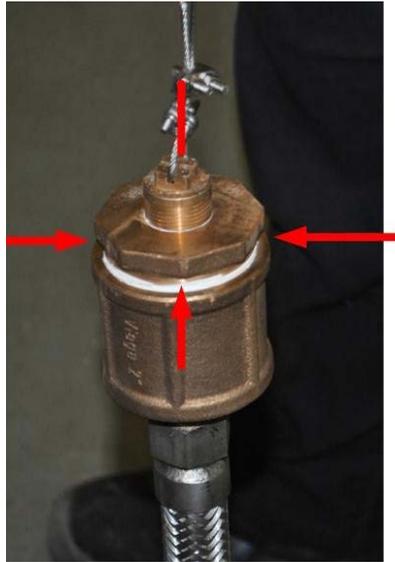


Bild 2: Realisierter Entnahmekopf

Auswertung der Messergebnisse

Die Messungen zeigen, dass sich eine Temperaturschichtung innerhalb des Speichers einstellt. Untersuchungen bezüglich des Langzeitverhaltens von unterschiedlichen Temperaturniveaus im Speicher ($T > 65^\circ\text{C}$ in der oberen Hälfte und $T < 40^\circ\text{C}$ in der unteren Hälfte des Speichers) sind in Bild 3 dargestellt. Es ist zu sehen, dass sich auch nach vielen Stunden im Speicher kein konstanter Temperaturgradient über der Höhe ausbildet. Die Wassermassenanteile von zwei geforderten Temperaturen können somit stark variieren.

Weitere Messungen im Hinblick auf die geregelte Entnahmeverrichtung ergaben, dass eine variable Entnahme entsprechend der gewünschten Solltemperatur möglich ist. Bei Veränderungen der gewünschten Temperatur wechselte der Entnahmekopf seine Position bis die reale Temperatur am Entnahmekopf der Solltemperatur entspricht. Bei geringeren Beladetemperaturen stellt sich für den Entnahmekopf eine Aufwärtsbewegung im Speicher im Wechsel mit Stillstandsperioden ein, da die gewünschte Temperatur abgesaugt

wird und der Entnahmekopf somit seine Position nach oben verändern muss, um wiederum Wasser mit der gewünschten Temperatur entnehmen zu können.

Für die tatsächliche Anwendung eines Schichtenspeichers mit variabler Entnahme entsprechend der gewünschten Fluidtemperatur ergibt sich aus den Ergebnissen,

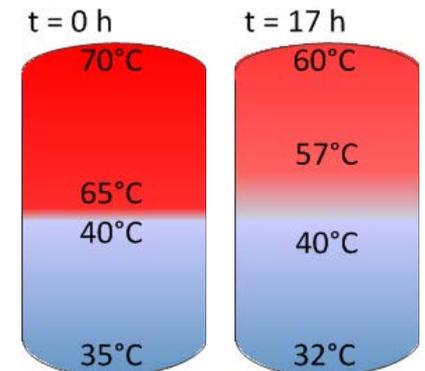


Bild 3: Temperaturschichtung im Speicher zu Beginn der Messung und nach 17 h

dass sich eine Regelung realisieren lässt, durch die das Speicherfluid mit der entsprechenden Solltemperatur entnommen werden kann, indessen aber Probleme auftreten, wenn die gewünschte Temperatur nur in sehr geringen Mengen im Speicher vorhanden ist. Daraus wird ersichtlich, dass auch für den Schichtenspeicher mit variabler Entnahme nicht auf das Mischventil verzichtet werden kann, um große Mengen einer konstanten Temperatur bereitzustellen. Die Energieeinsparungen fallen somit deutlich geringer aus als erhofft.

Literatur

- [1] Göppert, S.; Urbanek, T.: Be- und Entladesysteme für thermische Schichtenspeicher, Chemie Ingenieurtechnik, 2008
- [2] Lohse, R.; Göppert, S.; et al: Planungsleitfaden zur geschichteten Be- und Entladung thermischer Speicher in solarthermischen Anlagen, TU Chemnitz, 2009.