

ENERGIEEINSPARUNG DURCH EINBINDEN VON LATENTWÄRMESPEICHERN IN INDUSTRIELLE PROZESSE MITTELS MEHRPERIODISCHER WÄRMEINTEGRATION

Simon MÖHREN¹, Jörg MEYER¹, Hartmut KRAUSE²

Einleitung

Die Industrie verursacht knapp 28 % des Endenergiebedarfs in Deutschland [1]. Mehr als 73 % des Endenergiebedarfs werden zur Wärmebereitstellung benötigt und werden bislang überwiegend durch fossile Energieträger gedeckt. Zur Erreichung der nationalen und internationalen Klimaschutzziele ist eine systematische und schnelle Dekarbonisierung der industriellen Wärmeversorgung notwendig.

Neben dem Einsatz Erneuerbarer Energien und der Elektrifizierung wird die Steigerung der Energieeffizienz ein wirksames und wichtiges Instrument zur Verringerung von Treibhausgasemissionen darstellen [2]. Die Methode der Wärmeintegration kann durch effiziente Nutzung der verfügbaren Wärmeströme zu einer signifikanten Reduzierung von Treibhausgasemissionen und Betriebskosten beitragen [3].

Durch Einbindung von thermischen Energiespeichern (TES) können weitere Einsparungen erzielt werden. TES ermöglichen eine zeitliche Entkopplung von Wärmebedarf und Wärmeangebot. Zur Berücksichtigung der zeitlichen Komponente können Methoden der mehrperiodischen Wärmeintegration genutzt werden [4]. Thermische Energiespeicher werden allgemein in sensible, latente und thermochemische Energiespeicher unterschieden [5]. Die Einbindung von sensiblen thermischen Energiespeichern (STES) in die mehrperiodische Wärmeintegration wurde bereits durchgeführt und anhand von Fallbeispielen untersucht [6]. Bislang existieren keine Ansätze zur Einbindung von latenten TES in industrielle Prozesse mit der Methode der Wärmeintegration.

Methodik

In dieser Arbeit wird ein Ansatz zur Einbindung von latenten thermischen Energiespeichern (LTES) auf Basis des Modells zur mehrperiodischen Wärmeintegration nach [4] vorgestellt. LTES nutzen zusätzlich zur sensiblen Wärme auch die latente Wärme des Phasenübergangs zur Speicherung von thermischer Energie. Zur Modellierung des sensiblen Anteils des LTES wird das Modell zur Einbindung von sensiblen thermischen Energiespeichern [6] verwendet. Dieser Ansatz wird um die Phasenwechselenthalpie ΔH_{PC} erweitert. Der Phasenwechsel findet bei der Phasenwechseltemperatur T_{PC} statt. Die gespeicherte Wärme kann für $T_1 < T_{PC} < T_2$ wie folgt berechnet werden [5].

$$Q_{LTES} = \int_{T_1}^{T_{PC}} m \cdot c_p \cdot dT + \Delta H_{PC} + \int_{T_{PC}}^{T_2} m \cdot c_p \cdot dT \quad (1)$$

Die Nebenbedingungen des Optimierungsproblems müssen für die Berücksichtigung des Phasenübergangs angepasst werden. Zur Überprüfung, ob ein Wärmetransport in den oder aus dem Speicher möglich ist, müssen die in [6] beschriebenen Temperaturbedingungen erfüllt sein. Die in

¹ Hochschule Niederrhein, SWK E² - Institut für Energietechnik und Energiemanagement, Reinarzstr. 49, 47805 Krefeld, Germany, +49 2151822 6684, simon.moehren@hs-niederrhein.de, www.hs-niederrhein.de/swk-e2

² TU Bergakademie Freiberg, Institut für Wärmetechnik und Thermodynamik, Gustav-Zeuner-Straße 7, 09599 Freiberg, Germany, +49 373139 3940, Hartmut.Krause@iwtt.tu-freiberg.de, www.gwa.tu-freiberg.de

diesen Temperaturbedingungen enthaltene Temperatur des Speichermediums T_{TES} ist jedoch zum Zeitpunkt der Problemformulierung unbekannt, daher wird diese als variable im Optimierungsmodell formuliert und erst während des Lösens des Optimierungsproblems bestimmt. Die Temperaturbedingungen werden daher mittels binärvariablen und big-M Formulierungen im Optimierungsproblem berücksichtigt [6].

Die Berechnung von T_{TES} muss für LTES angepasst werden. Hierzu wird diese als Funktion ($T_{TES} = f(Q_{TES})$) von der gespeicherten Energie Q formuliert und die maximal speicherbare Energie nach Gleichung (1) vorgegeben. Der Zusammenhang zwischen Temperatur und gespeicherter Energie ist in

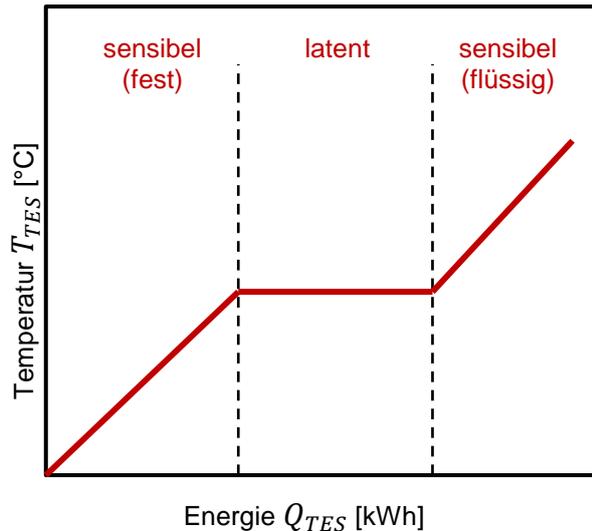


Abbildung 1: Schematische Darstellung eines LTES im Q-T-Diagramm

Ergebnisse

Wie schon beim Einsatz von STES ist auch bei LTES die Einsparung durch den Speicher stark abhängig von den betrieblichen Randbedingungen. Die Einbindung eines Speichers wird allgemein sinnvoll, wenn bei der mehrperiodischen Betrachtung einer Periode mit hohem Wärmebedarf aber niedrigem Abwärmeaufkommen eine Periode mit hohem Abwärmeaufkommen aber niedrigem Wärmebedarf vorgelagert ist. Ein hohes Potenzial für die Einbindung von TES ist daher besonders bei diskontinuierlichen Batch Prozessen zu erwarten.

Die Funktionsweise des neuen Ansatzes wird in zwei Fallbeispielen untersucht. Im ersten Fallbeispiel kann gezeigt werden, dass neben STES auch LTES erfolgreich mit der Methode der Wärmeintegration berücksichtigt werden können. Im zweiten Fallbeispiel werden die Energieeinsparungen durch den Einsatz eines LTES berechnet und mit den Einsparungen eines STES und eines Systems ohne TES verglichen. Durch den Phasenwechsel wird die speicherbare Energie erhöht. Dies kann bei geeigneten betrieblichen Randbedingungen das Potenzial zur Reduzierung von Energiebedarf und Treibhausgasemissionen erhöhen.

Referenzen

- [1] BMWI, „Energiedaten - Nationale und Internationale Entwicklung,“ Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, Berlin, 2019
- [2] Agora Energiewende; Stiftung 2°, Roland Berger, „Klimaneutralität 2050: Was die Industrie jetzt von der Politik braucht,“ 2021
- [3] S. Möhren, J. Meyer und H. Krause, „Wege zur klimaneutralen und kosteneffizienten Wärme- und Kälteversorgung von Industriestandorten,“ in 16. Symposium Energieinnovation, Graz, 2020.
- [4] S. Möhren, J. Meyer, H. Krause und L. Saars, „A multiperiod approach for waste heat and renewable energy integration of industrial sites,“ Renewable and Sustainable Energy Reviews, Bd. 148, 2021.
- [5] M. Sterner und I. Stadler, Hrsg., Energiespeicher, Berlin: Springer-Verlag, 2017.
- [6] S. Möhren, „A Simultaneous Approach for integration of thermal energy storages in industrial processes using multiperiod heat integration,“ in 16th SDEWES Conference, Dubrovnik, 2021.