

Berechnung von Regeneratoren mit Berücksichtigung von Wärmeleitungswiderständen in den Speichermassen

*Wilfried Roetzel, Institut für Thermodynamik,
Helmut-Schmidt-Universität / Universität der Bundeswehr Hamburg, 22039 Hamburg*

*Chakkrit Na Ranong, Fakultät Verfahrenstechnik,
Technische Hochschule Nürnberg Georg Simon Ohm, 90121 Nürnberg*

Die vorliegende Arbeit bezieht sich auf das Berechnungsverfahren für Regeneratoren nach Hausen [1] im VDI-Wärmeatlas [2]. Es wird ein neues konsistentes Verfahren entwickelt zur Berücksichtigung von Wärmeleitungswiderständen in den Speichermassen. Das Verfahren basiert auf einem Temperaturschwingungsmodell [3] für harmonische Temperaturschwingungen an und in plattenförmigen, zylindrischen oder kugelförmigen Festkörpern endlicher Wärmeleitfähigkeit. Der reale Zusammenhang zwischen einer Temperaturschwingung und der resultierenden Wärmestromdichte an der Oberfläche wird durch einen Modellkörper gleicher äußerer Gestalt und unendlicher Wärmeleitfähigkeit simuliert. An der Außenfläche wird ein innerer Wärmeübergangskoeffizient angenommen. Das Volumen des Modellkörpers \tilde{V} muss gegenüber dem realen Volumen V verkleinert werden $\tilde{V} < V$, um für eine bestimmte Frequenz einen konstanten inneren Wärmeübergangskoeffizienten zu erhalten. Dieses Schwingungsmodell ist für Regeneratoren besonders geeignet, da bei der analytischen oder numerischen Berechnung des Regeneratorprozesses von einer idealisierten Speichermasse ausgegangen wird, die in Wärmestromrichtung eine unendliche Wärmeleitfähigkeit besitzt und in axialer Richtung keine Wärme leitet.

Zur Anwendung des Modells auf Regeneratoren müssen die zeitlichen Wärmestromdichteverteilungen in den Warm- und Kaltperioden berücksichtigt und geeignete Mittelwerte für den inneren Wärmeübergangskoeffizienten und den Volumen- oder Kapazitätsverkleinerungsfaktor $\tilde{V}/V = \tilde{C}_s/C_s$ gefunden werden. Wie beim Verfahren von Hausen werden die Wärmeleitungswiderstände in der Speichermasse durch einen mittleren Widerstand berücksichtigt, der zu den

Wärmeübergangswiderständen zwischen warmem und kaltem Gas und Speicheroberfläche hinzuaddiert werden muss.

Die Berechnungen nach dem neuen Modell ergeben die gleichen zusätzlichen Wärmewiderstände wie nach der Theorie von Hausen. Das im Wärmeatlas bereitgestellte Diagramm zur Ermittlung des dimensionslosen Widerstands ϕ kann weiterhin verwendet werden. Im Hauptteil der Berechnung nach Hausen und Wärmeatlas muss mit den gewonnenen, für Wärmeleitung korrigierten Wärmeübergangskoeffizienten die reduzierte Regeneratorlänge Λ und die reduzierte Periodendauer Π berechnet und daraus mit Hilfe eines Diagramms der Korrekturfaktor k/k_0 ermittelt werden, der eigentlich ein Korrekturfaktor für die logarithmische mittlere Temperaturdifferenz ist. Die Größen Λ und Π entsprechen den NTU-Werten bei Rekuperatoren. Im Nenner von Π steht definitionsgemäß die Wärmekapazität der gesamten Speichermasse.

Nach dem neuen Berechnungsmodell darf bei der Berechnung von Π jedoch nicht die gesamte Kapazität eingesetzt werden, sondern nur ein verkleinerter effektiver Wert $\tilde{C}_s < C_s$. Ohne die Korrektur der Speicherkapazität wird die Leistung des Rekuperators zu groß berechnet oder die Austauschfläche zu klein bemessen. Der Korrekturfaktor für die Speicherkapazität kann in einem Diagramm abgelesen werden oder nach Näherungsgleichungen berechnet werden.

[1] Hausen H (1976) Wärmeübertragung im Gegenstrom, Gleichstrom und Kreuzstrom. Zweite, neubearbeitete Auflage, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York

[2] Bender W (2018) Wärmeübertragung in Regeneratoren. In: VDI-Wärmeatlas, Kapitel N1, 12. Auflage, Springer Reference Technik

[3] Roetzel W, Na Ranong Ch (2018) Evaluation of temperature oscillation experiment for the determination of heat transfer coefficient and dispersive Peclet number. Archives of Thermodynamics 1: 91–110. <https://doi.org/10.1515/aoter-2018-0005>