



Jakob Petrek
Energietechnik
29.01.2021
Betreuer: Melanie Cop

Energetische Untersuchung eines Kaltdampfprozesses zur Warmwasserbereitung

Motivation

Zum Erreichen der Klimaschutzziele sind in den kommenden Jahren zwei Maßnahmen von entscheidender Bedeutung: Die Substitution fossiler Brennstoffe durch erneuerbare Energien sowie deutliche Effizienzsteigerungen bei der Energienutzung. Eine besondere Bedeutung kommt dabei dem Sektor Wärme zu. Dieser umfasst etwa 50 % des Endenergieverbrauches in Deutschland, der Anteil an erneuerbaren Energien im Sektor Wärme stagniert jedoch in den letzten zehn Jahren auf dem niedrigen Niveau von etwa 14 %. Eine effiziente Technologie zur Wärmebereitstellung ist die Wärmepumpe. Diese wird in der Regel elektrisch betrieben und erreicht Wirkungsgrade deutlich über 100 %. Möglich ist dies durch die Nutzung von Umgebungs- oder Abwärme. Im großen Sektor der Raumwärme ist die Wärmepumpe bereits eine etablierte Technologie. Der Fokus dieser Arbeit liegt aus diesem Grund auf dem nächstkleineren Sektor, der Prozesswärme. Genauer betrachtet werden dabei gewerbliche Anwendungen mit dem Wärmeträger Wasser.

Anwendungsbereiche

Zunächst wurde eine Übersicht über gewerbliche Anwendungen mit dem Wärmeträger Prozesswasser sowie die bisherige Verwendung von Wärmepumpen in den Anwendungsbereichen erstellt.

	Textilreinigung	Schwimmbad	Lebensmittelzubereitung	Geschirreinigung
Vorlauf-Temperatur	20..120 °C	15..40 °C	30..120 °C	25..100 °C
Thermische Leistung	3,5..20.000 kW	2..150 kW	0,3..21 kW	6..40 kW
Einsatz von Wärmepumpen	Nein	Ja, weit verbreitet	Nein	Ja, zur WRG
Potentielle Wärmequellen	Abluft, Abwasser	Außenluft, Geothermie	Abluft, Abwasser	Abluft, Abwasser

Die Anwendung Geschirreinigung wurde als am besten geeignete Anwendung identifiziert. Für diese erfolgte anschließend die Auslegung eines Wärmepumpen-Kreisprozesses.

Auslegung der Wärmeübertrager

Als Wärmequelle für den Verdampfer wurde die Umgebungsluft ausgewählt, ausgehend von der gewerblichen Küche als Aufstellort. Die Auslegung des Verdampfers ergab eine Verdampfungstemperatur von $\vartheta_0 = 10\text{ °C}$. Die Wärmesenke des Kondensators ist das Prozesswasser. Die Kondensationstemperatur muss aufgrund der Abhängigkeit von der Verdichtungs- und Verdichtungs-temperatur für jedes betrachtete Kältemittel einzeln iteriert werden.

Wahl des Kältemittels

Um den Ansprüchen an Sicherheit und Klimaverträglichkeit gerecht zu werden, wurden Kriterien definiert, anhand derer drei Kältemittel ausgewählt wurden: Die Kältemittel R1234yf, R1234ze(E) und R1234ze(Z). Für die drei ausgewählten Kältemittel wurde eine einfache Kreisprozessrechnung durchgeführt. Der Vergleich der Kreisprozesse führte zur Auswahl des Kältemittels R1234ze(E) für die betrachtete Anwendung.

Konzeption der Anlagenschaltung

Weiterhin wurde untersucht, ob durch Variation der Anlagenschaltung die Effizienz des Kreisprozesses verbessert werden kann.

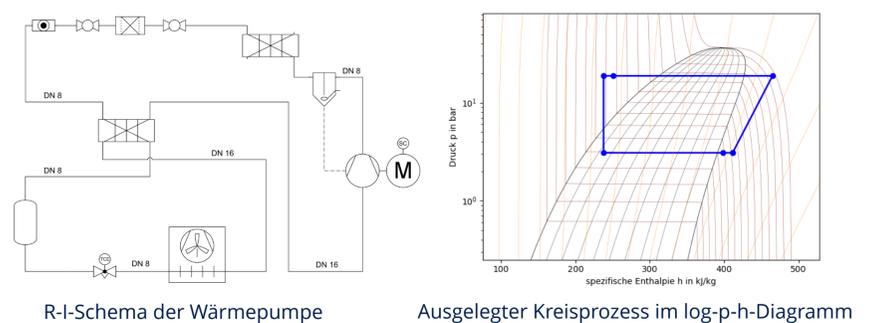
Hierfür wurde für vier unterschiedliche Anlagenschaltungen eine Kreisprozessrechnung durchgeführt. Im Ergebnis konnte nur eine Anlagenschaltung die Effizienz des Kreisprozesses steigern. Die Anlagenschaltung mit einstufiger Verdichtung und innerer Wärmeübertragung wurde deshalb der weiteren Auslegung zugrunde gelegt.

Auswahl der Komponenten

Für den ausgelegten Kreisprozess wurde ein R-I-Schema entwickelt und für folgende Komponenten ein passendes Bauteil ausgewählt: Verdichter, Kondensator, innerer Wärmeübertrager, Verdampfer, Expansionsventil, Frequenzumrichter, Ölabscheider, Kältemittelsammler, Filtertrockner sowie Schauglas. Von der theoretischen Auslegung abweichende Energieverbräuche oder Leistungen der Komponenten wurden in dem energetischen Vergleich berücksichtigt.

Ergebnis der Auslegung

Das Ergebnis der Auslegung ist ein Kreisprozess mit einstufiger Verdichtung und innerer Wärmeübertragung. Als Kältemittel kommt R1234ze(E) zum Einsatz. Der Kreisprozess erreicht eine theoretische Leistungszahl von $\varepsilon = 3,99$.



Energetischer Vergleich

Das ausgelegte Gerät mit Wärmepumpe wurde mit einem Referenzgerät verglichen. Die Leistungszahl konnte gegenüber dem Referenzgerät um 120 % gesteigert werden. Für den Energieverbrauch wurde drei Szenarien betrachtet: niedrige Auslastung (20 Spülgänge pro Tag), mittlere Auslastung (50 Spülgänge pro Tag) und hohe Auslastung (100 Spülgänge pro Tag). Je nach Auslastung konnte der Energieverbrauch um 50-55 % gesenkt werden. Dies entspricht einer Einsparung von bis zu 1404 kg CO₂ pro Jahr in dem Szenario mit hoher Auslastung.

Zusammenfassung

Zunächst wurde eine Übersicht über gewerbliche Anwendungen, die erwärmtes Prozesswasser benötigen, erstellt. Genauer betrachtet wurde dabei die bisherige Verwendung der Wärmepumpentechnologie. Es wurde beispielhaft eine Anwendung ausgewählt, für die ein Wärmepumpenkreisprozess zur Warmwasserbereitung ausgelegt wurde. Die Auslegung umfasste die Auswahl eines geeigneten Kältemittels, die Konzeptionierung der Anlagenschaltung sowie die Auswahl von Komponenten. Der ausgelegte Kreisprozess wurde mit der für diese Anwendung bisher üblichen Technologie anhand eines Referenzgerätes hinsichtlich der Effizienz und des Energieverbrauches verglichen. Basierend auf dem Vergleich wurde das CO₂-Einsparpotential abgeschätzt. Der ausgelegte Prozess steigert die Energieeffizienz der Anwendung bereits deutlich. Eine weitere Steigerung ist durch eine Erweiterung des Kreisprozesses möglich. Die Regelung für unterschiedliche Betriebspunkte ist in weiteren Untersuchungen zu betrachten.