

DKV-Forschungsbericht Nr. 36

Peter Riesch

Absorptionswärmtransformator mit hohem Temperaturhub

1991

978-3-922429-36-4



Kurzfassung

In der vorliegenden Arbeit wird ein zweistufiger Absorptionswärmtransformator mit hohem Temperaturhub zur Aufwertung von Wärme experimentell und theoretisch untersucht. Während der industriell bereits vielfach eingesetzte einstufige Wärmetransformator in seinem Temperaturhub auf ca. 40K beschränkt ist, konnte bei den experimentellen Untersuchungen des zweistufigen „Double-Lift“-Wärmetransformators mit dem Arbeitsstoffpaar Wasser/Lithiumbromid diese Einschränkung überwunden werden.

- Es konnte ein Temperaturhub auf über 60K erzielt werden
- Die aufgebaute Versuchsanlage lieferte aus 100kW Antriebswärme mit 85°C eine Nutzdampfleistung von 32kW bei 145°C, entsprechend einem Wärmeverhältnis von 0,32
- Ferner konnte ein völlig stabiles, sehr leicht zu regelndes und zuverlässiges Betriebsverhalten dieses zweistufigen Wärmetransformators nachgewiesen werden, das auch in Lastwechselzuständen als sehr gut bezeichnet werden kann. Auch das Anfahren der Anlage vom kalten Zustand in einen stationären Betriebspunkt war innerhalb von 30 Minuten ohne Schwierigkeiten möglich.
- Das untersuchte Konzept der Leistungsregelung durch einen gewichteten Temperaturhub als Regelgröße für die Kühlwassertemperatur erwies sich als erfolgreich. So konnte bei plötzlichen Lastwechseln um 50 % innerhalb von 5 bis 10 Minuten eine Anpassung des Wärmetransformators an einen neuen stationären Betriebszustand erzielt werden.
- Bei der ausführlichen Untersuchung von Teillast- und Lastwechselzuständen im Bereich von 35 bis 10 kw Nutzleistung zeigte sich, dass das Wärmeverhältnis nur schwach vom Lastzustand abhängt: So verringerte sich das Wärmeverhältnis z. B. bei halber Leistung nur um 10 % von 0.32 auf 0.29. Durch dieses gute Teillastverhalten kann der Wärmetransformator auch bei Industrieprozessen mit stark wechselnden Prozessleistungen noch effektiv eingesetzt werden.

Ferner ist es gelungen einen einfachen analytischen Zusammenhang zwischen der Nutzdampfleistung, den Wärmeträgertemperaturen an den Wärmequellen und -senken und den investierten Wärmetaucherflächen anzugeben:

- Es ergibt sich eine lineare Beziehung zwischen der Nutzleistung und einer Doppeldifferenz aus den externen Wärmeträgertemperaturen, nämlich dem Temperaturhub von Abdampf- auf Nutdampftemperatur abzüglich etwa dem Zweifachen des antreibenden Temperaturgefälles zwischen Abdampf- und Kühltemperatur.

- Mit Hilfe dieser Beziehung lassen sich für einen bestimmten Anwendungsfall die pro kW Nutzleistung benötigten Investitionen für Wärmetauscheroberflächen sehr schnell aus den gegebenen Wärmeträgertemperaturen ermitteln.
- Die aufgestellte Beziehung zeigt gute Übereinstimmung mit den Messdaten bzw. mit einer Simulation durch Enthalpiebilanzen.
- Sie liefert auch das sog. Wurzelkriterium für die optimale Flächenverteilung an den Hauptkomponenten.
- Ferner beschreibt sie die Sensitivität der Nutzleistung bei Veränderung der Wärmeträgertemperaturen, weshalb diese auch für die Ausarbeitung von Regelkonzepten benutzt werden kann.

Darüber hinaus wurde durch die Variation weiterer wichtiger Anlagenparameter, Lösungsmittelumlauf oder Verteilung der Lösungsmittel-Wärmetauscherflächen, auch die Optimierung des Lösungsmittelkreislaufes durchgeführt.

Anhand einer vereinfachten Wirtschaftlichkeitsrechnung wurde die Frage nach dem optimalen Kühlwasserdurchsatz geklärt, sowie der Einfluss der Preise für Kühlwasser, Nutzdampf und Wärmetauscherflächen aufgezeigt. Dabei zeigte sich, dass Kühlwasser- wie auch Pumpenstromkosten keineswegs vernachlässigbar sind, sondern einen wesentlichen Anteil der Nutzdampfentstehungskosten ausmachen.

Ergänzend wurde eine Entropieanalyse einer solchen zweistufigen Anlage durchgeführt: Alle Irreversibilitäten wurden analytisch erfasst und daraus das Wärmeverhältnis berechnet. Das Ergebnis stimmt mit den aus Enthalpiebilanzen berechneten Werten innerhalb 2 % überein, was zeigt, dass keine wesentlichen Irreversibilitäten übersehen wurden. Aus der Entropieanalyse lässt sich erkennen, welche Prozessschritte besonders stark zu den Irreversibilitäten beitragen und damit die Nutzleistung verringern.

Eine wichtige Rolle für die Auslegung und Wirtschaftlichkeit von Absorptionswärmepumpen und – transformatoren spielen die Wärmedurchgangszahlen an den Wärmetauschern, weshalb auf deren experimentelle Bestimmung besonderes Gewicht gelegt wurde. Als Hautwärmetauscher wurden U-Rohrbündel, als Lösungsmittel-Wärmetauscher Plattenapparate verwendet, bei denen folgende Wärmedurchgangszahlen erzielt wurden:

Für die Absorber wie auch den Generator lagen die Wärmedurchgangszahlen in den gleichen Größenordnung von etwa $600\text{W} / (\text{m}^2 * \text{K})$, während für die Lösungsmittel-Wärmetauscher Werte um $1500\text{W} / (\text{m}^2 * \text{K})$ erreicht wurden.

Für den zweistufigen Wärmetransformator mit hohem Temperaturhub existieren weitere Schaltungsvarianten, von denen einige experimentell näher untersucht wurden:

Der Wärmetransformator mit zwei Nutzwärmeniveaus lieferte bei Auskopplung der gesamten Nutzwärme auf dem hohen Temperaturniveau das Wärmeverhältnis des „Double-Lift“-Wärmetransformators von 0.32, stieg dann mit zunehmender Nutzwärmeauskopplung auf dem unteren Temperaturniveau an und erreichte in den Versuchen einen Wert von 0.44, als 70 % der Nutzwärme auf dem unteren Temperaturniveau entnommen wurden. Das hohe Wärmeverhältnis dieser Schaltung kann z. B. beim Erwärmen von Flüssigkeitsströmen vorteilhaft genutzt werden. Ferner vermag sie sich auch bei unterschiedlichen Anforderungen im Temperaturhub in ihrem Wärmeverhältnis flexibel auf einen bestmöglichen Wert anzupassen.

Weiterhin wurden verschiedene Varianten des Lösungsmittelkreislaufs untersucht, die im Rahmen der Messgenauigkeit keine signifikanten Unterschiede zeigten. Beim Vergleich durch Simulationsrechnungen weist die Variante mit paralleler Führung des Lösungsmittelkreislaufs eine geringfügige Überlegenheit auf, was allerdings durch höheren Regelaufwand erkauft werden muss.