

**Wärmeübergang beim Behältersieden neuer
umweltfreundlicher Kältemittelgemische**

von der Fakultät Energietechnik der
Universität Stuttgart zur Erlangung der Würde
eines Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.)
genehmigte Abhandlung

vorgelegt von
Jianya Shen
aus Suzhou, VR China

Hauptberichter: Prof. Dr.-Ing. E. Hahne
Mitberichter: Prof. Dr.-Ing. K. Stephan
Tag der mündlichen Prüfung: 30.06.1998

Institut für Thermodynamik und Wärmetechnik
der Universität Stuttgart

1998

Kurzfassung

Shen, Jianya:

Wärmeübergang beim Behältersieden neuer umweltfreundlicher Kältemittelgemische R32/R125

In der vorliegenden Arbeit wurde der Wärmeübergang beim Blasensieden von umweltfreundlichen Kältemittelgemischen aus R32/R125 ($x_1 = 0,2; 0,35; 0,5; 0,65$ und $0,8$) an einem waagerechten Platindraht ($d = 0,1$ mm) experimentell untersucht. Die Messungen wurden im Druckbereich von 10 bis 70 Prozent des jeweiligen kritischen Druckes (ca. 5 bis 40 bar) durchgeführt, was einem Temperaturbereich, je nach Gemisch, von etwa -20 °C bis $+60$ °C entspricht. Die Wärmestromdichte wurde zwischen 1500 und 150000 W/m² variiert, so daß der gesamte Bereich des Blasensiedens von der freien Konvektion ohne Blasenbildung bis in die Nähe der maximalen Wärmestromdichte des Blasensiedens erfaßt wurde. Es wurde festgestellt, daß die Abhängigkeit des Wärmeübergangskoeffizienten von der Wärmestromdichte und vom Druck keinen systematischen Unterschied zwischen Gemischen und Reinstoffen aufweist. Die relative Druckabhängigkeit des Wärmeübergangskoeffizienten sowohl für reine Stoffe als auch für Gemische stimmt gut mit der im VDI-Wärmeatlas angegebenen Korrelation überein. Zur Beschreibung des Wärmeübergangs der Gemische in Abhängigkeit von der Konzentration wurden einige Korrelationen aus den Literatur verwendet. Die Korrelation von Jungnickel und Mitarbeitern wurde mit eigenen Meßergebnissen modifiziert. Der Vergleich aller Meßwerte mit den berechneten Werten nach dieser modifizierten Gleichung zeigt eine gute Übereinstimmung. Zumeist liegen die Abweichungen innerhalb von $\pm 20\%$. Die mittlere relative Abweichung beträgt $\pm 8,25\%$. Die größte Abweichung ist $-29,4\%$.

Die Kenntnis des kritischen Zustands und des Phasengleichgewichts des binären Gemisches R32/R125 wird in dieser Arbeit für die Bestimmung des thermodynamischen Zustandes jedes Meßpunktes und für die Beschreibung des Wärmeübergangs benötigt. Für eine sichere Beurteilung der Eignung neuer Kältemittelgemische und zur Vorausberechnung der Leistungsdaten von Kälteprozessen müssen auch die exakten thermodynamischen Eigenschaften der Arbeitsstoffe zuverlässig bekannt sein. Das Modell von Chueh und Prausnitz gibt die kritischen Daten des Stoffsystems R32/R125 sehr gut wieder. Zur Beschreibung des Phasengleichgewichts des Stoffsystems R32/R125 wurde die Zustandsgleichung von Peng und Robinson verwendet. Die berechneten pVTx-Daten wurden mit eigenen Meßwerten und Meßwerten aus der Literatur verglichen. Es ist gelungen, die thermodynamischen Eigenschaften binärer Gemische aus R32/R125 mit Hilfe einer einfachen Zustandsgleichung aus den Eigenschaften der reinen Stoffe und wenigen experimentellen Daten mit genügender Genauigkeit zu bestimmen.

Abstract

Shen, Jianya:

Pool boiling heat transfer of new environmentally harmless refrigerant mixtures R32/R125

In this work nucleate pool boiling heat transfer of new, environmentally harmless refrigerant mixtures R32/R125 ($x_1 = 0,2; 0,35; 0,5; 0,65$ und $0,8$) have been investigated on a horizontal platinum wire ($d = 0,1$ mm). The measurements were performed in the pressure range of 10 to 70 percent of each critical pressure ($p = 5$ to 40 bar), corresponding to temperatures between approx. -20 and $+60$ °C. The heat flux was varied between 1500 and 150000 W/m^2 , so that the whole range from free convection without bubble formation up to very intense nucleate boiling was covered. The results indicate that pressure- and the heat-flux dependence of the heat transfer coefficient for these mixtures do not differ systematically from those of pure components. The relative pressure dependence of the heat transfer coefficient for mixtures and for pure components is in very good agreement with the correlation given in VDI-Wärmeatlas. In order to describe the composition dependence of heat transfer a few correlations from literature were used. The correlation by Jungnickel et al. has been modified considering our experimental data. The comparison between all experimental data and calculated data according to the modified Jungnickel correlation shows good agreement. Most of the data fall within $\pm 20\%$ of the correlation. The mean average deviation is $\pm 8.25\%$ and the largest deviation is -29.4% .

Knowledge of the critical state and the phase equilibrium of the mixtures R32/R125 is necessary in order to determine the measurement conditions and to describe the heat transfer behaviour. In order to evaluate the suitability of new refrigerant mixtures for use in refrigeration processes and predict the performance, their thermophysical properties have to be known exactly. The critical data of the mixtures R32/R125 can be well described with the model of Chueh and Prausnitz. For the phase equilibrium of the mixtures R32/R125 the equation of state by Peng-Robinson has been used. The calculated $pVTx$ -data have been compared with our experimental results and with results from literature. The thermophysical properties of the mixtures R32/R125 have been calculated with sufficient accuracy by means of a simple equation of state using the properties of the pure components and some experimental data.

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Kurzfassung	5
Inhaltsverzeichnis	7
Formelzeichen	9
1 Einleitung	11
2 Apparatur und Versuchsdurchführung	14
2.1 Beschreibung der Versuchsanlage	14
2.2 Heizfläche	16
2.3 Versuchsvorbereitung	16
2.3.1 Vorbereitung der Versuchsstoffe	16
2.3.2 Vorbereitung der Versuchsanlage	19
2.4 Versuchsdurchführung und Auswertung	20
2.4.1 Kalibrierungen	20
2.4.2 Versuchsablauf	24
2.4.3 Auswertung der gemessenen Größen	24
2.4.4 Abschätzung des Meßfehlers	26
2.4.5 Kontrollmessungen	30
3 Berechnung der kritischen Linie und des Phasengleichgewichts	31
3.1 Ein Überblick über die Zustandsfläche	31
3.2 Berechnung der kritischen Linien	32
3.2.1 Das Modell von Chueh und Prausnitz	32
3.2.2 Kritische Linien des Stoffsystems R32/R125	35
3.3 Berechnung des Phasengleichgewichts	39
3.3.1 Die Zustandsgleichung von Peng und Robinson	40
3.3.2 Der Weg zur Lösung der Zustandsgleichung	41
3.3.3 pvTx-Daten des Stoffsystems R32/R125	44

4	Ergebnisse der Messungen des Wärmeübergangs	54
4.1	Einfluß der Wärmestromdichte	54
4.2	Einfluß des Siededrucks	60
4.3	Einfluß der Konzentration	60
5	Vergleich des gemessenen Wärmeübergangskoeffizienten mit Korrelationen aus der Literatur	66
5.1	Vergleich mit der Korrelation von Schlünder	66
5.2	Vergleich mit der Korrelation von Thome	69
5.3	Vergleich mit der Korrelation von Stephan und Körner	72
5.4	Vergleich mit der Korrelation von Jungnickel und Mitarbeitern und eigene Modifikation	73
6	Zusammenfassung	79
7	Literatur	82
8	Anhang	87
	Anhang A: Berechnung der größten Abweichung zwischen der gesamten Konzentration x_{ges} und der Konzentration in der Flüssigkeit x_1	87
	Anhang B: Stoffdaten der reinen Stoffe R32 und R125 sowie eines Gemisches $x_1 = 0,4979$	89
	Anhang C: Zusammenstellung der kritischen Daten	90
	Anhang D: Die berechneten pvTx-Daten der Gemische R32/R125 und Vergleich mit Meßwerten	91
	Anhang E: Zusammenstellung der Ergebnisse der Wärmeübergangsmessungen	94