

# **Blasenbildung und Wärmeübergang beim Behältersieden von Kältemittel-Öl-Gemischen**

Von der Fakultät Energietechnik der Universität Stuttgart  
zur Erlangung der Würde eines Doktors der Ingenieurwissenschaften (Dr.-Ing.)  
genehmigte Abhandlung

Vorgelegt von  
**Christian Möller**  
aus Kirchheim unter Teck

Hauptberichter:	Prof. Dr.-Ing. E. Hahne
Mitberichter:	Prof. Dr.-Ing. J. Mitrovic
Tag der mündlichen Prüfung:	30. Juni 1998

Institut für Thermodynamik und Wärmetechnik der Universität Stuttgart

1998

## Kurzfassung

Zur Klärung des Öleinflusses auf den Wärmeübergang siedender Kältemittel-Öl-Gemische werden Blasenbildung und Wärmeübergang beim Sieden des Kältemittels R134a als Reinstoff und im Gemisch mit verschiedenen Kältemaschinenölen (Polyolester) experimentell untersucht.

Die Siederversuche werden in einem kompakten Modellverdampfer an zwei horizontalen Heizflächen (Draht, Rohr) durchgeführt. Dabei werden die Siedetemperatur, die Wärmestromdichte und der Ölmassenanteil variiert. Parallel zu den Siederversuchen werden der Abreißdurchmesser der Dampfblasen, die Blasenfrequenz, die Keimstellendichte und das Blasenwachstum optisch untersucht.

Der Wärmeübergangskoeffizient beim Sieden von R134a stimmt in seiner Abhängigkeit vom Siededruck und der Wärmestromdichte bei beiden Heizflächen mit der Korrelation aus dem VDI-Wärmeatlas überein. Durch die Zugabe von Öl zum Kältemittel verringert sich der Wärmeübergangskoeffizient am Draht in allen Fällen, wobei schon ein geringer Ölmassenanteil zu einer deutlichen Reduzierung führt. Am Rohr nimmt der Wärmeübergangskoeffizient zumeist kontinuierlich mit zunehmendem Ölmassenanteil ab. Bei niedriger Siedetemperatur und Wärmestromdichte führt das Öl jedoch zu einer Verbesserung des Wärmeübergangs. Bei höherem Ölmassenanteil und gleichem Siedezustand ist der Öleinfluß an beiden Heizflächen ähnlich.

Die Messung des Abreißdurchmessers ergibt für R134a an beiden Heizflächen mit steigender Siedetemperatur eine Verringerung der Blasengröße und eine Erhöhung mit steigender Wärmestromdichte. Die Keimstellendichte nimmt bei steigender Wärmestromdichte überproportional zu und erhöht sich mit steigender Siedetemperatur. Im Gemisch verringert sich der Abreißdurchmesser und die Wachstumsgeschwindigkeit der Blasen. Zu einer Erhöhung kommt es bei der Blasenfrequenz und zum Teil auch bei der Keimstellendichte.

Für R134a wird aus den Meßwerten für die Blasenbildung der Latentwärmestrom berechnet, der bei ausgebildetem Blasensieden und niedriger Wärmestromdichte übertragen wird. Der Anteil des Latentwärmestromes am Gesamtwärmestrom steigt mit der Siedetemperatur und ist beim Rohr wesentlich höher als beim Draht. Die Wärmestromdichte lokal an den Keimstellen beträgt ein Vielfaches der mittleren Wärmestromdichte. Aus der Keimstellendichte am Übergang vom ausgebildeten Blasensieden zur freien Konvektion wird der Einflußbereich der Keimstellen bestimmt.

Der Öleinfluß auf den Wärmeübergangskoeffizienten kann mit der Überlagerung von drei Effekten erklärt werden: ein Blockiereffekt infolge der Ölanreicherung an der Phasengrenze der Blasen, ein Keimstelleneffekt, der auf den Gemischeigenschaften beruht, und ein Schaumeffekt durch eine Vielzahl kleiner Blasen.

Die Meßergebnisse für Blasenbildung und Wärmeübergang werden mit bekannten Korrelationen verglichen und durch neue Korrelationen beschrieben.

## Abstract

The influence of oil on bubble formation and heat transfer is investigated in pool boiling experiments with refrigerant R134a and with mixtures of R134a and different lubricants (polyolester).

Two horizontally arranged heaters (wire, tube) are used in a cylindrical vessel. Boiling experiments are performed with varying boiling temperature, heat flux and oil mass fraction. Simultaneously, bubble departure diameter, bubble frequency, nucleation site density, and bubble growth are optically measured.

For both heaters the pool boiling heat transfer coefficient measured with pure R134a fits well with the correlation given by the VDI-Wärmeatlas. The addition of even small amounts of oil always leads to a strong decrease in the heat transfer coefficient at the wire. At the tube the heat transfer coefficient decreases in most cases continuously with increasing oil mass fraction. At a low boiling temperature and a very low heat flux, however, the heat transfer coefficient of the mixture increases compared to the pure refrigerant. With the same boiling conditions and at higher oil mass fractions the influence of the oil on heat transfer is similar at both heaters.

For R134a the departure diameter generally increases with decreasing temperature and increasing heat flux. The nucleation site density strongly increases with increasing boiling temperature and heat flux. In the refrigerant-oil-mixtures vapour bubbles are much smaller and are growing more slowly. The frequency and in part the nucleation site density are higher than in the pure refrigerant.

From the measured bubble formation data for R134a the latent heat transfer is calculated for the pool boiling regime at low heat fluxes. The latent heat transfer is significant and increases with increasing boiling temperature. At the tube the contribution of evaporation to heat transfer is higher than at the wire. The local heat flux at the nucleation sites from the heater to the bubble interface is much higher than the average heat flux. The area of influence of the nucleation sites can be derived from the nucleation site density measured at the transition from pool boiling to natural convection.

The oil influence on pool boiling heat transfer can be explained by a combination of three effects: a blockade effect of the oil enriched at the bubble interface, a nucleation site effect caused by the mixture properties, and a foam effect resulting from a large number of small bubbles.

The experimental results for bubble formation and heat transfer are compared with correlations from literature and described by new correlations.

## Inhaltsverzeichnis

	Seite
Inhaltsverzeichnis	ix
Formelzeichen	xi
1 Einleitung	1
2 Literaturübersicht	3
2.1 Wärmeübergang am Draht	3
2.2 Wärmeübergang am Rohr	3
2.3 Wärmeübergang am Rohrbündel	8
2.4 Wärmeübergang an der Platte	8
3 Experimentelle Untersuchungen	10
3.1 Versuchsanlage	10
3.2 Heizflächen	11
3.3 Versuchsfuide	13
3.3.1 Kältemittel	13
3.3.2 Kältemaschinenöle	13
3.3.3 Mischungsverhalten der R134a-Öl-Gemische	14
3.4 Meßverfahren	15
3.5 Versuchsauswertung	16
3.6 Fehlerabschätzung	17
3.7 Versuchsdurchführung	19
3.8 Optische Untersuchung der Dampfblasenbildung	20
3.8.1 Abreißdurchmesser	21
3.8.2 Blasenfrequenz	22
3.8.3 Keimstellendichte	22
3.8.4 Blasenwachstum	22
4 Ergebnisse der Wärmeübergangsmessungen	24
4.1 Freie Konvektion	24
4.2 Wärmeübergang beim Sieden von R134a	27
4.3 Wärmeübergang beim Sieden von R134a-Öl-Gemischen	33
4.3.1 Meßergebnisse am Draht	33
4.3.2 Meßergebnisse am Rohr	46
4.3.3 Vergleich des Öleinflusses am Draht und Rohr	46
4.3.4 Vergleich mit Literaturwerten	48

- 5 Ergebnisse der optischen Untersuchungen
    - 5.1 Abreißdurchmesser der Dampfblasen
      - 5.1.1 Blasenbilder
      - 5.1.2 Mittlerer Abreißdurchmesser
      - 5.1.3 Häufigkeitsverteilung des Abreißdurchmessers
      - 5.1.4 Vergleich mit Literaturangaben
    - 5.2 Frequenz der Blasenbildung
    - 5.3 Dichte aktiver Blasenkeimstellen
      - 5.3.1 R134a
      - 5.3.2 Kritischer Blasenkeimradius
      - 5.3.3 R134a-Öl-Gemische
      - 5.3.4 Vergleich mit Literaturangaben
    - 5.4 Blasenwachstum
  - 6 Diskussion der Meßergebnisse
    - 6.1 Blasenverdampfung von R134a
      - 6.1.1 Latentwärmestrom
      - 6.1.2 Verdampfungstemperatur bei der Blasenbildung
      - 6.1.3 Keimstellenaktivität im Übergangsbereich und Blaseneinflußbereich
    - 6.2 Öleinfluß auf die Blasenbildung und den Wärmeübergang
      - 6.2.1 Ölansammlung an den Keimstellen
      - 6.2.2 Abreißdurchmesser
      - 6.2.3 Blasenfrequenz
      - 6.2.4 Keimstellendichte
      - 6.2.5 Siedeverzug und Siedezonen
      - 6.2.6 Schaumbildung
      - 6.2.7 Wärmeübergang
  - 7 Korrelationen für Blasenbildung und Wärmeübergang
    - 7.1 Abreißdurchmesser
      - 7.1.1 Bekannte Korrelationen für Reinstoffe
      - 7.1.2 Empirische Korrelation für R134a
      - 7.1.3 Empirische Korrelation für R134a-Öl-Gemische
    - 7.2 Blasenfrequenz
    - 7.3 Wärmeübergangskoeffizient
      - 7.3.1 Vergleich mit bekannten Korrelationen
      - 7.3.2 Empirische Korrelation für R134a-Öl-Gemische
  - 8 Zusammenfassung
  - 9 Literaturverzeichnis
- Anhang