

## DKV-Forschungsbericht Nr. 84

Stephan Kotthoff

Zum Einfluss von Fluid- und  
Heizflächeneigenschaften auf Wärmeübergang  
und Blasenbildung beim Sieden

2014

978-3-932715-87-7



### Kurzfassung

In der Arbeit wird der Einfluss von Fluid und Heizfläche auf den Wärmeübergang beim Blasensieden an horizontalen Kupferrohren untersucht. Der Wärmeübergang wird anhand des Wärmeübergangskoeffizienten  $\alpha$  behandelt, der als Quotient aus Wärmestromdichte  $q$  und Übertemperatur  $\Delta T$  der Rohroberfläche definiert ist. Zum **Fluideinfluss** wird mit zwei 8 mm-Rohren und 23 Fluiden in einem großen Bereich von  $q$  und reduziertem Druck  $p^* = p/p_c$  gemessen und die Datenbasis in einem Literaturvergleich erweitert. Im Zuge der Revision des VDI-Wärmeatlases wurde damit ein Fluid-Parameter  $P_f$  aus Oberflächenspannung  $\sigma$  und Steigung  $dp/dT$  der Dampfdruckkurve neu definiert und der Fluideinfluss auf  $\alpha$  bei mittleren Werten von  $q$  und  $p^*$  stoffgruppen-übergreifend einheitlich beschrieben.

Zum **Heizflächeneinfluss** wird  $\alpha$  mit den o.g. 8 mm-Rohren sowie einem 25 mm-Rohr mit 36 azimuthal verteilten Thermoelementen gemessen. Aus den Messwerten und früheren Daten zu Stahlrohren mit  $D = 4, 8$ , bzw. 88 mm folgt eine *einheitliche relative  $\alpha(D)$ -Abhängigkeit*. Außerdem wird die Wirkung regelmäßig angeordneter und einfach geformter Makrovertiefungen (mit und ohne Hinterschneidungen) auf der Rohroberfläche als *Elementareffekt* für das Blasensieden an Hochleistungsrohren untersucht und nachgewiesen, dass der Wärmeübergang durch die Makrovertiefungen bei mittleren bis tiefen reduzierten Drücken verbessert wird und die Hinterschneidungen den Effekt zusätzlich erhöhen. Wegen der Bedeutung für den Heizflächeneinfluss wird die **Blasenbildung** mit einer Hochgeschwindigkeits-Videokamera exemplarisch gemessen und als wichtigste Ergebnisse gefunden, dass der Wärmeübergang in die an der Rohrunterseite hochgleitenden Blasen ähnlich hoch ist wie in die an den Keimstellen anwachsenden, und dass die Variationsbreite der Blasenparameter so groß ist, dass sie außer mit dem Mittelwert auch mit ihrer Häufigkeitsverteilung charakterisiert werden sollten.

### Schlagwörter:

Wärmeübergang, Blasensieden, horizontale Kupferrohre, Fluideinfluss, Heizflächeneinfluss, Oberflächenmodifikationen, Literaturvergleich, experimentelle Datenbank

### Abstract

In this thesis, the influence of fluid and heating surface on pool boiling heat transfer from horizontal copper tubes is analyzed. Heat transfer is discussed using the heat transfer coefficient  $\alpha$  which is defined by the quotient of heat flux  $q$  and superheat  $\Delta T$  of the tube surface. The **influence of the fluid** is measured for two 8 mm-tubes and 23 fluids in a wide range of  $q$  and reduced pressure  $p^* =$

$p/p_c$  and the experimental database is extended by a literature review. This was used during revision of the VDI heat atlas to define a fluid parameter  $P_f$  consisting of surface tension  $\sigma$  and slope of the vapor pressure curve  $dp/dT$  and to describe the influence of the fluid on  $\alpha$  at constant medium values of  $q$  and  $p^*$  consistently and comprehensively for different groups of fluids.

Results of measurements for the above mentioned 8 mm-tubes and a 25 mm-tube with 36 azimuthally distributed thermocouples are used to discuss the **influence of the heating surface** on  $\alpha$ . These and former results for stainless steel tubes with  $D = 4, 8, \text{ or } 88$  mm show a consistent relative  $\alpha(D)$ -dependence. Furthermore, the effect on  $\alpha$  of regularly arranged and simply formed macro structures (with and without reentrant cavities) on the tube surface is examined and shown that heat transfer is improved by the macro structures at medium and low reduced pressures and that reentrant cavities are additionally beneficial.

Because of its special relevance to the influence of the heating surface **bubble formation** is captured by a high speed video camera. It has been found that heat transfer to the bubbles sliding upwards along the bottom side of the tube and to the bubbles growing at their nucleation sites is more or less equal and that experimental data of different bubble parameters scatter markedly so they should be characterized by their size distribution, in addition to their mean values.

**Keywords:**

Heat transfer, nucleate pool boiling, horizontal copper tubes, influences of fluid and heating surface, surface modifications, literature review, experimental database