

FORTSCHRITT-  
BERICHTE **VDI**

Dipl.-Ing. Tilman Walter Botsch, Stuttgart

**Modelle zur Beschreibung  
des stationären und des  
dynamischen Verhaltens von  
Rohrbündelkondensatoren**

Reihe **19**: Wärmetechnik/  
Kältetechnik

Nr. **101**

# Inhaltsverzeichnis

|  |             |
|--|-------------|
| <b>Nomenklatur</b>   | <b>VIII</b> |
| <b>Zusammenfassung</b>   | <b>XI</b>   |
| <b>1 Einführung und Problemstellung</b>  | <b>1</b>    |
| 1.1 Modelle zur Beschreibung von Kondensatoren . . . . .                                   | 2           |
| 1.2 Gegenstand und Ziel der Arbeit . . . . .   | 5           |
| <b>2 Kondensatoren</b>   | <b>7</b>    |
| <b>3 Wärme- und Stoffübergangswiderstände</b>  | <b>11</b>   |
| 3.1 Kondensation gesättigter reiner Dämpfe ... . . . .                                     | 11          |
| 3.1.1 ... im senkrechten Rohr . . . . .  | 11          |
| 3.1.2 ... am waagrechten Rohrbündel . . . . .  | 14          |
| 3.2 Wärmeübergang bei der Kondensation von Dampfgemischen .                                | 15          |
| 3.2.1 Wärmeübergangswiderstand des Gasfilms bei<br>verschwindendem Stoffübergang . . . . . | 17          |
| 3.2.2 Einfluß des übertretenden Stoffstroms auf den<br>Wärmeübergang . . . . .             | 18          |
| 3.3 Stoffübergang bei der Kondensation von Dampfgemischen . . .                            | 21          |
| <b>4 Grundlegende Annahmen</b>   | <b>26</b>   |

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>5</b> | <b>Senkrechte Kondensatoren</b>   | <b>28</b> |
| 5.1      | Modellierung . . . . .  | 31        |
| 5.1.1    | Bilanzgleichungen für die Gasphase . . . . .  | 32        |
| 5.1.2    | Bilanzgleichungen für die Kondensatphase . . . . .  | 37        |
| 5.1.3    | Zustand an der Phasengrenze . . . . .   | 40        |
| 5.1.4    | Energiebilanzen für die Wand und das Kühlmittel . . . . .                                       | 41        |
| 5.1.5    | Wärme-, Stoff- und Impulsübertragung zwischen den<br>Phasen . . . . .                           | 42        |
| 5.2      | Anmerkungen zur numerischen Lösung der Modellgleichungen  | 45        |
| 5.2.1    | Approximation der Differentiale bezüglich der<br>Koordinate in Hauptströmungsrichtung . . . . . | 46        |
| 5.2.2    | Approximation der Differentiale in den Stefan-Maxwell<br>Gleichungen . . . . .                  | 48        |
| 5.3      | Simulationsergebnisse . . . . .   | 50        |
| 5.3.1    | Vergleich mit Experimenten . . . . .  | 50        |
| 5.3.2    | Stationärer Betrieb . . . . .   | 61        |
| 5.3.3    | Dynamisches Verhalten . . . . .   | 71        |
| <b>6</b> | <b>Waagrechte Kondensatoren</b>   | <b>78</b> |
| 6.1      | Messungen am UMIST in Manchester . . . . .  | 79        |
| 6.1.1    | Apparate- und Anlagenbeschreibung . . . . .   | 79        |
| 6.1.2    | Am Kondensator installierte Meßtechnik . . . . .  | 81        |
| 6.1.3    | Meßergebnisse . . . . .   | 82        |
| 6.2      | Modellierung . . . . .  | 84        |
| 6.2.1    | Bilanzgleichungen für die Gasphase . . . . .  | 88        |
| 6.2.2    | Bilanzgleichungen für die Kondensatphase . . . . .  | 93        |

|          |   |            |
|----------|---|------------|
| 6.2.3    | Zustand an der Phasengrenze . . . . .   | 96         |
| 6.2.4    | Wärme- und Stoffstromdichten . . . . .  | 97         |
| 6.2.5    | Energiebilanzen für die Wand und das Kühlmittel . . .                                 | 99         |
| 6.2.6    | Bestimmung des Druckabfalls . . . . .   | 99         |
| 6.3      | Simulationsergebnisse . . . . .   | 100        |
| 6.3.1    | Stationärer Betrieb . . . . .   | 101        |
| 6.3.2    | Dynamisches Verhalten . . . . .   | 108        |
| <b>7</b> | <b>Modellbewertung</b>  | <b>118</b> |
|          | <b>Anhang</b>   | <b>120</b> |
| A        | Berechnungsmethode nach Müller für den Wärmeübergang<br>am Rieselfilm . . . . .       | 120        |
| B        | Variablen und Gleichungen bei der Modellierung senkrechter<br>Kondensatoren . . . . . | 123        |
| C        | Umformung des Differentials der inneren Energie . . . . .                             | 125        |
|          | <b>Literaturverzeichnis</b>   | <b>127</b> |