

Dipl.-Ing. Martin Nädler, Neustadt

# **Der Druckverlust mehr- phasiger Strömungen aus Öl, Wasser und Luft in horizontalen Rohren**

Reihe **7**: Strömungstechnik

Nr. **296**

# Inhaltsverzeichnis

|                                                                                           |           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Nomenklatur</b>                                                                        | <b>VI</b> |
| <b>1 Einleitung</b>                                                                       | <b>1</b>  |
| <b>2 Ziele der Arbeit</b>                                                                 | <b>2</b>  |
| <b>3 Die zweiphasige Strömung aus Öl und Wasser</b>                                       | <b>3</b>  |
| 3.1 Untersuchungen der Strömungsformen . . . . .                                          | 3         |
| 3.2 Die rheologischen Stoffwerte von Emulsionen . . . . .                                 | 5         |
| 3.3 Druckverlust der zweiphasigen Strömung aus Öl und Wasser . . . . .                    | 6         |
| <b>4 Die Strömung von Gemischen aus Gas und Flüssigkeiten</b>                             | <b>11</b> |
| 4.1 Mechanismen für das Entstehen der Schwallströmung . . . . .                           | 12        |
| 4.2 Kennzeichnende Größen der Schichtenströmung . . . . .                                 | 15        |
| 4.2.1 Berechnung der Gleichgewichtshöhe . . . . .                                         | 17        |
| 4.2.2 Berechnung der Gleichgewichtshöhe für die dreiphasige Strömung . . . . .            | 19        |
| 4.2.3 Berechnung der Stabilitätshöhe . . . . .                                            | 23        |
| <b>5 Bekannte Ergebnisse für die Schwallströmung</b>                                      | <b>27</b> |
| 5.1 Gleichungen zum Berechnen der Schwallgeschwindigkeit . . . . .                        | 28        |
| 5.2 Phasenverteilung in der Schwallströmung . . . . .                                     | 29        |
| 5.3 Bekannte Gleichungen zum Berechnen der Schwallfrequenz . . . . .                      | 31        |
| 5.4 Berechnung der Länge der Flüssigkeitspfropfen . . . . .                               | 35        |
| <b>6 Darstellung der verwendeten Berechnungsgleichungen</b>                               | <b>37</b> |
| 6.1 Berechnungsgleichungen für die zweiphasige Strömung aus Öl und Wasser . . . . .       | 37        |
| 6.1.1 Berechnung der Phaseninversion . . . . .                                            | 37        |
| 6.1.2 Berechnung des Druckverlustes . . . . .                                             | 43        |
| 6.2 Berechnungsgleichungen für die Schwallströmung . . . . .                              | 48        |
| 6.3 Berechnung der Strömungsgeschwindigkeiten in den Zonen einer Schwalleinheit . . . . . | 53        |
| 6.3.1 Strömungsgeschwindigkeiten in der Kernzone . . . . .                                | 54        |
| 6.3.2 Berechnung der Schwallgeschwindigkeit . . . . .                                     | 57        |
| 6.3.3 Berechnung der Strömungsgeschwindigkeit der Kolbenblase . . . . .                   | 58        |
| 6.3.4 Strömungsgeschwindigkeiten innerhalb der Kolbenblase . . . . .                      | 60        |
| 6.4 Berechnung der Phasenverteilung in der Schwallströmung . . . . .                      | 61        |
| 6.4.1 Berechnung des mittleren Gasgehaltes in der Filmzone . . . . .                      | 61        |
| 6.4.2 Berechnung der Phasenverteilung in der Schwallzone . . . . .                        | 65        |
| 6.4.3 Einflußgrößen auf den Gasgehalt . . . . .                                           | 72        |
| 6.5 Gleichungen zum Berechnen der Schwallfrequenz . . . . .                               | 76        |
| 6.5.1 Topographisch bedingte Schwallströmung . . . . .                                    | 81        |
| 6.5.2 Entstehung der Schwallströmung aus der Schichtenströmung . . . . .                  | 83        |
| 6.6 Berechnung der Länge der Flüssigkeitspfropfen . . . . .                               | 87        |
| 6.7 Berechnung der Strömungsform . . . . .                                                | 89        |

|           |                                                                                  |            |
|-----------|----------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 6.8       | Die Berechnung des Druckabfalls für die Schwallströmung . . . . .                | 93         |
| 6.8.1     | Druckverluste in den Zonen einer Schwalleinheit . . . . .                        | 94         |
| 6.8.2     | Rechenablauf für die Berechnung des Druckverlustes . . . . .                     | 98         |
| <b>7</b>  | <b>Beschreibung der experimentellen Untersuchungen</b>                           | <b>102</b> |
| 7.1       | Eingesetzte Fluide . . . . .                                                     | 102        |
| 7.2       | Beschreibung des experimentellen Aufbaus . . . . .                               | 104        |
| 7.2.1     | Darstellung der Einspeisung . . . . .                                            | 104        |
| 7.2.2     | Beschreibung der Versuchsstrecke . . . . .                                       | 105        |
| 7.2.3     | Darstellung der Separationseinheit . . . . .                                     | 106        |
| 7.3       | Instrumentierung der Meßstrecken . . . . .                                       | 107        |
| 7.3.1     | Beschreibung der optischen Meßeinrichtung . . . . .                              | 107        |
| 7.3.2     | Beschreibung der radiometrischen Dichtemeßeinrichtung . . . . .                  | 108        |
| 7.3.3     | Beschreibung des elektrischen Meßverfahrens . . . . .                            | 112        |
| <b>8</b>  | <b>Ergebnisse für die zweiphasige Strömung aus Wasser und Öl</b>                 | <b>113</b> |
| 8.1       | Strömungsformen . . . . .                                                        | 113        |
| 8.2       | Druckverlust . . . . .                                                           | 115        |
| <b>9</b>  | <b>Ergebnisse für die zweiphasige Strömung aus Gas und einer flüssigen Phase</b> | <b>119</b> |
| 9.1       | Ergebnisse für die Strömungsformen . . . . .                                     | 119        |
| 9.2       | Ergebnisse für die Schwallströmung . . . . .                                     | 119        |
| 9.2.1     | Phasenverteilung . . . . .                                                       | 119        |
| 9.2.2     | Schwallgeschwindigkeit . . . . .                                                 | 125        |
| 9.2.3     | Schwallfrequenz . . . . .                                                        | 127        |
| 9.2.4     | Länge der Flüssigkeitspfropfen . . . . .                                         | 128        |
| 9.2.5     | Druckverlust . . . . .                                                           | 129        |
| <b>10</b> | <b>Ergebnisse für die dreiphasige Strömung aus Öl, Wasser und Luft</b>           | <b>131</b> |
| 10.1      | Phasenverteilung in der dreiphasigen Strömung . . . . .                          | 131        |
| 10.1.1    | Phasenverteilung in der Filmzone . . . . .                                       | 133        |
| 10.1.2    | Phasenverteilung in der Schwallzone . . . . .                                    | 133        |
| 10.1.3    | Phasenverteilung in der Schwalleinheit . . . . .                                 | 135        |
| 10.2      | Schwallgeschwindigkeit . . . . .                                                 | 135        |
| 10.3      | Schwallfrequenz . . . . .                                                        | 136        |
| 10.4      | Länge der Flüssigkeitspfropfen . . . . .                                         | 136        |
| 10.5      | Druckverlust . . . . .                                                           | 137        |
| <b>11</b> | <b>Zusammenfassung</b>                                                           | <b>142</b> |
|           | <b>Tabellenanhang</b>                                                            | <b>144</b> |
|           | <b>Bildanhang</b>                                                                | <b>160</b> |
|           | <b>Literaturverzeichnis</b>                                                      | <b>224</b> |