

# Inhaltsverzeichnis

## Teil 1

### Grundlagen der Auslegung von Packungskolonnen für Gas/Flüssigkeitssysteme

|   |            |
|---|------------|
| Symbolverzeichnis zu Teil 1 . . . . .   | 3          |
| <b>1 Einleitung . . . . .</b>   | <b>11</b>  |
| 1.1 Allgemeines über Füllkörperkolonnen . . . . .   | 11         |
| 1.2 Anmerkungen zur Entwicklung von Packungskolonnen und<br>ihre Bedeutung beim Einsatz bei der Rektifikation und Absorption . . . . .  | 14         |
| 1.3 Kurzer Überblick über erschienene Monographien bzw. kom-<br>plexe Übersichtsarbeiten zur Auslegung von Füllkörperkolonnen . . . . . | 17         |
| 1.4 Schlussbetrachtungen zu Kapitel 1 . . . . .   | 21         |
| <b>2 Zweiphasendurchfluss und Belastungsbereich . . . . .</b>   | <b>25</b>  |
| 2.1 Beschreibung der hydraulischen Vorgänge in Füllkörperkolonnen . . . . .   | 25         |
| 2.2 Flutgrenze . . . . .  | 28         |
| 2.2.1 Flutmechanismen . . . . .   | 28         |
| 2.2.2 Überlegungen zur Tropfenbildung in Füllkörperkolonnen . . . . .   | 30         |
| 2.2.3 Literaturüberblick – Stand des Wissens . . . . .  | 34         |
| 2.2.4 Eigener Ansatz zur Bestimmung der Dampfgeschwindig-<br>keit $u_{v,fl}$ am Flutpunkt . . . . .                                     | 41         |
| 2.3 Bestimmung des Kolonnendurchmessers . . . . .   | 90         |
| 2.4 Untere Belastungsgrenze . . . . .   | 90         |
| 2.4.1 Schlussbetrachtungen zu Kapitel 2.4 . . . . .   | 93         |
| <b>3 Druckverlust von unberieselten Packungskolonnen . . . . .</b>  | <b>115</b> |
| 3.1 Einführung . . . . .  | 115        |
| 3.2 Widerstandsgesetz für die Einphasenströmung in Packungskolonnen . . . . .   | 115        |
| 3.2.1 Ermittlung des Widerstandsbeiwertes $\psi$ für Pallringe . . . . .  | 119        |
| 3.2.2 Ermittlung des Widerstandsbeiwertes $\psi$ für andere<br>untersuchte Füllkörperschüttungen . . . . .                              | 123        |
| 3.2.3 Ermittlung des Widerstandsbeiwertes $\psi$ für strukturierte<br>Packungen . . . . .   | 124        |
| 3.3 Schlussbetrachtungen zu Kapitel 3 . . . . .   | 133        |

|  |            |
|--|------------|
| <b>4 Druckverlust von berieselten Schüttungen und strukturierten Packungen . . . . .</b>   | <b>157</b> |
| <b>4.1 Einführung und Literaturüberblick . . . . .</b>   | <b>157</b> |
| <b>4.1.1 Bedeutung des Druckverlustes für die Auslegung von Füllkörperkolonnen . . . . .</b>   | <b>157</b> |
| <b>4.1.2 Literaturüberblick . . . . .</b>  | <b>158</b> |
| <b>4.2 Flüssigkeitsinhalt . . . . .</b>  | <b>165</b> |
| <b>4.2.1 Grundbegriffe . . . . .</b>   | <b>166</b> |
| <b>4.2.2 Der statische Flüssigkeitsinhalt . . . . .</b>  | <b>166</b> |
| <b>4.2.3 Der dynamische Flüssigkeitsinhalt im Strömungsbereich unterhalb der Staugrenze . . . . .</b>  | <b>167</b> |
| <b>4.2.4 Diskussion des Einflusses verschiedener Parameter auf den Flüssigkeitsinhalt basierend auf Literaturdaten . . . . .</b>   | <b>170</b> |
| <b>4.2.5 Messmethode, untersuchte Systeme und Füllkörper . . . . .</b>   | <b>171</b> |
| <b>4.2.6 Messergebnisse . . . . .</b>  | <b>172</b> |
| <b>4.2.7 Schlussbetrachtungen zu Kapitel 4.2 . . . . .</b>   | <b>186</b> |
| <b>4.3 Ansatz zur Bestimmung des Druckverlustes von berieselten Schüttungen und strukturierten Packungen bei Kenntnis des Widerstandsbeiwertes <math>\psi</math> für Einphasenströmung und des dimensionslosen Druckverlustes <math>\Delta p/\Delta p_0</math> . . . . .</b> | <b>188</b> |
| <b>4.3.1 Herleitung des Ansatzes . . . . .</b>   | <b>188</b> |
| <b>4.3.2 Vergleich der Messwerte mit dem Experiment im Bereich der laminaren Flüssigkeitsströmung . . . . .</b>  | <b>191</b> |
| <b>4.3.3 Bestimmung der Größe <math>C_B</math> für turbulente Flüssigkeitsströmung . . . . .</b>   | <b>192</b> |
| <b>4.3.4 Vergleich zwischen Rechnung und Experiment für turbulente Flüssigkeitsströmung . . . . .</b>  | <b>195</b> |
| <b>4.3.5 Schlussfolgerungen zu Kapitel 4.3 . . . . .</b>   | <b>209</b> |
| <b>5 Druckverlust von berieselten Schüttungen und strukturierten Packungen bei Kenntnis des Widerstandsgesetzes für die Zweiphasenströmung . . . . .</b>   | <b>231</b> |
| <b>5.1 Einleitung . . . . .</b>  | <b>231</b> |
| <b>5.2 Herleitung des Ansatzes zur Bestimmung des Druckverlustes von berieselten Schüttungen und strukturierten Packungen . . . . .</b>  | <b>231</b> |
| <b>5.3 Das Widerstandsgesetz <math>\psi_{VL} = f(\text{Re}_L)</math> bei vorliegender Zweiphasenströmung in Packungskolonnen-Ableitung des Ansatzes . . . . .</b>  | <b>232</b> |
| <b>5.4 Herleitung der Berechnungsgleichung für den Druckverlust berieselter Schüttungen . . . . .</b>  | <b>233</b> |
| <b>5.5 Vergleich der Messwerte mit dem Experiment im gesamten Betriebsbereich von Packungskolonnen . . . . .</b>   | <b>234</b> |
| <b>5.6 Bewertung der Ergebnisse . . . . .</b>  | <b>248</b> |

|          |  |     |
|----------|--|-----|
| <b>6</b> | <b>Fluiddynamik von Packungskolonnen für Gas/Flüssigkeitssysteme – Zusammenfassung der Ergebnisse</b>  | 263 |
| 6.1      | Allgemeines  | 263 |
| 6.2      | Flutpunktbestimmung  | 267 |
| 6.3      | Flüssigkeitsinhalt am Flutpunkt  | 269 |
| 6.4      | Druckverlust und Flüssigkeitsinhalt  | 270 |
| 6.4.1    | Druckverlust unterhalb der Staugrenze  | 271 |
| 6.4.2    | Flüssigkeitsinhalt unterhalb der Staugrenze  | 271 |
| 6.4.3    | Druckverlust und Flüssigkeitsinhalt im Bereich zwischen der Stau- und Flutgrenze   | 273 |
| 6.4.4    | Druckverlust am Flutpunkt  | 273 |
| 6.5      | Druckverlustberechnung nach dem Ansatz gemäß Kapitel 5   | 274 |
| 6.6      | Hinweise zu den Tabellen mit den technischen Daten der Füllkörper und Packungen sowie den Modellparametern $\psi_{\text{Fl}}/\psi_{\text{Fl,m}}$ zur Flutpunkt- und Druckverlustbestimmung | 275 |
| 6.7      | Gültigkeitsbereich der aufgestellten Beziehungen   | 276 |
| 6.8      | Programm FDPAK zur fluiddynamischen Auslegung von Kolonnen mit modernen Füllkörpern und Packungen  | 277 |
| 6.8.1    | Programmerklärung  | 277 |
| 6.8.2    | Schlussfolgerungen   | 279 |

## Teil 2

### Grundlagen der Auslegung von Packungskolonnen für Flüssig/Flüssig-Systeme

|                                    |   |     |
|------------------------------------|---|-----|
| <b>Symbolverzeichnis zu Teil 2</b> | 299   |     |
| <b>7</b>                           | <b>Grundlagen der Auslegung von Packungskolonnen für Flüssig/Flüssig-Systeme</b>                            | 301 |
| 7.1                                | Einleitung  | 301 |
| 7.2                                | Zweiphasendurchfluss und Belastungsbereiche   | 303 |
| 7.2.1                              | Dispersphasenanteil (Hold-up) in Füllkörperkolonnen mit regellosen Schüttungen und strukturierten Packungen | 304 |
| 7.2.2                              | Tropfendurchmesser  | 309 |
| 7.3                                | Flutpunktbestimmung   | 312 |
| 7.3.1                              | Einleitung  | 312 |
| 7.3.2                              | Steig- und Sinkgeschwindigkeit von Tropfen in Packungen – eigener Ansatz                                    | 315 |
| 7.3.3                              | Modifiziertes Flutpunkt-Diagramm [15]   | 318 |
| 7.3.4                              | Ansatz zur Bestimmung der Flutpunktgeschwindigkeit für Flüssig/Flüssig-Systeme                              | 320 |
| 7.4                                | Schlussbetrachtungen  | 323 |

|                        |     |
|------------------------|-----|
| <b>Sachverzeichnis</b> | 335 |
|------------------------|-----|