

GERNOT WEBER

# **WÄRME- ÜBERTRAGUNG IN DER GEBÄUDESYSTEM- TECHNIK**

Grundlagen und Anwendung

**VDE VERLAG GMBH**

# Inhaltsverzeichnis

|  |    |
|--|----|
| <b>Vorwort</b> .....   | 5  |
| <b>1 Einführung</b> .....  | 11 |
| <b>2 Wärmeleitung (im Beharrungszustand)</b> .....                                 | 13 |
| 2.1 Die ebene Wand.....  | 13 |
| 2.2 Die Rohrwand .....   | 15 |
| 2.3 Wärmeleitfähigkeit $\lambda$ .....   | 16 |
| <b>3 Wärmeübergang (Konvektion)</b> .....  | 21 |
| 3.1 Der Wärmeübergangskoeffizient.....   | 21 |
| 3.2 Ähnlichkeitstheorie des Wärmeübergangs (Kenngrößen) .....                      | 22 |
| 3.2.1 Erzwungene Strömung .....  | 25 |
| 3.2.1.1 Strömung von Gasen in Rohren.....  | 25 |
| 3.2.1.2 Strömung von Luft gegen Einzelrohr .....                                   | 27 |
| 3.2.1.3 Strömung von Luft gegen Rohrbündel .....                                   | 27 |
| 3.2.1.4 Luftströmung längs einer Platte oder Wand oder Rohr (ohne Strahlung) ..... | 28 |
| 3.2.1.5 Wasserströmung in Rohren (turbulent).....                                  | 28 |
| 3.2.1.6 Wasser in Behältern und Kesseln.....                                       | 28 |
| 3.2.1.7 Verdampfendes Kältemittel .....  | 29 |
| 3.2.2 Freie Strömung .....   | 29 |
| 3.2.2.1 Rohre in der Luft.....   | 29 |
| 3.2.2.2 Senkrechte Wände.....  | 30 |
| 3.2.2.3 Waagerechte Wände (Decken) .....   | 30 |
| 3.2.2.4 Rohre im Wasser .....  | 31 |
| 3.2.3 Wärmeübergang bei Phasenwechsel .....  | 31 |
| 3.2.3.1 Verdampfung von Wasser.....  | 31 |
| 3.2.3.2 Kondensation von Wasserdampf .....   | 34 |
| 3.2.4 Verdunstung und Stoffübergang.....   | 36 |
| <b>4 Wärmeübertragung durch Temperaturstrahlung</b> .....                          | 37 |
| 4.1 Grundgesetze .....   | 38 |
| 4.1.1 Emissionsgrad (Stefan-Boltzmann-Gesetz).....                                 | 39 |
| 4.1.2 Absorptionsgrad (Kirchhoff'sches Gesetz) .....                               | 40 |

|          |   |            |
|----------|---|------------|
| 4.2      | Wärmeaustausch durch Strahlung. ....  | 41         |
| 4.2.1    | Gesamtwärmeübergangskoeffizient bei Strahlung und Konvektion .....              | 44         |
| 4.2.2    | Einstrahlzahl. ....   | 46         |
| 4.2.3    | Gesamtwärmeübergangskoeffizient für thermisch aktive Bauteile .....             | 49         |
| 4.3      | Bedeutung der Sonnenstrahlung für die Heizung und<br>Kühlung von Gebäuden. .... | 51         |
| 4.3.1    | Einfluss auf die Raumerwärmung .....  | 54         |
| 4.3.2    | Einfluss auf die Kühllast .....   | 54         |
| <b>5</b> | <b>Wärmedurchgang</b> .....   | <b>59</b>  |
| 5.1      | Wärmedurchgangsbeziehungen. ....  | 59         |
| 5.1.1    | Wärmedurchgangskoeffizient für thermisch aktive Wände .....                     | 61         |
| 5.1.2    | Wärmedurchgangskoeffizient für Rohre. ....                                      | 66         |
| 5.2      | Wärmeübertrager. ....   | 70         |
| 5.2.1    | Gleich-, Gegen- und Kreuzstrom .....  | 70         |
| <b>6</b> | <b>Isolierung</b> .....   | <b>79</b>  |
| 6.1      | Wärme- bzw. Kälteschutz .....   | 79         |
| 6.2      | Wasserdampfdiffusion. ....  | 82         |
| <b>7</b> | <b>Anwendungen der Wärmeübertragung</b> .....                                   | <b>91</b>  |
| 7.1      | Wärme- und Kühlbedarf als Gebäudeeigenschaft .....                              | 91         |
| 7.1.1    | Heizung. ....   | 91         |
| 7.1.1.1  | Wärmebedarf (Heizlast) .....  | 92         |
| 7.1.1.2  | Heizungseinrichtungen .....   | 93         |
| 7.1.2    | Kühlung .....   | 104        |
| 7.1.2.1  | Kühlbedarf (Kühllast) (s. Abschn. 4.3) .....                                    | 104        |
| 7.1.2.2  | Kühleinrichtungen .....   | 111        |
| 7.2      | Solarthermie .....  | 124        |
| 7.2.1    | Strahlungsverdichtende Kollektoren .....  | 126        |
| 7.2.2    | Kollektoren ohne Strahlenverdichtung .....                                      | 129        |
| 7.2.3    | Solarthermische Systeme .....   | 136        |
| 7.3      | Geothermie .....  | 138        |
| <b>8</b> | <b>Thermodynamik der Wärmeübertragung</b> .....                                 | <b>141</b> |
| 8.1      | Die Irreversibilität bei der Wärmeübertragung. ....                             | 144        |
| 8.2      | Exergie und Exergieverlust .....  | 149        |

---

|  |   |            |
|--|---|------------|
| 8.3                                      | Energetische Betrachtung des Heizens und Kühlens in der Gebäudesystemtechnik..... | 155        |
| <b>Anhang</b>                            | .....   | <b>161</b> |
| <b>Literatur- und Quellenverzeichnis</b> | .....   | <b>185</b> |
| <b>Stichwortverzeichnis</b>              | .....   | <b>187</b> |