

Verein Deutscher Ingenieure  
VDI-Gesellschaft Verfahrenstechnik und Chemieingenieurwesen (GVC)  
Herausgeber

# **VDI-Wärmeatlas**

**11 bearbeitete und erweiterte Auflage**

Mit 1151 Abbildungen und 320 Tabellen

# Inhaltsverzeichnis

<b>Autorenverzeichnis</b>	-	<b>XIX</b>
<b>A Formelzeichen, Einheiten und dimensionslose Kenngrößen</b>		
<b>A1 Formelzeichen und Einheiten</b>		<b>3</b>
<i>Matthias Kind · Holger Martin</i>		
<b>A2 Dimensionslose Kenngrößen</b>		<b>13</b>
<i>Holger Martin</i>		
<b>B Grundlagen der Wärmeübertragung</b>		
<b>B1 Wärme und verschiedene Arten der Wärmeübertragung</b>		<b>19</b>
<i>Peter Stephan</i>		
<b>B2 Berechnungsmethoden für Wärmeleitung, konvektiven Wärmeübergang und Wärmestrahlung . .</b>		<b>23</b>
<i>Peter Stephan</i>		
<b>C Grundlagen der Berechnung von Wärmeübertragern</b>		
<b>C1 Berechnung von Wärmeübertragern</b>		<b>37</b>
<i>Wilfried Roetzel · Bernhard Spang</i>		
<b>C2 Wärmedurchgang</b>		<b>75</b>
<i>Wilfried Roetzel · Bernhard Spang</i>		
<b>C3 Typische Werte von Wärmedurchgangskoeffizienten</b>		<b>85</b>
<i>Wilfried Roetzel · Bernhard Spang</i>		
<b>C4 Verminderung der Ablagerungsbildung in Wärmeübertragern</b>		<b>91</b>
<i>Hans Müller-Steinhagen</i>		
<b>C5 Wärmeübertragernetzwerke</b>		<b>123</b>
<i>Xing Luo · Wilfried Roetzel</i>		
<b>C6 Kosten und Wirtschaftlichkeit von Wärmeübertragern</b>		<b>133</b>
<i>Bernhard Spang · Wilfried Roetzel</i>		
<b>D Thermophysikalische Stoffeigenschaften</b>		
<b>D1 Berechnungsmethoden für Stoffeigenschaften</b>		<b>137</b>
<i>Michael Kleiber · Ralph Joh</i>		
<b>D2 Stoffwerte von bedeutenden reinen Fluiden</b>		<b>175</b>
<b>D2.1 Wasser</b>		<b>175</b>
<i>Wolfgang Wagner · Hans-Joachim Kretschmar</i>		
<b>D2.2 Trockene Luft</b>		<b>196</b>
<i>Roland Span</i>		

	<b>D2.3 Stickstoff</b>	<b>218</b>
	<i>Roland Span</i>	
	<b>D2.4 Kohlendioxid</b>	<b>240</b>
	<i>Roland Span</i>	
	<b>D2.5 Sauerstoff</b>	<b>263</b>
	<i>Roland Span</i>	
	<b>D2.6 Ammoniak</b>	<b>287</b>
	<i>Roland Span</i>	
	<b>D2.7 R134a (1,1,1,2-Tetrafluorethan)</b>	<b>311</b>
	<i>Roland Span</i>	
	<b>D2.8 R1234yf (2,3,3,3-Tetrafluorprop-1-ene)</b>	<b>335</b>
	<i>Roland Span</i>	
<b>D3</b>	<b>Stoffwerte von sonstigen reinen Fluiden</b>	<b>357</b>
	<b>D3.1 Flüssigkeiten und Gase</b>	<b>357</b>
	<i>Michael Kleiber · Ralph Joh</i>	
	<b>D3.2 Stoffwerte bei Sättigung</b>	<b>465</b>
	<i>Roland Span</i>	
<b>D4</b>	<b>Stoffwerte von technischen Wärmeträgern</b>	<b>489</b>
	<b>D4.1 Kältemittel</b>	<b>489</b>
	<i>Felix Flohr · Ewald Preisegger</i>	
	<b>D4.2 Kältebäder, wässrige Lösungen und Glykole</b>	<b>507</b>
	<i>Gernot Krakat</i>	
	<b>D4.3 Wärmeträger auf Mineralölbasis und synthetische Wärmeträger</b>	<b>528</b>
	<i>Andreas Glück · Dietmar Hunold</i>	
<b>05</b>	<b>Stoffeigenschaften von Mehrkomponenten-Gemischen</b>	<b>585</b>
	<b>D5.1 Berechnung von Dampf-Flüssigkeits-Gleichgewichten</b>	<b>585</b>
	<i>Andreas Pfennig</i>	
	<b>D5.2 Polymerlösungen: Dampf-Flüssigkeits-Gleichgewichte und Diffusionskoeffizienten</b>	<b>601</b>
	<i>Wilhelm Schabel</i>	
	<b>D5.3 Dampfdrücke von wässrigen Salzlösungen</b>	<b>608</b>
	<i>Hartwig Wolf</i>	
<b>D6</b>	<b>Stoffwerte von Feststoffen</b>	<b>629</b>
	<b>D6.1 Metalle und Metalllegierungen</b>	<b>629</b>
	<i>Christian Ullrich · Thomas Bodmer</i>	
	<b>D6.2 Polymere</b>	<b>646</b>
	<i>Christof Hübner · Paul Bernd Kempa</i>	
	<b>D6.3 Wärmeleitfähigkeit von Schüttichten</b>	<b>651</b>
	<i>Evangelos Tsotsas</i>	
	<b>D6.4 Stoffwerte von feuerfesten Materialien</b>	<b>661</b>
	<i>Axel Eschner</i>	

<b>D6.5 Kälte- und Wärmedämmstoffe</b>	<b>672</b>
<i>Günther Kasperek</i>	
<b>D6.6 Wärmeleitfähigkeit von Dämmstoffen in Abhängigkeit von Temperatur und Feuchtegehalt</b>	<b>677</b>
<i>Fabian Ochs</i>	
<b>D6.7 Wärmeleitfähigkeit von Erdreich, Holz, Holzwerkstoffen, allgemeinen Baustoffen und Mauerwerk . .</b>	<b>686</b>
<i>Martin H. Spitzner</i>	
<b>E Wärmeleitung</b>	
<b>E1 Stationäre Wärmeleitung</b>	<b>709</b>
<i>Erich Hahne · Klaus Elgeti</i>	
<b>E2 Instationäre Wärmeleitung in ruhenden Körpern</b>	<b>727</b>
<i>Holger Martin</i>	
<b>F Wärmeübertragung durch freie Konvektion</b>	
<b>F1 Wärmeübertragung durch freie Konvektion: Grundlagen</b>	<b>753</b>
<i>Andre Thess</i>	
<b>F2 Wärmeübertragung durch freie Konvektion: Außenströmung.</b>	<b>757</b>
<i>Herbert Klan, bearbeitet von Andre Thess</i>	
<b>F3 Wärmeübertragung bei freier Konvektion: Innenströmungen</b>	<b>765</b>
<i>Herbert Klan, bearbeitet von Andre Thess</i>	
<b>F4 Sonderfälle</b>	<b>773</b>
<i>Herbert Klan, bearbeitet von Andre Thess</i>	
<b>F5 Wärmeabgabe von Heizkörpern beim Betrieb mit Warmwasser</b>	<b>777</b>
<i>Herbert Klan, bearbeitet von Andre Thess</i>	
<b>G Wärmeübertragung bei erzwungener Konvektion</b>	
<b>G1 Durchströmte Rohre</b>	<b>785</b>
<i>Volker Gnielinski</i>	
<b>G2 Wärmeübertragung im konzentrischen Ringspalt und im ebenen Spalt</b>	<b>793</b>
<i>Volker Gnielinski</i>	
<b>G3 Durchströmte Rohrwendeln</b>	<b>801</b>
<i>Volker Gnielinski</i>	
<b>G4 Längsumströmte ebene Wände</b>	<b>805</b>
<i>Volker Gnielinski</i>	
<b>G5 Bewegte Oberflächen mit paralleler Überströmung</b>	<b>809</b>
<i>Holger Martin</i>	
<b>G6 Querumströmte einzelne Rohre, Drähte und Profilylinder</b>	<b>817</b>
<i>Volker Gnielinski</i>	
<b>G7 Querumströmte einzelne Rohrreihen und Rohrbündel</b>	<b>819</b>
<i>Volker Gnielinski</i>	

<b>G8</b>	<b>Wärmeübertragung im Außenraum von Rohrbündel-Wärmeübertragern mit Umlenkblechen</b>	<b>825</b>
	<i>Edward S. Gaddis · Volker Gnielinski</i>	
<b>G9</b>	<b>Wärmeübertragung Partikel – Fluid in durchströmten Haufwerken</b>	<b>839</b>
	<i>Volker Gnielinski</i>	
<b>G10</b>	<b>Prallströmung</b>	<b>841</b>
	<i>Wilhelm Schabel · Holger Martin</i>	
<b>H</b>	<b>Wärmeübergang beim Sieden</b>	
<b>HI</b>	<b>Entstehung von Dampfblasen</b>	<b>851</b>
	<i>Karl Stephan</i>	
<b>H2</b>	<b>Behältersieden (Sieden in freier Konvektion)</b>	<b>853</b>
	<i>Dieter Gorenflo</i>	
<b>H3</b>	<b>Strömungssieden – Einführung</b>	<b>895</b>
	<i>Matthias Kind</i>	
	<b>H3.1 Strömungsformen in Verdampferrohren</b>	<b>898</b>
	<i>Matthias Kind</i>	
	<b>H3.2 Druckverlust in durchströmten Verdampferrohren</b>	<b>903</b>
	<i>Matthias Kind</i>	
	<b>H3.3 Strömungssieden unterkühlter Flüssigkeiten</b>	<b>906</b>
	<i>Matthias Kind</i>	
	<b>H3.4 Strömungssieden gesättigter, reiner Flüssigkeiten</b>	<b>915</b>
	<i>Matthias Kind · Yasushi Saito</i>	
	<b>H3.5 Kritische Siedezustände</b>	<b>935</b>
	<i>Oliver Herbst</i>	
	<b>H3.6 Wärmeübergang beim Strömungssieden nach der Siedekrise</b>	<b>974</b>
	<i>Anastassios Katsaounis · Matthias Kind</i>	
	<b>H3.7 Strömungssieden von Gemischen</b>	<b>992</b>
	<i>Matthias Kind · Yasushi Saito</i>	
	<b>H3.8 Symbol- und Literaturverzeichnis für Abschn. H3.1-H3.7</b>	<b>998</b>
	<i>Matthias Kind</i>	
<b>J</b>	<b>Wärmeübergang bei der Kondensation</b>	
<b>J1</b>	<b>Filmkondensation reiner Dämpfe</b>	<b>1011</b>
	<i>Reiner Numrich · Jürgen Müller</i>	
<b>J2</b>	<b>Kondensation von Mehrstoffgemischen</b>	<b>1029</b>
	<i>Reiner Numrich</i>	
<b>J3</b>	<b>Tropfenkondensation</b>	<b>1041</b>
	<i>Alfred Leipertz</i>	
<b>J4</b>	<b>Misch- und Sprühkondensation</b>	<b>1047</b>
	<i>Ulrich Hochberg</i>	

<b>J5</b>	<b>Spontane Kondensation und Aerosolbildung</b>	<b>1053</b>
	<i>Friedrich Ehrler · Karlheinz Schaber</i>	
<b>K</b>	<b>Wärmestrahlung</b>	
<b>K1</b>	<b>Strahlung technischer Oberflächen</b>	<b>1083</b>
	<i>Stephan Kabelac · Dieter Vortmeyer</i>	
<b>K2</b>	<b>Sichtfaktoren</b>	<b>1097</b>
	<i>Dieter Vortmeyer · Stephan Kabelac</i>	
<b>K3</b>	<b>Strahlung von Gasen und Gasgemischen</b>	<b>1115</b>
	<i>Dieter Vortmeyer · Stephan Kabelac</i>	
<b>K4</b>	<b>Wärmestrahlung von Gas-Feststoff-Gemischen</b>	<b>1129</b>
	<i>Hans-Gerd Brummel</i>	
<b>K5</b>	<b>Wärmestrahlung in Brennräumen</b>	<b>1139</b>
	<i>Klaus Görner</i>	
<b>K6</b>	<b>Superisolierungen</b>	<b>1153</b>
	<i>Harald Reiss</i>	
<b>L</b>	<b>Strömungsdynamik und Druckverlust</b>	
<b>LI</b>	<b>Einphasige Strömungen</b>	<b>1221</b>
	<b>L1.1 Druckverlust in einphasigen Strömungen</b>	<b>1221</b>
	<i>Werner Kast, bearbeitet von Hermann Nirschl</i>	
	<b>L1.2 Druckverlust in durchströmten Rohren</b>	<b>1223</b>
	<i>Werner Kast, bearbeitet von Hermann Nirschl</i>	
	<b>L1.3 Druckverlust in durchströmten Leitungen mit Querschnittsänderungen</b>	<b>1228</b>
	<i>Werner Kast, bearbeitet von Hermann Nirschl</i>	
	<b>L1.4 Druckverlust in quenumströmten Rohrbündeln</b>	<b>1238</b>
	<i>Edward S. Gaddis</i>	
	<b>L1.5 Druckverlust in umströmten Rohrbündeln in Wärmeübertragern mit und ohne Umlenkleche</b>	<b>1259</b>
	<i>Edward S. Gaddis</i>	
	<b>L1.6 Druckverlust in durchströmten Schüttungen</b>	<b>1275</b>
	<i>Karl-Ernst Wirth</i>	
	<b>L1.7 Druckverlust bei der Durchströmung von Lochplatten</b>	<b>1280</b>
	<i>Johann Stichlmair</i>	
<b>L2</b>	<b>Zweiphasige Gas-Flüssigkeitsströmungen</b>	<b>1285</b>
	<b>L2.1 Berechnung der Phasenanteile</b>	<b>1285</b>
	<i>Holger Schmidt</i>	
	<b>L2.2 Druckabfall von Gas-Flüssigkeitsströmungen in Rohren, Leitungselementen und Armaturen</b>	<b>1293</b>
	<i>Anton Wellenhofer · Sebastian Muschelknautz</i>	
	<b>L2.3 Auslegung von Schutzeinrichtungen für wärmeübertragende Apparate</b>	<b>1307</b>
	<i>Jürgen Schmidt</i>	

	<b>L2.4 Berechnung kritischer Massenströme</b>	<b>1320</b>
	<i>Jürgen Schmidt</i>	
	<b>L2.5 Druckverlust und Flutgrenze bei vertikaler Gegenströmung</b>	<b>1341</b>
	<i>Dieter Mewes</i>	
	<b>L2.6 Druckverlust und Flutgrenze in berieselten Packungen</b>	<b>1346</b>
	<i>Alfons Mersmann</i>	
	<b>L2.7 Nasser Druckverlust und Leerblasen von Kolonnenböden</b>	<b>1354</b>
	<i>Johann Stichlmair</i>	
<b>L3</b>	<b>Zweiphasige Gas-Festkörper-Strömungen</b>	<b>1359</b>
	<b>L3.1 Bewegung fester Partikel in Gasen und Flüssigkeiten</b>	<b>1359</b>
	<i>Martin Sommerfeld</i>	
	<b>L3.2 Strömungsformen und Druckverlust in Wirbelschichten</b>	<b>1371</b>
	<i>Karl-Ernst Wirth</i>	
	<b>L3.3 Druckverlust in pneumatischen Transportanlagen</b>	<b>1382</b>
	<i>Ulrich Muschelknautz</i>	
	<b>L3.4 Zyklone zum Abscheiden fester Partikel aus Gasen</b>	<b>1400.</b>
	<i>Ulrich Muschelknautz</i>	
<b>L4</b>	<b>Blasen und Tropfen in technischen Apparaten</b>	<b>1413</b>
	<b>L4.1 Bildung und Bewegung von Tropfen und Blasen</b>	<b>1413</b>
	<i>Norbert Rübiger · Michael Schlüter</i>	
	<b>L4.2 Entstehen und mechanisches Zerstören von Schäumen</b>	<b>1429</b>
	<i>Alfons Mersmann</i>	
	<b>L4.3 Tropfenabscheidung</b>	<b>1439</b>
	<i>Hans Detlef Dahl · Andrea Luke</i>	
	<b>L4.4 Zerstäubung mit Einstoffdruckdüsen</b>	<b>1446</b>
	<i>Peter Watzel · Emir Musemic</i>	
<b>M</b>	<b>Sonderprobleme der Wärmeübertragung</b>	
<b>M1</b>	<b>Wärmeübergang an berippten Rohren</b>	<b>1459</b>
	<i>Klaus Gerhard Schmidt</i>	
<b>M2</b>	<b>Wärmedurchgang durch Wände mit aufgeschweißten Rohrschlangen</b>	<b>1465</b>
	<i>Wolfgang Heidemann</i>	
<b>M3</b>	<b>Wärmeübergang an senkrechten Rieselfilmen</b>	<b>1475</b>
	<i>Günter Schnabel</i>	
• <b>M4</b>	<b>Wärmeübergang an nichtnewtonschen Flüssigkeiten</b>	<b>1483</b>
	<i>Manfred H. Wagner</i>	
<b>M5</b>	<b>Wärmeübergang in Wirbelschichten</b>	<b>1489</b>
	<i>Holger Martin</i>	
<b>M6</b>	<b>Wärmeübergang von einer Heizfläche an ruhende oder mechanisch durchmischte Schüttungen</b>	<b>1499</b>
	<i>Evangelos Tsotsas</i>	

<b>M7</b>	<b>Wärmeleitung und Dispersion in durchströmten Schüttungen</b>	<b>1517</b>
	<i>Evangelos Tsotsas</i>	
<b>M8</b>	<b>Be- und Entfeuchten von Luft</b>	<b>1535</b>
	<i>Manfred Zeller · Ulrich Busweiler</i>	
<b>M9</b>	<b>Konvektive Wärmeübertragung bei hohen Strömungsgeschwindigkeiten</b>	<b>1555</b>
	<i>Bernhard Weigand · Nimai-Kumar Mitra</i>	
<b>MIO</b>	<b>Wärmeübertragung und Strömung in verdünnten Gasen</b>	<b>1569</b>
	<i>Arnold Frohn · Norbert Roth · Klaus Anders</i>	
<b>N</b>	<b>Spezielle Wärmeübertrager</b>	
<b>N1</b>	<b>Wärmeübertragung in Regeneratoren</b>	<b>1589</b>
	<i>Wolfgang Bender · Helmuth Hausen</i>	
<b>N2</b>	<b>Kombinierte Wärme- und Stoffübertragung in rotierenden Regeneratoren</b>	<b>1605</b>
	<i>Gerd Gaiser</i>	
<b>N3</b>	<b>Wärmeübertragung und Leistungsaufnahme in Rührkesseln</b>	<b>1621</b>
	<i>Edward S. Gaddis</i>	
<b>N4</b>	<b>Kühltürme</b>	<b>1655</b>
	<i>Paul J. Erens · Hanno C. R. Reuter</i>	
<b>N5</b>	<b>Wärmerohre</b>	<b>1675</b>
	<i>Peter Stephan</i>	
<b>N6</b>	<b>Druckverlust und Wärmeübergang in Plattenwärmeübertragern</b>	<b>1687</b>
	<i>Holger Martin</i>	
<b>O</b>	<b>Konstruktion von Wärmeübertragern</b>	
<b>01</b>	<b>Konstruktive Hinweise für den Bau von Wärmeübertragern</b>	<b>1697</b>
	<i>Peter Wolf · Günther Kirchner</i>	
<b>02</b>	<b>Schwingungen in Wärmeübertrager-Rohrbündeln</b>	<b>1723</b>
	<i>Samir Ziada · Horst Gelbe</i>	