

INTERNATIONAL STUDIES in SCIENCE and ENGINEERING

Roman Weber Rüdiger Alt Marc Muster

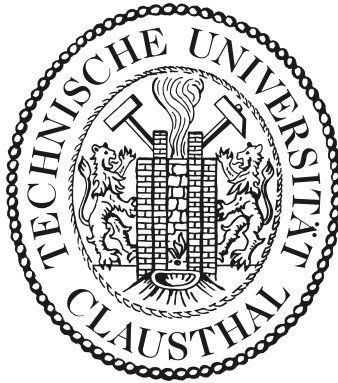
VORLESUNGEN

zur

WÄRMEÜBERTRAGUNG

Teil I: GRUNDLAGEN

2. Auflage



Prof. Dr.–Ing. Roman Weber
Technische Universität Clausthal
Institut für Energieverfahrenstechnik
und Brennstofftechnik (IEVB)
Agricolastraße 4
38 678 Clausthal-Zellerfeld
Deutschland
roman.weber@ievb.tu-clausthal.de

Weber, Roman; Alt, Rüdiger; Muster, Marc:
Vorlesungen zur Wärmeübertragung, Teil I: Grundlagen
Clausthal-Zellerfeld: Papierflieger 2008
ISBN 3-89720-798-2

Bibliografische Information der Deutschen Bibliothek

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.ddb.de> abrufbar.

INTERNATIONAL STUDIES in SCIENCE and ENGINEERING

Herausgeber:

Prof. Dr.–Ing. Roman Weber, Technische Universität Clausthal (Deutschland)

Mitherausgeber:

Dr.–Ing. Rüdiger Alt, Technische Universität Clausthal (Deutschland)
Prof. Dr.–Ing. Ryszard Bialecki, Technische Universität von Schlesien (Polen)
Prof. Xu Delong, Xi'an University of Architecture and Technology (China)
Prof. Dr. Peter v. Dierkes, Technische Universität Clausthal (Deutschland)
Dipl.-Math. Marc Muster, Technische Universität Clausthal (Deutschland)
Prof. Dr.–Ing. Andrzej Nowak, Technische Universität von Schlesien (Polen)
Prof. Dr.–Ing. Reinhard Scholz, Technische Universität Clausthal (Deutschland)

In dieser Reihe sind bereits erschienen:

1. Weber, R.: *Lecture Notes in Heat Transfer*, 3. Auflage 2008
2. Jeschar, R.; Kostowski, E.; Alt, R.: *Wärmestrahlung in Industrieöfen*, 2004
3. Weber, R.; Alt, R.; Muster, M.: *Vorlesungen zur Wärmeübertragung, Teil I*, 2. Auflage 2008
4. + 5. Dierkes, P.; Bruch, G.: *Abfall und Chemie, Teil I und II*, 2007
6. + 7. Dierkes, P.; Bruch, G.: *Management und Daseinsvorsorge, Teil I und II*, 2007
8. Weber, R.: *Combustion Fundamentals*, 2008

Copyright © 2008 by PAPIERFLIEGER, Clausthal-Zellerfeld 2008, Telemannstr. 1, 38678 Clausthal-Zellerfeld, Tel.: 05323/96746, <http://www.papierflieger-verlag.de>

Kein Teil dieses Buches darf ohne vorherige schriftliche Genehmigung des Herausgebers vervielfältigt oder übertragen werden in irgendeiner Form oder durch irgendein Medium, elektronisch oder mechanisch, einschließlich Fotokopieren, Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

ISBN 3-89720-798-2

Für den Umschlag dieses Buches wurden Fotografien von Herrn Dr. Rüdiger Alt und Herrn Peter Becker (beide IEVB, TU Clausthal) verwendet.

Inhaltsverzeichnis

Für den Studenten.....	i
Danksagung.....	iii
Vorwort zur deutschsprachigen Ausgabe.....	v
Abweichungen von der deutschsprachigen Symbolik.....	viii
Symbole.....	ix
Kapitel 1: Einführung in die Wärmeübertragung.....	1
1.1 Wärmeübertragungsmechanismen.....	1
1.2 Transportansätze.....	2
1.2.1 Wärmeleitung.....	3
1.2.2 Konvektion.....	5
1.2.3 Wärmestrahlung.....	9
1.3 Energieerhaltung.....	14
1.4 Die bedeutende Rolle der Wärmeübertragung.....	23
1.5 Zusammenfassung.....	27
Schrifttum.....	27
Kapitel 2: Einführung in die Wärmeleitung.....	29
2.1 Fourierscher Ansatz.....	29
2.1.1 Wärmeleitfähigkeit.....	31
2.1.2 Volumenbezogene Wärmekapazität und Temperaturleitfähigkeit.....	31
2.2 Die Wärmeleitungsgleichung.....	34
2.2.1 Kartesische Koordinaten.....	42
2.2.2 Zylinderkoordinaten.....	46
2.2.3 Allgemeine Koordinaten.....	48
2.3 Rand- und Anfangsbedingungen.....	50
2.3.1 Austausch durch Konvektion und Strahlung an der Berandung.....	50
2.3.2 Gegebene Wärmestromdichte an der Berandung.....	53
2.3.3 Gegebene Temperatur an der Berandung.....	54
2.3.4 Wärmeleitende Körper in direktem Kontakt.....	54
2.4 Zusammenfassung.....	58
Schrifttum.....	58
Kapitel 3: Eindimensionale Wärmeleitung.....	59
3.1 Eindimensionale stationäre Wärmeleitung.....	59
3.1.1 Ebene Wand.....	59
3.1.2 Zylindrische Wand.....	66
3.1.3 Geometrien mit variabler Wärmeleitfläche, aber konstantem Wärmestrom.....	75
3.2 Stationäre Wärmeübertragung von erweiterten Oberflächen (Rippen).....	76
3.3 Eindimensionale instationäre Wärmeleitung.....	77
3.3.1 Die Methode der Blockkapazität.....	77
3.3.2 Nichtvernachlässigbarer Temperaturgradient in einem wärmeleitenden Körper.....	81
3.4 Zusammenfassung.....	94
Schrifttum.....	95
Kapitel 4: Numerische Methoden in der Wärmeleitung.....	97
4.1 Mehrdimensionale Wärmeleitung.....	97
4.2 Das Wesen numerischer Methoden.....	98
4.3 Stationäre Wärmeleitung.....	100
4.3.1 Stationäre eindimensionale Wärmeleitung.....	100
4.3.2 Grundregeln für die Diskretisierungsgleichungen.....	112
4.4 Instationäre eindimensionale Wärmeleitung.....	114
4.4.1 Explizites Schema.....	116
4.4.2 Crank-Nicolson-Schema.....	123
4.4.3 Implizites Schema.....	124
4.5 Zusammenfassung.....	129
Schrifttum.....	129

Kapitel 5: Einführung in die Konvektion	131
5.1 Konvektion der Wärme	131
5.1.1 Hydrodynamische (Geschwindigkeits-) Grenzschicht an einer ebenen Platte.....	134
5.1.2 Thermische (Temperatur-) Grenzschicht an einer ebenen Platte.....	137
5.1.3 Wärmeübertragung in Grenzschichten.....	138
5.1.4 Lokale Wärmeübergangskoeffizienten in laminarer Grenzschicht über einer ebenen Platte.	139
5.1.5 Lokale Wärmeübergangskoeffizienten in turbulenter Grenzschicht über einer ebenen Platte	144
5.2 Grundgleichungen; Dimensionslose Kennzahlen.....	151
5.3 Allgemeine Beziehungen – Nußelt-Funktionen	152
5.4 Erzwungene Konvektion	153
5.4.1 Überströmte ebene Platte	153
5.4.2 Umströmte Kugel	154
5.4.3 Senkrecht angeströmter Zylinder.....	156
5.4.4 Quer angeströmtes Rohrbündel	158
5.4.5 Durchströmtes Rohr.....	160
5.4.6 Strömung durch einen nichtkreisförmigen Kanal	162
5.5 Freie Konvektion	163
5.5.1 Senkrechte Oberfläche.....	164
5.5.2 Langer horizontaler Zylinder.....	165
5.6 Kondensation.....	166
5.7 Sieden.....	167
5.7.1 Die unterschiedlichen Siedebereiche	168
5.7.2 Siedekrise.....	169
5.8 Zusammenfassung.....	171
Schrifttum	172
Kapitel 6: Grundlagen für die Auslegung von Wärmeübertragern.....	173
6.1 Wärmeübertrager	173
6.2 Wärmedurchgangskoeffizient.....	175
6.3 Mittlere logarithmische Temperaturdifferenz (LMTD).....	177
6.4 Berechnung von Wärmeübertragern – Gebrauch der mittleren logarithmischen Temperaturdifferenz	180
6.4.1 Gleichstrom-Wärmeübertrager	180
6.4.2 Gegenstrom-Wärmeübertrager	186
6.4.3 Vergleich von Gegenstrom- und Gleichstrom-Wärmeübertragern	187
6.4.4 Kreuzstrom-Wärmeübertrager.....	189
6.5 Zusammenfassung.....	190
Schrifttum	190
Kapitel 7: Einführung in die Wärmeübertragung durch Strahlung.....	191
7.1 Elektromagnetische Strahlung	191
7.1.1 Die wichtige Rolle der Wärmestrahlung	192
7.1.2 Elektromagnetisches Spektrum	193
7.1.3 Wärmestrahlung	197
7.2 Geometrische Betrachtungen.....	198
7.2.1 Normale eines Flächenelementes.....	198
7.2.2 Raumwinkel	198
7.2.3 Fläche und Projektionsfläche	201
7.2.4 Strahlungsintensität und Bestrahlung.....	202
7.3 Prozessbestimmende Gesetze für die Wärmeübertragung.....	204
7.3.1 Schwarzkörperstrahlung.....	204
7.3.2 Plancksches Strahlungsgesetz	206
7.3.3 Wiensches Verschiebungsgesetz	212
7.3.4 Stefan-Boltzmann-Gesetz	212
7.4 Schwarzkörperstrahlung in einem Wellenlängenbereich.....	214
7.4 Historische Bemerkungen – Ursprünge der Quantenmechanik	216
7.6 Zusammenfassung.....	218
Schrifttum	219
Anhang	220
Fachausdrücke und häufig verwendete Begriffe.....	220
Index	241