

Rudolf Jeschar Edward Kostowski Rüdiger Alt

WÄRMESTRAHLUNG IN INDUSTRIEÖFEN



Institut für Energieverfahrenstechnik und Brennstofftechnik
der Technischen Universität Clausthal

Institute of Thermal Technology
Silesian University of Technology Gliwice

2004

Jeschar, Rudolf; Kostowski, Edward; Alt, Rüdiger:

Wärmestrahlung in Industrieöfen

Clausthal-Zellerfeld: Papierflieger 2004, ISBN 3-89720-686-2

auch erschienen bei:

Gliwice: Wydawnictwo Politechniki Śląskiej 2004, ISBN 83-7335-232-5

Bibliografische Information der Deutschen Bibliothek

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

INTERNATIONAL STUDIES in SCIENCE and ENGINEERING

Gutachten von:

Prof. Dr.-Ing. Roman Weber (IEVB, TU Clausthal)

Prof. Dr.-Ing. habil. Ryszard Bialecki (ITC, STU Gliwice)

Die Autoren:

Prof. R. Jeschar und Dr. R. Alt (info@ievb.tu-clausthal.de)

Prof. E. Kostowski (kostowsk@itc.polsl.pl)

Technical Editor: Alicja Nowacka

Cover design: Tomasz Lamorski

Copyright © 2004 Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice (Polen)

44-100 Gliwice, ul. Akademicka 5, Tel./Fax: ++48/032/237 1381

wydawnictwo@polsl.pl , <http://wydawnictwo.polsl.pl>

Copyright © 2004 PAPIERFLIEGER, Clausthal-Zellerfeld (Deutschland)

38678 Clausthal-Zellerfeld, Telemannstraße 1, Tel.: ++49/05323/96746

papierflieger@t-online.de; <http://www.papierflieger-verlag.de>

No part of this publication may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying, recording, or any information storage and retrieval system, without the prior permission in writing from the publishers.

Cover photos from LOI-Poland and PiecoSerwis

First Edition 2004

ISBN 3-89720-686-2

ISBN 83-7335-232-5

Inhaltsübersicht

Vorwort	Seite VII
Symbolverzeichnis	IX
Zeittafel	XII

Kapitel 1. Grundbegriffe und Grundgesetze der Wärmestrahlung 1

1.1. Grundbegriffe der Wärmestrahlung	3
1.2. Grundgesetze der Wärmestrahlung; Bruchteilfunktion	8
- Das Prevostsche Gesetz	8
- Das Kirchhoffsche Strahlungsgesetz	8
- Das Plancksche Strahlungsgesetz	9
- Das Wiensche Verschiebungsgesetz	11
- Das Stefan-Boltzmannsche Strahlungsgesetz	11
- Strahlung im Nichtvakuum	12
- Das Lambertsche Kosinusgesetz	13
- Die Bruchteilfunktion	15
1.3. Emissionsgrad fester und flüssiger Körper	18
- Wellenlängenabhängigkeit	18
- Richtungsabhängigkeit	22
- Temperaturabhängigkeit	24

Kapitel 2. Strahlungsaustausch im diathermanen Raum 27

2.1. Einstrahlzahl	28
2.2. Energiebilanz an strahlenden Oberflächen; Nettostrahlungsmethode	35
2.3. Strahlungsaustausch im zweiflächigen umschlossenen Raum; Strahlungsaustauschgrad	42
- Ersatzemissionsgrad	44
2.4. Strahlungsaustausch im mehrflächigen System	46
2.5. Netzwerk-Methode	49
2.6. Strahlungsschirm	57
2.7. Überlagerung von Konvektion und Strahlung; Radiativer Wärmeübergangskoeffizient	61

Kapitel 3. Strahlung des teilweise durchsichtigen Mediums 67

3.1. Absorptions-, Emissions- und Transmissionsgrad des teilweise durchsichtigen Mediums	67
- Strahlung in einem umschlossenen Raum	69

aphie,

NG

ans,
e

3.2.	Äquivalente Schichtdicke des strahlenden Gases	71
3.3.	Gasstrahlung	74
	- Emissionsgrad von Abgasen	79
	- Approximationsformeln	80
3.4.	Modell des Grauen Gases und Modell des Nichtgrauen Gases	83
	- Graugas-Modell	84
	- Nichtgraugas-Modell	84
	- Vergleich der Modelle	86
	- Bestimmung des Absorptionskoeffizienten	88
3.5.	Emissionsgrad von im Gas suspendierten Feststoffpartikeln	88
	- Rußstrahlung	89
	- Staubstrahlung	91
3.6.	Modell des realen strahlenden Gases	94
Kapitel 4. Strahlungsaustausch in einem Raum mit strahlendem Gas		99
4.1.	Strahlungsaustausch zwischen einem isothermen Gas und einer isothermen Wand	99
4.2.	Strahlungsaustausch zwischen einem isothermen Gas und einer Wand aus mehreren jeweils isothermen Flächen	101
	- Dreieraustausch: allgemeiner Fall	102
	- Dreieraustausch: Teilwärmeströme	103
	- Dreieraustausch: Gas als Wärmequelle, Wand adiabat	108
	- Dreieraustausch: Wand als Wärmequelle, Gas wärmequellenfrei	110
	- Viereraustausch: ebene Decke als Wärmequelle, Wand adiabat, Gas wärmequellenfrei	113
4.3.	Netzwerk-Methode im Raum mit strahlendem Gas	117
4.4.	Mehrflächiges System und nichtisothermes Gas – die Zonenmethode	120
	- Bestimmung der Austauschflächen	123
	- Raum mit Schwarzen Wänden und strahlendem Grauen Gas	124
	- Raum mit Grauen Wänden und nichtstrahlendem Gas	124
	- Raum mit Grauen Wänden und strahlendem Grauen Gas	127
	- Raum mit Grauen Wänden und strahlendem Nichtgrauen Gas	130
4.5.	Wärmeübergangskoeffizient im Industrieofen	131
Schrifttum		132
Anhang: Einstrahlzahlen, Emissionsgrade		135
A1.	Einstrahlzahlen für Strahlung eines infinitesimal kleinen Flächenelementes	135
A2.	Einstrahlzahlen für Strahlung zwischen nicht infinitesimal kleinen Flächen	139
A3.	Emissionsgrade technischer Oberflächen	145
Stichwortverzeichnis		146