

Aufgabensammlung
mit Musterlösungen und theoretischen Einführungen

TECHNISCHE THERMODYNAMIK II

Natalia Schaffel-Mancini

**INTERNATIONAL STUDIES
in SCIENCE and ENGINEERING**

Bibliografische Information Der Deutschen Nationalbibliothek

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

Dr.-Ing. Natalia Schaffel-Mancini
Technische Universität Clausthal
Institut für Energieverfahrenstechnik und Brennstofftechnik (IEVB)
Agricolastrasse 4, 38 678 Clausthal-Zellerfeld, Germany
schaffel@ievb.tu-clausthal.de

INTERNATIONAL STUDIES in SCIENCE and ENGINEERING

Editor in Chief:

Prof. Dr.-Ing. Roman Weber, Clausthal University of Technology (Germany)

Editorial Board:

Prof. Dr.-Ing. Ryszard Bialecki, Silesian University of Technology (Poland)

Prof. Xu Delong, Xi'an University of Architecture and Technology (China)

Prof. Dr. Peter v. Dierkes, former President of Berliner Stadtreinigungsbetriebe (Germany)

Dipl.-Math. Marc Muster, Clausthal University of Technology (Germany)

Prof. Dr.-Ing. Andrzej Nowak, Silesian University of Technology (Poland)

Prof. Dr.-Ing. Reinhard Scholz, Clausthal University of Technology (Germany)

Already published:

1. Weber, R.: Lecture Notes in Heat Transfer
2. Jeschar, R.; Kostowski, E.; Alt, R.: Wärmestrahlung in Industrieöfen
3. Weber, R.; Alt, R.; Muster, M.: Vorlesungen zur Wärmeübertragung, Teil I
- 4-7. Dierkes, P. v.; Bruch, G.: Abfall und Chemie, Teil I, II, III und IV
- 8-10. Dierkes, P. v.; Bruch, G.: Management und Daseinvorsorge, Teil I, II und III
11. Weber, R.: Combustion Fundamentals
12. Alt, R.; Weber, R.: Vokabelsammlung Mathematik
13. Nowak, A. J. (Editor): Numerical Methods in Heat Transfer
14. Tsatsaronis, G.; Boyano, A. (Editors): Optimization using exergy-based methods and CFD
15. Schaffel-Mancini, N.: Technische Thermodynamik I
16. Weber, R.: Lecture Notes in Heat Transfer, Part II, Radiative Heat Transfer

Schaffel-Mancini, Natalia :

Technische Thermodynamik II, Aufgabensammlung mit Musterlösungen und theoretischen Einführungen

Zweite Auflage 2013

Copyright © 2013 by PAPIERFLIEGER Verlag, 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 in irgendeiner Form oder durch irgendein Medium, elektronisch oder mechanisch, einschließlich Fotokopieren, Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen übertragen werden.

ISBN 978-3-86948-215-6

Der Umschlag dieses Buches wurde von Herrn Claus J. Röth und Herrn Marc Muster (beide IEVB, TU Clausthal) gestaltet.

Vorwort

Das vorliegende Buch ist als vorlesungsbegleitendes Skript zur Lehrveranstaltung Technische Thermodynamik II entstanden. Es ist zu beachten, dass die Thematik der Technischen Thermodynamik I in diesem Buch als vorausgesetzt betrachtet wird. Das heißt, dass man den Inhalt des vorhergehenden Buches zur Technischen Thermodynamik I und der dazugehörigen Vorlesung sicher beherrschen sollte.

Thermodynamik gehört zu den Grundlagenwissenschaften der Ingenieurwissenschaften und wird erfahrungsgemäß, wie fast alle ingenieurwissenschaftliche Grundlagenfächer, zumeist als ein schwieriges Fach empfunden.

Es existiert eine umfangreiche Sammlung an Literatur, die sich mit den theoretischen Grundlagen der Technischen Thermodynamik beschäftigt. Vor diesem Hintergrund stellt sich natürlich die Frage nach dem Sinn, ein weiteres Lehrbuch zu erstellen. Es besteht allerdings ein praktischer Bedarf der Lernenden, den der klassische Literaturschatz nicht abdeckt. Im Verlauf meiner praktischen Lehrtätigkeit ist daher dieser Text durch diverse didaktische Erfahrungen heraus entstanden. Er soll daher definitiv kein klassisches weiteres thermodynamisches Lehrbuch, sondern eine schrittweise Einführung mit einer klaren und verständlichen Darstellung des thermodynamischen Stoffes sein, die diesen mit ausführlichen theoretischen Einführungen, klar strukturierten Abbildungen und umfangreichen Übungsaufgaben, die zu einem großen Teil mit Musterlösungen versehen sind, für die Studenten besser zugänglich machen soll. Der Aufbau des Skriptes entspricht genau dem Ablauf der Veranstaltung und soll als eine Kurzfassung des Vorlesungsinhalts mit Rechenbeispielen dienen. Besonderer Wert wurde hier auf die Übersichtlichkeit gelegt. Ausführliche Erklärungen und mathematische Herleitungen sind Teil der Vorlesung selbst und damit nicht Teil dieses Textes, daher ist dieser nicht als ein Ersatz zum Vorlesungsbesuch zu verstehen. Eine aktive Teilnahme an der Vorlesung und das Versehen der dort ausgeteilten Handzettel mit eigenen Notizen ist für den Lernerfolg weiterhin von großer Bedeutung. Das Buch ist daher nicht zum alleinigen Selbststudium gedacht, sondern soll lediglich den Lernprozess begleitend erleichtern. Wichtig ist dabei auch das selbständige Erarbeiten der Lösungen, die Musterlösungen sind nur zur Kontrolle gedacht. Für weitere über den Stoff der Vorlesungen hinausgehende Vertiefungen in die Thematik der Technischen Thermodynamik kann ich die Bücher auf der Literaturliste empfehlen.

Dieser Text wurde im Sommersemester 2010 erstellt und in den Folgesemestern ständig verbessert, korrigiert und erweitert. An dieser Stelle möchte ich mich bei allen Studenten bedanken, die uns auf Fehler aufmerksam gemacht haben und damit zur Verbesserung des Textes beigetragen haben. Da Fehler auch nach mehrmaligen Korrekturen leider nicht ganz auszuschließen sind, würden wir uns auch weiterhin über derartige Hinweise sehr freuen, da der Verbesserungsprozess bei einem solchen Buch niemals endet.

Des weiteren möchte ich mich bei meinem ehemaligen Hiwi, Claus J. Röth, für die erfolgreiche Arbeit an der ersten Fassung dieses Skripts - sowie bei meinem aktuellen Hiwi, Andreas Schwabauer für die Verbesserungen an diesem Skript bedanken. Auch meinem Mann und Arbeitspartner Marco Mancini danke ich für die vielen fachlichen Diskussionen, Herrn Professor Weber für das Vertrauen, mir die verantwortungs- und anspruchsvolle Aufgabe die Lehre der Technischen Thermodynamik zu übertragen und Herrn Professor Scholz für das stete Einbringen seiner langjährigen Erfahrung am Lehrstuhl der Technischen Thermodynamik. Ein allgemeines Wort des Dankes gilt natürlich auch an dieser Stelle allen meinen Arbeitskollegen am IEVB, insbesondere Marc Muster für diverse Hilfestellungen bezüglich des Layouts und der Druckvorbereitungen.

Ich hoffe, dass dieses Skript der Technischen Thermodynamik eine gelungene Kombination aus gut verständlichen theoretischen Einführungen und praktischen Aufgaben ist, um die Studenten mit einem soliden Grundwissen zur Technischen Thermodynamik für die berufliche Zukunft zu wappnen.

Viel Spaß und Erfolg beim Lernen!

Clausthal-Zellerfeld, im Frühjahr 2013

Natalia Schaffel-Mancini

Inhaltsverzeichnis

1. Reales Gas	1
2. Thermodynamischer Zustand eines realen Gases (Dampfes)	9
3. Zustandsänderungen bei realen Gasen (Dampf)	31
4. Kreisprozesse mit realen Gasen (Dampf)	49
5. Gas-Dampf-Gemische (Feuchte Luft)	83
6. Prozesse der feuchten Luft	97
7. Zustandsänderungen mit Reibung	139
8. Kreisprozesse mit Reibung	157