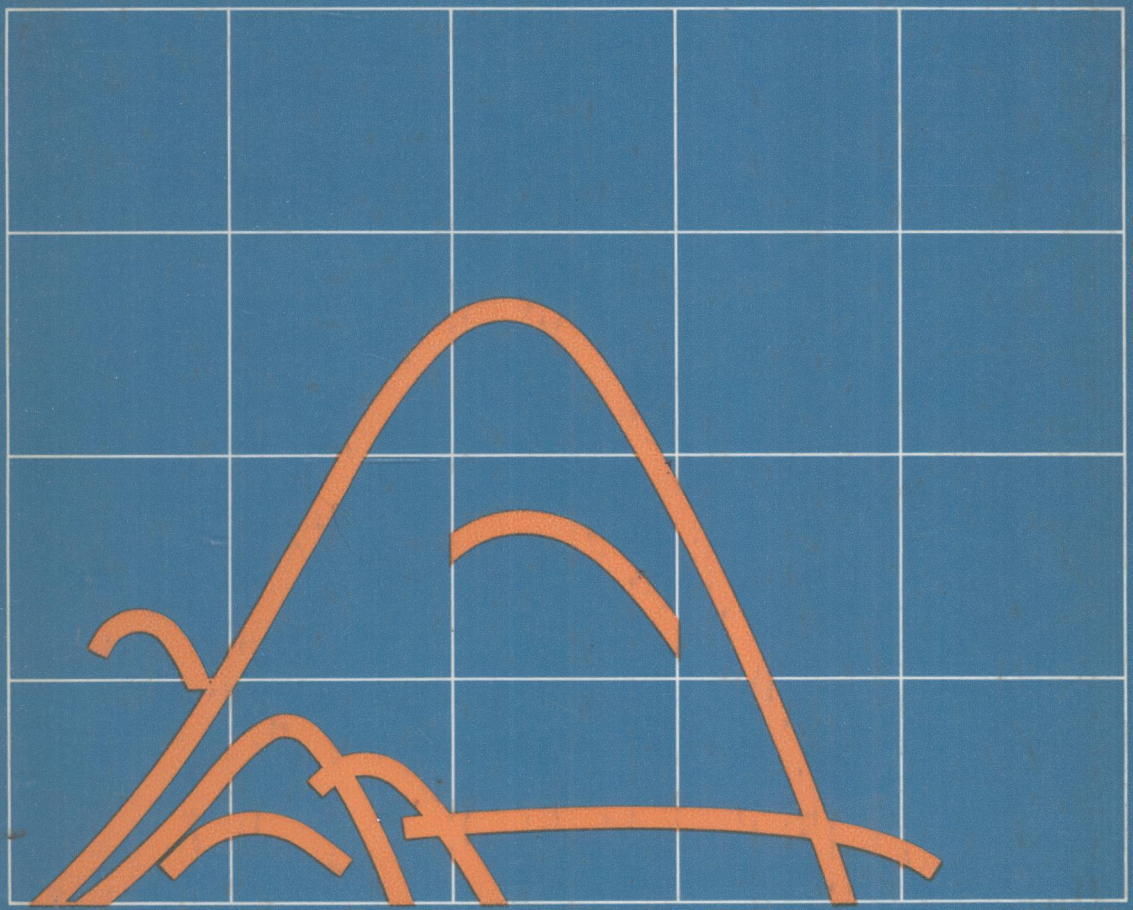
MEYER
SCHIFFNER

Technische Thermodynamik



VEB FACHBUCHVERLAG LEIPZIG

Meyer/Schiffner

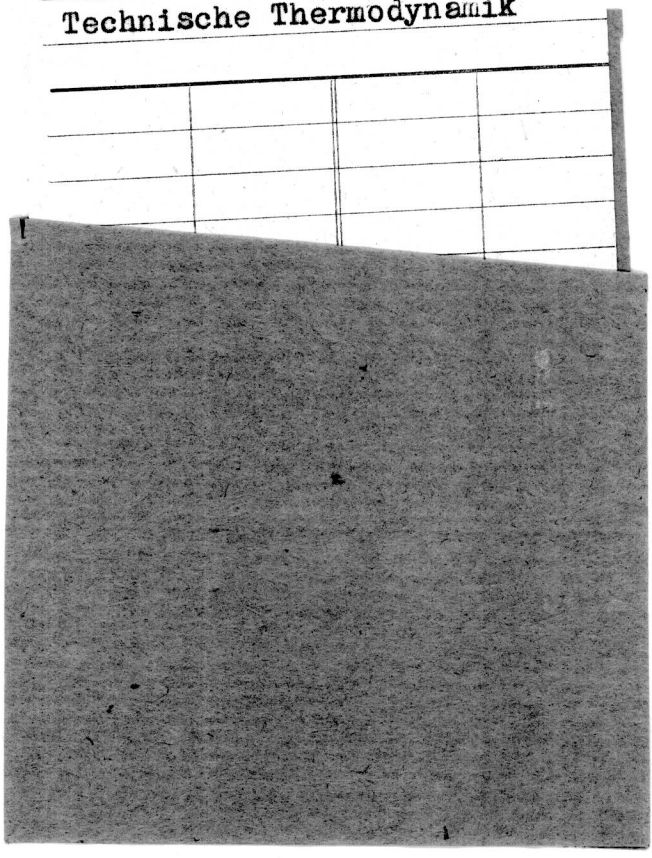
Technische Thermodynamik

8164641

TK12
M1

8164641

Technische Thermodynamik



8164641

Stud.-Dir. Dipl.-Ing. GÜNTER MEYER
Dipl.-Ing. ERICH SCHIFFNER

Technische Thermodynamik

Mit 247 Bildern, 20 Tabellen, 105 Beispielen,
einem Tafelanhang sowie 6 Diagrammen als Beilage

VEB FACHBUCHVERLAG LEIPZIG

„Als Lehrbuch für die Ausbildung an Ingenieur- und Fachschulen der DDR anerkannt."
Berlin, Oktober 1979 Minister für Hoch- und Fachschulwesen

Autor der Abschnitte 0. bis 7.: Stud.-Dir. Dipl.-Ing. Günter Meyer,
Ingenieurschule für Energiewirtschaft Markkleeberg

Autor der Abschnitte 8. bis 11.: Dipl.-Ing. Erich Schiffner,
Ingenieurschule für Kraft- und Arbeitsmaschinenbau
„Rudolf Diesel" Meißen

Herausgeber: Institut für Fachschulwesen der DDR, Karl-Marx-Stadt

© VEB Fachbuchverlag Leipzig 1980
1. Auflage
Lizenznummer 114-210/4/80
LSV 3093
Verlagslektor: Sonja Klauß
Printed in GDR
Satz und Druck: Druckhaus „Maxim Gorki", 7400 Altenburg
Redaktionsschluß: 15. 4. 1980
Bestellnummer: 5465346
DDR 17,— M

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com

Vorwort

Das vorliegende Lehrbuch der Technischen Thermodynamik wurde auf der Grundlage verbindlicher Lehrprogramme der Grundstudienrichtungen Energietechnik und Maschineningenieurwesen und in Auswertung langjähriger Lehrerfahrungen für Direkt-, Fern- und Abendstudium an Ingenieur- und Fachschulen geschrieben. Darüber hinaus dürfte es auch allen Ingenieuren nützlich sein, die Grundkenntnisse der Thermodynamik in ihrem Arbeitsbereich anwenden müssen.

Bei der inhaltlichen und methodischen Gestaltung des Lehrbuches gingen die Autoren davon aus, daß im Lehrgebiet Technische Thermodynamik sowohl die für die engere fachspezifische Ausbildung benötigten Grundlagen als auch solche Methoden und Kenntnisse vermittelt werden, die zum energiewirtschaftlichen Denken und Handeln befähigen.

Aus diesem Grunde wurde konsequent zwischen *Zustandsgrößen* (Systemeigenschaften) und *Prozeßgrößen* (Formen der Energieübertragung) unterschieden.

Auch die relativ umfassende Darstellung des ersten Hauptsatzes und die Bewertung von Energiearten und Prozessen mit Hilfe der Exergie dient dem genannten Anliegen.

Den speziellen Bedürfnissen der Praxis dürfte die breitangelegte Darstellung der Wärmeübertragung entsprechen.

In den Darlegungen werden ausschließlich SI-Einheiten benutzt. Die verwendeten Symbole sowie die Vorzeichen für Wärme und Arbeit entsprechen den gültigen Standards bzw. Empfehlungen. Für das Rechnen mit älteren Einheiten sind die benötigten Umrechnungsfaktoren angegeben. Um die Lösung praktischer Aufgaben zu erleichtern, wurde eine Vielzahl von Tafeln und Diagrammen für die wichtigsten Stoffeigenschaften in das Lehrbuch aufgenommen.

Den Verfassern ist es ein Bedürfnis, allen Kollegen, insbesondere den Herren Dipl.-Ing. Möschwitzer, Ingenieurschule für Verkehrstechnik Dresden, und Dipl.-Ing. Spies, Ingenieurschule für Anlagenbau Glauchau, sowie dem Herausgeber für die vielfältigen Initiativen, Ratschläge und Hinweise zu danken, mit denen sie diese Arbeit unterstützt haben.

Die Verfasser

816.6.4

8164641

Inhaltsverzeichnis

0. Einführung 11

0.1. Gegenstand der Technischen Thermodynamik 11
0.2. Hinweise für das Studium 12

1. Grundlagen 14

1.1. Grundbegriffe 14
1.1.1. Thermodynamisches System .. 14
1.1.2. Zustandsgrößen 17
1.1.3. Thermische Zustandsgleichung 21
1.1.3.1. Thermische Zustandsgleichung des idealen Gases 21
1.1.3.2. Normzustand 24
1.1.3.3. Zur thermischen Zustandsgleichung kondensierter Körper 26
1.1.4. Prozeß und Zustandsänderung 27
1.1.5. Nichtstatische und quasistatische Zustandsänderung .. 28
1.1.6. Reversible und irreversible Prozesse 28
1.2. Formen der Energieübertragung zwischen System und Umgebung 29
1.2.1. Volumenänderungsarbeit 29
1.2.2. Technische Arbeit 31
1.2.3. Wärme 34
1.3. Energieerhaltungssatz und Energieinhalt thermodynamischer Systeme 35
1.3.1. Zum Inhalt des I. Hauptsatzes 35
1.3.2. Innere Energie und I. Hauptsatz 36
1.3.3. Enthalpie und I. Hauptsatz ... 40
1.3.3.1. Temperaturabhängigkeit der spezifischen Wärmekapazität . 42
1.3.3.2. Berechnung der Enthalpieänderung für ideales Gas..... 44

2. Anwendung des I. Hauptsatzes auf offene thermodynamische Systeme 50

2.1. Ein Stoffstrom schneidet die Systemgrenze 50
2.2. Mehrere Stoffströme schneiden die Systemgrenze 55

3. Mischungen idealer Gase 58

3.1. Zusammensetzung der Gasgemische 58
3.2. Zur thermischen Zustandsgleichung der idealen Gasmischung 60
3.2.1. Dichte ϱ_m einer idealen Gasmischung 62
3.2.2. Molare Masse M_m einer idealen Gasmischung 62
3.2.3. Gaskonstante R_m der idealen Gasmischung 62
3.2.4. Zusammenhang zwischen Massen- und Raumanteilen ... 63
3.3. Kalorische Zustandsgrößen der idealen Gasmischung 65

4. Zustandsänderung idealer Gase 70

4.1. Grundlagen 70
4.2. Isochore Zustandsänderung ... 72
4.3. Isobare Zustandsänderung 75
4.4. Isotherme Zustandsänderung . 78
4.5. Isentrope Zustandsänderung .. 81
4.6. Polytrope Zustandsänderung . 86
4.7. Verdichterprozeß 92

5. II. Hauptsatz 101

5.1. Erfahrungssatz über die Richtung der natürlichen Prozesse. 101
5.2. Zur mathematischen Formulierung des II. Hauptsatzes ... 104
5.3. Zur Berechnung der Entropieänderung 105
5.4. Entropietransport und Entropieerzeugung 106

6. Kreisprozesse 110

6.1. Allgemeines 110
6.2. Kraftmaschinenprozeß 110
6.2.1. Prozeßarbeit und thermischer Wirkungsgrad 110
6.2.2. Carnotprozeß 115
6.2.3. Ottoprozeß 118
6.2.4. Dieselprozeß 123
6.2.5. Seiligerprozeß 126
6.2.6. Zum Gasturbinenprozeß 128
6.3. Kältemaschinen- und Wärmepumpenprozeß 131

7. Exergie und Anergie 134

7.1. Inhalt und Bedeutung des Exergiebegriffs 134
7.2. Exergie der Wärme 136
7.3. Physikalische Exergie eines Stoffstroms 137
7.4. Exergiebilanz und Exergieverlust 139
7.4.1. Exergieverlust beim Strömungsprozeß 142
7.4.2. Exergieverlust bei der Wärmeübertragung 143
7.5. Energetische und exergetische Beurteilungsquotienten 144

8. Dämpfe 147

8.1. Phasen und Komponenten ... 147
8.2. Thermische Zustandsgrößen .. 150
8.2.1. Isobarer Verdampfungsvorgang 150
8.2.2. Thermische Zustandsdiagramme 151
8.2.2.1. Dampfdruckkurve 151
8.2.2.2. t,v-Diagramm 153
8.2.2.3. p,v-Diagramm 154
8.2.3. Spezifisches Volumen 155
8.2.4. Realgasfaktor 156
8.3. Kalorische Zustandsgrößen ... 161
8.3.1. Bezugspunkt der kalorischen Zustandsgrößen 161
8.3.2. Ungesättigte Flüssigkeit 162
8.3.3. Gesättigte Flüssigkeit 163
8.3.4. Sattdampf 163
8.3.5. Naßdampf 164
8.3.6. Heißdampf 165
8.3.7. Kalorische Dampfdiagramme.. 165
8.4. Zustandsänderungen 168
8.4.1. Isochore 168
8.4.2. Isobare 170
8.4.3. Isotherme 173
8.4.4. Isentrope 173
8.4.5. Adiabate 174
8.4.6. Drosselung 175
8.5. Dampfkreisprozesse 179
8.5.1. Dampfkraftprozeß nach *Clausius-Rankine* 179
8.5.2. Dampfkraftprozeß mit regenerativer Speisewasservorwärmung und Zwischenüberhitzung 182
8.5.3. Kältemaschinen und Wärmepumpenprozeß mit Kaltdampf 184

9. Gas-Dampf-Gemische 187

9.1. Zustandsgrößen der Gas-Dampf-Gemische 187
9.1.1. Relative Feuchte 187
9.1.2. Absolute Feuchte 188
9.1.3. Zusammenhang zwischen φ und x 188
9.1.4. Gasmasse, Dampfmasse und Dichte 190
9.1.5. Enthalpie 191
9.1.5.1. Berechnung der Enthalpie 191
9.1.5.2. h,x-Diagramm für feuchte Luft (nach *Mollier*) 194
9.2. Zustandsänderungen 195
9.2.1. Erwärmung 195
9.2.2. Mischung 196
9.2.3. Zumischung von Flüssigkeit oder Dampf 197
9.2.4. Abkühlung 200
9.2.4.1. Taupunkt 200
9.2.4.2. Abkühlung an Kühlflächen ... 201
9.2.5. Verdichtung 203

10. Wärmeübertragung 205

10.1. Grundbegriffe 205
10.2. Stationäre Wärmeleitung 206
10.2.1. Grundgesetz 206
10.2.2. Wärmeleitung durch die ebene Wand 210
10.2.2.1. Einschichtige ebene Wand.... 210
10.2.2.2. Mehrschichtige ebene Wand .. 212
10.2.3. Wärmeleitung durch die einfach gekrümmte Wand (Rohrwand) 214
10.2.3.1. Einschichtige Rohrwand 214
10.2.3.2. Mehrschichtige Rohrwand 215
10.3. Wärmeübergang durch Konvektion 217

10.3.1. Wesen des Wärmeübergangs durch Konvektion 217
10.3.2. Einflüsse, die die Konvektion bestimmen 218
10.3.2.1. Freie und erzwungene Strömung 218
10.3.2.2. Laminare und turbulente Strömung 218
10.3.3. Grundgleichung und Wärmeübergangskoeffizient 219
10.3.4. Stoffeigenschaften und Kennzahlen 222
10.3.4.1. Kennzeichnende Stoffeigenschaften für den Wärmeübergang durch Konvektion 222
10.3.4.2. Kennzahlen der Ähnlichkeitstheorie 225
10.3.5. Wärmeübergang bei freier Strömung 227
10.3.5.1. Körper im unbegrenzten Raum 227
10.3.5.2. Begrenzte Räume 229
10.3.6. Wärmeübergang bei erzwungener Strömung 231
10.3.6.1. Strömung entlang einer ebenen Wand 231
10.3.6.2. Strömung in Rohren und Kanälen 232
10.3.6.3. Strömung quer zu Rohren 235
10.3.7. Wärmeübergang bei Verdampfung und Kondensation .. 240
10.3.7.1. Verdampfung 240
10.3.7.2. Kondensation 244
10.4. Wärmeübergang durch Strahlung 247
10.4.1. Wesen der Wärmestrahlung 247
10.4.2. Absorption, Reflexion und Durchlässigkeit 247
10.4.3. Strahlung des schwarzen Körpers 249
10.4.4. Strahlung technischer Oberflächen 251
10.4.5. Wärmeübertragung durch Strahlung zwischen Körperoberflächen 254
10.4.5.1. Parallele gleich große Flächen mit geringem Abstand 254
10.4.5.2. Umhüllte Flächen 257
10.4.5.3. Beliebig zueinander liegende, sich nicht umhüllende Flächen 259
10.4.5.4. Strahlungsschutz 260
10.4.6. Gasstrahlung 261
10.4.7. Flammenstrahlung 264
10.4.8. Wärmeübergang durch Konvektion und Strahlung 265
10.5. Wärmedurchgang 266
10.5.1. Grundgleichung 266
10.5.2. Ebene Wand 267
10.5.3. Einfach gekrümmte Wand 268
10.5.4. Ermittlung der Wandtemperaturen 271
10.5.5. Berippte Wand 272
10.6. Berechnung der Wärmeübertrager 276
10.6.1. Allgemeines 276
10.6.2. Schaltarten der Wärmeübertrager 277
10.6.3. Mittleres Temperaturgefälle .. 280
10.6.4. Ablauftemperaturen. Temperaturverlauf längs der Heizfläche 284
10.6.4.1. Allgemeines 284
10.6.4.2. Ermittlung der Ablauftemperaturen durch „Probieren“ ... 284
10.6.4.3. Analytische Berechnung des Temperaturverlaufes längs der Heizfläche 288
10.6.4.4. Betriebscharakteristik Φ der Wärmeübertrager 291
10.7. Nichtstationäre Wärmeleitung. 294
10.7.1. Kennzeichen der nichtstationären Wärmeleitung 294
10.7.2. Grundgleichung 295
10.7.3. Differenzverfahren nach *Schmidt* 295
10.7.4. Analytische Verfahren 302
10.7.4.1. Allgemeines 302
10.7.4.2. Mittentemperatur verschiedener Körper nach plötzlicher Änderung der Oberflächentemperatur 302
10.7.4.3. Temperaturverlauf in Körpern nach plötzlicher Änderung der Umgebungstemperatur 304

11. Verbrennung 310

11.1. Einleitung 310
11.2. Brennstoffe 310
11.2.1. Arten 310
11.2.2. Zusammensetzung 311
11.2.2.1. Feste Brennstoffe 311
11.2.2.2. Flüssige Brennstoffe 311
11.2.2.3. Gasförmige Brennstoffe 312
11.3. Verbrennungswärme und Heizwert 312
11.3.1. Definition 312
11.3.2. Ermittlung der Verbrennungswärme oder des Heizwertes ... 314
11.4. Stöchiometrische Verbrennungsrechnung 317

11.4.1. Ziel der Verbrennungsrechnung 317
11.4.2. Luftbedarf und Rauchgasmenge 317
11.4.2.1. Feste und flüssige Brennstoffe . 317
11.4.2.2. Brenngase 322
11.4.3. Verbrennungsrechnung mit Brennstoffkenngrößen 325
11.4.4. Berücksichtigung der Luftfeuchte 327
11.5. Statistische Verbrennungsrechnung 329
11.6. Zusammensetzung des Rauchgases 329
11.7. Verbrennungskontrolle 332
11.7.1. Vollkommene Verbrennung ... 332
11.7.2. Unvollkommene Verbrennung . 335
11.8. Stoffwerte von Rauchgasen ... 339
11.9. *h,t*-Diagramm für Rauchgas ... 340
11.10. Verbrennungstemperatur 341
11.11. Taupunkt des Rauchgases 344
11.11.1. Wasserdampftaupunkt 344
11.11.2. Wirklicher Taupunkt..... 344
11.12. Zündung 345
11.12.1. Zündtemperatur und Zündenergie 345
11.12.2. Zündgeschwindigkeit und Zündgrenzen 346

Tafelanhang 349

Literatur- und Quellenverzeichnis 371

Sachwortverzeichnis 372

Beilagen:

Diagramm 8.1 Mollier-*h,s*-Diagramm für Wasserdampf
Diagramm 8.2 Mollier-lg *p,h*-Diagramm für Kühlmittel R 12
Diagramm 9.1 Mollier-*h.x*-Diagramm für feuchte Luft für 0,10 MPa Gesamtdruck (0,1 MPa = 1 bar)
Diagramm 10.1 Betriebscharakteristik eines Wärmeübertragers bei Gleichstrom [1]
Diagramm 10.2 Betriebscharakteristik eines Wärmeübertragers bei Gegenstrom [1]
Diagramm 10.3 Betriebscharakteristik eines Wärmeübertragers bei Kreuzstrom [1]

此为试读,需要完整PDF请访问: www.ertongbook.com

0. Einführung

0.1. Gegenstand der Technischen Thermodynamik

Der Begriff *Thermodynamik* ist aus den griechischen Wörtern *Wärme* und *bewegen* abgeleitet, denn in der historischen Entwicklung dieser Wissenschaftsdisziplin ging es vorwiegend darum, die sogenannten Wärmeerscheinungen zu untersuchen. Das Studium der Wärmeerscheinungen diente z. B. zur Lösung des Problems einer vermehrten Erzeugung von Nutzarbeit aus Wärme bei der Dampfmaschine und damit zur Verbesserung des Wirkungsgrades dieser Einrichtung.
Heute verstehen wir unter Thermodynamik eine Energielehre mit folgendem Gegenstand:

> Die Technische Thermodynamik ist die Lehre vom Zusammenhang zwischen
> der Übertragung von Wärme und Arbeit,
> der Energiewandlung und
> den hierbei wesentlichen Eigenschaften gasförmiger, flüssiger und fester Stoffe.

Da eine große Zahl technischer Vorgänge diese Energieumwandlungsprozesse zum Ziel haben, ist die Thermodynamik für viele Fachdisziplinen eine grundlegende Ingenieurwissenschaft. Hierzu einige Beispiele. Dem Kraft- und Arbeitsmaschinenbauer liefert sie wesentliche Gesetze zum Entwurf von Verdichtern und Verbrennungsmotoren. Der Kraftwerks-Anlagenbauer und -Technologe kann mit ihrer Hilfe Dampferzeuger, Kondensatoren und Turbinen auslegen bzw. in ihrem Zusammenwirken verstehen und optimieren. Der Kälte- und Klimatechniker findet in ihr die Grundlagen zur Erzeugung tiefer Temperaturen und zur Klimatisierung von Räumen. Des weiteren stellen die Grundlagen und Ergebnisse der Thermodynamik ein unentbehrliches Rüstzeug für Ingenieure der Heizungstechnik, Rohrleitungstechnik, Wärmetechnik, Energetik, Gastechnik und anderer Bereiche dar.
Und schließlich hat die Technische Thermodynamik über das spezielle fachliche Anliegen hinaus die Aufgabe, durch Herausarbeiten von Bilanz- und Bewertungsprinzipien wesentliche Impulse für die Erziehung zum energiewirtschaftlichen Denken und Handeln zu geben.
Die Beherrschung dieses methodischen Instrumentariums bildet eine entscheidende Voraussetzung, um die rationelle Energieumwandlung und -anwendung als Prinzip sozialistischen Wirtschaftens im jeweiligen Aufgabengebiet durchsetzen zu können.
Das Lehrgebäude der Thermodynamik ist auf zwei Arten darstellbar:

1. phänomenologisch[1]),
2. statistisch.

---

[1]) Unmittelbar wahrnehmbar und beschreibbar

Zu 1: Die Eigenschaften der untersuchten Stoffe werden mit experimentell meßbaren Größen, z. B. Druck p, Temperatur T, Volumen V beschrieben. Grundlage dieser Darstellung sind Erfahrungssätze (z. B. der Satz von der Erhaltung der Energie) und Gleichungen zur Beschreibung der Stoffeigenschaften.

Zu 2: Die statistische Darstellung geht von der atomistischen Struktur der Materie aus. So enthält z. B. 1 cm³ Luft bei $p = 101325$ Pa und $t = 0\,°C \approx 2{,}7 \cdot 10^{19}$ Moleküle. Das Verhalten so vieler Teilchen läßt sich nur mit den Methoden der Wahrscheinlichkeitsrechnung ergründen.

Im vorliegenden Lehrbuch wird die Technische Thermodynamik phänomenologisch dargestellt, denn die dabei erhaltenen Aussagen reichen zur Lösung der technischen Aufgaben aus.

0.2. Hinweise für das Studium

Abhängig vom Ausbildungsgegenstand der jeweiligen Fachrichtung werden verschiedene Abschnitte dieses Lehrbuches für den Studierenden von unterschiedlicher Bedeutung sein. Unentbehrlich für alle sind jedoch die nachfolgend genannten Grundlagen, die aus sachlogischen Erwägungen auch in dieser Reihenfolge zu erarbeiten sind.

Am Anfang jeder neueren Darstellung der Thermodynamik steht die *Definition des thermodynamischen Systems*, denn eine thermodynamische Untersuchung beginnt stets mit der Festlegung desselben.

Das *System* kann *offen* oder *geschlossen* sein. Zu seiner Charakterisierung gehört die Angabe aller wesentlichen meßbaren Eigenschaften. Man nennt sie *Zustandsgrößen*. Dazu gehören die Substanzmenge sowie die thermischen Zustandsgrößen Volumen, Druck und Temperatur. Der Zusammenhang zwischen diesen Größen wird durch die thermische *Zustandsgleichung* vermittelt, die für das ideale Gas eine besonders einfache Form annimmt.

Zustandsgrößen gelten für das System als Ganzes und bezeichnen einen Gleichgewichtszustand, der nur durch äußere Einwirkung — den *thermodynamischen Prozeß* — geändert werden kann. Das Resultat des Prozesses ist die *Zustandsänderung*. Dabei beschränken wir uns vorwiegend auf *quasistatische Vorgänge*, d. h. auf solche, die eine Folge von Gleichgewichtszuständen durchlaufen. Besonders wichtig sind *reversible*, das sind reibungsfreie Idealprozesse, denn mit ihrer Hilfe läßt sich die Güte der Energieumwandlung realer Prozesse beurteilen.

Die genannte äußere Einwirkung auf ein thermodynamisches System erfolgt z. B. durch stoffliche und energetische Wechselwirkung mit der Umgebung. Man charakterisiert die letztere durch Energieformen. Die wichtigsten sind *Wärme*, *technische Arbeit* und *Volumenänderungsarbeit*. Größen ganz anderer Art, nämlich Zustandsgrößen, die den Energieinhalt des Systems beschreiben, heißen *innere Energie* und *Enthalpie*. Energieinhalt und Energieformen werden durch den Energieerhaltungssatz verknüpft, den man in der Thermodynamik als I. Hauptsatz bezeichnet. Er wird in verschiedenen Schreibweisen dargestellt, die sich als besonders zweckmäßig zur Untersuchung offener bzw. geschlossener Systeme erweisen. Um mit diesem Satz zu arbeiten, muß man wissen, wie die Änderung von innerer Energie und Enthalpie berechnet wird. Hierzu dienen temperaturabhängige mittlere oder wahre spezifische Wärmekapazitäten. Dem Anfänger wird empfohlen, bei der Anwendung des I. Hauptsatzes stets die in 2.1. genannten Arbeitsvorschriften zu befolgen.

Für Studenten solcher Fachrichtungen, zu deren Ausbildungsprofil auch prozeßanalytische und andere energiewirtschaftliche Untersuchungen gehören, wird darüber hinaus ein intensives Studium des II. Hauptsatzes und des Exergiebegriffes erforderlich sein. Hier gilt es, zwischen transportierter und erzeugter Entropie zu unterscheiden. Da alle realen Prozesse irreversibel sind, muß der durch Irreversibilität bedingte Entropiezuwachs berechnet werden.
Dem wenig anschaulichen *Entropiebegriff* wird der *Exergiebegriff* gegenübergestellt. Er ist für praktische Aussagen besonders wertvoll, weil er die Aussagen beider Hauptsätze beinhaltet und eine eindeutige Verlustdefinition ermöglicht. Exergiebilanzen und das Berechnen geeigneter Beurteilungsquotienten führen bis zum Erkennen des Widerspruchs zwischen Triebkraftabbau und wachsender Apparategröße. Hier werden die Grenzen thermodynamischer Aussagen erreicht, denn erst durch Verwenden ökonomischer Kategorien kann im Rahmen thermo-ökonomischer Analysen die optimale Triebkraft gefunden werden.
Die wenigen im Lehrbuch vorhandenen Beispiele sind im Interesse der Erarbeitung eines anwendungsbereiten Wissens sorgfältig durchzuarbeiten. Für weitere Übungen ist auf entsprechende Aufgabensammlungen zurückzugreifen. Methodische Hinweise zur Lösung sind [2] zu entnehmen. Ein mit diesem Lehrbuch abgestimmtes Arbeitsbuch befindet sich in Vorbereitung.

1. Grundlagen

1.1. Grundbegriffe

1.1.1. Thermodynamisches System

Zu Beginn einer jeden thermodynamischen Untersuchung ist mittels gedachter oder vorhandener Grenzen festzulegen, worauf sich die Untersuchung beziehen soll. Die so vorgenommene zweckmäßige Abgrenzung heißt thermodynamisches System.

Definition:
Das *thermodynamische System* ist ein Kontrollraum (Bezugsraum) oder eine Stoffmenge, worauf sich die Untersuchung bezieht.

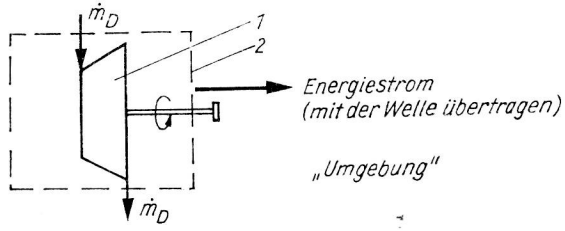


Bild 1.1. Dampfturbine als thermodynamisches System
1 thermodynamisches System, *2* Systemgrenze = Bilanzhülle,
$\dot{m}_D$ Massenstrom (mit Energiestrom gekoppelt)

Bild 1.1 zeigt in symbolischer Darstellung das abgegrenzte Raumgebiet Dampfturbine. Die Systemgrenze oder Bilanzhülle wird durch eine gestrichelte Linie markiert; sie dient zum Erfassen der Energie- bzw. Massenströme, die in das System ein- bzw. aus dem System austreten und grenzt das Untersuchungsobjekt gegen ein Nachbarsystem, z. B. die Umgebung ab.

Weitere *Beispiele* für thermodynamische Systeme sind:

1. Wasser- und Dampfkreislauf in einem Kraftwerk, Bild 1.2,
2. Luftvorwärmer zur Erwärmung der Verbrennungsluft, Bild 1.3,
3. Kompressor zum Verdichten eines Gases, Bild 1.4,
4. Kernreaktor, Bild 1.5,
5. Volumenelement einer strömenden Flüssigkeit, Bild 1.6,
6. Rektifikationskolonne zur kontinuierlichen Gegenstromdestillation, Bild 1.7,
7. Induktionsofen zur Durchführung eines Schmelzprozesses, Bild 1.8,
8. im Druckgefäß eingeschlossenes Gas, Bild 1.9.

Die skizzierten Beispiele lassen verschiedene Systemarten erkennen. Man unterscheidet geschlossene und offene Systeme.

Geschlossenes System

Definition

In einem geschlossenen System ist die Systemgrenze massedicht.

Nehmen wir als Beispiel das Druckgefäß (Bild 1.9). Das eingeschlossene Gas stellt ein geschlossenes System dar. Der Behälter ist gasdicht (massedicht). Durch den Stahlmantel hindurch kann das Gas aber, z. B. durch Sonneneinstrahlung, erwärmt werden (Energieübertragung).
Ein geschlossenes System liegt auch dann vor, wenn eine Stoffmenge in einem Zylinder, in dem sich ein Kolben bewegt, eingeschlossen ist. Zylinder und Kolben sind stoffdicht. Durch den beweglichen Kolben wird dem Stoff, z. B. der Luft in

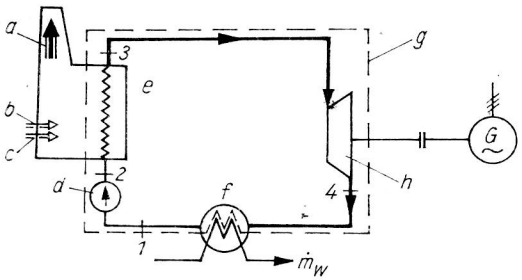


Bild 1.2. Wasser- und Dampfkreislauf in einem Kraftwerk
a Abgas, *b* Brennstoff, *c* Luft, *d* Speisepumpe, *e* Rohrsystem des Dampferzeugers, *f* Kondensator, *g* Bilanzhülle, *h* Dampfturbine

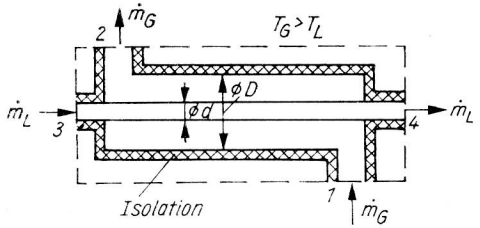


Bild 1.3. Luftvorwärmer zur Erwärmung der Verbrennungsluft

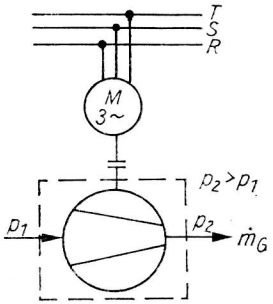


Bild 1.4. Kompressor zum Verdichten eines Gases

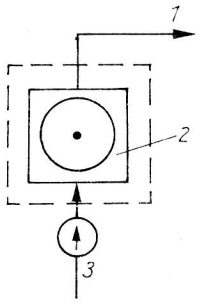


Bild 1.5. Kernreaktor
1 Dampf, *2* Reaktor, *3* Wasser

einem Verdichter, mechanische Arbeit (Kraft × Weg) zugeführt, d. h., es findet eine Energieübertragung statt.

Über die Grenzen eines geschlossenen Systems kann nur Energie übertragen werden.[1])

Weitere Beispiele für geschlossene Systeme sind Wasser und Dampf in Autoklaven, Luft im Fahrzeugreifen, Flüssigkeit im Thermometer u. a.

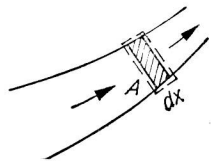


Bild 1.6. Volumenelement einer strömenden Flüssigkeit

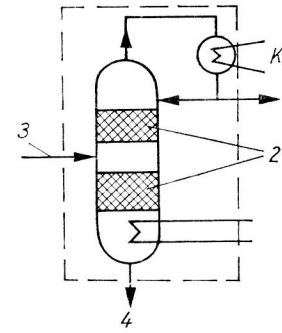


Bild 1.7. Rektifikationskolonne zur kontinuierlichen Gegenstromdestillation
1 Erzeugnis, *2* Einbauten, *3* Zulauf, *4* Sumpfprodukt

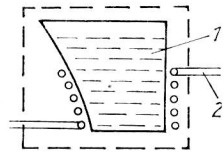


Bild 1.8. Induktionsofen zur Durchführung eines Schmelzprozesses
1 Stahlbad (z. B. Hochfrequenzofen — kernloser Induktionsofen); *2* „Primärspule" = Cu-Rohr (wassergekühlt), „Sekundärspule" = Stahlbad

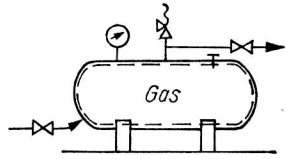


Bild 1.9. Im Druckgefäß eingeschlossenes Gas

Offenes System

Definition

Ein thermodynamisches System heißt offen, wenn (wenigstens) ein Stoffstrom die Systemgrenze schneidet.

Das in Bild 1.1 skizzierte System *Dampfturbine* läßt erkennen, daß ein Stoffstrom (Wasserdampf) die Systemgrenze durchsetzt. Mit dem Wasserdampf wird gleichzeitig Energie über die Grenzen transportiert. Ausdruck des Energieinhalts sind z. B.

[1]) Ein Spezialfall des geschlossenen Systems ist das *abgeschlossene System*. Ein abgeschlossenes System zeigt keine Wechselwirkung mit der Umgebung; es hat in der Ingenieurpraxis keine Bedeutung

此为试读,需要完整PDF请访问: www.ertongbook.com