

## Teil I: Grundlagen

In diesem einleitenden Teil des Buchs wird im vorliegenden Kapitel die Thermodynamik kurz vorgestellt. Im zweiten Kapitel werden dann Ihre Kenntnisse in einem wichtigen Teilbereich der Mathematik aufgefrischt, dem der Differential- und Integralrechnung.

### 1 Eine kurze Einführung in die Thermodynamik

#### In diesem Kapitel...

- Definition der Thermodynamik
- Eine kurze Geschichte der Thermodynamik
- Makroskopische Thermodynamik und statistische Thermodynamik
- Die Rolle der Thermodynamik in der Physik und den übrigen Naturwissenschaften

In diesem Kapitel wird die Thermodynamik zunächst definiert. Nach einer kurzen Darstellung ihrer Geschichte wird gezeigt, dass die Thermodynamik zwei unterschiedliche Herangehensweisen verwendet, eine makroskopische und eine mikroskopische statistische. Schließlich wird kurz auf die Rolle der Thermodynamik in der Physik und den übrigen Natur- und Ingenieurwissenschaften eingegangen.

#### Definition der Thermodynamik

Die *Thermodynamik* oder *Wärmelehre* ist ein Teilgebiet der klassischen Physik. Sie beschreibt den Transport und die Umwandlung unterschiedlicher Energieformen. Von besonderem Interesse sind Energieumwandlungsprozesse, an denen Wärme beteiligt ist, die eine spezielle Form der Energie darstellt. Dabei ist ein wichtiges Ziel der Thermodynamik, Energie in ihren verschiedenen Formen in Arbeit umzuwandeln. Ein weiteres wichtiges Thema der Thermodynamik sind die Eigenschaften der Stoffe als Funktion der thermodynamischen Bedingungen, insbesondere der Temperatur.

Für viele naturwissenschaftliche und ingenieurwissenschaftliche Fächer stellt die Thermodynamik allerdings eine Art von Hilfswissenschaft dar. Die Thermodynamik ist nicht das eigentliche Ziel des Studiums oder der Forschungsarbeit, sie ist aber erforderlich, um in einem Fach erfolgreich arbeiten zu können. Auf diesen Aspekt wird weiter unten noch einmal eingegangen.

Dieses Buch richtet sich an Studenten solcher Fächer, die die Thermodynamik als Hilfsmittel betrachten.

## ■ Eine kurze Geschichte der Thermodynamik

Die Geschichte der Thermodynamik beginnt im 18. Jahrhundert mit der Entwicklung der Gesetze, die später zur idealen Gasgleichung zusammengefasst wurden (Kapitel 7). Zu einer eigenständigen Wissenschaft entwickelte sich die Thermodynamik aber erst im 19. Jahrhundert, an dessen Ende sie ihren Höhepunkt erreichte. Dabei kann man zwei Entwicklungsstufen unterscheiden:

- Zunächst wurden Fluide wie Flüssigkeiten oder Gase als makroskopische Körper aufgefasst, denen man bestimmte makroskopische Eigenschaften wie etwa den Druck oder die Temperatur zuordnete, ohne zu fragen, wie diese Größen zustande kommen. In ähnlicher Weise kann man einem Festkörper einen Elastizitätsmodul zuordnen, der seine Steifigkeit beschreibt, ohne zu fragen, worauf die Steifigkeit beruht. Diese Vorgehensweise wird auch bei Flüssigkeiten und Gasen als Kontinuumsmechanik bezeichnet.
- In der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts setzte sich mehr und mehr die Vorstellung durch, dass Materie, gleich welcher Art, aus Teilchen aufgebaut ist (Atome und Moleküle). Die Konsequenzen dieses Teilchencharakters der Materie wurden vor allem von James Clerk Maxwell und Ludwig Boltzmann erarbeitet.

Dies ist kein Buch über die Geschichte der Thermodynamik, sondern ein Schnellkurs in diesem Teilgebiet der Physik. Dennoch wird im Folgenden kurz die Geschichte der Thermodynamik anhand einer Reihe von Forschern bzw. Personengruppen dargestellt.

- Am Anfang der Thermodynamik steht im 18. Jahrhundert die Entwicklung der idealen Gasgleichung durch Robert Boyle, Edme Mariotte, Joseph Louis Gay-Lussac, Guillaume Amontons, Jacques Charles und Amadeo Avogadro.
- Zu Beginn des 19. Jahrhunderts beschäftigte sich der französische Ingenieur und Physiker Nicolas Léonard Sadi Carnot mit Wärmekraftmaschinen wie beispielsweise der Dampfmaschine, die Ende des 18. Jahrhunderts von James Watt entwickelt worden war. Sadi Carnot erkannte als erster den Unterschied zwischen reversiblen und irreversiblen Prozessen. Er stellte zudem einen idealisierten Prozess vor (den in Kapitel 13 diskutierten Carnotprozess), der bei gegebenen Bedingungen den größtmöglichen Wirkungsgrad besitzt; zugleich zeigte er, dass dieser stets kleiner als eins sein muss.
- Um die Mitte des 19. Jahrhunderts war Rudolf Clausius einer der entscheidenden Thermodynamiker, der vor allem im theoretischen Bereich arbeitete. Auf ihn geht der Begriff der Entropie sowie der zweite Hauptsatz der Thermodynamik zurück.
- Ein weiterer wichtiger Name in der Geschichte der Thermodynamik ist William Thomson, der besser als Lord Kelvin bekannt ist. Auf ihn geht die nach ihm benannte Temperaturskala zurück, mit der er gleichzeitig den absoluten Nullpunkt der Temperatur einführte. Weitere Arbeiten Kelvins zur Thermodynamik betrafen unter anderem den Joule-Thomson-Effekt.
- Der Schotte James Clerk Maxwell ist vor allen durch seine Arbeiten zum Elektromagnetismus bekannt, die in den berühmten Maxwell'schen Gleichungen gipfelten, mit denen er den klassischen Elektromagnetismus vervollständigte. Maxwell beschäftigte sich aber auch mit der Thermodynamik. Einer seiner wichtigsten Beiträge ist die Maxwell'sche Geschwindigkeitsverteilung, die ausführlich in Kapitel 8 vorgestellt wird.
- Das Gebäude der klassischen Thermodynamik wurde Ende des 19. Jahrhunderts von dem österreichischen Physiker Ludwig Boltzmann vervollständigt.

### Tipp

Nach Ludwig Boltzmann ist die wichtigste Konstante der Thermodynamik benannt, die *Boltzmannkonstante*  $k_B$ , die eine zentrale Rolle in der Thermodynamik und der statistischen Mechanik spielt.

- Schließlich muss in dieser Reihe noch der Name Max Planck genannt werden, der sich vor allem zu Beginn seiner Karriere mit der Thermodynamik beschäftigte. Er führte die Boltzmannkonstante ein, die er nach Ludwig Boltzmann benannte, obwohl er mit vielen Auffassungen Boltzmanns nicht einverstanden war.

## **Makroskopische Thermodynamik und statistische Thermodynamik**

Aus der obigen Darstellung geht hervor, dass es in der Thermodynamik zwei grundsätzlich unterschiedliche Herangehensweisen gibt:

- Die makroskopische Thermodynamik
- Die statistische Thermodynamik

Diese beiden Vorgehensweisen schließen einander nicht aus. Ein wirkliches Verständnis der Thermodynamik kann im Gegenteil nur erreicht werden, wenn man beide Ansätze miteinander kombiniert.

### **Makroskopische Betrachtungsweise**

Bei der makroskopischen Herangehensweise an die Thermodynamik betrachtet man eine Flüssigkeit oder ein Gas als einen Körper, dem man als Ganzes Eigenschaften wie eine Temperatur oder eine Energie zuordnen kann. Die Frage, wie dieser Körper in seinem Inneren aufgebaut ist, ist irrelevant, ebenso, worauf Größen wie die Temperatur oder die Energie und auch die Entropie eigentlich beruhen.

Die zentralen Fragen der makroskopischen Thermodynamik lauten: Welche Eigenschaften besitzt ein Stoff und vor allem ein System bei gegebenen thermodynamischen Bedingungen? Wie ändern sich diese Eigenschaften, wenn sich die Bedingungen ändern?

### **Statistische Betrachtungsweise**

In der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts setzte sich mehr und mehr die Vorstellung durch, dass Körper aus einzelnen Teilchen (Atomen oder Molekülen bestehen). Im Prinzip könnte man ein Gas also auch beschreiben,

indem man für jedes einzelne Teilchen die Bewegungsgleichungen aufstellt und diese dann unter Berücksichtigung der Tatsache löst, dass diese Teilchen untereinander sowohl stoßen als auch wechselwirken können und zudem auch mit den Wänden des Gefäßes stoßen können. Allerdings ist die Anzahl der Teilchen in einem Volumen größer als  $10^{23}$ ! Dieser Weg ist also ausgeschlossen. Er ist im Prinzip auch nicht von Interesse. Eine mikroskopische Einzelbeschreibung ist nicht möglich.

Es verbleibt aber immer noch die Möglichkeit, das Verhalten der Teilchen in einem Volumen statistisch zu beschreiben und so zur Definition von durchschnittlichen Größen zu gelangen. Genau dies ist der Ansatzpunkt der statistischen Mechanik oder statistischen Thermodynamik. Man kann zwar nicht die Bewegung einzelner Teilchen im Detail verfolgen, aber man kann durchaus Größen wie die mittlere Geschwindigkeit oder die mittlere Energie berechnen. Die statistische Thermodynamik ist zudem in der Lage, schwer zu fassende Begriffe wie die Temperatur und die Entropie exakt zu definieren.

In diesem Buch wird vorwiegend vom makroskopischen Ansatz der Thermodynamik Gebrauch gemacht, obwohl die statistischen Aspekte nicht außer Acht gelassen werden. Auf die eigentliche statistische Thermodynamik wird dann im letzten Teil dieses Buchs näher eingegangen.

## **Die Rolle der Thermodynamik in der Physik und den anderen Naturwissenschaften**

Die Thermodynamik stellt ein wichtiges Teilgebiet der klassischen Physik dar. Sie ist gleichberechtigt mit der Mechanik, der Optik, dem Elektromagnetismus und den weiteren Gebieten des Kanons der klassischen Physik. Für viele andere Natur- und Ingenieurwissenschaften ist die Thermodynamik eine Art von Hilfswissenschaft. Hier ist die Chemie an erster Stelle zu nennen, aber auch in der Meteorologie spielt sie eine wichtige Rolle. Darüber hinaus sind Kenntnisse der Thermodynamik für viele technische Anwendungen unumgänglich. An dieser Stelle seien ohne Anspruch auf Vollständigkeit die Bereiche Energie- und Kraftwerkstechnik, Umwelttechnik, Verfahrenstechnik, Heizungs-, Klima- und Kältetechnik, Luft- und Raumfahrttechnik, Verbrennungstechnik sowie Produktionstechnik genannt.

#### AUF EINEN BLICK

- Die Thermodynamik oder Wärmelehre ist ein Teilgebiet der klassischen Physik.
- Hauptthema der Thermodynamik sind die Energie, ihre verschiedenen Formen und deren Umwandlung ineinander.
- Die Thermodynamik geht auch der Frage nach, wie man durch Umwandlung von Energieformen Arbeit leisten kann.
- Man kann zwischen einem makroskopischen und einem statistischen Ansatz der Thermodynamik unterscheiden.
- Für viele Naturwissenschaften und Ingenieurwissenschaften ist die Thermodynamik eine Art von Hilfswissenschaft; ihre Kenntnis ist eine notwendige Voraussetzung für eine erfolgreiche Arbeit.