

Vorwort

Die Thermodynamik gleicht einer Landschaft mit vielen Gesichtern. Den Lernenden zeigt sie oft nicht die freundlichsten davon. Carnot-Zyklen, adiabatische Prozesse und Differentialbeziehungen ragen vor vielen Studierenden wie ein steiles Gebirge auf, an dem schon mancher gescheitert ist. Und in der Tat: Begriffliche Unschärfe vergibt die Thermodynamik nicht. Wer sich mit Halbwissen und ungefestigtem Verständnis an ihr versucht, der muss es oft büßen. Ihre übergroße Abstraktheit ist sicher ein Grund, weshalb die Thermodynamik für Lernende so schwierig erscheint. Oft fällt es schon schwer, zu erfassen, „worum es eigentlich geht“.

Ein Hauptanliegen dieses Buches ist deshalb die *Kontextorientierung*. Durch den Bezug auf *praktische Anwendungen aus Alltag und Technik* sollen die Intuition und das Gespür für thermodynamische Zusammenhänge geschult werden – denn am besten lernt man dadurch, dass man das Gelernte anwendet. Die vielen konkreten Beispiele machen das Lernen im kontextorientierten Zugang nicht nur effektiver, sondern auch interessanter. Hier liegt die Aufgabe und der Anspruch des vorliegenden Buches: die interessanten Anwendungen der Thermodynamik zu erschließen und dabei den hohen fachlichen Anspruch und die begriffliche Klarheit der Darstellung aufrechtzuerhalten.

Kontextorientierung bedeutet *Authentizität*: Wir blicken in einen Geysir, wir suchen die Thermik beim Segelfliegen, wir untersuchen Schnellkochtöpfe, Solarkraftwerke und Wärmepumpen. Überall betrachten wir reale Prozesse und echte Daten. Wenn wir Wärmepumpen behandeln, begnügen wir uns nicht mit dem Carnot-Prozess, sondern analysieren im Detail, wie eine wirkliche Wärmepumpe arbeitet – vom stationären Fließprozess mit einem industriell üblichen Kältemittel bis zur Primärenergiebilanz im praktischen Einsatz. Ähnlich betrachten wir beim Thema Kraftwerksprozesse nicht nur die Theorie des Clausius-Rankine-Prozesses, sondern vergleichen sie auch mit den Daten eines realen Solarkraftwerks in der kalifornischen Wüste. Und natürlich ist das Kochen ein nahezu unerschöpfliches Thema, an dem sich alle Aspekte der Wärmeübertragung diskutieren lassen. Entsprechend enthält das Buch auch zwei Rezeptvorschläge: „Gedeckter Apfelkuchen nach DIN EN 50304“ und „Nilpferd in Burgunder“. Die Bevorzugung echter Daten schlägt sich vor allem auch in den Abbildungen nieder. Bei Darstellungen von Materialeigenschaften, thermodynamischen Prozessen oder Phasendiagrammen – niemals handelt es sich um bloße „Prinzipiskizzen“, sondern immer liegen reale Daten oder Stoffmodelle zugrunde.

„Authentizität ist schön, macht aber viel Arbeit“ – so könnte man einen Ausspruch von Karl Valentin abwandeln. In der Tat wäre jeder Lehrende, der eine Thermodynamik-Vorlesung vorbereitet, als Einzelperson mit dem Auf-

wand überfordert, den die Datenrecherche für dieses Buch erfordert hat. Es versteht sich somit auch als eine Dienstleistung für die Lehrenden.

Dass die Authentizität dem Lernen förderlich ist, ist keineswegs eine bloße Hypothese: Wie die physikdidaktische Forschung mit einer bemerkenswert großen Effektstärke empirisch belegen kann, ist sie einer der Schlüssel zu Wissenserwerb und Motivation. Authentische Kontexte liefern gute Anknüpfungspunkte für die Verankerung und Vernetzung des Gelernten und helfen damit beim Aufbau tragfähiger Wissensstrukturen.

In fachlicher Hinsicht liegt ein ganz besonderer Stolperstein im Begriff der *Entropie*. Die Gründe für ihre Unanschaulichkeit lassen sich benennen. Die Entropie ist eine *Zustandsgröße* und sollte daher – so wie die Temperatur oder die innere Energie – eine gewisse Eigenschaft thermodynamischer Zustände beschreiben. Die traditionelle Entropiedefinition, die wesentlich über *Prozesse* erfolgt, tut ihr Bestes, um gerade diesen Aspekt zu verschleiern.

In diesem Buch wird eine alternative Definition der Entropie gegeben. Sie knüpft an eine alte Vorstellung an, die niemals so recht ausformuliert wurde: die Entropie als Maß für die *Qualität von Energie* – wobei Qualität operational im Sinne von Nutzbarkeit oder Verfügbarkeit verstanden wird.

In konzeptioneller Hinsicht stützt sich der in Kapitel 9 eingeführte Entropiebegriff auf die erst 1999 veröffentlichte Entropiedefinition von Lieb und Yngvason – die vielleicht bedeutendste Errungenschaft der phänomenologischen Gleichgewichts-Thermodynamik der letzten 100 Jahre. Sie geht vom Begriff der adiabatischen Erreichbarkeit aus, der sich (wie Lieb und Yngvason in einer mathematischen Tour de force beweisen) als eine Ordnungsrelation für alle thermodynamischen Zustände auffassen lässt. Anders als bei Lieb und Yngvason erfolgt die Zuordnung konkreter Werte für die Entropie operational über die Nutzbarkeit des erschöpfbaren Energievorrats endlich großer Körper. Die Erzeugung von Entropie, die der zweite Hauptsatz beschreibt, lässt sich in diesem Rahmen als eine ständige Entwertung von Energie auffassen.

Inhaltlich ist das Buch in drei Teile gegliedert: Die ersten fünf Kapitel beschäftigen sich mit den Eigenschaften von Stoffen – in der Hauptsache mit Wasser und dem idealen Gas. Als Anwendungen werden das Kochen, die Luftfeuchtigkeit und die Physik von Geysiren besprochen. Die Kapitel 6–12 befassen sich mit dem ersten und dem zweiten Hauptsatz und deren Anwendung auf thermodynamische Prozesse. Hier geht es um das Wetter, um Wärmepumpen und Kraftwerksprozesse. Der dritte Teil (Kapitel 13–14) beschäftigt sich mit den Gesetzen der Wärmeübertragung: Wärmestrahlung, Konvektion, stationäre und instationäre Wärmeleitung. Dabei führen wir Windmessungen in der Antarktis durch und dringen zum Abschluss des Buches in die tieferen Geheimnisse der Kochkunst vor.

Braunschweig, im November 2013

Rainer Müller