

Zur Bedeutung der Technischen Thermodynamik in den Ingenieurwissenschaften

Die Technische Thermodynamik ist an den Universitäten weltweit fester Bestandteil der Grundausbildung im Maschinenbau (mechanical engineering), in der Verfahrenstechnik bzw. im Chemieingenieurwesen (chemical engineering) sowie in weiteren artverwandten Studiengängen. Ihr Stundenumfang an deutschen Universitäten liegt bei 6 bis 9 Semesterwochenstunden im Grundstudium, verteilt über 2 Semester. Im Hauptstudium kommen vertiefende Lehrveranstaltungen hinzu. Das mit der Technischen Thermodynamik verwandte Fach „Wärme- und Stoffübertragung“ ist gelegentlich in Kurse über Technische Thermodynamik integriert.

Die Bedeutung der Technischen Thermodynamik in den Ingenieurwissenschaften liegt in folgenden drei Punkten begründet:

1. Sie vermittelt in der Ausbildung eine **Einführung in den systemanalytischen Denkansatz**, der für jedes ingenieurmäßige Handeln unverzichtbar ist.
2. Gegenstand der Thermodynamik sind die **wissenschaftlichen Grundlagen von Prozessen zur Energie- und Stoffumwandlung** und damit eng verbunden die Erforschung und Beschreibung der **thermophysikalischen Eigenschaften** von Stoffen und von Stoffgemischen. Prozesse zur Energie- und Stoffumwandlung treten in fast allen Bereichen der Industriegesellschaft auf.
3. Wichtige **Schlüsseltechnologien der Zukunft** basieren u.a. auf thermodynamischen Prinzipien. Dies eröffnet der Thermodynamik neue Anwendungsfelder und erfordert dort eine konsequente Weiterentwicklung thermodynamischer Methoden in Grenzbereichen zu anderen Wissenschaftsdisziplinen.

1. Einführung in den systemanalytischen Denkansatz

Eine wesentliche Qualifikation des wissenschaftlich ausgebildeten Ingenieurs ist die Fähigkeit zur Abstraktion. Aussagen über die Gesamtheit einer realen Maschine oder Anlage sind nicht sinnvoll zu machen, wenn sie in allen ihren Details betrachtet wird. Es kommt darauf an, vereinfachte Modelle zu entwickeln, die das Wesentliche enthalten und dabei noch einer rechnerischen Beschreibung zugänglich sind. Typische Maschinen, die in der Technischen Thermodynamik betrachtet werden, sind Motoren,

Turbinen, Pumpen, Verdichter etc., typische Apparate sind Wärmeübertrager, Kessel, Trennkolonnen etc., typische Anlagen sind Kraftwerke, Brennstoffzellensysteme oder chemische Produktionsanlagen.

In einem ersten Abstraktionsschritt überträgt die thermodynamische Analyse diese Maschinen, Apparate oder Anlagen in entsprechend vereinfachte Systeme, wobei durch Angabe der Systemgrenzen die zu berücksichtigenden Energie- und Stoffströme definiert werden, für die sich dann Massen-, Energie- und Entropiebilanzen formulieren lassen. In einem zweiten Abstraktionsschritt werden die in diesen Einrichtungen ablaufenden Prozesse zu Zustandsänderungen in fluiden Phasen abstrahiert. Durch diesen systemanalytischen Ansatz erlernt der angehende Diplomingenieur die Reduktion der stets äußerst komplexen Realität auf wesentliche Effekte und wird sich gleichzeitig der Grenzen ihrer Aussagekraft bewusst. Er lernt insbesondere, dass eine technische Einrichtung mit unterschiedlichen Instrumenten analysiert werden kann, wobei die thermodynamische Analyse das Grundlegendste ist. Hinzu treten die mechanische und werkstoffliche Analyse zum Zweck der konstruktiven Gestaltung sowie weitergehende Aspekte wie Regelbarkeit, Sicherheit u.a.m.

Wenngleich die tatsächliche Ausführung der Einrichtung den Markterfolg bestimmt, ist es doch die thermodynamische Analyse, die die wesentlichen Wirkprinzipien einführt und das Optimierungspotenzial beschreibt. Die Fruchtbarkeit dieses systemanalytischen Denkansatzes in Verbindung mit der Definition einfacher Modelle wird dem angehenden Ingenieur im Rahmen der Technischen Thermodynamik erstmals im 3. Semester deutlich gemacht. Sie ist eine der wichtigsten Grundlagen des ingenieurmäßigen Denkens, das sich durch die gesamte Ingenieurausbildung und -praxis hindurch zieht.

2. Wissenschaftliche Grundlagen von Prozessen der Energie- und Stoffumwandlungen sowie thermophysikalische Stoffdaten

Ingenieure des Maschinenbaus, der Luft- und Raumfahrttechnik, der Energie-, Umwelt- und Verfahrenstechnik, des Chemie- und Bioingenieurwesens sowie von artverwandten Fachrichtungen benötigen fundierte Kenntnisse in Technischer Thermodynamik als wissenschaftliche Grundlage von Energie- und Stoffumwandlungsprozessen. Diese Prozesse treten in fast allen Bereichen der Industriegesellschaft auf und müssen zumindest in den Grundzügen von jedem Ingenieur verstanden werden. Bei den Energieumwandlungen sind es die Begriffe von Energiewert und optimalem Prozess, die im Wesentlichen zum Verständnis der Energiewirtschaft eines Prozesses führen. Die unnötige Energieverschwendung unserer heutigen Wirtschaft findet überwiegend auf der Anwenderenebene statt, also dort, wo nicht ausgebildete Energie- und Verfahreningenieure, sondern Ingenieure anderer Fachrichtungen tätig sind.

Erfahrungsgemäß genügt bereits die konsequente Anwendung des im Grundstudium der Technischen Thermodynamik erworbenen Wissens über Energieumwandlungen, um viele grobe Unzulänglichkeiten in der Energiewirtschaft auf der Anwenderebene abzustellen. Ähnliches gilt für Stoffumwandlungen; sie treten immer gemeinsam mit Energieumwandlungen auf, werden aber dominant in der Verfahrens- und Umwelttechnik sowie in der Biotechnologie. Hier ist an die Umweltschutzmaßnahmen aller Produktionsprozesse sowie an die gesamte Prozesstechnik des produzierenden Gewerbes zu denken. Es wird kaum einen Ingenieur in der Praxis geben, der nicht mit Stoffumwandlungen irgendwelcher Art befasst ist.

Gleichzeitig führen die Entwicklungen in Richtung höherer energetischer, stofflicher und ökonomischer Effizienz, Umweltverträglichkeit und Ressourcenschonung in der Energietechnik, in der Kälte- und Klimatechnik, in der Verbrennungstechnik und in der Verfahrenstechnik zu einer Vielfalt neuer Prozesse, die ihrerseits eine stetige Ergänzung thermodynamischen Grundlagenwissens erforderlich machen.

Überall dort, wo in technischen Prozessen Flüssigkeiten, Gase oder überkritische Fluide sowie Fluid-Feststoffsysteme eingesetzt werden, benötigt man zuverlässige Informationen über deren Eigenschaften. Die Thermodynamik stellt Methoden zur experimentellen Untersuchung und theoretischen Modellierung solcher Eigenschaften sowie Werkzeuge zu deren Simulation zur Verfügung. Bei den Stoffen kann es sich um hochreine Substanzen aber auch um Mischungen aus vielen hundert Komponenten, wie z.B. Erdöl, handeln, die interessierenden Drücke liegen zwischen mehreren 1000 bar und dem Hochvakuum, die Temperaturen zwischen einigen 1000 °C und der Nähe des absoluten Nullpunkts. Die interessierenden Eigenschaften umfassen sowohl Gleichgewichtsgrößen, wie z.B. Phasen- und Reaktionsgleichgewichte oder Absorptionsphänomene, als auch Transportgrößen, wie z.B. Diffusionskoeffizienten. Zuverlässige Kenntnisse dieser Größen sind für die Entwicklung und Verbesserung wirtschaftlicher und Ressourcen schonender Prozesse von zentraler Bedeutung. Durch die fortschreitende Entwicklung neuer Prozesse und Produkte und die steigenden Anforderungen an die Präzision bestehender Prozessabläufe stellen sich auf dem Arbeitsgebiet laufend neue Aufgaben. Dementsprechend werden die Arbeitsmethoden weiterentwickelt. Auf der experimentellen Seite werden in thermodynamischen Untersuchungen verstärkt hoch entwickelte Verfahren der instrumentellen Analytik eingesetzt, wie z.B. spektroskopische Methoden. Auf der Seite der Modellierung haben die erfolgreichen Arbeitsmethoden der phänomenologischen Thermodynamik hochgenaue Zustandsgleichungen geliefert, die jetzt durch geeignete, von der Thermodynamik entwickelte Software auch direkt industriell genutzt werden. Die neuen Möglichkeiten der molekularen Thermodynamik erweitern die Berechnungsmethoden für Stoffe, für die keine zuverlässigen Zustandsgleichungen existieren.

3. Schlüsseltechnologien der Zukunft

Schlüsseltechnologien der Zukunft müssen darauf ausgerichtet sein, globale Probleme, die sich abzeichnen, zu entschärfen und umweltgerechte, sozialverträgliche und wirtschaftliche Lösungen zu entwickeln. Solche Probleme sind beispielsweise:

- die Klimaproblematik (Treibhauseffekt und Ozonabbau) verbunden mit den knapper werdenden Ressourcen in der Energie-, Rohstoff- und Trinkwasserversorgung und die zunehmende Umweltverschmutzung,
- die Ernährung und die Gesundheit einer schnell wachsenden Weltbevölkerung unter der Randbedingung begrenzter Ressourcen in der Biosphäre.

Energie- und Klimaproblematik sowie Ressourcenwirtschaft und Umweltverschmutzung können nicht getrennt voneinander betrachtet werden. Sie hängen auf wissenschaftlicher Ebene, die durch die Thermodynamik definiert wird, eng miteinander zusammen. Zukunftsgerichtete Strategien wie die Wasserstoffwirtschaft, bzw. andere klimaneutrale Energiekonzepte, die Entwicklung von Brennstoffzellen, solare Klimatisierung und die rationelle Nutzung regenerativer Energie bzw. postfossile Energiekonzepte generell, machen die Thermodynamik als Grundlagenfach unentbehrlich. Gleiches gilt für die Rohstoffversorgung sowie die Gewinnung und Aufbereitung von Trinkwasser - eine der wichtigsten Zukunftsaufgaben - wo fortschrittliche und Ressourcen schonende Verfahrens- und Energiekonzepte, beispielsweise zur Meerwasserentsalzung, zu erarbeiten sind. Die Thermodynamik liefert mit ihrem systemanalytischen Ansatz insbesondere die Möglichkeit, beliebig komplexe Systeme der Energie- und Stoffwirtschaft zu analysieren und in Bezug auf den Ressourcenverbrauch zu optimieren.

Eine große Herausforderung für die Thermodynamik in diesen Bereichen sind weiterhin die Entwicklungen in der Nanotechnologie und der nachhaltigen Chemie, die auf Produkte mit neuartigen Eigenschaften bzw. auf neue Prozesse ausgerichtet sind, in denen u.a. unerwünschte und toxische Zwischenprodukte vermieden und Gefährdungspotenziale abgebaut werden. Nanotechnologie, insbesondere die Erzeugung nanodisperser Systeme, ist sehr eng mit der Thermodynamik der spontanen Phasenübergänge verknüpft - ein interdisziplinäres Fachgebiet, das zunehmend an Bedeutung gewinnt. Viel versprechende neuartige Synthesen der nachhaltigen Chemie können beispielsweise bei hohen Drücken und Temperaturen in überkritischen Fluiden (Wasser, CO₂) durchgeführt werden. Thermophysikalische Stoffdaten von reagierenden Mischungen unter diesen Bedingungen sind weitgehend unbekannt und müssen durch thermodynamische Forschungsarbeiten bereitgestellt werden.

Ernährung und Gesundheit des Menschen und seine wechselseitigen Beziehungen zur Natur als Lebensbasis stehen im Mittelpunkt der Life Sciences - eines interdisziplinären Fachgebietes, als dessen Leitwissenschaften Biologie und Biochemie gelten. Der ingenieurwissenschaftlich geprägte Sektor der Life Sciences beinhaltet die Nutzbarmachung und Wandlung von Rohstoffen, vorzugsweise biologischer Materialien, sowie die Gestaltung von Produkten für Ernährung und Gesundheit als auch die Entwicklung der damit verbundenen Prozesse. Besondere Beachtung verdienen hier neuartige, komplex strukturierte Produkte mit hochspezifischen Wirkmechanismen in der Pharmazie bis hin zur Kosmetik. Voraussetzung zur Herstellung solcher Produkte sind umfassende Kenntnisse über das thermodynamische Verhalten komplexer Mischungen, beispielsweise von Mischungen mit selbst organisierenden Makromolekülen und Biomolekülen. Solche komplexen Mischungen fallen auch häufig im Bereich der Bioprosesstechnik an, die in Zukunft die klassische chemische Prozesstechnik in nennenswertem Umfang ersetzen wird. Eine große ingenieurmäßige Herausforderung in den Life Sciences ist auch die Entwicklung hochspezifischer Trennverfahren, beispielsweise zur Herstellung hochreiner Wirkstoffe durch adsorptive Verfahren. Basis hierfür ist u.a. die Kenntnis von thermodynamischen Adsorptionsgleichgewichten in Mehrstoffsystemen.

Weiterhin ist die Methodik der Thermodynamik prinzipiell in hervorragender Weise geeignet, die Stoffflüsse und die Energetik sowohl in makroskopischen, globalen Wirkungsketten als auch in mikroskopischen Systemen, wie Zellen oder Zellverbänden zu analysieren. Ziel solcher Analysen ist das Lernen von der Natur und das Umsetzen biologischer Prinzipien in technische Prozesse. Die Anwendung thermodynamischer Methoden zur Beschreibung von Vorgängen in biologischen Systemen steckt allerdings noch in den Anfängen. Mit der weiteren Entwicklung der Life Sciences werden aber Fachgebiete wie die Nichtgleichgewichtsthermodynamik biologischer Systeme sowie die Thermodynamik komplexer Mischungen mit Biomolekülen, die man insgesamt unter dem Begriff „*Biotechnische Thermodynamik*“ zusammenfassen kann, erheblich an Bedeutung gewinnen und ihrerseits den Fortschritt in den Life Sciences stimulieren.