



EUROPA-FACHBUCHREIHE
für FOS/BOS Bayern

Technologie

FOS/BOS Bayern

Jahrgangsstufe 12

Ausbildungsrichtung Technik

1. Auflage

VERLAG EUROPA-LEHRMITTEL · Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG
Düsseldorfer Straße 23 · 42781 Haan-Gruiten

Europa-Nr.: 15129

Autoren des Buches Technologie FOS/BOS Bayern, Jahrgangsstufe 12

Hensel, Thomas	München
Koch, Matthias	München
Langgartner, Stefan	Rosenheim
Schittenhelm, Michael	Hof
Sickenberger, Erich	Grafrath
Werner, Heinz	Bad Alexandersbad
Werner, Thomas	Bad Alexandersbad

Lektor

Dillinger, Josef

Bildbearbeitung

Zeichenbüro des Verlags Europa-Lehrmittel, 73760 Ostfildern
Grafische Produktionen Jürgen Neumann, 97222 Rimpar

1. Auflage 2018, korrigierter Nachdruck 2019

Druck 5 4 3 2

Alle Drucke derselben Auflage sind parallel einsetzbar, da sie bis auf die Behebung von Druckfehlern untereinander unverändert sind.

ISBN 978-3-8085-1512-9

Alle Rechte vorbehalten. Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der gesetzlich geregelten Fälle muss vom Verlag schriftlich genehmigt werden.

© 2018 by Verlag Europa-Lehrmittel, Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG, 42781 Haan-Gruiten
<http://www.europa-lehrmittel.de>

Satz und Layout: Grafische Produktionen Jürgen Neumann, 97222 Rimpar

Umschlag: braunwerbeagentur, 42477 Radevormwald

Umschlagfoto: Bildmaterial des Autorenkreises

Druck: mediaprint solutions GmbH, 33100 Paderborn

Vorwort

Dieses Lehrbuch setzt das Kompetenzstrukturmodell des ab Schuljahr 2018/19 geltenden Lehrplan-PLUS um.

Die Inhalte sind exakt an den Lehrplan der 12. Jahrgangsstufe der Fachoberschule, Ausbildungsrichtung Technik, angepasst, enthalten aber auch zu jedem Lernbereich Vertiefungen für besonders interessierte Schüler und Lehrer.

Es werden alle Pflicht- und Wahl-Lernbereiche behandelt.

Die Lernbereiche sind in Pflicht- und Wahlmodule aufgeteilt. In der Jahrgangsstufe 12 müssen neben den Pflichtmodulen noch drei weitere Module (optional) gewählt werden.

Pflicht-Lernbereiche:

- Thermodynamik
- Technische Mechanik
- Metallische Werkstoffe

Wahl-Lernbereiche (optional):

- Allgemeine Energietechnik
- Erneuerbare Energien
- Umwelttechnik
- Elektronische Bauelemente
- Systeme und Prozesse
- Modellbildung und Simulation
- Verbrennungsmotoren
- Komplexe technische Systeme

Die Inhalte werden durch konkrete Beispiele anhand von technischen Systemen dargestellt und veranschaulicht. Alle im Lehrplan geforderten Kompetenzen werden durch entsprechende Aufgaben gefördert.

Aufbau der Kapitel

- Jedes Hauptkapitel beginnt mit einer Übersicht, welche Kompetenzen der Leser sich beim Durcharbeiten des Kapitels aneignen wird.
- Nach jedem Teilkapitel oder auch nach einem logischen Lernabschnitt überprüft die Rubrik „Alles verstanden?“, ob der Leser die wesentlichen Fakten des Teilkapitels verstanden hat.
- In unregelmäßigen Abständen, aber immer wenn es sinnvoll ist, fordert die Rubrik „Arbeitsauftrag“ den Leser auf, kleinere Aufgaben zu lösen.
- In jedem Hauptkapitel gibt es ein oder mehrere Teilkapitel mit umfangreicheren Aufgabenstellungen.

Arbeiten mit dem Buch

Das Konzept dieses Buches ist es, einen an Technik interessierten, selbstständig und eigenverantwortlich handelnden Leser anzusprechen, denn

- mit der Rubrik „Alles verstanden?“ kann jeder Leser einen kurzen Selbsttest durchführen,
- die Rubrik „Arbeitsauftrag“ fordert zur Umsetzung von gelesenen und gelernten Inhalten auf,
- die Aufgabenstellungen orientieren sich an modernen technischen Systemen und sind interessant, praxisnah und vielseitig.

Ausführliche Lösungen sind auf der Webseite des Verlags unter www.europa-lehrmittel.de/15549/html zum kostenpflichtigen Download zu finden.

Wir wünschen Ihnen viel Freude mit unserem Buch und interessieren uns für Ihre Meinung!

Teilen Sie uns Verbesserungsvorschläge, Kritik – gerne auch Lob – mit:

lektorat@europa-lehrmittel.de

Winter 2018/2019

Autoren und Verlag

1	Thermodynamik	6	3.5	Zugfestigkeit und Zugversuch	130
1.1	Grundbegriffe der Thermodynamik	6	3.5.1	Mechanische Spannung und Dehnung	130
1.1.1	Die Bedeutung der Thermodynamik	6	3.5.2	Beanspruchungsarten	131
1.1.2	Thermodynamische Systeme	8	3.5.3	Zugversuch	131
1.1.3	Zustandsgrößen und Prozessgrößen	11	3.5.4	Das Spannungs-Dehnungs-Diagramm	134
1.1.4	Aufgaben zu thermodynamischen Systemen und Prozessen	15	3.5.5	Berechnungen auf Grundlage des Spannungs-Dehnungs-Diagramms	136
1.2	Die Gasgesetze	16	3.5.6	Aufgaben Zugversuch, Streckgrenze, Zugfestigkeit und Spannungs-Dehnungs-Diagramm	138
1.2.1	Die Gesetze von Boyle-Mariotte, Amontons und Gay-Lussac	17	3.6	Kerbschlagbiegeversuch	139
1.2.2	Die thermische Zustandsgleichung für ideale Gase	19	3.7	Zerstörungsfreie Prüfverfahren	140
1.2.3	Aufgaben zu den Gasgesetzen	23	3.7.1	Farbeindringverfahren	140
1.3	Der erste Hauptsatz der Thermodynamik	24	3.7.2	Magnetische Rissprüfung	141
1.4	Thermodynamische Zustandsänderungen	26	3.7.3	Durchstrahlprüfung	142
1.4.1	Isochore Prozesse	26	3.7.4	Aufgaben zu zerstörungsfreien Prüfverfahren	143
1.4.2	Isobare Prozesse	30	3.8	Aufbau und Eigenschaften von Metallen	143
1.4.3	Isotherme Prozesse	34	3.8.1	Die Metallbindung	145
1.4.4	Adiabatische Prozesse	39	3.8.2	Elementarzellen und Nahordnung	146
1.4.5	Zusammenfassung Thermodynamische Prozesse	42	3.8.3	Bestimmung der Dichte mithilfe der Elementarzelle	149
1.4.6	Aufgaben zu thermodynamischen Prozessen	44	3.8.4	Einfluss der Elementarzelle auf die plastische Verformbarkeit	151
1.5	Der zweite Hauptsatz der Thermodynamik	46	3.8.5	Das Gefüge eines Metalls	153
1.6	Thermodynamische Kreisprozesse	49	3.8.6	Gitterfehler und ihre Bedeutungen	155
1.6.1	Kennzeichen und Energiebilanz von Kreisprozessen	49	3.8.7	Aufgaben zu Aufbau von Metallen	156
1.6.2	Rechtsläufige und linksläufige Kreisprozesse	52	3.9	Legierungen	157
1.6.3	Beispielaufgabe: Berechnung eines Kreisprozesses	55	3.9.1	Grundtypen von Legierungen	158
1.6.4	Aufgaben zu Kreisprozessen	57	3.9.2	Abkühlkurven von Legierungen	159
2	Technische Mechanik	58	3.9.3	Binäre Zustandsdiagramme	161
2.1	Einführung in die Technische Mechanik	58	3.9.4	Aufgaben zu Legierungen	166
2.2	Kräfte in der Statik	59	3.10	Das Eisen-Kohlenstoff-Diagramm	167
2.2.1	Graphische Darstellung einer Kraft	59	3.10.1	Abkühlkurve von reinem Eisen	167
2.2.2	Axiome der Statik	59	3.10.2	Informationen aus dem Eisen-Kohlenstoff-Diagramm	168
2.2.3	Zerlegen von Kräften	61	3.10.3	Eutektoider Stahl	169
2.2.4	Zusammenfassen von Kräften	66	3.10.4	Untereutektoider Stähle	171
2.2.5	Aufgaben zu Kräften in der Statik	70	3.10.5	Übereutektoider Stähle	172
2.3	Drehmomente in der Statik	71	3.10.6	Aufgaben zum Eisen-Kohlenstoff-Diagramm	173
2.3.1	Drehmomente durch eine Einzelkraft	71	3.11	Wärmebehandlung von Stählen	174
2.3.2	Drehmomente durch ein Kräftepaar	72	3.11.1	Martensithärten	174
2.3.3	Drehmomente mit beliebiger Krafrichtung	72	3.11.2	Vergüten von Stählen	175
2.3.4	Aufgaben zu Drehmomenten in der Statik	73	3.11.3	Pendelglühen	176
2.4	Freiheitsgrade eines Körpers	74	3.11.4	Aufgaben zu Wärmebehandlung	176
2.5	Zentrale Kräftesysteme	75	4	Allgemeine Energietechnik	177
2.5.1	Berechnung der resultierenden Kraft in einem zentralen Kräftesystem	75	4.1	Energieformen	177
2.5.2	Gleichgewichtszustand eines zentralen Kräftesystems	78	4.2	Energieumwandlung	179
2.5.3	Aufgaben zu zentralen Kräftesystemen	80	4.2.1	Energieerhaltung	179
2.6	Allgemeine Kräftesysteme	81	4.2.2	Energiewandlermodell	180
2.6.1	Berechnung der resultierenden Kraft und des resultierenden Moments in einem allgemeinen Kräftesystem	81	4.2.3	Wirkungsgrad	181
2.6.2	Gleichgewichtszustand eines allgemeinen Kräftesystems	85	4.2.4	Energiewandlungskette	182
2.6.3	Aufgaben zu allgemeinen Kräftesystemen	89	4.2.5	Energieflussdiagramm	185
2.7	Freimachen von Bauteilen	90	4.3	Energiewandler	186
2.7.1	Grundlagen des Freimachens	90	4.3.1	Kraftwerke	186
2.7.2	Prinzipielle Vorgehensweise beim Freimachen	92	4.3.2	Antriebssysteme	190
2.7.3	Regeln der Kraftübertragung	93	4.4	Physikalische Größen	194
2.7.4	Musterbeispiele für das Freimachen von Bauteilen	96	4.4.1	Arbeit	194
2.7.5	Aufgaben zu Freischneiden	98	4.4.2	Energie	195
2.8	Musterbeispiele für die Berechnung von äußeren Kräften	99	4.4.3	Leistung	197
2.9	Statische Bestimmtheit	106	4.4.4	Einheiten der Energietechnik	199
2.10	Schnittgrößen	107	4.4.5	Aufgaben	200
2.10.1	Positives und negatives Schnittufer	107	4.5	Energieversorgungssysteme	204
2.10.2	Berechnung der inneren Kräfte und Momente	108	4.5.1	Arten von Energieträgern	204
2.10.3	Graphische Ermittlung des maximalen Biegemoments	111	4.5.2	Energieverbrauch	209
2.10.4	Aufgaben zu Schnittgrößen	114	4.5.3	Energietransport	211
2.11	Bauteile mit Streckenlasten	115	4.5.4	Energiespeicherung	217
2.11.1	Resultierende Kraft einer Streckenlast	115	4.5.5	Aufgaben	222
2.11.2	Querkraftverlauf und Biegemoment bei einer konstanten Streckenlast	116	4.6	Energieeffizienz	223
2.11.3	Belastungen durch lineare Streckenlasten	119	4.6.1	Kraft-Wärme-Kopplung	223
2.11.4	Aufgaben zu Streckenlasten	120	4.6.2	Energieeffizienz von Gebäuden	225
3	Metallische Werkstoffe	121	4.6.3	Energiesparen – Verbraucherverhalten	228
3.1	Einführung in die Werkstofftechnik	121	4.6.4	Aufgaben	229
3.2	Einteilung der Werkstoffe	122	5	Erneuerbare Energien	230
3.3	Eigenschaften von Werkstoffen	123	5.1	Fossile und atomare Energieträger	230
3.4	Härte und Härteprüfung	126	5.1.1	Wärmekraftwerke und ihr technologisches Prinzip	230
3.4.1	Härteprüfung nach Vickers	126	5.1.2	Bedeutung fossiler und atomarer Energieträger	234
3.4.2	Härteprüfung nach Brinell	127	5.1.3	Ökonomie	235
3.4.3	Härteprüfung nach Rockwell	128	5.1.4	Ökologie	235
3.4.4	Mobile Härteprüfung	129	5.1.5	Aufgaben zu Fossile und atomare Energieträger	237
3.4.5	Aufgaben zu Härteprüfverfahren	129	5.2	Anthropogener Treibhauseffekt und CO₂	238
			5.2.1	Treibhauseffekt und CO ₂ -Konzentration	238
			5.2.2	Verursacher von CO ₂ - und Treibhausgas-Emission	241

5.2.3	Aufgaben zu Anthropogener Treibhauseffekt und CO ₂ . . .	244	7.8	Elektronische Schaltungen und Aufgaben	401
5.3	Folgen durch den Einsatz fossiler Energieträger und die damit verbundenen Konsequenzen	245	7.8.1	Transistor als Schalter	401
5.3.1	Regionale und globale Folgen von THG-Emission heute und in naher Zukunft	245	7.8.2	Verschiedene Kipperschaltungen	402
5.3.2	Dekarbonisierung der Weltwirtschaft und nationale Ziele	250	7.8.3	Einstufiger NF-Verstärker in Emitterschaltung	404
5.3.3	Aufgaben zum Unterthema „Folgen durch den Einsatz fossiler Energieträger und die damit verbundenen Konsequenzen“	252	7.8.4	Gleichrichterschaltung mit Glättung der Ausgangsspannung	405
5.4	Bereiche der erneuerbaren Energien	253	8	Systeme und Prozesse	406
5.4.1	Verfügbarkeit der EE-Quellen	253	8.1	Grundlagen der Systemtheorie	406
5.4.2	Globale und nationale Entwicklung der EE	255	8.1.1	Der Systembegriff	406
5.4.3	Windkraft	256	8.1.2	System und Prozess	410
5.4.4	Photovoltaik	260	8.1.3	Aufgaben	412
5.4.5	Biomasse	269	8.2	Darstellungsmethoden	414
5.4.6	Aufgaben zum Unterthema Erneuerbare Energien	273	8.2.1	Kontinuierliche Prozesse	414
5.5	Vergleich von konventionellen Energieträgern und erneuerbaren Energien	275	8.2.2	Diskrete Prozesse	416
5.5.1	Gesamtwirkungsgrade und Energiebilanz	275	8.3	Modellbildung mit Petri-Netzen	417
5.5.2	Kosten-Nutzen-Aufwand	278	8.3.1	Die Struktur von Petri-Netzen	417
5.5.3	Ökobilanz, Umweltverträglichkeit und Ökologie	281	8.3.2	Dynamik der Petri-Netze – Schaltregeln	421
5.5.4	Graue Energie und energetische Amortisation	283	8.3.3	Ablaufstrukturen und spezielle Situationen	423
5.5.5	Zeitliche Nutzbarkeit	283	8.3.4	Beispielaufgabe mit Lösung	427
5.5.6	Standortwahl von Erneuerbare-Energie-Anlagen	285	8.3.5	Mathematische Darstellung von Petri-Netzen	429
5.5.7	Versorgungssicherheit im Stromnetz	286	8.4	Beispielaufgaben, Lösungen und Arbeitsaufträge	431
5.5.8	Konzeptansätze	288	8.4.1	Netzanalyse	431
5.5.9	Aufgaben	290	8.4.2	Montageroboter	432
6	Umwelttechnik	291	8.4.3	Verkehrssampeln	433
6.1	Umweltschutz und Umwelttechnik	291	8.4.4	Transportprobleme	435
6.1.1	Allgemeine Einführung	291	8.4.5	Keksautomaten	437
6.1.2	Umweltkonzepte und Umweltziele	294	8.4.6	Glücksspiele	437
6.1.3	Aufgaben	296	8.5	Aufgaben	438
6.2	Anthropogene Schadstoffe	296	9	Modellbildung und Simulation	440
6.2.1	Die Entwicklung im 20. Jahrhundert	296	9.1	Einführung in die Modellbildung	440
6.2.2	Ökosysteme Boden und Wasser	298	9.1.1	Begriffe und Anwendungsbereiche	440
6.2.3	Anthropogene Boden- und Wassersadstoffe	300	9.1.2	Arbeitsschritte der Modellbildung	442
6.2.4	Anthropogene Luftschadstoffe	305	9.2	System Dynamics Notation	446
6.2.5	Lärmbelastung	311	9.2.1	Darstellungsweise, Software und Anwendungen	446
6.2.6	Aufgaben	315	9.2.2	Berechnung der Zustandsgrößen	450
6.3	Nachweis- und Messverfahren – Analytik	316	9.2.3	Modelltyp 1: Einfache Akkumulation	451
6.3.1	Zweck der Nachweis- und Messverfahren	316	9.2.4	Modelltyp 2: Zweistufige Akkumulation	452
6.3.2	Qualitative und halbquantitative Nachweismethoden	317	9.2.5	Modelltyp 3: Einfacher Regelkreis	453
6.3.3	Instrumentelle Umweltanalytik	320	9.2.6	Modelltyp 4: Zweistufig rückgekoppelter Regelkreis	454
6.3.4	Aufgaben	327	9.2.7	Modelltyp 5: Gekoppelte Regelkreise	455
6.4	Maßnahmen zur Reduzierung der Umweltbelastungen	328	9.2.8	Modellierungsbeispiel mit ausführlicher Lösung	456
6.4.1	Vermeidung von Umweltbelastungen	328	9.3	Rechenverfahren (Integrationsverfahren)	460
6.4.2	Abfallvermeidung durch geschlossene Produktkreisläufe	331	9.3.1	Das Euler-Cauchy-Verfahren	460
6.4.3	Abfalltrennung und Wiederverwertung	334	9.3.2	Das Runge-Kutta-Verfahren 4. Ordnung (RK4)	461
6.4.4	Maßnahmen zur Luftreinhalte	337	9.3.3	Simulationsfehler und Fehlerquellen	465
6.4.5	Maßnahmen zur Gewässerreinhalte	342	9.4	Wachstumsgrenzen	466
6.4.6	Aufgaben	348	9.4.1	Begrenztes Wachstum	466
7	Elektronische Bauelemente	349	9.4.2	Logistisches Wachstum	468
7.1	Grundlagen der Gleichstromtechnik	349	9.5	Modellierungsaufgaben	471
7.1.1	Der einfache Gleichstromkreis	350	10	Verbrennungsmotoren	475
7.1.2	Grundgrößen der Elektrotechnik	351	10.1	Kreisprozess der Wärmekraftmaschinen	475
7.2	Allgemeines zu elektronischen Schaltungen	356	10.1.1	Entwicklung und Prinzip	475
7.3	Bauelement Widerstand R	358	10.1.2	Theorie der Wärmekraftmaschinen	481
7.3.1	Bauarten von Widerständen	358	10.2	Kreisprozesse von Otto- und Dieselmotor	487
7.3.2	Physikalische Eigenschaften von Widerständen	360	10.2.1	Idealer Kreisprozess des Ottomotors	487
7.3.3	Aufgaben	363	10.2.2	Idealer Kreisprozess des Dieselmotors	491
7.3.4	Exkurs: Computersimulation von elektronischen Schaltungen	364	10.2.3	Vergleich der Konzepte	495
7.4	Bauelement Kondensator	367	10.3	Technik der Motoren	496
7.4.1	Aufbau und Bauarten von Kondensatoren	367	10.3.1	Das Viertaktverfahren	497
7.4.2	Physikalische Eigenschaften eines Kondensators	368	10.3.2	Steuerdiagramm, Indikatordiagramm und Kenngrößen	501
7.4.3	Aufgaben	374	10.3.3	Potential für Optimierungen	504
7.5	Bauelement Spule	375	10.4	Maßnahmen zur Steigerung des Wirkungsgrades, der Wirtschaftlichkeit und der Umweltverträglichkeit	507
7.5.1	Bauarten von Spulen	375	10.4.1	Drehmoment und Leistung	507
7.5.2	Physikalische Eigenschaften von Spulen	375	10.4.2	Wirkungsgrad und Wirtschaftlichkeit	510
7.5.3	Schaltungen mit Spule, Kondensator und Widerstand	379	10.4.3	Ökologie	515
7.5.4	Aufgaben	382	11	Komplexe technische Systeme	518
7.6	Bauelement Diode	382	11.1	Beispiel 1: E-Bike oder Pedelec	518
7.6.1	Grundwissen Halbleiter	382	11.2	Beispiel 2: Kraftfahrzeug mit Verbrennungsmotor	521
7.6.2	Halbleiterdioden	386	11.3	Beispiel 3: Windenergieanlagen (WEA)	523
7.6.3	Schaltungen mit Dioden	388	11.4	Beispiel 4: Heizkraftwerk	525
7.7	Bauelement Transistor	393	11.5	Beispiel 5: Blockheizkraftwerk (BHKW)	528
7.7.1	Bipolare Transistoren	393	11.6	Beispiel 6: Mobile Krane	529
7.7.2	Feldeffekt-Transistoren (FET)	399		Bildquellenverzeichnis	531
				Sachwortverzeichnis	533

1 Thermodynamik

In diesem Kapitel lernen Sie

- die verschiedenen Arten von thermodynamischen Systemen zu unterscheiden und deren Eigenschaften zu erläutern.
- Zustands- und Prozessgrößen zu unterscheiden und deren Bedeutung für thermodynamische Systeme und Prozesse fachgerecht zu erklären.
- die unterschiedlichen Zustandsänderungen, die in thermodynamischen Systemen ablaufen können, zu analysieren, zu beschreiben, graphisch darzustellen und deren Kennzeichen zu erläutern.
- mit Hilfe der allgemeinen Gasgleichung und des ersten Hauptsatzes der Thermodynamik die Prozesse in thermodynamischen Systemen zu berechnen.
- thermodynamische Kreisprozesse zu analysieren, zu zeichnen und zu berechnen.

1.1 Grundbegriffe der Thermodynamik

1.1.1 Die Bedeutung der Thermodynamik

Die Energieversorgung der Bundesrepublik Deutschland befindet sich seit Beginn der 2000er Jahre in einem gewaltigen Umbruch, denn die regenerativen Energieträger Wind und Photovoltaik decken immer größere Anteile an der Stromversorgung ab. Dennoch wurde auch im Jahre 2017 die elektrische Energie der BRD zu über 70 Prozent in **Wärmekraftwerken** produziert. Ebenso ist ein Wandlungsprozess in der Kraftfahrzeugtechnik im Gange, der in den nächsten zwei Jahrzehnten die **Verbrennungsmotoren** allmählich durch Elektromotoren ersetzen wird. Trotz dieser epochalen technischen Umwälzungen wird die **Umwandlung von Wärme in mechanische Arbeit** noch für lange Zeit der wichtigste technische Prozess bleiben.

Mit der Untersuchung von energetischen Vorgängen bei der technischen Nutzung von Wärmeenergie haben sich Ingenieure und Physiker schon lange vor den Zeiten von James Watt beschäftigt. Ihm gelang es, durch seine Erfindungen in den 1780er Jahren den Wirkungsgrad der damaligen Dampfmaschinen (**Bild 1**) von 1 % auf über 3 % zu erhöhen. Diese Zahlen sind in unserer heutigen Zeit sehr bescheiden, aber in der damaligen Zeit verhalf diese revolutionäre Verbesserung von 200 % und die damit verbundene Einsparung von 66 % des Brennstoffes Kohle dem thermodynamischen System Dampfmaschine zum endgültigen Durchbruch. Letztlich wurde dadurch auch der Beginn der ersten industriellen Revolution ermöglicht.

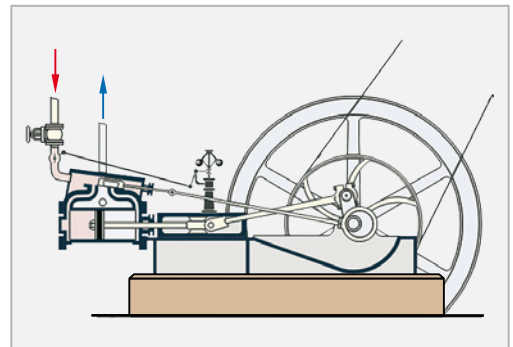


Bild 1: Doppelt wirkende Dampfmaschine mit Fliehkraftregler

Mehr als 220 Jahre nach James Watt bauen die Ingenieure von Siemens hocheffiziente Gasturbinen mit einer Leistung von 450 MW und einem kombinierten Gesamtwirkungsgrad von 61 % (**Bild 2**) und die Weiterentwicklung von thermodynamischen Systemen ist noch lange nicht zu Ende.

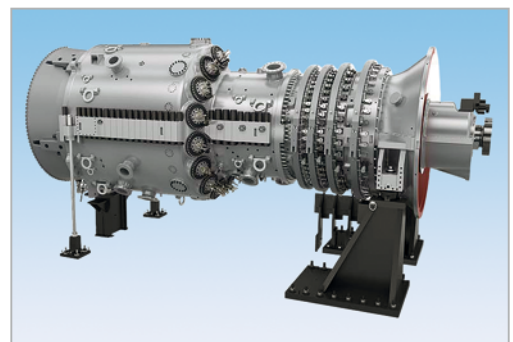


Bild 2: Siemens Gasturbine 450 MW

Die theoretischen Grundlagen für solche Forschungen liefert der Wissenschaftszweig der **Thermodynamik**. Der Begriff kommt aus dem altgriechischen und setzt sich zusammen aus den Wortteilen *thermós* (gr: θερμός), das bedeutet „warm“, und *dýnamis* (gr: δύναμις), das heißt „Kraft“. In die deutsche Sprache wurde er lange Zeit mit **Wärmelehre** übersetzt.

Die heutige Bedeutung als Grundlagenfach der Ingenieurwissenschaften beschreibt jedoch sehr viel umfassender und treffender der Ausdruck **„Allgemeine Energielehre“**. Es gibt eine Besonderheit bei der Nutzung der Energieform Wärme, die sie von allen anderen Energieformen unterscheidet. Elektrische Energie (E_{el}) und mechanische Energie (E_{kin} , E_{pot}) beispielsweise lassen sich ohne Einschränkung in andere Energieformen umwandeln, sie sind vollständig nutzbar. Aber immer wenn bei technischen Energieumwandlungsprozessen in einer Zwischenstufe die Energieform Wärme auftritt, bedeutet dies Einschränkungen in der Umwandelbarkeit und Nutzbarkeit. Diese Einschränkung wird durch die physikalisch exakte Bedeutung der Nutzung von Wärmeenergie klar, bei der ein Energiestrom bzw. ein Energietransport stattfindet, der jedoch nur zwischen Körpern mit unterschiedlichen Temperaturen möglich ist. Es ist zur Nutzung von Wärmeenergie also eine Temperaturdifferenz notwendig. Folgendes einfache Beispiel soll dies verdeutlichen:

Wenn wir einer Person, die ohne Handschuhe aus der Kälte kommt, unsere warme Hand geben und sie festhalten, so beginnt ein Energiestrom von der warmen zur kalten Hand zu fließen und zwar so lange, bis beide Hände die gleiche Temperatur haben. Danach ist zwar in beiden Händen Wärmeenergie vorhanden, aber der Energiestrom hat aufgehört. Die dann vorhandene Wärmeenergie ist nicht mehr nutzbar.

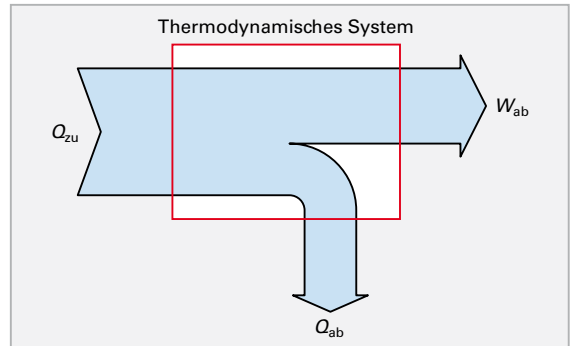


Bild 1: Energieflussbild, wird auch Sankey-Diagramm genannt

Die Ziele der Ingenieurwissenschaft Thermodynamik sind folgende:

- Analyse und Optimierung von Energie-Umwandlungsprozessen
- Minimierung der Energieentwertung, d. h. hochwertige, nutzbare Energie (Exergie) zu minderwertiger, nicht nutzbarer Energie (Anergie)
- Erstellung von Energiebilanzen und Energieflussbildern (**Bild 1**)
- Entwicklung, Untersuchung, Beschreibung, Berechnung und Optimierung von technischen Prozessen, z. B. in
 - Verbrennungsmotoren (**Bild 2**)
 - Wärmekraftwerken und Block-Heizkraftwerken (BHKW) (**Bild 3**)
 - Wärmepumpen und Klimaanlage
 - Heizungssystemen
 - Gasturbinen und Strahltriebwerken
 - Thermischen Energiespeichern
 - ...

Aufgrund der Bedeutung für das Leben der Menschen in der heutigen Zeit gehören die Kenntnisse der Grundlagen der Thermodynamik zur technischen Allgemeinbildung junger Menschen.

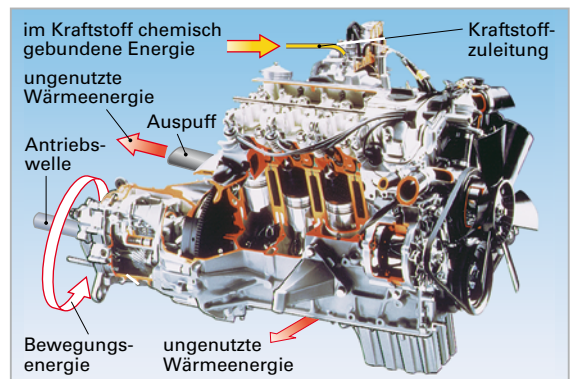


Bild 2: Energieumwandlungen im Otto-Motor

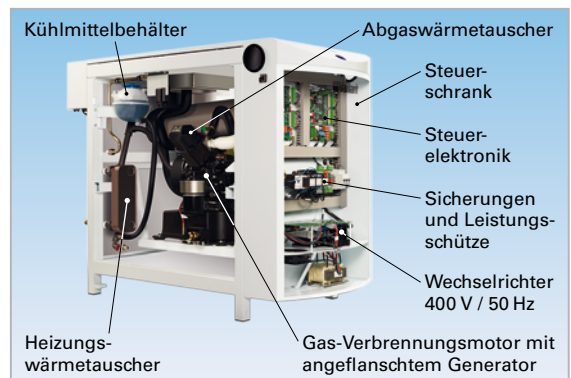


Bild 3: Mini-Block-Heizkraftwerk (BHKW)

Alles verstanden?

1. Nennen Sie mindestens drei moderne technische Systeme der Thermodynamik und beschreiben Sie, mit welchen Zielen sich Ingenieure und Physiker damit beschäftigen!
2. Erläutern Sie an einem selbstgewählten Beispiel, warum die Nutzung von Wärmeenergie nur zwischen Körpern mit unterschiedlichen Temperaturen möglich ist!
3. Erklären Sie, warum die Thermodynamik als Grundlagenfach der Ingenieurwissenschaften auch in der heutigen Zeit noch von großer Bedeutung ist!

Arbeitsauftrag:

1. Überprüfen Sie rechnerisch die im Text genannten Prozentzahlen zu den Verbesserungen der Dampfmaschine von *James Watt* und stellen Sie dazu Überlegungen an, welche wirtschaftliche Bedeutung seine Erfindungen in der damaligen Zeit hatten!
2. Berechnen Sie die prozentuale Verbesserung der Effizienz von Wärmekraftmaschinen, die zwischen der Dampfmaschine von James Watt und der modernen Gasturbine von Siemens liegen!

1.1.2 Thermodynamische Systeme

Technische Geräte und Anlagen sind in den letzten Jahrzehnten immer komplexer und damit unübersichtlicher geworden. Deshalb müssen bei der Planung, Produktentwicklung und Inbetriebnahme von technischen Objekten und Anlagen viele Spezialisten aus unterschiedlichen Fachgebieten zusammenarbeiten. Dies ist einer der Gründe, warum sich das systemtechnische Denken und Handeln in allen Bereichen der Technik und somit auch in der Thermodynamik immer stärker durchgesetzt hat. Technische Systeme werden bestimmt durch

- ihre Abgrenzung von der Umgebung, d. h. durch ihre Systemgrenzen
- ihre Eingangs- und Ausgangsgrößen, auch Operanden genannt
- die Funktion, die den Zusammenhang zwischen Eingangs- und Ausgangsgrößen beschreibt
- ihren Aufbau aus Subsystemen oder Teilsystemen
- ihre innere Struktur, d. h. durch das Anordnungs- und Beziehungsgefüge der Subsysteme

Aus dieser Beschreibung ergibt sich, dass das Modell eines technischen Systems deshalb wie folgt aussehen könnte (**Bild 1**):

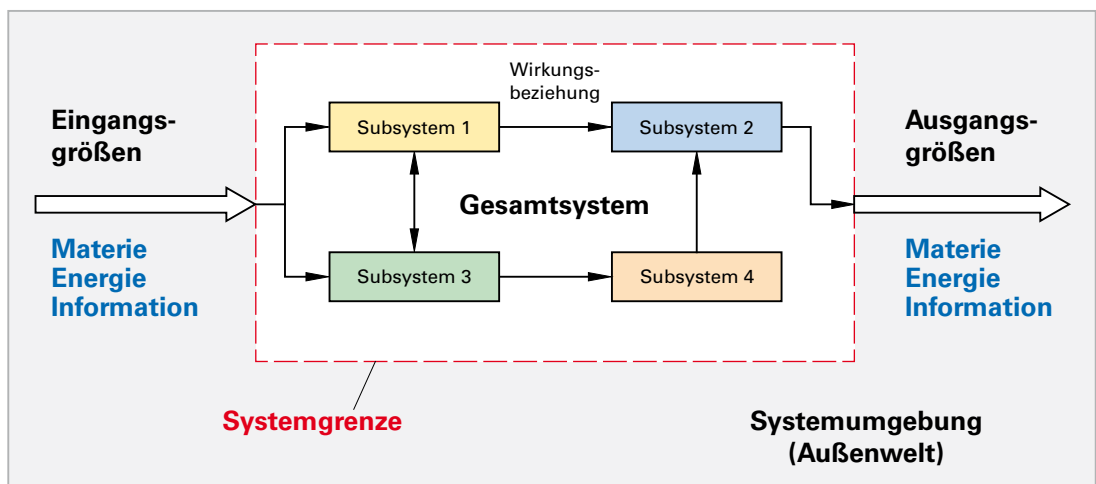


Bild 1: Modell eines technischen Systems

Die Systemgrenzen können tatsächlich materiell vorhandene Grenzen sein, z. B. die Zylinderwand eines Ottomotors, es können aber auch gedachte, sogenannte fiktive Hüllen sein, die sich während eines Prozesses verändern.

Um das Konzept der Systemanalyse und Systemdarstellung zu verdeutlichen, betrachten wir zwei typische thermodynamische Systeme, in denen Energieumwandlungsprozesse ablaufen.

Beispiel 1: Stark vereinfachtes Gesamtsystem Kohlekraftwerk, das in drei Subsysteme aufgegliedert wurde (**Bild 1**):

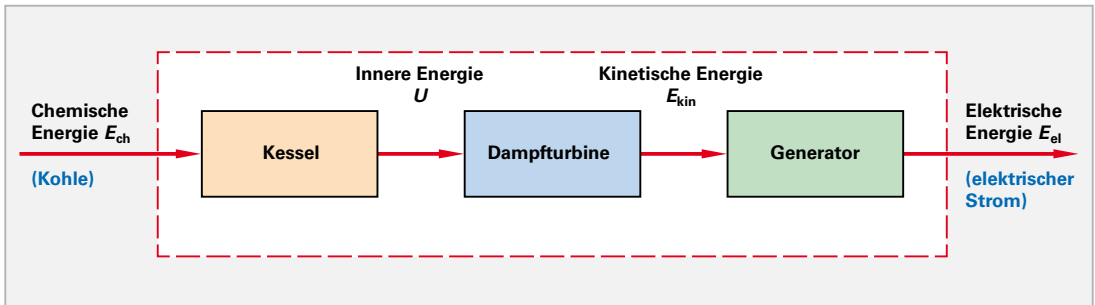


Bild 1: Thermodynamisches technisches Gesamtsystem Kohlekraftwerk

Das Gesamtsystem Kohlekraftwerk wandelt die Eingangsgröße chemische Energie E_{ch} , die in der Kohle enthalten ist, in mehreren Umwandlungsschritten in die Ausgangsgröße elektrische Energie E_{el} um.

- Im Kessel wird das Wasser verdampft und der Dampf überhitzt. Danach liegt die gesamte Energie als innere Energie U des überhitzten Wasserdampfes vor.
(Die Bedeutung der Energieform innere Energie U wird später noch genauer erklärt.)
- Der unter hohem Druck stehende und überhitzte Wasserdampf strömt durch die Dampfturbine und bringt sie auf eine hohe Drehzahl. Danach liegt die gesamte Energie als Rotationsenergie E_{kin} der Turbinenwelle vor.
- Mit der Turbinenwelle gekoppelt ist die Welle des Generators, sodass in diesem Subsystem die kinetische Energie in elektrische Energie E_{el} umgewandelt wird.
- Bei diesem mehrstufigen Gesamtwandlungsprozess treten in jedem Subsystem Verluste auf.

Beispiel 2: Das Subsystem Dampfturbine des Gesamtsystems Kohlekraftwerk kann auch als eigenes System dargestellt werden (**Bild 2**).

Das Sub- oder Teilsystem Dampfturbine des Kohlekraftwerks wandelt die im Wasserdampf enthaltene innere Energie U in die kinetische Energie der rotierenden Turbinenwelle um.

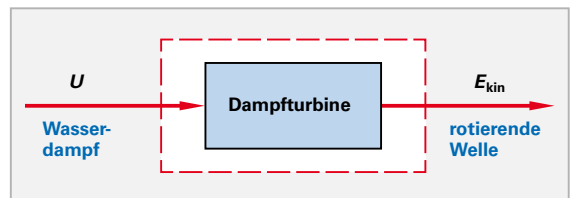


Bild 2: Subsystem Dampfturbine

Charakterisierung von technischen Systemen

Die Einteilung von thermodynamischen Systemen erfolgt üblicherweise danach, welche Stoff- und Energieströme durch sie hindurchfließen. Nach der Art ihres Umsatzes und damit nach der Beschaffenheit ihrer Systemgrenzen unterscheidet man vier verschiedene Typen:

- Typ 1: Offene Systeme
- Typ 2: Geschlossene Systeme
- Typ 3: Adiabate Systeme
- Typ 4: Abgeschlossene Systeme

Die Charakterisierung der vier Systemtypen wird an den folgenden Beispielen exemplarisch erläutert:

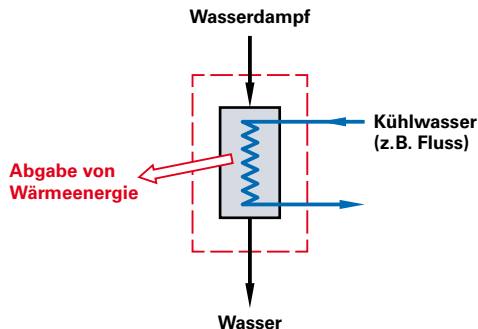
Typ 1: Offenes System

Charakterisierung:

Die Systemgrenze ist durchlässig für Masse und durchlässig für Energie.

Beispiel:

Kondensator (Verflüssiger) in einem Dampfkraftwerk



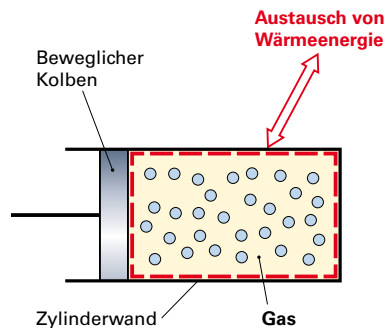
Typ 2: Geschlossenes System

Charakterisierung:

Systemgrenze ist undurchlässig für Masse, aber durchlässig für Energie.

Beispiel:

Gasmenge in einem gasdichten Zylinder mit beweglichem Kolben



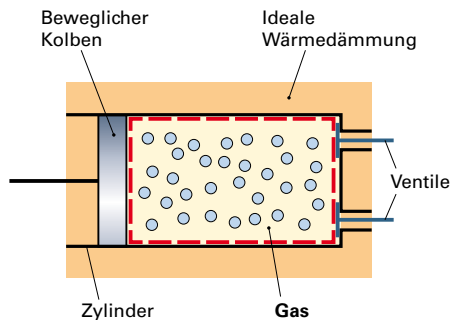
Typ 3: Adiabatisches System

Charakterisierung:

Systemgrenze undurchlässig für Wärme, aber durchlässig für Masse und durchlässig für mechanische Energie.

Beispiel:

Schnelle Kompression eines Gases im Zylinder eines Otto-Motors bei geschlossenen Ventilen.



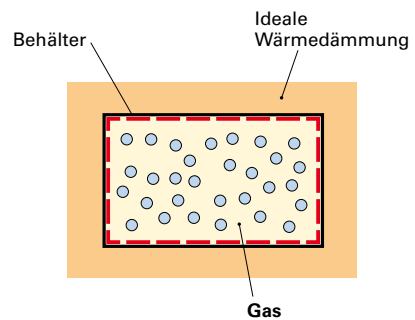
Typ 4: Abgeschlossenes System

Charakterisierung:

Systemgrenze undurchlässig für Energie und Masse, d. h. keinerlei Wechselwirkung mit der Umgebung.

Beispiel:

Behälter mit starren Wänden und einer sehr gut wärmegeprägten Ummantelung, z. B. eine ideale Thermoskanne.



Alles verstanden?

1. Erläutern Sie, aus welchem Grund man die Modellvorstellung von technischen Systemen eingeführt hat und welche Merkmale diese kennzeichnen!
2. Fassen Sie zusammen, nach welchen Kriterien die vier thermodynamischen Systemtypen eingeteilt werden!
3. Erläutern Sie an einem selbstgewählten Beispiel die Besonderheit eines adiabatischen Systems!
4. Geben Sie für jeden Systemtyp mindestens ein weiteres technisches Beispiel an! Warum sind technische Beispiele für Typ 4 besonders schwierig zu finden?