

Vorwort

Grundkenntnisse der Physik und Chemie sind eine unentbehrliche Voraussetzung für die berufliche Höherqualifizierung in allen technischen Bereichen. In den Weiterbildungslehrgängen steht dafür jedoch leider nur noch wenig Zeit zur Verfügung. Neue Techniken und Organisationsformen, die Fortschritte der Datenverarbeitung, Fragen des Umweltschutzes und viele andere Entwicklungen in der modernen Wirtschaft nehmen einen immer größer werdenden Teil der knapp bemessenen Stundenzahl in Anspruch. Daher verstärkt sich die Tendenz, die Vermittlung von Grundkenntnissen in den Lehrplänen zu kürzen oder ganz zu streichen. Sie sind deshalb aber keineswegs weniger wichtig; vielmehr wird in steigendem Maße vorausgesetzt, daß die Teilnehmer dieses Basiswissen zu einem großen Teil bereits besitzen oder es sich außerhalb des Lehrgangs aneignen. Teilweise wird der Nachweis eines ausreichenden Grundlagenwissens in einer Aufnahmeprüfung verlangt.

Dieses Buch bietet die Möglichkeit, fehlende Kenntnisse durch Selbststudium zu erwerben oder noch vorhandene wieder aufzufrischen. Ebenso kann es als Lehrbuch in den planmäßigen Lehrgängen sowie in den teilweise angebotenen Vorkursen dienen. Es stellt darüberhinaus ein nützliches Nachschlagewerk und die Grundlage für eine systematische Prüfungsvorbereitung dar.

Diesen Aufgaben ist die Konzeption des Buches auf besondere Weise angepaßt. Die dem ungeübten Leser oft schwer verständliche Formelsprache wird durch kurze Texte ergänzt, jeder Lernschritt gründlich in Wort und Bild erklärt und durch Beispiele aus der Praxis erläutert.

Die Ziffern am Rand der Seiten verweisen auf entsprechende Fragen und Aufgaben in dem separaten Übungs- und Prüfungsbuch, wo sie sowohl in programmierter als auch in offener, ungebundener Form leicht aufzufinden sind. Auf diese Weise wird eine laufende Selbstkontrolle des Lernerfolges, aber auch eine schnelle Zusammenstellung von Gruppentests und Klausuren sowie eine systematische Prüfungsvorbereitung ermöglicht. Das Lehrbuch und das Übungs- und Prüfungsbuch bilden zusammen ein Lernsystem, das sich in dieser Form in verschiedenen Bereichen der Weiterbildung bereits ausgezeichnet bewährt hat.

Gliederung und Inhalt dieses Buches richten sich im wesentlichen nach den Anforderungen der Weiterbildung zum **Industriemeister Metall**, die bundeseinheitliche Geltung haben und wegen ihrer Vorbildfunktion für viele andere Weiterbildungsregelungen als Gliederungsschema und Maßstab für die Stoffauswahl besonders geeignet sind.

Zur Beschreibung physikalischer und chemischer Gesetzmäßigkeiten sind die Ausdrucksformen und Methoden der Mathematik unentbehrlich, die in dem in gleichen Verlag erschienenen Lernprogramm »Mathematik und Statistik« in entsprechender Konzeption dargestellt werden.

Hinweise aus der Unterrichts- und Lernpraxis, die der Verbesserung des Buches dienlich sein können, werden gern entgegengenommen.

Aufbau und Inhalt des Lehrbuches

Gliederung

Die Gliederung des Buches richtet sich überwiegend nach den Anforderungen der Weiterbildung zum Industriemeister Metall.

Grundkenntnisse, die in den Bereich der schulischen Allgemeinbildung oder der beruflichen Erstausbildung fallen (Facharbeiter- bzw. Gesellenausbildung), werden für die Weiterbildung vorausgesetzt und sind daher in den betreffenden Lehrplänen oder Lernzielkatalogen in der Regel nicht oder nicht vollständig enthalten.

Wo ohne gesicherte Kenntnis dieser Grundlagen eine Vermittlung der Lernziele nicht möglich ist, wurden sie zusätzlich in das Buch aufgenommen.

Randziffern/Übungs- und Prüfungsbuch

Die Ziffern am äußeren Rand der Seiten verweisen auf Übungen, Fragen und Aufgaben, die in dem separaten Übungs- und Prüfungsbuch*¹⁾ zum betreffenden Lernstoff enthalten sind, und zwar sowohl in programmierter Form mit Auswahlantworten (Prüfungsteil A) als auch in offener, ungebundener Form (Prüfungsteil B).

Das Übungs- und Prüfungsbuch dient in erster Linie der Selbstkontrolle und sollte daher lernstoffbegleitend angewandt werden. Ebenso ermöglicht es eine systematische Prüfungsvorbereitung.

Es enthält einen lose beigelegten Lösungsschlüssel sowie eine Kopiervorlage für ein Formular zur Durchführung von Übungsarbeiten. Weitere Hinweise zu seinen vielfältigen Anwendungsmöglichkeiten befinden sich im Übungs- und Prüfungsbuch selbst.

Beide Bücher bilden zusammen bei bestimmungsgemäßer Verwendung ein höchst effektives Lernsystem, das sich in gleicher Form in anderen Bereichen der Weiterbildung bereits vielfach bewährt hat.

*¹⁾List / Petersen: Physik und Chemie – Übungs- und Prüfungsbuch
Feldhaus Verlag, Hamburg, ISBN 978-3-88264-663-4.

1.12 Leistung und Wirkungsgrad

1.12.1 Mechanische Leistung

Eine Arbeit kann mit dem gleichen Ergebnis in einer kürzeren oder in einer längeren Zeit vollbracht werden. Wenn die Arbeit in einer kurzen Zeit erledigt wird, ist die damit erbrachte **Leistung** größer, als wenn für sie eine längere Zeit benötigt wird. Dementsprechend wird definiert:

Der Quotient aus Arbeit W und Zeit t , in der die Arbeit ausgeführt wird, heißt Leistung P :

$$P = \frac{W}{t}$$

Wegen der Gleichwertigkeit von Arbeit und Energie können wir auch formulieren:

Die Leistung ist ein Maß für die in der Zeiteinheit gewonnene oder verbrauchte Energie.

Für die Einheit der Leistung folgt:

* 40

$$[P] = \frac{[W]}{[t]} = \frac{1 \text{ Nm}}{1 \text{ s}} = 1 \frac{\text{Nm}}{\text{s}} = 1 \frac{\text{J}}{\text{s}} = 1 \text{ W} *$$

Für 1 J/s ist die kürzere Einheit 1 Watt (1 W) eingeführt.

Aus der Gleichsetzung

$$1 \frac{\text{J}}{\text{s}} = 1 \text{ W}$$

folgt auch

$$1 \text{ J} = 1 \text{ Ws}$$

Damit gilt für die Einheit der Arbeit bzw. Energie:

$$[W] = 1 \text{ Nm} = 1 \text{ J} = 1 \text{ Ws}$$

Oft verwendet wird die Energieeinheit 1 Kilowattstunde (1 kWh):

$$1 \text{ kWh} = 10^3 \text{ W} \cdot 3600 \text{ s} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ Ws} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ J}$$

Ws und W werden oft verwechselt. Mit der Stromrechnung bezahlt man für eine gelieferte elektrische Energie. Sie ist in kWh angegeben. Eine elektrische Leitung ist für eine maximale elektrische Leistung, z.B. für 10 kW, ausgelegt.

Ein Mensch kann kurzfristig eine Leistung von mehr als 1 kW vollbringen. Wenn er z.B. bei einem Körpergewicht (Gewichtskraft) von $80 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 = 784,8 \text{ N}$ in 3 Sekunden eine Treppe von 4 Meter Höhe hinaufläuft, beträgt die erbrachte Leistung

$$P = \frac{W}{t} = F \cdot \frac{s}{t} = \frac{784,8 \text{ N} \cdot 4 \text{ m}}{3 \text{ s}} = 1046,4 \text{ W}$$

Eine noch vielfach verwendete (gesetzlich nicht mehr gültige) Leistungseinheit ist die Pferdestärke (Ps). Für die Umrechnung in die gesetzliche SI-Einheit gilt:

$$1 \text{ Ps} = 0,73549875 \text{ kW} \approx 0,735 \text{ kW}$$

und umgekehrt

$$1 \text{ kW} = 1,35962162 \text{ Ps} \approx 1,36 \text{ Ps}$$

* 41

Wenn z.B. von einem PKW-Motor gesagt wird, er leiste bei 4000 U/min 90 Ps, dann entspricht dies einer Leistung von $90 \cdot 0,735 \text{ kW} = 66,2 \text{ kW}$.

Die Leistung 1 Ps kann leicht anschaulich beschrieben werden: Eine Hebe­maschine leistet 1 Ps, wenn sie einen Körper mit der Masse 75 kg in einer Sekunde um einen Meter anhebt. Die Gewichtskraft G dieses Körpers beträgt $75 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \approx 735 \text{ N}$. Die erbrachte Hebeleistung (Hubleistung) ist dann

$$P = G \cdot v = 735 \text{ N} \cdot 1 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 735 \text{ N} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}} = 735 \text{ W}$$

Für mechanische Leistungen ist der folgende physikalische Zusammenhang von Bedeutung. Bewegt sich ein Objekt längs einer Strecke s unter dem Einfluß einer Kraft F , die zur Überwindung eines Widerstandes (z.B. einer Reibung) erforderlich ist, mit konstanter Geschwindigkeit v , dann gilt für die aufgebrauchte Leistung

$$P = \frac{W}{t} = \frac{F \cdot s}{t} = F \cdot v = F v \cos \alpha$$

(α ist wieder der Winkel, den die Vektoren F und v bilden)

Bei konstanter Kraft wächst die Leistung proportional mit der Geschwindigkeit.

Beispiel :

Ein Radfahrer vermittelt seinem Fahrrad eine mittlere Antriebskraft in Fahr­richtung $F_{sm} = 20 \text{ N}$. Seine mittlere Geschwindigkeit beträgt dadurch $v_m = 4,2 \text{ m/s}$. Die von ihm aufgebrauchte Leistung ist

$$P = F_{sm} \cdot v_m = 20 \text{ N} \cdot 4,2 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 84 \text{ W}$$

1.12.2 Wirkungsgrad

Kein technisches System kann die ihm zugeführte Energie / Arbeit vollständig in **Nutzarbeit** umsetzen. Bei mechanischen Vorrichtungen und Maschinen geht ein Teil der aufgewendeten **Antriebsenergie / -arbeit** vor allem durch Reibung zwischen ruhenden und bewegten oder zwischen zwei bewegten Bauteilen verloren. Die Reibarbeit wird dabei in Wärmeenergie umgewandelt. Zur Beurteilung der Verluste dient der Wirkungsgrad η :

$$\eta = \frac{\text{Nutzarbeit } W_n}{\text{aufgewendete Arbeit/Energie } W_a}$$

Da Reibverluste unvermeidlich sind, gilt immer:

$$\text{Nutzarbeit } W_n < \text{aufgewendete Arbeit } W_a$$

Dies ist die »goldene Regel der Mechanik«.

Die Bestimmung des Wirkungsgrades η einer Maschine geschieht im Prinzip so, daß man die von ihr in einer Sekunde geleistete Arbeit, das ist ihre **Nutzleistung** P_2 , durch die ihr je Sekunde zugeführte Energie, das ist die **Primärleistung** P_1 , dividiert:

$$\eta = \frac{\text{Nutzleistung } P_2}{\text{Primärleistung } P_1} \quad *$$

* 42

Von einfachsten Systemen (Hebel, Rolle) abgesehen, bestehen mechanische Maschinen aus mehreren miteinander verbundenen statischen und beweglichen Maschinenelementen, z.B. Lager, Räderwerke (Zahn- und Riementriebe), Kupplungen, Bremsen usw. Der Wirkungsgrad der Maschine ist das Produkt der Wirkungsgrade der Bauteile:

$$\eta = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \dots \cdot \eta_n$$

Bei einem einfachen Flaschenzug mit einer festen und einer losen Rolle (Abbildung 68) besteht Reibung an den Achsen und durch Seilsteifigkeit zwischen dem Seil und den Rollen. Bei Drahtseilen ist der Wirkungsgrad einer Rolle $\eta \approx 0,95$. Der Wirkungsgrad des Flaschenzugs ist dann $\eta \approx 0,95^2 = 0,90$. *

* 43
* 44

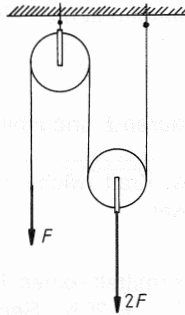


Abbildung 68: Flaschenzug

1.12.3 Arbeit, Leistung, Wirkungsgrad bei Drehbewegung

Die Gesetze der Rotation (Drehbewegung) lassen sich aus den Gesetzen der Translation (fortschreitende, geradlinige Bewegung) durch Austausch der analogen physikalischen Größen gewinnen (vgl. Abschnitt 1.8.1). *

* 45
* 46

Die Übersicht zeigt die Zuordnungen sich entsprechender Größen mit ihren Einheiten.

translatorische Größen	rotatorische Größen
Weg s mit $[s] = 1 \text{ m}$	Winkel φ mit $[\varphi] = 1 \text{ rad}$
Geschwindigkeit v mit $[v] = 1 \text{ m/s}$	Winkelgeschwindigkeit ω mit $[\omega] = 1 \text{ rad/s} = 1 \text{ s}^{-1}$
Beschleunigung a mit $[a] = 1 \text{ m/s}^2$	Winkelbeschleunigung α mit $[\alpha] = 1 \text{ /s}^2$
Masse m mit $[m] = 1 \text{ kg}$	Massenträgheitsmoment J mit $[J] = 1 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$
Kraft $F = m \cdot a$ mit $[F] = 1 \text{ N}$	Drehmoment $M = J \cdot \alpha$ mit $[M] = 1 \text{ Nm}$
Wir erweitern die Übersicht für die Größen Arbeit und Leistung:	
Arbeit $W = F \cdot s$ mit $[W] = 1 \text{ Nm} = 1 \text{ J}$	Dreharbeit $W_{\text{rot}} = M \cdot \varphi$ mit $[W_{\text{rot}}] = 1 \text{ Nm} = 1 \text{ J}$
Leistung $P = W/t = F \cdot v$ mit $[P] = 1 \text{ W}$	Drehleistung $P_{\text{rot}} = W_{\text{rot}}/t = M$ mit $[P_{\text{rot}}] = 1 \text{ Nm/s} = 1 \text{ W}$

Die Aufgabe eines Getriebes ist es, das Drehmoment von der Antriebswelle zur Abtriebswelle zu verändern. Wir betrachten den Riemetrieb (Abbildung 69) mit der Antriebswelle in AN und der Abtriebswelle in AB (vgl. 1.5.2). Der Wirkungsgrad ist

$$\eta = \frac{P_{\text{ab}}}{P_{\text{an}}} = \frac{P_2}{P_1} = \frac{M_2 \cdot \omega_2}{M_1 \cdot \omega_1}$$

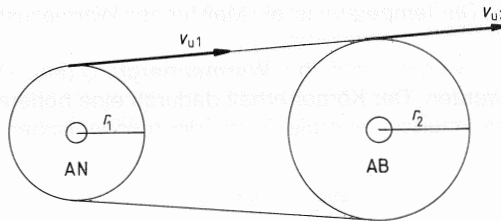


Abbildung 69: Riemetrieb

Da für das Übersetzungsverhältnis gilt:

$$\frac{\omega_2}{\omega_1} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{1}{i}$$

folgt

$$\eta = \frac{M_2}{M_1} \cdot \frac{1}{i}$$

Mit M_1 = Antriebsmoment und M_2 = Abtriebsmoment. Berechnet man die Übersetzung i aus den Radien der Scheiben und bestimmt man die Momente durch Kraftmessungen, kann man den Wirkungsgrad berechnen. *

* 47
* 48
* 49

Wir lesen noch ab: Bei Übersetzung zu größerer Winkelgeschwindigkeit ($i < 1$) wird das Moment verkleinert und umgekehrt:

$$M_2 = \eta \cdot M_1 \cdot i$$