Lehrmaterial für das Fachschulfernstudium

PHYSIK

Aufgabensammlung

Institut für Fachschulwesen
der Deutschen Demokratischen Republik
Karl-Marx-Stadt

Physik

Aufgabensammlung

Herausgeber:
Institut für Fachschulwesen der Deutschen Demokratischen Republik
Karl-Marx-Stadt
1968

Verfaßt von Dipl.-Phys. Günther Kießling,
Ingenieurschule für Energiewirtschaft „Dr. Robert Mayer", Zittau;

Dipl.-Phys. Wolfgang Lauckner.
Ingenieurschule der Deutschen Post „Rosa Luxemburg", Leipzig;

Dipl.-Phys. Dietmar Mende.
Ingenieurschule für Walzwerk- und Hüttentechnik, Riesa;

Dipl.-Gwl. Hellmut Spretke.
Institut für Fachschulwesen, Karl-Marx-Stadt;

Mitgliedern der ehem. Beratenden Kommission für das Fachschulfernstudium, Fach Physik;

Lektoriert von Dipl.-Gwl. Günter Schulze.
Ingenieurschule für Maschinenbau und Elektrotechnik, Berlin;

Bearbeitet von Dipl.-Phys. Dietmar Mende.
Ingenieurschule für Walzwerk- und Hüttentechnik, Riesa

1. Einführung

Diese Aufgabensammlung wird Ihnen zusammen mit dem ersten Lehrbrief der Physik ausgehändigt. Sie finden hier Aufgaben aus den verschiedenen Gebieten der Physik. Während die Übungen in den Lehrbriefen sich vorwiegend auf die jeweiligen Kapitel beziehen, sind hier die Aufgaben zum Teil so gewählt, daß sie sich über den Stoff mehrerer Kapitel erstrecken. Andererseits haben wir aber auch einige Aufgaben mit höherem Schwierigkeitsgrad aufgenommen.

Im Lösungsteil wurde mit Absicht jeder Hinweis auf den Lösungsweg fortgelassen und nur die allgemeine und spezielle Lösung angegeben. Das fordert von Ihnen selbständige Arbeit etwa unter den Bedingungen, wie es von Ihnen in den Klausuren und Prüfungen verlangt wird.

Im einführenden Kapitel werden Sie mit dem „Handwerkszeug" vertraut gemacht, das Sie zur Lösung physikalischer Aufgaben brauchen. Arbeiten Sie dieses Kapitel besonders sorgfältig durch!

2. Physikalische Größen, Einheiten und Gleichungen

2.1. Die physikalische Größe

2.1.1. Was ist eine physikalische Größe?

Wie jede Wissenschaft bedient sich auch die Physik zur Darstellung ihres Wissenschaftsgebietes einer besonderen Fachsprache. Sie beschreibt Zustände und Vorgänge in der Natur mit Hilfe *physikalischer Größen*. Betrachten wir z. B. folgende Aussage: Um einen Körper von 150 kg Masse (etwa einen beladenen Handwagen) mit einer Geschwindigkeit von 1 m/s zu bewegen, ist eine Kraft von 25 kp notwendig. In dieser Aussage werden 3 Größen angegeben:

$$m_1 = 150\ \text{kg}$$
$$v_1 = 1\ \text{m/s}$$
$$F_1 = 25\ \text{kp}$$

In einem anderen Fall (nach dem Abladen) beträgt die Masse nur noch 25 kg, die Geschwindigkeit 2 m/s und die Kraft 5 kp. Auch hier wieder 3 Größen:

$$m_2 = 25\ \text{kg}$$
$$v_2 = 2\ \text{m/s}$$
$$F_2 = 5\ \text{kp}$$

Was ist also eine Größe? Eine Größe ist immer das Ergebnis einer Messung und wird als Produkt aus Maßzahl und Einheit angegeben:

Größe = Maßzahl mal Einheit

Beispiel: $m_1 = 150 \quad \text{kg}$

Allgemein läßt sich dieser Zusammenhang für eine beliebige physikalische Größe G folgendermaßen ausdrücken:

$$G = \{G\} \cdot [G]$$

Dabei bedeuten:

G die physikalische Größe,
$\{G\}$ die Maßzahl der physikalischen Größe,
$[G]$ die Einheit der physikalischen Größe

Im erwähnten Beispiel wäre also

$$G = m_1 \quad \{G\} = 150 \qquad [G] = \text{kg}$$

Aus der Definition der physikalischen Größe geht auch hervor, was wir unter Messen zu verstehen haben:

Messen heißt feststellen, wie oft eine bestimmte Größe gleicher Art, die wir als Einheit bezeichnen, in der betreffenden Größe enthalten ist. Das Ergebnis der Messung ist die Maßzahl.

Doch genügt die Angabe der Maßzahl allein nicht; eine solche Angabe wäre vieldeutig, weil für jede physikalische Größe verschiedene Einheiten in Gebrauch sind (für die Geschwindigkeit z. B. m/s und km/h). Es muß deshalb immer auf die Produktform physikalischer Größen geachtet werden.

Nie darf bei der Angabe einer physikalischen Größe die Einheit fehlen.

2.1.2. Größe und Größenart

In den beiden Beispielen des vorigen Abschnitts haben wir es mit jeweils zwei gleichartigen Größen zu tun, die wir durch die Indizes 1 und 2 unterschieden haben (m_1 und m_2, v_1 und v_2, F_1 und F_2). Bei gleichartigen Größen sprechen wir von der gleichen **Größenart**. Größenarten sind also in unseren Beispielen die *Masse*, die *Geschwindigkeit*, die *Kraft*.

Allgemein läßt sich definieren:

Ein meßbarer Begriff der Physik heißt physikalische Größenart.

Weitere Beispiele für physikalische Größenarten sind Länge (l), Zeit (t), Temperatur (T), Energie (W), elektrische Stromstäke (I) und elektrische Spannung (U). Die in den Klammern angegebenen Buchstaben sind die nach internationaler Übereinkunft festgelegten *Symbole* der betreffenden Größenarten und Größen, wobei Größen, wie in unseren Beispielen gezeigt, durch Indizes gekennzeichnet werden. (Falls keine Irrtümer möglich sind, können die Indizes aber auch weggelassen werden.)

Jede physikalische Größe enthält somit eine qualitative und eine quantitative Aussage: Die Qualität bezieht sich auf die Größenart. Sie kennzeichnet eine Eigenschaft eines Körpers oder eines Systems von Körpern und kann nur in Worten beschrieben werden. Zum Beispiel drückt die Größenart Beschleunigung das „Schnellerwerden" eines Bewegungsvorgangs aus. Da Größen immer Meßergebnisse beinhalten, muß für jede Größenart angegeben werden, wie die Größen dieser Größenart zu messen sind.

Die Definition einer physikalischen Größenart besteht deshalb aus einer Meßvorschrift.

2.1.3. Das System der Größenarten

Bei der Definition der Größenarten muß man zwischen **Grundgrößenarten** und **abgeleiteten Größenarten** unterscheiden. Für die Grundgrößenarten muß die Meßvorschrift durch eine Worterklärung angegeben werden. Das ist meist umständlich und kann Anlaß zu Mißverständnissen sein. Die abgeleiteten Größenarten werden mathematisch durch Angabe einer Gleichung auf die Grundgrößenarten zurückgeführt. Eine solche Definition ist kurz, übersichtlich und eindeutig. Man ist deshalb bestrebt, mit möglichst wenig Grundgrößenarten auszukommen.

Über die Wahl der Grundgrößenarten gibt es keine verbindlichen Festlegungen. Es ist aber zweckmäßig, die Wahl der Grundgrößenarten an die im gesetzlichen Einheitensystem (Abschnitt 2.2.) festgelegten Grundeinheiten anzupassen. So wird in der von Ihnen zu studierenden Lehrbriefreihe verfahren.

Demgemäß wird das System der Größenarten auf 6 Grundgrößenarten aufgebaut. Diese sind:

1. Länge	l
2. Zeit	t
3. Masse	m
4. elektrische Stromstärke	I
5. Kelvin-Temperatur	T
6. Lichtstärke	I

Die abgeleiteten Größenarten werden durch Multiplikation und Division der Grundgrößenarten gebildet. Sie lassen sich als *Potenzprodukte* der Grundgrößenarten angeben.

Beispiele: $v = \frac{l}{t} = l\,t^{-1}$

$$\varrho = \frac{m}{V} = \frac{m}{l^3} = m\,l^{-3}$$

$$p = \frac{F}{A} = \frac{m\,l}{t^2\,l^2} = \frac{m}{t^2\,l} = m\,t^{-2}\,l^{-1}$$

2.2. Das Internationale Einheitensystem (SI)

Die Einheiten aller physikalischen Größen werden nicht willkürlich definiert, sondern in Einheitensystemen aufeinander abgestimmt. Wir behandeln hier nur das „Système International d'Unités" (SI), das durch Verordnung vom 14. 8. 1958 in der DDR eingeführt wurde. Die Verordnung vom 31. 5. 1967 brachte noch einige Ergänzungen, die im folgenden mit berücksichtigt worden sind.

2.2.1. Die Grundeinheiten

Das SI hat einen streng logischen Aufbau. Wir unterscheiden **Grundeinheiten** und **abgeleitete Einheiten**. Die Grundeinheiten werden unabhängig voneinander definiert, während alle anderen Einheiten von diesen Grundeinheiten mathematisch abgeleitet werden.

Im SI werden die folgenden 6 Grundeinheiten benutzt, deren Definitionen wir in den einzelnen Lehrbriefen kennenlernen:

Mechanik:	Einheit der Länge	Meter	(m)
	Einheit der Zeit	Sekunde	(s)
	Einheit der Masse	Kilogramm	(kg)
Elektrik:	Einheit der Stromstärke	Ampere	(A)
Thermodynamik:	Einheit der Temperatur	Grad Kelvin	(°K)
Fotometrie:	Einheit der Lichtstärke	Candela	(cd)

2.2.2. Abgeleitete Einheiten

Die meisten abgeleiteten Einheiten werden, analog zur Bildung der abgeleiteten Größenarten, durch Bildung von Potenzprodukten aus den Grundeinheiten gewonnen. Die so aus den Grundeinheiten entstehenden abgeleiteten Einheiten nennt man *kohärente Einheiten*.

> **Kohärente Einheiten sind Einheiten, die sich direkt (d. h. ohne Umrechnungsfaktoren) auf die Grundeinheiten zurückführen lassen.**

Beispiel: Die Geschwindigkeit bei einer gleichförmigen Bewegung ist definiert als

$$v = \frac{s}{t}$$

Die kohärente Geschwindigkeitseinheit ergibt sich aus

$$[v] = \frac{[s]}{[t]},$$

wenn $[s] = \text{m}$ und $[t] = \text{s}$ eingesetzt werden:

$$[v] = \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Da aber auch andere Einheiten, für den Weg z. B. Kilometer (km) oder Zentimeter (cm), für die Zeit z. B. Stunde (h) oder Minute (min) verwendet werden können, ergeben sich weitere Geschwindigkeitseinheiten, z. B. km/h, m/min, cm/s. Werden diese auf die Grundeinheiten zurückgeführt, so ergeben sich Umrechnungsfaktoren:

$$1\ \frac{\text{km}}{\text{h}} = \frac{1}{3{,}6}\ \frac{\text{m}}{\text{s}} = 0{,}2\bar{7}\ \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$1\ \frac{\text{m}}{\text{min}} = \frac{1}{60}\ \frac{\text{m}}{\text{s}} = 0{,}01\bar{6}\ \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$1\ \frac{\text{cm}}{\text{s}} = \frac{1}{100}\ \frac{\text{m}}{\text{s}} = 0{,}01\ \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Solche Einheiten bezeichnet man als *inkohärente Einheiten.*

Inkohärente Einheiten sind Einheiten, die sich nur mit Umrechnungsfaktoren auf die Grundeinheiten zurückführen lassen.

Während für jede Größenart nur *eine* kohärente Einheit existiert, gibt es viele inkohärente Einheiten, wie am Beispiel der Geschwindigkeit gezeigt wurde. Inkohärente Einheiten sind insbesondere auch die dezimalen Vielfachen und Teile der Einheiten, auch der Grundeinheiten, die durch die folgenden Vorsätze bezeichnet werden:

Vorsatz	Kurzzeichen	Bedeutung
Tera	T	10^{12} = 1 000 000 000 000 Einheiten
Giga	G	10^{9} = 1 000 000 000 Einheiten
Mega	M	10^{6} = 1 000 000 Einheiten
Kilo	k	10^{3} = 1 000 Einheiten
Hekto	h	10^{2} = 100 Einheiten
Deka	da	10^{1} = 10 Einheiten
Dezi	d	10^{-1} = 0,1 Einheiten
Zenti	c	10^{-2} = 0,01 Einheiten
Milli	m	10^{-3} = 0,001 Einheiten
Mikro	μ	10^{-6} = 0,000 001 Einheiten
Nano	n	10^{-9} = 0,000 000 001 Einheiten
Piko	p	10^{-12} = 0,000 000 000 001 Einheiten
Femto	f	10^{-15} = 0,000 000 000 000 001 Einheiten
Atto	a	10^{-18} = 0,000 000 000 000 000 001 Einheiten

Betrachtet man den konsequenten und logischen Aufbau der kohärenten Einheiten, so erscheint es zunächst unverständlich, daß außer den mit diesen Vorsätzen gebildeten Einheiten noch andere inkohärente Einheiten verwendet werden, wie z. B.

die Krafteinheit	Kilopond (kp),
die Energieeinheit	Kalorie (cal),
die Druckeinheit	technische Atmosphäre (at).

Diese Einheiten sind auf verschiedene Weise entstanden. Sie entstammen Einheitensystemen, die heute gesetzlich nicht mehr zugelassen sind. Teilweise waren sie auch Grundeinheiten dieser Systeme. Weil sie sehr verbreitet waren, sind sie auch jetzt gesetzlich zugelassen, obwohl sie zum SI nicht kohärent sind.

2.2.3. Wichtige kohärente Einheiten des SI

Im folgenden sind die kohärenten Einheiten der wichtigsten Größen zusammengestellt, die meist die Namen bedeutender Physiker tragen. Diese Namen müssen wie Vokabeln gelernt werden.

Größe	Einheit	Kurzzeichen	Definition	Merkform
Geschwindigkeit			$m\,s^{-1}$	
Beschleunigung			$m\,s^{-2}$	
Kraft	Newton	N	$m\,s^{-2}\,kg$	
Arbeit	Jóule	J	$m^2\,s^{-2}\,kg$	Nm
Leistung	Watt	W	$m^2\,s^{-3}\,kg$	Nm/s
el. Spannung	Volt	V	$m^2\,s^{-3}\,kg\,A^{-1}$	W/A
el. Widerstand	Ohm	Ω	$m^2\,s^{-3}\,kg\,A^{-2}$	V/A
Ladung	Coulomb	C	$s\,A$	As
Kapazität	Farad	F	$m^{-2}\,s^4\,kg^{-1}\,A^2$	C/V
magn. Fluß	Weber	Wb	$m^2\,s^{-2}\,kg\,A^{-1}$	Vs
magn. Induktion	Tesla	T	$s^{-2}\,kg\,A^{-1}$	Wb/m^2

2.2.4. Wichtige inkohärente Einheiten des SI

Am häufigsten werden die beiden folgenden Umrechnungen inkohärenter Einheiten benötigt:

Kilopond: 1 kp = 9,80665 N ≈ 9,81 N (≈ 10 N) 1 N ≈ 0,102 kp
Kalorie: 1 cal = 4,1868 J ≈ 4,19 J 1 J ≈ 0,239 cal

Diese Beziehungen müssen Sie sich sicher einprägen; Sie können durch Erweitern leicht die folgenden Beziehungen gewinnen:

1 kpm = 9,80665 Nm (= 9,80665 J)
1 kpm/s = 9,80665 Nm/s (= 9,80665 W)

2.3. Schreibweise physikalischer Gleichungen

2.3.1. Die Arten physikalischer Gleichungen

Die Darstellung physikalischer Gesetzmäßigkeiten in mathematischer Symbolschrift muß durch Regeln und Vorschriften in demselben Sinne festgelegt werden, wie orthographische und grammatische Gesetze die Schriftsprache bestimmen. Unter gleichen Symbolen muß jeder dieselben Begriffe verstehen. Leider sind wir in der Schreibweise physikalischer Gleichungen in ähnlicher Weise wie bei den Einheiten „historisch vorbelastet", weil verschiedene Darstellungsweisen eingeführt worden sind und auch jetzt noch nebeneinander gebraucht werden. Wegen dieser unbefriedigenden Tatsache sind viele Rechenfehler und Unklarheiten entstanden. Außerdem stellt es für den Studierenden eine unnötige Belastung dar, wenn er mehrere Gleichungsschreibweisen unterscheiden lernen muß.

Wir betrachten im folgenden

die **allgemeine Größengleichung,**

die **zugeschnittene Größengleichung,**

die **Zahlenwertgleichung.**

2.3.2. Die allgemeine Größengleichung

In jeder physikalischen Größengleichung bedeutet ein Symbol eine physikalische Größe, also ein Produkt aus Maßzahl und Einheit.

Werden in eine allgemeine Größengleichung die speziellen Größen eingesetzt, so ist für jedes Symbol dieses Produkt einzusetzen. Man ist dabei an keine bestimmte Einheit gebunden. Das bedeutet:

Die allgemeine Größengleichung ist unabhängig von der Wahl der Einheiten. Man darf jede gesetzliche Einheit verwenden.

Selbstverständlich müssen in den Rechnungen die Einheiten mitgeführt werden: auch die Einheit des Ergebnisses folgt aus der Rechnung. Dabei gelten für die Einheiten die gleichen Rechengesetze wie für Zahlen. Näheres finden Sie in [2.4.].

Die Vorteile, die die Größengleichung bietet, haben dazu geführt, daß in der modernen physikalischen Literatur ausschließlich Größengleichungen verwendet werden. Auch in unseren Physik-Lehrbriefen sind alle Gleichungen Größengleichungen.

2.3.3. Die zugeschnittene Größengleichung

Bei der Auswertung physikalischer und technischer Versuche kommt es häufig vor, daß eine bestimmte Größenart zu wiederholten Malen nach ein und derselben Gleichung berechnet werden muß. Die für eine be-

stimmte Größenart in die Gleichung einzusetzenden Meßergebnisse unterscheiden sich dabei nur in den Zahlenwerten. Die verwendeten Einheiten sind oft inkohärent. In diesen Fällen ist es zweckmäßig, eine modifizierte Form der allgemeinen Größengleichung, die zugeschnittene Größengleichung, zu verwenden. „Zugeschnitten" bedeutet hier „auf die Verwendung bestimmter Einheiten vorbereitet". Eine zugeschnittene Größengleichung ist z. B. die folgende:

$$\frac{a/_{\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}}}{} = \frac{1}{3{,}6} \cdot \frac{v/_{\frac{\mathrm{km}}{\mathrm{h}}}}{t/_{\mathrm{s}}}$$

Das Zuschneiden einer allgemeinen Größengleichung auf spezielle Einheiten behandeln wir in [2.4.3.]. An dieser Stelle ist es nur wichtig, daß Sie sich einprägen:

Auch in der zugeschnittenen Größengleichung bedeuten die Symbole physikalische Größen (Produkte aus Maßzahl und Einheit).

Folglich stellen die Quotienten aus Größen und Einheiten $\left(\text{z. B. } v/_{\frac{\mathrm{km}}{\mathrm{h}}}\right)$ die Maßzahlen dar. Setzt man in die angegebene Gleichung $v = 20$ km/h und $t = 5$ s ein, so folgt

$$a/_{\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}} = \frac{1}{3{,}6} \cdot \frac{20\ \frac{\mathrm{km/h}}{\mathrm{km/h}}}{5\ \frac{\mathrm{s}}{\mathrm{s}}}$$

$$a/_{\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}} = \frac{4}{3{,}6} = 1{,}1$$

$$a = 1{,}1\ \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}$$

2.3.4. Die Zahlenwertgleichung

In der Zahlenwertgleichung versteht man unter den Symbolen nicht physikalische Größen, sondern nur deren Zahlenwerte. Damit unterscheidet sich die Zahlenwertgleichung grundsätzlich von der Größengleichung.

Beispiel: Faßt man

$$a = \frac{1}{3{,}6}\,\frac{v}{t} \qquad (*)$$

als Zahlenwertgleichung auf und setzt hier die Werte des oben angeführten Beispiels ein, so folgt

$$a = \frac{1}{3{,}6} \cdot \frac{20}{5}$$

$$a = 1{,}1$$

Die Gleichung (*) und das errechnete Ergebnis sind aber in dieser Form unbrauchbar. Sie enthalten keine Angaben über die Einheiten, in denen die Geschwindigkeit und die Zeit in die Gleichung eingesetzt werden müssen und in denen sich die Beschleunigung ergibt. Mit einer Zahlenwertgleichung kann man nur arbeiten, wenn die Einheiten in einer sogenannten *Legende* ausdrücklich angegeben werden. Im Beispiel muß es also heißen:

$$a = \frac{1}{3{,}6} \frac{v}{t} \qquad \begin{array}{l} v \text{ in km/h} \\ t \text{ in s} \\ a \text{ in m/s}^2 \end{array}$$

Es ist offensichtlich, daß die Benutzung von Zahlenwertgleichungen leicht zu Mißverständnissen und Fehlern führt. Deshalb werden Zahlenwertgleichungen in der Physik **nicht** benutzt.

2.4. Das Rechnen mit Größengleichungen

2.4.1. Die Handhabung der allgemeinen Größengleichung

In allgemeinen Größengleichungen treten nur die Symbole der physikalischen Größen auf. Alle arithmetischen und algebraischen Rechenregeln gelten auch für Größengleichungen, wobei zwei Voraussetzungen erfüllt sein müssen:

1. Es dürfen nur Größen der gleichen Art additiv verknüpft werden. Man kann beispielsweise nie eine Kraft und ein Drehmoment addieren. Daraus folgt auch, daß die beiden Seiten einer Gleichung von derselben Größenart sein müssen.
2. Die Rechenoperationen sin, tan, log, exp usw. sind nur für reine Zahlen und nicht für physikalische Größen definiert. Deshalb treten in den Argumenten solcher Funktionen nur solche Kombinationen physikalischer Größenordnungen auf, die reine Zahlen ergeben, z. B.

$$\sin \omega t, \log \frac{p}{p_0}, e^{-\frac{t}{\tau}}.$$

Es empfiehlt sich, bei jeder Größengleichung zu prüfen, ob die beiden genannten Voraussetzungen erfüllt sind. Man setzt dazu am einfachsten die kohärenten Einheiten für die Größen ein. Hier zeigt sich auch ein

weiterer Vorteil der Benutzung von Größengleichungen: die sogenannte **Einheitenkontrolle**. Diese ist besonders beim Lösen von Aufgaben nützlich. Setzt man nämlich in die allgemeine Lösung der Aufgabe, in der also nur die Größenarten vorkommen, für die Größenarten die kohärenten Einheiten ein, so muß sich nach dem Kürzen auf der linken und der rechten Seite der Gleichung die gleiche Einheit ergeben. Ist dies nicht der Fall, dann ist schon die allgemeine Lösung der Aufgabe falsch.

2.4.2. Das Umrechnen der Einheiten

Wir wenden uns nun dem Rechnen mit Größen zu und behandeln zunächst das Umrechnen der Einheiten. Hierin müssen Sie vollkommene Sicherheit erlangen. Es wäre bedauerlich, wenn Sie in einer physikalisch-technischen Berechnung bei richtigen Ansätzen nur durch fehlerhaftes Umrechnen der Einheiten zu falschen Ergebnissen kämen. Zwei „Rezepte" für das Umwandeln der Einheiten sind in Gebrauch:

1. Nach der *Substitutionsmethode* werden die Einheiten durch neue Einheiten ersetzt (substituiert). Nach dieser Methode wollen wir die Einheit km/h in m/s umrechnen. Bekanntlich gelten die Beziehungen

$$1\ \text{km} = 1000\ \text{m} \qquad 1\ \text{h} = 3600\ \text{s}$$

Ganz ausführlich sieht die Umrechnung so aus:

$$1\,\frac{\text{km}}{\text{h}} = \frac{1000\ \text{m}}{3600\ \text{s}} = \frac{1}{3{,}6}\,\frac{\text{m}}{\text{s}}$$

2. Die *Erweiterungsmethode* benutzt das Erweitern der Bruchrechnung, das heißt, durch Multiplizieren von Zähler und Nenner mit dem gleichen Wert formt man Ausdrücke identisch um. Die Faktoren setzt man so, daß sich die umzuformenden Einheiten wegkürzen:

$$1\,\frac{\text{km}}{\text{h}} = 1\,\frac{\text{km}}{\text{h}} \cdot \frac{1000\ \text{m}}{1\ \text{km}} \cdot \frac{1\ \text{h}}{3600\ \text{s}} = \frac{1}{3{,}6}\,\frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Das Erweiterungsverfahren ist, besonders bei längeren Rechnungen, umständlicher als das Substitutionsverfahren. Deshalb empfehlen wir Ihnen besonders das Substitutionsverfahren.

Wir betrachten nun das folgende Beispiel aus der Mechanik, bei dem es uns jetzt nur auf die rechnerischen Probleme und nicht auf den physikalischen Sachverhalt ankommt. Es ist der Betrag für

$$F = \frac{m\,v^2}{r}$$

in Kilopond zu errechnen, wenn die folgenden Größen gegeben sind:

$$m = 0{,}65\ \text{kg}$$
$$v = 15\ \text{m/s}$$
$$r = 0{,}42\ \text{m}$$

Zunächst werden die Größen so eingesetzt, wie sie gegeben sind:

$$F = \frac{0{,}65 \text{ kg} \cdot 225 \text{ m}^2}{0{,}42 \text{ m} \cdot \text{ s}^2}$$

Nach dem Kürzen des Meters bleibt als Einheit $\frac{\text{kg m}}{\text{s}^2} = \text{N}$. Die Einheitenkontrolle bestätigt also die Richtigkeit der Gleichung, indem sich als Einheit für die gesuchte Größe tatsächlich eine Krafteinheit ergibt.

Nach [2.2.4.] kann (mit Rechenstabgenauigkeit) gesetzt werden:

$$\text{N} = \frac{\text{kp}}{9{,}81}$$

Wir erhalten

$$F = \frac{0{,}65 \cdot 225}{0{,}42 \cdot 9{,}81} \text{ kp}$$

Die Rechenstabrechnung ergibt

$$\underline{\underline{F = 35{,}5 \text{ kp}}}$$

Wir rechnen noch eine Aufgabe, diesmal ohne Erläuterungen:

$$M = 2\,A\,r\,\varrho\,v^2$$

$$A = 5 \text{ mm}^2 \quad r = 10 \text{ cm} \quad \varrho = 1 \text{ g/cm}^3 \quad v = 13{,}9 \text{ m/s}$$

M in kpm

$$M = \frac{2 \cdot 5 \text{ mm}^2 \cdot 10 \text{ cm} \cdot 1 \text{ g} \cdot 13{,}9^2 \text{ m}^2}{\text{cm}^3 \quad \text{s}^2}$$

$$M = 13{,}9^2 \cdot 10^{-3} \text{ Nm} = 13{,}9^2 \cdot 10^{-3} \frac{\text{kpm}}{9{,}81}$$

$$\underline{\underline{M = 1{,}97 \cdot 10^{-2} \text{ kpm} = 1{,}97 \text{ kpcm}}}$$

Lösen Sie nun die folgenden Aufgaben, indem Sie jeweils die gegebenen Größen in die Gleichung einsetzen.

1. $F = \dfrac{P}{2\,\pi\,f\,r}$ $\qquad F$ in kp

   $P = 1500$ kpm/s $\quad f = 150/\text{min} \quad r = 50$ cm

2. $P = \dfrac{1}{2}\,r^2\,\pi\,v_1\,\varrho\,(v_1^2 - v_2^2)$ $\qquad P$ in kW

   $r = 1$ m $\quad \varrho = 1{,}25$ kg/m^3 $\quad v_1 = 20$ m/s $\quad v_2 = 5$ m/s

3. $v = \sqrt{\dfrac{2\,W}{m_1\left(1 + \dfrac{m_1}{m_2}\right)}}$ $\qquad v$ in m/s

$m_1 = 1$ kg $\quad m_2 = 10$ kg $\quad W = 22{,}4$ kpm

4. $Q = \dfrac{P}{\eta\, H}$ $\qquad Q$ in m³/h

$P = 120$ kW $\quad \eta = 0{,}55 \quad H = 5100$ kcal/m³

5. $\Delta\vartheta = \dfrac{g\,h}{c}$ $\qquad \Delta\vartheta$ in grd

$g = 9{,}81$ m/s² $\quad h = 80$ m $\quad c = 1$ cal/g grd

Wiederholen Sie diese Aufgaben so oft, bis Sie zur völligen Sicherheit in der Handhabung des Rechenstabes, im Rechnen mit Zehnerpotenzen und Einheiten gelangt sind! Wenn wir uns dann den Lösungen physikalischer Probleme zuwenden, müssen Sie die mathematischen „Handgriffe" beherrschen. Achten Sie auch immer darauf, daß in den Ergebnissen die Einheiten erscheinen, die den gesuchten Größen entsprechen!

2.4.3. Das Zuschneiden einer Größengleichung

Zum Zuschneiden einer Größengleichung wird nur die Kenntnis der Bruchrechnung benötigt.

Wir führen das Zuschneiden an einem einfachen Beispiel ausführlich durch:

Die allgemeine Größengleichung

$$a = \frac{v}{t}$$

ist in eine zugeschnittene zu verwandeln. Dabei sollen

v in km/h, $\quad t$ in s, $\quad a$ in m/s²

eingesetzt werden.

Wir dividieren jede Größe durch die geforderte Einheit (schräge Bruchstriche), so daß die folgende Form entsteht:

$$a/\frac{\text{m}}{\text{s}^2} = k\,\frac{v/\text{km/h}}{t/\text{s}}$$

Der Faktor k muß eine reine Zahl sein, weil alle Brüche aus physikalischen Größen und ihren Einheiten reine Zahlen ergeben. Diese Tatsache benutzen wir als Kontrolle. Wir ermitteln den unbekannten Faktor k, indem wir in der Ausgangsgleichung die Größen mit den geforderten Einheiten erweitern. Wir verwenden hier zunächst gerade Bruchstriche.

Aus

$$a = \frac{v}{t}$$

folgt

$$\frac{\frac{a}{\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}}}{\boxed{\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}}} = \frac{\frac{v}{\frac{\mathrm{km}}{\mathrm{h}}} \cdot \boxed{\frac{\mathrm{km}}{\mathrm{h}}}}{\frac{t}{\mathrm{s}} \cdot \boxed{\mathrm{s}}}$$

Nun ziehen wir die eingerahmten Einheiten zu *einem* Faktor k zusammen, der, wie wir schon wissen, eine reine Zahl sein muß.

$$\frac{\frac{a}{\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}}}{\boxed{\frac{\mathrm{km} \cdot \mathrm{s}^2}{\mathrm{h} \cdot \mathrm{s} \cdot \mathrm{m}}}} = \frac{\frac{v}{\frac{\mathrm{km}}{\mathrm{h}}}}{\frac{t}{\mathrm{s}}}$$

$$k = \frac{\mathrm{km\,s^2}}{\mathrm{h\,s\,m}} = \frac{1000\ \mathrm{m\,s^2}}{3600\ \mathrm{s\,s\,m}} = \frac{1}{3{,}6}$$

$$a/_{\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}} = \frac{1}{3{,}6} \frac{v/_{\frac{\mathrm{km}}{\mathrm{h}}}}{t/_{\mathrm{s}}}$$

Wir bearbeiten in gleicher Weise ein zweites Beispiel:

Die allgemeine Größengleichung

$$s = \frac{v^2}{2\,a}$$

soll auf die Einheiten $[s] = \mathrm{m}$, $[v] = \mathrm{km/h}$, $[a] = \mathrm{m/s^2}$ zugeschnitten werden.

$$\frac{s}{\mathrm{m}} \cdot \mathrm{m} = \frac{\left(\frac{v}{\frac{\mathrm{km}}{\mathrm{h}}}\right)^2 \cdot \frac{\mathrm{km^2}}{\mathrm{h^2}}}{2 \cdot \frac{a}{\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}} \cdot \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}}$$

$$\frac{s}{\mathrm{m}} = \frac{\mathrm{km^2\,s^2}}{2\,\mathrm{h^2\,m^3}} \cdot \frac{\left(\frac{v}{\frac{\mathrm{km}}{\mathrm{h}}}\right)^2}{\frac{a}{\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s^2}}}}$$

$$k = \frac{\mathrm{km^2\,s^2}}{2\,\mathrm{h^2\,m^2}} = \frac{1}{2 \cdot 3{,}6^2} = 0{,}0386$$

$$s/_{\mathrm{m}} = 0{,}0386 \cdot \frac{\left(v/_{\frac{\mathrm{km}}{\mathrm{h}}}\right)^2}{a/_{\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s^2}}}} \qquad (*)$$

An einem Zahlenbeispiel wollen wir zeigen, wie schnell man bei Verwendung zugeschnittener Größengleichungen zu speziellen Werten gelangt.

Gegeben: $v = 40\ \mathrm{km/h}$, $a = 2{,}1\ \mathrm{m/s^2}$

Wir setzen in (*) ein:

$$s/_{\mathrm{m}} = 0{,}0386 \cdot \frac{1600}{2{,}1} = 29{,}4$$

$$s = 29{,}4\ \mathrm{m}$$

Schneiden Sie nun die in den folgenden Aufgaben gegebenen allgemeinen Größengleichungen auf die geforderten Einheiten zu!

6. $$F = \frac{P}{2\,\pi\,n\,r}$$

$[F] = \mathrm{kp}$, $[P] = \mathrm{kW}$, $[n] = \mathrm{min^{-1}}$, $[r] = \mathrm{cm}$

7. $$t = \frac{c\,m\,\Delta\vartheta}{Q\,\varrho\,H}$$

$[t] = \mathrm{min}$, $[c] = \mathrm{cal/g\,grd}$, $[m] = \mathrm{kg}$, $[\Delta\vartheta] = \mathrm{grd}$

$[Q] = \mathrm{l/min}$, $[\varrho] = \mathrm{kg/m^3}$, $[H] = \mathrm{kcal/kg}$

8. $$Q = \frac{P}{\eta\,H}$$

$[Q] = \mathrm{m^3/h}$, $[P] = \mathrm{kW}$, $[H] = \mathrm{kcal/m^3}$, $[\eta] = 1$[1]

[1] η ist als Quotient zweier gleichartiger Größen eine Verhältnisgröße. Durch Kürzen der gleichen Einheiten im Zähler und Nenner ergibt sich formal die Einheit 1, die weggelassen wird. Beachten Sie, daß die Maßzahl von η immer ≤ 1 ist!

9 $$P = \frac{\eta\, m\, H}{t}$$

$$[P] = \text{MW}, \quad [m] = \text{t}, \quad [H] = \text{kcal/kg}, \quad [t] = \text{h}, \quad [\eta] = 1$$

2.5. Zur Rechengenauigkeit

In Physik und Technik spielt die Zuverlässigkeit einer Zahlenangabe eine große Rolle. Jede Messung einer physikalischen Größe kann nur mit begrenzter Genauigkeit ausgeführt werden. Je genauer man messen will, desto aufwendiger wird der Meßvorgang an Geräten und Zeit.

Die Genauigkeit eines Wertes wird aus der Angabe der *Toleranz* ersichtlich: Die Aussage $l_1 = (1004 \pm 1)$ mm bedeutet, daß die Messung „auf 1 mm genau" ausgeführt wurde, oder anders ausgedrückt, daß der Wert $l_1 = 1004$ mm um den *absoluten Fehler* $\Delta l = 1$ mm nach oben oder unten abweichen kann. Der Meßfehler 1 mm würde bei der Messung einer Strecke $l_2 = 100$ m *relativ* klein sein. Dagegen wäre $l_3 = (6 \pm 1)$ mm eine recht ungenaue Aussage. Wichtig ist deshalb immer die Angabe des *relativen Fehlers* $\frac{\Delta l}{l}$, der eine reine Zahl darstellt und meist in Prozenten angegeben wird. In unseren drei Beispielen sind die relativen Fehler

$$\frac{\Delta l}{l_1} = \frac{1\text{ mm}}{1004\text{ mm}} = 10^{-3} = 0{,}1\,\% \quad \text{(normale Längenmessung)}$$

$$\frac{\Delta l}{l_2} = \frac{1\text{ mm}}{100\text{ m}} = 10^{-5} = 0{,}001\,\% \quad \text{(sehr präzise Messung, die einen hohen Aufwand erfordert)}$$

$$\frac{\Delta l}{l_3} = \frac{1\text{ mm}}{6\text{ mm}} = 0{,}17 = 17\,\% \quad \text{(sehr ungenaue Messung)}$$

Wenn mit ungenauen *Eingangswerten* (d. s. die Werte, die in die Rechnung eingehen) Rechenoperationen ausgeführt werden, so vergrößern sich die Fehler mitunter sehr erheblich, so daß das *Ergebnis* mit einem wesentlich größeren relativen Fehler behaftet sein kann als die Eingangswerte. Deshalb muß bei jeder Meß- oder Rechenaufgabe eine eingehende *Fehleranalyse* (Fehlerabschätzung, Fehlerrechnung) ausgeführt werden. Wir können uns an dieser Stelle mit Fehleranalysen noch nicht befassen, wollen aber bei unseren Rechnungen auch keine groben Verstöße gegen das Genauigkeitsprinzip dulden. Bei Anfängern sieht man oft Rechnungen wie im folgenden Beispiel:

Gegeben: $F = 11{,}5$ kp Gesucht: $M = F\,l$

$l = 17{,}3$ m

$M = 11{,}5\text{ kp} \cdot 17.3\text{ m} = 198{,}95$ kpm

Numerisch ist die Rechnung richtig, *physikalisch-technisch* aber *falsch*. Im Ergebnis wird nämlich eine Genauigkeit vorgetäuscht, die die Genauigkeit der Eingangswerte wesentlich übersteigt. Das Ergebnis muß gerundet werden: M = 199 kpm. Wir wollen als Faustregel vereinbaren, daß wir unsere Übungsaufgaben in *Rechenstabgenauigkeit* rechnen, was bedeutet, daß alle Zahlen mit 3 geltenden Ziffern angegeben werden. Diese Regel hat nur provisorische Bedeutung und kann eine Fehleranalyse nicht ersetzen. Die systematische Behandlung dieser Fragen gehört in den Mathematikunterricht. Wir wollen uns lediglich an einem Beispiel ansehen, wie man mit einfachen Überlegungen Genauigkeitsprobleme lösen kann.

Beispiel: Welchen relativen Fehler hat der Abstand

$$l = l_1 - l_2 ,$$

wenn $l_1 = (102 \pm 1)$ cm
$l_2 = (\ 98 \pm 1)$ cm ?

Weil jeder Einzelwert um 1 cm abweichen kann, kann l um 2 cm (z. B.: $l = 103$ cm $- 97$ cm $= 6$ cm) von dem mittleren Wert 4 cm tolerieren. Folglich ist

$$\frac{\Delta l}{l} = \frac{2\text{ cm}}{4\text{ cm}} = 0{,}5 = 50\,\%\,(!) ,$$

obwohl die Eingangswerte nur relative Fehler von 1 % haben.

2.6. Lösungen der Übungsaufgaben

1. $$F = \frac{P}{2\,\pi\, f\, r} = \frac{1500\text{ kpm}\cdot\text{min}}{\text{s}\cdot 2\,\pi\cdot 150\cdot 50\text{ cm}} = \frac{10\text{ kp}\cdot 60}{\pi} = \underline{\underline{191\text{ kp}}}$$

2. $$P = \frac{1}{2}\,\pi\, r^2\, v_1\, \varrho\,(v_1^2 - v_2^2) = \frac{\pi\cdot 1\text{ m}^2\cdot 20\text{ m}\cdot 1{,}25\text{ kg}}{2\qquad\text{s}\qquad\text{m}^3}\cdot\frac{(400 - 25)\text{ m}^2}{\text{s}^2}$$

$$P = \frac{\pi\cdot 25\cdot 375\text{ kg m}^2}{2\qquad\text{s}^3} = \underline{\underline{14{,}7\text{ kW}}}$$

3. $$v = \sqrt{\frac{2\,W}{m_1\left(1 + \frac{m_1}{m_2}\right)}} = \sqrt{\frac{2\cdot 22{,}4\text{ kpm}}{\text{kg}\cdot\left(1 + \frac{1}{10}\right)}} = \sqrt{\frac{44{,}8\cdot 9{,}81\text{ kg m}^2}{1{,}1\text{ kg s}^2}}$$

$$v = \sqrt{400}\text{ m/s} = \underline{\underline{20\text{ m/s}}}$$

4. $$Q = \frac{P}{\eta\, H} = \frac{120\text{ kW m}^3}{0{,}55\cdot 5100\text{ kcal}} = \frac{120\text{ W m}^3}{0{,}55\cdot 5100\text{ cal}}$$

$$Q = \frac{120\text{ W m}^3}{0{,}55\cdot 5100\cdot 4{,}19\text{ Ws}} = \frac{120\text{ m}^3\cdot 3600}{0{,}55\cdot 5100\cdot 4{,}19\text{ h}} = \underline{\underline{36{,}7\text{ m}^3/\text{h}}}$$

5. $\Delta\vartheta = \dfrac{g\,h}{c} = \dfrac{9{,}81\ \mathrm{m}\cdot 80\ \mathrm{m}\ \mathrm{g}\ \mathrm{grd}}{\mathrm{s}^2\cdot 1\ \mathrm{cal}} = \dfrac{9{,}81\ \mathrm{m}^2\cdot 80\cdot 10^{-3}\ \mathrm{kg}\ \mathrm{grd}}{\mathrm{s}^2\cdot 4{,}19\ \mathrm{J}}$

$$\Delta\vartheta = \underline{\underline{0{,}187\ \mathrm{grd}}}$$

6. $F = \dfrac{P}{2\,\pi\,f\,r}$

$$\frac{F}{\mathrm{kp}}\cdot\mathrm{kp} = \frac{\dfrac{P}{\mathrm{kW}}\cdot\mathrm{kW}}{2\,\pi\,\dfrac{f}{\mathrm{min}^{-1}}\cdot\mathrm{min}^{-1}\cdot\dfrac{r}{\mathrm{cm}}\cdot\mathrm{cm}}$$

$$\frac{F}{\mathrm{kp}} = \frac{\mathrm{kW\ min}}{2\,\pi\,\mathrm{kp\ cm}}\cdot\frac{\dfrac{P}{\mathrm{kW}}}{\dfrac{f}{\mathrm{min}^{-1}}\cdot\dfrac{r}{\mathrm{cm}}}$$

$$k = \frac{\mathrm{kW\ min}}{2\,\pi\,\mathrm{kp\ cm}} = \frac{10^3\ \mathrm{W}\cdot 60\ \mathrm{s}\cdot 10^2}{2\,\pi\cdot 9{,}81\ \mathrm{N}\cdot\mathrm{m}} = 9{,}73\cdot 10^4$$

$$\underline{\underline{F/_{\mathrm{kp}} = 9{,}73\cdot 10^4\,\frac{P/_{\mathrm{kW}}}{f/_{\mathrm{min}^{-1}}\cdot r/_{\mathrm{cm}}}}}$$

7. $t = \dfrac{c\,m\,\Delta\vartheta}{Q\,\varrho\,H}$

$$\frac{t}{\mathrm{min}}\cdot\mathrm{min} = \frac{\dfrac{c}{\dfrac{\mathrm{cal}}{\mathrm{g\ grd}}}\cdot\mathrm{cal}\cdot\dfrac{m}{\mathrm{kg}}\cdot\mathrm{kg}\cdot\dfrac{\Delta\vartheta}{\mathrm{grd}}\cdot\mathrm{grd}}{\dfrac{Q}{\dfrac{\mathrm{l}}{\mathrm{min}}}\cdot\dfrac{\mathrm{l}}{\mathrm{min}}\cdot\dfrac{\varrho}{\dfrac{\mathrm{kg}}{\mathrm{m}^3}}\cdot\dfrac{\mathrm{kg}}{\mathrm{m}^3}\cdot\dfrac{H}{\dfrac{\mathrm{kcal}}{\mathrm{kg}}}\cdot\dfrac{\mathrm{kcal}}{\mathrm{kg}}}$$

$$\frac{t}{\mathrm{min}} = \frac{\mathrm{cal\ kg\ grd\ min\ m^3\ kg}}{\mathrm{g\ grd\ l\ kg\ kcal\ min}}\cdot\frac{\dfrac{c}{\dfrac{\mathrm{cal}}{\mathrm{g\ grd}}}\cdot\dfrac{m}{\mathrm{kg}}\cdot\dfrac{\Delta\vartheta}{\mathrm{grd}}}{\dfrac{Q}{\dfrac{\mathrm{l}}{\mathrm{min}}}\cdot\dfrac{\varrho}{\dfrac{\mathrm{kg}}{\mathrm{m}^3}}\cdot\dfrac{H}{\dfrac{\mathrm{kcal}}{\mathrm{kg}}}}$$

$$\underline{\underline{t/_{\mathrm{min}} = 10^3\cdot\frac{c/_{\frac{\mathrm{cal}}{\mathrm{g\ grd}}}\cdot m/_{\mathrm{kg}}\cdot\Delta\vartheta/_{\mathrm{grd}}}{Q/_{\frac{\mathrm{l}}{\mathrm{min}}}\cdot\varrho/_{\frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{m}^3}}\cdot H/_{\frac{\mathrm{kcal}}{\mathrm{kg}}}}}}$$

8. $Q = \dfrac{P}{\eta\, H}$

$$\frac{Q}{\frac{\mathrm{m^3}}{\mathrm{h}}} \cdot \frac{\mathrm{m^3}}{\mathrm{h}} = \frac{\frac{P}{\mathrm{kW}} \cdot \mathrm{kW}}{\eta \cdot \frac{H}{\frac{\mathrm{kcal}}{\mathrm{m^3}}} \cdot \frac{\mathrm{kcal}}{\mathrm{m^3}}}$$

$$\frac{Q}{\frac{\mathrm{m^3}}{\mathrm{h}}} = \frac{\mathrm{h\ m^3\ kW}}{\mathrm{kcal\ m^3}} \cdot \frac{\frac{P}{\mathrm{kW}}}{\eta \cdot \frac{H}{\frac{\mathrm{kcal}}{\mathrm{m^3}}}}$$

$$k = \frac{\mathrm{h\ kW}}{\mathrm{kcal}} = 8{,}6 \cdot 10^2$$

$$Q/\frac{\mathrm{m^3}}{\mathrm{h}} = 8{,}6 \cdot 10^2 \, \frac{P/\mathrm{kw}}{\eta \cdot H/\frac{\mathrm{kcal}}{\mathrm{m^3}}}$$

9. $P = \dfrac{\eta\, m\, H}{t}$

$$\frac{P}{\mathrm{MW}}\,\mathrm{MW} = \frac{\eta \cdot \frac{m}{\mathrm{t}}\,\mathrm{t} \cdot \frac{H}{\frac{\mathrm{kcal}}{\mathrm{kg}}} \cdot \frac{\mathrm{kcal}}{\mathrm{kg}}}{\frac{t}{\mathrm{h}}\,\mathrm{h}}$$

$$P/_{\mathrm{MW}} = \frac{\mathrm{t\ kcal}}{\mathrm{MW\ kg\ h}} \cdot \frac{\eta \cdot m/_{\mathrm{t}}\, H/\frac{\mathrm{kcal}}{\mathrm{kg}}}{t/_{\mathrm{h}}}$$

$$k = \frac{\mathrm{t\ kcal}}{\mathrm{MW\ kg\ h}} = \frac{10^3\ \mathrm{kg} \cdot 4{,}19 \cdot 10^3\ \mathrm{Ws}}{10^6\ \mathrm{W\ kg} \cdot 3600\ \mathrm{s}} = 1{,}16 \cdot 10^{-3}$$

$$P/_{\mathrm{MW}} = 1{,}16 \cdot 10^{-3} \, \frac{\eta \cdot m/_{\mathrm{t}} \cdot H/\frac{\mathrm{kca}}{\mathrm{kg}^1}}{t/_{\mathrm{h}}}$$

3. Aufgaben aus den Teilgebieten der Physik

Die folgenden Aufgaben sollen Sie lösen, nachdem Sie die entsprechenden Kapitel in den Lehrbriefen durchgearbeitet und die in den Lehrbriefen enthaltenen Lehrbeispiele und Übungsaufgaben durchgerechnet haben.

3.1. Mechanik

1. Der Fahrer eines Kraftwagens will seine Bremsen prüfen und macht eine Bremsprobe bei einer Geschwindigkeit von 60 km/h. Er erhält einen Bremsweg von 19 m. Entspricht die Bremse den Bestimmungen, wenn in der Straßenverkehrs-Zulassungsordnung eine Bremsverzögerung von mindestens 5 m/s² gefordert wird?
2. Ein Zug hat eine Geschwindigkeit von 54 km/h. 1,5 min lang wird die Geschwindigkeit in jeder Sekunde um 0,72 km/h gesteigert. Welche Strecke wird in der Beschleunigungszeit durchfahren?
3. Ein Zug mit einer Geschwindigkeit von 96 km/h wird vor einem Signal abgebremst. Der Bremsweg beträgt 1210 m. Nach 85 s fährt der Zug wieder an und erreicht nach 115 s wieder seine frühere Geschwindigkeit. Wie groß ist die entstandene Verspätung?
4. Ein Schienenfahrzeug durchfährt eine Kurve von 90° (Spurweite $s = 1435$ mm). Der innere Kurvenradius beträgt 75 m. Wieviel Umdrehungen machen die äußeren Räder des Fahrzeugs mehr als die inneren, wenn sie die Kurve ohne zu rutschen passieren? Durchmesser der Räder 40 cm. Wie groß ist der Unterschied der Radumdrehungen bei doppelt so großem Kurvenradius?
5. Ein Rad von 50 cm Durchmesser rollt aus dem Stillstand in 40 s einen Abhang von 120 m Länge hinunter. Wie schnell dreht es sich am Fuße des Abhangs?
6. Ein 100-m-Läufer erreicht 20 m nach dem Start seine Höchstgeschwindigkeit, die er bis zum Ziel beibehält. Die für 100 m benötigte Zeit beträgt 12 s. Wie groß sind Beschleunigung und erreichte Höchstgeschwindigkeit?
7. Das Banddiktiergerät „Diktina" ist mit einem 350 m langen Magnettonband ausgestattet. Wie groß ist die Speicherzeit des Tonbandes, wenn es zweispurig besprochen werden kann und mit der konstanten Geschwindigkeit 6,35 cm/s abläuft?

8. Welche Höhe hat ein senkrecht nach oben abgefeuertes Geschoß nach 3 s, wenn es zu dieser Zeit noch die Geschwindigkeit 500 m/s hat?

9. Sobald bei Personenaufzügen infolge Seilbruches die normale Fahrgeschwindigkeit um 40% überschritten wird, löst sich die automatische Fangvorrichtung aus. Wie weit abwärts bewegt sich ein Aufzug in der Zeit vom Seilbruch bis zum Auslösen der Fangvorrichtung, wenn er sich vor dem Bruch mit 35 m/min abwärts bewegt?

10. Eine homogene dreieckige Platte von gleichmäßiger Dicke wird von drei Beinen, die jeweils an den Eckpunkten angebracht sind, unterstützt. Zeigen Sie, daß bei allen möglichen Dreiecksformen (gleichseitig, gleichschenklig, ungleichseitig) alle drei Beine gleichmäßig stark belastet werden!

11. Wo liegt der Schwerpunkt eines 80 cm langen Holzstabes von 2 cm Durchmesser (Dichte 0,6 g/cm³), der zur Hälfte seiner Länge mit 1 mm starkem Eisenblech (Dichte 7,6 g/cm³) umhüllt ist?

12. Eine Kugel (Masse 80 g) hängt an einem Faden und legt sich nach Bild 1 an die Oberfläche einer feststehenden Halbkugel an. Mit welcher Kraft spannt sich der Faden, und wie groß ist die Anpreßkraft der Kugel?

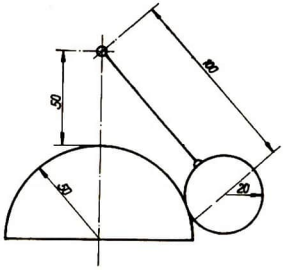

Bild 1

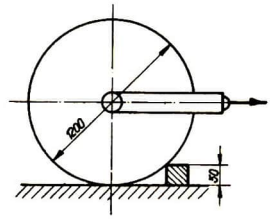

Bild 2

13. Ein zylindrischer Kessel von 3 t Masse und 1,2 m Durchmesser stößt beim Rollen gegen eine 5 cm hohe Kante. Mit welcher Kraft muß in waagerechter Richtung gezogen werden, damit sich der Kessel über die Schwelle hinweghebt (Bild 2)? Beachten Sie: Die Wirkungslinie der Resultierenden geht durch die Berührungskante.

14. Die zur Bearbeitung von land- und forstwirtschaftlichen Nutzflächen von der Luft aus eingesetzte L-60 „Brigadier" hat bei einer Chemikaliennutzlast von 400 kg eine Arbeitsfluggeschwindigkeit von 120 km/h.
    1. Wie groß ist die Abtrift des Flugzeugs während einer Viertelstunde bei einem Seitenwind von 5 m/s Geschwindigkeit?
    2. Welche Strecke legt das Flugzeug in dieser Zeit zurück?
15. Von einer Straßenkreuzung aus fahren zwei Kraftwagen mit 40 km/h bzw. 60 km/h in zueinander rechtwinkliger Richtung zu gleicher Zeit ab. Wie groß ist ihre gegenseitige Entfernung nach 10 s, und mit welcher Geschwindigkeit entfernen sie sich voneinander?
16. Ein Körper wird horizontal mit einer Geschwindigkeit von 30 m/s abgeschossen und fällt dabei auf einer gekrümmten Bahn zur Erde zurück. Wie groß ist die resultierende Bahngeschwindigkeit (Tangentialgeschwindigkeit) nach 3 s?
17. In einem Flüssigkeitsbehälter befindet sich 3,5 m über dem Erdboden in der Seitenwand ein Loch.
    1. Mit welcher Geschwindigkeit strömt die Flüssigkeit aus, wenn der Strahl in einer Entfernung von 2,7 m auf die Erde trifft?
    2. Mit welcher Geschwindigkeit und unter welchem Winkel trifft er auf den Erdboden?
18. In einem Wasserwerk werden 13500 m^3 Wasser auf 67 m Höhe gepumpt. Wie groß ist die hierzu erforderliche Arbeit?
19. Welche Arbeit wird verrichtet, wenn eine Kurbel von 55 cm Armlänge mit einer Kraft von 7 kp 225mal gedreht wird? Die Kraft wirkt immer tangential zur Kreisbahn.
20. Der in Bild 3 dargestellte Winkelhebel ist drehbar gelagert. Um welchen Winkel muß der waagerechte Schenkel mindestens gehoben werden, damit der Hebel von selbst umklappt?
21. Die Fördermaschine eines Bergwerks hebt von der Sohle des Schachtes einen Förderkorb von 8,6 t Masse und gibt dabei eine Arbeit von 7,5 kWh ab. Wie tief ist der Schacht?

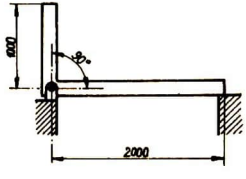

Bild 3

22. Ein Eisenbahnwagen von 25 t Masse wird von der Lokomotive mit der Bewegungsenergie 8000 kpm abgestoßen. Wie weit rollt er auf einer waagerechten Strecke aus, wenn die Reibungszahl 0,002 beträgt?

23. Ein Bauelement aus Ziegelsplittbeton (Dichte 1,60 t/m³) von 2,56 m Länge, 1,20 m Höhe und 0,30 m Dicke wird durch einen Turmdrehkran mit der Geschwindigkeit 45 m/min aufwärts bewegt. Wie groß ist die Belastung des Kranseils?

24. Der Autodrehkran „Panther" hat eine maximale Tragkraft von 5 Mp. Das Hubwerk des Krans ist mit einem Motor von 6 kW Leistung ausgerüstet. Wie groß ist der Wirkungsgrad des Hubwerks, wenn eine Last von 5 t Masse in 68 s 7,9 m hoch gehoben wird?

25. Wie groß darf das Gesamtgewicht eines Lastaufzuges sein, wenn die Fahrgeschwindigkeit 1,5 m/s betragen soll, die Antriebsmaschine 22 kW abgibt und der Wirkungsgrad 90% beträgt?

26. Der Schnelltransporter B 1000 hat 1 t Lademasse. Wie groß ist die Leistung des Dreizylinder-Zweitakt-Otto-Motors, wenn er bei einer Drehzahl von 4000 min^{-1} ein Drehmoment von 8,1 kpm erzeugt?

27. Ein Lastkraftwagen hat eine Lademasse von 2,5 t. Welche Spitzenleistung ergibt sich bei der zulässigen Gesamtmasse von 5 t, wenn 55 s nach dem Anfahren die Höchstgeschwindigkeit von 85 km/h erreicht und die Reibung vernachlässigt wird?

28. Ein Sportler hebt seinen Körper im Hochsprung in 0,36 s um 65 cm. Wie groß ist die Sprungleistung, wenn der Sportler eine Masse von 55 kg hat?

29. Welche Leistung kann das durch einen Querschnitt von 1 m² fließende Wasser abgeben, wenn seine Strömungsgeschwindigkeit 5,4 km/h beträgt?

30. Die ČSSR nimmt im Bau von Kaplanturbinen eine führende Stelle in der Welt ein. Es werden u. a. Turbinen für eine Fallhöhe von 56 m und eine Stromstärke von 100 m³/s gebaut.
    1. Welche Leistung kann eine solche Turbine höchstens erzeugen?
    2. Wie groß ist die Leistung der Turbine bei einem Wirkungsgrad von 91%?

31. Wie groß ist die Masse eines Körpers, der unter der Wirkung einer Kraft von 10 N auf einem Weg von 10 m aus der Ruhelage auf eine Geschwindigkeit von 5 m/s gebracht wird?

32. Bei einem Unfall war die Bremsspur eines Kraftwagens 24 m lang. Hatte der Fahrer die Höchstgeschwindigkeit von 50 km/h über-

schritten? Es wird angenommen, daß die Räder beim Bremsen sofort blockierten. Das Fahrzeug rutschte 24 m weit auf dem nassen Asphalt; Reibungszahl 0,3.

33. Ein Strahltriebwerk hat eine Schubkraft von 3150 kp. Wie groß ist am Anfang die Startbeschleunigung eines Flugzeugs von 20 t Masse, das mit zwei derartigen Strahltriebwerken ausgerüstet ist? Die Reibungsverluste sollen mit 3% angenommen werden.

34. Ein Körper mit der Masse 2,4 kg wird durch eine gleichbleibende Kraft aus der Ruhelage heraus beschleunigt. Nach 10 s hat er einen Weg von 5,25 m zurückgelegt. Wie groß war die Kraft? Die Reibung soll vernachlässigt werden.

35. Welche Bremskraft ist erforderlich, wenn ein Straßenbahnwagen von 12 t Masse aus einer Geschwindigkeit von 22 km/h auf einer 26 m langen Strecke gleichmäßig verzögert zum Halten gebracht werden soll?

36. Ein Triebwagenzug hat eine Masse von 134 t und entwickelt eine zulässige Höchstgeschwindigkeit von 110 km/h. Welche Bremskraft ist notwendig, wenn der Triebwagenzug aus der Geschwindigkeit von 110 km/h auf einer 550 m langen Strecke gleichmäßig verzögert zum Halten gebracht werden soll?

37. Das sowjetische Tragflächenschiff „Sputnik" gleicht einer Kombination von Flugzeug und Rakete. Während der Fahrt ruht der Schiffskörper auf Unterwasserflügeln und erhebt sich über die Wasseroberfläche, wodurch der Wasserwiderstand, der auf den Schiffskörper wirkt, wesentlich verringert wird. Dadurch kann das Schiff eine große Geschwindigkeit erhalten. Das 48 m lange Tragflächenschiff hat eine Masse von nur 107 t und kann 300 Passagiere befördern. Wie lange muß eine Schubkraft von 8 Mp auf das Schiff einwirken, bis es seine Höchstgeschwindigkeit von 80 km/h erreicht hat? Wasser- und Luftwiderstand sollen dabei vernachlässigt werden; Passagiere sind nicht an Bord.

38. Ein Eisenträger mit 240 kg Masse, der auf einer Mauer liegt, ragt 30 cm über diese hinaus. Seine Gesamtlänge beträgt 3 m. Wie weit kann der Träger am freien Ende belastet werden, ohne zu kippen?

39. Ein Werkstück (Masse 1,2 t) soll auf einer schiefen Ebene von 12 m Länge und 4 m Höhe nach oben bewegt werden.
    1. Welche Kraft ist erforderlich, wenn der Reibungskoeffizient 0,2 beträgt?
    2. Welche Kraft ist bei gleicher Reibung nötig, um das Werkstück am Herabgleiten zu hindern?

40. Mit dem Gravitationsgesetz ist nachzuweisen, daß ein Körper mit der Masse 1 kg in unseren Breiten ein Gewicht von 1 kp hat. Masse der Erde: $5{,}97 \cdot 10^{24}$ kg, Erdradius: $6{,}37 \cdot 10^{6}$ m.

41. Der von der Sowjetunion gestartete Sputnik 3 benötigte unmittelbar nach seinem Start für einen Erdumlauf 106 min.
    1. Wie groß war zu dieser Zeit der Radius seiner Flugbahn, wenn diese als Kreisbahn angenommen wird, was annähernd zutrifft? Gehen Sie davon aus, daß die auf den künstlichen Satelliten wirkende Schwerkraft der Fliehkraft gleich ist! (Daten wie in Aufg. 40)
    2. Wie groß war anfangs seine mittlere Fluggeschwindigkeit?

42. Welche kürzeste Zeit für einen Umlauf um die Erde könnte ein künstlicher Erdsatellit bei fehlender Lufthülle theoretisch benötigen? (Daten wie in Aufg. 40)

43. Künstliche Erdsatelliten werden als Fernseh-Relaisstationen verwendet. Um zwischen Sende- und Empfangsort eine ununterbrochene Fernsehverbindung zu erhalten, muß der künstliche Erdsatellit, von beiden Orten aus betrachtet, am Himmel stillstehen, d. h., er muß sich synchron mit der Erde bewegen und sich in 24 h einmal um deren Achse drehen. Welche Entfernung von der Erdoberfläche muß ein solcher künstlicher Erdsatellit haben, der über einem bestimmten Punkt des Äquators stillzustehen scheint? Erdradius: $6{,}37 \cdot 10^{6}$ m.

44. Ein Geschoß soll parallel zur Erdoberfläche abgefeuert werden und nicht mehr auf diese zurückfallen. Welche Geschwindigkeit benötigt es mindestens? Der Luftwiderstand soll vernachlässigt werden.

45. Wie lang wäre ein Tag, wenn sich die Erde so schnell drehte, daß alle Körper am Äquator gewichtslos wären? Erdradius: $6{,}37 \cdot 10^{6}$m.

46. Welchen Durchmesser hat der Rotor einer Ultrazentrifuge, wenn an seinem Umfang bei einer Drehzahl von 60000 min^{-1} eine Radialbeschleunigung von $3 \cdot 10^{5}\ g$ erzeugt wird?

47. Ein Gefäß hängt an einem 65 cm langen Faden und wird vertikal im Kreis herumgeschleudert. Wie lange darf ein Umlauf dauern, wenn die Flüssigkeit in der höchsten Stellung den Boden des Gefäßes mit der gleichen Kraft belasten soll wie in der Ruhestellung?

48. Der Anker eines Elektromotors hat eine Masse von 256 kg bei einem Durchmesser von 426 mm. Innerhalb von 12,8 s soll er aus dem Stillstand auf seine Betriebsdrehzahl von 900 min^{-1} gebracht werden. Welche mittlere Leistung ist während der Beschleunigung erforderlich? Der Anker ist als homogener Vollzylinder zu betrachten.

49. Einer 2,2 m langen Walze mit dem Durchmesser 320 mm wird die Rotationsenergie 37,1 kpm zugeführt. Die Walze kommt dadurch aus dem Stillstand auf eine Drehzahl von 60 min^{-1}. Wie groß ist die Dichte der Walze?

50. Für die Arbeit in Kohlengruben mit ständiger Schlagwettergefahr eignen sich Gyro-Lokomotiven. Die Lokomotiven sind mit zwei Gyroskopen ausgerüstet, die als senkrechte Induktionsmotoren angebracht und mit schweren Schwungrädern direkt verbunden sind. Die Elektromotoren bringen die Schwungräder auf die notwendige Drehzahl. Danach werden die Motoren umgeschaltet und arbeiten als Generatoren. Der so erzeugte Strom wird den Zugmotoren an den Radachsen der Lok zugeführt. Das Schwungrad hat einen Durchmesser von 1620 mm und eine Masse von 1500 kg.
    1. Welche Energie hat das Schwungrad, wenn die Drehzahl 3000 min^{-1} beträgt und angenommen wird, daß das Schwungrad ein massiver Zylinder ist?
    2. Welches Drehmoment ist erforderlich, um das Schwungrad innerhalb von 2 min aus der Ruhelage auf die Drehzahl von 3000 min^{-1} zu bringen?

51. Berechnen Sie die Fallbeschleunigung aus der Periodendauer des mathematischen Pendels! Fertigen Sie sich dazu selbst ein Fadenpendel an!

52. Mit welcher Geschwindigkeit gehen die Zinken einer schwingenden Stimmgabel durch die Nullage, wenn die Amplitude 2,4 mm und die Frequenz 256 Hz beträgt?

53. An einer Feder hängt ein Körper mit einer Masse von 1,7 kg; er schwingt mit einer Frequenz von 1,2 Hz. Um wieviel dehnt sich die ruhende unbelastete Feder, wenn man einen Gegenstand von 0,98 kg Masse anhängt?

54. An einer Schraubenfeder hängt ein Körper. Er wird um 45 mm aus der Ruhelage nach unten gezogen, losgelassen und schwingt dann mit einer Frequenz von 20 Hz. Wie weit ist er $\frac{1}{60}$ s nach dem Loslassen von der Stelle des Loslassens entfernt?

55. Die Frequenz einer belasteten schwingenden Schraubenfeder beträgt 2,5 Hz. Um wieviel Zentimeter dehnt die gleiche Last die ruhende Feder?

56. Zwei mathematische Pendel von den Längen 16 cm und 36 cm fangen gleichzeitig an zu schwingen. Wie verhalten sich ihre Frequenzen, und nach wieviel Schwingungen des ersten haben beide wieder ihre gemeinsame Ausgangslage erreicht?

57. Wie groß ist die Periodendauer eines Stabes von 1 m Länge, der um eine Achse durch einen seiner Endpunkte schwingt?

58. Innerhalb von 24 h geht eine Pendeluhr um 15 min nach. Um wieviel muß das 50 cm lange Pendel verkürzt werden, damit die Uhr richtig geht?

59. Ein zylindrischer Körper von 20 cm Durchmesser hängt an einem 40 cm langen Faden, der am Umfang des Zylinders befestigt ist, und schwingt als physisches Pendel. Berechnen Sie die Periodendauer (Bild 4)!

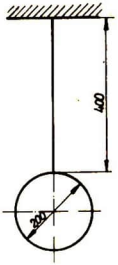

Bild 4

60. Zwei Sinusschwingungen von gleicher Frequenz und 4 cm Amplitude überlagern sich. Die zweite beginnt $T/6$ später als die erste. Wie groß ist die Elongation der Resultierenden zur Zeit $2\,T/3$ nach Beginn der zweiten Schwingung, wenn beide Schwingungen innerhalb der gleichen Geraden verlaufen?

61. Ein Geschoß von 12 g Masse verläßt den Lauf eines Gewehres (Masse 4,8 kg) mit einer Geschwindigkeit von 530 m/s. Welche mittlere Kraft tritt während des Rückstoßes auf, wenn sich das Gewehr 4 cm zurückbewegen kann?

62. Bei der Messung der Oberflächenspannung nach der Abreißmethode mußte die Waage mit 886 mg belastet werden, bis die Wasserhaut am Draht abriß. Welcher Wert ergibt sich für die Oberflächenspannung des Wassers, wenn der Draht 58,7 mm lang war?

63. Die kapillare Steighöhe des Wassers in mittel- und feinkörnigen Sandböden wird mit etwa 40 cm angegeben. Welchen mittleren Durchmesser haben die Bodenkapillaren, wenn die Oberflächenspannung des Wassers 74 mN/m beträgt?

64. Das zylindrische Gefäß eines Bodendruckapparates (zum Nachweis des hydrostatischen Paradoxons) enthält, wenn es bis oben gefüllt ist, 125 cm^3 Wasser. Das sich nach oben erweiternde Gefäß faßt 500 cm^3 und das sich verengende Gefäß 75 cm^3 Wasser.

1. Wie groß ist in den drei Fällen das Gewicht des Wassers, und wie groß ist die auf den Boden wirkende Kraft?
2. Wie groß ist der Schweredruck am Boden, wenn die Gefäße bis zu einer Höhe von 25 cm gefüllt sind?
3. Wie ändert sich der Schweredruck am Boden, wenn an das sich verengende Gefäß mit einem Schlauchstück ein 1 m langes, dünnes Glasrohr senkrecht angesetzt und ebenfalls mit Wasser gefüllt wird?

65. Ein hydraulischer Wagenheber soll Kraftwagen bis zu einer Masse von 2,5 t heben. Welchen Durchmesser muß der Arbeitskolben mindestens haben, wenn der Durchmesser des Druckkolbens 3 cm beträgt und wenn auf den Druckkolben eine Kraft von 36 kp wirkt?

66. Ein Holzquader, der in ein mit Wasser gefülltes Überlaufgefäß geworfen wird, verdrängt 320 cm^3 Wasser. Wie groß ist die Masse des Holzquaders?

67. Ein Würfel aus Messing (Dichte 8,9 g/cm^3), dessen Kantenlänge 2 cm beträgt, schwimmt auf Quecksilber (Dichte 13,6 g/cm^3). Wie tief taucht er bei gerader Schwimmlage ein?

68. Auf einer Briefwaage steht ein Meßglas mit einer Masse von 65 g. In das Meßglas werden 50 cm^3 Wasser gegossen. Anschließend wird ein Leichtmetallzylinder an eine Federwaage gehängt und in das Wasser getaucht.
    1. Welches Gewicht zeigt die Briefwaage an, wenn der Zylinder eine Masse von 76 g hat und seine Dichte 2,71 g/cm^3 beträgt?
    2. Welches Gewicht zeigt die Federwaage nach dem Eintauchen des Körpers an?
    3. Welches Gewicht zeigt die Briefwaage an, wenn der Metallzylinder auf dem Boden des Meßglases liegt?

69. Wieviel Prozent seines Gewichtes verliert ein Stück Uran in Wasser, wenn seine Dichte 18,7 g/cm^3 beträgt?
    Wie groß ist sein Gewichtsverlust, wenn es in Petroleum (Dichte 0,8 g/cm^3) eingetaucht wird?

70. Um die Dichte eines schwimmenden Körpers nach dem Archimedischen Prinzip zu bestimmen, verbindet man ihn mit einem Körper, der schwerer als Wasser ist.
    Ein Stück Kork hat eine Masse von 13,30 g, ein Stück Eisen eine solche von 76,25 g. In Wasser getaucht belastet das Eisenstück die Federwaage mit 66,50 p. Beide Stücke zusammen wiegen in Wasser 26,60 p.
    1. Wie groß ist die Dichte des Korks?
    2. Kann die Dichte des Korks auch bestimmt werden, wenn die Masse des Eisens nicht bekannt ist?

71. Ein Stück Granit hat in Luft das Gewicht G_1, in Wasser das Gewicht G_2 und in Benzol das Gewicht G_3. Berechnen Sie die Dichte des Granits und die des Benzols!

72. In Leipzig (116 m) wird mit dem Quecksilberbarometer ein Luftdruck von 720 Torr gemessen. Wie hoch ist der auf Meereshöhe reduzierte Barometerstand in Torr und Millibar?

73. Welcher Druck herrscht in einer Stadtgas-Leitung, wenn ein offenes Wassermanometer bei einem Luftdruck von 742 Torr einen Überdruck von 115 mmWS anzeigt? Welchen Wert würde das Manometer in einem um 10,5 m höher gelegenen Stockwerk anzeigen?

74. Mit Hilfe von Radiosondenballonen erhalten die Meteorologen des Meteorologischen und Hydrologischen Dienstes der DDR Meßwerte über Druck, Temperatur und Feuchtigkeit aus den höheren atmosphärischen Schichten.
    1. Wie groß ist die Tragkraft eines Radiosondenballons von 2 m Durchmesser in Luft (Dichte 1,29 kg/m³), wenn er mit Wasserstoff (Dichte 0,09 kg/m³) gefüllt ist?
    2. Welche Tragkraft ergibt sich für den gleichen Radiosondenballon in Luft, wenn er mit Helium (Dichte 0,18 kg/m³) gefüllt ist?

75. Die Masse eines Würfels von 30,00 mm Kantenlänge wird auf einer Waage mit 60,00 g ermittelt. Die Wägestücke sind aus Messing von der Dichte 8,40 g/cm³. Reduzieren Sie diese Wägung auf das Vakuum! Luftdichte 1,25 kg/m³.

76. 1. Welche Wassermenge fließt in einer Minute aus einer 5 mm² großen Öffnung eines dünnwandigen Behälters, wenn eine konstante Druckhöhe von 800 mmWS vorliegt?
    2. Auf welche Höhe muß der Wasserspiegel verringert werden, damit die Stromstärke des ausfließenden Wassers nur halb so groß ist?

    Die Fallbeschleunigung soll mit 10 m/s² angenommen werden. Die tatsächliche Ausflußmenge soll 64% der theoretischen betragen.

77. Ein Behälter hat in seiner senkrechten Seitenwand eine Bohrung, aus der Wasser in waagerechter Richtung ausströmt, das auf eine 2 m tiefer liegende, ebene Platte auftrifft.
    1. Auf das Wievielfache erhöht sich die Ausströmgeschwindigkeit des Wassers, wenn die Höhe der Flüssigkeitssäule über der Bohrung verdreifacht wird?
    2. Hängt die Zeit, die ein einzelner Wassertropfen für den Weg Bohrung—Platte benötigt, von der Ausströmgeschwindigkeit ab? Der Luftwiderstand ist zu vernachlässigen.

78. Bei einem schweren Sturm wird ein Staudruck von 59,4 kp/m² gemessen. Wie groß ist die Windgeschwindigkeit?
Auf wieviel Torr sinkt der Luftdruck, wenn er vorher 755 Torr betrug? Luftdichte 1,293 kg/m³.

79. Aus dem Strahlrohr einer Feuerwehrschlauchleitung von 75 mm Durchmesser wird Wasser mit der Stromstärke 0,45 m³/min geworfen. Die Bohrung des Strahlrohrs verengt sich vom Schlauchanschluß bis zum Mundstück auf 18 mm Durchmesser. Für das geschliffene Mundstück (Düse) wird die Ausflußzahl 1 angenommen. Berechnen Sie

1. die Austrittsgeschwindigkeit des Wassers aus dem Strahlrohr,
2. den dynamischen Druck in dem austretenden Wasserstrahl,
3. den statischen Druck im Schlauch!

80. Mit welcher konstanten Geschwindigkeit sinkt ein Fallschirm von 7 m Durchmesser nach unten, wenn er mit dem daranhängenden Piloten eine Masse von 80 kg hat? Widerstandszahl 1,3, Luftdichte 1,3 kg/m³.

3.2. Wärmelehre

81. Bei einem Versuch zur Bestimmung des Längenausdehnungskoeffizienten von Glas wurde Wasserdampf von 100 °C durch ein 700 mm langes Glasrohr geleitet. Das Glasrohr, das an einem Ende fest in einem Lager ruht und am anderen Ende gegen einen Winkelhebel drückt, dehnt sich dabei um 0,48 mm aus. Welcher Wert ergibt sich für den Längenausdehnungskoeffizienten, wenn das Glasrohr ursprünglich eine Temperatur von 24 °C hatte?

82. Der Außendurchmesser eines Holzrades beträgt 1160 mm, der dazugehörige Stahlreifen hat einen Innendurchmesser von 1153 mm. Auf welche Temperatur muß der Reifen mindestens erhitzt werden, damit er auf das Rad aufgezogen werden kann? Die Arbeitstemperatur beträgt 26 °C, der Längenausdehnungskoeffizient des Eisens $13 \cdot 10^{-6}$ grd^{-1}.

83. Von einem Fernheizwerk aus soll eine Heißwasserleitung von 600 mm Innendurchmesser bei rund 20 °C spannungsfrei verlegt werden. Es wird angenommen, daß sich die Leitung im Betrieb auf 180 °C erwärmt. In welchen Abständen müssen in die Rohrleitung Faltrohrbögen (Knie) eingebaut werden, wenn bei einem Rohrstrang die Längenzunahme des heißen Rohres infolge Wärmeausdehnung 20 cm nicht überschreiten soll und der Ausdehnungskoeffizient $12{,}5 \cdot 10^{-6}$ grd^{-1} beträgt?

84. Wie groß ist die Dichte des Glyzerins bei 100 °C, wenn sie bei 20 °C 1,26 g/cm³ beträgt? Der Raumausdehnungskoeffizient des Glyzerins ist $4{,}9 \cdot 10^{-4}$ grd^{-1}.

85. In einem abgeschlossenen Behälter herrscht bei einer Temperatur von 30 °C ein Gasdruck von 7 at. Wie ändert sich der Druck, wenn der Behälter auf 0 °C abgekühlt wird?

86. Ein Kupfertopf (Masse 1,15 kg) wird von 20 °C auf 100 °C erwärmt. Die spezifische Wärme des Kupfers beträgt 0,092 kcal/kg grd.
    1. Wie groß ist die zugeführte Wärmemenge?
    2. Welche Wärmekapazität hat der Kupfertopf?

87. Um die spezifische Wärme einer Flüssigkeit zu bestimmen, erwärmt man sie ebensolange wie die gleiche Menge Wasser. Anfangs- und Endtemperaturen werden gemessen. Nach welcher Gleichung kann die spezifische Wärme der Flüssigkeit berechnet werden?

88. In einem Kalorimetergefäß werden 150 g Wasser von 17 °C und 65 g Wasser von 45 °C miteinander vermischt. Das Thermometer zeigt die Mischungstemperatur 25 °C an. Wie groß ist die Wärmekapazität des Kalorimeters?

89. 400 g Wasser von 52 °C und 300 g Erde von 16 °C ergeben eine Mischungstemperatur von 46 °C. Wie hoch ist die spezifische Wärme des Erdbodens?
    Die Wärmekapazität des Mischgefäßes soll vernachlässigt werden.

90. Der Dieselmotor eines Küstenmotorschiffes hat eine Nutzleistung von 1 MW bei einer Drehzahl von 210/min. Wieviel Kilogramm Dieselkraftstoff benötigt der Dieselmotor stündlich, wenn er mit einem Gesamtwirkungsgrad von 37% arbeitet und der untere Heizwert des Dieselkraftstoffs 10000 kcal/kg beträgt?

91. 1. Welche Masse hat die Luft in einem Raum von 9 m Länge, 6 m Breite und 3,20 m Höhe bei 10 °C und 745 Torr?
    2. Welche Wärmemenge ist erforderlich, um die Luft in diesem Raum gleichmäßig auf 20 °C zu erwärmen?
    Die spezifische Wärme der Luft beträgt 0,171 kcal/kg grd.

92. 3,00 kg Kupfer und 3,00 kg Aluminium von 18 °C sollen geschmolzen werden. Welche Wärmemenge ist in beiden Fällen erforderlich?
    Werte für Kupfer: spezifische Wärme: 0,092 kcal/kg grd,
    Schmelzpunkt: 1083 °C,
    spez. Schmelzwärme: 48,9 kcal/kg
    Werte für Aluminium: spezifische Wärme: 0,214 kcal/kg grd,
    Schmelzpunkt: 659 °C,
    spez. Schmelzwärme: 94,6 kcal/kg

93. In Wasser von der Masse m_1 und der Temperatur t_1 bringt man Eis mit der Masse m_2 und der Temperatur $t_2 = 0$ °C. Nachdem das

Eis völlig geschmolzen ist, beträgt die Mischtemperatur t_m. Stellen Sie die Gleichung für die spezifische Schmelzwärme des Eises auf!

94. Um die spezifische Kondensationswärme des Wassers zu bestimmen — sie ist gleich der spezifischen Verdampfungswärme — leitet man Wasserdampf in ein Kalorimeter, in dem sich Wasser von bekannter Masse und Temperatur befindet. Die Mischtemperatur wird gemessen, und aus der Massenzunahme der Wassermenge wird die kondensierte Dampfmenge berechnet.
Beispiel: 200 g Wasser von 25 °C und 15,1 g Wasserdampf von 100 °C ergeben die Mischtemperatur 68 °C. Wie groß ist nach diesem Versuch die spezifische Kondensationswärme des Wassers?

95. Wie hoch sind absolute und relative Luftfeuchte, wenn die Lufttemperatur 18 °C beträgt und der Taupunkt bei 12 °C liegt? (s. Tafel Lbf. Thermodynamik).

96. Die Luft in einer Küche (3,20 m lang, 2,50 m breit, 2,50 m hoch) ist bei 22 °C mit Wasserdampf gesättigt.
    1. Wie groß ist die in der Küche enthaltene Wasserdampfmenge?
    2. Wieviel Wasser schlägt sich nieder, wenn eine Abkühlung auf 8 °C eintritt?

    (s. Tafel Lbf. Thermodynamik).

97. Die Brennstoffelemente des thermischen Kernreaktors RFT haben eine Oberflächentemperatur von 303 °C und geben je Stunde und Quadratmeter eine Wärmemenge von 55 Mcal ab. Wie groß ist die Wärmeübergangszahl, wenn das die Wärme abführende Kühlwasser die Temperatur 271 °C hat?

98. Ein zylinderförmiger Warmwasserspeicher hat einen inneren Radius von 0,50 m, eine Höhe von 1,00 m und eine Wanddicke von 0,05 m. Das Wandmaterial hat die Wärmeleitfähigkeit 0,02 kcal/m h grd. Im Speicher soll bei der Außentemperatur 20 °C die Wassertemperatur 90 °C aufrechterhalten werden. Welche Stadtgasmenge wird je Stunde verbraucht, wenn der untere Heizwert des Stadtgases 3500 kcal/m³ und der Wirkungsgrad der Heizanlage 85% betragen?

99. Auf welches Volumen können 6 m³ Sauerstoff, die bei 20 °C unter einem Druck von 760 Torr stehen, isotherm komprimiert werden, wenn eine mechanische Energie von 0,25 kWh zur Verfügung steht?

100. Welche Temperatur nehmen 0,1 m³ Stickstoff, die bei 27 °C unter einem Druck von 736 Torr stehen, an, wenn das Gas adiabatisch auf einen Überdruck von 14 at komprimiert wird?

101. Welche Gefrierpunktserniedrigung tritt ein, wenn 30 g Kochsalz in 140 g Wasser gelöst sind und vollständige Dissoziation vorausgesetzt wird?

102. Eine Tonbandanlage arbeitet mit den Bandgeschwindigkeiten 38,1 cm/s und 19,05 cm/s.
   1. Wieviel Perioden werden auf 1 cm Bandlänge bei einer Frequenz von 50 Hz und einer Bandgeschwindigkeit von 19,05 cm/s aufgezeichnet?
   2. Wieviel Perioden werden auf 1 cm Bandlänge bei einer Frequenz von 15 kHz und einer Bandgeschwindigkeit von 38,1 cm/s aufgezeichnet?
   3. Wieviel Perioden werden auf 1 cm Bandlänge bei einer Frequenz von 440 Hz und einer Bandgeschwindigkeit von 19,05 cm/s aufgezeichnet?

103. Wie lang ist eine Rohrleitung aus Eisen (Elastizitätsmodul 21000 kp/mm², Dichte 7,85 g/cm³), wenn der Schall eines Schlages, der an einem Ende auf die Leitung ausgeübt wird, am anderen Ende der Rohrwand 1,7 s früher als in der Luft zu hören ist? Lufttemperatur 15 °C.

104. Ein Geschoß legt bis zur Zielscheibe eine Strecke s zurück. Welche mittlere Geschwindigkeit hatte das Geschoß, wenn, am Abschußort gemessen, die Zeit t vom Abschuß bis zur Wahrnehmung des Einschlags vergeht?

105. Um wieviel Prozent ist die Wellenlänge eines Tones in Luft bei 30 °C größer als bei 0 °C?

106. In welchem Verhältnis steht die Schallgeschwindigkeit in Aluminium (Elastizitätsmodul 7000 kp/mm², Dichte 2,7 g/cm³) zu der in Luft (340 m/s)?

107. Bei einer gespannten Stahlsaite (Dichte 7,8 g/cm³) von 50 cm Länge und 1,0 mm Durchmesser beträgt die Wellenlänge der Grundschwingung in Luft 2,1 m. Mit welcher Kraft ist die Saite gespannt?

108. Eine Schallquelle sendet Schallwellen von 4,0 m Wellenlänge aus, eine zweite solche von 3,9 m Wellenlänge. Wieviel Schwebungen nimmt ein ruhender Beobachter während 1 s wahr?

109. Von einem Streichinstrument geht bei Raumtemperatur (18 °C) ein Ton mit einer Wellenlänge von 9,73 cm aus. Wieviel Oberschwingungen dieses Tones liegen noch im Hörbereich?

110. Ein zur Geschwindigkeitsmessung von Kraftfahrzeugen eingesetztes Radargerät sendet eine elektromagnetische Welle mit einer Frequenz von 9375 MHz aus. Die Überlagerung der vom Radargerät nach allen Seiten ausgesandten elektromagnetischen Wellen mit den von einem davonfahrenden Kraftwagen reflektierten Wellen liefert eine Schwebung mit einer Frequenz von 1250 Hz. Welche Geschwindigkeit ergibt sich daraus für den Kraftwagen?

111. Ein Flugzeug fliegt mit einer Geschwindigkeit von 250 km/h. Durch Echolotung soll die Höhe des Flugzeugs bestimmt werden. Wie hoch fliegt das Flugzeug, wenn der Schall nach 3,0 s von der Erde zurückkehrt?

112. Echograf-Anlagen werden als hydroakustische Geräte auf Schiffen zur Bestimmung von Meerestiefen bis zu 2000 m verwendet. Wie groß ist die Meerestiefe, wenn der Echograf die Zeitdifferenz von 1,50 s zwischen Aussendung und Empfang des akustischen Signals registriert? Die Schallgeschwindigkeit in Wasser beträgt 1485 m/s.

113. 1. Wie weit ist die Küste von einem Schiff entfernt, wenn der vom Sender des Radargeräts abgestrahlte und von der Küste reflektierte Impuls nach 200 μs vom Empfangsteil wieder aufgenommen wird?
    2. Mit welcher Frequenz arbeitet das Sendegerät, wenn die Wellenlänge der ausgesandten elektromagnetischen Wellen 3,20 cm beträgt?

114. Die Lautstärke eines Maschinengeräusches mit der mittleren Frequenz 1 kHz wird zu 90 phon gemessen.
    1. Wie groß ist die Schallstärke?
    2. Wie groß ist der effektive Schalldruck?

    Luftdichte: 1,293 kg/m³, Schallgeschwindigkeit: 340 m/s.

115. 1. Wie groß ist die Gitterkonstante eines Beugungsgitters, wenn der Abstand des Gitters von der Fotoplatte 2075 mm, der Abstand der beiden Beugungsmaxima 1. Ordnung 480 mm betragen und das Licht eine Wellenlänge von 176,7 nm hat?
    2. Wieviele Striche kommen auf 1 mm des Beugungsgitters?

116. Ein Infrarot-Gitter-Spektroskop besteht aus einer Strahlungsquelle, die langwellige Infrarotstrahlung (50 μm bis 1000 μm) aussendet, einem Beugungsgitter und einem Thermoelement als Empfänger. Wie groß ist der Abstand der beiden ersten Beugungsmaxima, wenn die Gitterkonstante des Gitters 2 mm und der Abstand des Gitters vom Empfänger 2000 mm betragen? Die verwendete Infrarotstrahlung hat eine Wellenlänge von 500 μm.

117. Die Wellenlänge monochromatischen roten Lichts soll mit Hilfe der Beugung an einem 0,15 mm breiten Spalt ermittelt werden. Der Schirmabstand beträgt 1,8 m, der Abstand der beiden dunklen Streifen 3. Ordnung voneinander 5 cm. Wie groß ist die Wellenlänge des roten Lichts?

118. Eine Lichtquelle hat die Lichtstärke 60 cd und soll so aufgestellt werden, daß die beleuchtete Fläche die Beleuchtungsstärke 40 lx hat. Wieviel Meter entfernt ist die Lichtquelle anzubringen? Es wird senkrechter Lichteinfall angenommen.

119. Für das Lesen und Schreiben wird als Mindestwert der Beleuchtungsstärke 50 lx angegeben. Wieviel Watt muß demzufolge eine Tischlampe haben, wenn man als mittlere Entfernung der Lampe vom Buch 0,8 m annimmt und das Licht unter einem Winkel von 60° — vom Einfallot gemessen — einfällt? Für die Rechnung sind die Lichtverteilungskurve und die Tafel „Lichtstrom und Lichtausbeute elektrischer Glühlampen" im Lehrbrief Wellenlehre — Akustik — Optik heranzuziehen.

120. Die Quecksilber-Hochdrucklampe HQL 250 W erzeugt einen Lichtstrom von 10000 lm. Eine solche Lampe hängt in 7 m Höhe über einem Bahnhofsvorplatz.
    1. Welche Beleuchtungsstärke ergibt sich senkrecht unter der Lampe?
    2. Wieviel Meter seitlich von der Lampe besteht noch eine Beleuchtungsstärke von 10 lx?

121. Mit einer 500-W-Glühlampe, deren Lichtverteilung der Normallichtverteilungskurve entspricht, wird eine Fläche von 4 m^2 beleuchtet, die in Achsrichtung in 3 m Entfernung senkrecht zur Richtung des einfallenden Lichts liegt. Um welchen Faktor kann die Beleuchtungsstärke der Fläche durch Verwendung eines (idealen) Scheinwerfers gesteigert werden, der den gesamten Lichtstrom der Lampe auf die zu beleuchtende Fläche richtet?

122. Die Xenon-Lampe „Sirius" erzeugt bei einer Leistung von 300 kW eine Lichtstärke von $15 \cdot 10^6$ cd. Wie groß ist die Beleuchtungsstärke
    1. unmittelbar unter der Lampe,
    2. 100 m seitlich von der Lampe,
    wenn die Lampe in einer Höhe von 70 m aufgehängt ist?

3.4. Elektrik

123. Ein Elektromotor ist an ein Netz von 220 V angeschlossen und nimmt den Strom 25 A auf. Die Entfernung vom Netzanschluß beträgt 70 m.
    1. Die bestehende Kupferleitung von 10 mm^2 Querschnitt soll durch eine Aluminiumleitung von gleichem Widerstand ersetzt werden. Welchen Querschnitt muß die Aluminiumleitung haben? Spezifische Widerstände s. Lehrbrief Elektrik!
    2. Wie groß sind die Massen der Kupferleitung (Dichte 8,9 g/cm^3) und der Aluminiumleitung (Dichte 2,7 g/cm^3)?
    3. Wie groß ist der Spannungsabfall in der Leitung?

124. Eine bestehende Kupferleitung von 6,0 mm² Querschnitt und 300 m Länge soll durch eine parallelgeschaltete Aluminiumleitung verstärkt werden. Welchen Durchmesser muß die Aluminiumleitung mindestens haben, wenn der gemeinsame Widerstand beider Leitungen 0,5 Ω betragen soll? Spezifische Widerstände s. Lehrbrief Elektrik!

125. Wie lang muß der Heizdraht eines Elektroheizofens 220 V, 1 kW sein? Es wird Chromnickeldraht von 0,5 mm Durchmesser verwendet, der im Betriebszustand den spezifischen Widerstand 1,2 Ω mm²/m hat.

126. In einem Stromkreis sind an eine Spannungsquelle mit der Urspannung 2 V zwei hintereinandergeschaltete Widerstände gelegt. Der innere Widerstand der Spannungsquelle beträgt 0,8 Ω. Die beiden äußeren Widerstände betragen 3 Ω und 5 Ω.
    1. Wie groß ist die Klemmenspannung?
    2. Wie groß sind die Spannungsabfälle in den beiden äußeren Widerständen?

127. Einem Bleisammler mit 12 Zellen wird ein Strom von 4 A entnommen. Während der Belastung beträgt die Klemmenspannung des Sammlers 21,8 V, unbelastet wird sie zu 24,2 V gemessen. Wie groß ist der durchschnittliche innere Widerstand je Zelle bei der angegebenen Belastung?

128. Ein 12-V-Bleiakkumulator hat die Ladekapazität 40 Ah.
    1. Wie groß ist die theoretisch in der Batterie gespeicherte Energie?
    2. Wie lange dauert die Aufladung mit 12,5 V und der Ladestromstärke 2 A, nachdem die Hälfte der gespeicherten Energie entnommen worden war? Energiewirkungsgrad 74%.

129. An einem Netz von 220 V sind eine Glühlampe mit 484 Ω Widerstand, eine elektrolytische Anlage, die mit einer Stromstärke von 20 A arbeitet, und ein Motor mit 55 Ω Widerstand parallelgeschaltet.
    1. Wie groß ist die Gesamtstromstärke in der Zuleitung?
    2. Wie groß ist der Ersatzwiderstand der drei Einzelwiderstände?

130. Die elektrische Anlage in einer Wohnung ist an ein Netz von 220 V angeschlossen und mit 6 A abgesichert.
    1. Welche Stärke hat der Strom bei gleichzeitigem Anschluß von 4 Glühlampen mit je 40 W, einem Bügeleisen von 440 W und einem Tauchsieder mit einer Stromaufnahme von 1 A?
    2. Wie hoch sind die Kosten, wenn alle 6 Verbraucher gleichzeitig 2 h in Betrieb sind und eine Kilowattstunde 0,08 M kostet?
    3. Welche elektrische Leistung darf dem Netz höchstens entnommen werden?

131. Ein Gleichstrommotor arbeitet mit einem Wirkungsgrad von 80% und nimmt bei 220 V einen Strom von 10 A auf.
   1. Welche Leistung gibt der Motor ab?
   2. Wie hoch sind die Kosten für einen achtstündigen Betrieb des Motors, wenn 1 kWh 0,08 M kostet?

132. In einem Projektionsapparat befindet sich eine 100-W-Glühlampe für 75 V.
   1. Welcher Vorschaltwiderstand ist beim Anschluß an 220 V erforderlich?
   2. Welche elektrische Energie wird bei dreistündigem Betrieb im Vorschaltwiderstand umgesetzt?

133. Berechnen Sie für die in Bild 5 gegebene Schaltung sämtliche Stromstärken!

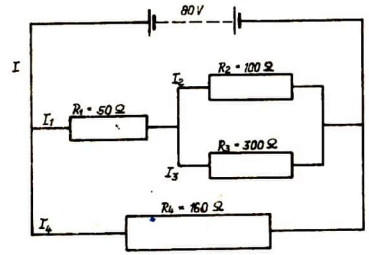

Bild 5

134. Mit einem Kran soll ein Maschinenteil mit einer Masse von 600 kg in 8 s 3 m hoch gehoben werden. Die zur Beschleunigung der Last erforderliche Kraft wird nicht berücksichtigt.
   1. Welche Leistung muß der Motor aufnehmen, wenn die Krananlage einen Wirkungsgrad von 70% hat und der Wirkungsgrad des Motors 80% beträgt?
   2. Welche Stromstärke nimmt der Gleichstrommotor bei 380 V auf?

135. Mit einem Tauchsieder von 500 W wurde in 14 min 50 s 1 l Wasser von 5 °C zum Sieden gebracht. Wieviel Prozent der erzeugten Wärme wurden hierbei ausgenutzt?

136. Zur Beheizung eines Elektrodampfkessels sind stündlich 80 Mcal erforderlich. Wie groß ist die Stromaufnahme des Heizwiderstandes, wenn der Wirkungsgrad des Kessels mit 93% angegeben ist? Die Anschlußspannung beträgt 600 V.

137. Ein Plattenkondensator mit einem Plattenabstand von 0,8 mm soll für eine Kapazität von 100 pF gebaut werden.
   1. Wie groß muß die Plattenfläche sein, wenn Luft als Dielektrikum dient?
   2. Welche Plattenfläche ergibt sich bei Glimmer als Dielektrikum? Dielektrizitätskonstante des Glimmers: 8.

138. Für die Kapazität eines Zylinderkondensators

$$C = \frac{2\pi\varepsilon_0 l}{\ln\frac{r_a}{r_i}}$$

ist eine zugeschnittene Größengleichung mit $C/_{pF}$ und $l/_{cm}$ aufzustellen.

139. Wie schwer wäre ein Kondensator, in dem man die elektrische Energie 1 kWh bei der Spannung 1 kV speichern könnte, wenn 50 g Masse für eine Kapazität von 1 μF angesetzt werden?

140. Stellen Sie das Coulombsche Gesetz als zugeschnittene Größengleichung mit $Q/_{nC}$, $r/_{cm}$ und $F/_{p}$ dar!

141. In einer 12 cm langen Spule mit 180 Windungen soll ein magnetisches Feld der Stärke 6 kA/m erzeugt werden. Welche Stromstärke ist dazu erforderlich?

142. Eine Drehspule von rechteckiger Form ($a = 2$ cm, $b = 3$ cm) wird von einem Magnetfeld der magnetischen Induktion 0,38 T durchsetzt (Bild 6). Die Spule hat 120 Windungen. Die Spulennormale schließt mit der Feldlinienrichtung den Winkel φ ein. Die Spule führt einen Strom der Stärke 4 A. Wie groß ist das Drehmoment in Abhängigkeit vom Winkel φ? Für den Winkelbereich von 0 bis 180° (in Abständen von 30°) sind die Drehmomentenwerte zu errechnen.

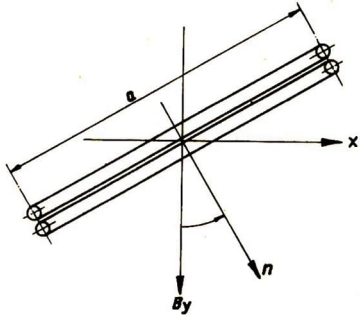

Bild 6
φ ist der Winkel zwischen B_y und n

143. Vier Leiterstücke von je 3,2 cm Länge, die ein Quadrat einschließen, führen einen Strom der Stärke 100 A. Der Drahtquerschnitt beträgt 40 mm². Senkrecht zur quadratischen Fläche wirkt ein homogenes Magnetfeld der magnetischen Induktion 0,6 T. Flußdichtevektor und Umlaufsinn des Stromes bilden eine Rechtsschraube. Wie groß ist die mechanische Spannung im Draht?

144. Formulieren Sie die Abhängigkeit der kinetischen Energie von der Geschwindigkeit für

1. Elektronen,
2. Protonen

als zugeschnittene Größengleichung (W/eV, $v/\mathrm{km\ s^{-1}}$)!

145. Ein Schwingkreis besteht aus einer Spule mit einer Induktivität von 100 mH und einem Plattenkondensator, dessen kreisförmige Platten den Durchmesser 26 cm haben. Der Plattenabstand beträgt 0,1 mm, als Dielektrikum dient Glimmer (Dielektrizitätskonstante 8). Wie groß sind die Periodendauer und die Frequenz des Schwingkreises?

146. Ein Kondensator der Kapazität 10 nF, der mit einer Spule einen Schwingkreis der Frequenz 20 kHz bildet, wird auf eine Spannung von 200 V gebracht, bevor die Schwingung durch den Schalter (Bild 7) in Gang gesetzt wird.

1. Wie groß ist die Induktivität der Spule?
2. Wie groß ist die Energie des Schwingkreises?
3. Welche maximale Stromstärke tritt auf?

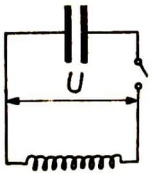

Bild 7

3.5. Atomphysik

147. Wie groß ist die Masse eines Wismutatoms? Wismut hat die relative Atommasse 209.

148. Wie groß ist der Durchmesser des Thoriumatoms, wenn angenommen wird, daß das Atom würfelförmig ist, Kantenlänge und Durchmesser gleich groß sind und die elementaren „Thoriumwürfel" den Raum kontinuierlich ausfüllen? Th 232 hat die relative Atommasse 232,12 und eine Dichte von 11,71 g/cm³.

149. Ein Massenspektrometer hat im Analysatorraum einen Druck von etwa 10^{-6} Torr. Wieviel Moleküle sind bei diesem Druck in 1 cm^3 des Hochvakuums enthalten?

150. Welche Energie hat ein Quant der Röntgenstrahlung mit der Frequenz $3 \cdot 10^{18}$ Hz?

151. Im mittleren Teil eines Brutreaktors befinden sich ca. 50 kg hochangereichertes Uran U 235 in Form von Stäben. Welche Energie (in MeV und kWh) würde bei der Spaltung der angegebenen Uranmenge theoretisch frei, wenn angenommen wird, daß es sich um reines Uran U 235 handelt und je Spaltprozeß eine Energie von 195 MeV frei wird?

152. Wie groß ist die Geschwindigkeit eines Protons, dessen Energie 680 MeV beträgt? Die relativistische Massenzunahme soll nicht berücksichtigt werden.

153. Das Radionuklid Cr 51 wird zur Untersuchung des Verschleißes von Maschinenteilen aus Metall verwendet. Dabei wird es z. B. als radioaktiver Probekörper in das Metall eingesetzt, und die Aktivität wird in bestimmten Abständen gemessen. Cr 51 zerfällt mit einer Halbwertszeit von 27,8 d unter Ausendung von γ-Strahlung mit einer Energie von 0,32 MeV. Wie groß ist die Wellenlänge der auftretenden γ-Strahlung?

154. 1. Wieviel Gramm Co 60 sind erforderlich, um eine Aktivität von 1,3 Ci zu erreichen? Die Halbwertzeit von Co 60 beträgt 5,3 a.
    2. Wieviel Gramm Co 60 sind nach 300 d noch vorhanden?

155. Eine Strahlungsquelle enthält das Radionuklid Ir 192 (Halbwertzeit 74,5 d) und hat eine Aktivität von 16 Ci. Wieviel Zerfallsakte erfolgen in 1 s?

156. Welche Energie wird bei der vollständigen Fusion von 1 g Wasserstoff zu Helium frei?

157. Die Kernreaktion

$$ {}_1^2\mathrm{D} + {}_1^2\mathrm{D} \longrightarrow {}_2^3\mathrm{He} + {}_0^1\mathrm{n}, $$

die beim Zusammenstoß zweier Deuteronen abläuft, hat praktische Bedeutung als Neutronenquelle bestimmter Energie. Wie groß ist die Energie der bei der Reaktion ausgelösten Neutronen, wenn die Massen

$$ \begin{array}{ll} {}_1^2\mathrm{D} & 2{,}014\,10\ \mathrm{u} \\ {}_2^3\mathrm{He} & 3{,}016\,03\ \mathrm{u} \\ {}_0^1\mathrm{n} & 1{,}008\,66\ \mathrm{u} \end{array} $$

betragen und der Wert der atomphysikalischen Masseneinheit

$$ \mathrm{u} = 1{,}660\,277 \cdot 10^{-27}\ \mathrm{kg} $$

ist.

158. Bei der Kernspaltung von U 235 ergibt sich eine Gesamtenergie von etwa 190 MeV, wobei die Energie der γ-Strahlung der Spaltprodukte 5 MeV beträgt.
   1. Welche Masse hat ein γ-Quant der Energie 5 MeV?
   2. Wieviel Elektronenruhmassen beträgt die Masse des γ-Quants?

159. Der Prozeß

$$^{2}_{1}\mathrm{D}\ (\gamma, \mathrm{n})\ ^{1}_{1}\mathrm{H}$$

ist der von Chadwick erstmalig beobachtete Kernphotoeffekt, die Spaltung des Deuterons in Proton und Neutron durch γ-Strahlen mit einer Energie von mindestens 2,19 MeV. Aus der Reaktionsgleichung ist die Neutronenmasse zu berechnen.
Relative Atommassen:

$^{2}_{1}\mathrm{D}$ 2,014 10
$^{1}_{1}\mathrm{H}$ 1,007 83

160. Die Reaktion

$$^{7}_{3}\mathrm{Li}\ (\mathrm{p}, \gamma)\ ^{8}_{4}\mathrm{Be}$$

war bis zur Erfindung des Betatrons die Quelle für γ-Strahlen sehr hoher Energie.
   1. Welche Energie (in MeV) hat die bei der Reaktion freiwerdende γ-Strahlung?
   2. Wie groß ist die Wellenlänge der γ-Strahlung?

Relative Atommassen:

$^{7}_{3}\mathrm{Li}$ 7,016 00
$^{8}_{4}\mathrm{Be}$ 8,005 35
$^{1}_{1}\mathrm{H}$ 1,007 83

3.6. Komplexaufgaben

161. Beim Landen eines Flugzeugs werden etwa 80% der kinetischen Energie durch die Radbremsen, die restlichen 20% durch den Luftwiderstand aufgenommen.
   1. Wie groß ist die in den Rädern aufzuwendende Bremsarbeit, wenn die Masse des Flugzeugs 30 t und die Landegeschwindigkeit 200 km/h betragen?
   2. Welche Wärmeenergie muß von einem Bugrad aufgenommen werden, auf das 33% der unter 1. errechneten Bremsarbeit entfallen?

162. Ein Eisenbahnzug mit einer Gesamtmasse von 800 t soll aus dem Stand auf eine Geschwindigkeit von 70 km/h beschleunigt werden. Wieviel Kilogramm Briketts (Heizwert 4800 kcal/kg) sind dazu erforderlich, wenn der Wirkungsgrad der Lokomotive 12% beträgt? Die Reibung soll vernachlässigt werden.

163. Das Pumpspeicherwerk Niederwartha bei Dresden speichert maximal 590 MWh effektive Elektroenergie. Hierzu werden in Schwachlastzeiten mit überschüssiger Elektroenergie $2 \cdot 10^6$ m³ Wasser in das 145 m hoch gelegene Sammelbecken gepumpt. Die potentielle Energie des Wassers wird in Spitzenbelastungszeiten wieder in Elektroenergie umgewandelt.

1. Wie groß ist der Wirkungsgrad des Wasserkraftwerkes?
2. Mit welcher Geschwindigkeit strömt das Wasser in einem Fallrohr von 2,9 m Innendurchmesser, wenn die Stromstärke 38 m³/s beträgt?
3. Wie lange kann das Speicherwerk bei voller Leistung (3 Fallrohre für 6 Turbinen) Elektroenergie liefern?

164. Ein Maschinenkühlwagen ist mit zwei Dieselmotoren von je 18,7 kW Leistung ausgerüstet. Die Gesamtleistung der Kälteanlage beträgt rund 18 Mcal/h. Wie hoch ist der Wirkungsgrad der Kühlanlage?

165. Bei der Explosion eines Turbogenerators flog ein Teil so hoch, daß es gerade noch ein Oberlichtfenster berührte, das sich in 15 m Höhe senkrecht über dem Generator im Hallendach befand. Welche Drehzahl hatte der Generator, wenn das Teil auf einer Bahn mit dem Radius 20 cm umlief?

166. Welche größte Fallgeschwindigkeit kann eine eiserne Kugel von 5 kg Masse, die eine Anfangsgeschwindigkeit von 100 m/s hat, bei Berücksichtigung des Luftwiderstandes erreichen?

Dichte des Eisens:	7,85 kg/dm³
Dichte der Luft:	1,293 kg/m³
Widerstandszahl:	0,35

167. Eine kleine, an einem isolierenden Faden aufgehängte Kugel von der Masse 1 g wird im homogenen Feld eines Plattenkondensators so abgelenkt, daß der Faden den Winkel 30° zur Vertikalen bildet. Die Spannung beträgt 1 kV und der Plattenabstand 10 cm. Wie groß ist die Ladung der Kugel?

4. Lösungen

1. $a = \dfrac{v^2}{2\,s}$ $\qquad a = 7{,}31\ \mathrm{m/s^2}$

   Die Bremsen sind in Ordnung.

2. $s = v_0 t + \dfrac{1}{2} a t^2$ $\qquad s = 2160\ \mathrm{m}$

3. $\Delta t = \dfrac{s_1}{v} + t_2 + \dfrac{1}{2} t_3$ $\qquad \Delta t = 188\ \mathrm{s}$

4. $z = \dfrac{s}{2\,d}$, also unabhängig von r $\qquad z = 1{,}79$

5. $n = \dfrac{2\,s}{\pi\,d\,t}$ $\qquad n = 3{,}82/\mathrm{s} = 229/\mathrm{min}$

6. $v = \dfrac{2\,s_1 + s_2}{t}$ $\quad a = \dfrac{v^2}{2\,s_1}$ $\qquad v = 10\ \mathrm{m/s}$ $\quad a = 2{,}5\ \mathrm{m/s^2}$

7. $t = \dfrac{2\,l}{v}$ $\qquad t \approx 3\ \mathrm{h}$

8. $h = v t + \dfrac{1}{2} g t^2$ $\qquad h = 1544\ \mathrm{m}$

9. $s = \dfrac{v^2 \lambda}{g}\left(1 + \dfrac{\lambda}{2}\right)$ $\qquad s \approx 17\ \mathrm{mm}$ $\qquad$ mit $\lambda = 0{,}4$

10. Für alle Dreiecke gilt in der Gleichgewichtslage die Momentengleichung

$$\frac{2}{3} h_A \cdot F_A = \frac{1}{3} h_A (F_B + F_C)$$

$$2\,F_A = F_B + F_C$$
$$2\,F_B = F_C + F_A \qquad F_A = F_B = F_C$$
$$2\,F_C = F_A + F_B$$

11. $x = \dfrac{l\,(d\,\varrho_1 + a\,\varrho_2)}{2\,(d\,\varrho_1 + 2\,a\,\varrho_2)}$ $\qquad x = 288\ \mathrm{mm}$

a Dicke des Eisenblechs

x Abstand des Schwerpunktes vom schweren Ende

12. Spannkraft 80 p Anpreßkraft 56 p

13. $F = \dfrac{m\,g\,\sqrt{2\,r\,h - h^2}}{r - h}$ $\quad F = 12{,}9\ \text{kN} = 1{,}31\ \text{Mp}$

14. 1. $s_q = v_W\,t$ $\quad s_q = 4{,}5\ \text{km}$

2. $s = \sqrt{s_q^2 + v^2 t^2}$ $\quad s = 30{,}3\ \text{km}$

15. $e = t\,\sqrt{v_1^2 + v_2^2}$ $\quad e = 200\ \text{m}$

$v = \sqrt{v_1^2 + v_2^2}$ $\quad v = 72{,}1\ \text{km/h}$

16. $v = \sqrt{v_0^2 + g^2 t^2}$ $\quad v = 42\ \text{m/s}$

17. 1. $v_0 = s\,\sqrt{\dfrac{g}{2\,h}}$ $\quad v_0 = 3{,}2\ \text{m/s}$

2. $v = \sqrt{v_0^2 + 2\,g\,h}$ $\quad v = 8{,}9\ \text{m/s}$

$\tan\varphi = \dfrac{2\,h}{s}$ $\quad \varphi = 69°$

18. $W = \varrho\,V\,g\,h$ $\quad W = 2{,}46\ \text{MWh}$

19. $W = 2\,\pi\,r\,z\,F$ $\quad W = 5{,}44\ \text{Mp m}$

20. $\tan\varphi = a^2/b^2$ $\quad \varphi = 76°$

21. $h = \dfrac{W}{m\,g}$ $\quad h = 353\ \text{m}$

22. $s = \dfrac{W}{\mu\,m\,g}$ $\quad s = 160\ \text{m}$

23. $F = \varrho\,l\,b\,h\,g$ $\quad F = 14{,}5\ \text{kN} = 1{,}48\ \text{Mp}$

24. $\eta = \dfrac{m\,g\,h}{P\,t}$ $\quad \eta = 95\,\%$

25. $G = \dfrac{P\,\eta}{v}$ $\quad G = 13{,}2\ \text{kN} = 1{,}35\ \text{Mp}$

26. $P = 2\,\pi\,M\,n$ $\quad P = 33{,}3\ \text{kW}$

27. $P = \dfrac{m\,v^2}{t}$ $\quad P = 50{,}7\ \text{kW}$

28. $P = \dfrac{m\,g\,h}{t}$ $\quad P = 0{,}97\ \text{kW}$

29. $P = \frac{1}{2} \varrho v^3 A$ $P = 1{,}69$ kW

30. 1. $P = \varrho g h Q$ $P = 54{,}9$ MW
    2. $P = \eta \varrho g h Q$ $P = 50$ MW

31. $m = \frac{2 F s}{v^2}$ $m = 8$ kg

32. $v = \sqrt{2 \mu g s}$ $v = 42{,}8$ km/h

33. $a = (1 - \mu) \frac{F}{m}$ $a = 3$ m/s^2

34. $F = \frac{2 m s}{t^2}$ $F = 0{,}252$ N

35. $F = \frac{m v^2}{2 s}$ $F = 8{,}62$ kN $= 879$ kp

36. $F = \frac{m v^2}{2 s}$ $F = 114$ kN $= 11{,}6$ Mp

37. $t = \frac{m v}{F}$ $t = 30{,}3$ s

38. $F_2 = \frac{l_1}{l_2} F_1$ $F_2 = 960$ kp

39. 1. $F = \frac{m g}{l} \left(h + \mu \sqrt{l^2 - h^2}\right)$ $F = 626$ kp

    2. $F = \frac{m g}{l} \left(h - \mu \sqrt{l^2 - h^2}\right)$ $F = 174$ kp

40. $F = \frac{\gamma m_E m}{r^2}$ $F = 1$ kp

41. 1. $r = \sqrt[3]{\frac{\gamma m_E}{4 \pi^2} T^2}$ $r = 7420$ km
    2. $v = 2 \pi r / T$ $v = 7{,}33$ km/s

42. $T = 2 \pi \sqrt{\frac{r}{g}}$ $T = 84$ min 24 s

43. $h = \sqrt[3]{\frac{g r_E^2 T^2}{4 \pi^2}} - r_E$ $h = 35{,}8 \cdot 10^3$ km

44. $v = \sqrt{g\,r}$ $\quad v = 7{,}9$ km/s

45. $T = 2\,\pi\,\sqrt{\frac{r}{g}}$ $\quad T = 5063$ s $= 84$ min 23 s

46. $d = \frac{a}{2\,\pi^2\,n^2}$ $\quad d = 15$ cm

47. $T = \pi\,\sqrt{\frac{2\,r}{g}}$ $\quad T = 1{,}14$ s

48. $P = \frac{\pi^2\,m\,d^2\,n^2}{4\,t}$ $\quad P = 2{,}01$ kW

49. $\varrho = \frac{16\,W}{\pi^3\,d^4\,l\,n^2}$ $\quad \varrho = 8{,}14$ kg/dm^3

50. $W = \frac{\pi^2\,m\,d^2\,n^2}{4}$ $\quad W = 24{,}3$ MJ $= 6{,}75$ kWh

51. $g = 4\,\pi^2\,\frac{l}{T^2}$ $\quad g = 9{,}8$ m/s^2

52. $v_{max} = 2\,\pi\,f\,y_{max}$ $\quad v_{max} = 3{,}86$ m/s

53. $l = \frac{m_2\,g}{4\,\pi^2\,f^2\,m_1}$ $\quad l = 0{,}1$ m

54. $y = y_{max} \cos 2\,\pi\,f\,t$ $\quad y = 22{,}5$ mm

55. $l = \frac{g}{4\,\pi^2\,f^2}$ $\quad l = 4$ cm

56. $\frac{f_1}{f_2} = \sqrt{\frac{l_2}{l_1}}$ $\quad \frac{f_1}{f_2} = \frac{3}{2}$

Nach 3 Schwingungen

57. $T = 2\,\pi\,\sqrt{\frac{2\,l}{3\,g}}$ $\quad T = 1{,}64$ s

58. $\Delta l = l\left[\left(\frac{T_1}{T_2}\right)^2 - 1\right]$ $\quad \Delta l = 1$ cm

59. $T = 2\,\pi\,\frac{r^2 + 2\,(l + r)^2}{2\,g\,(l + r)}$ $\quad T = 1{,}43$ s

60. $y = y_{max}\,[\sin 2\,\pi\,f\,(t + \Delta t) + \sin 2\,\pi\,f\,t]$ $\quad y = -6{,}93$ cm

61. $F = \dfrac{m_2^2\, v_2^2}{2\, m_1\, s}$ $\qquad F = 10{,}7\ \text{kp}$

62. $\sigma = \dfrac{m\, g}{2\, l}$ $\qquad \sigma = 74\ \text{mN/m}$

63. $d = \dfrac{4\,\sigma}{\varrho\, g\, h}$ $\qquad d = 76\ \mu\text{m}$

64. 1. $G = \varrho\, g\, V$ $\qquad G_1 = 125\ \text{p}$, $G_2 = 500\ \text{p}$, $G_3 = 75\ \text{p}$, $F = 125\ \text{p}$

2. $p = \varrho\, g\, h$ $\qquad p = 250\ \text{mmWS} = 0{,}025\ \text{at}$

3. $p' = \varrho\, g\, (h + \Delta h)$ $\qquad p' = 1250\ \text{mmWS} = 0{,}125\ \text{at}$

65. $d_2 = d_1 \sqrt{\dfrac{F_2}{F_1}}$ $\qquad d = 25\ \text{cm}$

66. $m = \varrho_F\, V_F$ $\qquad m = 320\ \text{g}$

67. $h = \dfrac{\varrho}{\varrho_F} H$ $\qquad h = 1{,}31\ \text{cm}$

68. 1. $G = g\left(m_1 + \varrho_F\, V + \dfrac{\varrho_F}{\varrho_A} m_2\right)$ $\qquad G = 143\ \text{p}$

2. $G' = g\left(m_1 - \dfrac{\varrho_F}{\varrho_A} m_2\right)$ $\qquad G' = 48\ \text{p}$

3. $G'' = g\,(m_1 + \varrho_F\, V + m_2)$ $\qquad G'' = 191\ \text{p}$

69. 1. $\dfrac{F_A}{G} = \dfrac{\varrho_W}{\varrho_U}$ $\qquad \dfrac{F_A}{G} = 5{,}35\,\%$

2. $\dfrac{F_A}{G} = \dfrac{\varrho_F}{\varrho_U}$ $\qquad \dfrac{F_A'}{G} = 4{,}28\,\%$

70. 1. $\varrho_K = \dfrac{m_K\, \varrho_W}{m_K\, g - G' + G_E'}$ $\qquad \varrho_K = 0{,}25\ \text{g/cm}^3$

2. Ja, die Lösung ist unabhängig von m_E

71. 1. $\varrho_G = \dfrac{G_1}{G_1 - G_2}\, \varrho_W$

2. $\varrho_B = \dfrac{G_1 - G_3}{G_1 - G_2}\, \varrho_W$

72. $p_0 = p\, e^{\frac{h}{8000\,\mathrm{m}}}$ $\quad p_0 = 731\ \mathrm{Torr} = 974\ \mathrm{mbar}$

73. 1. $p = p_L + p_U$ $\quad p = 750{,}5\ \mathrm{Torr}$

2. $p_U' = p_U + \Delta p$ $\quad p_U' = 129\ \mathrm{mmWS}$

74. $F = \frac{\pi}{6}\, d^3\, (\varrho_L - \varrho_G)\, g$

1. $F = 5{,}03\ \mathrm{kp}$

2. $F = 4{,}65\ \mathrm{kp}$

75. $m = m' + \varrho_L \left(l^3 - \frac{m'}{\varrho_L}\right)$ $\quad m = 60{,}025\ \mathrm{g}$

76. 1. $Q = \mu A \sqrt{2\, g\, h}$ $\quad Q = 768\ \mathrm{cm^3/min}$

2. $h' = h/4$ $\quad h' = 20\ \mathrm{cm}$

77. 1. $z = \sqrt{\frac{h_2}{h_1}}$ $\quad z = \sqrt{3}$

2. Nein

78. $v = \sqrt{\frac{2\, p}{\varrho}}$ $\quad v = 30\ \mathrm{m/s}$

$p = p_0 - p_{dyn}$ $\quad p = 750{,}6\ \mathrm{Torr}$

79. 1. $v_1 = \frac{4\, Q}{\pi\, d_1^2}$ $\quad v_1 = 29{,}5\ \mathrm{m/s}$

2. $p_1 = \frac{\varrho\, v_1^2}{2}$ $\quad p_1 = 4{,}44\ \mathrm{at}$

3. $p = \frac{8\, \varrho\, Q^2}{\pi^2} \left(\frac{1}{d_1^4} - \frac{1}{d_2^4}\right)$ $\quad p = 4{,}42\ \mathrm{at}$

80. $v = \sqrt{\frac{8\, m\, g}{\pi\, d^2\, c_w\, \varrho_L}}$ $\quad v = 4{,}9\ \mathrm{m/s}$

81. $\alpha = \frac{\Delta l}{l_0\, \Delta t}$ $\quad \alpha = 9 \cdot 10^{-6}\ \mathrm{grd^{-1}}$

82. $t_2 = t_1 + \frac{d_2 - d_1}{\alpha\, d_1}$ $\quad t_2 = 493\ ^\circ\mathrm{C}$

83. $l = \frac{\Delta l}{\alpha\, \Delta t}$ $\quad l = 100\ \mathrm{m}$

84. $\varrho_2 = \frac{\varrho_1}{1 + \gamma\, \Delta t}$ $\quad \varrho_2 = 1{,}21\ \mathrm{g/cm^3}$

85. $p_2 = p_1 \dfrac{T_2}{T_1}$ $\quad p_2 = 6{,}3$ at

86. 1. $Q = c\, m\, (t_2 - t_1)$ $\quad Q = 8{,}5$ kcal

2. $C = c\, m$ $\quad C = 106$ cal/grd

87. $c = c_W \dfrac{\Delta t_W}{\Delta t}$

88. $C = c_1\, m_1 \dfrac{t_1 - t_m}{t_m - t_2} - c_2\, m_2$ $\quad C = 12{,}5$ cal/grd

89. $c_2 = \dfrac{c_1\, m_1\, (t_1 - t_m)}{m_2\, (t_m - t_2)}$ $\quad c_2 = 0{,}27$ cal/g grd

90. $\dfrac{m}{t} = \dfrac{P}{\eta\, H}$ $\quad \dfrac{m}{t} = 232$ kg/h

91. 1. $m = \dfrac{p\, l\, b\, h}{R\, T}$ $\quad m = 211$ kg

2. $Q = c\, m\, (t_2 - t_1)$ $\quad Q = 361$ kcal

92. $Q = c\, m\, (t_{sm} - t) + q\, m$ $\quad$ 1. $Q = 441$ kcal

2. $Q = 695$ kcal

93. $q = \dfrac{c}{m_2} [m_1\, (t_1 - t_m) - m_2\, (t_m - t_2)]$

94. $r = c \left[\dfrac{m_W}{m_D} (t_m - t_W) + t_m - t_s \right]$ $\quad r = 538$ cal/g

95. $\quad f = 10{,}7$ g/m³

$\varphi = \dfrac{f}{f_{max}}$ $\quad \varphi = 69{,}5\%$

96. 1. $m_1 = f_1\, l\, b\, h$ $\quad m_1 = 388$ g

2. $\Delta m = (f_1 - f_2)\, l\, b\, h$ $\quad \Delta m = 222$ g

97. $\alpha = \dfrac{Q}{A\, t\, \Delta\vartheta}$ $\quad \alpha = 1{,}72$ Mcal/m² h grd

98. $\dfrac{V}{t} = \dfrac{2\, \pi\, (h + r)\, r\, \lambda\, \Delta\vartheta}{\eta\, H\, d}$ $\quad \dfrac{V}{t} = 0{,}044$ m³/h

99. $V_2 = V_1\, e^{\frac{W}{p_1 V_1}}$ $\quad V_2 = 1{,}37$ m³

100. $T_2 = T_1 \left(\dfrac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{\varkappa - 1}{\varkappa}}$ $\quad T_2 = 638$ °K $\quad t_2 = 365$ °C

101. $\Delta T = 2 \cdot K \dfrac{1000\, m}{M\, m_L}$ $\qquad \Delta V = 1{,}35$ grd

Der Faktor 2 muß eingeführt werden, weil jedes NaCl-Molekül bei der Dissoziation in 2 Ionen zerfällt.

102. $z = \dfrac{s\, f}{v}$ $\qquad$ 1. $z = 2{,}62$

2. $z = 394$

3. $z = 23{,}1$

103. $l = \dfrac{\Delta t}{\dfrac{1}{c_L} - \sqrt{\dfrac{\varrho}{E}}}$ $\qquad l = 620$ m

104. $v = \dfrac{s\, c_L}{c_L\, t - s}$

105. $\dfrac{\lambda_1}{\lambda_0} = \sqrt{\dfrac{T_1}{T_0}}$ $\qquad \dfrac{\lambda_1}{\lambda_0} = 1{,}054$

Die Wellenlänge ist um 5,4% größer

106. $\dfrac{c_A}{c_L} = \dfrac{1}{c_L} \sqrt{\dfrac{E}{\varrho}}$ $\qquad \dfrac{c_A}{c_L} = 14{,}8$

107. $F = \dfrac{c_L^2\, l^2\, \pi\, d^2\, \varrho}{\lambda^2}$ $\qquad F = 16{,}4$ kp

108. $f_s = c \left(\dfrac{1}{\lambda_2} - \dfrac{1}{\lambda_1} \right)$ $\qquad f_s = 2{,}2$ Hz

109. $f = \dfrac{c}{\lambda}$ $\qquad f = 3519$ Hz

4 Oberschwingungen: 7038 Hz, 10557 Hz, 14076 Hz, 17595 Hz

110. $v = \dfrac{f_s\, c}{2 f_0 - f_s}$ $\qquad v = 20$ m/s $= 72$ km/h

111. $h = \dfrac{1}{2}\, t \sqrt{c^2 - v^2}$ $\qquad h = 500$ m

112. $h = \dfrac{c\, t}{2}$ $\qquad h = 1{,}11$ km

113. 1. $s = \dfrac{c\, t}{2}$ $\qquad s = 30$ km

2. $f = \frac{c}{\lambda}$ $\quad f = 9375\ \text{MHz}$

114. 1. $I = 10^{\frac{L}{10}} \cdot I_0$ $\quad I = 1\ \text{mW/m}^2$

2. $\tilde{p} = p_0 \cdot 10^{\frac{L}{20}}$ $\quad \tilde{p} = 6{,}3\ \mu\text{bar}$

115. 1. $a = \frac{\lambda e}{s}$ $\quad a = 1{,}5\ \mu\text{m}$

2. $N = \frac{1}{a}$ $\quad N = 650/\text{mm}$

116. $2s = \frac{2e\lambda}{\sqrt{a^2 - \lambda^2}}$ $\quad 2s = 1033\ \text{mm}$

117. $\lambda = \frac{s\,a}{m\,e}$ $\quad \lambda = 694\ \text{nm}$

118. $r = \sqrt{\frac{I}{E}}$ $\quad r = 1{,}23\ \text{m}$

119. Für den Lichtstrom 800 lm ist eine Glühlampe von etwa 75 W erforderlich.

120. 1. $E = \frac{\Phi}{4\pi h^2}$ $\quad E = 16\ \text{lx}$

2. $s = \sqrt{\left(\frac{\Phi h}{4\pi E}\right)^{2/3} - h^2}$ $\quad s = 4{,}3\ \text{m}$

121. $\frac{\Phi_{ges}}{\Phi} = \frac{4\pi r^2}{A}$ $\quad \frac{\Phi_{ges}}{\Phi} = 28$

122. 1. $E = \frac{I}{h^2}$ $\quad E = 3060\ \text{lx}$

2. $E = \frac{I\,h}{(h^2 + s^2)^{3/2}}$ $\quad E = 580\ \text{lx}$

123. 1. $A_2 = \frac{\varrho_2}{\varrho_1} A_1$ $\quad A_2 = 16\ \text{mm}^2$

2. $m_1 = 2\,s\,\varrho'_1\,A_1$ $\quad m_1 = 12{,}5\ \text{kg}$

$m_2 = 2\,s\,\varrho'_2\,A_2$ $\quad m_2 = 6{,}05\ \text{kg}$

3. $U = \frac{2\,s\,\varrho_1\,I}{A_1}$ $\quad U = 6{,}13\ \text{V}$

124. $d_2 = 2\sqrt{\frac{\varrho_2}{\pi}\left(\frac{l}{R} - \frac{A}{\varrho_1}\right)}$ $d_2 = 3{,}03$ mm

125. $l = \frac{\pi U^2 d^2}{4 \varrho P}$ $l = 7{,}9$ m

126. 1. $U_k = \frac{U_0 (R_1 + R_2)}{R_1 + R_1 + R_2}$ $U_k = 1{,}82$ V

2. $U_1 = \frac{U_0 R_1}{R_1 + R_1 + R_2}$ $U_1 = 0{,}68$ V

$U_2 = \frac{U_0 R_2}{R_1 + R_1 + R_2}$ $U_2 = 1{,}14$ V

127. $R_i = \frac{U_0 - U_k}{z I}$ $R_i = 50$ mΩ

128. 1. $W = U_0 Q$ $W = 0{,}48$ kWh

2. $t = \frac{U_0 Q}{2 \eta I U}$ $t = 13$ h

129. 1. $I = \frac{U}{R_1} + I_2 + \frac{U}{R_3}$ $I = 24{,}5$ A

2. $R = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{I_2}{U} + \frac{1}{R_3}}$ $R = 9{,}0\ \Omega$

130. 1. $I = \frac{z P_1}{U} + \frac{P_2}{U} + I_3$ $I = 3{,}7$ A

2. $K = k (z P_1 + P_2 + I_3 U) t$ $K = 0{,}13$ M

3. $P_{max} = I_{max} U$ $P_{max} = 1{,}32$ kW

131. 1. $P_{ab} = \eta U I$ $P_{ab} = 1{,}76$ kW

2. $K = k U I t$ $(k = 0{,}08$ M/kWh) $K = 1{,}41$ M

132. 1. $R_2 = \frac{U_1 (U - U_1)}{P_1}$ $R_2 = 109\ \Omega$

2. $W_2 = \frac{(U - U_1) P_1 t}{U_1}$ $W_2 = 0{,}58$ kWh

133. $I_1 = \frac{U (R_2 + R_3)}{R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_3 R_1}$ $I_1 = 0{,}64$ A

$$I_2 = \frac{U R_3}{R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_3 R_1} \qquad I_2 = 0{,}48\ \text{A}$$

$$I_3 = \frac{U R_2}{R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_3 R_1} \qquad I_3 = 0{,}16\ \text{A}$$

$$I_4 = \frac{U}{R_4} \qquad I_4 = 0{,}5\ \text{A}$$

$$I = I_1 + I_4 \qquad I = 1{,}14\ \text{A}$$

134. 1. $P_{\text{auf}} = \dfrac{m\,g\,h}{\eta_1\,\eta_2\,t}$ $\qquad P_{\text{auf}} = 3{,}95\ \text{kW}$

2. $I = \dfrac{P_{\text{auf}}}{U}$ $\qquad I = 10{,}4\ \text{A}$

135. $\eta = \dfrac{c\,m\,\Delta\vartheta}{P\,t}$ $\qquad \eta = 89\,\%$

136. $I = \dfrac{Q}{\eta\,U\,t}$ $\qquad I = 166\ \text{A}$

137. 1. $A = \dfrac{C\,d}{\varepsilon_0}$ $\qquad A = 90{,}4\ \text{cm}^2$

2. $A' = \dfrac{C\,d}{\varepsilon\,\varepsilon_0}$ $\qquad A' = 11{,}3\ \text{cm}^2$

138. $C/_{\text{pF}} = 0{,}556\ \dfrac{l/_{\text{cm}}}{\ln \dfrac{r_a}{r_i}}$

139. $m = \dfrac{2\,\mu\,W}{U^2} \qquad \left(\mu = \dfrac{50\ \text{g}}{\mu\text{F}}\right)$ $\qquad m = 360\ \text{t}$

140. $F/_{\text{p}} = 0{,}009\ \dfrac{Q_1/_{\text{nC}} \cdot Q_2/_{\text{nC}}}{(r/_{\text{cm}})^2}$

141. $I = \dfrac{H\,l}{N}$ $\qquad I = 4\ \text{A}$

142. $M = N\,I\,a\,b\,B \sin\varphi$

φ	0° 180°	30° 150°	60° 120°	90°
$M/_{\text{kp cm}}$	0	0,56	0,97	1,12

143. $\sigma = \dfrac{I\,x\,B}{2\,A}$ $\qquad \sigma = 0{,}24\ \text{kp/cm}^2$

144. 1. $W/\mathrm{eV} = 2{,}85 \cdot 10^{-6} \left(v/\frac{\mathrm{km}}{\mathrm{s}}\right)^2$

2. $W/\mathrm{eV} = 5{,}22 \cdot 10^{-3} \left(v/\frac{\mathrm{km}}{\mathrm{s}}\right)^2$

145. $T = 2\,\pi\,r\,\sqrt{\varepsilon\,\varepsilon_0 \frac{\pi L}{d}}$ $\quad T = 0{,}38\ \mathrm{ms}$

$f = 1/T$ $\quad f = 2{,}6\ \mathrm{kHz}$

146. 1. $L = \frac{1}{4\,\pi^2 f^2 C}$ $\quad L = 6{,}33\ \mathrm{mH}$

2. $W = \frac{1}{2} C\,U_\mathrm{m}^2$ $\quad W = 0{,}2\ \mathrm{mJ}$

3. $I_\mathrm{m} = 2\,\pi\,f\,C\,U_\mathrm{m}$ $\quad I_\mathrm{m} = 250\ \mathrm{mA}$

147. $m = \frac{1}{N_\mathrm{A}}$ $\quad m = 3{,}47 \cdot 10^{-25}\ \mathrm{kg}$

148. $d = \frac{1}{\sqrt[3]{\varrho\,N_\mathrm{A}}}$ $\quad d = 3{,}2 \cdot 10^{-10}\ \mathrm{m}$

149. $N = N_\mathrm{L} \frac{p}{p_0}$ $\quad N = 3{,}5 \cdot 10^{10}/\mathrm{cm}^3$

150. $W = h\,\nu$ $\quad W = 2 \cdot 10^{-15}\ \mathrm{J} = 12{,}5\ \mathrm{keV}$

151. $W = m\,N_\mathrm{A}\,W_0$ $\quad W = 2{,}5 \cdot 10^{28}\ \mathrm{MeV}$
$= 1{,}1 \cdot 10^9\ \mathrm{kWh}$

152. $v = \sqrt{\frac{2\,W}{m}}$ $\quad v = 3{,}6 \cdot 10^8\ \mathrm{m/s}$

Das unmögliche Ergebnis zeigt, daß die relativistische Massenzunahme nicht vernachlässigt werden darf.

153. $\lambda = \frac{h\,c}{W}$ $\quad \lambda = 3{,}9 \cdot 10^{-12}\ \mathrm{m}$

154. 1. $m_0 = \frac{A\,t_\mathrm{H}}{N_\mathrm{A} \ln 2}$ $\quad m_0 = 1{,}16\ \mathrm{mg}$

2. $m = m_0\,\mathrm{e}^{-\frac{t \ln 2}{t_\mathrm{H}}}$ $\quad m = 1{,}04\ \mathrm{mg}$

155. $\quad 16\ \mathrm{Ci} = 5{,}92\ 10^{11}/\mathrm{s}$

156. $W = \dfrac{m}{4\,m_H}\,(4\,m_H - m_{He})\,c^2$

$= \dfrac{1}{4}\,m\,N_A\,c^2\,(4\,m_H - m_{He})$ $\qquad W = 180\ \text{MWh}$

157. $W = (2\,m_D - m_{He} - m_n)\,c^2$ $\qquad W = 3{,}29\ \text{MeV}$

158. 1. $m = \dfrac{W}{c^2}$ $\qquad m = 8{,}9 \cdot 10^{-30}\ \text{kg}$

2. $z = \dfrac{m}{m_e}$ $\qquad z = 9{,}8$

159. $m_n = m_D - m_H + \dfrac{W}{c^2}$ $\qquad m_n = 1{,}675 \cdot 10^{-27}\ \text{kg}$

160. 1. $W = c^2\,(m_{Li} + m_p - m_{Be})$ $\qquad W = 17{,}26\ \text{MeV}$

2. $\lambda = \dfrac{h\,c}{W}$ $\qquad \lambda = 7{,}2 \cdot 10^{-14}\ \text{m}$

161. 1. $W = 0{,}4\,m\,v^2$ $\qquad W = 37\ \text{MJ} = 10{,}3\ \text{kWh}$

2. $Q = 0{,}33\ \text{W}$ $\qquad Q = 2{,}9\ \text{Mcal}$

162. $m_B = \dfrac{m\,v^2}{2\,\eta\,H}$ $\qquad m_B = 63\ \text{kg}$

163. 1. $\eta = \dfrac{P}{m\,g\,h}$ $\qquad \eta = 0{,}75$

2. $v = \dfrac{4\,Q}{\pi\,d^2}$ $\qquad v = 5{,}75\ \text{m/s}$

3. $t = \dfrac{V}{z\,Q}$ $\qquad t = 4{,}9\ \text{h}$

164. $\eta = \dfrac{Q}{2\,P\,t}$ $\qquad \eta = 0{,}56$

165. $n = \dfrac{\sqrt{2\,g\,h}}{2\,\pi\,r}$ $\qquad n = 13{,}7/\text{s} = 820/\text{min}$

166. $v = \sqrt{\dfrac{2\,m\,g}{\pi\,c\,\varrho_L}}\ \sqrt[3]{\dfrac{4\,\pi\,\varrho}{3\,m}}$ $\qquad v = 155\ \text{m/s}$

167. $Q = \dfrac{m\,g\,d\,\tan\varphi}{U}$ $\qquad Q = 0{,}566\ \mu\text{C}$

INHALTSVERZEICHNIS

1.	Einführung	3
2.	Physikalische Größen, Einheiten und Gleichungen	4
2.1.	Die physikalische Größe	4
2.1.1.	Was ist eine physikalische Größe ?	4
2.1.2.	Größe und Größenart	5
2.1.3.	Das System der Größenarten	6
2.2.	Das Internationale Einheitensystem (SI)	6
2.2.1.	Die Grundeinheiten	7
2.2.2.	Abgeleitete Einheiten	7
2.2.3.	Wichtige kohärente Einheiten des SI	9
2.2.4.	Wichtige inkohärente Einheiten des SI	9
2.3.	Schreibweise physikalischer Gleichungen	10
2.3.1.	Die Arten physikalischer Gleichungen	10
2.3.2.	Die allgemeine Größengleichung	10
2.3.3.	Die zugeschnittene Größengleichung	10
2.3.4.	Die Zahlenwertgleichung	11
2.4.	Das Rechnen mit Größengleichungen	12
2.4.1.	Die Handhabung der allgemeinen Größengleichung	12
2.4.2.	Das Umrechnen der Einheiten	13
2.4.3.	Das Zuschneiden einer Größengleichung	15
2.5.	Zur Rechengenauigkeit	18
2.6.	Lösungen der Übungsaufgaben	19
3.	Aufgaben aus den Teilgebieten der Physik	22
3.1.	Mechanik	22
3.2.	Wärmelehre	32
3.3.	Wellenlehre — Akustik — Optik	35
3.4.	Elektrik	37
3.5.	Atomphysik	41
3.6.	Komplexaufgaben	43
4.	Lösungen	45

Als Manuskript gedruckt
Alle Rechte vorbehalten

Veröffentlicht unter Ag 613/509/70/3000 (IfF) · 5. Ausgabe · 2. Auflage
Satz und Druck: Gutenberg Buchdruckerei und Verlagsanstalt, Betrieb der VOB „Aufwärts", Weimar
Offsetnachdruck: VEB Druckerei „Thomas Müntzer", Bad Langensalza
Umschlag: ZENTRALSTELLE FÜR LEHR- UND ORGANISATIONSMITTEL, ZWICKAU

Katalognummer: 030.04–03 · Vorzugsschutzgebühr: 1,20 M