

Logo  
Modell-  
studiengang

# Physiktutorium WS 2003/2004

Logo  
Fachschaft

## Brückenkurs zum Praktikum der Physik

## Formelsammlung mit Übungsaufgaben

**Zusammenstellung: Alexander Hamm**

**Hinweis:** Alle Formeln und Begleittexte sind nach bestem Wissen zusammengestellt und mehrfach überprüft. Trotzdem ist nicht restlos auszuschließen, daß sich – auch aufgrund anschaulicher Vereinfachungen – Fehler eingeschlichen haben. Daher sind in diesem Skript  
**alle Angaben ohne Gewähr!**

# Thema 1: Mechanik

## Kinetik / Dehnung und Scherung

(Versuche 7 a,d)

**Grundlagen der Mechanik** (in vereinfachter Form, z. B. ohne Beachtung von vektoriellen Größen und Zeitdifferentialen)

$$\text{Dichte} = \frac{\text{Masse}}{\text{Volumen}}$$

$$\rho = \frac{m}{V} \quad \left[ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right]$$

$$\text{Stoffmenge} = \frac{\text{Masse}}{\text{Molare Masse}}$$

$$n = \frac{m}{M} \quad [\text{mol}]$$

$$\text{Geschwindigkeit} = \frac{\text{Weg}}{\text{Zeit}}$$

$$v = \frac{s}{t} \quad \left[ \frac{\text{m}}{\text{s}} \right]$$

$$\text{Beschleunigung}$$

$$a = \frac{v}{t} \quad \left[ \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right]$$

$$\text{Kraft} = \text{Masse} \cdot \text{Beschleunigung}$$

$$F = m \cdot a \quad \left[ \text{N} = \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2} \right]$$

$$\text{Druck} = \frac{\text{Kraft}}{\text{Fläche}}$$

$$p = \frac{F}{A} \quad \left[ \text{Pa} = \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \right]$$

$$\text{Druck} = \text{Dichte} \cdot \text{Beschleunigung} \cdot \text{Höhe}$$

$$p = \rho \cdot g \cdot h \quad [\text{Pa}]; 1 \text{ Pa} = 10^{-5} \text{ bar}$$

$$\text{Arbeit} = \text{Energie} = \text{Kraft} \cdot \text{Weg}$$

$$W = E = F \cdot s \quad [\text{J} = \text{Nm}]$$

$$\text{Volumenarbeit} = \text{Druck} \cdot \text{Volumen}$$

$$W = p \cdot V \quad [\text{J}]$$

$$\text{Leistung} = \frac{\text{Arbeit}}{\text{Zeit}}$$

$$P = \frac{W}{t} \quad \left[ \text{W} = \frac{\text{J}}{\text{s}} \right]$$

### **Kinetik**

gleichförmig beschleunigte Bewegung:

$$s(t) = s_0 + v_0 \cdot t + \frac{1}{2} \cdot a_0 \cdot t^2$$

$$v(t) = v_0 + a_0 \cdot t$$

kinetische Energie:

$$E_{\text{kin}} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$$

### **Dehnung**

Spannung:

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

Dehnung:

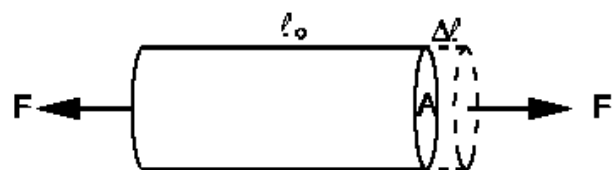
$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0}$$

HOOKESches Gesetz:

$$\sigma = E \cdot \varepsilon$$

Aus der Akustik:

$$v = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$



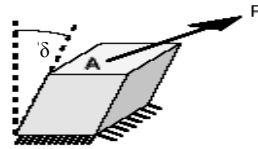
E: Elastizitätsmodul

**Scherung**

Schubkraft:

$$\tau = \frac{F}{A}$$

$$\tau = \delta \cdot G$$


 $\delta$ : Scherwinkel *im Bogenmaß*

G: Torsionsmodul

**Torsion**

Direktionsmoment:

$$D = \frac{\pi}{2} \cdot G \cdot \frac{r^4}{l}$$

r: Radius; l: Länge

Drehmoment:

$$M = D \cdot \varphi$$

 $\varphi$ : Torsionswinkel *im Bogenmaß***Anhang - Winkelumrechnung**

$$\text{Bogenmaß:} \quad b = \frac{\alpha}{180^\circ} \cdot \pi \Leftrightarrow \alpha = \frac{180^\circ \cdot b}{\pi}$$

**Viskosität**

(Versuch 7b)

**Definition der Viskosität**

Die Viskosität  $\eta$  [Pa·s] beschreibt die Zähigkeit oder die "innere Reibung" und ist die Proportionalitätskonstante in der Beziehung zwischen Schubspannung  $\tau$  [Pa] und dem Geschwindigkeitsgefälle  $dv$  [m/s] über eine Schichtdicke  $dy$  [m]:

$$\tau = \frac{F}{A} = \eta \cdot \frac{dv(y)}{dy}$$

**Gültigkeit der Gesetze zur Viskosität**

- für Newtonsche Flüssigkeiten (also für Blut nur begrenzt)
- für laminare Strömung ( $Re < 2000$ ; Re: Reynolds-Zahl)

$$Re = \frac{v \cdot \rho \cdot d}{\eta}$$

v: Geschwindigkeit [m/s]

 $\rho$ : Dichte [kg/m<sup>3</sup>]

d: Rohrdurchmesser

**Gesetz von STOKES**

Es beschreibt die Reibungskraft  $F_R$ , die auf eine Kugel mit dem Radius  $r$  wirkt, die mit der Geschwindigkeit  $v$  in einer Flüssigkeit der Viskosität  $\eta$  sinkt:

$$F_R = 6\pi \cdot \eta \cdot r \cdot v$$

***Gesetz von HAGEN-POISEUILLE***

Es beschreibt den Volumenstrom  $\dot{V}$  einer Newtonschen Flüssigkeit über die Zeit in einem starren, zylindrischen Rohr bei laminarer Strömung. Er ist abhängig von

- dem Durchmesser des Rohres  $r$
- der Länge des Rohres  $l$
- der Viskosität der Flüssigkeit  $\eta$
- dem über die Rohrlänge wirkenden Druckgefälle  $\Delta p$

$$\dot{V} = \frac{\pi \cdot r^4 \cdot \Delta p}{8 \cdot \eta \cdot l}$$

In Analogie zum OHMSchen Gesetz gilt:  $\dot{V} = \frac{\Delta p}{R}$  mit  $R = \frac{8 \cdot \eta \cdot l}{\pi \cdot r^4}$

Serienschaltung von Widerständen:  $R_{\text{ges}} = R_1 + R_2 + \dots + R_n$

Parallelschaltung von Widerständen:  $\frac{1}{R_{\text{ges}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}$

***Temperaturabhängigkeit der Viskosität***

$$\eta = A \cdot e^{\frac{b}{T}} \quad \text{mit } A, b \text{ als flüssigkeitsspezifischen Konstanten}$$

# Übungen zur Mechanik

1. Ein Auto prallt mit einer Geschwindigkeit von  $v = 50 \text{ km/h}$  frontal auf eine Mauer. Welche Kraft wirkt dabei auf einen Insassen von  $70 \text{ kg}$ , der innerhalb von  $1 \text{ m}$  abgebremst wird (Man setze gleichförmige Abbremsung voraus.)? Welche Kraft würde – bei sonst gleichen Voraussetzungen – bei  $100 \text{ km/h}$  wirken?
2. Berechnen Sie den Elastizitätsmodul eines menschlichen Haares ( $10 \text{ cm}$  lang,  $100 \text{ }\mu\text{m}$  dick), wenn sich dieses Haar bei einer Belastung mit einem Massestein von  $100 \text{ g}$  um  $3 \text{ mm}$  verlängert.
3. Der Oberschenkelknochen eines Erwachsenen kann aufgrund seiner elastischen Eigenschaften ( $E = 9 \cdot 10^9 \text{ N/m}^2$ ) beträchtliche Drücke auffangen. Bevor es zur Fraktur kommt, kann sich ein Oberschenkelknochen bis zu  $2\%$  verkürzen. Wie groß ist dabei der maximal auftretende Druck, und dem Wievielfachen des Druckes entspricht er, den ein Körpergewicht von  $70 \text{ kg}$  auf den Oberschenkelknochen (Querschnittsfläche  $6 \text{ cm}^2$ ) ausübt?
4. Ein Skifahrer belastet seinen Unterschenkelknochen in schmerzhafter Weise, wenn während eines Abfahrtslaufes ein Ski an einem Hindernis stecken bleibt. Geben Sie an, wieviel Grad der Scherungswinkel des Knochens hierbei beträgt. Am annähernd zylindrischen Knochen (Länge  $50 \text{ cm}$ , Radius  $1,8 \text{ cm}$ ) greife hierbei eine Tangentialkraft vom Doppelten des Körpergewichts ( $m = 50 \text{ kg}$ ) an. Für den Torsionsmodul des Knochens kann man einen Wert von  $G = 10^{10} \text{ N/m}^2$  annehmen.
5. Ein Körper ( $100 \text{ g}$ ) erleidet in Wasser einen „Gewichtsverlust“ von  $0,37 \text{ N}$ , in Benzol dagegen von  $0,32 \text{ N}$ .
  - a. Aus welchem Metall ist der Körper?
  - b. Welche Dichte ergibt sich für Benzol?
6. Die Zähigkeit von Wasser kann näherungsweise beschrieben werden durch  $\eta = A \cdot e^{\frac{b}{T}}$  mit  $b = 1840 \text{ K}$ . Leider ist Ihnen die Konstante  $A$  nicht bekannt. Sie erinnern sich aber, daß bei einer Temperatur  $T_1 = 23 \text{ }^\circ\text{C}$  die Zähigkeit  $\eta = 10^{-3} \text{ Pa}\cdot\text{s}$  beträgt. Wie groß ist die Zähigkeit bei  $T_2 = 80 \text{ }^\circ\text{C}$ ?
7. Im Verlaufe einer Schwangerschaft sinkt die Viskosität des Blutes (bei  $37 \text{ }^\circ\text{C}$  und unbeeinflußtem mittleren Blutdruck) von  $\eta_1 = 4,2 \cdot 10^{-3} \text{ Pa}\cdot\text{s}$  auf  $\eta_2 = 3,5 \cdot 10^{-3} \text{ Pa}\cdot\text{s}$ . Um wieviel Prozent erhöht sich die Leitfähigkeit der Arterien unter Verwendung des HAGEN-POISEUILLESchen Gesetzes und des OHMSchen Gesetzes für Strömungen?
8. Eine Apparatur soll gekühlt werden, indem durch eine Kühlschlange von  $1 \text{ m}$  Länge mit  $5 \text{ mm}$  innerem Durchmesser gerade  $1 \text{ l/min}$  Kühlwasser fließt. Da die Apparatur in einiger Entfernung vom Wasseranschluß aufgestellt werden soll, benutzen Sie einen zusätzlichen verlängernden Anschlußschlauch von  $1 \text{ m}$  Länge, aber nur  $4 \text{ mm}$  innerem Durchmesser. Um welchen Faktor müssen Sie den Wasserdruck erhöhen, damit die gleiche Kühlwassermenge zur Verfügung steht?
9. Ein blutdurchflossenes Organ wird durch eine Verengung der versorgenden Arterie um  $10\%$  des Durchmessers schlechter versorgt. Auf welchen Wert müßte der Körper ungefähr den mittleren Blutdruck von  $150 \text{ hPa}$  erhöhen, um die Versorgung mit der gleichen Blutmenge sicherzustellen?
10. Berechnen Sie den Gesamtwiderstand eines Gefäßnetzwerkes, in dem eine Arterie ( $d = 5 \text{ mm}$ ,  $l = 100 \text{ mm}$ ) und 10 untereinander parallelgeschaltete Arteriolen ( $d = 50 \text{ }\mu\text{m}$ ,  $l = 10 \text{ mm}$ ) hintereinandergeschaltet sind. Die Zähigkeit von Blut beträgt  $\eta = 4 \cdot 10^{-3} \text{ Pa}\cdot\text{s}$ .

# Thema 2: Wärmelehre

## Temperaturstrahlung

(Versuch 23)

### **Grundlagen**

Wärme kann in Form von Wärmeleitung (Übertragung der Brownschen Teilchenbewegung auf andere Teilchen im Körper ohne Nettobewegung, z. B. Kochtopf auf der Herdplatte), in Form von Konvektion (Wärmeübertragung durch einen Teilchenstrom, z. B. Wasser im Heizungsrohr) und in Form von niederfrequenter (= langwelliger, energieärmer) elektromagnetischer Strahlung, der Temperaturstrahlung (z. B. Heizsonne) übertragen werden.

Wärmestrahlung ist Teil des Spektrums elektromagnetischer Wellen im infraroten Bereich ( $\lambda > 800 \text{ nm}$ ). Zwischen Wellenlängen von 350 nm und 750 nm wird elektromagnetische Strahlung als Licht unterschiedlicher Farbe wahrgenommen; kleinere Wellenlängen werden als UV-Strahlung bezeichnet. Röntgenstrahlung und  $\gamma$ -Strahlung liegen im extrem hochfrequenten Bereich des elektromagnetischen Spektrums. Die Energie  $E$  eines Photons als Quant des elektromagnetischen Felds mit der Frequenz  $f$  berechnet sich als

$$E = h \cdot f$$

mit  $h$  als Planckschem Wirkungsquantum mit  $h = 6,6 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$ .

Die Einheit der Energie eV bezeichnet die Energie, die ein Elektron aufnimmt, wenn es eine Potentialdifferenz von 1 V durchfällt:  $1 \text{ eV} = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ J}$

Beziehung zwischen Lichtgeschwindigkeit  $c$ , Wellenlänge  $\lambda$  und Frequenz  $f$ :

$$c = \lambda \cdot f$$

Beziehung zwischen Temperatur  $t$  (in Grad Celsius) und absoluter Temperatur  $T$  (in Kelvin):

$$\frac{T}{[\text{K}]} = \frac{t}{[^\circ\text{C}]} + 273$$

### **Temperaturstrahlung**

Temperaturstrahlung ist die Energieübertragung eines Körpers mittels elektromagnetischer Strahlung. Für den Absorptionsgrad  $\alpha$  (pro auftreffende Strahlungsleistung absorbierte Strahlungsleistung), Transmissionsgrad  $\tau$  (entsprechend hindurchgelassene Strahlungsleistung) und Reflexionsgrad  $\rho$  (entsprechend reflektierte Strahlungsleistung) gilt folgende Beziehung:

$$\alpha + \tau + \rho = 1$$

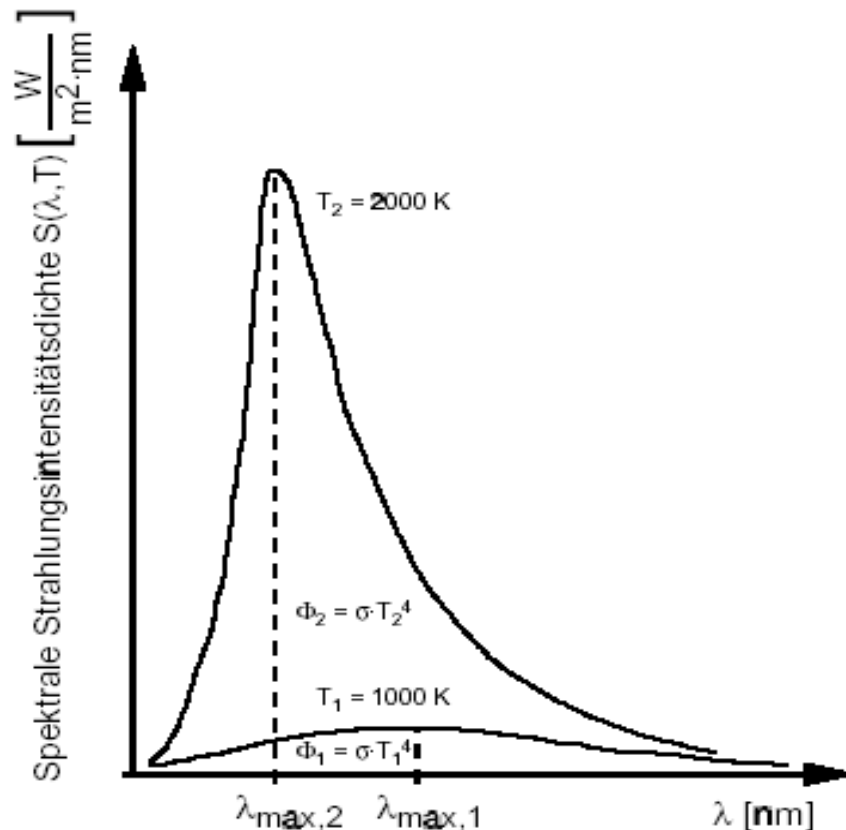
Für (idealisierte) schwarze Strahler gilt:  $\alpha = 1$

Weiterhin gilt im Strahlungsgleichgewicht (wenn netto keine Wärme mehr übertragen wird), daß Absorptions- und Emissionsgrad gleich sind:

$$\alpha = \varepsilon$$

### Diagramm der Strahlungsisothermen

[Anmerkung: Die folgenden Gesetzmäßigkeiten treffen nur auf den schwarzen Strahler zu.]  
Die spektrale Strahldichte (Intensität der Abstrahlung in einem Wellenlängenintervall) als Funktion der Wellenlänge ist von der Temperatur  $T$  des Körpers abhängig:



### Auswertung des Diagramms – Gesetzmäßigkeiten zur Temperaturstrahlung

Die Wellenlänge  $\lambda_{\text{max}}$  des Maximums der Strahldichte und die dazu gehörige Temperatur  $T$  verhalten sich umgekehrt proportional (WIENSches Verschiebungsgesetz):

$$\lambda_{\text{max}} \cdot T = \text{const.} = 2,9 \cdot 10^{-3} \text{ m K}$$

Die Temperaturkurven schneiden sich nie: Höhere Temperaturen bewirken bei jeder Wellenlänge eine höhere Strahldichte. Die Kurven berühren nie den Nullpunkt.

Integriert man über den gesamten abstrahlenden Wellenlängenbereich, so ist die Strahlungsleistung  $\Phi$  nur noch von der Temperatur abhängig:

STEFAN-BOLTZMANNsches Gesetz:

$$\Phi = \sigma T^4, \text{ wobei } \sigma = 5,670 \cdot 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}^4}$$

Für die Strahlungsbilanz bei Betrachtung zweier unterschiedlicher Temperaturen gilt damit:

$$\Phi_{\Sigma} = \Phi_1 - \Phi_2 = \sigma \cdot (T_1^4 - T_2^4) \quad \text{mit } T_1 > T_2$$

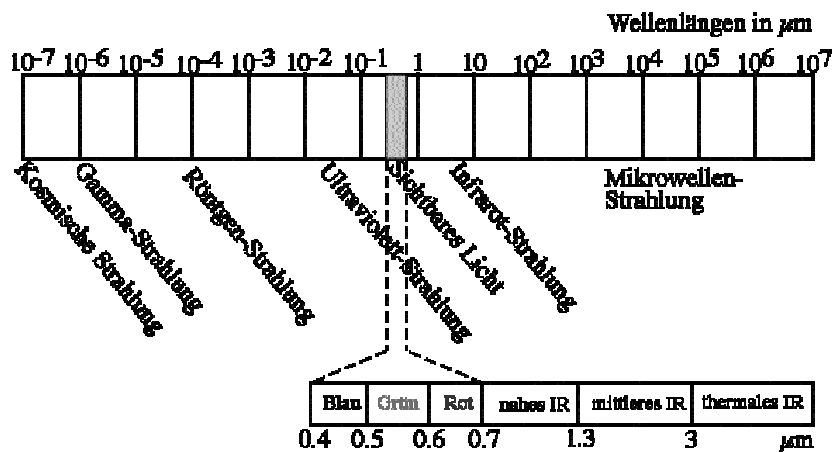
**Raumwinkelabhängigkeit**

Der Detektor der Fläche  $A$  empfängt von der sich kugelförmig ausbreitenden Strahlung in der Entfernung  $r$  nur einen Teil der von der Quelle mit der Intensität  $I_0$  ausgehenden Strahlung:

$$I = I_0 \cdot \frac{A}{4 \cdot \pi \cdot r^2}$$

Zwei in unterschiedlichen Abständen  $r_1$  und  $r_2$  gemessene Intensitäten  $I_1$  und  $I_2$  stehen in folgender Beziehung:

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{r_2^2}{r_1^2}$$

**Anhang: Spektrum der elektromagnetischen Strahlung****Spezifische Wärmekapazität**

(Versuch 16/20)

**1. Hauptsatz der Thermodynamik**

Bei der Erwärmung eines Körpers wird die zugeführte Energiemenge  $\Delta Q$  in innere Energie ("Wärme")  $\Delta U$  und Ausdehnungsarbeit  $\Delta A$  umgesetzt:

$$\Delta Q = \Delta U + \Delta A \quad (\text{mit } \Delta A \approx 0 \text{ für unsere Zwecke})$$

**Energiezufuhr  $\Delta Q$** 

- 1.) Temperaturerhöhung  $\Delta T$  des Körpers der Masse  $m$ :

$$\Delta Q = c \cdot m \cdot \Delta T$$

$c$ : Spezifische Wärmekapazität; Stoffkonstante, z. B.  $c_{\text{H}_2\text{O}} = 4,18 \cdot 10^3 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$



- 2.) Schmelzen (analog Erstarren) des Körpers der Masse  $m$ :

$$\Delta Q = \lambda \cdot m$$

$\lambda$ : Spezifische Schmelzwärme  $\left[ \frac{\text{J}}{\text{kg}} \right]$

- 3.) Verdampfen (analog Kondensieren) des Körpers der Masse  $m$ :

$$\Delta Q = r \cdot m$$

$r$ : Spezifische Verdampfungswärme  $\left[ \frac{\text{J}}{\text{kg}} \right]$

### *Zustandsgleichung für ideale Gase*

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T$$

$p$ : Druck [Pa]

$V$ : Volumen [ $\text{m}^3$ ]

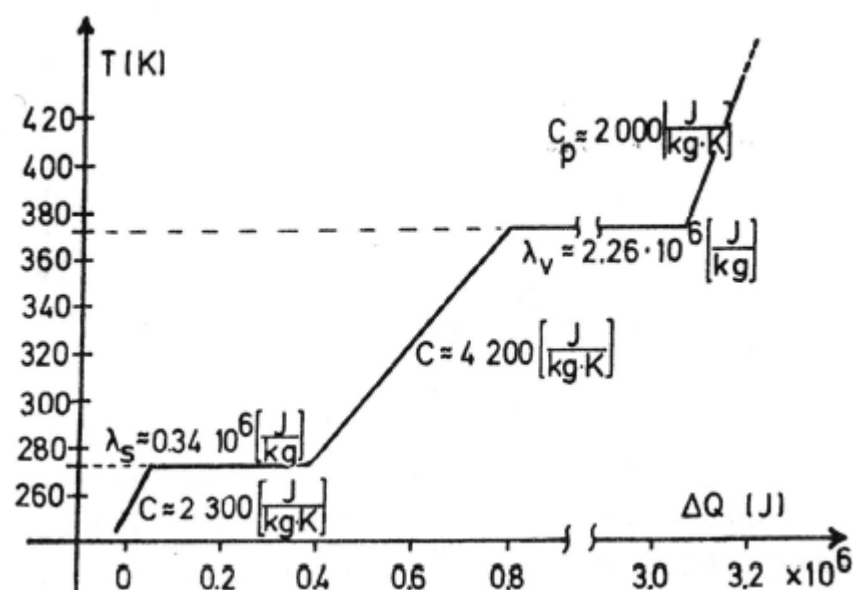
$n$ : Stoffmenge [mol]

$T$ : absolute Temperatur [K]

$R$ : allgemeine Gaskonstante;  $R = 8,314 \frac{\text{J}}{\text{K} \cdot \text{mol}}$

### *Aggregatzustände des Wassers*

Bei Wasser ist die spezifische Verdampfungswärme gegenüber anderen Stoffen stark erhöht. Dies läßt sich mit dem Dipolcharakter der Wassermoleküle erklären: Durch besonders starke Anziehungskräfte und Ausbildung von Wasserstoffbrückenbindungen zwischen den einzelnen Molekülen muß extrem viel Energie aufgewendet werden, um einzelne Moleküle in die Gasphase zu überführen.



# Übungen zur Wärmelehre

1. Das Auge als photoelektrischer Detektor ist ein äußerst empfindliches Nachweisgerät. So wird diese Eigenschaft dadurch veranschaulicht, daß es u. U. schon ein einzelnes Lichtquant im Bereich der größten spektralen Empfindlichkeit des Auges wahrzunehmen vermag. Welche unvorstellbar geringe Energie löst diese Wahrnehmung aus? ( $h = 6,6 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$ )
2. Die Temperatur einer Herdplatte erhöht sich von  $120^\circ\text{C}$  auf  $240^\circ\text{C}$ . Um welchen Faktor nimmt die Wärmestrahlung zu?
3. Vor einigen Jahren wurde nach einem Raubüberfall das Opfer bei winterlichen Temperaturen ( $-5^\circ\text{C}$ ) unbekleidet an einen Baum gefesselt. Es läßt sich abschätzen, daß dieses Verbrechen unter Umständen zum Tod des Opfers hätte führen können, wenn Sie ein Bilanz allein der Wärmestrahlung aufstellen unter der Annahme, daß die Körperoberfläche bei einer Oberflächentemperatur von  $25^\circ\text{C}$  ca.  $0,5 \text{ m}^2$  betrage. ( $\sigma = 5,6 \cdot 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$ )
4. An kalten Wintertagen sitzt es sich in der wärmenden Strahlung eines gut geheizten Kachelofens ( $t = 60^\circ\text{C}$ ) wesentlich angenehmer als vor der Energie-Sparversion dieses Wärmespeichers ( $t = 40^\circ\text{C}$ ). Um wieviel mehr wärmende Strahlung erreicht Sie vor dem stärker geheizten Kachelofen als vor dem mäßig geheizten bei gleicher Entfernung von der Heizquelle?
5. Ein Eisbeutel vermag einen Fieberkranken als Hausmittel Linderung zu schaffen. Wieviel Wärme kann der Eisbeutel aufnehmen, wenn er einige Zeit nach der Füllung ein Gemisch aus  $100 \text{ g}$  Eis und  $100 \text{ g}$  Schmelzwasser enthält und die Körperoberflächentemperatur des Kranken mit  $35^\circ\text{C}$  anzusetzen ist? ( $\lambda = 320 \text{ J/g}$ ;  $c = 4,2 \text{ Jg}^{-1}\text{K}^{-1}$ )
6. In der Frühzeit der Industrialisierung har aus Dampfkesseln austretender Dampf häufig zu so schweren Verbrennungsverletzungen geführt, daß eine eigene Dampfkesselüberwachungsbehörde, die Keimzelle des heutigen TÜV, eingerichtet wurde. Berechnen Sie zur Veranschaulichung dieser Verletzungsgefahr, welche Dampfmenge von  $200^\circ\text{C}$  ausreicht, um eine Wassermenge von  $0,5 \text{ kg}$  von  $20^\circ\text{C}$  auf  $80^\circ\text{C}$  zu erhitzen. ( $c_{\text{Dampf}} = 2,0 \cdot 10^3 \text{ Jkg}^{-1}\text{K}^{-1}$ ;  $r = 2,2 \cdot 10^6 \text{ J/kg}$ )
7. Wenn Sie die Energiezufuhr eines Stückes Sachertorte ( $1,1 \text{ MJ}$ ) in einer Sauna abarbeiten wollen, wieviel Wasser müßten Sie zu diesem Zweck ausschwitzen und verdampfen?
8. Eine alte Regel der Teezubereitung rät, man sollte vor dem Aufbrühen des Tees die Teekanne mit kochendem Wasser anwärmen. Prüfen Sie, auf welche Temperatur sich das kochende Teewasser ( $1 \text{ l}$ ) unmittelbar nach dem Eingießen in die Teekanne abkühlt, wenn Sie vergessen hatten, die Kanne aus Glas zu erwärmen und diese vielmehr Raumtemperatur hatte. ( $m_{\text{Kanne}} = 0,3 \text{ kg}$ ;  $c_{\text{Kanne}} = 0,8 \cdot 10^3 \text{ Jkg}^{-1}\text{K}^{-1}$ )
9. Mit einem Tauchsieder, auf dem eine Leistungsangabe von  $1000 \text{ W}$  aufgedruckt ist, soll Kaffeewasser ( $1 \text{ l}$ ,  $t = 20^\circ\text{C}$ ) zum Kochen gebracht werden. Wie lange dauert es bis zum Siedebeginn des Wassers?
10. Seit alters her ist es bekannt, daß der Wärmehaushalt eines kranken Menschen unterstützt werden kann durch das Hausmittel einer Wärmflasche. Sie haben 2 Modelle zur Verfügung: einen massive Cu-Block ( $10 \cdot 5 \cdot 20 \text{ cm}^3$ ) oder eine dünne Kupfer-Dose ( $500 \text{ g}$ ) mit einer Wasserfüllung von  $1 \text{ Liter}$ . Vergleichen Sie die Wärmekapazitäten Ihrer beiden Wärmflaschenmodelle und begründen Sie, welches das wärmetechnisch effektivere ist. ( $\rho_{\text{Cu}} = 8,9 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$ ;  $c_{\text{Cu}} = 0,38 \cdot 10^3 \text{ Jkg}^{-1}\text{K}^{-1}$ )

# Thema 3: Elektrizitätslehre I

(Versuche 31, 44a, 44c)

## *Grundgrößen der Elektrizitätslehre*

Stromstärke I		[A]
Ladung	$Q = I \cdot t$	[C = A · s]
Spannung = $\frac{\text{Energie}}{\text{Ladung}}$	$U = \frac{E}{Q}$	[V = $\frac{J}{C}$ ]
OHMSches Gesetz zum Widerstand:	$R = \frac{U}{I}$	[ $\Omega = \frac{V}{A}$ ]
Leitwert	$G = \frac{1}{R}$	[S = $\Omega^{-1}$ ]
Leistung	$P = U \cdot I$	[W = A · V]
Arbeit	$W = P \cdot t$	
	$W = U \cdot Q$	[J = W · s = V · C]

## *OHMSche Widerstände*

Ein Leiter mit der Länge l und der Querschnittsfläche A besitzt einen Widerstand R, der vom spezifischen Widerstand  $\rho$  (eine Materialkonstante) abhängig ist:

$$R = \rho \cdot \frac{l}{A}$$

Auch Spannungsquellen besitzen einen inneren Widerstand  $R_i$ , der dem Elektronenfluß entgegengesetzt wird und somit einen Spannungsabfall der Elektromotorischen Kraft EMK (= Urspannung  $U_0$ ) auf die Klemmenspannung  $U_K$  bewirkt:

$$U_K = U_0 - I \cdot R_i$$

## *Berechnungen im Gleichstromkreis*

Kirchhoffsche Regeln:

1. Kirchhoffsche Regel (Knotenregel): Die Summe aller zufließenden Ströme auf einen Knotenpunkt, oder Verzweigungspunkt, ist gleich der Summe aller abfließenden Ströme.
2. Kirchhoffsche Regel (Maschenregel): Wird ein Stromkreis in sich geschlossen, ist die Summe der erzeugten Spannungen  $\sum U_E$ , gleich der Summe der verbrauchten Spannungen  $\sum U_V$ . Unter Berücksichtigung der Vorzeichen ist die Summe der Masche = 0.

Berechnung von Gesamtwiderständen:

- 1.) Reihenschaltung:  $R_{\Sigma} = R_1 + R_2 + \dots + R_n$
- 2.) Parallelschaltung:  $\frac{1}{R_{\Sigma}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}$

# Übungen zur Elektrizitätslehre I

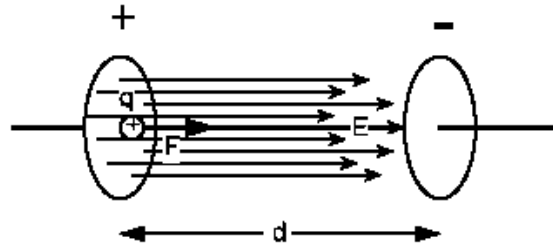
1. Für ein Taschenlampenbirnchen (Betriebsdaten: 4,0 V; 0,2 A) suchen Sie sich eine Batterie aus, deren Beschriftung darauf schließen läßt, daß ihre EMK 4 V betrage. Da die Lampe nur mäßig aufleuchtet, messen Sie mit einem Voltmeter die an der Lampe anliegende Spannung nach. Sie stellen fest, daß die Klemmenspannung der Batterie nur 3,6 V beträgt. Erklären Sie den Sachverhalt und berechnen Sie den Innenwiderstand der Spannungsquelle.
2. Bei den kühlen Abendtemperaturen braucht man häufig noch eine Zusatzheizung. Als ein Besuch um 20 h eintrifft, werden deshalb zwei Heizöfchen aktiviert. Bei Anschluß an die Netzspannung "frißt" jeder von beiden 10 A. Wie "teuer" war der Besuch, wenn dieser um 23 h das Haus verläßt und der Hauswirt einen Verrechnungspreis von 0,08 €/kWh in Rechnung stellt?
3. Ein Elektriker arbeitet leichtsinnigerweise an einer unter Spannung von  $U = 230 \text{ V}$  stehenden Anlage und berührt dabei ein spannungsführendes Kabel. Dabei fließt über seinen linken Arm, den Torso und beide Beine ein Strom. Wie groß ist der über das Herz fließende Strom, wenn sein Hautwiderstand (jeweils beide Hände und Füße)  $R = 15 \text{ k}\Omega$ , der der Gliedmaße (jeweils beide Arme und Beine)  $R = 140 \Omega$  und der des Torso  $R = 80 \Omega$  beträgt? Anmerkung: Über das Herz fließen 12 % des gesamten Stroms durch den Torso.
4. Durch eine Eisen(II)sulfatlösung fließt 5 Minuten lang ein Strom  $I = 2 \text{ A}$ .
  - a. Welche Ladung  $Q$  wird dabei transportiert?
  - b. Man berechne die Anzahl  $N$  der an der Kathode abgeschiedenen Eisenatome und die Masse  $m$  des abgeschiedenen Eisens.  
( $M_{\text{Fe}} = 55,85 \text{ g/mol}$ ;  $N_A = 6 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ )
5. Als physiologische Empfindungsschwelle für Elektrizität gilt eine Stromstärke von 1 mA. Elektrisieren Sie sich, wenn Sie eine Spannungsquelle von 5 kV berühren, die selbst einen Innenwiderstand von 3 M $\Omega$  besitzt?
6. Mit einem 10 m langen Widerstandsdraht aus der Legierung Konstantan ( $d = 0,5 \text{ mm}$ ,  $\rho = 0,5 \cdot 10^{-6} \Omega \cdot \text{m}$ ) läßt sich ein recht brauchbares Heizöfchen herstellen. Berechnen Sie den Heizstrom, um zu prüfen, ob der Sicherungsautomat für 15 A ausreicht für den Betrieb der Heizung am Netz.
7. Die Stromzuleitungen der meisten Geräte im Haushaltsbereich sind als biegsame Litzen aus vielen dünnen Einzeldrähten ausgebildet. Wie groß ist der Widerstand einer solchen aus 50 Einzeldrähten bestehenden Litze von 1 m Länge aus Kupferdraht, wenn jedes einzelne Drähtchen mit 0,4 mm Durchmesser einen spezifischen Widerstand von  $1,6 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$  besitzt?
8. Auf einem Tauchsieder gibt die Produktbeschreibung an, daß dieser bei Anschluß an ein 220 V-Netz eine Leistung von 1000 W erbringt. Welche Leistung kann dieser Tauchsieder jedoch nur abgeben, wenn man ihn während eines USA-Urlaubs mit einer Netzspannung von 110 V betreiben muß?
9. Ein unbekannter Widerstand  $R$  ist mit einem Akkumulator unbekannter Spannung und vernachlässigbar kleinem Innenwiderstand  $R_i$  verbunden. Mit einem Amperemeter stellen Sie fest, daß bei geschlossenem Stromkreis ein Strom von 1 A fließt. Nach Hinzuschalten eines bekannten Widerstandes in Reihe zu  $R$  messen Sie einen Strom von 167 mA. Welchen Wert hat der unbekannte Widerstand? Wie hoch ist die Spannung des unbekannten Akkumulators, und um welchen Akkutypen könnte es sich handeln?

# Thema 4: Elektrizitätslehre II

(Versuche 31, 44a, 44c)

## Kondensatoren

Auf zwei durch ein nichtleitendes Medium (mit der Dielektrizitätszahl  $\epsilon$ ) getrennte Platten der Fläche  $A$  im Abstand  $d$  werden Ladungen aufgebracht:



Dann ist die elektrische Feldstärke  $E$  definiert als die Kraft  $F$ , die auf ein Ladungsteilchen  $q$  wirkt:

$$E = \frac{F}{Q} \quad \left[ \frac{\text{V}}{\text{m}} = \frac{\text{N}}{\text{C}} \right]$$

Für den Plattenkondensator gilt:

$$E = \frac{U}{d}$$

Die Kapazität des Kondensators beschreibt, welche Ladung  $Q$  bei einer anliegenden Spannung  $U$  aufgenommen werden kann:

$$C = \frac{Q}{U} \quad \left[ F = \frac{\text{C}}{\text{V}} \right]$$

Für den Plattenkondensator gilt:

$$C = \epsilon_0 \cdot \epsilon \cdot \frac{A}{d}$$

mit  $\epsilon_0$ : Elektrische Feldkonstante;  $\epsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12} \frac{\text{F}}{\text{m}}$

Die Aufladung eines Kondensators über einen Widerstand  $R$  bzw. seine Entladung folgt einer logarithmischen Abhängigkeit und wird von der Zeitkonstante  $\tau = R \cdot C$  bestimmt:

Aufladevorgang: 
$$U(t) = U_x \cdot \left( 1 - e^{-\frac{t}{R \cdot C}} \right) \quad U_x: \text{Ladespannung}$$

Entladevorgang: 
$$U(t) = U_0 \cdot e^{-\frac{t}{R \cdot C}} \quad U_0: \text{Anfangsspannung an C}$$

### ***Magnetismus***

Die magnetische Feldstärke  $H$  einer mit dem Strom  $I$  durchflossenen Spule der Länge  $l$  mit  $n$  Windungen berechnet sich als

$$H = I \cdot \frac{n}{l} \quad \left[ \frac{\text{A}}{\text{m}} \right]$$

Die magnetische Flußdichte  $B$  leitet sich aus der Feldstärke ab unter Berücksichtigung der relativen Permeabilitätszahl  $\mu_r$  des im Magnetfeld befindlichen Mediums:

$$B = \mu_r \cdot \mu_0 \cdot H \quad \left[ \text{T} = \frac{\text{V} \cdot \text{s}}{\text{m}^2} \right]$$

$$\mu_0: \text{magnetische Feldkonstante; } \mu_0 = 1,257 \cdot 10^{-8} \frac{\text{V} \cdot \text{s}}{\text{A} \cdot \text{m}}$$

Der magnetische Fluß  $\Phi$  hängt von der Flußdichte und der Spulenquerschnittsfläche ab:

$$\Phi = B \cdot A \quad [\text{Wb} = \text{T} \cdot \text{m}^2]$$

Die Induktivität  $L$  einer stromdurchflossenen Spule ist bestimmt durch

$$L = \mu_r \cdot \mu_0 \cdot n^2 \cdot \frac{A}{l} \quad \left[ \text{H} = \frac{\text{V} \cdot \text{s}}{\text{A}} \right]$$

mit  $\mu_r$ : relative Permeabilitätszahl  
 $n$ : Anzahl der Windungen der Spule  
 $A$ : Querschnittsfläche der Spule  
 $l$ : Länge der Spule

### ***Induktionsgesetz***

Eine Änderung des magnetischen Flusses  $d\Phi$  über die Zeit  $dt$  induziert eine Spannung (Funktionsprinzip des Dynamos!):

$$U_{\text{ind}} = - \frac{d\Phi}{dt}$$

Bei der Selbstinduktion wird die Induktionsspannung durch eine zeitliche Änderung der Stromstärke bewirkt (induktive Widerstände im Wechselstromkreis):

$$U_{\text{ind}} = - L \cdot \frac{dI}{dt}$$

### ***Wechselstrom***

Im Wechselstromkreis ändern sich Strom und Spannung zeitlich sinusförmig:

$$U(t) = U_0 \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi)$$

$$I(t) = I_0 \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi)$$

mit  $U_0$ : Scheitelspannung;  $I_0$ : Scheitelstrom  
 $\omega$ : Kreisfrequenz  $2 \cdot \pi \cdot f$   
 $\varphi$ : Phasenverschiebung

Die Effektivwerte von Strom und Spannung erzeugen die gleiche mittlere Leistung wie entsprechender Gleichstrom:

$$I_{\text{eff}} = \frac{I_0}{\sqrt{2}} \quad \text{und} \quad U_{\text{eff}} = \frac{U_0}{\sqrt{2}}$$

Die Wirkleistung kann in Arbeit umgesetzt werden und hängt von der Phasenverschiebung  $\varphi$  zwischen Strom und Spannung ab:

$$P = I_{\text{eff}} \cdot U_{\text{eff}} \cdot \cos \varphi$$

### ***Kondensatoren im Wechselstrom***

Kondensatoren stellen im Wechselstromkreis **kapazitative Widerstände**  $X_C$  dar, was bewirkt, daß der Strom der Spannung mit einer Phasenverschiebung von im Idealfall  $90^\circ$  vorausseilt:

$$X_C = \frac{1}{\omega \cdot C}$$

### ***Spulen im Wechselstrom***

Stromdurchflossene Spulen stellen im Wechselstromkreis **induktive Widerstände**  $X_L$  dar, was bewirkt, daß die Spannung dem Strom mit einer Phasenverschiebung von im Idealfall  $90^\circ$  vorausseilt:

$$X_L = \omega \cdot L$$

### ***Elektrischer Schwingkreis***

Schaltet man ohmsche, kapazitative und induktive Widerstände in Reihe, so ergibt sich ein elektrischer Schwingkreis, dessen Gesamtwiderstand oder Impedanz  $Z$  von den Einzelwiderständen beeinflusst wird:

$$Z = \sqrt{R^2 + \left( \omega \cdot L - \frac{1}{\omega \cdot C} \right)^2}$$

Der Gesamtwiderstand wird minimal ( $Z = R$ ), wenn die Klammer den Wert Null annimmt, d. h. bei der sogenannten Eigenfrequenz

$$\omega = \sqrt{\frac{1}{L \cdot C}}.$$

Bei dieser Frequenz ist der Strom sowie die vom Schwingkreis aufgenommene Leistung maximal.

## Übungen zur Elektrizitätslehre II

1. Lebende Zellen können bezüglich ihres elektrischen Verhaltens als Kondensatoren betrachtet werden; die ca.  $0,1 \mu\text{m}$  dicke Zellmembran als Dielektrikum ( $\epsilon = 7$ ) trennt die aufgeladenen Oberflächen. Nehmen Sie in starker Vereinfachung an, daß die kugelförmige Zelle ( $r = 10 \mu\text{m}$ ) aufgeschnitten und so ausgebreitet ist, daß sie sich wie ein Plattenkondensator gleicher Fläche verhält. Wie groß ist die Kapazität einer einzelnen Zelle? ( $\epsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12} \text{ F/m}$ )
2. Unser elektrisches Netz ist ein 230-V-Netz. Unter Sicherheitsaspekten sollte man beachten, daß selbst bei kurzzeitiger Belastung mit einem Momentanstrom von mehr als 1 mA, v. a. bei einem Weg über die Herzbahn, eine sofortige ärztliche Beobachtung erforderlich ist. Besteht diese Anforderung, wenn ein Proband mit trockenen Händen ( $R = 25 \text{ k}\Omega$ ) ein spannungsführendes Kabel dieses Netzes berührt?
3. Ein Kondensator mit einer Kapazität von  $C = 0,5 \mu\text{F}$  wird an einer Anodenbatterie mit 50 V aufgeladen. Nach Trennung der Batterie entlädt man ihn über einen Widerstand  $R = 30 \text{ M}\Omega$ .
  - a. Bestimmen Sie die Zeitkonstante und die Halbwertszeit.
  - b. Bestimmen Sie die Anfangsladung  $Q_0$  und Anfangsstrom  $I_0$ .
  - c. Welche Zeitkonstante ergibt sich, wenn man zu dem ersten Kondensator einen weiteren mit der Kapazität  $1 \mu\text{F}$  in Serie schaltet?
4. Welche Stärke müßte das elektrische Feld im Ablenkkondensator eines Oszilloskops besitzen, damit die Gewichtskraft auf das Elektron gerade aufgehoben wird und dieses schwebt? ( $m_e = 9 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$ )
5. In einer Oszillographenröhre werden die Elektronen durch eine Anodenspannung von 20 V beschleunigt. Mit welcher Energie trifft ein einzelnes Elektron auf dem Bildschirm auf?
6. Ein Kondensator mit der Kapazität  $C = 1 \mu\text{F}$  ist auf eine Spannung von 100 V aufgeladen worden und entläßt sich sodann über einen Widerstand  $R$ , und zwar nach 5 s auf 61 V, nach 10 s auf 37 V, nach 15 s auf 22,3 V und schließlich nach 20 s auf 13,4 V. Welchen Wert hat der Ohmsche Widerstand? Hinweis: Die Auswertung sollte graphisch erfolgen.
7. Am üblichen Haushaltsstromnetz wird ein Elektrogerät betrieben, das eine Reihenschaltung aus einem ohmschen Widerstand von  $127 \Omega$ , einer Spule mit einer Induktivität von 50 mH und einem Kondensator mit einer Kapazität von  $10 \mu\text{F}$  darstellt. Wie hoch ist die Scheinleistung, welchen Spitzenstrom nimmt das Gerät auf?
8. Bei einem Kernspintomographen wird der Patient in das starke Magnetfeld einer lange, geraden Spule geschoben. Für ein genügend starkes Magnetfeld von  $H = 10^7 \text{ A/m}$  in dieser Spule (Länge 2 m, Durchmesser 0,5 m, 20.000 Windungen) braucht man einen sehr großen Strom; welchen Wert berechnen Sie? Für die Ausrichtung der zu untersuchenden Atomkerne im Magnetfeld ist die damit verbundene magnetische Kraftflußdichte verantwortlich. Wie ändert sich diese durch das Hereinschieben des menschlichen Körpers, wenn Sie annehmen, daß dieser nur aus Wasser besteht und die Spule gleichmäßig ausfüllt? ( $\mu_r = 0,9999$ )
9. Ein Schwingkreis mit einer Kapazität von  $0,1 \mu\text{F}$  hat eine Eigenfrequenz von 2.600 Hz.
  - a. Wie groß ist seine Induktivität?
  - b. Wie müßte man die Kapazität ändern, um die Eigenfrequenz zu verdoppeln?



# Thema 5: Fehlerrechnung

**Fehlerangabe** (am Beispiel der Erdbeschleunigung)

$$g = (9,81 \pm 0,01) \text{ m/s}^2 \quad \text{oder} \quad g = 9,81 \text{ m/s}^2 \text{ auf } 0,1 \% \text{ genau}$$

**Arithmetischer Mittelwert**

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

**Mittlerer Fehler der Einzelmessung**

$$\Delta x = \sqrt{\frac{\sum (\bar{x} - x_i)^2}{(n-1)}}$$

**Mittlerer Fehler des Mittelwerts**

$$\overline{\Delta x} = \sqrt{\frac{\sum (\bar{x} - x_i)^2}{n \cdot (n-1)}}$$

**Fehlerfortpflanzung**

- **Summe (Differenz) von Meßgrößen:** z. B.  $U = a + b + c$

Die **absoluten** Fehler addieren sich:

- Größtfehler:  $|\Delta U| = |\Delta a| + |\Delta b| + |\Delta c|$
- mittl. quadr. Fehler:  $|\Delta U| = \sqrt{(\Delta a)^2 + (\Delta b)^2 + (\Delta c)^2}$

- **Produkt (Quotient) von Meßgrößen:** z. B.  $A = a \cdot b$

Die **relativen** Fehler addieren sich:

- Größtfehler:  $\left| \frac{\Delta A}{A} \right| = \left| \frac{\Delta a}{a} \right| + \left| \frac{\Delta b}{b} \right|$
- mittl. quadr. Fehler:  $\left| \frac{\Delta A}{A} \right| = \sqrt{\left( \frac{\Delta a}{a} \right)^2 + \left( \frac{\Delta b}{b} \right)^2}$

- **Potenzfunktion von Meßgrößen:** z. B.  $V = \pi \cdot r^2 \cdot h$

- Größtfehler:  $\left| \frac{\Delta V}{V} \right| = \left| \frac{\Delta h}{h} \right| + 2 \cdot \left| \frac{\Delta r}{r} \right|$
- mittl. quadr. Fehler:  $\left| \frac{\Delta V}{V} \right| = \sqrt{\left( \frac{\Delta h}{h} \right)^2 + \left( 2 \cdot \left( \frac{\Delta r}{r} \right) \right)^2}$

# Übungen zur Fehlerrechnung

1. Zur Ausmessung eines ohmschen Widerstandes steht ein einziges Vielfach-Meßinstrument zur Verfügung. Zuerst werden 8 Spannungsmessungen {9 V; 9 V; 9 V; 10 V; 10 V; 11 V; 11 V, 11 V}, sodann 5 Strommessungen {8 mA; 9 mA; 9 mA; 11 mA; 13 mA} vorgenommen. Mit welchem mittleren Fehler ist der Mittelwert des Ohmschen Widerstands behaftet?
2. Mehrfache Dehnungsversuche nach dem Hooke'schen Gesetz mit Stahldraht ergeben fünf Werte für den E-Modul ( $E = \{2,1; 2,1; 2,0; 2,0; 2,3\} \cdot 10^{11} \text{ N/m}^2$ ). Überprüfen Sie, ob im Bereich des mittleren Fehlers des Mittelwertes für E dieser in Übereinstimmung steht mit dem Wert des E-Moduls, der sich aus der Schallgeschwindigkeit für Stahl berechnen läßt. ( $v_{\text{Stahl}} = 5000 \text{ m/s}$ ;  $\rho_{\text{Stahl}} = 8 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$ )
3. Die Thermographie ist ein diagnostisches Verfahren, welches erlaubt, sowohl entzündliche Bereiche der Hautoberfläche als auch schlecht durchblutete Bereiche zu lokalisieren. Mit welcher relativen Genauigkeit müssen Sie die Strahlungsleistung messen, wenn Sie eine Abweichung von  $\Delta T = 1 \text{ K}$  der Oberflächentemperatur von ca.  $27^\circ \text{C}$  feststellen wollen?
4. Sie bekommen die Aufgabe, den Elastizitätsmodul einer zylindrischen Faser durch Belastung mit dem Gewicht der Masse  $m$  zu bestimmen. Wie groß ist der Fehler des Elastizitätsmoduls, wenn Sie Durchmesser und relative Längenänderung der Faser auf jeweils 10 % genau bestimmen können?
5. Bei der Dehnungsmessung zur Bestimmung des Elastizitätsmoduls nach dem Hooke'schen Gesetz belastet man den Draht mit Gewichten unterschiedlicher Masse. Geben Sie den zu erwartenden Fehler für den E-Modul an, wenn Sie alle Längenmessungen mit dem relativen Fehler von  $\pm 2,5\%$  ausführen können, den Fehler der Massenangabe dagegen als geringfügig vernachlässigen können.
6. Ein Kondensator, dessen Kapazitätswert nicht angegeben ist, wird an die Netzspannung angeschlossen; mit Meßgeräten mißt man einen Strom von 230 mA bei einer Netzspannung von 230 V. Beide Messungen sind im Hinblick auf die Qualität der Meßgeräte mit einem relativen Fehler von  $\pm 1 \%$  behaftet. Rechnen Sie aus, ob der Fehler  $\Delta C$  des aufgrund der Meßergebnisse zu bestimmenden Wertes der Kapazität kleiner oder größer als  $0,01 \mu\text{F}$  ist.
7. Zu einem Kondensator ( $C_1 = 1 \mu\text{F}$ ) wird ein zweiter Kondensator ( $C_2 = 100 \text{ nF}$ ) parallel hinzugeschaltet; beide Kapazitätswerte sind mit einem relativen Fehler von 10 % bekannt. Entscheiden Sie nach Berechnen des Wertes der Gesamtkapazität, ob dieser sich innerhalb des einfachen statistischen Fehlers vom Wert des Kondensators  $C_1$  signifikant unterscheidet.
8. Ablagerungen an der Innenwand einer Arterie haben Einfluß auf die laminare Strömung des Blutkreislaufes. Eine Verringerung des Durchmessers von 5 % läßt sich auf einer Röntgenaufnahme mit Kontrastmittel überprüfen. Wie groß ist die prozentuale Verringerung der Fließgeschwindigkeit bei sonst unveränderten Bedingungen zu erwarten?
9. Durch einen Dehnungsversuch soll der Elastizitätsmodul eines etwas zerknitterten Messingdrahtes bestimmt werden (Länge 1 m, Radius  $100 \mu\text{m}$ ). Ihnen liegen 8 Messungen mit den Längenzunahmen  $\Delta l$  bei 8 verschiedenen Gewichtskräften vor:

F [N]	1	2	3	4	5	6	7	8
$\Delta l$ [mm]	1,32	2,14	2,45	2,77	3,09	3,41	3,73	4,05

# Anhang

## **Zusammenstellung (für die Klausur) wichtiger physikalischer Größen**

Diese Zahlenwerte werden in der Klausur als bekannt vorausgesetzt und nicht angegeben.

### ***Mechanik***

Erdbeschleunigung $g$	$g = 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$
Atmosphärendruck	$p = 1.013 \text{ mbar} = 760 \text{ Torr} = 760 \text{ mm Hg}$
Raumtemperatur	$T \approx 20^\circ \text{C} = 293 \text{ K}$
Dichte von Wasser bei Raumtemperatur	$\rho \approx 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$
Länge des Femurs (Oberschenkel)	$l \approx 50 \text{ cm} = 0,5 \text{ m}$

### ***Thermik***

Spezifische Wärmekapazität von Wasser	$c = 4,18 \cdot 10^3 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$
Siedepunkt von Wasser	$T \approx 100^\circ \text{C} = 373 \text{ K}$
Gefrierpunkt von Wasser	$T \approx 0^\circ \text{C} = 273 \text{ K}$

### ***Elektrizitätslehre***

Netzspannung	$U \approx 230 \text{ V}$
Frequenz der Wechselspannung im Netz	$f = 50 \text{ Hz}$
Elementarladung	$e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$

### ***Gesetz des organischen Zerfalls***

Nach mittlerer Lebensdauer  $\tau$  ist die Anfangsmenge auf  $\frac{1}{e} \approx 37 \%$  abgefallen.

# Lösungen

## Mechanik:

1. 6760 N; 4fache Kraft
2.  $4,17 \cdot 10^9 \text{ N/m}^2$
3.  $1,8 \cdot 10^8 \text{ N/m}^2 \rightarrow 158\text{fach}$
4.  $5,52 \cdot 10^{-3}^\circ$
5.  $0,89 \text{ g/cm}^3$
6.  $0,367 \cdot 10^{-3} \text{ Pa} \cdot \text{s}$
7. + 20 %
8. Faktor 3,44
9. 228,6 hPa
10.  $1,63 \cdot 10^{12} \text{ Pa} \cdot \text{s} \cdot \text{m}^{-3}$

## Wärmelehre:

1.  $3,67 \cdot 10^{-19} \text{ J}$
2. 2,903
3. 76,4 W
4. 1,28
5. 61,4 kJ
6. 50 g
7. 0,5 kg
8. 368,7 K
9. 334,4 s
10. 2. Modell (4,37 kJ/K vs. 3,38 kJ/K)

## Elektrizitätslehre I:

1.  $2,2 \Omega$
2. 1,10 €
3. 1,2 mA
4. a)  $1,86 \cdot 10^{21}$  Atome b) 170 mg
5. 1,67 mA
6. 8,6 A
7.  $2,55 \text{ m}\Omega$
8. 500 W
9.  $12 \Omega$ ; 1,2 V  $\rightarrow$  z. B. NiCd-Akku

## Elektrizitätslehre II:

1. 0,78 pF
2. 13 mA
3. a) 15 s; 10,4 s b) 250 mC; 1,67  $\mu\text{A}$   
c) 10 s
4.  $5,51 \cdot 10^{-11} \text{ V/m}$
5. 20 eV
6. graphisch
7. 161 W; 1 A
8. 1000 A; Reduktion um 1,3 mT
9. a) 37,5 mH b) 25 nF

## Fehlerrechnung:

1. 13,4 %
2. nein:  $(2,1 \pm 0,05) \cdot 10^{11} \text{ N/m}^2$
3. 30 %
4. 1,3 %
5. 10,8 %
6.  $0,064 \mu\text{F}$
7.  $\pm 0,11 \mu\text{F}$
8. 20 %
9. graphisch!