

2 Mechanik

2.1 Bewegungen

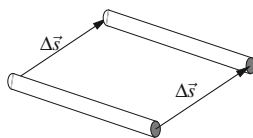
2.1.1 Bezugssysteme, Bewegungsarten

Unter der Bewegung eines Körpers versteht man die Änderung seiner räumlichen Lage mit der Zeit. Verändert ein Körper eine bestimmte Zeit lang seine Lage nicht, so befindet er sich im Zustand der Ruhe. Bei der Feststellung, ob sich ein Körper im Zustand der Bewegung oder der Ruhe befindet, können verschiedene Beobachter zu unterschiedlichen Ergebnissen kommen. Dazu zwei Beispiele:

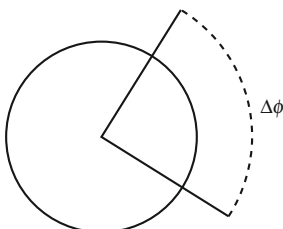
1. A steht auf dem Bahnsteig und sieht B nach, der in seinem Abteil am Fenster des abfahrenden Zugs steht. A wird sich der zunehmenden Entfernung von B bewusst, B bewegt sich also von ihm fort. Der Reisende C, der sich im selben Abteil wie B aufhält, kann dagegen keine Bewegung von B feststellen.
2. A steht diesmal auf dem Jahrmarkt und beobachtet B, der sich in der Mitte auf einer langsam rotierenden Drehscheibe befindet. Die Entfernung zwischen den beiden ändert sich zwar nicht, aber A stellt dennoch eine Bewegung von B fest, dessen Drehung um seine Achse. C dagegen, der mit B auf die Scheibe geklettert ist, kann wieder keine Bewegung von B feststellen.

Wie man sieht, ist zur Beschreibung der Lageänderung eines Körpers ein Bezugssystem nötig, von dem aus die Beobachtung erfolgt. Erst wenn man sich für ein Bezugssystem entschieden hat, kann eine Bewegung relativ zu diesem System beschrieben werden. Dabei unterscheidet man grundsätzlich zwei Bewegungsarten:

Translation: geradlinige Bewegung, alle Punkte eines Körpers bewegen sich auf parallelen Bahnen um eine Strecke $\Delta \vec{s}$.



Rotation: Drehbewegung eines Körpers um eine im Bezugssystem ruhende (raumfeste) Achse um einen Winkel $\Delta \phi$.



Aus diesen beiden Grundarten der Bewegung lässt sich jede beliebige Bewegung zusammensetzen. Translation und Rotation werden mathematisch gleich behandelt. In Formeln und graphischen Darstellungen werden lediglich unterschiedliche Symbole verwendet. Die einander entsprechenden Größen werden deshalb in den folgenden Abschnitten parallel behandelt.

2.1.2 Geschwindigkeit, Winkelgeschwindigkeit

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

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

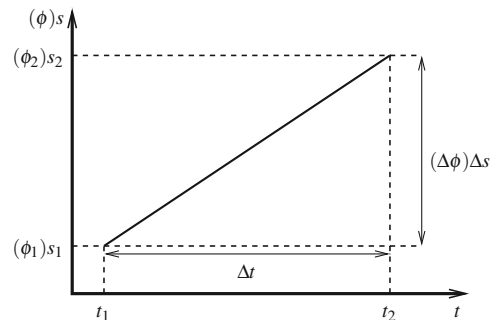
bzw.

$$\text{Winkelgeschwindigkeit} = \frac{\text{Winkeländerung}}{\text{benötigte Zeit}}$$

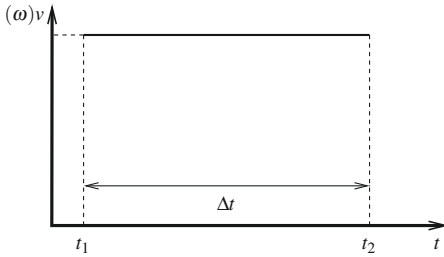
$$\omega = \frac{\Delta \phi}{\Delta t} \quad \left[\frac{1}{\text{s}} \right]$$

Die Position eines Körpers am Anfang (t_1, s_1) und am Ende (t_2, s_2) einer Beobachtung genügen nicht zur vollständigen Beschreibung der beobachteten Bewegung. Mit Hilfe dieser Eckdaten kann lediglich die Durchschnitts- (winkel)geschwindigkeit im Beobachtungszeitraum angegeben werden. Führt der Körper in gleichen Zeitabschnitten immer gleiche Positionsänderungen durch, so bewegt er sich mit konstanter (Winkel-) Geschwindigkeit. Man spricht von einer gleichförmigen (Kreis-) Bewegung, die graphisch so dargestellt wird:

Weg-Zeit-(s-t-)Diagramm



Geschwindigkeits-Zeit-(v-t-)Diagramm



2.1.3 Beschleunigung, Winkelbeschleunigung

Ändert sich die (Winkel-) Geschwindigkeit während der Beobachtung, so spricht man von einer ungleichförmigen oder beschleunigten Bewegung. Bei konstanter (gleichmäßiger) Beschleunigung gilt:

$$\text{Beschleunigung} = \frac{\text{Änderung der Geschwindigkeit}}{\text{benötigte Zeit}}$$

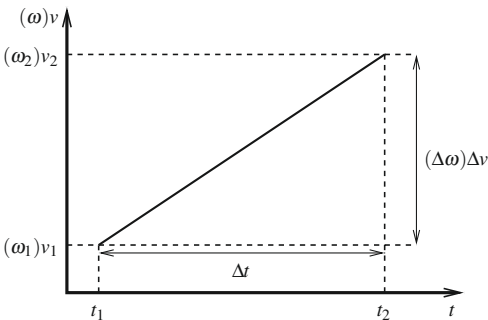
$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} \quad \left[\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right]$$

bzw.

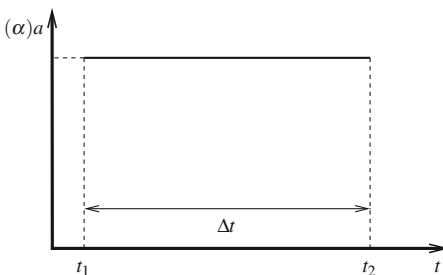
$$\text{Winkelbeschleunigung} = \frac{\text{Änderung der Winkelgeschw.}}{\text{benötigte Zeit}}$$

$$\alpha = \frac{\Delta \omega}{\Delta t} \quad \left[\frac{1}{\text{s}^2} \right]$$

v-(ω)-t-Diagramm



a-(α)-t-Diagramm



Bei ungleichmäßiger (Winkel-)Beschleunigung können mit den oben genannten Gleichungen wieder lediglich die entsprechenden Mittelwerte im Beobachtungszeitraum bestimmt werden.

2.1.4 Allgemeiner Zusammenhang: Weg-Geschwindigkeit-Beschleunigung bzw. Winkel-Winkelgeschwindigkeit-Winkelbeschleunigung

Momentanwerte (zum Zeitpunkt t) einer Größe X erhält man nur, wenn die funktionale Abhängigkeit $X = f(t)$ bekannt ist, z. B. in Form einer Gleichung, einer Tabelle oder einer graphischen Darstellung.

Gegeben sei der Weg s eines Körpers in Abhängigkeit von der Zeit t :

$$s = f(t)$$

dann ergibt sich seine Geschwindigkeit aus der Ableitung dieser Funktion :

$$v = \dot{f}(t) = \frac{ds}{dt} = \dot{s}$$

eine weitere Ableitung nach der Zeit ergibt die Beschleunigung des Körpers:

$$a = \ddot{f}(t) = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2s}{dt^2} = \ddot{s}$$

Entsprechend gilt für die Kreisbewegung: bei gegebener Winkelfunktion:

$$\phi = f(t)$$

ergibt sich die Winkelgeschwindigkeit aus:

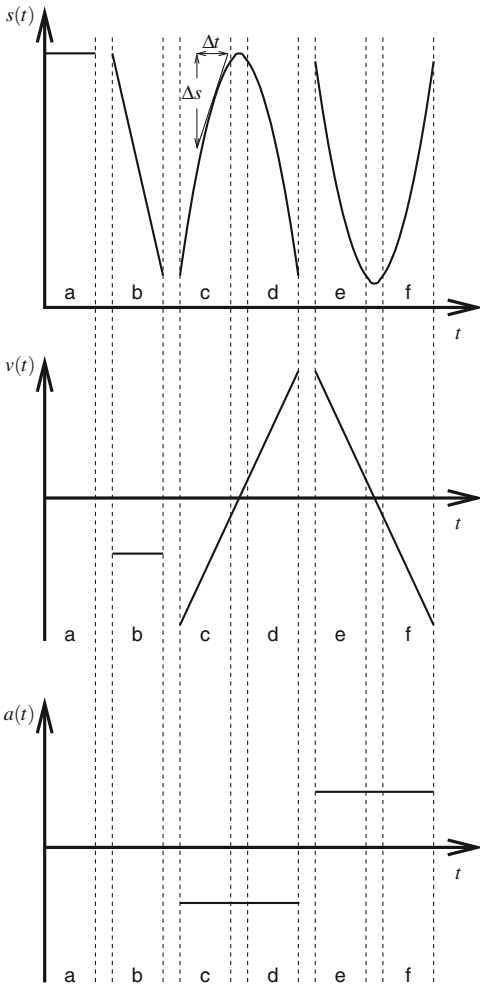
$$\omega = \dot{f}(t) = \frac{d\phi}{dt} = \dot{\phi}$$

und die Winkelbeschleunigung aus:

$$\alpha = \ddot{f}(t) = \frac{d\omega}{dt} = \frac{d^2\phi}{dt^2} = \ddot{\phi}$$

Graphische Bedeutung (vgl. dazu auch II 1.2): Im Weg-(Winkel)-Zeit-Diagramm wirkt sich eine (Winkel-) Beschleunigung durch eine Krümmung des Graphen aus. Die Steigung in jedem einzelnen Punkt der Kurve gibt die Momentan(winkel)geschwindigkeit wieder.

Im (Winkel-) Geschwindigkeits-Zeit-Diagramm gibt die Steigung der Kurve im jedem Punkt die Momentan(winkel)beschleunigung wieder. Beispiele zur graphischen Darstellung und Auswertung:



- a: ruhender Körper (keine Ortsveränderung)
- b: gleichförmige Bewegung (negative Orientierung)
- c: gleichmäßige Beschleunigung (negative Orientierung) Verzögerung der absoluten Geschwindigkeit (Betrag); Kurve im s - t -Diagramm wird mit der Zeit flacher.
- d: gleichmäßige Beschleunigung (negative Orientierung) Achtung: Steigung der absoluten Geschwindigkeit (Kurve im s - t -Diagramm wird mit der Zeit steiler.)
- e: gleichmäßige Beschleunigung (positive Orientierung) Achtung: Verzögerung der absoluten Geschwindigkeit (Kurve im s - t -Diagramm wird mit der Zeit flacher.)
- f: gleichmäßige Beschleunigung (positive Orientierung) Steigung der absoluten Geschwindigkeit (Kurve im s - t -Diagramm wird mit der Zeit steiler.)

Bestimmung der Momentangeschwindigkeit (zur Zeit t): $v = \frac{ds}{dt}$ (Steigung im s - t -Diagramm)

Bestimmung der mittleren Geschwindigkeit (Durchschnittsgeschwindigkeit): $\bar{v} = \frac{\Delta s}{\Delta t}$

2.1.5 Geradlinige Bewegungen, einfache Gesetze

Gleichförmige Bewegung: Das Weg-Zeit-Gesetz lautet

$$s = v \cdot t + s_0$$

Dies ergibt im s - t -Diagramm eine Gerade. s_0 ist der Ort, v_0 die Geschwindigkeit zu Beginn des Beobachtungszeitraums ($t = 0$).

Gleichmäßige Beschleunigung: Das Weg-Zeit-Gesetz lautet

$$s = \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2 + v_0 \cdot t + s_0$$

Dies ergibt im s - t -Diagramm eine Parabel, und das Geschwindigkeits-Zeit-Gesetz ist dann

$$v = a \cdot t + v_0$$

was im v - t -Diagramm eine Gerade ergibt.

2.1.6 Rotationsbewegungen

Analog zu den linearen Bewegungen gilt für die

Gleichförmige Kreisbewegung: Winkel-Zeit-Gesetz:

$$\phi = \omega \cdot t + \phi_0$$

Im ϕ - t -Diagramm ergibt dies eine Gerade.

Gleichmäßige Winkelbeschleunigung: Winkel-Zeit-Gesetz:

$$\phi = \frac{1}{2} \alpha \cdot t^2 + \omega_0 \cdot t + \phi_0$$

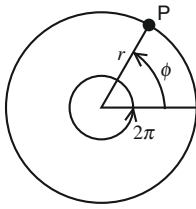
ϕ_0 : Winkel zu Beginn des Beobachtungszeitraums

ω_0 : Winkelgeschwindigkeit zu Beginn des Beobachtungszeitraums

Dies ergibt im ϕ - t -Diagramm eine Parabel. Das Winkelgeschwindigkeits-Zeit-Gesetz lautet hier

$$\omega = \alpha \cdot t + \omega_0$$

und ergibt eine Gerade im ω - t -Diagramm.



Der Punkt P soll eine gleichförmige Kreisbewegung ausführen. Ein vollständiger Umlauf entspricht dabei 360° oder 2π . Die dafür benötigte Zeit ist die Periodendauer T . Seine Winkelgeschwindigkeit ($\frac{\text{Winkeländerung}}{\text{Zeit}}$) beträgt also

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi}{T} = 2\pi\nu$$

Dabei ist die Frequenz

$$\nu = \frac{1}{T} \quad \left[\frac{1}{\text{s}} = 1 \text{ Hz (Hertz)} \right]$$

$\omega = 2\pi\nu$ wird auch Kreisfrequenz genannt.

Der von P während einer Periodendauer T zurückgelegte Weg entspricht dem Kreisumfang $U = 2\pi r$. Seine Geschwindigkeit auf dieser Kreisbahn heißt Kreisbahngeschwindigkeit oder Umfangsgeschwindigkeit v_U . Es gilt

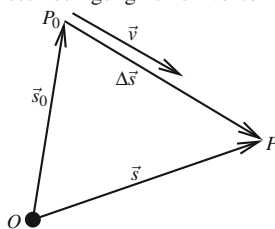
$$v_U = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{2\pi r}{T} = \omega \cdot r$$

Bei einer gleichförmigen Kreisbewegung ist die Kreisfrequenz und damit auch die Umfangsgeschwindigkeit vom Betrag her konstant. Der umlaufende Punkt ändert aber seine Bewegungsrichtung ständig. Er wird senkrecht zu seiner Bewegungsrichtung beschleunigt. Diese hier zum Drehzentrum gerichtete Radialbeschleunigung heißt Zentripetalbeschleunigung

$$a_r = \frac{v_U^2}{r} = \frac{(\omega \cdot r)^2}{r} = r \cdot \omega^2$$

2.1.7 Vektoren bei linearen Bewegungen

Geschwindigkeit und Beschleunigung sind vektorielle Größen. Zu ihrer vollständigen Beschreibung sind Betrag und Richtung nötig. Um der vektoriellen Darstellung einer Bewegung formal gerecht zu werden, führt man zusätzlich einen sogenannten Ortsvektor \vec{s} ein. Er stellt anschaulich Blickrichtung und Entfernung vom Beobachter (z. B. vom Koordinatenursprung O) zum Ort des Geschehens dar. Eine gleichförmige lineare Bewegung von P_0 nach P kann z. B. wie in der beistehenden Skizze dargestellt werden.



\vec{s}_0 : Ortsvektor zum Punkt P_0

\vec{s} : Ortsvektor zum Punkt P

\vec{v} : Geschwindigkeitsvektor

$\Delta\vec{s} = \vec{v} \cdot t$: zurückgelegter Weg

Die Gleichungen aus I 2.1.5 haben in vektorieller Darstellung die Form

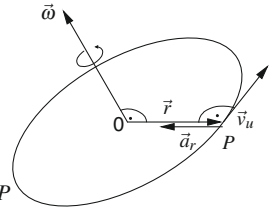
$$\vec{s} = \vec{s}_0 + \vec{v} \cdot t$$

$$\vec{s} = \vec{s}_0 + \vec{v} \cdot t + \frac{1}{2} \cdot \vec{a} \cdot t^2$$

$$\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{a} \cdot t$$

2.1.8 Vektoren bei Rotationsbewegungen

Die gleichförmige Kreisbewegung eines Punktes P um ein Drehzentrum O kann mit Vektoren wie in der beistehenden Skizze dargestellt werden.



\vec{r} : Ortsvektor zum Punkt P

$\vec{\omega}$: Winkelgeschwindigkeitsvektor

\vec{v}_u : Vektor der Umfangsgeschwindigkeit

\vec{a}_r : Vektor der Radialbeschleunigung

$\vec{\omega}$ stellt anschaulich die Achse der Drehbewegung dar und zeigt in die Bewegungsrichtung einer rechtsdrehenden Schraube (vgl. Rechte-Hand-Regel, II 1.5). \vec{r} und \vec{a}_r sind entgegengesetzt orientiert und haben deshalb verschiedene Vorzeichen. Die Gleichungen aus I 2.1.6 haben in vektorieller Darstellung die Form

$$\vec{\phi} = \vec{\phi}_0 + \vec{\omega} \cdot t$$

$$\vec{\phi} = \vec{\phi}_0 + \vec{\omega}_0 \cdot t + \frac{1}{2} \cdot \vec{\alpha} \cdot t^2$$

$$\vec{\omega} = \vec{\omega}_0 + \vec{\alpha} \cdot t$$

$$\vec{v}_u = \vec{\omega} \times \vec{r}$$

$$\vec{\omega} = \vec{r} \times \vec{v}_u$$

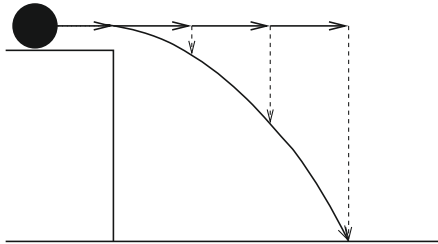
$$\vec{a}_r = -\vec{r} \cdot \omega^2$$

(Vektor bzw. Skalarprodukt siehe II 1.5)

2.1.9 Vektorielle Überlagerung von Bewegungen

Mehrere einfache Bewegungen lassen sich zu jeder beliebigen Bewegung zusammensetzen. Die Vektoren der einzelnen Komponenten werden einfach addiert. Ein Ball, der z. B. von einem Tisch rollt, behält seine waagrechte

Geschwindigkeitskomponente bei, der aber eine entsprechend der Erdbeschleunigung g ständig wachsende senkrechte Komponente überlagert wird. Der Ball beschreibt eine Parabelbahn.



2.1.10 Zeitabhängige Vorgänge

Der Wert physikalischer Größen ist oft zeitlich nicht konstant. Man spricht dann von einer zeitabhängigen Größe und schreibt für eine Größe A :

$$A(t)$$

um die Zeitabhängigkeit anzudeuten.

Gibt es eine gewisse Zeitspanne (Periode) T , nach der sich die Zeitabhängigkeit wiederholt, also

$$A(t + T) = A(t)$$

für jedes beliebige t gilt, so spricht man von einem periodischen Vorgang mit der Periode T (z. B. Lichtblitze eines Stroboskops, Arbeitstakte einer Maschine.); gibt es eine solche Periode nicht, so ist der Vorgang aperiodisch.

Der Kehrwert der Periode ist die Frequenz:

$$\nu = \frac{1}{T}$$

Lässt sich der Vorgang sogar in Form einer Sinusfunktion schreiben:

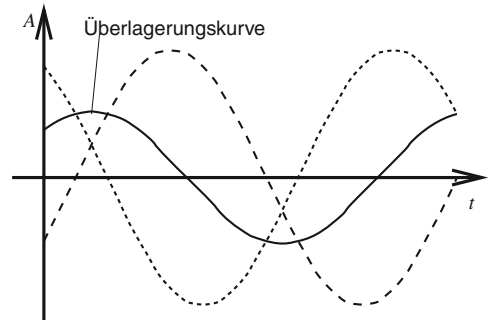
$$A(t) = A_0 \cdot \sin(\omega \cdot t + \phi)$$

so spricht man von einem harmonischen Vorgang oder einer harmonischen Schwingung (z. B. die Höhenänderung einer Kabine an einem gleichförmig rotierenden Riesenrad). Die Periode einer solchen Schwingung ist

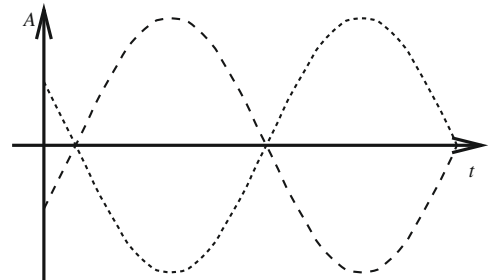
$$T = \frac{2\pi}{\omega}$$

Harmonische Schwingungen aller Art können sich störungsfrei überlagern. Das Ergebnis ist die Summe aller Einzelauslenkungen zu jedem Zeitpunkt. Bei der Überlagerung von zwei harmonischen Schwingungen gleicher Frequenz bzw. Schwingungsdauer entsteht wieder eine harmonische Schwingung mit derselben Frequenz. Zwei harmonische Schwingungen gleicher Frequenz und gleicher Amplitude können sich gegenseitig auslöschen, wenn sie in derselben Schwingungsebene liegen und gegeneinander eine Phasenverschiebung von π bzw. eine Zeitverschiebung von $T/2$ aufweisen.

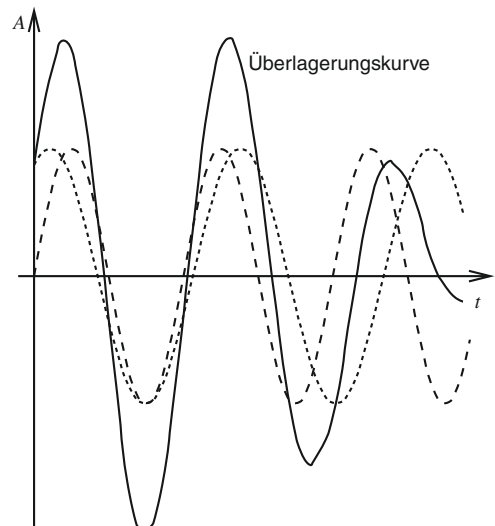
Überlagerung



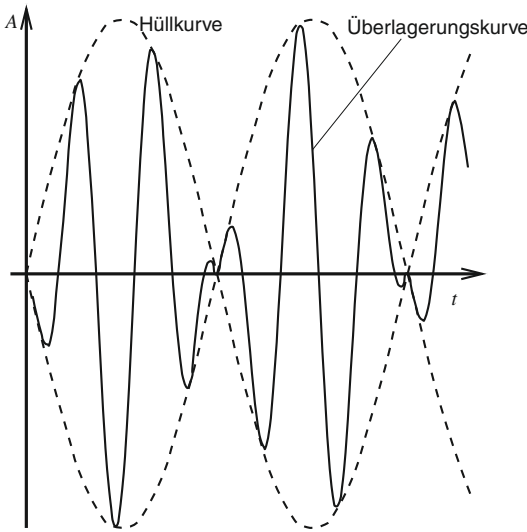
Auslöschung



Überlagerung (geringfügig unterschiedliche Periode)



Schwebung



Die Überlagerung zweier Schwingungen unterschiedlicher Frequenz ν_1 und ν_2 ergibt einen Vorgang (Amplitude ändert sich periodisch), dessen Periode T das kleinste gemeinsame ganzzahlige Vielfache der Perioden T_1 und T_2 ist. Ist das Verhältnis $\frac{\nu_1}{\nu_2}$ nicht rational (als Bruch zweier ganzer Zahlen darstellbar), so wird T unendlich, was einem aperiodischen Vorgang entspricht. Unterscheiden sich die Frequenzen ν_1 und ν_2 nur geringfügig voneinander, so nennt man den entstehenden periodischen Vorgang eine Schwebung.

Bei der Überlagerung von zwei zueinander senkrechten harmonischen Schwingungen gleicher Frequenz

$$A_x(t) = A_{x,0} \cdot \sin(\omega \cdot t + \phi_x)$$

$$A_y(t) = A_{y,0} \cdot \sin(\omega \cdot t + \phi_y)$$

entstehen in der A_x - A_y -Ebene ellipsenförmige Umlaufbahnen, die je nach Amplitudenverhältnis

$$\frac{A_{x,0}}{A_{y,0}}$$

und gegenseitiger Phasenverschiebung

$$\phi_x - \phi_y$$

zu Kreisen

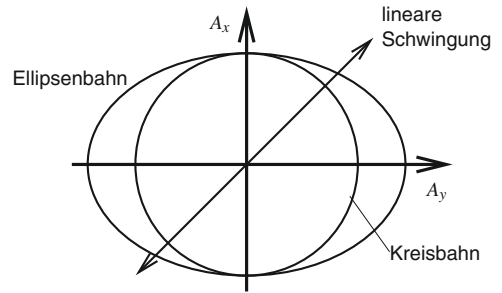
$$\frac{A_{x,0}}{A_{y,0}} = 1$$

$$\phi_x - \phi_y = \frac{\pi}{2}$$

oder linearen Schwingungen

$$\phi_x - \phi_y = 0$$

entarten können.



2.2 Kraft und Drehmoment

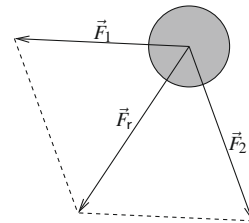
2.2.1 Kräfte

Die mechanische Wirkung von Kräften zeigt sich in der Verformung oder der Beschleunigung von Körpern. Bezüglich ihres Ursprungs unterscheidet man u. a.

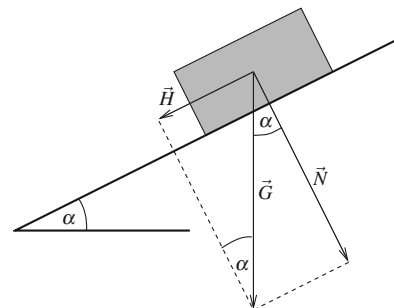
- Gravitationskräfte (vgl. I 2.2.2)
- mechanische Kräfte (z. B. Federkraft, Reibungskraft)
- elektrische Kräfte (z. B. Coulombkraft, vgl. I 4.1.2ff)
- magnetische Kräfte (z. B. zwischen Magnetpolen, vgl. I 4.5.1ff).

Kräfte sind vektorielle Größen. Dazu zwei Beispiele:

- Überlagerung der Kräfte \vec{F}_1 und \vec{F}_2 zur resultierenden Kraft \vec{F}_r . Ein frei beweglicher Körper wird sich in Richtung dieser Resultierenden bewegen.



- Zerlegung der Gewichtskraft in die Komponenten Normalkraft und Hangabtrieb (Körper auf einer schiefen Ebene).



\vec{G} : Gewichtskraft des Körpers

\vec{N} : Normalkraft, mit dieser Kraft drückt der Körper auf die Unterlage (schiefe Ebene).

\vec{H} : Hangabtrieb, diese Kraft muss kompensiert werden, wenn ein Abrutschen des Körpers verhindert werden soll.

α : Neigungswinkel der schiefen Ebene.

Die Beziehungen zwischen den Beträgen von Gewicht G , Normalkraft N und Hangabtrieb H ergeben sich mit den trigonometrischen Funktionen zu

$$N = G \cdot \cos \alpha$$

$$H = G \cdot \sin \alpha$$

2.2.2 Newtonsche Axiome, Gravitationsgesetz

Die grundsätzlichen Erfahrungen mit Kräften und ihren Wirkungen sind in den Newtonschen Axiomen zusammengefasst:

1. Trägheitsprinzip: Ein Körper, der sich im Zustand der Ruhe oder der gleichförmigen Bewegung befindet ($\vec{v} = \text{const}$, $\vec{a} = 0$), behält diesen Zustand bei, wenn er nicht durch äußere Kräfte gezwungen wird, ihn zu ändern.
2. Aktionsprinzip: Greift an einem frei beweglichen Körper mit der Masse m eine äußere Kraft \vec{F} an, so erfährt der Körper eine der Kraft \vec{F} proportionale Beschleunigung $\vec{a} = \vec{F}/m$. Die angreifende äußere Kraft ergibt sich also aus Masse mal Beschleunigung

$$\vec{F} = m \cdot \vec{a} \quad \left[1 \text{ kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 1 \text{ N (Newton)} \right]$$

3. Reaktionsprinzip: Eine Kraft \vec{F}_1 tritt nie isoliert auf. Sie kann nur zusammen mit einer dem Betrag nach gleichen, aber entgegengesetzt wirkenden Kraft \vec{F}_2 auftreten. Es gilt dann $F_1 = F_2$ bzw. $\vec{F}_1 = -\vec{F}_2$ (actio = reactio).

Achtung: Zwei Kräfte, die einen Körper im Gleichgewicht halten, heißen Kompensationskräfte und sind nicht actio und reactio im Sinne des 3. Axioms. Actio und reactio wirken immer zwischen verschiedenen Körpern. Beispiele:

- Kraft auf eine Feder und deren Rückstellkraft
- Kraft auf freibewegliche Körper und dessen Trägheitskraft (Widerstand gegen die Beschleunigung der Masse)

- Anziehende bzw. abstoßende Kräfte zwischen zwei Körpern.

Eine elementare Kraftursache ist die Gravitation (Massenanziehung). Zwei Körper der Massen m_1 und m_2 , deren Schwerpunkte voneinander den Abstand r haben, ziehen sich gegenseitig mit der Kraft \vec{F} an. Dabei gilt (Newtonsches Gravitationsgesetz):

$$|\vec{F}| = F = f \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$$

($f = 6,673 \cdot 10^{-11} \text{ N m}^2 \text{ kg}^{-2}$ ist die Gravitationskonstante.)

2.2.3 Kräfte und Bewegungen

Ein Körper ändert seinen Bewegungszustand nur, wenn eine beschleunigende Kraft \vec{F} (actio) auf ihn wirkt (Trägheitsprinzip). Diese Kraft muss die Massenträgheit (reactio) des Körpers überwinden, die der Änderung des Bewegungszustandes, d. h. der Beschleunigung \vec{a} entgegenwirkt. Es gilt:

$$\vec{F} = m \cdot \vec{a}$$

Erdanziehung: Wirkt zwischen einem Körper und der Erde nur die Gravitation, so spricht man vom freien Fall. Dabei ziehen sich Körper (m_K) und Erde (m_E) entsprechend dem Gravitationsgesetz mit der Kraft \vec{F} an. Mit dem Erdradius r_E als Abstand gilt

$$F = \frac{f \cdot m_E}{r_E^2} \cdot m_K = g \cdot m_K$$

$$g = 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \quad (\text{Normwert})$$

Die Größe g ist (am selben Ort der Erde) für alle Körper gleich und heißt Erdbeschleunigung. Die Kraft, mit der ein Körper von der Erde angezogen wird, nennt man sein Gewicht \vec{G} . Damit ergibt sich als Sonderfall von $\vec{F} = m \cdot \vec{a}$ die Gewichtskraft

$$G = m \cdot g$$

Zentrifuge: Ein Körper der Masse m , der sich gleichförmig auf einer Kreisbahn bewegt, erfährt eine Radialbeschleunigung a_r , die im mitrotierenden Bezugssystem zum Drehzentrum hin gerichtet ist (Zentripetalbeschleunigung, vgl. auch I 2.1.6). Auf den Körper wirkt demnach eine ebenfalls vom Drehzentrum weg gerichtete Zentrifugalkraft

$$F_z = m \cdot a_r = m \cdot r \cdot \omega^2$$

(r : Bahnradius, ω : Kreisfrequenz) Zentrifugal- und Zentripetalkraft sind actio und reactio im Sinne des Reaktionsprinzips.

Vorrichtungen, in denen mit Hilfe einer Kreisbewegung hohe Beschleunigungswerte erreicht werden können, heißen Zentrifugen.

Anwendungen: Simulation großer „Schwerkäfte“, Beschleunigung von Sedimentationsvorgängen.

3 Wärmelehre

F93 **3.1** Ein Metallblock mit einer Masse von 1 kg wird auf 100 °C erwärmt und in 1 kg Wasser von 10 °C mit einer spezifischen Wärmekapazität von etwa 4 J/(gK) gebracht. Es stellt sich eine Endtemperatur von 20 °C ein. Die Wärmekapazität des Kalorimeters (Wasserwert) ist vernachlässigbar. Die spezifische Wärmekapazität des Metalls beträgt ungefähr

- (A) 1,60 $\frac{\text{J}}{\text{g}\cdot\text{K}}$
- (B) 1,00 $\frac{\text{J}}{\text{g}\cdot\text{K}}$
- (C) 0,50 $\frac{\text{J}}{\text{g}\cdot\text{K}}$
- (D) 0,44 $\frac{\text{J}}{\text{g}\cdot\text{K}}$
- (E) 0,20 $\frac{\text{J}}{\text{g}\cdot\text{K}}$

F93 **3.2** Die Innere Energie eines Körpers kann nur erhöht werden, indem Wärmezufuhr von außen erfolgt.

weil

Arbeit von einem Körper nur abgegeben werden kann.

Antwort	Aussage 1	Aussage 2	Verknüpfung
A	richtig	richtig	richtig
B	richtig	richtig	falsch
C	richtig	falsch	—
D	falsch	richtig	—
E	falsch	falsch	—

F93 **3.3** Welchen Aussagen stimmen Sie zu?

Die Siedetemperatur einer **gegebenen** Flüssigkeit hängt ab

- (1) vom Außendruck
- (2) von der Art und Menge gelöster Substanz
- (3) von der Energiezufuhr
- (4) von der Verdampfungsgeschwindigkeit
- (5) von der Verdampfungswärme

- (A) nur 1 und 2
- (B) nur 1 und 3
- (C) nur 1 und 5
- (D) nur 1, 3 und 4
- (E) nur 2, 4 und 5

F93 **3.4** Haben zwei Körper dieselbe Temperatur, so enthalten sie stets auch dieselbe Wärmeenergie,

weil

bei einem Körper der Wärmekapazität C zwischen einer (kleinen) Temperaturerhöhung ΔT und der zugeführten Wärmeenergie ΔQ der Zusammenhang

$$\Delta Q = C \cdot \Delta T$$

besteht.

Antwort	Aussage 1	Aussage 2	Verknüpfung
A	richtig	richtig	richtig
B	richtig	richtig	falsch
C	richtig	falsch	—
D	falsch	richtig	—
E	falsch	falsch	—

H93 **3.5** Das Manometer eines Druckgaszylinders zeigt bei einer Gastemperatur von 27 °C einen Druck von 150 bar an. Um wieviel steigt der Druck, wenn die Gastemperatur um 10 °C steigt? (Verhalten eines idealen Gases werde vorausgesetzt.)

- (A) 0,2 bar
- (B) 0,3 bar
- (C) 0,5 bar
- (D) 5 bar
- (E) 55 bar

H93 **3.6** Welche Aussage über Temperatur und Wärme trifft zu?

- (A) Bei Temperaturerhöhung sinkt die Innere Energie einer Probe.
- (B) Temperatur ist eine Form von Energie.
- (C) Zwei Proben mit gleicher Temperatur haben stets den gleichen Energiegehalt.
- (D) Zwei Proben mit gleicher Dichte haben stets den gleichen Energiegehalt.
- (E) Durch Zufuhr von Wärmeenergie kann man die Temperatur einer Probe und/oder ihren Phasenzustand ändern.

H93 3.7 Eine gegebenes Thermoelement mit Verbindungsstellen auf den Temperaturen 300 K und 400 K liefert eine elektrische Spannung von etwa 4 mV. Befinden sich die Verbindungsstellen auf 20 °C und 80 °C, so tritt etwa folgende Thermospannung auf:

- (A) 0,45 mV
- (B) 0,6 mV
- (C) 2,0 mV
- (D) 2,4 mV
- (E) 3,2 mV

F93 3.8 Welche der folgenden Aussagen treffen zu?

Die mittlere Geschwindigkeit von Gasteilchen

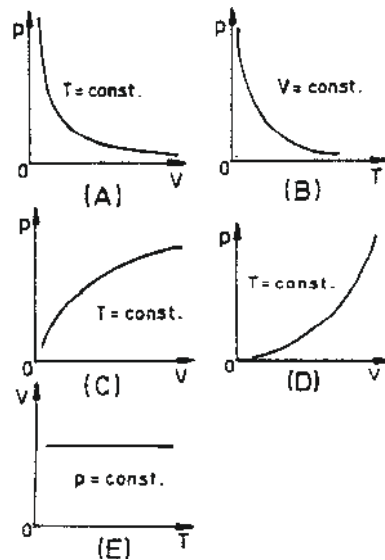
- (1) ist temperaturabhängig
- (2) nimmt ab bei steigender Teilchenmasse
- (3) ist verschieden für verschiedene Isotope desselben Elements

- (A) nur 1
- (B) nur 1 und 2
- (C) nur 1 und 3
- (D) nur 2 und 3
- (E) 1 bis 3 (alle)

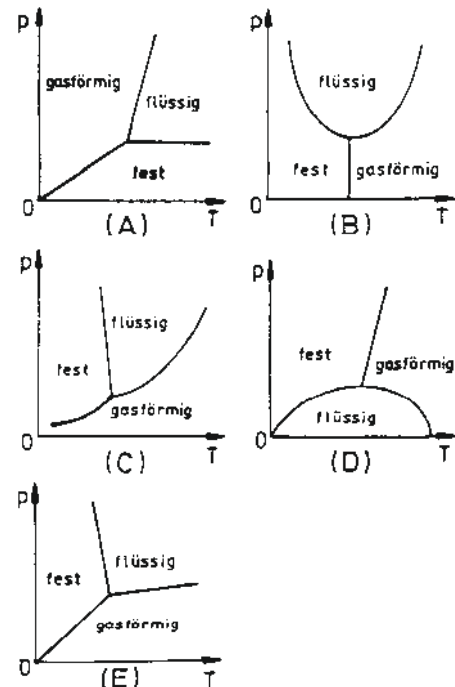
H93 3.9 Wird eine (gegebene) Gasprobe adiabatisch komprimiert, so

- (A) wird dabei auch Wärmeenergie zugeführt
- (B) wird dabei Wärmeenergie abgegeben
- (C) bleibt die Temperatur konstant
- (D) steigt ihre Innere Energie
- (E) bleibt ihre Innere Energie konstant

H93 3.10 Welches Diagramm stellt das Boyle-Mariottesche Gesetz dar?



H93 3.11 Welches Diagramm gibt das Phasendiagramm das Wassers richtig wieder?



H93 **3.12** Welche der folgenden Aussagen treffen zu?

Konvektive Wärmeübertragung ist möglich:

- (1) mit wässrigen Lösungen
- (2) in Gasen
- (3) mittels Photonen im Vakuum
- (4) mit flüssigen Metallen

- (A) nur 1, 2 und 3
 (B) nur 1, 2 und 4
 (C) nur 1, 3 und 4
 (D) nur 2, 3 und 4
 (E) 1 bis 4 (alle)

H93 **3.13** Sie lösen 0,2 mol NaCl (vollständig dissoziierend) in einer gegebenen Menge Wasser auf und beobachten eine Gefrierpunktniedrigung von 0,3 K. Werden dazu noch 0,6 mol Saccharose aufgelöst, tritt als weitere Senkung der Gefriertertemperatur auf:

- (A) 0,1 K
 (B) 0,4 K
 (C) 0,45 K
 (D) 0,9 K
 (E) 1 K

H93 **3.14** Nach der Modellvorstellung kann ein ideales Gas nicht kondensieren,

weil

in der Modellvorstellung des idealen Gases zwischen den Teilchen keine Anziehungskräfte auftreten.

Antwort	Aussage 1	Aussage 2	Verknüpfung
A	richtig	richtig	richtig
B	richtig	richtig	falsch
C	richtig	falsch	—
D	falsch	richtig	—
E	falsch	falsch	—

H93 **3.15** Einem idealen Gas werde bei konstantem Volumen reversibel Wärmeenergie zugeführt.

Welche der folgenden Aussagen trifft auf diesen Prozess **nicht** zu?

- (A) Die Temperatur steigt.
 (B) Der Druck steigt.
 (C) Die Innere Energie steigt.
 (D) Die Entropie steigt.
 (E) Die Freie Energie steigt.

H93 **3.16** Ordnen Sie den in Liste 1 aufgeführten Begriffen die für sie zutreffende Aussage (Liste 2) zu!

Liste 1

- (1) Solvation
- (2) Sublimation

Liste 2

- (A) Löslichkeit in g/cm^3
 (B) Trockenvorgang
 (C) Phasenübergang zwischen fest und gasförmig
 (D) Phasenübergang gasförmig \rightarrow flüssig
 (E) Keine der obigen Aussagen trifft zu.

H93 **3.17** Welche der folgenden Aussagen treffen zu?

Die Stoffmenge eines Adsorbats, die eine Pulver-Probe im Gleichgewicht zu adsorbieren vermag (solange keine Sättigung eingetreten ist), nimmt zu, wenn

- (1) die Temperatur abgesenkt wird
- (2) der Partialdruck des Adsorbats steigt
- (3) die Temperatur steigt

- (A) nur 1
 (B) nur 2
 (C) nur 3
 (D) nur 1 und 2
 (E) nur 2 und 3

H93 **3.18** Welche der folgenden Prozesse sind reversibel?

- (1) Ausströmen von Sauerstoff aus einer Druckgasflasche
- (2) Vermischen von Wasser und Alkohol
- (3) freie atmosphärische Verbrennung von Erdgas
- (4) Auflösung von Kochsalz in Wasser

- (A) keiner
- (B) nur 1
- (C) nur 3
- (D) nur 1 und 3
- (E) nur 2 und 4

H93 **3.19** Welche der folgenden Aussagen treffen zu?

Bei Wasser unter Normaldruck gilt:

- (1) Die mittleren Abstände benachbarter Moleküle sind im flüssigen und im festen Zustand etwas verschieden.
- (2) Im flüssigen Zustand sind die Moleküle leicht gegeneinander verschiebbar.
- (3) Reiner Wasserdampf hat keine freie Oberfläche.

- (A) nur 1
- (B) nur 2
- (C) nur 1 und 2
- (D) nur 2 und 3
- (E) 1 bis 3 (alle)

H93 **3.20** Welche der folgenden Aussagen über das Verhalten eines einheitlichen Stoffs treffen zu?

- (1) Der Tripelpunkt verschiebt sich bei Änderung des äußeren Luftdrucks.
- (2) Der Sättigungsdampfdruck über der flüssigen Phase wird mit abnehmender Temperatur geringer.
- (3) Oberhalb der kritischen Temperatur bildet sich keine Phasengrenze mehr aus.

- (A) nur 1
- (B) nur 2
- (C) nur 1 und 2
- (D) nur 2 und 3
- (E) 1 bis 3 (alle)

F93 **3.21** Bei einer (periodisch arbeitenden) realen Wärmekraftmaschine lässt sich in keinem Fall die gesamte Wärme in mechanische Energie umsetzen,

weil

mechanische Energie nie ganz in Wärme überföhrt werden kann.

Antwort	Aussage 1	Aussage 2	Verknüpfung
A	richtig	richtig	richtig
B	richtig	richtig	falsch
C	richtig	falsch	—
D	falsch	richtig	—
E	falsch	falsch	—

F93 **3.22** Siedeverzug kann bei Flüssigkeiten auftreten,

weil

durch Lösen von Salzen der Dampfdruck von Flüssigkeiten erniedrigt wird.

Antwort	Aussage 1	Aussage 2	Verknüpfung
A	richtig	richtig	richtig
B	richtig	richtig	falsch
C	richtig	falsch	—
D	falsch	richtig	—
E	falsch	falsch	—

F93 **3.23** Diffusionsprozesse laufen bei erhöhter Temperatur langsamer ab,

weil

bei erhöhter Temperatur die thermische, ungeordnete Bewegung der diffundierenden Teilchen stärker ist.

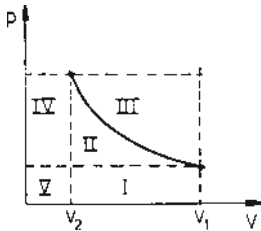
Antwort	Aussage 1	Aussage 2	Verknüpfung
A	richtig	richtig	richtig
B	richtig	richtig	falsch
C	richtig	falsch	—
D	falsch	richtig	—
E	falsch	falsch	—

H94 **3.24** Welche der folgenden Aussagen trifft **nicht** zu?

Ein ideales Gas werde reversibel isotherm komprimiert. Für dieses Gas gilt:

- (A) Die Temperatur ist konstant.
- (B) Das Volumen nimmt ab.
- (C) Die Innere Energie ist konstant.
- (D) Die Entropie nimmt ab.
- (E) Der Druck nimmt ab.

F95 **3.25** Eine gegebene Gasmenge wird vom Volumen V_1 auf das Volumen V_2 komprimiert. Welches Flächenstück repräsentiert die geleistete Arbeit?



- (A) II
- (B) I+II
- (C) II+IV
- (D) I+II+III
- (E) I+II+IV+V

H93 **3.26** Welche der folgenden Aussagen über Diffusionsvorgänge treffen zu?

- (1) Diffusion erfolgt um so schneller, je höher die Temperatur ist.
- (2) Diffusionsvorgänge suchen Konzentrationsunterschiede auszugleichen.
- (3) Diffusion kann auch in festen Phasen auftreten.

- (A) nur 1
- (B) nur 2
- (C) nur 1 und 3
- (D) nur 2 und 3
- (E) 1 bis 3 (alle)

F95 **3.27** Der Zustand eines idealen Gases werde reversibel geändert. Ordnen Sie den in Liste 1 spezifizierten Prozessen diejenige Zustandsgröße aus Liste 2 zu, die bei dem Prozess konstant bleibt!

Liste 1

- (1) Der Prozess ist isobar
- (2) Der Prozess ist adiabatisch

Liste 2

- (A) Innere Energie
- (B) Entropie
- (C) Temperatur
- (D) Volumen
- (E) Druck

F96 **3.28** Die Temperatur in einem Ofen wird mit einem Thermoelement gemessen, dessen Empfindlichkeit („Thermokraft“) $50 \mu\text{V}/\text{K}$ beträgt. Die eine Kontaktstelle des Thermoelements ist im Ofen, die andere in Eiswasser (0°C). Gemessen wird eine Thermospannung $U = 25 \text{ mV}$.

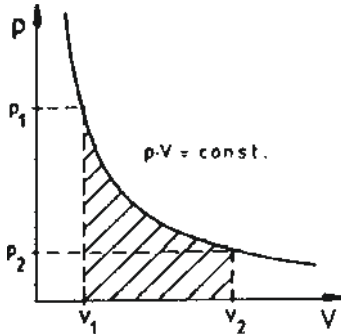
Welche Temperatur herrscht im Ofen?

- (A) 227°C
- (B) 500°C
- (C) 773°C
- (D) 2000°C
- (E) 2227°C

F96 **3.29** In einem abgeschlossenen System seien zwei Körper im thermischen Gleichgewicht. Dann muss in jedem Fall für beide Körper gleich sein:

- (A) die Masse
- (B) das Volumen
- (C) die Temperatur
- (D) die Energie
- (E) die Entropie

F96 **3.30** Bei isothermer Volumenänderung eines idealen Gases von V_1 nach V_2 (oder umgekehrt) entspricht die schraffierte Fläche unter der p - V -Kurve im nebenstehenden Diagramm



- (A) der Druckänderung
- (B) der Volumenänderung
- (C) der Dichteänderung
- (D) der Entropieänderung
- (E) der reversiblen, isothermen Volumenarbeit

F96 **3.31** Die Zustandsgleichung für ein Mol eines realen Gases nach van der Waals

$$\left(p + \frac{a}{V_m^2}\right) \cdot (V_m - b) = RT$$

enthält zwei Terme, die in der Zustandsgleichung eines idealen Gases nicht vorkommen.

Der Term $\frac{a}{V_m^2}$ geht darauf zurück, dass in dem zugrunde liegenden Modell explizit berücksichtigt werden:

- (1) das Eigenvolumen der Gasteilchen
- (2) die Masseverteilung der Gasteilchen
- (3) anziehende Kräfte zwischen den Gasteilchen

- (A) nur 1
- (B) nur 2
- (C) nur 3
- (D) nur 1 und 3
- (E) 1 bis 3 (alle)

H95 **3.32** Welche Aussage trifft **nicht** zu?

Folgende Größen sind (thermodynamische) Zustandsfunktionen:

- (A) Innere Energie U
- (B) Freie Enthalpie G
- (C) Entropie S
- (D) Gaskonstante R
- (E) Volumen V

F96 **3.33** In einem Isoliergefäß wird eine Menge Wasser langsam von 27°C auf 28°C aufgeheizt. Dabei wird insgesamt eine Wärmeenergie $\Delta Q = 1500\text{ J}$ zugeführt. Wie groß ist die Entropieänderung des Wassers etwa?

- (A) Abnahme um ca. 1500 J/K
- (B) Abnahme um ca. 5 J/K
- (C) Abnahme um ca. $0,5\text{ J/K}$
- (D) Zunahme um ca. $0,5\text{ J/K}$
- (E) Zunahme um ca. 5 J/K

F96 **3.34** Die Ursache für den Unterschied zwischen der molaren Wärmekapazität eines idealen Gases bei konstantem Druck C_{mp} und der molaren Wärmekapazität bei konstantem Volumen C_{mv} liegt

- (A) in der unterschiedlichen Wechselwirkung der Gasteilchen untereinander bei konstantem Druck bzw. konstantem Volumen
- (B) in der unterschiedlichen Wärmeleitfähigkeit von idealen Gasen bei konstantem Druck bzw. konstantem Volumen
- (C) in der unterschiedlichen kritischen Temperatur des idealen Gases bei konstantem Druck bzw. konstantem Volumen
- (D) in der unterschiedlichen Kondensationswärme des idealen Gases bei konstantem Druck bzw. konstantem Volumen
- (E) in der Volumenarbeit, die bei konstantem Druck neben dem Wärmeenergieaustausch des Gases aufgewandt wird

F96 **3.35** Ein geschlossenes Gefäß enthält 2 mol Helium unter einem Druck von 1 bar bei 20 °C. Dann wird 1 mol Wasserstoff H₂ von 100 °C dazugepumpt. Wie groß ist der Partialdruck des Heliums, wenn das Gefäß wieder auf die ursprüngliche Temperatur abgekühlt ist?

- (A) $\frac{2}{3}$ bar
- (B) 1 bar
- (C) $\frac{4}{3}$ bar
- (D) 2 bar
- (E) 3 bar

F96 **3.36** Aus folgendem Grund weist ein feuchtes Tuch an einer Wäscheleine eine etwas niedrigere Temperatur auf als seine Umgebung:

- (A) die Siedetemperatur des Wassers ist höher als jene von flüssiger Luft
- (B) seine mittlere Dichte ist größer als die der Umgebung
- (C) die spezifische Wärmekapazität des Wassers ist größer als die der Luft
- (D) die Wärmeleitfähigkeit von nassem Stoff ist größer als die Wärmeleitfähigkeit von Luft
- (E) bei der Verdunstung des Wassers wird Wärmeenergie verbraucht

H95 **3.37** Die Ordnung einer chemischen Reaktion

- (A) ist ein Maß für die dabei auftretende Entropieänderung
- (B) gibt die räumliche Verteilung der Reaktanden an
- (C) ist die Summe der Konzentrationen der beteiligten Reaktanden
- (D) kann Werte von $-\infty$ bis $+\infty$ annehmen
- (E) Keine der obigen Aussagen trifft zu.

F96 **3.38** Welche Aussage trifft **nicht** zu?

Bei der adiabatischen Expansion eines idealen Gases ändert sich dessen

- (A) Temperatur
- (B) Innere Energie
- (C) Entropie
- (D) Druck
- (E) Dichte

F96 **3.39** Beginnend mit der Anfangstemperatur $T = 300$ K wird isochor einer Gasprobe von 50 mol eine Wärmemenge $Q = 450$ J zugeführt. Wärmeaustausch zwischen Probe und Umgebung sei vernachlässigbar. Wie groß ist die Änderung der molaren Inneren Energie?

- (A) 0,03 J/mol
- (B) 1,5 J/mol
- (C) 9 J/mol
- (D) 75 J/mol
- (E) 2700 J/mol

F96 **3.40** Reines Wasser besitzt am Tripelpunkt nur einen Freiheitsgrad (unabhängig veränderbare Zustandsgröße),

weil

am Tripelpunkt nur der Druck frei variiert werden kann.

Antwort	Aussage 1	Aussage 2	Verknüpfung
A	richtig	richtig	richtig
B	richtig	richtig	falsch
C	richtig	falsch	—
D	falsch	richtig	—
E	falsch	falsch	—

F96 **3.41** Der Sättigungsdampfdruck einer reinen Flüssigkeit in einem Autoklaven hängt von dessen Abmessungen ab,

weil

der Druck als Kraft pro Fläche definiert ist.

Antwort	Aussage 1	Aussage 2	Verknüpfung
A	richtig	richtig	richtig
B	richtig	richtig	falsch
C	richtig	falsch	—
D	falsch	richtig	—
E	falsch	falsch	—

F96 **3.42** Welche der folgenden Aussagen über die Gefrierpunktniedrigung ΔT_g treffen zu?

- (1) Sie ist nur für gelöste Feststoffe messbar.
- (2) Sie ist jeweils gleich groß wie die Siedetemperaturerhöhung ΔT_s .
- (3) Die kryoskopische Konstante ist für alle Lösungsmittel gleich.

- (A) Keine dieser Aussagen trifft zu.
- (B) nur 1
- (C) nur 2
- (D) nur 1 und 3
- (E) nur 2 und 3

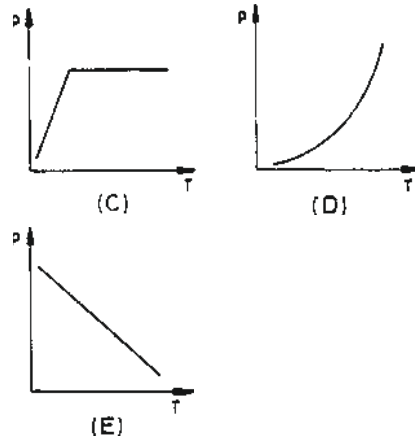
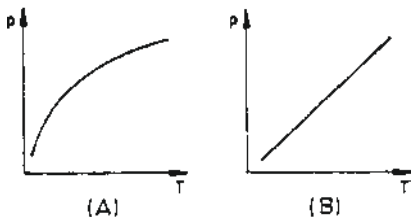
F96 **3.43** Welchen der folgenden Aussagen zur Wärmeleitung stimmen Sie zu?

Zwei Körper, die sich auf unterschiedlichen Temperaturen (Temperaturdifferenz ΔT) befinden, sind durch einen homogenen Stab, der Länge l und des Querschnitts A miteinander verbunden. Der Wärmestrom, d. h. die pro Zeiteinheit transportierte Wärmemenge ist:

- (1) proportional ΔT
- (2) proportional l
- (3) proportional A
- (4) umgekehrt proportional A

- (A) nur 1
- (B) nur 3
- (C) nur 1 und 3
- (D) nur 2 und 4
- (E) nur 1, 2 und 4

H96 **3.44** Welches Diagramm beschreibt die Temperaturabhängigkeit des Gleichgewichtsdampfdrucks p reiner Flüssigkeit am besten?

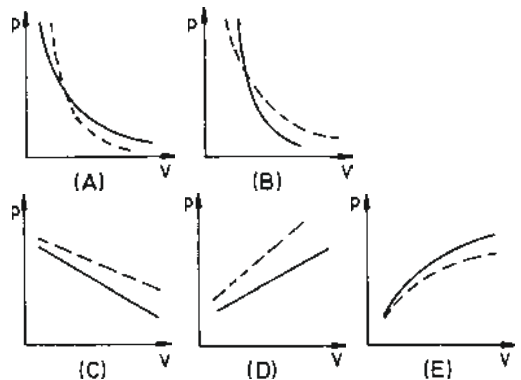


3.42 ✓ A 3.43 ✓ C 3.44 ✓ D 3.45 ✓ C 3.46 ✓ A

F96 **3.45** Das Manometer an einem Druckgaszylinder mit Helium zeigt einen Druck von 100 bar an; die Temperatur des Zylinders beträgt 27 °C. In der kühleren Nacht zeigt das Manometer nur noch 95 bar an, obwohl kein Gas entnommen wurde. **Um wieviel Grad** ist die Temperatur des Gases gesunken? (Verhalten eines idealen Gases soll angenommen werden.)

- (A) 1,3 °C
- (B) 2,6 °C
- (C) 15 °C
- (D) 21 °C
- (E) 28,5 °C

H96 **3.46** Welches der p - V -Diagramme gibt den Unterschied zwischen adiabatischer (---) und isothermer (—) Zustandsänderung eines idealen Gases qualitativ richtig wieder?



8 Arzneiformenlehre

F01 **8.1** Welche der folgenden Aussagen treffen zu?

Wird ein zunächst lose geschüttetes, einheitliches Pulver gestampft, so gilt:

- (1) Das Gesamtvolumen der Probe nimmt ab.
- (2) Die mittlere Dichte der Probe wächst.
- (3) Die Dichte des einzelnen Kornes nimmt ab.

- (A) nur 1
 (B) nur 2
 (C) nur 3
 (D) nur 1 und 2
 (E) nur 2 und 3

F04 **8.2** Unkonservierte lipophile Salben sind über einen längeren Zeitraum haltbar als unkonservierte lipophile Cremes,

weil

in wasserhaltigen Zubereitungen mikrobielles Wachstum leichter möglich ist.

Antwort	Aussage 1	Aussage 2	Verknüpfung
A	richtig	richtig	richtig
B	richtig	richtig	falsch
C	richtig	falsch	—
D	falsch	richtig	—
E	falsch	falsch	—

F04 **8.3** Welche Aussage trifft für die Phasen eines grobdispersen flüssigen Systems zu?

- (A) Die innere Phase wird auch als kontinuierliche Phase bezeichnet.
 (B) Die innere Phase wird auch als disperse Phase bezeichnet.
 (C) Die innere Phase ist immer ein Feststoff.
 (D) Bei Emulsionen ist das Dispersionsmittel immer die wässrige Phase.
 (E) Keine der obigen Aussagen trifft zu.

F04 **8.4** Welche Aussage trifft zu?

Typischer Bestandteil eines Klebstoffgranulats ist

- (A) Ethanol
 (B) 2-Propanol
 (C) Aceton
 (D) Hochdisperses Siliciumdioxid
 (E) Povidon

F04 **8.5** Welche Aussage zum Verfahren der Mazeration zur Gewinnung von Drogenextrakten trifft zu?

- (A) Die Mazeration ist ein erschöpfendes Extraktionsverfahren.
 (B) Drogeninhaltsstoffe können nur durch zerstörte Zellwände ins Menstruum gelangen.
 (C) Nach ausreichend langer Extraktionszeit kommt es zum Konzentrationsausgleich der löslichen Inhaltsstoffe zwischen Droge und Menstruum.
 (D) Zerkleinerte Drogen sind für das Verfahren der Mazeration ungeeignet.
 (E) Eine Mazeration bei erhöhter Temperatur wird als Perkolation bezeichnet.

F04 **8.6** Welche der folgenden Füllgüter sind zur Abfüllung in Hartgelatine kapseln geeignet?

- (1) Arzneistoffgranulate
 (2) Arzneistoff-Lactose-Mischungen
 (3) wässrige Arzneistofflösungen
 (4) wässrige Arzneistoffsuspensionen
 (5) Mischungen aus Arzneistoff, Mannitol und kolloidaler Kieselsäure
- (A) nur 1
 (B) nur 5
 (C) nur 2 und 5
 (D) nur 3 und 4
 (E) nur 1, 2 und 5

F04 **8.7** Cetylpalmitat ist ein Wachs,

weil

Cetylpalmitat eine physikalische Mischung aus Cetylal-
kohol und Palmitinsäure ist.

Antwort	Aussage 1	Aussage 2	Verknüpfung
A	richtig	richtig	richtig
B	richtig	richtig	falsch
C	richtig	falsch	—
D	falsch	richtig	—
E	falsch	falsch	—

F04 **8.8** Welche Aussagen treffen zu?

Macrogole

- (1) lösen sich in Wasser.
- (2) sind bei Raumtemperatur fest.
- (3) werden durch Polymerisation von Glycerol hergestellt.
- (4) sind Wachse.
- (5) sind bis zu einer relativen Molekülmasse von 600 flüssig.

- (A) nur 1 und 3
 (B) nur 1 und 5
 (C) nur 2 und 4
 (D) nur 1, 4 und 5
 (E) nur 2, 3 und 4

F04 **8.9** Welche Aussage trifft zu?

Vaselin

- (A) kann zyklische Kohlenwasserstoffe enthalten.
 (B) entmischt sich beim Erhitzen auf 160 °C.
 (C) enthält Triglyceride.
 (D) bildet leicht Peroxide.
 (E) enthält Fettalkohole.

F04 **8.10** Welche Aussagen treffen zu?

- (1) Bentonit ist ein Oleogelbildner.
- (2) Carbomer besteht aus Polyacrylsäure.
- (3) Bei der Herstellung von Carbomer-Gelen muss zur Gelbildung (teil-)neutralisiert werden.
- (4) Carbomer-Gele müssen zur Quellung erhitzt werden.
- (5) Bei Gelen aus geeigneten Cellulose-Derivaten kann Propylenglykol als Anreibemittel eingesetzt werden.

- (A) nur 1 und 5
 (B) nur 2 und 4
 (C) nur 1, 3 und 5
 (D) nur 2, 3 und 4
 (E) nur 2, 3 und 5

F04 **8.11** Bei der Emulsionsherstellung werden Tenside zur Stabilisierung zugesetzt,

weil

durch Tensid-Zusatz die Grenzflächenspannung (Wasser/Öl) herabgesetzt wird.

Antwort	Aussage 1	Aussage 2	Verknüpfung
A	richtig	richtig	richtig
B	richtig	richtig	falsch
C	richtig	falsch	—
D	falsch	richtig	—
E	falsch	falsch	—

F04 **8.12** In der Rezeptur ist eine Salbe aus 10 g Salicylsäure und 90 g Vaseline herzustellen.

Welche Herstellungsweise in der Fantaschale führt zum besten Ergebnis?

- (A) Gesamtmenge Vaseline vorlegen. Salicylsäure darin dispergieren.
 (B) Salicylsäure mit wenig Vaseline anreiben, anteilsweise restliches Vaseline einarbeiten.
 (C) Salicylsäure in geschmolzenem Vaseline dispergieren, kaltrühren.
 (D) Salicylsäure in Ethanol lösen, Lösung in Vaseline einarbeiten.
 (E) Salicylsäure mit Polysorbat anreiben, in Vaseline einarbeiten.

1.49 ✓ *richtig ist E* Die umgesetzte elektrische Energie E_{el} ist das Produkt aus elektrischer Spannung, elektrischer Stromstärke und der Zeit. Bei der Multiplikation (und auch Division) von Messgrößen addieren sich die Beträge der relativen Einzelfehler zum maximalen relativen Fehler. Die maximale Unsicherheit (oder maximale relativer Fehler) der berechneten umgesetzten Energie beträgt daher 1 %.

1.50 ✓ *richtig ist C* Systematische Fehler können bei allen Messgeräten auftreten, also auch bei solchen mit digitaler Anzeige. Ändert sich der Maßstab eines Längenmessgerätes durch Schrumpfung, dann sind die abgelesenen Messwerte größer als die wahren Abmaße.

2 Mechanik

2.1 ✓ *richtig ist B* Die Kontinuitätsgleichung ergibt sich aus der Konstanz der Dichte eines Fluids (gleiche Mengen nehmen zu allen Zeiten gleiche Volumina ein), gleichgültig ob es sich dabei um ein Gas oder eine Flüssigkeit handelt. Aus ihr folgt, dass in einem durchströmten Rohr beim Verringern des Querschnittes die Strömungsgeschwindigkeit zunimmt. Sie gilt aber unabhängig von der Form des Querschnittes und von der Viskosität des Fluids, und sie ist mit der Bernoullischen Beziehung verträglich.

2.2 ✓ *richtig ist B* Damit die Flüssigkeit im Röhrchen ganz hochsteigt und zerstäubt wird, muss der Druck an der Oberkante des Röhrchens durch den vorbeistreichenden Luftstrom genügend erniedrigt werden. Dieser Vorgang wird von der Bernoulligleichung beschrieben, in der weder die Temperatur des Luftstromes noch eventuell in der Flüssigkeit gelöste Substanzen, sondern nur die Geschwindigkeit des Luftstromes (am oberen Ende des Röhrchens) eine Rolle spielen.

2.3 ✓ *richtig ist C* Die Schwingungsenergie liegt dort vollständig als kinetische Energie vor, wo die potentielle Energie zu Null wird, also beim Durchgang durch die Ruhelage. Dies ist in den Punkten (1) und (3) der Fall.

2.4 ✓ *richtig ist B* Der hydrostatische Druck, der von der Flüssigkeitssäule der Dichte ρ_1 und der Höhe h_1 erzeugt wird muss gleich dem hydrostatischen Druck sein, der von der Flüssigkeitssäule der Dichte ρ_2 und der Höhe h_2 erzeugt wird. Das ist dann der Fall, wenn $h_1 \cdot \rho_1 = h_2 \cdot \rho_2$ oder $\frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{h_2}{h_1}$ gilt.

2.5 ✓ *richtig ist C* Nach 10 s sind die Sportler 140 m auseinander, sie bewegen sich also mit einer (Durchschnitts-) Geschwindigkeit von 140 m/10 s = 14 m/s auseinander.

2.6 ✓ *richtig ist B* Das Aräometer ist geeignet, die Dichte von Flüssigkeiten zu messen, in denen das Gerät schwimmt, jedoch nur die Skala (also 1 cm³) aus der Flüssigkeit herausragt. Das Volumen von 9 g Flüssigkeit (soviel Flüssigkeit wird vom schwimmenden Aräometer verdrängt) muss also zwischen 9 cm³ (Aräometer ohne Skala) und 10 cm³ (gesamtes Aräometer) liegen. Die Dichte der zu messenden Flüssigkeit muss also zwischen

$9 \text{ g}/10 \text{ cm}^3 = 0,9 \text{ g}/\text{cm}^3$ und $9 \text{ g}/9 \text{ cm}^3 = 1 \text{ g}/\text{cm}^3$ liegen. Dies ist von den angegebenen Substanzen nur bei Olivenöl der Fall.

2.7 ✓ *richtig ist E* Um 20 l, also etwa 20 kg Wasser, auf die etwa 200 N Gewichtskraft wirken, um 15 m anzuheben werden etwa $200 \text{ N} \cdot 15 \text{ m} = 3000 \text{ J}$ benötigt. Die Pumpe leistet also etwa 3000 J pro Sekunde, und das sind 3000 W.

2.8 ✓ *richtig ist A* Die Auftriebskraft, die ein Körper in einer Flüssigkeit erfährt, ist gleich der Gewichtskraft der von ihm verdrängten Flüssigkeit. Da der in Frage stehende Körper ein Volumen von 50 cm^3 besitzt und voll eingetaucht ist, verdrängt er 50 cm^3 Wasser einer Dichte von $1 \text{ g}/\text{cm}^3$, also $50 \text{ g} = 0,05 \text{ kg}$ Wasser. Das Gewicht dieses Wassers ist bei einer Erdbeschleunigung von ca. $10 \text{ m}/\text{s}^2$ etwa

$$0,05 \text{ kg} \cdot 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 0,5 \frac{\text{kgm}}{\text{s}^2} = 0,5 \text{ N}$$

und dies ist dann auch die gesuchte Auftriebskraft.

Die Dichte des eintauchenden Körpers spielt keine Rolle.

2.9 ✓ *richtig ist B* Das Flugzeug wird 50 s lang mit $1,6 \text{ m}/\text{s}^2$ beschleunigt, erreicht also eine Geschwindigkeit von

$$50 \text{ s} \cdot 1,6 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 80 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

und legt dabei eine Strecke von

$$\frac{1}{2} 1,6 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot (50 \text{ s})^2 = 2000 \text{ m}$$

zurück.

2.10 ✓ *richtig ist C* Die Reibungskraft auf einen gleitenden Körper ist stets der sie verursachenden Geschwindigkeit entgegengerichtet.

Ein Zusammenhang mit der an das Paket angreifenden Kraft besteht nur insofern, als diese die Gleitgeschwindigkeit beeinflusst.

2.11 ✓ *richtig ist E* Die Zentrifugalkraft ergibt sich als

$$m \cdot r \cdot \omega^2$$

oder, wenn die Winkelgeschwindigkeit ω mit der Bahngeschwindigkeit v und dem Bahnradius r ausgedrückt wird ($\omega = v/r$):

$$m \cdot r \cdot (v/r)^2 = m \frac{v^2}{r}$$

2.12 ✓ *richtig ist B* Da die Flüssigkeit die Kapillarwand benetzt, ist der Benetzungswinkel sowohl innen, als auch außen größer als 90° und der Flüssigkeitsspiegel innen höher als außen. Dies wird in Abbildung B richtig wiedergegeben.

2.13 ✓ *richtig ist D* Beim Parallelschalten von Röhren addieren sich die Kehrwerte ihrer Strömungswiderstände zum Kehrwert des Gesamtströmungswiderstandes. Dieser ist hier also

$$\frac{1}{R_{\text{ges}}} = \frac{1}{R} + \frac{1}{R} = \frac{2}{R}$$

und damit ist

$$R_{\text{ges}} = \frac{R}{2}$$

2.14 ✓ *richtig ist (1,B) (2,A)* Der Druck des Wassers auf den Gefäßboden ergibt sich (unabhängig von der Form des Gefäßes) als Produkt aus der Dichte des Wassers, der Füllhöhe über dem Boden und der Erdbeschleunigung, also etwa zu

$$1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 0,2 \text{ m} \cdot 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 2000 \text{ Pa}$$

Die Flasche mit dem enthaltenen Wasser besitzt eine Masse von etwa 1,2 kg, also ein Gewicht von etwa 12 N. Diese Kraft wirkt auf eine Fläche von 80 cm^2 , so dass sich auf dieser Fläche ein mittlerer Druck von

$$\frac{12 \text{ N}}{80 \text{ cm}^2} = \frac{12 \text{ N}}{0,008 \text{ m}^2} = 1500 \text{ Pa}$$

ergibt.

2.15 ✓ *richtig ist D* Nach der Bernoullischen Beziehung erniedrigt sich der statische Druck um

$$\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2$$

Da sich aber gleichzeitig ein Staudruck gleicher Höhe ergibt, bleibt der Gesamtdruck, die Summe aus beiden, unverändert.

2.16 ✓ *richtig ist E* Entsprechend dem Hookschen Gesetz ergibt sich der Elastizitätsmodul zu

$$E = \frac{20000 \text{ N}}{1 \text{ cm}^2} \cdot \frac{1 \text{ m}}{2 \text{ mm}} = \frac{20000}{1 \text{ cm}^2} \cdot 500 = 10^7 \text{ N}/\text{cm}^2$$

8 Arzneiformenlehre

8.1 ✓ *richtig ist D* Die Körner eines Pulvers sind Festkörper und als solche praktisch nicht komprimierbar. Ihre Dichte ändert sich also nicht. Was aber aus dem Pulver verdrängt wird, ist die zwischen den Körnern liegende Luft, während beim Stampfen die Hohlräume zwischen den Pulverkörnern kleiner werden. Da das Gesamtvolumen der Probe dabei abnimmt, während die Masse fast unverändert bleibt (die eingeschlossene Luft besitzt im Verhältnis zum festen Anteil des Pulvers eine vernachlässigbare Masse), steigt die Dichte der Probe an.

8.2 ✓ *richtig ist A* Lipophile Cremes enthalten im Gegensatz zu lipophilen Salben eine in der lipophilen Grundlage dispergierte wässrige Phase, die die Entwicklung von Mikroorganismen fördert. Entsprechend sind sie (jedenfalls soweit keine Konservierungsmittel enthalten sind) von mikrobiellen Verunreinigungen stärker bedroht als lipophile Salben.

8.3 ✓ *richtig ist B* Ein grobdisperses flüssiges System ist ein zweiphasiges System, dessen eine (äußere) Phase flüssig und zusammenhängend ist und dessen andere (innere, disperse) Phasen unzusammenhängend (also dispers), als kleine (etwa 1 µm bis 1 mm große) Tröpfchen, Bläschen oder Teilchen in der äußeren Phase verteilt sind, je nachdem, ob diese innere Phase fest, flüssig oder gasförmig ist.

8.4 ✓ *richtig ist E* Bei einem Klebstoffgranulat wird einem Pulver ein Hilfsstoff mit adhäsiver Wirkung (Klebstoff) hinzugefügt, um eine aufbauende Granulierung zu erreichen. Von den angeführten Substanzen besitzt nur Povidon eine solche klebende Wirkung.

8.5 ✓ *richtig ist C* Beim Verfahren der Mazeration wird das gesamte Extraktionsmittel der Droge sogleich zugesetzt und die extrahierbaren Stoffe lösen sich nach und nach darin. Hierbei tritt mit der Zeit ein Konzentrationsausgleich zwischen Menstruum und Droge ein, sodass die Drogeninhaltsstoffe nicht erschöpfend extrahiert werden.

Das Zerkleinern der Droge kann das Erreichen des Konzentrationsausgleichs beschleunigen. Der Übertritt der Drogeninhaltsstoffe kann sowohl durch zerstörte als auch durch intakte Zellwände erfolgen.

Mazeration unter erhöhter Temperatur ist die Digestion; Perkolation dagegen ist ein Verfahren zur Drogenextraktion, bei dem das Menstruum durch die Droge hindurchfließt.

8.6 ✓ *richtig ist E* Das Füllgut einer Kapsel muss so gewählt werden, dass es die Hülle der Kapsel auch über einen längeren Zeitraum hinweg nicht angreift. Bei Hartgelatinekapseln bedeutet dies, dass Arzneistoffgranulate ebenso wie Arzneistoff-Lactose-Mischungen und Mischungen aus Arzneistoff, Mannitol und kolloidaler Kieselsäure unbedenklich sind, während wässrige Arzneistofflösungen und Arzneistoffsuspensionen nicht in Frage kommen.

8.7 ✓ *richtig ist C* Cetylpalmitat ist ein Cetylalkohol-Palmitinsäure-Ester, also keine physikalische Mischung dieser Bestandteile. Aufgrund seiner Eigenschaften wird Cetylpalmitat als Wachs bezeichnet.

8.8 ✓ *richtig ist B* Macrogole sind wasserlösliche Polyethylenglykole, die bei Raumtemperatur je nach Kettenlänge von flüssiger (bis zu einer Molekülmasse von etwa 600) oder mehr oder weniger fester Konsistenz sind. Sie werden durch Polymerisation des Ethylenoxids hergestellt und sind als hydrophile Stoffe keine Wachse.

8.9 ✓ *richtig ist A* Vaseline besteht aus verzweigten, unverzweigten und eventuell auch aus zyklischen Kohlenwasserstoffen. Es wird bei etwa 60 °C flüssig und entmischt sich auch beim Erhitzen auf 160 °C nicht.

8.10 ✓ *richtig ist E* Bentonit ist ein Hydrogelbildner, kein Oleogelbildner.

Carbomere sind quervernetzte Polyacrylsäuren, die dispergiert im Wasser nach Neutralisation (z. B. mit Natriumhydrochlorid) gelieren. Sie müssen hierzu nicht erhitzt werden.

Cellulosederivate bilden Hydrogele; hier kann Propylen-glycol als Anreibemittel verwendet werden.

8.11 ✓ *richtig ist A* Eine Emulsion kann zwar ohne Tensid-Zusatz durch mechanische Arbeit hergestellt werden, dies ist jedoch aufgrund der sehr großen Phasengrenzfläche ein instabiles System. Durch Zugabe eines Tensides wird die Grenzflächenspannung stark reduziert und das System stabilisiert.

8.12 ✓ *richtig ist B* Die Herstellungsweise ist so zu wählen, dass eine möglichst homogene Suspendierung erzielt wird. Der Feststoff Salicylsäure ist in geringem Maße in Vaseline löslich. Daher sollte ein Erhitzen mit anschließendem Kaltrühren, das ein Auskristallisieren zur Folge haben kann, vermieden werden. Das Lösen von Salicylsäure in Ethanol mit anschließendem Einarbeiten in Vaseline führt ebenfalls zu keinem befriedigendem Ergebnis, da sich Ethanol und Vaseline ohne Emulgatorbeimengung schlecht mischen lassen und in der Fantaschale keine homogene Emulsion erreicht werden kann.

Wird zuerst die gesamte Vaseline in die Fantaschale gegeben und dann die Salicylsäure beigemischt, so entstehen Konglomerate der Salicylsäure, die die Homogenität beeinträchtigen. Daher sollte die Salicylsäure zuerst angerieben werden, wobei ein Anreiben mit Polysorbat nicht hilfreich ist, da beim Mischen mit Vaseline wieder Aggregatbildung auftreten würde.

8.13 ✓ *richtig ist B* Hartfett, welches zur Herstellung von Suspensionszäpfchen geeignet ist, muss unterhalb der Körpertemperatur, am besten zwischen 33 °C und 36 °C schmelzen und aus herstellungstechnischen Gründen beim Erstarren Volumenkontraktion aufweisen. Hartfett nach dem Europäischen Arzneibuch ist eine Mischung aus Mono-, Di- und Triglyceriden gesättigter Fettsäuren, also nicht der ungesättigten Ölsäure. Die Partialglyceride (Mono- und Diglyceride) weisen zwar durch die verbleibenden OH-Gruppen hydrophile Eigenschaften auf, lösen sich aber dennoch nur in geringem Maße in Wasser von 37 °C.

8.14 ✓ *richtig ist B* Bei der Prüfung der Gleichförmigkeit der Masse von Suppositorien nach dem Europäischen Arzneibuch werden 20 Stück gewogen, wobei maximal 2 davon um mehr als die angegebene, maximal jedoch die doppelte angegebene Abweichung aufweisen dürfen. Die zulässige Abweichung bezieht sich dabei auf die Durchschnittsmasse. Die zulässige Abweichung ist dabei von der Produktionsmenge unabhängig.

8.15 ✓ *richtig ist D* Nach dem Homöopathischen Arzneibuch werden homöopathische Verreibungen mit Lactose verdünnt. Die Verreibung kann von Hand oder maschinell erfolgen; in jedem Fall jedoch muss abgeschabt werden. Die Verreibung erfolgt nicht in einem glatten Gefäß und nicht mit einem glatten Pistill, sondern in einem Porzellanmörser mit einem Porzellanpistill.

8.16 ✓ *richtig ist D* Entsprechend der Stokesschen Beziehung ist die Aufrahmggeschwindigkeit der Öltröpfchen proportional zum Quadrat des Tröpfchenradius.

Wird dieser halbiert, so sinkt die Steigggeschwindigkeit auf ein Viertel des ursprünglichen Wertes, sodass das Aufrahmen statt 4 h jetzt $4 \cdot 4 \text{ h} = 16 \text{ h}$ dauert.

8.17 ✓ *richtig ist C* Bei der Mischung von Pulvern spielt die Molmasse der beteiligten Stoffe insofern keine Rolle, als dies eine Eigenschaft der molekularen Struktur der Stoffe ist, die bei den makroskopischen Körnern des Pulvers nicht sichtbar wird. Hier spielt nur die Dichte der beteiligten Stoffe eine Rolle. Auch das Mischungsverhältnis (Einwaagen) spielt ebensowenig eine Rolle beim Mischungsverhalten der Pulver wie auch deren Schmelzpunkt (es sollen ja die festen Phasen gemischt werden).

Entscheidend ist dagegen die Korngröße der beteiligten Stoffe, da kleine Körner durch die zwischen großen Körnern vorhandenen Hohlräume hindurchfallen können und sich so eine feinkörnige Komponente von einer grobkörnigen Komponente leicht trennen kann.

8.18 ✓ *richtig ist E* Die Laufzeit eines Arzneimittels ist definiert als die Zeitspanne zwischen seiner Herstellung und dem Verfallsdatum, die Ablauffrist als die Zeitspanne innerhalb derer ein Arzneimittel nach Anbruch durch den Patienten verwendet werden darf. Die Ablauffrist liegt also innerhalb der Laufzeit.

Da die Verpackung auch dem Schutz des Arzneimittels dient (z. B. vor Feuchtigkeit, Lichteinwirkung), beeinflusst sie auch dessen Haltbarkeit.

Für Rezepturarzneimittel ist eine gegenüber Fertigarzneimitteln vereinfachte Kennzeichnung zugelassen, ein Hinweis auf die begrenzte Haltbarkeit muss ein Rezepturarzneimittel dennoch tragen.

8.19 ✓ *richtig ist A* Die Bancroftsche Regel besagt, dass diejenige Phase einer Emulsion, in der sich der Emulgator besser löst, die äußere Phase bildet.

Ein Emulsionskern ist eine hochkonzentrierte Emulsion, aus der durch Verdünnung das Endprodukt hergestellt wird.

8.20 ✓ *richtig ist C* Fette und Wachse sind chemisch gesehen Ester, da sie durch Bindung der Säuregruppe der Fettsäuren an die OH-Gruppen des Alkohols unter Abspaltung je eines H₂O-Moleküls entstehen. Wachse sind Ester langkettiger Fettsäuren mit einwertigen Alkoholen (also nicht Glycerol).