Übungsaufgaben zur Klausurvorbereitung

S. 155 – 157

Lösungen zu den Aufgaben

Bewegungen

Aufgaben S. 156

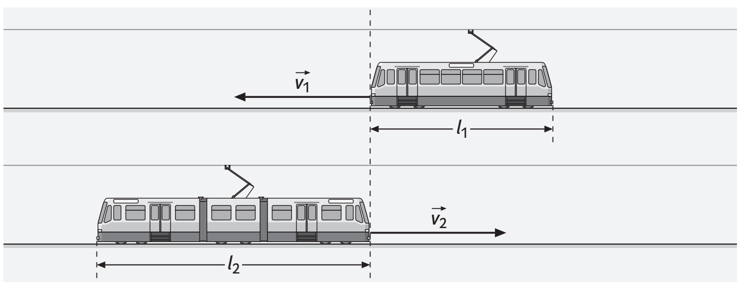
1 [◒ UF | K] Gegeben:

Straßenbahn 1: $l_1 = 26\,\text{m};\ v_1 = 18\,\frac{\text{km}}{\text{h}} = 5\,\frac{\text{m}}{\text{s}}$

Straßenbahn 2: $l_2 = 39\,\text{m};\ v_2 = 36\,\frac{\text{km}}{\text{h}} = 10\,\frac{\text{m}}{\text{s}}$

a) Berechnung der Zeit, bis die beiden Bahnen aneinander vorbeigefahren sind:
Für die gleichförmige Bewegung gilt:

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



Der Gesamtweg für die Vorbeifahrt beträgt:

$$s = l_1 + l_2$$

Da die Straßenbahnen in entgegengesetzter Richtung fahren, beträgt ihre Relativgeschwindigkeit:

$$v = v_1 + v_2$$

Damit erhält man für die Dauer der Vorbeifahrt:

$$t = \frac{l_1 + l_2}{v_1 + v_2} = \frac{26\,\text{m} + 39\,\text{m}}{5\,\frac{\text{m}}{\text{s}} + 10\,\frac{\text{m}}{\text{s}}} = \frac{65\,\text{m}}{15\,\frac{\text{m}}{\text{s}}} = 4{,}3\,\text{s}$$

Die Vorbeifahrt der Bahnen aneinander dauert 4,3 s.

b) Für einen Fahrgast in Bahn 1 ist die Sicht nur so lange verdeckt, wie die Bahn 2 an ihm vorbeifährt. Damit ergibt sich:

$$t_1 = \frac{l_2}{v_1 + v_2} = \frac{39\,\text{m}}{5\,\frac{\text{m}}{\text{s}} + 10\,\frac{\text{m}}{\text{s}}} = \frac{39\,\text{m}}{15\,\frac{\text{m}}{\text{s}}} = 2{,}6\,\text{s}$$

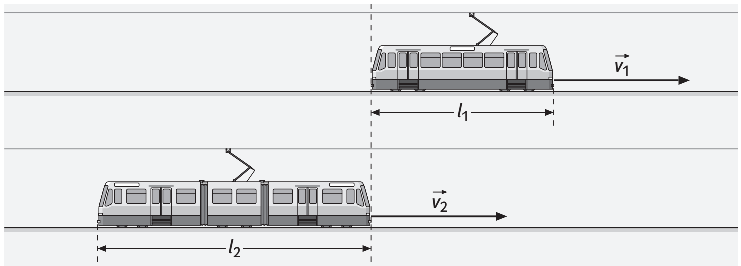
Für einen Fahrgast in Bahn 2 ergibt sich entsprechend:

$$t_2 = \frac{l_1}{v_1 + v_2} = \frac{26\,\text{m}}{15\,\frac{\text{m}}{\text{s}}} = 1{,}7\,\text{s}$$

Dem Fahrgast in Bahn 1 wird die Sicht also 2,6 s lang versperrt, dem in Bahn 2 wird sie 1,7 s lang versperrt.

c) Für die Fahrstrecke der schnelleren Bahn gilt:

$s_2 = v_2 \cdot t$



Die Zeit t ergibt sich aus der Länge der Bahn 1 (wenn Bahn 2 diesen Weg zurückgelegt hat, dann befinden sich die Spitzen beider Bahnen auf gleicher Höhe) und der Relativgeschwindigkeit zwischen den beiden Bahnen:

$$t = \frac{l_1}{v_2 - v_1} = \frac{26\,\text{m}}{10\,\frac{\text{m}}{\text{s}} - 5\,\frac{\text{m}}{\text{s}}} = \frac{26\,\text{m}}{5\,\frac{\text{m}}{\text{s}}} = 5{,}2\,\text{s}$$

Damit ergibt sich für Bahn 2:

$$s_2 = 10\,\frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 5{,}2\,\text{s} = 52\,\text{m}$$

Entsprechend erhält man für die Bahn 1:

$$s_1 = v_1 \cdot t = 5\,\frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 5{,}2\,\text{s} = 26\,\text{m}$$

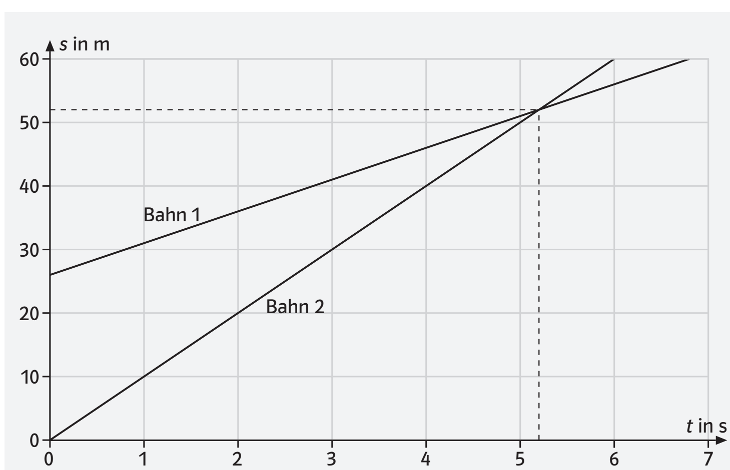
Nach einer Fahrstrecke von $s_1 = 26\,\text{m}$ bzw. $s_2 = 52\,\text{m}$ befinden sich die Spitzen der beiden Bahnen auf gleicher Höhe.

d) Zum Zeitpunkt $t = 0\,\text{s}$ betragen die zurückgelegten Wege $26\,\text{m}$ für die Bahn 1 und $0\,\text{m}$ für die Bahn 2. Die Bezugspunkte sind die Spitzen der Bahnen. Für die Wege gilt dann allgemein:

$$s_1 = 26\,\text{m} + 5\,\frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot t$$

$$s_2 = 10\,\frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot t$$

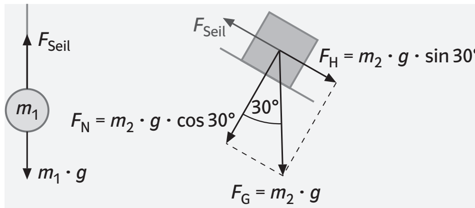
Damit ergibt sich folgendes Zeit-Weg-Diagramm:



Der Schnittpunkt der beiden Graphen gibt an, nach welchem Weg sich die Spitzen der beiden Bahnen auf gleicher Höhe befinden und welche Zeit bis dahin vergangen ist. In Übereinstimmung mit den Ergebnissen aus Teilaufgabe **c)** erhält man $t \approx 5{,}2\,\text{s}$, $s_1 \approx 26\,\text{m}$ und $s_2 \approx 52\,\text{m}$.

Aufgaben S. 156

2 [◒ UF] **a)**



b) Auf den Körper m_2 wirkt die Hangabtriebskraft F_H. Ihr entgegen wirkt die Gewichtskraft F_{G_1} des Körpers m_1.

$F_H = m_2 \cdot g \cdot \sin 30° = 5\,\text{kg} \cdot 9{,}81\,\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot \sin 30° = 24{,}5\,\text{N}$

$F_{G_1} = m_1 \cdot g = 3\,\text{kg} \cdot 9{,}81\,\frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 29{,}4\,\text{N}$

Da $F_{G_1} > F_H$ bewegen sich die beiden Körper in Richtung von F_{G_1}.

c) Da sich der Körper entgegen der Hangabtriebskraft F_H bewegt, wirkt die Haftreibungskraft F_{Haft} in Richtung von F_H.

$F_{Haft} = f \cdot F_H = f \cdot m_2 \cdot g \cdot \cos 30° = 0{,}1 \cdot 5\,\text{kg} \cdot 9{,}81\,\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot \cos 30° = 4{,}2\,\text{N}$

$F_H + F_{Haft} = 28{,}7\,\text{N} < 29{,}4\,\text{N} = F_{G_1}$

Somit bewegen sich die beiden Körper immer noch in Richtung von F_{G_1}.

3 [○ UF] **a)** Da F konstant ist, liegt eine gleichmäßig beschleunigte Bewegung vor.
Aus $F = m \cdot a$ folgt:

$a = \frac{F}{m} = \frac{1{,}6 \cdot 10^{-15}\,\text{N}}{9 \cdot 10^{-31}\,\text{s}} = 1{,}8 \cdot 10^{15}\,\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

Die Bewegungsgesetze dieser Bewegung liefern (mit $s_0 = 0$, $v_0 = 0$):

$v = a \cdot t = 1{,}8 \cdot 10^{15}\,\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 5 \cdot 10^{-9}\,\text{s} = 9 \cdot 10^{6}\,\frac{\text{m}}{\text{s}}$

$s = \frac{1}{2} a \cdot t^2 = \frac{1}{2} \cdot 1{,}8 \cdot 10^{15}\,\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot (5 \cdot 10^{-9})^2\,\text{s}^2 = 0{,}02\,\text{m}$

b) Man geht von einer Kreisbewegung mit konstantem Geschwindigkeitsbetrag aus. Dann gilt:

$F_z = \frac{m \cdot v^2}{r} = \frac{9 \cdot 10^{-31}\,\text{kg} \cdot \left(9 \cdot 10^{6}\,\frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{0{,}048\,\text{m}} = 1{,}5 \cdot 10^{-15}\,\text{N}$

Energie

4 [◒ UF | K] **a) Lösung über den Energieansatz:**
Bewegungsenergie E_{kin} wird in Höhenenergie E_{pot} umgewandelt. Dabei wird von der Energieerhaltung ausgegangen.

$E_{kin} = \frac{1}{2} m \cdot v_0^2 = m \cdot g \cdot h = E_{pot}$ liefert

$\frac{1}{2} v_0^2 = g \cdot h \quad \Leftrightarrow \quad h = \frac{v_0^2}{2 \cdot g}$

mit $g = 9{,}81\,\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ ist $h \approx 3\,\text{m}$.

Lösung über den Kraftansatz:
Die Bewegung nach oben wird durch die konstante Gewichtskraft F_G gebremst. Die negative Beschleunigung ist $-g$. Es gilt das t-v-Gesetz der gleichmäßig beschleunigten Bewegung $v(t) = v_0 - g \cdot t$. Die maximale Höhe ist erreicht, wenn $v(t) = 0$ ist. Aus dieser Bedingung ergibt sich die Steigzeit $t_s = v_0/g$.

Die Höhe kann als Flächeninhalt der Dreiecksfläche im *t*-*v*-Diagramm ermittelt werden.
Man erhält:

$$h = \frac{1}{2} t_s \cdot v_0 = \frac{v_0^2}{2 \cdot g} \approx 13\,\text{m}$$

b) Die Höhenenergie wird wieder in Bewegungsenergie umgewandelt. Da keine Reibung vorliegt, kann ein abgeschlossenes System angenommen werden. Die Bewegungsenergie und damit die Geschwindigkeit muss die gleiche sein wie die Startgeschwindigkeit. Damit ist die Änderung der Geschwindigkeit in beiden Fällen die gleiche. Da die Gewichtskraft in beiden Fällen die verursachende Kraft ist, ist der Betrag der Beschleunigung und damit auch die Zeit in beiden Fällen gleich.

5 [◒ UF | K] Gegeben: $v_0 = 25\,\frac{\text{km}}{\text{h}} = 6{,}9\,\frac{\text{m}}{\text{s}}$

$h_0 = 5\,\text{m}$

a) Durch Anwendung des Energieerhaltungssatzes der Mechanik erhält man folgende Beziehung:

$$\frac{1}{2} m \cdot v_0^2 + m \cdot g \cdot h = \frac{1}{2} m \cdot v^2$$

Daraus berechnet sich die Geschwindigkeit nach

$$v = \sqrt{v_0^2 + 2 \cdot g \cdot h}$$

$$v = \sqrt{\left(6{,}9\,\frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 + 2 \cdot 9{,}81\,\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 5\,\text{m}}$$

$$v = 12{,}1\,\frac{\text{m}}{\text{s}} = 43{,}6\,\frac{\text{km}}{\text{h}}$$

Die Radfahrerin wäre mit einer Geschwindigkeit von $43{,}6\,\text{km/h}$ auf das parkende Auto gefahren.

b) Die kinetische Energie der Radfahrerin muss gleich der potenziellen Energie gesetzt werden. Daraus lässt sich die Fallhöhe h mit der gleichen Auftreffgeschwindigkeit berechnen:

$$\frac{1}{2} m \cdot v^2 = m \cdot g \cdot h$$

Es ergibt sich:

$$h = \frac{v^2}{2g} = \frac{\left(12{,}1\,\frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \cdot 9{,}81\,\frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 7{,}5\,\text{m}$$

Ein frei fallender Körper müsste aus einer Höhe von $7{,}5\,\text{m}$ fallen, um mit der gleichen Endgeschwindigkeit $v = 43{,}6\,\text{m/s}$ auf dem Boden aufzutreffen.

c) Für einen schwereren Radfahrer ergäben sich dieselben Werte, da sich die Masse m aus den Gleichungen herauskürzt:

Gleichung 1:

$$\frac{1}{2} m \cdot v_0^2 + m \cdot g \cdot h = \frac{1}{2} m \cdot v^2$$

$$\frac{1}{2} v_0^2 + g \cdot h = \frac{1}{2} v^2$$

Gleichung 2:

$$\frac{1}{2} m \cdot v^2 = m \cdot g \cdot h$$

$$\frac{1}{2} v^2 = g \cdot h$$

6 [○ UF | K] **a)** Bei der Fahrt treten zwei mechanische Energieformen auf, die potenzielle und die kinetische Energie.
Da der Waggon im Punkt A mit $v = 0$ startet, hat er in diesem Punkt keine kinetische Energie.
Aufgrund seiner Höhe bzgl. des Punktes B (tiefster Punkt der Achterbahn) hat er potenzielle Energie.

Aufgaben S. 156

Beginnt der Waggon nun mit seiner Fahrt, so gewinnt er an Geschwindigkeit und damit an kinetischer Energie. Die potenzielle Energie nimmt ab, bis sie im Punkt B (Bezugsniveau) den Wert Null annimmt. Dort ist, wenn man von einem reibungsfreien System ausgeht, die kinetische Energie maximal.
Bewegt sich der Waggon nun in Richtung des Punktes C, so nimmt seine Geschwindigkeit wieder ab und damit auch die kinetische Energie. Die potenzielle Energie nimmt zu. Im Punkt C liegen beide Energieformen vor, da der Waggon nicht die Höhe des Punktes A erreicht hat und somit noch nicht die komplette kinetische Energie in potenzielle Energie umgewandelt wurde.

Aufgaben S. 157

b) Im Punkt A gilt: $E_{kin} = 0$ und E_{pot} ist maximal.

$E_{pot} = m \cdot g \cdot h_A = 400\,\text{kg} \cdot 9{,}81\,\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot (100\,\text{m} - 20\,\text{m}) = 313\,920\,\text{J}$

Im Punkt B gilt: $E_{pot} = 0$ und E_{kin} ist maximal.

$E_{kin} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_B^2 = 313\,920\,\text{J}$ Aufgelöst nach v_B folgt: $v_B \approx 40\,\frac{\text{m}}{\text{s}} = 144\,\frac{\text{km}}{\text{h}}$

Im Punkt C gilt: $E_{kin} + E_{pot} = 313\,920\,\text{J}$.

$\frac{1}{2} \cdot m \cdot v_C^2 + m \cdot g \cdot h_C = \frac{1}{2} \cdot 400\,\text{kg} \cdot v_C^2 + 400\,\text{kg} \cdot 9{,}81\,\frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot (80\,\text{m} - 20\,\text{m}) = 313\,920\,\text{J}$

$v_C \approx 20\,\frac{\text{m}}{\text{s}} = 72\,\frac{\text{km}}{\text{h}}$

Impuls

7 [◒ UF | E] Beim Stoß finden Energie- und Impulsübertragung statt. Besonders viel Energie wird übertragen, wenn beide Stoßpartner etwa gleiche Masse haben. Das ist bei Neutronen und den Protonen des Wasserstoffkerns der Fall.

8 [◒ UF] Aus der Energieerhaltung $E_{pot} = E_{kin}$ ergibt sich für die Geschwindigkeit vor dem Ankuppeln:

$v_{vor} = \sqrt{2g \cdot h} = 7{,}7\,\frac{\text{m}}{\text{s}}$.

Aus der Impulserhaltung $p_{vor} = p_{nach}$ folgt:

$30\,\text{t} \cdot 7{,}7\,\frac{\text{m}}{\text{s}} = 60\,\text{t} \cdot v_{nach} \Rightarrow v_{nach} = 3{,}85\,\frac{\text{m}}{\text{s}}$

Die beiden Bewegungsenergien sind:

$E_{kin\,vor} = 8{,}9 \cdot 10^5\,\text{J},\ E_{kin\,nach} = 4{,}4 \cdot 10^5\,\text{J}$

Offenbar ist beim Ankuppeln Energie in innere Energie umgewandelt worden.

9 [● UF | K] **a)** Es liegt ein unelastischer Stoß vor. Nach dem Impulserhaltungssatz gilt:

$m_1 \cdot v = (m_1 + m_2) \cdot v'$

$v = (m_1 + m_2) \cdot \frac{v'}{m_1}$

Die Geschwindigkeit v' des Pendels mit dem Geschoss lässt sich mit Hilfe des Energieerhaltungssatzes bestimmen:

$\frac{1}{2}(m_1 + m_2) \cdot v'^2 = (m_1 + m_2) \cdot g \cdot h$

$v' = \sqrt{2 \cdot g \cdot h}$

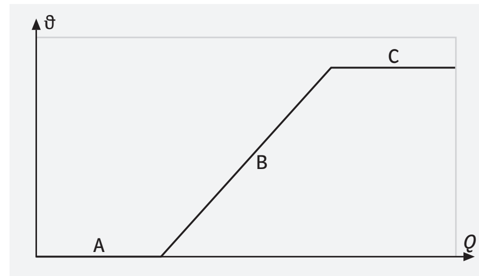
Setzt man v' in die Gleichung zur Berechnung der Geschossgeschwindigkeit v ein, ergibt sich

$v = \sqrt{2 \cdot g \cdot h} \cdot \frac{m_1 + m_2}{m_1}$

b) Die Massen von Geschoss und Pendel können mittels einer Waage bestimmt werden. Wenn das Geschoss auf das Pendel trifft, wird dieses ausgelenkt und schwingt hin und her. Die Höhe h kann man direkt messen oder über die Pendellänge und die Auslenkung des Pendels ermitteln. Nach der oben hergeleiteten Gleichung kann man aus den gemessenen Werten die Geschwindigkeit v des Geschosses berechnen.

Wärmelehre

10 [○ UF] **a)** A: Die Wärmezufuhr bewirkt das Schmelzen des Eises. Während des Schmelzens bleibt die Temperatur des Wasser-Eis-Gemisches konstant. Feste und flüssige Phase bestehen nebeneinander.



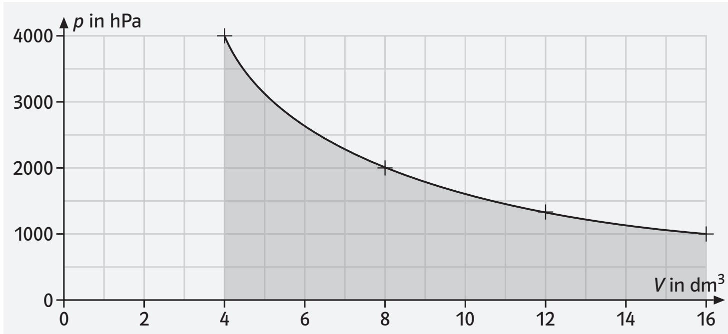
B: Das Wasser wird erwärmt. Bei gleichmäßiger Wärmezufuhr steigt wegen $Q \sim \Delta\vartheta$ die Temperatur gleichmäßig an. Die Erwärmung erfolgt bis zur Siedetemperatur.
C: Bei weiterer Zufuhr von Wärme verdampft das Wasser. Dieser Vorgang geht bei konstanter Temperatur vor sich. Die flüssige und gasförmige Phase bestehen nebeneinander.
b) Beim Einleiten von Wasserdampf in eine Flüssigkeit wird Verdampfungswärme frei. Die Verdampfungswärme von Wasser hat mit 2256 kJ/kg einen im Vergleich zu anderen Stoffen hohen Wert. Somit wird schon mit einer geringen Menge von heißem Wasserdampf der Flüssigkeit relativ viel Energie zugeführt. Sie wird demzufolge schnell erwärmt.

11 [◒ UF] **a)** Aus dem 1. Hauptsatz der Thermodynamik $\Delta U = Q + W$ ergibt sich für die verrichtete Arbeit
- bei der isothermen Zustandsänderung ($\Delta U = 0$):
  $-W = Q$
  Die verrichtete Volumenarbeit entstammt der zugeführten Wärme und hat den gleichen Betrag. Die innere Energie ist bei der isothermen Expansion eines Gases konstant.
- bei der isobaren Zustandsänderung:
  $W = \Delta U - Q$
  Ein Teil der zugeführten Wärme wird in Volumenarbeit umgewandelt. Ein anderer Teil führt zur Erhöhung der inneren Energie.
- bei der adiabatischen Zustandsänderung ($Q = 0$):
  $W = \Delta U$
  Bei der adiabatischen Expansion entspricht die vom System verrichtete Arbeit der Verminderung der inneren Energie.
  Bei der adiabatischen Kompression entspricht die vom System verrichtete Arbeit der Erhöhung der inneren Energie.

b) Für einen isothermen Vorgang (T = konstant) gilt:
$p \cdot V$ = konstant oder $p_1 \cdot V_1 = p_2 \cdot V_2$
Damit ergeben sich folgende Werte:

p in hPa	1000	1333	2000	4000
V in dm^3	16	12	8	4

Folgende Grafik zeigt das zugehörige Diagramm:



Der Betrag der Arbeit kann durch Auszählen der Fläche unter dem Graphen ermittelt werden. Nach diesem Verfahren erhält man $W \approx 2200\,\mathrm{Nm}$. Die für die Kompression des Gases erforderliche Arbeit beträgt etwa 2200 Nm.

Grenzen der klassischen Physik

12 [○ UF | K] **a)** Es entsteht Interferenz von Elektronen an Graphitkristallen, die in allen Raumrichtungen angeordnet sind.
b) Es ergibt sich die Planck'sche Konstante *h*.
c) Die de Broglie-Wellenlänge ist der Quotient aus *h* und dem Impuls *p* eines Elektrons: $\lambda = h/p$
Nur bei einer großen Anzahl von Elektronen kann Interferenz beobachtet werden.

13 [◒ UF | K] Die „(Mess-)Unsicherheit" ist z. B. abhängig von der Qualität eines Messgerätes. Sie kann im Prinzip beliebig klein werden.
„Unbestimmtheit" ist ein naturgesetzlicher Zusammenhang zwischen der Genauigkeit einer gleichzeitigen Messung vor Ort und Impuls. Sie kann nicht unterschritten werden.

Anhang

Umgang mit Messfehlern

Aufträge S. 158

A1 [UF] Berechnung von U_2 und U_3 mit Messunsicherheiten:

Gegeben: $a = 142{,}0\text{ mm} \pm 0{,}5\text{ mm}$
$b = 124{,}0\text{ mm} \pm 0{,}5\text{ mm}$
$c = 10{,}0\text{ mm} \pm 0{,}5\text{ mm}$

Gesucht: U_2, U_3

Berechnung des Umfangs U_2

Es gilt: $U_2 = a + a + c + c$
$U_2 = 142{,}0\,\text{mm} + 142{,}0\,\text{mm} + 10{,}0\,\text{mm} + 10{,}0\,\text{mm} \pm 2{,}0\,\text{mm}$
$U_2 = 304{,}0\,\text{mm} \pm 2{,}0\,\text{mm}$

Berechnung des Umfangs U_3

Es gilt: $U_3 = b + b + c + c$
$U_3 = 124{,}0\,\text{mm} + 124{,}0\,\text{mm} + 10{,}0\,\text{mm} + 10{,}0\,\text{mm} \pm 2{,}0\,\text{mm}$
$U_3 = 268{,}0\,\text{mm} \pm 2{,}0\,\text{mm}$

Die Umfänge U_2 und U_3 betragen mit Messunsicherheiten $U_2 = 304{,}0\,\text{mm} \pm 2{,}0\,\text{mm}$ und $U_3 = 268{,}0\,\text{mm} \pm 2{,}0\,\text{mm}$.

Aufträge S. 159

A1 [UF]

Gegeben: $U = 200\,\text{V} \pm 1\,\% = 200\,\text{V} \pm 2\,\text{V}$
$Q = 6{,}9 \cdot 10^{-8}\,\text{C} \pm 0{,}1 \cdot 10^{-8}\,\text{C}$
$d = 0{,}8\,\text{mm} \pm 0{,}05\,\text{mm}$
$r = 100\,\text{mm} \pm 0{,}5\,\text{mm}$

Gesucht: Betrag der elektrischen Feldkonstante ε_0 mit Messunsicherheit

Es gilt: $\frac{Q}{U} = \varepsilon_0 \cdot \pi \cdot \frac{r^2}{d}$

$$\varepsilon_0 = \frac{Q \cdot d}{U \cdot \pi \cdot r^2}$$

Mit den oben angegebenen Werten erhält man für ε_0

$$\varepsilon_0 = \frac{6{,}9 \cdot 10^{-8}\,\text{C} \cdot 0{,}80 \cdot 10^{-3}\,\text{m}}{200\,\text{V} \cdot \pi \cdot (100 \cdot 10^{-3}\,\text{m})^2}$$

$$\varepsilon_0 = 8{,}80 \cdot 10^{-12}\,\frac{\text{C}}{\text{V} \cdot \text{m}}$$

Berechnung des größtmöglichen Ergebnisses:

$$\varepsilon_{0,\text{max}} = \frac{7{,}0 \cdot 10^{-8}\,\text{C} \cdot 0{,}85 \cdot 10^{-3}\,\text{m}}{198\,\text{V} \cdot \pi \cdot (99{,}5 \cdot 10^{-3}\,\text{m})^2}$$

$$\varepsilon_{0,\text{max}} = 9{,}66 \cdot 10^{-12}\,\frac{\text{C}}{\text{V} \cdot \text{m}}$$

Berechnung des kleinstmöglichen Ergebnisses:

$$\varepsilon_{0,\text{min}} = \frac{6{,}8 \cdot 10^{-8}\,\text{C} \cdot 0{,}75 \cdot 10^{-3}\,\text{m}}{202\,\text{V} \cdot \pi \cdot (100{,}5 \cdot 10^{-3}\,\text{m})^2}$$

$$\varepsilon_{0,\text{min}} = 7{,}96 \cdot 10^{-12}\,\frac{\text{C}}{\text{V} \cdot \text{m}}$$

Eine sinnvolle Angabe der elektrischen Feldkonstante mit Messunsicherheit könnte lauten:

$$\varepsilon_0 = 8{,}8 \cdot 10^{-12}\,\frac{\text{C}}{\text{V} \cdot \text{m}} \pm 0{,}9 \cdot 10^{-12}\,\frac{\text{C}}{\text{V} \cdot \text{m}}$$