



EUROPA-FACHBUCHREIHE
für den Physikunterricht

Methodische Lösungswege zum Arbeitsbuch Physik

13. Auflage

Bearbeitet von Lehrern an Berufsfachschulen, Berufskollegs, Berufsaufbauschulen,
Fachschulen, Gymnasien und von Physikern (siehe Rückseite)

VERLAG EUROPA-LEHRMITTEL · Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG
Düsselberger Straße 23 · 42781 Haan-Gruiten

Europa-Nr.: 7013X

Autoren:

Kurt Drescher	Dipl-Phys., Studiendirektor	Friedrichshafen
Alfred Dyballa	Studiendirektor	Detmold
Ulrich Maier	Dr. rer. nat., Oberstudienrat	Heilbronn
Gerhard Mangold	Studienprofessor	Tettang, Biberach
Oskar Meyer	Dr. rer. nat., Oberstudiendirektor	Tübingen
Udo Nimmerrichter	Oberstudiendirektor	Friedrichshafen

Bildbearbeitung:

Zeichenbüro des Verlags Europa-Lehrmittel GmbH & Co.KG, 73760 Ostfildern

Lektorat:

Studiendirektor Kurt Drescher, Friedrichshafen

Diesem Buch wurden die neuesten Ausgaben der DIN-Blätter und der VDE-Bestimmungen zugrunde gelegt. Verbindlich sind jedoch nur die DIN-Blätter und VDE-Bestimmungen selbst.

Die DIN-Blätter können von der Beuth-Verlag GmbH, Burggrafenstraße 6, 10787 Berlin, bezogen werden. Die VDE-Bestimmungen sind bei der VDE-Verlag GmbH, Bismarkstraße 33, 10625 Berlin, erhältlich.

13. Auflage 2018

Druck 5 4 3 2 1

Alle Drucke derselben Auflage sind parallel einsetzbar, da sie bis auf die Behebung von Druckfehlern untereinander unverändert sind.

ISBN 978-3-8085-2524-1

Alle Rechte vorbehalten. Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der gesetzlich geregelten Fälle muss vom Verlag schriftlich genehmigt werden.

© 2018 by Verlag Europa-Lehrmittel, Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG, 42781 Haan-Gruiten
<http://www.europa-lehrmittel.de>

Satz: Daniela Schreuer, 78256 Steißlingen

Umschlaggestaltung: braunwerbeagentur, Radevormwald unter Verwendung des Fotos von (c) gyn9037 – shutterstock.com

Druck: M. P. Media Print Informationstechnologie GmbH, 33100 Paderborn

Didaktische Hinweise für den Unterricht

Das Physik-Arbeitsbuch ist Bestandteil eines offenen Lehrsystems und kann durch mehrere Medien ergänzt werden, insbesondere durch den personalen Unterricht mit Experimenten. Das Arbeitsbuch soll dem Lehrer erleichtern, die Eigentätigkeit des Schülers anzuregen. Außerdem soll es das sonst unvermeidliche Vervielfältigen von Aufgaben ersetzen.

Darbietung und Erarbeitung des Lehrstoffs. Die Informationsdarbietung wird im Regelfall durch den Lehrer an Hand von Experimenten und unter Zuhilfenahme der Wandtafel oder des Schreibprojektors erfolgen. Durch den systematischen Aufbau der Übungsaufgaben ist aber die Erarbeitung des Lehrstoffs mit Hilfe des Lehrteils durch den Schüler selbst in vielen Fällen möglich.

Beispiel: Aufgabe 47/3 lautet:

3. Ein hydraulisches Getriebe gibt 80 kW ab, die in ihm auftretende Verlustleistung beträgt 8 kW.

- a) Wie groß ist die zugeführte Leistung? b) Wie groß ist der Wirkungsgrad?

Der Schüler findet im Lehrteil:

Der Wirkungsgrad ist das Verhältnis von Nutzen zu Aufwand. Meist verwendet man den Leistungswirkungsgrad.

η Leistungswirkungsgrad
 P_{ab} Leistungsabgabe
 P_{zu} Leistungsaufnahme
 P_v Verlustleistung

$$P_v = P_{zu} - P_{ab}$$

$$\eta = \frac{P_{ab}}{P_{zu}}$$

Der Schüler löst die erste Formel auf und erhält die zugeführte Leistung zu 88 kW. Dann verwendet er die zweite Formel und berechnet den Wirkungsgrad zu $\eta = \frac{P_{ab}}{P_{zu}} = \frac{80 \text{ kW}}{88 \text{ kW}} = \mathbf{0,909}$.

Vertiefung des Lehrstoffes: Die Arbeitsaufgaben sind zum größten Teil für die Übungsphasen bestimmt. Eine bewährte Übungsmöglichkeit ist folgende:

Die Lehrperson macht abschnittsweise an Hand des Stoffverteilungsplanes je nach Qualifikation der Lernenden, einen Plan nach den Schwierigkeitsgraden I, II und III.

Die Aufgaben der Stufe I werden jeweils erarbeitet oder auch nur gemeinsam besprochen.

Die Aufgaben der Stufen II und III werden als Übungsaufgaben an die Lernenden vergeben.

Anwendung des Erfolgstests. Zur Durchführung von Erfolgstests dienen die programmierten Aufgaben. Deren Lösung stellt eine Ziffer bzw. eine Zahl dar. Die Auswertung erfolgt dann einfach durch Vergleich von Zahlen.

Beispiele:

- p3. Welche Größen kann man rechnerisch addieren?
1. Skalare Größen mit gleichen oder mit verschiedenen Einheiten;
 2. skalare Größen mit gleichen Einheiten;
 3. skalare Größen mit verschiedenen Einheiten;
 4. alle vektoriellen Größen mit gleicher Richtung;
 5. vektorielle Größen mit gleicher Einheit.

- p6. Warum werden in optischen Geräten, wie z. B. beim Fernglas oder beim Spiegelfernrohr (Bild 179/2), anstatt ebener Spiegel Spiegelprismen verwendet?
1. Damit das Licht in seine Spektralfarben zerlegt wird;
 2. weil Prismen billiger sind;
 3. weil Spiegelprismen besser als Spiegel reflektieren;
 4. weil Prismen leichter als Spiegel sind;
 5. um die Brennweite des Okulars zu verringern.

Ergebnis

② Ergebnis

③

Das Buch „Methodische Lösungswege zum Arbeitsbuch Physik“ kann an Schülerinnen und Schüler nur bei Bestellung mit dem Schulstempel geliefert werden.

Inhaltsverzeichnis

1 Grundlagen		7 Elektrizitätslehre	
Lösungen zu 1.1.1	Begriffe 5	Lösungen zu 7.1.1	Stromkreis 120
Lösungen zu 1.1.2	Umrechnen der Einheiten 5	Lösungen zu 7.1.2	Widerstand und Leitwert 121
Lösungen zu 1.1.3	Addition und Subtraktion von Größen 6	Lösungen zu 7.1.3	Widerstand und Temperatur 123
Lösungen zu 1.1.4	Multiplikation und Division von Größen 7	Lösungen zu 7.1.4	Ohm'sches Gesetz 124
Lösungen zu 1.2.1	Länge 7	Lösungen zu 7.1.5	Elektrische Leistung 126
Lösungen zu 1.2.2	Fläche 8	Lösungen zu 7.2.1	Reihenschaltung 128
Lösungen zu 1.2.3	Volumen, Dichte 8	Lösungen zu 7.2.2	Parallelschaltung 130
Lösungen zu 1.2.4	Winkel 8	Lösungen zu 7.2.3	Gemischte Schaltungen 132
2 Grundlagen der Mechanik		Lösungen zu 7.2.4	Spannungsteiler und Brückenschaltungen 136
Lösungen zu 2.1.1	Kräfteaddition 9	Lösungen zu 7.3	Spannungserzeuger 137
Lösungen zu 2.1.2	Kräftezerlegung 12	Lösungen zu 7.4.1	Mehrbereichs-Messgeräte 139
Lösungen zu 2.1.3	Elastische Verformung 14	Lösungen zu 7.4.2	Anzeigefehler und Eigen- verbrauch von Messgeräten 139
Lösungen zu 2.1.4	Masse und Gewichtskraft 16	Lösungen zu 7.4.3	Messschaltungen für Strom, Span- nung, Widerstand und Leistung . . 140
Lösungen zu 2.2.1	Hebel 18	Lösungen zu 7.5	Elektrische Ladung 142
Lösungen zu 2.2.2	Hebel im Gleichgewicht 18	Lösungen zu 7.6	Elektrische Arbeit 143
Lösungen zu 2.2.3	Schwerpunkt und Gleichgewichtsarten 19	8 Elektrische und magnetische Felder	
Lösungen zu 2.3.1.1	Gleichförmige Bewegung 21	Lösungen zu 8.1.1	Kräfte zwischen elektrisch geladenen Körpern 148
Lösungen zu 2.3.1.2	Weg-Zeit-Diagramme 22	Lösungen zu 8.1.2	Elektrisches Feld, Spannung 148
Lösungen zu 2.3.1.3	Zusammengesetzte geradlinige Bewegung 24	Lösungen zu 8.1.3	Kondensatoren 149
Lösungen zu 2.4	Reibung 27	Lösungen zu 8.2	Magnetisches Feld 151
Lösungen zu 2.5.1	Arbeit 28	Lösungen zu 8.3	Kräfte auf geladene Teilchen im elektrischen und im magnetischen Feld 151
Lösungen zu 2.5.2	Leistung 29	Lösungen zu 8.4.1	Induktionsgesetz 153
Lösungen zu 2.5.3	Wirkungsgrad 31	Lösungen zu 8.4.2	Selbstinduktion 155
Lösungen zu 2.6.1	Schiefe Ebene ohne Reibung 33	Lösungen zu 8.4.3	Energie einer strom- durchflossenen Spule 156
Lösungen zu 2.6.2	Schiefe Ebene mit Reibung 35	9 Optik	
Lösungen zu 2.6.3	Keil 36	Lösungen zu 9.1	Reflexion und Brechung 158
2.9.2	Druck durch Gewichtskraft 41	Lösungen zu 9.2	Abbildung durch Spiegel 160
Lösungen zu 2.9.3	Auftriebskraft 44	Lösungen zu 9.3	Abbildung durch Linsen 161
Lösungen zu 2.9.4	Gesetz von Boyle–Mariotte 50	Lösungen zu 9.4	Optische Geräte 163
3 Technische Mechanik		Lösungen zu 9.5	Lichttechnische Einheiten 165
Lösungen zu 3.1.1	Auflagerkräfte 54	10 Schwingungen und Wellen	
Lösungen zu 3.1.2	Stabkräfte im Fachwerk 57	Lösungen zu 10.1	Mechanische Schwingungen 167
Lösungen zu 3.1.3.1	Spannung 60	Lösungen zu 10.2	Mechanische Wellen 169
Lösungen zu 3.1.3.2	Dehnung 61	Lösungen zu 10.3.1	Schalldruck und Schalldruckpegel 171
Lösungen zu 3.1.3.3	Elastizitätsmodul 62	Lösungen zu 10.3.2	Lautstärke 172
Lösungen zu 3.1.3.4	Biegemoment 63	Lösungen zu 10.4.1	Ausbreitung von elektro- magnetischen Wellen 172
Lösungen zu 3.1.3.5	Widerstandsmoment 66	Lösungen zu 10.4.2	Interferenz und Beugung 174
Lösungen zu 3.2.1	Beschleunigte geradlinige Bewegung 68	Lösungen zu 10.4.3	Bragg-Reflexion 179
Lösungen zu 3.2.2	Kraft und geradlinige Bewegung . . 73	11 Atomphysik	
Lösungen zu 3.2.3	Kraft und Drehbewegung 79	Lösungen zu 11.1	Atombau und atomare Größen . . 180
Lösungen zu 3.3	Mechanische Energie 81	Lösungen zu 11.2	Quantenphysik 180
Lösungen zu 3.4	Kraftstoß, Impuls, Stöße 84	Lösungen zu 11.3	Radioaktive Strahlung und Zerfallsgesetz 183
Lösungen zu 3.5.1	Trägheitmoment 91	Lösungen zu 11.4	Strahlenschutz und Dosimetrie . . 184
Lösungen zu 3.5.2	Winkelbeschleunigung, Drehimpuls, Rotationsenergie . . . 91	12 Fehlerrechnung	
Lösungen zu 3.6	Gravitation 94	Lösungen zu 12.1	Fehlerarten und Toleranz 187
4 Stationäre, reibungsfreie Strömung		Lösungen zu 12.2	Fehlerauswirkung bei indirekter Messung 188
Lösungen zu 4.1	Stromstärke und Strömungsgeschwindigkeit 96	Lösungen zu 12.3	Fehlerfortpflanzung 190
Lösungen zu 4.2	Druck- und Strömungs- geschwindigkeit 96	Lösungen zu 12.4	Zufallssteuerung bei Messreihen 192
5 Wärmelehre		Lösungen zu 12.5	Wärmeschutz 193
Lösungen zu 5.1	Ausdehnung 102	Lösungen zu 12.6	Erneuerbare Energien 194
Lösungen zu 5.2	Wärme und Wärmekapazität 105	Lösungen zu 12.7	Projektaufgaben Sport 195
Lösungen zu 5.3	Wärmeleitung und Wärmewiderstand 108	Lösungen zu 12.8	Simulation von Bewegungen 198
Lösungen zu 5.4	Schmelzwärme, Verdampfungswärme 109	Lösungen zu 12.9	Alternative bei Kräfteskizzen 200
6 Gasgesetze und Erster Hauptsatz der Wärmelehre			
Lösungen zu 6.1	Allgemeine Gasgleichung 112		
Lösungen zu 6.2	Kinetische Gastheorie 115		
Lösungen zu 6.3	Erster Hauptsatz der Wärmelehre 117		

1 Grundlagen

Lösungen zu 1.1.1 Begriffe

- 5/1. a) $l = 0,40 \text{ m}$; b) $I = 120 \text{ A}$; c) $t = 6,0 \text{ s}$; d) $m = 7 \text{ kg}$
 5/2. a) $m = 800 \text{ kg}$; b) $I = 12 \text{ A}$; c) $l = 0,80 \text{ m}$; d) $t = 1200 \text{ s}$
 5/3. a) Länge von 0,70 Meter; b) Zeit von 12 Sekunden
 c) Strom von 0,70 Ampere; d) Masse von 2,0 Kilogramm
 5/4. a) Strom von 6,0 Ampere; b) Zeit von 10 Sekunden
 c) Masse von 20 Kilogramm; d) Länge von 700 m
 5/5. a) **Strom** (von 12 Ampere); b) **Länge** (von 0,80 Meter);
 c) **Zeit** (von 70 Sekunden); d) **Masse** (von 800 Kilogramm)
 5/6. a) **Ampere**; b) **Meter**; c) **Sekunde**; d) **Kilogramm**
 5/7. Skalare sind Zeit, Masse, Wärmemenge, Temperatur.
 5/8. Vektoren sind Weg, Geschwindigkeit, Kraft.
 5/p1. ②
 5/p2. ①

Lösungen zu 1.1.2 Umrechnen der Einheiten

- 6/1. a) $44\,200 \text{ mm} = 44\,200 \cdot 10^{-3} \text{ m} = \mathbf{44,2 \text{ m}}$
 b) $0,02 \text{ s} = 0,02 \cdot 10^3 \cdot 10^{-3} \text{ s} = 20 \cdot 10^{-3} \text{ s} = \mathbf{20 \text{ ms}}$
 c) $220 \mu\text{A} = 0,22 \text{ mA} = \mathbf{0,00022 \text{ A}}$
 d) $88\,000 \mu\text{m} = \mathbf{88 \text{ mm}}$
 6/2. a) $8,05 \text{ km} = \mathbf{8\,050 \text{ m}}$; b) $770 \text{ ms} = \mathbf{0,77 \text{ s}}$; c) $3\,600 \text{ A} = \mathbf{3,6 \text{ kA}}$; d) $22\,000 \text{ kg} = \mathbf{22 \text{ Mg}}$
 6/3. $15 \mu\text{m} = \mathbf{0,015 \text{ mm}}$
 6/4. $8050 \text{ A} = \mathbf{8,05 \text{ kA}}$
 7/5. $1200 \cdot 10^5 \text{ 1/s} = 120 \cdot 10^6 \text{ 1/s} = \mathbf{120 \text{ MHz}}$
 7/6. $10,5 \text{ MHz} = 10,5 \cdot 10^6 \text{ Hz} = \mathbf{10,5 \cdot 10^6 \text{ 1/s}}$
 7/7. $0,025 \text{ mm} = \mathbf{25 \mu\text{m}}$
 7/8. $42 \cdot 10^{-8} \text{ m} = 420 \cdot 10^{-9} \text{ m} = \mathbf{420 \text{ nm}}$
 7/9. $35 \cdot 10^2 \text{ mV/A} = 35 \cdot 10^2 \text{ m}\Omega = 3,5 \cdot 10^3 \text{ m}\Omega = \mathbf{3,5 \Omega}$
 7/10. $1,08 \cdot 10^{10} \text{ VA} = 1,08 \cdot 10^{10} \text{ W} = 1,08 \cdot 10^4 \cdot 10^6 \text{ W} = 10\,800 \text{ MW} = \mathbf{10,8 \text{ GW}}$
 7/11. a) $6 \frac{\text{cm}}{\text{s}} = \mathbf{0,06 \frac{\text{m}}{\text{s}}}$; b) $6000 \frac{\text{m}}{\text{s}} = \mathbf{6 \frac{\text{km}}{\text{s}}}$
 c) $80 \frac{\text{km}}{\text{h}} = \frac{80 \text{ km}}{60 \text{ min}} = \mathbf{1,33 \frac{\text{km}}{\text{min}}}$; d) $7,8 \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3} = 7800 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = \mathbf{7,8 \frac{\text{Mg}}{\text{m}^3}}$
 e) $220 \text{ cm}^2 = \mathbf{2,2 \text{ dm}^2}$; f) $880 \text{ Ah} = 0,88 \text{ kAh} = 0,88 \cdot 3600 \text{ kAs} = \mathbf{3168 \text{ kAs}}$
 g) $1100 \text{ kg/m} = 11,00 \text{ kg/cm} = \mathbf{11\,000 \text{ g/cm}}$; h) $120 \frac{\text{m}}{\text{min}} = 2 \frac{\text{m}}{\text{s}} = \mathbf{200 \frac{\text{cm}}{\text{s}}}$
 7/12. a) $12 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 12\,000 \frac{\text{g}}{\text{m}^3} = \mathbf{12 \frac{\text{g}}{\text{dm}^3}}$; b) $133 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 0,133 \frac{\text{km}}{\text{s}} = \mathbf{478,8 \frac{\text{km}}{\text{h}}}$
 c) $7,6 \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3} = \mathbf{7,6 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}}$; d) $40 \frac{\text{mg}}{\text{m}} = 40\,000 \frac{\text{mg}}{\text{km}} = 40 \frac{\text{g}}{\text{km}} = \mathbf{0,04 \frac{\text{kg}}{\text{km}}}$
 e) $130 \text{ dm}^3 = \mathbf{0,13 \text{ m}^3}$; f) $12 \text{ kA/s} = 12\,000 \text{ A/s} = 12 \text{ A/ms} = \mathbf{0,012 \text{ A}/\mu\text{s}}$
 g) $32 \text{ kg/s} = 0,032 \text{ kg/ms} = \mathbf{32 \text{ g/ms}}$
 h) $140 \text{ min/kg} = 140\,000 \text{ min/mg} = \mathbf{2333 \text{ h/Mg}}$

7/13. a) $[V] = [l \cdot b \cdot h] = [l] \cdot [b] \cdot [h] = \text{m} \cdot \text{m} \cdot \text{m} = \text{m}^3$

b) $[U] = [d \cdot \pi] = [d] \cdot [\pi] = [d] \cdot 1 = \text{m}$

7/14. $[q] = \left[\frac{m}{V} \right] = \frac{[m]}{[V]} = \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

7/15. a) $\rho = 2,5 \text{ kg/dm}^3$;

b) $\rho = 2500 \text{ kg/m}^3$

7/16. $\rho = 21,5 \text{ kg/dm}^3$; $\rho = 21,5 \text{ g/cm}^3$

7/17. $v = \frac{30 \text{ m}}{1 \text{ min}} = \frac{30000 \text{ mm}}{60 \text{ s}} = 500 \frac{\text{mm}}{\text{s}}$

7/18. $v = \frac{65 \text{ m}}{1 \text{ min}} = \frac{6500 \text{ cm}}{60 \text{ s}} = 108,3 \frac{\text{cm}}{\text{s}}$

7/19. $v = \frac{40000 \text{ km}}{24 \text{ h}} = 1667 \text{ km/h}$

7/p1. ④

7/p2. ④

7/p3. ⑤

7/p4. ①

7/p5. ②

7/p6. ②

Lösungen zu 1.1.3 Addition und Subtraktion von Größen

Bei den Aufgaben 8/1 bis 8/6 sind Lösungen mit anderen Vorsätzen zu den Einheiten möglich.

8/1. a) $233 \text{ m} + 1,1 \text{ km} = 0,233 \text{ km} + 1,1 \text{ km} = 1,333 \text{ km}$

b) $0,38 \text{ A} + 400 \text{ mA} = 0,38 \text{ A} + 0,4 \text{ A} = 0,78 \text{ A}$

c) $22 \text{ kV} + 2200 \text{ V} = 22 \text{ kV} + 2,2 \text{ kV} = 24,2 \text{ kV}$

8/2. a) $2330 \text{ kg} + 0,45 \text{ Mg} = 2330 \text{ kg} + 450 \text{ kg} = 2780 \text{ kg}$

b) $440 \text{ V} + 0,22 \text{ kV} = 440 \text{ V} + 220 \text{ V} = 660 \text{ V}$

c) $225 \text{ mm} + 86 \text{ cm} = 22,5 \text{ cm} + 86 \text{ cm} = 108,5 \text{ cm}$

8/3. a) $220 \text{ kg} + 1500 \text{ g} = 220 \text{ kg} + 1,5 \text{ kg} = 221,5 \text{ kg}$

b) $0,22 \text{ A} + 120 \text{ mA} = 220 \text{ mA} + 120 \text{ mA} = 340 \text{ mA}$

c) $320 \text{ km} - 1500 \text{ m} = 320 \text{ km} - 1,5 \text{ km} = 318,5 \text{ km}$

d) $880 \text{ s} - 5200 \text{ ms} = 880 \text{ s} - 5,2 \text{ s} = 874,8 \text{ s}$

8/4. a) $22 \text{ s} - 800 \text{ ms} = 22 \text{ s} - 0,8 \text{ s} = 21,2 \text{ s}$

b) $30 \text{ cm} - 88 \text{ mm} = 30 \text{ cm} - 8,8 \text{ cm} = 21,2 \text{ cm}$

c) $8 \text{ mm} + 500 \mu\text{m} = 8 \text{ mm} + 0,5 \text{ mm} = 8,5 \text{ mm}$

d) $22 \text{ mA} - 800 \mu\text{A} = 22 \text{ mA} - 0,8 \text{ mA} = 21,2 \text{ mA}$

8/5. a) $25 \text{ V} + 22 \text{ m} + 5000 \text{ mm} + 0,05 \text{ kV} + 22 \text{ kg} + 440 \text{ g} + 880 \text{ mm} + 2600 \text{ mV} + 800 \text{ mg} + 4000 \text{ g}$
=

$= 25 \text{ V} + 50 \text{ V} + 2,6 \text{ V} + 22 \text{ m} + 5 \text{ m} + 0,88 \text{ m} + 22000 \text{ g} + 440 \text{ g} + 0,8 \text{ g} + 4000 \text{ g} =$

$= 77,6 \text{ V} + 27,88 \text{ m} + 26440,9 \text{ g}$

b) $4400 \text{ mA} + 200 \text{ cm} + 4,8 \text{ A} + 3,7 \text{ m} + 4,8 \text{ kg} + 5000 \text{ g} + 8 \text{ m} + 4,4 \text{ A} + 2200 \text{ mm} =$

$= 4,4 \text{ A} + 4,8 \text{ A} + 4,4 \text{ A} + 2 \text{ m} + 3,7 \text{ m} + 8 \text{ m} + 2,2 \text{ m} + 4,8 \text{ kg} + 5 \text{ kg} =$

$= 13,6 \text{ A} + 15,9 \text{ m} + 9,8 \text{ kg}$

8/6. a) $600 \text{ s} + 70 \text{ mA} + 8000 \text{ ms} + 0,7 \text{ A} + 800 \text{ mm} + 0,7 \text{ m} + 7 \text{ ms} + 800 \text{ mA} + 9\,000\,000 \mu\text{A} =$

$= 600 \text{ s} + 8 \text{ s} + 0,007 \text{ s} + 70 \text{ mA} + 700 \text{ mA} + 800 \text{ mA} + 9000 \text{ mA} + 0,8 \text{ m} + 0,7 \text{ m} =$

$= 608,007 \text{ s} + 10570 \text{ mA} + 1,5 \text{ m}$

b) $2,5 \text{ kg} + 60 \text{ mV} + 700 \text{ s} + 0,8 \text{ mm} + 2\,500 \text{ ms} + 0,02 \text{ V} + 300 \text{ g} + 0,8 \text{ cm} + 0,002 \text{ m} =$

$= 2,5 \text{ kg} + 0,3 \text{ kg} + 60 \text{ mV} + 20 \text{ mV} + 700 \text{ s} + 2,5 \text{ s} + 0,8 \text{ mm} + 8 \text{ mm} + 2 \text{ mm} =$

$= 2,8 \text{ kg} + 80 \text{ mV} + 702,5 \text{ s} + 10,8 \text{ mm}$

8/p1. ⑤

8/p2. ③

8/p3. ②

Lösungen zu 1.1.4 Multiplikation und Division von Größen

- 9/1. a) $6 \text{ A} \cdot 4 \text{ h} = \mathbf{24 \text{ Ah}}$; b) $2 \text{ mA} \cdot 6 \text{ s} = \mathbf{12 \text{ mAs}}$
 c) $6 \text{ mg} \cdot 12 \text{ s} = \mathbf{72 \text{ mgs}}$; d) $18 \text{ kA} \cdot 2 \text{ ms} = \mathbf{36 \text{ As}}$
 e) $12 \mu\text{A} \cdot 22 \text{ Ms} = \mathbf{264 \text{ As}}$
- 9/2. a) $12 \text{ mm} \cdot 3 \text{ A} = \mathbf{36 \text{ mAm}}$
 b) $12 \text{ cm} \cdot 4 \text{ mA} = 0,12 \text{ m} \cdot 4 \text{ mA} = \mathbf{0,48 \text{ mAm}}$
 c) $22 \text{ ms} \cdot 11 \text{ kV} = \mathbf{242 \text{ Vs}}$
 d) $48 \text{ nA} \cdot 120 \text{ kV} = 5760 \cdot 10^{-9} \cdot 10^3 \text{ W} = 5760 \mu\text{W} = \mathbf{5,76 \text{ mW}}$
 e) $43 \mu\text{s} \cdot 220 \text{ kA} = 9460 \text{ mAs} = \mathbf{9,46 \text{ As}}$
- 9/3. a) $\frac{3,6 \text{ mVA}}{1,2 \text{ mA}} = \mathbf{3 \text{ V}}$; b) $\frac{66 \text{ mAs}}{2 \text{ mA} \cdot 15 \text{ m}} = \mathbf{2,2 \frac{\text{s}}{\text{m}}}$
 c) $\frac{77 \text{ cm}}{8 \text{ kg} \cdot 8 \text{ mm}^2} = 1,203 \frac{\text{cm}}{\text{kg} \cdot \text{mm}^2} = 12,03 \frac{\text{mm}}{\text{kg} \cdot \text{mm}^2} = 12,03 \frac{1}{\text{kg} \cdot \text{mm}} = \mathbf{12,03 \frac{1}{\text{g} \cdot \text{m}}}$
 d) $\frac{440 \text{ mg}}{22 \text{ cm}^3 \cdot 5 \frac{1}{\text{s}}} = \mathbf{4 \frac{\text{mg} \cdot \text{s}}{\text{cm}^3}}$
- 9/4. a) $\frac{6 \text{ kg/dm}^3}{12 \frac{1}{\text{s}}} = \mathbf{0,5 \frac{\text{kg} \cdot \text{s}}{\text{dm}^3}}$
 b) $\frac{6 \text{ mg/mm}^3}{44 \frac{1}{\text{mm}^2}} = 0,1364 \frac{\text{mg}}{\text{mm}} = \mathbf{0,1364 \frac{\text{g}}{\text{m}}}$
 c) $\frac{22 \text{ kAs}}{11 \text{ ms} \cdot 6 \text{ kA}} = 0,3333 \cdot 10^3 = \mathbf{333,3}$
 d) $\frac{220 \text{ kV}}{22 \text{ mAs} \cdot 12 \frac{1}{\text{s}}} = 0,8333 \frac{\text{kV}}{\text{mA}} = \mathbf{0,8333 \frac{\text{MV}}{\text{A}}}$
- 9/p1. ② 9/p2. ①

Lösungen zu 1.2.1 Länge

- 10/1. $2\,250\,000 \cdot 67 \text{ mm} = 150\,750\,000 \text{ mm} = \mathbf{150,75 \text{ km}}$
- 10/2. $25\,000 \cdot 2,5 \text{ cm} = 62\,500 \text{ cm} = \mathbf{625 \text{ m}}$
- 10/3. $x = 471,75 \text{ mm} - 302 \text{ mm} + 73 \text{ mm} - 202,3 \text{ mm} = \mathbf{40,45 \text{ mm}}$
- 10/4. $x = (10 \text{ mm} + 8 \text{ mm} + 1,4 \text{ mm} + 1,08 \text{ mm}) + \frac{24,06}{2} \text{ mm} - \frac{55,74}{2} \text{ mm} =$
 $= 20,48 \text{ mm} + 12,03 \text{ mm} - 27,87 \text{ mm} = \mathbf{4,64 \text{ mm}}$
- 10/5. a) $\frac{19}{20} \text{ mm} = \mathbf{0,95 \text{ mm}}$; b) $l_1 = \mathbf{15 \text{ mm}}$; $l_2 = 5 \cdot 0,95 \text{ mm} = \mathbf{4,75 \text{ mm}}$
 c) $x = l_1 + a - (l_2 + a) = l_1 - l_2 = 15 \text{ mm} - 4,75 \text{ mm} = \mathbf{10,25 \text{ mm}}$;
 d) $\frac{1}{20} \text{ mm}$
 e) Die ganzen Millimeter werden auf der Millimeterteilung der Schiene abgelesen, die Teile auf dem Nonius. Ablesung: $10 \text{ mm} + \frac{5}{20} \text{ mm}$

$$11/6. \text{ a) } \frac{7}{16 \cdot 8} \text{ Zoll} = \frac{7''}{128} = \frac{7 \cdot 25,4}{128} \text{ mm} = 1,389 \text{ mm}$$

$$\text{b) } l_1 = \frac{9''}{16}; \quad l_2 = \frac{7''}{128} \cdot 2 = \frac{14''}{128}$$

$$\text{c) } x = l_1 + a - (l_2 + a) = l_1 - l_2 = \frac{9''}{16} - \frac{14''}{128} = \frac{72''}{128} - \frac{14''}{128} = \frac{58''}{128} = \frac{7''}{16} + \frac{2''}{128}$$

$$\text{d) } \frac{1''}{128}$$

$$\text{e) } \frac{1''}{128} \approx 0,2 \text{ mm}$$

$$11/7. \text{ a) } \frac{0,5}{50} \text{ mm} = \frac{1}{100} \text{ mm};$$

$$\text{b) } \frac{0,5}{25} \text{ mm} = \frac{1}{50} \text{ mm}$$

11/8. **1,78 mm**

Lösungen zu 1.2.2 Fläche

11/1. **18,5 cm²**

$$11/2. \quad A_2 = \frac{A_1 \cdot m_2}{m_1} = \frac{1 \text{ dm}^2 \cdot 1,63 \text{ g}}{7,09 \text{ g}} = 0,2299 \text{ dm}^2 = \mathbf{23 \text{ cm}^2}$$

$$11/3. \text{ a) } 3612 \text{ cm}^2 - 3600 \text{ cm}^2 = \mathbf{12 \text{ cm}^2}; \quad \text{b) } 100 \% \cdot \frac{12 \text{ cm}^2}{3600 \text{ cm}^2} = \frac{1}{3} \%$$

11/4. Der Flächeninhalt liegt zwischen **12384 mm²** und **12615 mm²**

Lösungen zu 1.2.3 Volumen, Dichte

$$12/1. \quad d = 30 \text{ mm} \Rightarrow A = 7,069 \text{ cm}^2; \quad V = 7,069 \text{ cm}^2 \cdot 4,2 \text{ cm} = \mathbf{29,688 \text{ cm}^3}$$

$$12/2. \text{ a) } d_1 = 25,2 \text{ mm} \Rightarrow A_1 = 4,9876 \text{ cm}^2$$

$$\Delta l_1 = \frac{100 \text{ cm}^3}{4,9876 \text{ cm}^2} = 20,05 \text{ cm} = \mathbf{20 \text{ cm}}$$

$$d_2 = 35,7 \text{ mm} \Rightarrow A_2 = 10,01 \text{ cm}^2$$

$$\Delta l_2 = \frac{100 \text{ cm}^3}{10,01 \text{ cm}^2} = 9,99 \text{ cm} = \mathbf{10 \text{ cm}}$$

$$\text{b) Zylinder 1: } 1 \text{ cm}^3 \triangleq 2 \text{ mm} = 1 \text{ Teilstrich} \Rightarrow 16 \text{ cm}^3 \triangleq \mathbf{16 \text{ Teilstriche}}$$

$$\text{Zylinder 2: } 1 \text{ cm}^3 \triangleq 1 \text{ mm} = 0,5 \text{ Teilstriche} \Rightarrow 16 \text{ cm}^3 \triangleq \mathbf{8 \text{ Teilstriche}}$$

$$12/3. \quad \rho = \frac{m}{V} = \frac{268 \text{ g}}{31,5 \text{ cm}^3} = \mathbf{8,51 \text{ g/cm}^3}$$

$$12/4. \quad V = \frac{93,2 \text{ g} - 32,4 \text{ g}}{1 \text{ g/cm}^3} = \mathbf{60,8 \text{ cm}^3}$$

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{74,96 \text{ g} - 32,4 \text{ g}}{60,8 \text{ cm}^3} = \frac{42,56 \text{ g}}{60,8 \text{ cm}^3} = \mathbf{0,70 \text{ g/cm}^3}$$

Lösungen zu 1.2.4 Winkel

12/1. a) Indirekte Winkelmessung

$$\text{b) } \frac{16,5 \text{ mm}}{32,5 \text{ mm}} = 0,51 = \mathbf{0,5 \text{ Radiant}}$$

$$12/2. \text{ a) } 2 \pi = 6,28 = \mathbf{6,28 \text{ Radiant}}$$

$$\text{b) } \frac{360^\circ \cdot 0,51}{6,28} = \mathbf{29^\circ};$$

c) **29°**

$$12/3. \text{ a) } \alpha = \frac{60 \text{ mm}}{110 \text{ mm}} = 0,5454 \text{ rad} = \mathbf{0,55 \text{ rad}}; \quad \text{b) } 57,3^\circ \cdot 0,55 = \mathbf{31,52^\circ}$$

$$12/4. \text{ a) } l = \frac{840 \text{ cm}^2}{7 \text{ cm}} = 120 \text{ cm}; \quad \alpha = \frac{120 \text{ cm}}{42,5 \text{ cm}} = \mathbf{2,82 \text{ Radiant}}$$

$$\text{b) } 57,3^\circ \cdot 2,82 = \mathbf{161,59^\circ}$$

2 Grundlagen der Mechanik

Lösungen zu 2.1.1 Kräftaddition

14/1. a) Alle Kräfte unterscheiden sich im Angriffspunkt. Die Kraft im Fall 1 hat außerdem eine andere Richtung als in den Fällen 2 und 3.

- b) Fall 1: Der Körper wird auf die Unterlage gedrückt.
- Fall 2: Der Körper kippt oder bleibt stehen.
- Fall 3: Der Körper wird verschoben, bleibt stehen oder kippt.

14/2. a) Die Kräfte unterscheiden sich in der Richtung und zum Teil im Angriffspunkt.

- b) Fall 1: Beanspruchung auf Zug.
- Fall 2: Beanspruchung auf Druck.
- Fall 3: Beanspruchung auf Biegung.

14/3. $F = M_F \cdot l \Rightarrow l = \frac{F}{M_F} = \frac{300 \text{ N}}{25 \frac{\text{N}}{\text{cm}}} = 12 \text{ cm}$

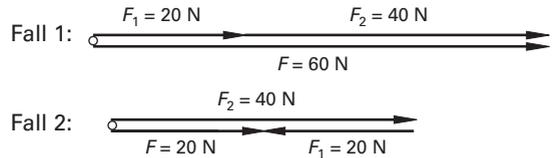
14/4. $F = M_F \cdot l = 3 \frac{\text{N}}{\text{mm}} \cdot 45 \text{ mm} = 135 \text{ N}$

14/5. $F = M_F \cdot l \Rightarrow M_F = \frac{F}{l} = \frac{1800 \text{ N}}{45 \text{ mm}} = 40 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$

14.6. $F = M_F \cdot l \Rightarrow M_F = \frac{F}{l} = \frac{138 \text{ N}}{3 \text{ cm}} = 4,6 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$

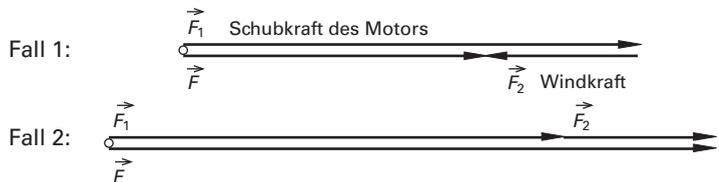
14/7. a) Fall 1: $F = F_1 + F_2 = 20 \text{ N} + 40 \text{ N} = 60 \text{ N}$
 Fall 2: $F = F_2 - F_1 = 40 \text{ N} - 20 \text{ N} = 20 \text{ N}$

b) $M_F = 1 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$



15/8. a) Fall 1: $F = F_2 - F_1 = 1500 \text{ N} - 500 \text{ N} = 1000 \text{ N}$
 Fall 2: $F = F_1 + F_2 = 1500 \text{ N} + 500 \text{ N} = 2000 \text{ N}$

b) $M_F = 25 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$



15/9. a) 10 N; b) $F_r = 0$

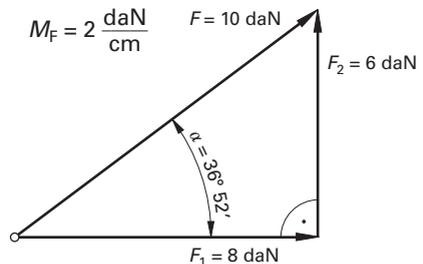
15/10. a) 2 kN; b) $F_r = 0$

Alle nachstehenden Lösungen können außer durch maßstäbliche Zeichnungen (Regelfall im Unterricht) auch durch Rechnungen ermittelt werden. Die Größe der jeweiligen Zeichnung hängt vom gewählten Maßstab ab.

15/11. $F = \sqrt{F_1^2 + F_2^2} = \sqrt{(8 \text{ daN})^2 + (6 \text{ daN})^2} = 10 \text{ daN}$

$\tan \alpha = \frac{F_2}{F_1} = \frac{6 \text{ daN}}{8 \text{ daN}} = \frac{3}{4} \Rightarrow$

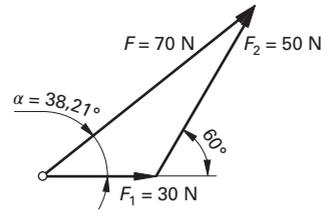
$\Rightarrow \alpha = 36,87^\circ$



- 15/12. $F = \sqrt{F_1^2 + F_2^2} \Rightarrow$ für $F_1 = F_2$ wird $F = \sqrt{2 \cdot F_1^2} = 1,414 \cdot F_1$
 $F = 1,414 \cdot 1,2 \text{ kN} = \mathbf{1,687 \text{ kN}}$
 Kräfteparallelogramm ist ein Quadrat $\Rightarrow \alpha = \mathbf{45^\circ}$

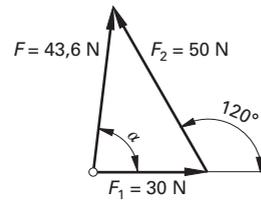
- 15/13. a) $F = F_1 + F_2 = 30 \text{ N} + 50 \text{ N} = \mathbf{80 \text{ N}}$

b) $M_F = 2 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$
 $F = M_F \cdot l = 2 \frac{\text{N}}{\text{mm}} \cdot 35 \text{ mm} = \mathbf{70 \text{ N}}$
 Berechnet: $\alpha = \mathbf{38,21^\circ}$



c) $F = \sqrt{F_1^2 + F_2^2} = \sqrt{(30 \text{ N})^2 + (50 \text{ N})^2} = \mathbf{58,3 \text{ N}}$
 $\tan \alpha = \frac{F_2}{F_1} = \frac{50 \text{ N}}{30 \text{ N}} = 1,67 \Rightarrow \alpha = \mathbf{59^\circ}$

d) $M_F = 2 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$
 $F = M_F \cdot l = 2 \frac{\text{N}}{\text{mm}} \cdot 21,8 \text{ mm} = \mathbf{43,6 \text{ N}}$
 Berechnet: $\alpha = \mathbf{83,41^\circ}$

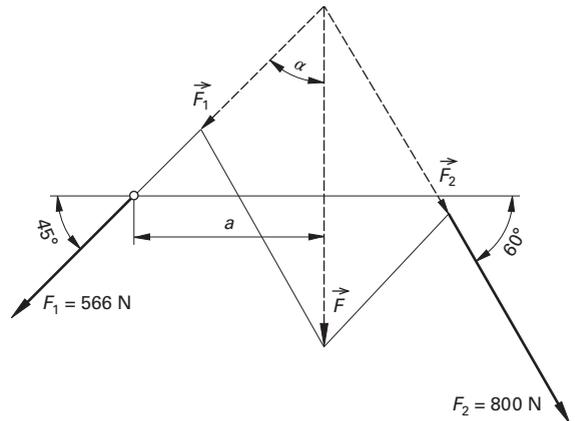


- e) $F = F_2 - F_1 = 50 \text{ N} - 30 \text{ N} = \mathbf{20 \text{ N}}$

15/14. a) $M_L = 1:75$; $M_F = 25 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$
 $F = M_F \cdot l = 25 \frac{\text{N}}{\text{mm}} \cdot 43,7 \text{ mm} = \mathbf{1093 \text{ N}}$

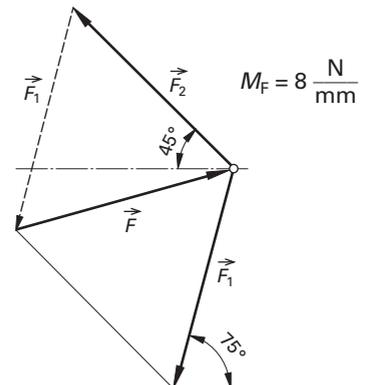
b) Aus der Zeichnung gemessen:
 $\alpha = \mathbf{45^\circ}$

c) In der Zeichnung ist $a = 25,4 \text{ mm}$.
 Das entspricht einem wirklichen
 Abstand von $25,4 \text{ mm} \cdot 75 =$
 $= 1905 \text{ mm} = \mathbf{1,90 \text{ m}}$



15/15. \vec{F}_1 und \vec{F}_2 bilden im Kräfteparallelogramm einen Winkel von $90^\circ + 45^\circ - 15^\circ = 120^\circ$. Da das Kräfteparallelogramm ein Rhombus ist ($F_1 = F_2$), wird der $\sphericalangle(\vec{F}_1, \vec{F}_2) = 120^\circ$ halbiert. Daraus folgt: Das Kraftdreieck ist gleichseitig.

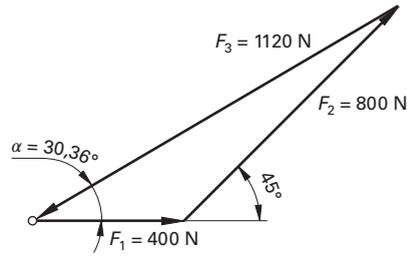
Die Spannrolle muss mit einer Kraft $F = 240 \text{ N}$ unter einem Winkel von 15° zur Waagerechten gegen den Riemen gedrückt werden.



15/16. $M_F = 20 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$
 $F = M_F \cdot l = 20 \frac{\text{N}}{\text{mm}} \cdot 56 \text{ mm} = \mathbf{1120 \text{ N}}$

Berechnet: $\alpha = \mathbf{30,36^\circ}$

\vec{F}_3 hat die entgegengesetzte Richtung wie die Ersatzkraft von \vec{F}_1 und \vec{F}_2 . Sie bildet mit \vec{F}_1 einen Winkel von $\mathbf{149,64^\circ}$.



15/17. $M_F = 5 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$

Berechnet: $\alpha = 57,12^\circ$

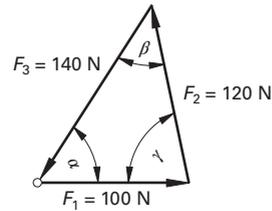
$\beta = 44,42^\circ$

$\gamma = 78,46^\circ \Rightarrow$

$\Rightarrow \sphericalangle(\vec{F}_1, \vec{F}_2) = 180^\circ - 78,46^\circ = \mathbf{101,54^\circ}$

$\sphericalangle(\vec{F}_1, \vec{F}_3) = 180^\circ - 57,12^\circ = \mathbf{122,88^\circ}$

$\sphericalangle(\vec{F}_2, \vec{F}_3) = 180^\circ - 44,42^\circ = \mathbf{135,58^\circ}$



16/18. $F_x = F_1 - F_2 \cdot 0,707 - F_3 \cdot 0,866$
 $= 640 \text{ N} - 247,45 \text{ N} - 346,4 \text{ N} = 46,15 \text{ N}$

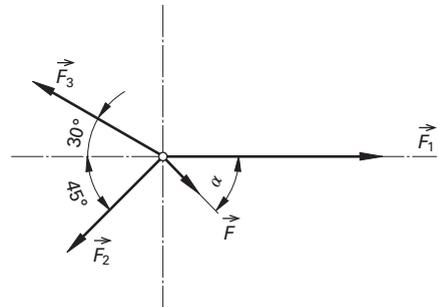
$F_y = F_3 \cdot 0,5 - F_2 \cdot 0,707$
 $= 200 \text{ N} - 247,45 \text{ N} = -47,45 \text{ N}$

$F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2} = \sqrt{(46,15 \text{ N})^2 + (-47,45 \text{ N})^2}$
 $= \sqrt{4381 \text{ N}^2} = \mathbf{66,2 \text{ N}}$

$\tan \alpha = \frac{F_y}{F_x} = \frac{-47,45 \text{ N}}{46,15 \text{ N}} = -1,028 \Rightarrow$

$\Rightarrow \alpha = \mathbf{-45,8^\circ}$

(Zeichnerische Lösung wird ungenau!)

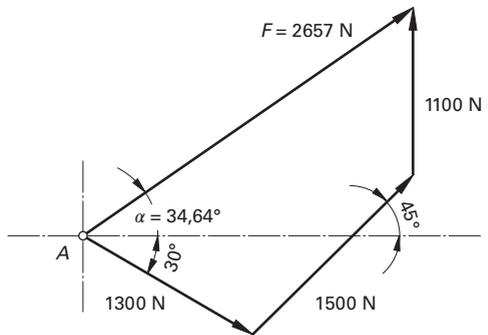


16/19. $M_F = 50 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$

$F = M_F \cdot l = 50 \text{ N/mm} \cdot 53,15 \text{ mm} = \mathbf{2658 \text{ N}}$

Berechnet: $\alpha = \mathbf{34,64^\circ}$

16/20. $F = \sqrt{(40 \text{ N})^2 + (60 \text{ N})^2 + (80 \text{ N})^2}$
 $= \sqrt{11600 \text{ N}^2} = \mathbf{107,7 \text{ N}}$



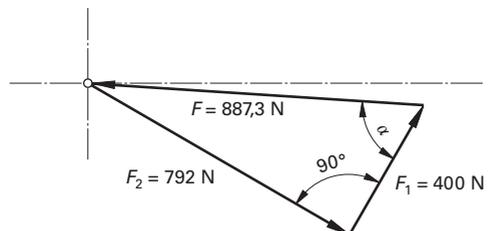
16/21. $F = \sqrt{F_H^2 + F_V^2 + F_R^2} = \sqrt{(6 \text{ kN})^2 + (1,5 \text{ kN})^2 + (0,8 \text{ kN})^2} = \sqrt{38,89 \text{ kN}^2} = \mathbf{6,236 \text{ kN}}$

16/22. a) $\vec{F}_1 + \vec{F}_2 = -(\vec{F}_3 + \vec{F}_4) \Rightarrow F = \sqrt{F_1^2 + F_2^2} =$
 $= \sqrt{(400 \text{ N})^2 + (792 \text{ N})^2} = \mathbf{887,3 \text{ N}}$

$\tan \alpha = \frac{F_2}{F_1} = \frac{792 \text{ N}}{400 \text{ N}} = 1,98 \Rightarrow$

$\Rightarrow \alpha = \mathbf{63,2^\circ}$

b) $\sphericalangle(\vec{F}_1, \vec{F}) = 180^\circ - 63,2^\circ = \mathbf{116,8^\circ}$



16/p1. ②

16/p2. ②

16/p3. ①

Lösungen zu 2.1.2 Kräftezerlegung18/1. Beide Kraftmesser zeigen den gleichen Kraftbetrag F_S an.

a) $F_S = \frac{1}{2} F = \frac{1}{2} \cdot 5 \text{ N} = 2,5 \text{ N}$

b) Halbes Kräfteparallelogramm ist gleichseitiges Dreieck \Rightarrow

$$\Rightarrow F_S^2 \left(\frac{1}{2} F \right)^2 + \left(\frac{F_S}{2} \right)^2 \Rightarrow F_S = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot F \Rightarrow 0,577 \cdot 5 \text{ N} = 2,89 \text{ N}$$

c) Kräfteparallelogramm ist ein Quadrat $\Rightarrow F^2 = 2 \cdot F_S^2 \Rightarrow$

$$\Rightarrow F_S \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot F = 0,707 \cdot 5 \text{ N} = 3,535 \text{ N}$$

d) Kräftedreieck ist gleichseitig $\Rightarrow F_S = F = 5 \text{ N}$

18/2. a) $M_F = 10 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$

b) $F_S = 10 \frac{\text{N}}{\text{mm}} \cdot 29,2 \text{ mm} = 292 \text{ N}$

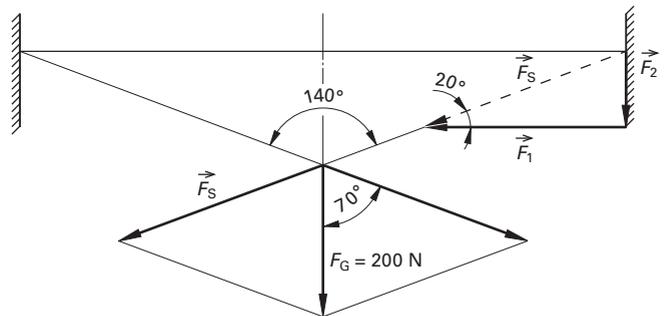
c) $F_1 = 10 \frac{\text{N}}{\text{mm}} \cdot 27,5 \text{ mm} = 275 \text{ N}$

$$F_2 = 10 \frac{\text{N}}{\text{mm}} \cdot 10 \text{ mm} = 100 \text{ N}$$

d) $F_S = \frac{F_G}{2 \cdot \cos 85^\circ} = \frac{200 \text{ N}}{2 \cdot 0,0872} = 1147 \text{ N}$

$$F_1 = F_S \cdot \cos 5^\circ = 1147 \text{ N} \cdot 0,9962 = 1143 \text{ N}$$

$$F_2 = F_S \cdot \sin 5^\circ = 1147 \text{ N} \cdot 0,0872 = 100 \text{ N}$$



19/3. a) Siehe Skizze.

Rechnerische Lösung wie bei Aufgabe 18/1.

b) 2,5 N; 2,89 N; 3,535 N; 5 N

19/4. Siehe Aufgabe 18/2.

$$F_S = \frac{F_G}{2 \cdot \cos 20^\circ} = \frac{700 \text{ N}}{2 \cdot 0,9397} = 372,46 \text{ N}$$

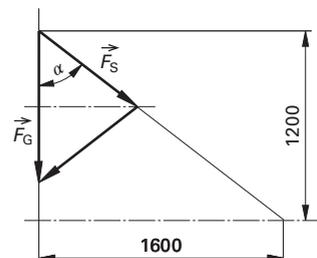
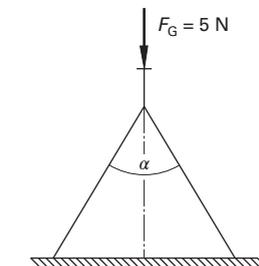
19/5. Halbes Kräfteparallelogramm ist gleichseitiges Dreieck \Rightarrow

$$\Rightarrow F_S^2 = \left(\frac{1}{2} F_G \right)^2 + \left(\frac{F_S}{2} \right)^2 \Rightarrow F_S = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot F_G = 0,577 \cdot 150 \text{ N} = 86,6 \text{ N}$$

19/6. a) Kräftedreieck ist gleichschenkelig \Rightarrow

$$\Rightarrow F_S = \frac{F_G}{2 \cdot \cos \alpha} = \frac{2000 \text{ N}}{2 \cdot \cos 53,13^\circ} = 1667 \text{ N}$$

$$\tan \alpha = \frac{1600}{1200} = \frac{4}{3} \Rightarrow \alpha = 53,13^\circ$$

b) Die Zugkraft F_S im Seil wird geringer, und zwar nimmt sie bis höchstens $F_S = \frac{F_G}{2} = 1000 \text{ N}$ ab.

19/7. a) $M_L = 1:400$; $M_F = 10 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$

b) $(15 \text{ m})^2 = y^2 + x^2$
 $(12 \text{ m})^2 = x^2 + (26 \text{ m} - y)^2$

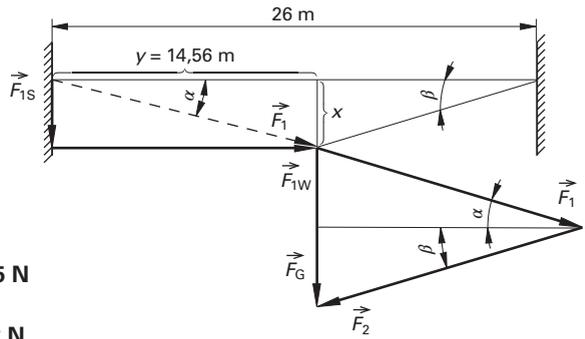
Aus den beiden Gleichungen folgt:
 $x = 3,6161 \text{ m}$. Die Haken befinden sich in **13,616 m** Höhe in den Hauswänden.

c) $F_1 = M_F \cdot l_1 = 10 \frac{\text{N}}{\text{mm}} \cdot 36,5 \text{ mm} = \mathbf{365 \text{ N}}$

$F_2 = M_F \cdot l_2 = 10 \frac{\text{N}}{\text{mm}} \cdot 37,2 \text{ mm} = \mathbf{372 \text{ N}}$

d) $F_{1S} = 10 \frac{\text{N}}{\text{mm}} \cdot 8,8 \text{ mm} = \mathbf{88 \text{ N}}$; $F_{2S} = 10 \frac{\text{N}}{\text{mm}} \cdot 11,2 \text{ mm} = \mathbf{112 \text{ N}}$

$F_{1W} = F_{2W} = 10 \frac{\text{N}}{\text{mm}} \cdot 35,4 \text{ mm} = \mathbf{354 \text{ N}}$



19/8. a) Siehe Skizze.

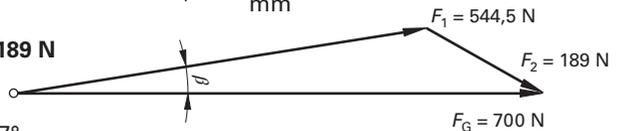
b) $\alpha = 30^\circ$; $\beta = 10^\circ$

c) $M_F = 10 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$

$F_1 = M_F \cdot l_1 = 10 \frac{\text{N}}{\text{mm}} \cdot 54,45 \text{ mm} = \mathbf{544,5 \text{ N}}$

$F_2 = M_F \cdot l_2 = 10 \frac{\text{N}}{\text{mm}} \cdot 18,9 \text{ mm} = \mathbf{189 \text{ N}}$

$M_F = 10 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$



19/9. a) $\tan \alpha = \frac{1620}{2160} = 0,75 \Rightarrow \alpha = 36,87^\circ$

$\frac{F_G}{F_1} = \sin \alpha \Rightarrow F_1 = \frac{F_G}{\sin \alpha} = \frac{5 \text{ kN}}{0,6} = \mathbf{8,333 \text{ kN}}$

$\frac{F_G}{F_{II}} = \tan \alpha \Rightarrow F_{II} = \frac{F_G}{\tan \alpha} = \frac{5 \text{ kN}}{0,75} = \mathbf{6,667 \text{ kN}}$

b) Strebe I lässt sich durch ein Seil ersetzen.

20/10. a) Das Kraftdreieck ist ähnlich dem Dreieck, das die Kranstäbe bilden \Rightarrow

$\Rightarrow \frac{F_1}{F_G} = \frac{3000 \text{ mm}}{2500 \text{ mm}} \Rightarrow F_1 = 6 \text{ kN} \cdot \frac{3000 \text{ mm}}{2500 \text{ mm}} = \mathbf{7,2 \text{ kN}}$

$c = \sqrt{a^2 + b^2} = \sqrt{(2500 + 1500)^2 + \left(3000 \cdot \frac{1}{2} \cdot \sqrt{3}\right)^2} \text{ mm} = \mathbf{4777 \text{ mm}}$

$\frac{F_{II}}{F_G} = \frac{c}{2500 \text{ mm}} \Rightarrow F_{II} = 6 \text{ kN} \cdot \frac{4770 \text{ mm}}{2500 \text{ mm}} = \mathbf{11,448 \text{ kN}}$

20/11. Das Kraftdreieck ist ähnlich dem Dreieck, das Mast, Ankerseil und Boden bilden \Rightarrow

$\Rightarrow \frac{F_2}{F} = \frac{6000 \text{ mm}}{2500 \text{ mm}} \Rightarrow F_2 = 1200 \text{ N} \cdot \frac{6000 \text{ mm}}{2500 \text{ mm}} = \mathbf{2880 \text{ N}}$

$F_1^2 = F_2^2 + F^2 \Rightarrow F_1 = \sqrt{(2880 \text{ N})^2 + (1200 \text{ N})^2} = \mathbf{3120 \text{ N}}$

20/12. Nach 16/22. $F = 887,3 \text{ N}$. Das Kraftdreieck ist die Hälfte eines gleichseitigen Dreiecks \Rightarrow

$$\Rightarrow F_3 = 2 \cdot F = 2 \cdot 887,3 \text{ N} = \mathbf{1774,6 \text{ N}}$$

$$F_4 = F_1 \cdot \frac{1}{2} \cdot \sqrt{3} = 1774,6 \text{ N} \cdot \frac{1}{2} \cdot \sqrt{3} = \mathbf{1536,85 \text{ N}}$$

20/13. a) $F_2 = \sqrt{(16 \text{ N})^2 - (8 \text{ N})^2} = \mathbf{13,86 \text{ N}}$; b) $\cos \alpha = \frac{8 \text{ N}}{16 \text{ N}} = 0,5 \Rightarrow \alpha = 60^\circ$
 $\sphericalangle (\vec{F}, \vec{F}_1) = 60^\circ$; $\sphericalangle (\vec{F}, \vec{F}_2) = 90^\circ - 60^\circ = 30^\circ$

20/14. a) $F_2 = \sqrt{(200 \text{ N})^2 - (173 \text{ N})^2} = \mathbf{100 \text{ N}}$

Die Kraft \vec{F} greift an der Befestigungsstelle des Seiles an.

b) $\cos \alpha = \frac{173 \text{ N}}{200 \text{ N}} = 0,866 \Rightarrow \alpha = 30^\circ$

20/15. a) $c = \sqrt{(2 \text{ m})^2 + (1,55 \text{ m})^2} = 2,53 \text{ m}$; $\tan \alpha = \frac{2,53 \text{ m}}{2,40 \text{ m}} = 1,0543 \Rightarrow \alpha = 46,51^\circ$

$$\frac{F_S}{F} = \cos \alpha \Rightarrow F_S = F \cdot \cos \alpha = 6 \text{ kN} \cdot 0,6882 = 4,129 \text{ kN}$$

$$F_1 = 2 \cdot F_S = 2 \cdot 4,129 \text{ kN} = \mathbf{8,258 \text{ kN}}$$

b) $\tan \beta = \frac{2 \text{ m}}{1,55 \text{ m}} = 1,29 \Rightarrow \beta = 52,22^\circ$

$$\begin{aligned} \text{Zugkraft der Reckstange: } F_2 &= 2 \cdot F_W \cdot \cos \beta = 2 \cdot F \cdot \sin \alpha \cdot \cos \beta \\ &= 2 \cdot 6 \text{ kN} \cdot 0,7255 \cdot 0,6125 = \mathbf{5,333 \text{ kN}} \end{aligned}$$

20/16. Siehe 20/15.

a) $\tan \alpha = \frac{2,53 \text{ m}}{1,60 \text{ m}} = 1,581 \Rightarrow \alpha = 57,69^\circ$

$$F_1 = 2 \cdot F_S = 2 \cdot F \cdot \cos \alpha = 2 \cdot 6 \text{ kN} \cdot 0,5345 = \mathbf{6,414 \text{ kN}}$$

b) Zugkraft $F_2 = 2 \cdot F_W \cdot \cos \beta = 2 \cdot F \cdot \sin \alpha \cdot \cos \beta = 2 \cdot 6 \text{ kN} \cdot 0,8452 \cdot 0,6125 = \mathbf{6,213 \text{ kN}}$

20/p1. (4)

Lösungen zu 2.1.3 Elastische Verformung

21/1. a) $D = \frac{\Delta F}{\Delta s} \Rightarrow \Delta s = \frac{\Delta F}{D} = \frac{2,0 \text{ N}}{7,0 \frac{\text{N}}{\text{m}}} = \mathbf{0,286 \text{ m}}$

$$D = \frac{\Delta F}{\Delta s} \Rightarrow \Delta s = \frac{\Delta F}{D} = \frac{7,5 \text{ N}}{7,0 \frac{\text{N}}{\text{m}}} = \mathbf{1,071 \text{ m}}$$

21/2. a) $D = \frac{\Delta F}{\Delta s} \Rightarrow \Delta s = \frac{\Delta F}{D} = \frac{1,5 \text{ N}}{15 \frac{\text{N}}{\text{m}}} = \mathbf{0,1 \text{ m}}$

b) $D = \frac{\Delta F}{\Delta s} \Rightarrow \Delta s = \frac{\Delta F}{D} = \frac{5,0 \text{ N}}{15 \frac{\text{N}}{\text{m}}} = \mathbf{0,333 \text{ m}}$

21/3. $D = \frac{\Delta F}{\Delta s} = \frac{25 \text{ N}}{20 \text{ mm}} = 1250 \frac{\text{N}}{\text{m}}$

$$D = \frac{\Delta F}{\Delta s} \Rightarrow \Delta F = D \cdot \Delta s = 1250 \frac{\text{N}}{\text{m}} \cdot 30 \text{ mm} = 1250 \frac{\text{N}}{\text{m}} \cdot 0,03 \text{ m} = \mathbf{37,5 \text{ N}}$$

21/4. $D = \frac{\Delta F}{\Delta s} = \frac{2,0 \text{ N}}{40 \text{ mm}} = 50 \frac{\text{N}}{\text{m}}$

$$D = \frac{\Delta F}{\Delta s} \Rightarrow \Delta F = D \cdot \Delta s = 50 \frac{\text{N}}{\text{m}} \cdot 100 \text{ mm} = \mathbf{5,0 \text{ N}}$$

$$21/5. D = \frac{\Delta F}{\Delta s} = \frac{12 \text{ N}}{10 \text{ mm}} = \mathbf{1200 \frac{N}{m}}$$

$$D = \frac{\Delta F}{\Delta s} \Rightarrow \Delta F = D \cdot \Delta s = 1200 \frac{\text{N}}{\text{m}} \cdot 18 \text{ mm} = \mathbf{21,6 \text{ N}}$$

$$21/6. D = \frac{\Delta F}{\Delta s} = \frac{100 \text{ N}}{8,0 \text{ mm}} = \mathbf{12500 \frac{N}{m}}$$

$$D = \frac{\Delta F}{\Delta s} \Rightarrow \Delta F = D \cdot \Delta s = 12500 \frac{\text{N}}{\text{m}} \cdot 12 \text{ mm} = \mathbf{150 \text{ N}}$$

$$22/7. D = \frac{\Delta F}{\Delta s} = \frac{mg}{\Delta s} \approx \frac{1,5 \text{ t} \cdot 10 \frac{\text{N}}{\text{kg}}}{50 \text{ mm}} = \frac{1500 \text{ kg} \cdot 10 \frac{\text{N}}{\text{kg}}}{0,05 \text{ m}} = \mathbf{3000000 \frac{N}{m}}$$

$$22/8. D_{\text{ges}} = \frac{\Delta F}{\Delta s} = \frac{m \cdot g}{\Delta s} \approx \frac{700 \text{ kg} \cdot 10 \frac{\text{N}}{\text{kg}}}{80 \text{ mm}} = \frac{700 \text{ kg} \cdot 10 \frac{\text{N}}{\text{kg}}}{0,08 \text{ m}} = 87500 \frac{\text{N}}{\text{m}}$$

$$D = \frac{D_{\text{ges}}}{2} = \frac{1}{2} \cdot 87500 \frac{\text{N}}{\text{m}} = \mathbf{43750 \frac{N}{m}}$$

$$22/9. D_{\text{ges}} = \frac{\Delta F}{\Delta s} = \frac{12 \text{ kN}}{10 \text{ mm}} = 1200000 \frac{\text{N}}{\text{m}} = 1,2 \frac{\text{MN}}{\text{m}}$$

$$D = \frac{D_{\text{ges}}}{8} = \frac{1,2 \frac{\text{MN}}{\text{m}}}{8} = \mathbf{150 \frac{kN}{m}}$$

$$22/10. D = \frac{\Delta F}{\Delta s} = \frac{120 \text{ N}}{1,0 \text{ mm}} = \mathbf{120 \frac{kN}{m}}$$

$$D = \frac{\Delta F}{\Delta s} \Rightarrow \Delta F = D \cdot \Delta s = 120 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \cdot 3,0 \text{ mm} = \mathbf{360 \text{ N}}$$

$$22/11. \Delta s = s_2 - s_1 = 450 \text{ mm} - 200 \text{ mm} = 250 \text{ mm}$$

$$D = \frac{\Delta F}{\Delta s} \Rightarrow \Delta F = D \cdot \Delta s = 22 \frac{\text{N}}{\text{m}} \cdot 250 \text{ mm} = \mathbf{5,5 \text{ N}}$$

$$22/12. \Delta s = 45 \text{ mm} = 4,5 \text{ cm}$$

$$D = \frac{\Delta F}{\Delta s} \Rightarrow \Delta F = D \cdot \Delta s = 27 \frac{\text{N}}{\text{cm}} \cdot 4,5 \text{ cm} = \mathbf{121,5 \text{ N}}$$

$$22/13. D = \frac{\Delta F}{\Delta s} = \frac{0,5 \text{ N}}{5,0 \text{ mm}} = \mathbf{100 \frac{N}{m}}$$

$$22/14. D = \frac{\Delta F}{\Delta s} = \frac{0,01 \text{ N}}{0,8 \text{ mm}} = \mathbf{12,5 \frac{N}{m}}$$

$$22/15. \text{ a) } F = 2 \cdot F_{\text{Einzel}} \Rightarrow D_{\text{ges}} = 2 D = 2 \cdot 10 \frac{\text{N}}{\text{m}} = 20 \frac{\text{N}}{\text{m}}$$

$$D_{\text{ges}} = \frac{\Delta F}{\Delta s} \Rightarrow \Delta s = \frac{\Delta F}{D_{\text{ges}}} = \frac{5,0 \text{ N}}{20 \frac{\text{N}}{\text{m}}} = \mathbf{0,25 \text{ m}}$$

$$\text{ b) } D_1 = 2 D = 2 \cdot 10 \frac{\text{N}}{\text{m}} = 20 \frac{\text{N}}{\text{m}}$$

$$D = \frac{\Delta F}{\Delta s} \Rightarrow \Delta s = \frac{\Delta F}{D}$$

$$\Delta s_{\text{ges}} = \Delta s_1 + \Delta s = \frac{\Delta F}{D_1} + \frac{\Delta F}{D} = \frac{5,0 \text{ N}}{20 \frac{\text{N}}{\text{m}}} + \frac{5,0 \text{ N}}{10 \frac{\text{N}}{\text{m}}} = \mathbf{0,75 \text{ m}}$$

$$22/16. \text{ a) } F = F_{\text{Einzel}} \Rightarrow D_{\text{ges}} = \frac{D}{2} = \frac{20 \frac{\text{N}}{\text{m}}}{2} = 10 \frac{\text{N}}{\text{m}}$$

$$\Delta s = \frac{\Delta F}{D_{\text{ges}}} = \frac{1,0 \text{ N}}{10 \frac{\text{N}}{\text{m}}} = \mathbf{0,1 \text{ m}}$$

$$\text{b) } D_1 = 2 D = 2 \cdot 20 \frac{\text{N}}{\text{m}} = 40 \frac{\text{N}}{\text{m}}$$

$$D_2 = \frac{D}{2} = \frac{20 \frac{\text{N}}{\text{m}}}{2} = 10 \frac{\text{N}}{\text{m}}$$

$$\Delta s = \Delta s_1 + \Delta s_2 = \frac{\Delta F}{D_1} + \frac{\Delta F}{D_2} = \frac{1,0 \text{ N}}{40 \frac{\text{N}}{\text{m}}} + \frac{1,0 \text{ N}}{10 \frac{\text{N}}{\text{m}}} = \mathbf{0,125 \text{ m}}$$

$$22/17. \Delta s = 320 \text{ mm} - 200 \text{ mm} = 120 \text{ mm}$$

$$D = \frac{\Delta F}{\Delta s} \Rightarrow \Delta F = D \cdot \Delta s = 10 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \cdot 120 \text{ mm} = \mathbf{1200 \text{ N}}$$

$$22/18. D = \frac{\Delta F}{\Delta s} \Rightarrow \Delta s = \frac{\Delta F}{D} = \frac{900 \text{ N}}{9,0 \frac{\text{kN}}{\text{m}}} = 0,1 \text{ m}$$

$$s = s_0 + \Delta s = 180 \text{ mm} + 0,1 \text{ m} = \mathbf{280 \text{ mm}}$$

22/19. Bei einer harten Feder ist für eine Längenänderung Δs eine größere Kraftänderung ΔF erforderlich, als bei einer weichen Feder. Die Kennlinie einer harten Feder verläuft also steiler, als die einer weichen Feder (**Bild 21/1**).

22/20. Bei Überlastung ist die Längenänderung Δs der Kraftänderung nicht mehr proportional. Wenn der Proportionalitätsbereich überschritten wird, bleibt eine dauerhafte Verformung der Feder zurück. Der Kraftmesser ist damit unbrauchbar.

22/21. Die Kraftänderung ΔF verteilt sich auf beide Federn, sodass jede Einzelfeder mit $\frac{\Delta F}{2}$ belastet wird.

Jede Feder wird also um $\frac{\Delta s}{2}$ gedehnt.

$$D_{\text{ges}} = \frac{\Delta F}{\frac{\Delta s}{2}} = 2 \frac{\Delta F}{\Delta s} = \mathbf{2 D}$$

22/22. Eine Kraftänderung ΔF dehnt beide Federn um Δs .

$$D_{\text{ges}} = \frac{\Delta F}{\Delta s_{\text{ges}}} = \frac{\Delta F}{2 \Delta s} = \frac{1}{2} \frac{\Delta F}{\Delta s} = \mathbf{\frac{D}{2}}$$

22/p1. ②

22/p2. ②

22/p3. ③

Lösungen zu 2.1.4 Masse und Gewichtskraft

23/1. Keine Änderung

23/2. Keine Änderung

$$23/3. F_{\text{G Erde}} = g \cdot m \approx 10 \frac{\text{N}}{\text{kg}} \cdot 300 \text{ kg} = \mathbf{3000 \text{ N}} \quad F_{\text{G Mond}} \approx \frac{10}{6} \frac{\text{N}}{\text{kg}} \cdot 300 \text{ kg} = \mathbf{500 \text{ N}}$$

23/4. **Masse- und Gewichtsabnahme 5 %**

- 23/5.** a) Massen gleich groß. Wenn gleiche Gewichtskräfte, dann gleiche Massen.
 b) Anzeigen auf dem Mond gleich groß. Masse unabhängig vom Ort.

- 23/6.** a) Massen gleich groß. Wenn gleiche Gewichtskräfte, dann gleiche Massen.
 b) Waagrecht. Wenn gleiche Massen, dann gleiche Gewichtskräfte.

23/7. $F_G = g \cdot m \Rightarrow m = \frac{F_G}{g} \approx \frac{5000 \text{ N}}{10 \frac{\text{N}}{\text{kg}}} = \mathbf{500 \text{ kg}}$

23.8. Seil: $F_G = g \cdot m \approx 10 \frac{\text{N}}{\text{kg}} \cdot 200 \text{ kg} = 2000 \text{ N}$. Gewichtskraft der Last 8000 N.

$F_G = g \cdot m \Rightarrow m = \frac{F_G}{g} \approx \frac{8000 \text{ N}}{10 \frac{\text{N}}{\text{kg}}} = \mathbf{800 \text{ kg}}$

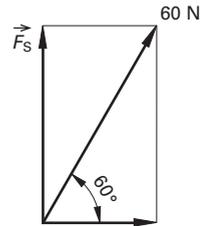
24/9. $F_G = g \cdot m \approx 10 \frac{\text{N}}{\text{kg}} \cdot 90 \text{ kg} = 900 \text{ N}$. Belastung 900 N + 300 N = **1200 N**.

24/10. $F_G = g \cdot m \approx 10 \frac{\text{N}}{\text{kg}} \cdot 80 \text{ kg} = 800 \text{ N}$. Kraft 800 N – 80 N = 720 N $\hat{=}$ **72 kg**

24/11. $F_S = 60 \text{ N} \cdot \sin 60^\circ = 60 \text{ N} \cdot 0,8660 = 51,96 \text{ N} = 52 \text{ N}$

$F_G = g \cdot m \approx 10 \frac{\text{N}}{\text{kg}} \cdot 5,5 \text{ kg} = 55 \text{ N}$

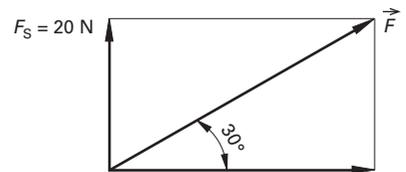
Auflagekraft = 55 N – 52 N = **3 N**



24/12. $F_G = g \cdot m \approx 10 \frac{\text{N}}{\text{kg}} \cdot 100 \text{ kg} = 1000 \text{ N}$

$F_S = 1000 \text{ N} - 980 \text{ N} = 20 \text{ N}$

$F = \frac{F_S}{\sin 30^\circ} = \frac{20 \text{ N}}{0,5000} = \mathbf{40 \text{ N}}$



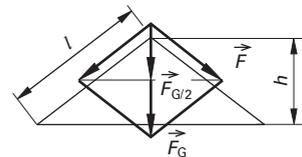
24/13. $V = 0,080 \text{ m}^3$

$m = \rho \cdot V = 900 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 0,080 \text{ m}^3 = 72 \text{ kg}$

$F_G = g \cdot m \approx 10 \frac{\text{N}}{\text{kg}} \cdot 72 \text{ kg} = 720 \text{ N}$

$h^2 = 1,00^2 \text{ m}^2 - 0,80^2 \text{ m}^2 = 0,36 \text{ m}^2 \Rightarrow h = 0,6 \text{ m}$

$h:l = \frac{F_G}{2}:F \Rightarrow F = \frac{l}{h} \cdot \frac{F_G}{2} = \frac{1,0 \text{ m}}{0,6 \text{ m}} \cdot 360 \text{ N} = \mathbf{600 \text{ N}}$



24/14. $V = 0,0141 \text{ m}^3 = 14,1 \text{ dm}^3$

$m = \rho \cdot V = 7,90 \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3} \cdot 14,1 \text{ dm}^3 = 111,39 \text{ kg} \Rightarrow$

$\Rightarrow F_G \approx 10 \frac{\text{N}}{\text{kg}} \cdot 111,4 \text{ kg} = 1114 \text{ N}$

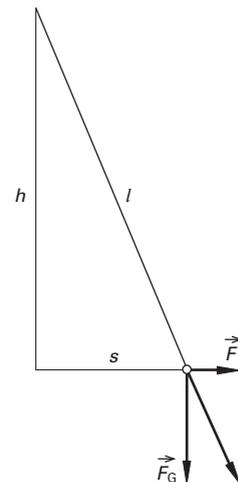
$h^2 = l^2 - s^2 = 25 \text{ m}^2 - 4 \text{ m}^2 = 21 \text{ m}^2 \Rightarrow h = 4,58 \text{ m}$

$\frac{F}{F_G} = \frac{s}{h} \Rightarrow F = \frac{s}{h} \cdot F_G = \frac{2 \text{ m}}{4,58 \text{ m}} \cdot 1114 \text{ N} \approx \mathbf{486 \text{ N}}$

24/15. $F_{G1} = g \cdot m \approx 10 \frac{\text{N}}{\text{kg}} \cdot 70 \text{ kg} = 700 \text{ N}$

$\frac{F_{G2}}{F_{G1}} = \left(\frac{r_1}{r_2}\right)^2 = \left(\frac{6400 \text{ km}}{6400 \text{ km} + 1000 \text{ km}}\right)^2 = \left(\frac{6,4}{7,4}\right)^2 = 0,748 \Rightarrow$

$\Rightarrow F_{G2} = 0,748 \cdot F_{G1} = 0,748 \cdot 700 \text{ N} = \mathbf{523,6 \text{ N}}$



$$24/16. \frac{F_{G2}}{F_{G1}} = \left(\frac{r_1}{r_2}\right)^2 = \left(\frac{6400 \text{ km}}{6400 \text{ km} + 100 \text{ km}}\right)^2 = \left(\frac{6,4}{6,5}\right)^2 = 0,969 \triangleq 96,9 \% \Rightarrow \text{Abnahme } 3,1 \%$$

$$24/17. \frac{F_{G2}}{F_{G1}} = \left(\frac{r_1}{r_2}\right)^2 \Rightarrow F_{G2} = F_{G1} \left(\frac{r_1}{r_2}\right)^2 = F_{G1} \left(\frac{r_1}{2 r_1}\right)^2 = \frac{1}{4} F_{G1}$$

$$24/18. \frac{F_{G2}}{F_{G1}} = \left(\frac{r_1}{r_2}\right)^2 \Rightarrow r_2 = r_1 \cdot \sqrt{\frac{F_{G1}}{F_{G2}}} = 6400 \text{ km} \cdot \sqrt{\frac{F_{G1}}{0,01 F_{G1}}} = 64000 \text{ km}$$

$$\Rightarrow h = r_2 - r_1 = 64000 \text{ km} - 6400 \text{ km} = \mathbf{57600 \text{ km}}$$

Lösungen zu 2.2.1 Hebel

$$25/1. M = F \cdot r_0 = 120 \text{ N} \cdot 0,18 \text{ m} = \mathbf{21,6 \text{ Nm}}$$

$$25/2. M = F \cdot r_0 = 65 \text{ N} \cdot 0,22 \text{ m} = \mathbf{14,3 \text{ Nm}}$$

$$25/3. r_0 = r \cdot \sin 60^\circ = 180 \text{ mm} \cdot 0,866 = \mathbf{156 \text{ mm}}$$

$$M = F \cdot r_0 \Rightarrow F = \frac{M}{r_0} = \frac{22 \text{ Nm}}{0,156 \text{ m}} = \mathbf{141 \text{ N}}$$

$$25/4. r_0 = r \cdot \sin 80^\circ = 220 \text{ mm} \cdot 0,9848 = \mathbf{217 \text{ mm}}$$

$$F = \frac{M}{r_0} = \frac{145 \text{ Nm}}{0,217 \text{ m}} = \mathbf{668 \text{ N}}$$

$$25/5. r_0 = \frac{M}{F} = \frac{680 \text{ Nm}}{200 \text{ N}} = \mathbf{3,4 \text{ m}}$$

$$25/6. r_0 = \frac{M}{F} = \frac{2,0 \text{ MNm}}{100 \text{ kN}} = \mathbf{20 \text{ m}}$$

$$25/7. M_1 = F_1 \cdot r_{01} = 20 \text{ N} \cdot 3,1 \text{ m} = 62 \text{ Nm}$$

$$M_2 = F_2 \cdot r_{02} = 75 \text{ N} \cdot 2 \text{ m} = 150 \text{ Nm}$$

$$M = M_1 + M_2 = 62 \text{ Nm} + 150 \text{ Nm} = \mathbf{212 \text{ Nm}}$$

Lösungen zu 2.2.2 Hebel im Gleichgewicht

$$27/1. r_{01} = r_1 \cdot \sin 60^\circ = 10 \text{ mm} \cdot 0,866 = 130 \text{ mm}$$

$$r_{02} = r_2 \cdot \sin 60^\circ = 600 \text{ mm} \cdot 0,866 = 520 \text{ mm}$$

$$F_1 \cdot r_{01} = F_2 \cdot r_{02} \Rightarrow F_2 = \frac{F_1 \cdot r_{01}}{r_{02}} = \frac{1,0 \text{ kN} \cdot 130 \text{ mm}}{520 \text{ mm}} = 0,25 \text{ kN} = \mathbf{250 \text{ N}}$$

$$27/2. r_{01} = r_1 \cdot \sin 60^\circ = 120 \text{ mm} \cdot 0,866 = 104 \text{ mm}$$

$$r_{02} = r_2 \cdot \sin 60^\circ = (1800 \text{ mm} - 120 \text{ mm}) \cdot 0,866 = 1680 \text{ mm} \cdot 0,866 = 1455 \text{ mm}$$

$$F_2 = \frac{F_1 \cdot r_{01}}{r_{02}} = \frac{1000 \text{ N} \cdot 104 \text{ mm}}{1455 \text{ mm}} = \mathbf{71,5 \text{ N}}$$

$$27/3. F_1 \cdot r_1 = F_2 \cdot r_2 \Rightarrow r_1 = \frac{F_2 \cdot r_2}{F_1} = \frac{12 \text{ kN} \cdot 25 \text{ mm}}{2,0 \text{ kN}} = \mathbf{150 \text{ mm}}$$

$$27/4. r_1 = \frac{F_2 \cdot r_2}{F_1} = \frac{700 \text{ N} \cdot 20 \text{ mm}}{400 \text{ N}} = \mathbf{35 \text{ mm}}$$

$$27/5. F_1 = \frac{F_2 \cdot r_2}{r_1} = \frac{700 \text{ N} \cdot 12 \text{ mm}}{84 \text{ mm}} = \mathbf{100 \text{ N}}$$

$$27/6. F_1 = \frac{F_2 \cdot r_2}{r_1} = \frac{700 \text{ N} \cdot 12 \text{ mm}}{84 \text{ mm} \cdot 1,5} = \mathbf{66,7 \text{ N}}$$

$$27/7. \quad F_3 = \frac{F_1 \cdot r_1}{r_2} = \frac{300 \text{ N} (660 \text{ mm} - 20 \text{ mm})}{20 \text{ mm}} = 9,6 \text{ kN}; \quad F_4 = \frac{F_3 \cdot r_3}{r_4} = \frac{9,6 \text{ kN} \cdot 150 \text{ mm}}{50 \text{ mm}} = \mathbf{28,8 \text{ kN}}$$

$$27/8. \quad F_3 = \frac{F_1 \cdot r_1}{r_2} = \frac{80 \text{ N} \cdot 85 \text{ mm}}{10 \text{ mm}} = \mathbf{680 \text{ N}}; \quad F_2 = \frac{F_3 \cdot r_3}{r_4} = \frac{680 \text{ N} \cdot 30 \text{ mm}}{15 \text{ mm}} = \mathbf{1360 \text{ N}}$$

$$28/9. \quad F_2 = \frac{F_1 \cdot r_1}{r_2} = \frac{7,5 \text{ N} \cdot 12 \text{ mm}}{60 \text{ mm}} = \mathbf{1,5 \text{ N}}$$

$$28/10. \quad F_2 = \frac{F_1 \cdot r_1}{r_2} = \frac{90 \text{ N} \cdot 500 \text{ mm}}{75 \text{ mm}} = \mathbf{600 \text{ N}}$$

$$28/11. \quad r_2 = \frac{F_1 \cdot r_1}{F_2} = \frac{7,5 \text{ N} \cdot 12 \text{ mm}}{1,8 \text{ N}} = 50 \text{ mm}; \quad \text{Verkürzung: } 60 \text{ mm} - 50 \text{ mm} = \mathbf{10 \text{ mm}}$$

$$28/12. \quad r_2 = \frac{F_1 \cdot r_1}{F_2} = \frac{600 \text{ N} \cdot 50 \text{ mm}}{480 \text{ N}} = \mathbf{62,5 \text{ mm}}$$

$$28/13. \quad F_1 = \frac{F_2 \cdot r_2}{r_1} = \frac{35 \text{ kN} \cdot 4,0 \text{ m}}{10 \text{ m}} = \mathbf{14 \text{ kN}}$$

$$28/14. \quad r_1 = \frac{F_2 \cdot r_2}{F_1} = \frac{0,15 \text{ kN} \cdot 250 \text{ mm}}{1,0 \text{ kN}} = 37,5 \text{ mm}; \quad D = 2 \cdot r_1 - d = 2 \cdot 37,5 \text{ mm} - 5,0 \text{ mm} = \mathbf{70 \text{ mm}}$$

$$28/15. \quad r_{01} = r_1 \cdot \sin 60^\circ = 1600 \text{ mm} \cdot 0,866 = 1386 \text{ mm}; \quad r_{02} = r_2 \cdot \sin 60^\circ = 600 \text{ mm} \cdot 0,866 = 520 \text{ mm}$$

$$F_1 = \frac{F_2 \cdot r_{02}}{r_{01}} = \frac{2,1 \text{ kN} \cdot 520 \text{ mm}}{1386 \text{ mm}} = \mathbf{788 \text{ N}}$$

$$28/16. \quad r_{01} = r_1 \cdot \sin 60^\circ = 1400 \text{ mm} \cdot 0,866 = 1212 \text{ mm}; \quad r_{02} = r_2 \cdot \sin 60^\circ = 600 \text{ mm} \cdot 0,866 = 520 \text{ mm}$$

$$F_1 = \frac{F_2 \cdot r_{02}}{r_{01}} = \frac{2,1 \text{ kN} \cdot 520 \text{ mm}}{1212 \text{ mm}} = \mathbf{0,90 \text{ kN}}$$

$$29/17. \quad r_{01} = r_1 = 270 \text{ mm}; \quad r_{02} = r_2 \cdot \sin 45^\circ = 80 \text{ mm} \cdot 0,7071 = 56,7 \text{ mm}$$

$$F_2 = \frac{F_1 \cdot r_{01}}{r_{02}} = \frac{300 \text{ N} \cdot 270 \text{ mm}}{56,7 \text{ mm}} = \mathbf{1429 \text{ N}}$$

$$29/18. \quad r_{02} = \frac{F_1 \cdot r_{01}}{F_2} = \frac{160 \text{ N} \cdot 150 \text{ mm}}{750 \text{ N}} = \mathbf{32 \text{ mm}}$$

$$29/19. \quad r_{01} = \frac{F_2 \cdot r_{02}}{F_1} = \frac{750 \text{ N} \cdot 22 \text{ mm}}{160 \text{ N}} = \mathbf{103 \text{ mm}}$$

$$29/20. \text{ a) } r_{01} = r_1 \cdot \cos 30^\circ = 150 \text{ mm} \cdot 0,866 = \mathbf{130 \text{ mm}}; \quad F_1' = \frac{F_2 \cdot r_{02}}{r_{01}} = \frac{750 \text{ N} \cdot 32 \text{ mm}}{130 \text{ mm}} = \mathbf{184,6 \text{ N}}$$

$$\text{b) } \frac{184,6 \text{ N} \cdot 100 \%}{160 \text{ N}} = 115,37 \% ; \text{ Mehraufwand an Kraft} = \mathbf{15 \%}$$

$$29/\text{p1.} \quad \textcircled{4} \qquad 29/\text{p2.} \quad \textcircled{2} \qquad 29/\text{p3.} \quad \textcircled{3}$$

$$29/\text{p4.} \quad \textcircled{1} \qquad 29/\text{p5.} \quad \textcircled{1} \qquad 29/\text{p6.} \quad \textcircled{4}$$

Lösungen zu 2.2.3 Schwerpunkt und Gleichgewichtsarten

31/1. Schwerpunkte im Schnittpunkt der Flächendiagonalen;

$$\text{a) } x_0 = y_0 = \frac{170 \text{ mm}}{2} = \mathbf{85 \text{ mm}}$$

$$\text{b) } x_0 = \frac{140 \text{ mm}}{2} = \mathbf{70 \text{ mm}}; \quad y_0 = \frac{35 \text{ mm}}{2} = \mathbf{17,5 \text{ mm}}$$

31/2. Schwerpunkte im Schnittpunkt der Raumdiagonalen

$$\text{a) } x_0 = y_0 = z_0 = \frac{20 \text{ cm}}{2} = \mathbf{10 \text{ cm}}$$

$$\text{b) } x_0 = \frac{160 \text{ mm}}{2} = \mathbf{80 \text{ mm}}; \quad y_0 = \frac{80 \text{ mm}}{2} = \mathbf{40 \text{ mm}}; \quad z_0 = \frac{40 \text{ mm}}{2} = \mathbf{20 \text{ mm}}$$

31/3. Aufteilung der Flächen entsprechend Bild 31/1.

$$A_1 = 8 \text{ cm} \cdot 1 \text{ cm} = 8 \text{ cm}^2; \quad A_2 = 7 \text{ cm} \cdot 1 \text{ cm} = 7 \text{ cm}^2;$$

$$A_1 + A_2 = 8 \text{ cm}^2 + 7 \text{ cm}^2 = 15 \text{ cm}^2$$

$$x_0 = \frac{x_1 \cdot A_1 + x_2 \cdot A_2}{A_1 + A_2} = \frac{4 \text{ cm} \cdot 8 \text{ cm}^2 + 0,5 \text{ cm} \cdot 7 \text{ cm}^2}{15 \text{ cm}^2} = 2,37 \text{ cm} = \mathbf{23,7 \text{ mm}}$$

$$y_0 = \frac{y_1 \cdot A_1 + y_2 \cdot A_2}{A_1 + A_2} = \frac{0,5 \text{ cm} \cdot 8 \text{ cm}^2 + (1 \text{ cm} + 3,5 \text{ cm}) \cdot 7 \text{ cm}^2}{15 \text{ cm}^2} = 2,37 \text{ cm} = \mathbf{23,7 \text{ mm}}$$

31/4. $A_1 = 10 \text{ cm} \cdot 0,8 \text{ cm} = 8 \text{ cm}^2$; $A_2 = (5 \text{ cm} - 0,8 \text{ cm}) \cdot 0,8 \text{ cm} = 3,36 \text{ cm}^2$

$$A_1 + A_2 = 8 \text{ cm}^2 + 3,36 \text{ cm}^2 = 11,36 \text{ cm}^2$$

$$x_0 = \frac{x_1 \cdot A_1 + x_2 \cdot A_2}{A_1 + A_2} = \frac{5 \text{ cm} \cdot 8 \text{ cm}^2 + 0,4 \text{ cm} \cdot 3,36 \text{ cm}^2}{11,36 \text{ cm}^2} = \mathbf{36 \text{ mm}}$$

$$y_0 = \frac{y_1 \cdot A_1 + y_2 \cdot A_2}{A_1 + A_2} = \frac{0,4 \text{ cm} \cdot 8 \text{ cm}^2 + (0,8 \text{ cm} + 2,1 \text{ cm}) \cdot 3,36 \text{ cm}^2}{11,36 \text{ cm}^2} = 1,14 \text{ cm} = \mathbf{11,4 \text{ mm}}$$

31/5. $A_1 = 10 \text{ cm} \cdot 2 \text{ cm} = 20 \text{ cm}^2$; $A_2 = 1,5 \text{ cm} \cdot 1,5 \text{ cm} = 2,25 \text{ cm}^2$

$$A_1 - A_2 = 20 \text{ cm}^2 - 2,25 \text{ cm}^2 = 17,75 \text{ cm}^2$$

$$x_0 = \frac{x_1 \cdot A_1 - x_2 \cdot A_2}{A_1 - A_2} = \frac{5 \text{ cm} \cdot 20 \text{ cm}^2 - 2 \text{ cm} \cdot 2,25 \text{ cm}^2}{17,75 \text{ cm}^2} = 5,38 \text{ cm} = \mathbf{53,8 \text{ mm}}$$

$$y_0 = \frac{20 \text{ mm}}{2} = \mathbf{10 \text{ mm}}$$

31/6. $A_1 = 12 \text{ cm} \cdot 2,5 \text{ cm} = 30 \text{ cm}^2$; $A_2 = 4 \text{ cm} \cdot 1 \text{ cm} = 4 \text{ cm}^2$; $A_3 = 1,5^2 \text{ cm}^2 \cdot 0,785 = 1,77 \text{ cm}^2$

$$A = 30 \text{ cm}^2 - 4 \text{ cm}^2 - 1,77 \text{ cm}^2 = 24,23 \text{ cm}^2$$

$$x_0 = \frac{x_1 \cdot A_1 - x_2 \cdot A_2 - x_3 \cdot A_3}{A_1 - A_2 - A_3} = \frac{6 \text{ cm} \cdot 30 \text{ cm}^2 - 4 \text{ cm} \cdot 4 \text{ cm}^2 - 9,5 \text{ cm} \cdot 1,77 \text{ cm}^2}{24,23 \text{ cm}^2} =$$

$$= 6,07 \text{ cm} = \mathbf{60,7 \text{ mm}}$$

$$y_0 = \frac{25 \text{ mm}}{2} = \mathbf{12,5 \text{ mm}}$$

31/7. $V_1 = \frac{\pi}{4} (D_1^2 - d_1^2) \cdot l = \frac{\pi}{4} (7^2 \text{ cm}^2 - 3,5^2 \text{ cm}^2) \cdot 1 \text{ cm} = 28,86 \text{ cm}^3$

$$V_2 = \frac{\pi}{4} (5^2 \text{ cm}^2 - 3,5^2 \text{ cm}^2) \cdot 6,5 \text{ cm} = 65,09 \text{ cm}^3$$

$$x_0 = \frac{x_1 \cdot V_1 + x_2 \cdot V_2}{V_1 + V_2} = \frac{0,5 \text{ cm} \cdot 28,86 \text{ cm}^3 + (1 \text{ cm} + 3,25 \text{ cm}) \cdot 65,09 \text{ cm}^3}{93,95 \text{ cm}^3} =$$

$$= 3,098 \text{ cm} = \mathbf{31 \text{ mm}}$$

$$y_0 = \mathbf{0 \text{ mm}}$$

31/p1. ①

31/p2. ④