



Edition
Harri 
Deutsch 

Aufgaben zur Festigkeitslehre – ausführlich gelöst

Mit Grundbegriffen, Formeln, Fragen, Antworten

von

Gerhard Knapstein
Denis Anders

7., überarbeitete Auflage

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

Europa-Nr.: 54302

Der Autor

Dipl.-Ing. Gerhard Knappstein war nach seiner Ausbildung zum Werkzeugmacher und dem Maschinenbaustudium als Konstrukteur und Berechnungsingenieur in der Industrie tätig. Anschließend war er Mitarbeiter im Fachbereich Maschinenbau – Fachgebiet Technische Mechanik – an der Universität Siegen.

Der Koautor

Prof. Dr.-Ing. Denis Anders war nach dem Studium der Technischen Mathematik an der Universität Siegen und der anschließenden Promotion am Lehrstuhl für Festkörpermechanik mehrere Jahre als Entwicklungs- und Berechnungsingenieur im Maschinen- und Anlagenbau tätig. Seit 2016 hat er die Professur für Technische Mechanik und Strömungslehre an der Technischen Hochschule Köln inne.

7., überarbeitete Auflage 2020

Druck 5 4 3 2 1

ISBN 978-3-8085-5873-7

ISBN 978-3-8085-5878-2 (E-Book)

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

Der Inhalt des Werkes wurde sorgfältig erarbeitet. Dennoch übernehmen Autor und Verlag für die Richtigkeit von Angaben, Hinweisen und Ratschlägen sowie für eventuelle Druckfehler keine Haftung.

© 2020 by Verlag Europa-Lehrmittel, Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG, 42781 Haan-Gruiten
<http://www.europa-lehrmittel.de>

Satz: Satzherstellung Dr. Naake, 09618 Brand-Erbisdorf
Umschlaggestaltung: braunwerbeagentur, 42477 Radevormwald
Druck: Medienhaus Plump GmbH, 53619 Rheinbreitbach

Vorwort

Zum richtigen Verstehen und Einordnen der theoretischen Grundlagen des Mechanikfachs *Festigkeitslehre (Elastostatik)* ist das selbständige Lösen von entsprechenden Aufgaben unverzichtbar. Diese Einsicht und die immer wiederkehrende Frage der Studierenden nach Aufgaben mit vollständigen Lösungen waren unter anderem Anlass, dieses Buch zu schreiben.

Das Buch, dessen Inhalt sich am Stoff der Vorlesungen in Festigkeitslehre an Universitäten und Fachhochschulen orientiert, bietet

- ▶ **zahlreiche ausführlich und lehrbeispielhaft gelöste Aufgaben,**
- ▶ **die notwendigen Grundbegriffe und Formeln zum schnellen Nachschlagen in überschaubarer Form,**
- ▶ **Verständnisfragen und Antworten zum Überprüfen der Kenntnisse,**
- ▶ **computerunterstütztes Lösen von Aufgaben aus der Festigkeitslehre mit MATLAB und**
- ▶ **Leitlinien zum Lösen von Mechanik-Aufgaben.**

Es ergänzt somit die vielfältigen Mechanik-Lehrbücher.

Die Aufgaben sind so ausgewählt, dass alle wichtigen Teilgebiete der Festigkeitslehre behandelt werden.

Bei den Lösungen haben wir versucht, den Lösungsweg so zu gestalten, dass er für jeden verständlich ist. Die Lösungen sind nicht nur stichpunktartig dargestellt, sondern sehr ausführlich gelöst. Unterstützt durch eine umfangreiche Bebilderung ist der „rote Faden“ des Lösungswegs gut erkennbar. Durch Zeichnungen sind Studierende oftmals viel schneller über schwierige Sachverhalte „**im Bilde**“, als das je mit Text geschehen könnte.

Bei einigen Aufgaben werden mehrere Lösungswege dargestellt sowie die Ergebnisse erläutert.

Leitlinien zum Lösen von Mechanik-Aufgaben als grundsätzliches Lösungsverfahren werden angegeben, da erfahrungsgemäß viele Studienanfänger den Weg von der Problemstellung zur Lösung verlieren, wenn er nicht systematisch angelegt wird.

Formelsammlungen der *Statik*, der *Festigkeitslehre* sowie der *Kinematik und Kinetik* enthalten, zum schnellen Nachschlagen, alle wichtigen Begriffe und Formeln für das Grundlagenfach Technische Mechanik.

Um den größten Nutzen aus dem Buch zu ziehen, wird den Studierenden empfohlen, die Lösungen nicht nur durchzulesen, sondern auch zu versuchen, die Aufgaben Schritt für Schritt nachzuvollziehen – am besten selbständig zu lösen. Entscheidend ist, dass Aufgaben nicht nach „**Schema F**“, sondern mit **Verstand** und den Grundgesetzen der Mechanik gelöst werden. Hilfreich ist oft, die Aufgaben und Verständnisfragen zu zweit oder zu dritt durchzuarbeiten, zu vergleichen und die Lösungen und Antworten zu diskutieren.

Die jetzt vorliegende 7. Auflage wurde überarbeitet und vor allem im Hinblick auf die Abbildungen neu gestaltet. Zusätzlich ist Denis Anders als Koautor dazu gekommen.

Wir danken dem Verlag Europa-Lehrmittel für die sehr gute Zusammenarbeit.

Die vollständigen MATLAB-Programme finden Sie auf der Homepage zum Buch:

www.europa-lehrmittel.de/54302.html.

Siegen, 2019

Gerhard Knappstein, Denis Anders

Fragen, Kommentare und Anregungen an:

Autoren und Verlag Europa-Lehrmittel

Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG

Düsselderger Str. 23

42781 Haan-Gruiten

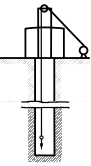

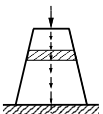
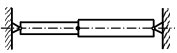
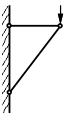
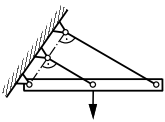
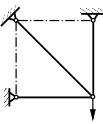
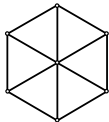
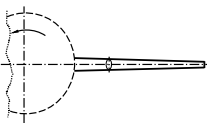
lektorat@europa-lehrmittel.de

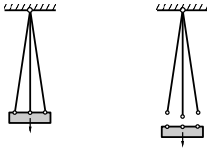

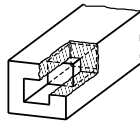
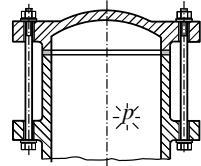

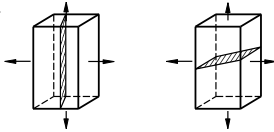
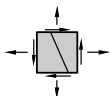
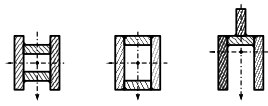
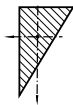
<http://www.europa-lehrmittel.de>



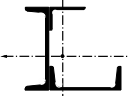
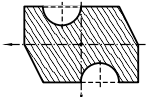
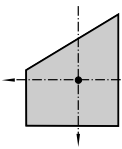

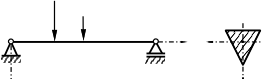
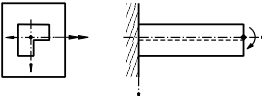
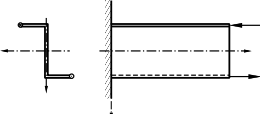
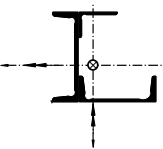
Inhaltsverzeichnis

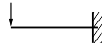
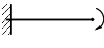
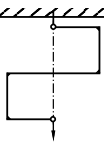
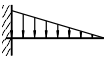
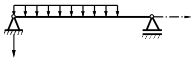
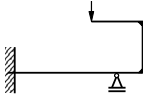
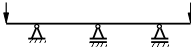
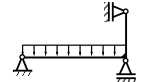
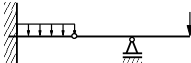
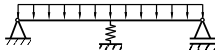
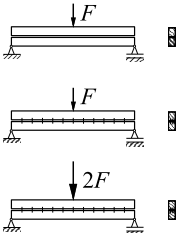
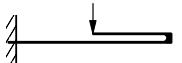
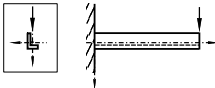
1	Zug und Druck in Stäben; Dehnungen und Verschiebungen	1
2	Ein- und zweiachsiger Spannungszustand	41
3	Flächenträgheitsmomente; Lage der Hauptachsen; Widerstandsmomente	51
4	Biegung	79
5	Torsion	137
6	Querkraftschub; Schubmittelpunkt	153
7	Knickung	165
8	Anwendungen aus der Elastostatik	181
9	CASTIGLIANO; MOHRsches Arbeitsintegral; Kraftgrößenverfahren	209
	Verständnisfragen	221
1	Fragen	221
2	Antworten	226
	Computerunterstütztes Lösen von Aufgaben	239
1	Programm Querp	239
2	Programm Biegn	245
	Lösen von Aufgaben	261
1	Leitlinien zum Lösen von Mechanik-Aufgaben	261
2	Schematischer Verlauf einer Festigkeitsberechnung	262
3	Gegenüberstellung von neuen und alten Werkstoffbezeichnungen (Auswahl)	263
4	Häufig benutzte Formelzeichen	264
	Formelsammlungen	267
1	Grundbegriffe und Formeln der Statik	267
2	Grundbegriffe und Formeln der Festigkeitslehre	296
3	Grundbegriffe und Formeln aus der Kinematik und Kinetik	337
	Anhang	377
1	Vorsätze und Vorsatzzeichen für dezimale Teile und Vielfache von Einheiten	377
2	Einheitennamen und Einheitenzeichen	378
3	Das griechische Alphabet	379
4	Einige Formeln aus der Mathematik	380
5	Forscher und Lehrer auf dem Gebiet der Festigkeitslehre	381
	Literatur	385
	Sachwortverzeichnis	387

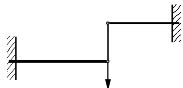
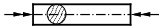
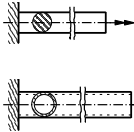
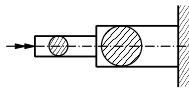
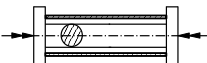

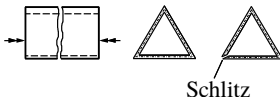
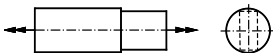

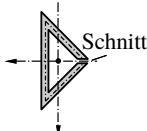
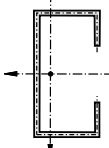
Übersicht der Aufgaben

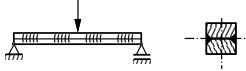
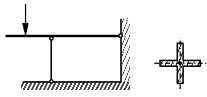

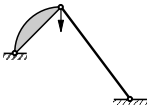
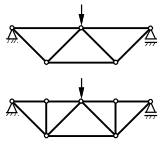
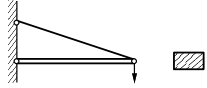
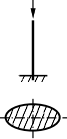
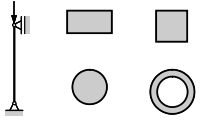
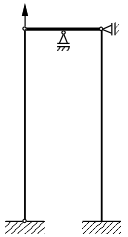
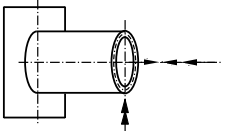
1	Zug und Druck in Stäben; Dehnungen und Verschiebungen		1
1.1	Dehnung und Verlängerung eines Seiles; Reißlänge		1
1.2	Dehnung von Stäben aus unterschiedlichem Material		4
1.3	Spannungsverläufe σ in einem Stab mit veränderlichem Querschnitt infolge Eigen- gewicht und äußerlicher Belastung		6
1.4	Abgesetzter Stahlzylinder unter Tempera- turbelastung (Kräfte und Verschiebung)		9
1.5	Verschiebungen in einem Stabwerk (Stä- be mit unterschiedlicher Dehnsteifigkeit)		11
1.6	Lagerungsstäbe (verschiedene Querschnit- te) eines starren Trägers (statisch unbestimmt); Stabkräfte, Spannungen, Verschiebungen		13
1.7	Stabkräfte und Verschiebungen in einem Fachwerk (statisch unbestimmt)		16
1.8	Fachwerk unter Temperaturbelastung (Stä- be mit unterschiedlichen Wärmeausdeh- nungskoeffizienten)		20
1.9	Dehnung und Spannung in einem fliehkraft- beanspruchten Stab		22

1.10	Spannungen in den drei Seilen einer Lastaufhängung (mit Fehlmaß, statisch unbestimmt)		26
1.11	Lastaufnahme bei Druckstab aus unterschiedlichen Materialien (statisch unbestimmt)		32
1.12	Dehnungen und Spannungen bei einem zweiachsigen Spannungszustand		35
1.13	Dehnung von Schrauben (Dehnschrauben)		37
2	Ein- und zweiachsiger Spannungszustand		41
2.1	Spannungen in der Schweißnaht eines Blechstreifens (einachsiger Spannungszustand)		41
2.2	Spannungen in der Schnittfläche eines Quaders (einachsiger Spannungszustand und zweiachsiger Hauptnormalspannungszustand)		42
2.3	Allgemeiner ebener Spannungszustand		46
3	Flächenträgheitsmomente; Lage der Hauptachsen; Widerstandsmomente .		51
3.1	Drei Querschnitte mit gleichem Flächeninhalt im Vergleich		51
3.2	Rechtwinkliger Dreiecksquerschnitt (Hauptträgheitsmomente, Hauptachsen)		55

3.3	Unsymmetrischer T-förmiger Querschnitt		59
3.4	Gedrehter Rechteckquerschnitt		64
3.5	Aus Stahlbau-Profilen zusammengesetzter Querschnitt		65
3.6	Aus Grundflächen zusammengesetzter Querschnitt		70
3.7	Trapezförmiger Querschnitt		75
4	Biegung		79
4.1	Einachsige Biegung; Biegespannungsverteilung		79
4.2	Einachsige Biegung; Biegespannungsverteilung		82
4.3	Schiefe Biegung; Spannungs-Null-Linie; Biegespannungsverteilung		85
4.4	Schiefe Biegung; Spannungs-Null-Linie; Spannungsverteilung		89
4.5	Schiefe Biegung mit Normalkraftbeanspruchung; Spannungs-Null-Linie; Spannungsverteilung		93

4.6	Biegelinie		96
4.7	Durchbiegung am freien Ende (mit Überlagerung)		99
4.8	Biegeverformung (mit Überlagerung)		102
4.9	Biegelinie		104
4.10	Durchbiegung, Neigungswinkel		106
4.11	Auflagerreaktionen, Neigungswinkel, Differenzialgleichung der elastischen Biegelinie (statisch unbestimmtes System)		110
4.12	Auflagerreaktionen, Neigungswinkel, Differenzialgleichung der elastischen Biegelinie (statisch unbestimmtes System)		114
4.13	Auflagerreaktion, Superpositionsprinzip (statisch unbestimmtes System)		118
4.14	Verschiebungen (Superposition)		120
4.15	Auflagerreaktion bei elastischem Lager, Durchbiegung, Superpositionsprinzip (statisch unbestimmtes System)		123
4.16	Auswirkungen der schubfesten Verbindung zweier Träger auf die Biegespannung und die Durchbiegung		125
4.17	Verformungen eines Biegeträgersystems (unterschiedliche Biegesteifigkeiten)		128
4.18	Verformungsberechnung bei schiefer Biegung (Kragträger)		131

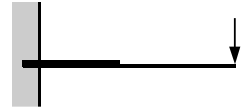
4.19	Verformungen bei durch einen Stab gekoppelte Biegeträger (statisch unbestimmtes System)		134
5	Torsion		137
5.1	Zulässige Schubspannung und zulässiger spezifischer Verdrehungswinkel		137
5.2	Torsionsstäbe mit Vollquerschnitt und kreisrundem Rohrquerschnitt		138
5.3	Abgesetzter Drillstab (Reihenschaltung)		140
5.4	Parallel geschaltete Torsionsfedern (einfach statisch unbestimmt)		142
5.5	Torsionsstab mit dünnwandigem geschlossenen Querschnitt (BREDTSCHE Formeln)		144
5.6	Torsionsstäbe mit dünnwandigem geschlossenen und offenen Querschnitt		146
5.7	Torsionsstab mit unterschiedlichen Querschnitten		149
6	Querkraftschub; Schubmittelpunkt		153
6.1	Schubspannungen infolge Querkraft		153
6.2	Schubspannungsverlauf infolge Querkraft, Schubmittelpunkt		157
6.3	Dünnwandiger Träger mit U-Profil		160

6.4	Schubspannungen in Verbindungsmitteln (Schweißnähte)		163
7	Knickung		165
7.1	EULER-Fall 2; Belastbarkeitsrechnung (kreuzförmiger Querschnitt)		165
7.2	EULER-Fall 1; Entwurfsrechnung (Rohrquerschnitt)		167
7.3	EULER-Fall 2; Belastbarkeitsrechnung (Winkelstahl)		168
7.4	Vergleich der Knicksicherheiten zweier Fachwerke		171
7.5	Grundfall 2; Belastbarkeitsrechnung (Rechteckquerschnitt); TETMAJER und EULER		173
7.6	Grundfall 1; Entwurfsrechnung (Ellipsenquerschnitt); EULER und TETMAJER		175
7.7	Druckstab mit 4 verschiedenen Querschnitten gleichen Flächeninhalts; EULER		178
8	Anwendungen aus der Elastostatik		181
8.1	Anwendungen aus den Gebieten: Zug, Druck, Biegung, Knickung. Statisch unbestimmtes System		181
8.2	Auf Zug, Biegung und Torsion belastetes Rohr; MOHRscher Spannungskreis		185

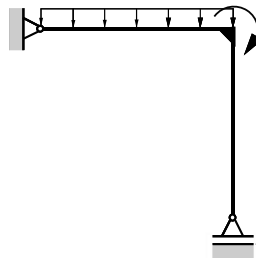
8.3 Auf Biegung und Torsion belasteter abgewinkelter Träger; Verschiebungen		188
8.4 Dimensionierung einer Welle (Gestaltänderungsenergiehypothese)		190
8.5 Auf Druck, Biegung und Torsion belastete Säule; Vergleichsspannung nach der Gestaltänderungsenergiehypothese		192
8.6 Auf Innendruck und Torsion belastetes dünnwandiges, geschlossenes Rohr; Kesselformeln; Vergleichsspannung nach der Gestaltänderungsenergiehypothese		194
8.7 Auf Biegung und Torsion beanspruchter Stab; Vergleichsspannung nach der Gestaltänderungsenergiehypothese		196
8.8 Auf Biegung und Torsion beanspruchte Blattfeder; Durchsenkung; Vergleichsspannung nach der Gestaltänderungsenergiehypothese		197
8.9 Auf Biegung und Torsion beanspruchter Träger; erforderlicher Durchmesser; Vergleichsspannung nach der Gestaltänderungsenergiehypothese		199
8.10 Normalkraft, Biegung und Torsion; maximale Vergleichsspannung nach der Gestaltänderungsenergiehypothese		200
8.11 Schrumpfring auf Vollwelle; Wärmedehnung; erforderliche Temperaturerhöhung		205
8.12 Schrumpfring auf Ring; Wärmedehnung; Berührungskreisdurchmesser und Spannungen		206

9 CASTIGLIANO; MOHRsches Arbeitsintegral; Kraftgrößenverfahren 209

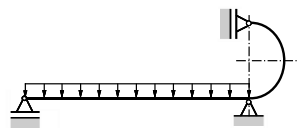
9.1 Durchbiegung und Neigungswinkel mit dem Satz von CASTIGLIANO 209



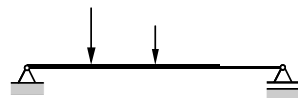
9.2 Verschiebung eines abgewinkelten Trägers mithilfe des Satzes von CASTIGLIANO 211



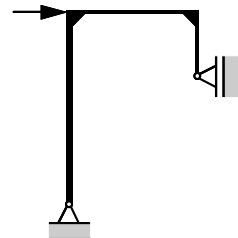
9.3 Statisch unbestimmtes System; Auflagerreaktionen mithilfe des Satzes von CASTIGLIANO 212



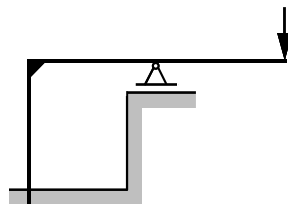
9.4 Durchbiegung mithilfe des MOHRschen Arbeitsintegrals (Arbeitssatz) 214



9.5 Verschiebung mithilfe des MOHRschen Arbeitsintegrals (Arbeitssatz) 216

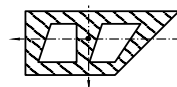


9.6 Statisch unbestimmtes System; Auflagerreaktion mithilfe des Kraftgrößenverfahrens 218

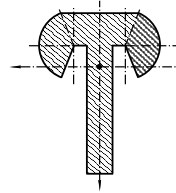


Computerunterstütztes Lösen von Aufgaben 239

Beispiel zum Programm Querq: Querschnittswerte (Schwerpunkt, Flächenträgheitsmomente) 243

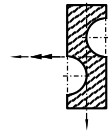


Aufgabe zum Programm Querp: Querschnittswerte (Schwerpunkt, Flächenträgheitsmomente)



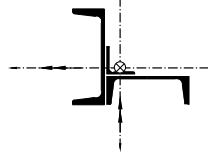
244

Beispiel zum Programm Biegno: Biegung; Querschnittswerte, Spannungs-Nulllinie und Spannungsverteilung



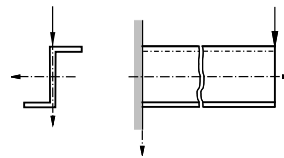
255

Aufgabe zum Programm Biegno: Biegung mit Normalkraftbeanspruchung; Querschnittswerte, Spannungs-Nulllinie und Spannungsverteilung



257

Aufgabe zum Programm Biegno: Biegung; Querschnittswerte, Spannungs-Nulllinie und Spannungsverteilung



258

1 Zug und Druck in Stäben; Dehnungen und Verschiebungen

Aufgabe 1.1

Für das Stahlförderseil einer Schachtförderanlage (Bild 1.1.1), welches durch sein Eigengewicht und die Kraft F am Seilende belastet ist, sind zu berechnen:

- 1 der metallische Querschnitt des Seiles für die zulässige Spannung σ_{zul} ,
- 2 die Verschiebung des Seilendes mit dem in Teil 1 berechneten Querschnitt (nur den vertikal hängenden Teil des Seiles berücksichtigen),
- 3 die Länge $l_{Rei\beta}$ (Reißlänge) des Seiles für die Zugfestigkeit R_m , bei der das Seil nur unter der Wirkung seines Eigengewichtes reißt. An welcher Stelle reißt das Seil?

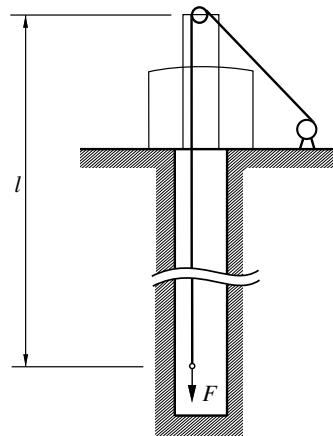


Bild 1.1.1: Schachtförderanlage mit Förderseil

Gegeben:

$$F = 110 \text{ kN}; \text{ Erdbeschleunigung } g = 9,81 \text{ m/s}^2;$$

$$\text{Dichte } \rho = 7850 \text{ kg/m}^3; l = 1150 \text{ m};$$

$$\sigma_{zul} = 200 \text{ N/mm}^2; R_m = 1600 \text{ N/mm}^2;$$

$$E = 21 \cdot 10^4 \text{ N/mm}^2$$

(Lösung erst mit allgemeinen Größen herbeiführen, dann Zahlenwerte einsetzen!)

Lösung:

- 1 Den metallischen Querschnitt des Seiles erhalten wir aus der Bedingung, dass die zulässige Normalspannung σ_{zul} nicht überschritten werden darf.

$$\sigma_{zul} = \frac{N_{\max}}{A}; \quad A = \frac{N_{\max}}{\sigma_{zul}}$$

$\sum \uparrow = 0$: (Bild 1.1.2b)

$$N(x) - F - G(x) = 0$$

$$N(x) = F + \rho g A(l - x) \tag{1.1.1}$$

Die maximale Normalkraft N_{\max} tritt bei $x = 0$ an der Stelle B (Bild 1.1.2a) im Seil auf:

$$N_{\max} = N(x = 0) = F + \rho g A l$$

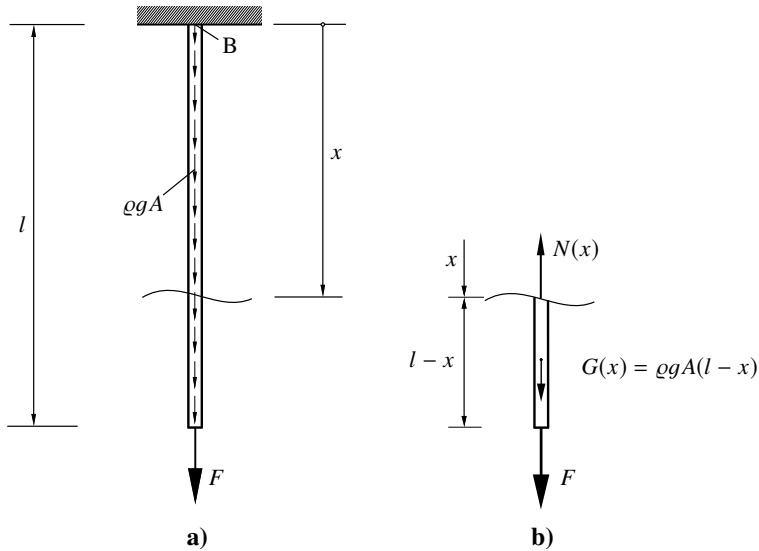


Bild 1.1.2: a) Seil durch Eigengewicht und Fremdlast F belastet;
b) Freikörperbild des abgeschnittenen unteren Seilstücks

$$A = \frac{N_{\max}}{\sigma_{\text{zul}}} = \frac{F}{\sigma_{\text{zul}}} + \frac{\rho g A l}{\sigma_{\text{zul}}}$$

Nach A aufgelöst:

$$A = \frac{F}{\underline{\underline{\sigma_{\text{zul}} - \rho g l}}}$$

Mit den Zahlenwerten ergibt sich für den metallischen Querschnitt:

$$A = \frac{110 \cdot 10^3}{200 - 7850 \cdot 9,81 \cdot 1150/10^6} \text{ mm}^2 = \underline{\underline{987 \text{ mm}^2}} \quad \text{Merke: } 1 \text{ N} = 1 \text{ kg} \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

2 Verformung eines Elements (Bild 1.1.3b):

$$\varepsilon = \frac{(dx + du) - dx}{dx} = \frac{du}{dx}$$

Elastizitätsgesetz: $\varepsilon = \frac{\sigma(x)}{E}$

Es gilt also:

$$\frac{du}{dx} = \frac{\sigma(x)}{E} \tag{1.1.2}$$

$\sigma(x)$ ergibt sich mit Gl. (1.1.1) zu:

$$\sigma(x) = \frac{N(x)}{A} = \frac{F + \rho g A(l-x)}{A}$$

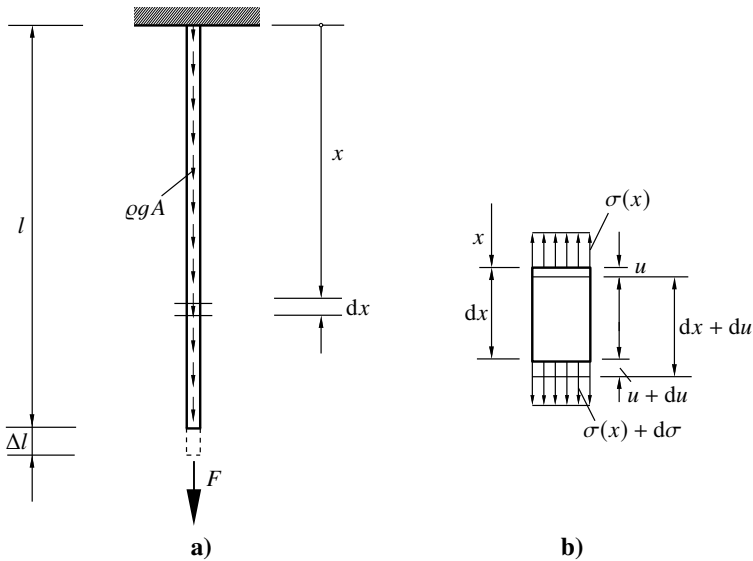


Bild 1.1.3: a) Verschiebung des Seilendes; b) Verlängerung eines herausgeschnittenen Elements

Aus Gl. (1.1.2) folgt die Verlängerung du :

$$du = \frac{1}{E} \left[\frac{F}{A} + \varrho g(l - x) \right] dx$$

Die Summe aller Verlängerungen du muss die Verschiebung Δl des Seilendes (Bild 1.1.3a) ergeben.

$$\int_{x=0}^l du = \frac{1}{E} \int_{x=0}^l \left[\frac{F}{A} + \varrho g(l - x) \right] dx$$

$$u(l) - u(0) = \frac{1}{E} \left[\frac{F}{A}x + \varrho g \left(lx - \frac{x^2}{2} \right) \right]_0^l$$

$$\Delta l = u(l) = \underline{\underline{\frac{l}{E} \left(\frac{F}{A} + \frac{1}{2} \varrho gl \right)}}$$

Dabei ist $\frac{Fl}{EA}$ der Verschiebungsanteil aus der Fremdlast F und $\frac{\varrho gl^2}{2E}$ der Verschiebungsanteil aus dem Eigengewicht.

Mit Zahlenwerten:

$$\Delta l = \frac{1150 \cdot 10^3}{21 \cdot 10^4} \left(\frac{110 \cdot 10^3}{987} + \frac{1}{2} 7850 \cdot 9,81 \cdot 1150/10^6 \right) \text{ mm}$$

$$\Delta l = 610,3 \text{ mm} + 242,5 \text{ mm} = \underline{\underline{852,8 \text{ mm}}}$$

610,3 mm ist der Verschiebungsanteil aus der Fremdlast und 242,5 mm der Verschiebungsanteil aus dem Eigengewicht.

Hinweis: Die Verlängerung Δl wurde nur mit der Dehnung des Werkstoffes ermittelt und so getan, als wäre ein Seil eine homogene Stange. In Wirklichkeit ist die Verlängerung eines Seiles wegen der Verschiebbarkeit der einzelnen Seillitzen gegeneinander größer.

3 Aus Gl. (1.1.1) erkennen wir, dass die maximale Normalkraft an der Stelle $x = 0$ am Aufhängepunkt B (Bild 1.1.2a) auftritt. Folgedessen zerreißt das Seil bei Erreichen der Zugfestigkeit R_m an der Stelle B.

Mit $F = 0$ und $x = 0$ folgt aus Gl. (1.1.1):

$$N_{\max \text{ Eig}} = \rho g A l$$

Die Reißlänge, das ist diejenige Länge, bei der lediglich infolge des Eigengewichts der Bruch am oberen Aufhängepunkt (Stelle B, Bild 1.1.2a) eintreten würde, erhalten wir aus der folgenden Gleichung:

$$R_m = \frac{N_{\max \text{ Eig}}}{A} = \frac{\rho g A l_{\text{Reiß}}}{A} \quad (\text{Die Querschnittsfläche } A \text{ verliert ihren Einfluss.})$$

Reißlänge:

$$l_{\text{Reiß}} = \frac{R_m}{\rho g}$$

Mit Zahlenwerten:

$$l_{\text{Reiß}} = \frac{1600}{7850 \cdot 9,81 \cdot 10^{-9}} \text{ mm} = 20,777 \cdot 10^6 \text{ mm} = \underline{\underline{20,777 \text{ km}}}$$

Aufgabe 1.2

Ein starrer Balken ist an zwei parallelen Stäben aufgehängt und mit einer Kraft F belastet (Bild 1.2.1). Die beiden Stäbe sind aus unterschiedlichem Material (E_1 und E_2) gefertigt und haben den gleichen Querschnitt A .

- 1 In welchem Abstand e von der Mitte aus muss die Kraft F angreifen, damit der starre Balken in horizontaler Lage hängt?
- 2 Wie groß sind dann die Spannungen in den Stäben?

(Anmerkung: Annahme $E_1 > E_2$).

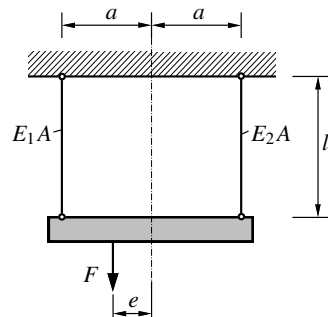


Bild 1.2.1: Starrer Balken, aufgehängt an zwei Stäben aus unterschiedlichem Material