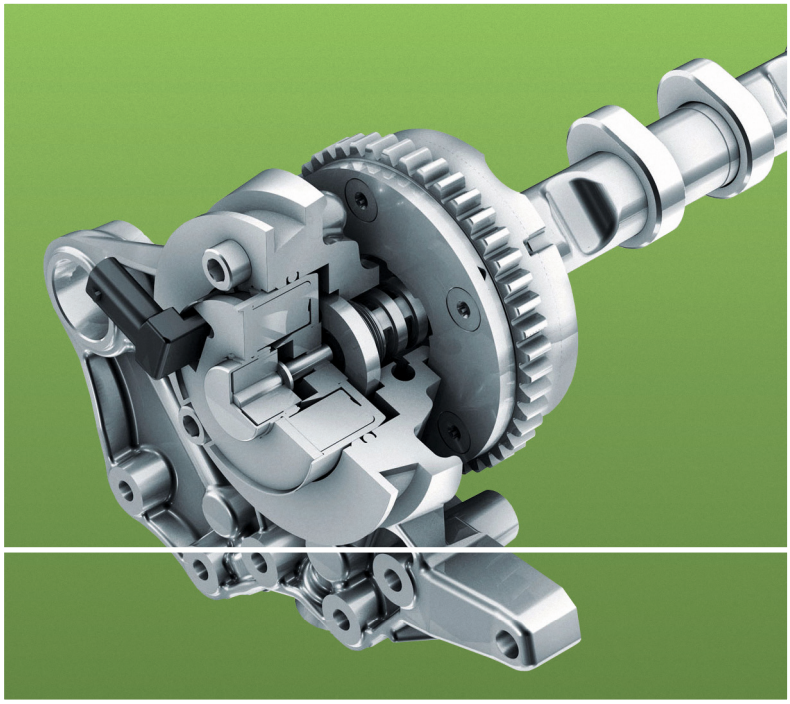
Decker

Maschinen-elemente

Aufgaben



17., überarbeitete Auflage

HANSER

Decker
Maschinenelemente
Aufgaben

Ihr Plus – digitale Zusatzinhalte!

Auf unserem Download-Portal finden Sie zu diesem Titel kostenloses Zusatzmaterial. Geben Sie dazu einfach diesen Code ein:

plus-H3NLQ-4GsJR

plus.hanser-fachbuch.de

Bleiben Sie auf dem Laufenden!

Hanser Newsletter informieren Sie regelmäßig über neue Bücher und Termine aus den verschiedenen Bereichen der Technik. Profitieren Sie auch von Gewinnspielen und exklusiven Leseproben. Gleich anmelden unter

www.hanser-fachbuch.de/newsletter

MDESIGN
WISSEN FÜR DIE TECHNIK

Jetzt kostenlos downloaden

MDESIGN
DECKER EDITION

Die ultimative Berechnungssoftware zum Buch

- Maschinenelemente optimal berechnen und auslegen
- Inklusive Zugang zur Werkstoffdatenbank und interaktiver Formelsammlung
- Hilfesysteme zum schnellen Verständnis
- Automatisierte Dokumentation
- Kostenlos für Studierende

Mehr Infos und Download unter mdesign.de/decker

Decker
Maschinenelemente

Aufgaben

Bearbeitet von Frank Rieg, Frank Weidermann, Gerhard Engelken,
Reinhard Hackenschmidt, Bettina Alber-Laukant und Stephan Tremmel

17., überarbeitete Auflage

HANSER

Die Autoren:
Studiendirektor Karl-Heinz Decker (†), Berlin
Studiendirektor Dipl.-Ing. Karlheinz Kabus (†), Berlin

Die Bearbeiter:
Prof. Dr.-Ing. Frank Rieg, Universität Bayreuth, Federführender Bearbeiter (Abschnitt 3.1, Abschnitt 3.3, Kapitel 4, Kapitel 15 bis 17, Kapitel 19, Kapitel 20)
Prof. Dr.-Ing. Frank Weidermann, Hochschule Mittweida (Abschnitt 1.4, Abschnitt 3.2, Kapitel 21 bis 24)
Prof. Dr.-Ing. Gerhard Engelken, Hochschule RheinMain (Abschnitt 1.1 bis 1.3, Kapitel 18, Kapitel 25 bis 30)
Dipl.-Wirtsch.-Ing. Reinhard Hackenschmidt, Universität Bayreuth (Abschnitt 1.5, Kapitel 5 bis 13, mit Ausnahme von Kapitel 9)
Dr.-Ing. Bettina Alber-Laukant, Universität Bayreuth (Kapitel 2, Kapitel 14)
Prof. Dr.-Ing. Stephan Tremmel, Universität Bayreuth (Kapitel 9)

Die Autoren der Berechnungssoftware:
Studiendirektorin Dipl.-Ing. Bettina Baumgart, Staatliche Technikerschule Berlin
Studiendirektor Dipl.-Ing. Bernd Kretschmer, Staatliche Technikerschule Berlin
Studiendirektor Dr.-Ing. Peter Möhler, Staatliche Technikerschule Berlin
Prof. Dr.-Ing. Frank Rieg, Universität Bayreuth

Alle in diesem Werk enthaltenen Informationen, Verfahren und Darstellungen wurden zum Zeitpunkt der Veröffentlichung nach bestem Wissen zusammengestellt. Dennoch sind Fehler nicht ganz auszuschließen. Aus diesem Grund sind die im vorliegenden Werk enthaltenen Informationen für Autor:innen, Herausgeber:innen und Verlag mit keiner Verpflichtung oder Garantie irgendeiner Art verbunden. Autor:innen, Herausgeber:innen und Verlag übernehmen infolgedessen keine Verantwortung und werden keine daraus folgende oder sonstige Haftung übernehmen, die auf irgendeine Weise aus der Benutzung dieser Informationen – oder Teilen davon – entsteht. Ebenso wenig übernehmen Autor:innen, Herausgeber:innen und Verlag die Gewähr dafür, dass die beschriebenen Verfahren usw. frei von Schutzrechten Dritter sind. Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt also auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benützt werden dürften.

Die endgültige Entscheidung über die Eignung der Informationen für die vorgesehene Verwendung in einer bestimmten Anwendung liegt in der alleinigen Verantwortung des Nutzers.

Bibliografische Information der deutschen Nationalbibliothek:
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet unter *http://dnb.d-nb.de* abrufbar.

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt.
Alle Rechte, auch die der Übersetzung, des Nachdruckes und der Vervielfältigung des Werkes, oder Teilen daraus, vorbehalten. Kein Teil des Werkes darf ohne schriftliche Einwilligung des Verlages in irgendeiner Form (Fotokopie, Mikrofilm oder einem anderen Verfahren), auch nicht für Zwecke der Unterrichtsgestaltung – mit Ausnahme der in den §§ 53, 54 UrhG genannten Sonderfälle –, reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

© 2024 Carl Hanser Verlag München
www.hanser-fachbuch.de
Lektorat: Julia Stepp
Herstellung: Melanie Zinsler
Titelmotiv: © Schaeffler Technologies AG & Co. KG
Coverkonzept: Marc Müller-Bremer, *www.rebranding.de*, München
Coverrealisation: Max Kostopoulos
Satz: Eberl & Koesel Studio, Kempten
Druck und Bindung: UAB BALTO print, Vilnius (Litauen)

Print-ISBN: 978-3-446-47332-4
E-Book-ISBN: 978-3-446-47449-9

Inhalt

Vorwort ... **VIII**

Hinweise zur Benutzung des Buches ... **IX**

1 Konstruktionstechnik ... **1**
Normzahlen und Normmaße ... 1
Toleranzen und Passungen ... 3

3 Festigkeitsberechnungen ... **8**

4 Schmelzschweißverbindungen ... **11**

5 Pressschweißverbindungen ... **31**
Punktschweißverbindungen ... 31
Buckelschweißverbindungen ... 37

6 Lötverbindungen ... **40**

7 Klebverbindungen ... **45**

8 Nietverbindungen ... **51**
Maschinen- und Gerätebau ... 51
Leichtmetallbau ... 58

9 Reibschlüssige Welle-Nabe-Verbindungen ... **60**
Zylindrische Pressverbände ... 60
Spannelementverbindungen ... 68
Klemmverbindungen ... 74

10 Befestigungsschrauben ... **78**
Längsbeanspruchte Befestigungsschrauben ... 78
Überschlagsberechnungen ... 89
Querbeanspruchte Befestigungsschrauben ... 93

11 Bewegungsschrauben ... **103**

12 Formschlüssige Welle-Nabe-Verbindungen ... **109**
Längskeilverbindungen ... 109
Passfederverbindungen ... 112
Keilwellenverbindungen ... 114
Zahnwellen-Verbindungen ... 117
Polygonwellenverbindungen ... 119
Kegelverbindungen ... 121
Stirnzahnverbindungen ... 124

13 Stift- und Bolzenverbindungen ... 127
Gelenkstifte und Bolzen ... 127
Steckstifte unter Biegekraft ... 131
Querstifte unter Drehmoment ... 134
Längsstifte unter Drehmoment ... 137

14 Federn ... 139
Zylindrische Schraubendruck- und -zugfedern ... 139
Tellerfedern ... 152
Gewundene Schenkelfedern ... 160
Drehstabfedern ... 165
Spiralfedern ... 167
Blattfedern ... 168
Gummifedern ... 173

15 Achsen und Wellen ... 177
Kräfte-, Momenten- und Überschlagsberechnung ... 177
Achsen und Wellen gleicher Biegebeanspruchung ... 194
Berechnung auf Gestaltfestigkeit ... 196
Durchbiegung ... 206
Verdrehwinkel ... 210
Kritische Drehzahlen ... 213

17 Gleitlager ... 217
Berechnung von Radiallagern ... 217
Berechnung hydrodynamischer Radiallager ... 223
Berechnung von Axiallagern ... 229

18 Wälzlager ... 235
Rillenkugellager ... 235
Axial-Rillenkugellager ... 242
Zylinderrollen- und Nadellager ... 245
Schrägkugellager und Kegelrollenlager ... 251
Pendelkugellager und Pendelrollenlager ... 256

20 Wellenkupplungen und -bremsen ... 259

21 Grundlagen für Zahnräder und Getriebe ... 276
Evolventenverzahnung ... 276

22 Abmessungen und Geometrie der Stirn- und Kegelräder ... 284
Stirnradpaare ... 284
Kegelradpaare ... 296

23 Gestaltung und Tragfähigkeit der Stirn- und Kegelräder ... 304
Zahnkräfte, Wirkungsgrad, Übersetzungen ... 304
Stirnräder ... 304
Kegelräder ... 310
Gestaltung von Zahnrädern aus Stahl und aus Gusseisen ... 313
Schmierung, Schmierstoffe ... 318
Berechnung auf Zahnfuß- und Grübchentragfähigkeit ... 321
Stirnräder ... 321
Kegelräder ... 333
Vollständige Berechnung von Radpaaren aus Stahl ... 337
Stirnradpaare ... 337
Kegelradpaare ... 352
Zahnräder aus thermoplastischen Kunststoffen ... 355

24 Zahnradpaare mit sich kreuzenden Achsen ... 365
Schraub-Stirnradpaare ... 365
Schneckenradsätze ... 369

25 Kettentriebe ... 378

26 Flachriementriebe ... 386
Riemenscheiben ... 386
Geometrie der Flachriementriebe ... 389
Berechnung von Antrieben mit Leder- und Geweberiemen ... 390
Berechnung von Antrieben mit Mehrschichtriemen ... 394
Berechnung von Spannrollentrieben ... 397

27 Keilriementriebe ... 402

28 Synchron- oder Zahnriementriebe ... 413
Antriebe mit Synchroflex-Zahnriemen ... 413
Antriebe mit Power Grip HTD-Zahnriemen ... 416

29 Rohrleitungen ... 418

Der Verlag und die Autoren haben sich mit der Problematik einer gendergerechten Sprache intensiv beschäftigt. Um eine optimale Lesbarkeit und Verständlichkeit sicherzustellen, wird in diesem Werk auf Gendersternchen und sonstige Varianten verzichtet; diese Entscheidung basiert auf der Empfehlung des Rates für deutsche Rechtschreibung. Grundsätzlich respektieren der Verlag und die Autoren alle Menschen unabhängig von ihrem Geschlecht, ihrer Sexualität, ihrer Hautfarbe, ihrer Herkunft und ihrer nationalen Zugehörigkeit.

Vorwort

Decker *Maschinenelemente* – *Aufgaben* ist eine Ergänzung zum ebenfalls im Carl Hanser Verlag erschienenen Lehrbuchklassiker **Decker *Maschinenelemente***. Die vorliegende 17. Auflage ist umfassend auf die 21. Auflage des Lehrbuchs (ISBN 978-3-446-47230-3) abgestimmt. Mit dieser Aufgabensammlung zum Berechnen von Maschinenelementen kommen die Verfasser einem Bedürfnis technischer Fachschulen, Fachhochschulen und Universitäten nach. Das Buch wird sowohl von Dozenten und Studierenden als auch von Ingenieuren und Technikern im Berufsleben geschätzt.

Dieses Aufgabenbuch soll die praktische Anwendung der Theorie vermitteln und mit den üblichen Lösungsgängen bei der Berechnung von Maschinenelementen vertraut machen. In der Regel werden für eine Konstruktionsaufgabe verschiedene Lösungen erwogen, von denen dann die wirtschaftlichste ausgewählt wird. Derartige Untersuchungen konnten im Rahmen dieses Buches naturgemäß nicht vorgesehen werden, und es sei deshalb hervorgehoben, dass es keine grundsätzliche Gebrauchsanweisung für den Einsatz bestimmter Maschinenelemente sein kann, sondern eher ein Wegweiser, um das Verständnis für technische Berechnungen zu vertiefen.

Darüber hinaus ist die Aufgabensammlung zur Intensivierung und Rationalisierung des Unterrichts an den maschinenbautechnischen Bildungseinrichtungen gedacht. Das gilt insbesondere in Verbindung mit den über 100 Excel-Berechnungsprogrammen und zahlreichen Videos, die unter *plus.hanser-fachbuch.de* als ergänzende Arbeitsmaterialien angeboten werden. Mit den Berechnungsprogrammen lassen sich viele der Aufgaben in diesem Buch in kurzer Zeit durchrechnen. Excel-Icons ⊠ im Buch zeigen an, für welche Aufgaben Berechnungsprogramme bereitstehen. Hinzu kommen die Berechnungstools der BayMP (Bayreuther Maschinenelemente-Programme), die kostenlos unter *www.baymp.de* erhältlich sind.

Neben den Aufgabenstellungen, zu deren Verständnis zahlreiche Zeichnungen als Berechnungsskizzen beitragen, enthält das Buch die Ergebnisse (gegebenenfalls auch Zwischenergebnisse) der Berechnungen und die verwendeten Tabellenwerte. Anschließend werden Erläuterungen und Hinweise zum Lösungsweg jeder Aufgabe gegeben. Ein separates Lösungsbuch wird somit überflüssig, da jede Lösung nach der gegebenen Anleitung sicher nachvollzogen werden kann. Damit wird Studienanfängern und Praktikern, die nur hin und wieder bestimmte Maschinenelemente zu berechnen haben, eine Möglichkeit zur schnellen Einarbeitung angeboten. Selbstverständlich führen in vielen Fällen auch andere Lösungswege zu einem richtigen Ergebnis.

Der Verlag und die Verfasser hoffen, dass auch diese Auflage des Buches den Dozenten, den in der Ausbildung Stehenden und den in der Praxis Tätigen eine wertvolle Hilfe sein wird. An dieser Stelle sei allen Kollegen und Benutzern der bisherigen Auflagen herzlich gedankt, die durch Zuschriften zur Verbesserung beigetragen haben. Sollten sich trotz intensiver Bemühungen um Korrektheit einige Fehler eingeschlichen haben, so wird um Nachsicht gebeten. Hinweise und Anregungen werden stets dankbar entgegengenommen.

Frank Rieg
Frank Weidermann
Gerhard Engelken
Reinhard Hackenschmidt
Bettina Alber-Laukant
Stephan Tremmel

Hinweise zur Benutzung des Buches

Decker *Maschinenelemente* – *Aufgaben* entsprechen in ihrer Gliederung, den Bezeichnungen der Maschinenelemente und deren Berechnungsweise vollkommen dem in 21. Auflage vorliegenden Lehrbuch **Decker *Maschinenelemente*** (ISBN 978-3-446-47230-3). Sie stellen also eine Ergänzung des genannten Werkes dar. Alle Gleichungen und Tabellen sind im Hauptwerk zu finden. Ferner beziehen sich auch alle Hinweise auf Bilder oder Kapitel, die durch ein vorangestelltes „ME“ gekennzeichnet sind, auf das Hauptwerk.

Jeder Abschnitt beginnt in der Regel mit relativ einfachen Einführungsaufgaben, deren Lösungsgang sich an die Beispiele im Hauptwerk anlehnt. Das Erkennen des Lösungsganges wird durch die gegliederte Fragestellung erleichtert. Danach folgen Aufgaben zunehmenden Schwierigkeitsgrades, die auf Fragestellungen nach Zwischenergebnissen verzichten. Bei den in den Aufgaben eingesetzten Abbildungen handelt es sich nicht um Konstruktionszeichnungen, sondern um Berechnungsskizzen, die in Anlehnung an die Normen für technische Zeichnungen angefertigt wurden. Die Abbildungen dienen dazu, das Verständnis der Ergebnisse und Lösungswege zu erleichtern.

Für Kapitel 2 (Werkstoffe), Kapitel 16 (Tribologie: Reibung, Schmierung und Verschleiß), Kapitel 19 (Lager- und Wellendichtungen) sowie Kapitel 30 (Armaturen) aus dem Hauptwerk wurden keine speziellen Aufgabenstellungen erarbeitet. Problemstellungen aus diesen Gebieten sind an geeigneter Stelle in die Aufgaben anderer Kapitel einbezogen.

Die Richtigkeit der vom Leser ausgeführten Berechnungen kann anhand der Ergebnisse und Zwischenergebnisse (in Klammern angegeben) kontrolliert werden. Die Ergebnisse sind im Allgemeinen sinnvoll gerundet, falls nicht besonders genaue Abmessungen errechnet werden müssen, wie bei Kettenrädern, Zahnrädern und Zahnriemen. Es ist wenig sinnvoll, ein auf mehrere Stellen genaues Rechenergebnis anzustreben, wenn der Rechnungsansatz und die als zulässig angegebenen Beanspruchungen nur eine für die Praxis ausreichende Näherung darstellen. Innerhalb der Berechnungen wurde jeweils mit den angegebenen Zwischenergebnissen weitergerechnet. Diese Werte wurden immer neu in den elektronischen Rechner eingegeben. Beim Weiterrechnen mit den vom Rechner angezeigten ungerundeten Werten ergeben sich teilweise geringfügig von den angegebenen Werten abweichende Endergebnisse. Das ist insbesondere beim Anwenden der Zusatzmaterialien zum Buch zu beachten, wo stets mit den ungerundeten Zwischenergebnissen gerechnet wird.

Unter *plus.hanser-fachbuch.de* stehen über 100 Excel-Berechnungsprogramme und zahlreiche Videos als ergänzende Arbeitsmaterialien bereit. Hinzu kommt das Programmpaket BayMP (Bayreuther Maschinenelemente-Programme). Die kostenlos unter *www.baymp.de* erhältlichen Programme ermöglichen die Auslegung wichtiger Maschinenelemente (Wellen, Lager, Federn, Getriebe, Kupplungen usw.) – sei es online, computergestützt unter Windows, Linux bzw. macOS oder auf verschiedenen wissenschaftlichen Taschenrechnern.

Die Nutzung der Berechnungssoftware **MDESIGN Student**, die kostenfrei unter *https://mdesign.de/decker* bezogen werden kann, ermöglicht es Studierenden und Auszubildenden, als zukünftige Mitarbeiter in Konstruktion und Entwicklung professionelle Werkzeuge für die Auslegung und Berechnung von Maschinenelementen kennenzulernen und zu nutzen.

1 Konstruktionstechnik

Normzahlen und Normmaße

Aufgabe 1.1

Die Gehäusehöhen einer Schaltgeräte-Baureihe sind von 50 bis 500 mm nach der abgeleiteten Normzahlreihe R 2/5 gestuft. Es sind der Stufensprung q und die Höhen h aller Gehäuse der Baureihe anzugeben.

Ergebnis:

q = 1,78 (= $10^{5/20}$), $h = 50 \quad 90 \quad 160 \quad 280 \quad 500\,\text{mm}$

Lösungsweg:

Für R 20/5 ist $q = q_{20}^{5}$.

Aufgabe 1.2

Für die nachfolgend dargestellten Normzahlreihen sind das Reihenkurzzeichen nach DIN 323 anzugeben und der Stufensprung q zu bestimmen:

1. 1 1,4 2 2,8 4

2. 1,25 2,5 5 10 20

3. 120 180 260 400 600

Ergebnis:

1. R 20/3, q = 1,4 (= $1{,}12^3$, p = 3)

2. R 10/3(… 1,25 …), q = 2 (= $1{,}25^3$)

3. R′40/7(… 120 …), $q \approx 1{,}5$ ($\approx 1{,}06^7$, p = 7)

Lösungsweg:

Bestimmen des Kurzzeichens durch Aufsuchen der Zahlen in Tabelle 1.1 und Feststellen der Steigerung p, d. h. der Anzahl der Stufen in der Grundreihe zwischen zwei Zahlen der gegebenen Reihe. Bei Reihen, die nicht mit der Zahl 1 beginnen, wird eine Zahl der Reihe in Klammern angegeben.

Aufgabe 1.3

Für eine Typenreihe von Bremsen sind die Durchmesser D nach der Normzahlreihe R 10 von 50 bis 400 mm und die Stufung der zugehörigen Bremsmomente T_b festzulegen, wenn für die erste Baugröße der Reihe das Verhältnis D/T_b = 50 mm/Nm betragen soll. Es sind folgende Stufungen zu ermitteln:

1. die Stufung der Durchmesser D

2. die Stufung der Bremsmomente T_b mit Angaben der Normzahlreihe

3. die Stufung und die Normzahlreihe für das Verhältnis D/T_b

Ergebnis:

1. $D = 50\ \ 63\ \ 80\ \ 100\ \ 125\ \ 160\ \ 200\ \ 250\ \ 320\ \ 400\,\text{mm}$

2. $T_b = 1\ \ 2\ \ 4\ \ 8\ \ 16\ \ 32\ \ 63\ \ 125\ \ 250\ \ 500\,\text{Nm, R10/3}$

3. $\frac{D}{T_b} = 50\ \ 31{,}5\ \ 20\ \ 12{,}5\ \ 8\ \ 5\ \ 3{,}15\ \ 2\ \ 1{,}25\ \ 0{,}8\,\frac{\text{mm}}{\text{Nm}}\text{, R10/2(...0,8)}$

Lösungsweg:

1. Nach Tabelle 1.1; Werte der Reihe R 10 mit 10 bzw. 100 malnehmen. **2.** Sinngemäß wie Beispiel 1.1 in ME, jedoch Ermittlung der Reihe für T_b ausgehend von $q = T_{b2}/T_{b1} = (D_2/D_1)^3 = q_{10}^3$ und mit $T_{b1} = D_1/(D/T_b)$. **3.** Nach Aufstellen der mit 50 mm/Nm beginnenden Reihe Ermittlung des Reihenkurzzeichens (Tabelle 1.1) mit Angabe der Reihenanfangs- oder -endgliedes in Klammern, da die Reihe nicht bei 1 beginnt (vgl. Aufgabe 1.2).

Aufgabe 1.4

In einer Getriebe-Baureihe mit 6 Baugrößen sollen die Drehmomente der Abtriebswelle nach der abgeleiteten Normzahlreihe R 10/3 zunehmend und die Drehzahlen nach R 10 abnehmend gestuft sein. Die kleinste Baugröße hat das Drehmoment 100 Nm und die Drehzahl 500 min^{-1}. Es sind folgende Stufungen zu ermitteln:

1. die Stufung der Drehmomente T in Nm

2. die Stufung der Drehzahlen n in min^{-1}

Ergebnis:

1. $T = 100\ \ 200\ \ 400\ \ 800\ \ 1600\ \ 3200\,\text{Nm}$

2. $n = 500\ \ 400\ \ 315\ \ 250\ \ 200\ \ 160\,\text{min}^{-1}$

Lösungsweg:

1. und **2.** Werte aus Tabelle 1.1 entsprechend multiplizieren

Aufgabe 1.5

Eine Typenreihe zylindrischer Druckbehälter (Bild 1.1) für einen größten Überdruck p = 25 bar soll 5 Baugrößen enthalten, bei denen das Volumen eines Behälters jeweils etwa das Doppelte des nächstkleineren beträgt. Die kleinste Größe Nr. 1 soll ein Nennvolumen von 0,1 m^3 haben. Es sind die Nennvolumen V in m^3, die Außendurchmesser D_a in mm, die Außenlängen L_a in mm und die Wanddicken s in mm nach Normzahlreihen festzulegen, wobei das Verhältnis L_a/D_a = 2 betragen und eine zulässige Spannung $\sigma_{zul} \approx 125\ \text{N/mm}^2$ zugrunde gelegt werden soll. Hierbei ist näherungsweise als Nennvolumen $V \approx \left(D_a^2 \cdot \pi/4\right) \cdot L_a$ zu setzen. Die Wanddicke ist nach der Näherungsgleichung $s \approx 0{,}5 D_a \cdot p/\sigma_{zul}$ zu errechnen. Die Krempenrundungen mit dem Radius r sind zu vernachlässigen. Um Normmaße für D_a und L_a anwenden zu können, dürfen die tatsächlichen Volumen bis ±8 % von den Nennvolumen abweichen. Die Blechdicken sind auf volle oder 0,5 mm aufzurunden. In einer tabellarischen Zusammenstellung sind V, D_a, L_a und s sowie das Kurzzeichen der jeweils zutreffenden Normzahlreihe anzugeben. Außerdem ist bei jeder Behältergröße die Abweichung ΔV in % vom Nennvolumen V einzutragen.

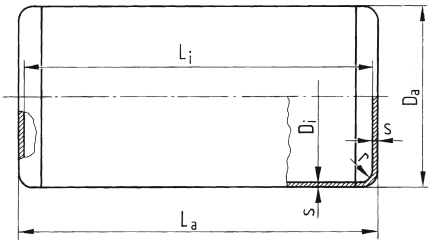


Bild 1.1
Maßbild eines Druckbehälters

Ergebnis:

Baugröße Nr.	$\frac{V}{m^3}$	$\frac{D_a}{mm}$	$\frac{L_a}{mm}$	$\frac{s}{mm}$	$\frac{\Delta V}{\%}$
1	0,1	400	800	4	–4,4
2	0,2	500	1000	5	–6,7
3	0,4	630	1250	6,5*)	–7,5
4	0,8	800	1600	8	–4,4
5	1,6	1000	2000	10	–6,7
NZ	R 10/3	R 10	R 10	R 10	

*) aufgerundet (der Normzahlwert ist 6,3)

Lösungsweg:

Es gilt: 1 bar = 0,1 N/mm². Aus der angegebenen Gleichung folgt damit $s \approx 0{,}01 D_a$. Volumenabweichung $\Delta V = V - V_i$ mit $V_i = L_i \cdot D_i^2 \cdot \pi/4$, damit ΔV in % = $(\Delta V/V) \cdot 100\,\%$.

Toleranzen und Passungen

Aufgabe 1.6

Für den Nennmaßbereich über 400 bis 500 mm ist die Grundtoleranz des Toleranzgrades 10 zu ermitteln und mit dem Normwert (Tabelle 1.2) zu vergleichen.

Ergebnis:

T_{10} = 250 µm entsprechend Tabelle 1.2 (errechnet: $64i$ = 248,8 µm)

Lösungsweg:

Wie Beispiel 1.2 in ME

Aufgabe 1.7

Es ist die Grundtoleranz des Toleranzgrades 8 für den Nennmaßbereich über 800 bis 900 mm zu errechnen.

Ergebnis:

T_8 = 140 µm (errechnet: $25I$ = 137,4 µm)

Lösungsweg:

Wie Aufgabe 1.6, jedoch mit Formel 1.2 für $N > 500$ mm

Aufgabe 1.8

Für folgende tolerierte Maße sind die Abmaße zu bestimmen: 16 m6, 30 x8, 80 h9, 200 c11, 24 G7, 120 F8, 210 E9, 320 R6, 12 ZA7.

Ergebnis:

$16\,\mathrm{m6} = 16^{+0{,}018}_{+0{,}007}\,\mathrm{mm}$, $30\times 8 = 30^{+0{,}097}_{+0{,}064}\,\mathrm{mm}$, $80\ \mathrm{h9} = 80^{0}_{-0{,}074}\,\mathrm{mm}$, $200\ \mathrm{c11} = 200^{-0{,}240}_{-0{,}530}\,\mathrm{mm}$,

$24\ \mathrm{G7} = 24^{+0.028}_{+0{,}007}\,\mathrm{mm}$, $120\ \mathrm{F8} = 120^{+0.090}_{+0{,}036}\,\mathrm{mm}$, $210\ \mathrm{E9} = 210^{+0{,}215}_{+0{,}100}\,\mathrm{mm}$, $320\ \mathrm{R6} = 320^{-0.097}_{-0{,}133}\,\mathrm{mm}$,

$12\ \mathrm{ZA7} = 12^{-0{,}057}_{-0{,}075}\,\mathrm{mm}$

Lösungsweg:

Sinngemäß wie Beispiel 1.3 in ME

Aufgabe 1.9 ☒

Es sind das Höchstspiel S_g, das Mindestspiel S_k und die Passtoleranz T_p folgender Passungen zu ermitteln:

1. Bohrung $85^{+0{,}2}_{0}\,\mathrm{mm}$ mit Welle $85^{-0{,}05}_{-0{,}2}\,\mathrm{mm}$
2. Bohrung $120^{+0{,}25}_{+0{,}1}\,\mathrm{mm}$ mit Welle $120^{0}_{-0{,}12}\,\mathrm{mm}$

Ergebnis:

1. S_g = 400 µm, S_k = 50 µm, T_p = 350 µm
2. S_g = 370 µm, S_k = 100 µm, T_p = 270 µm

Lösungsweg:

Sinngemäß wie Beispiel 1.4 in ME

Aufgabe 1.10 ☒

Für die Passungen 60 H8/f7, 20 H7/k6 und 180 S7/h6 sind zu ermitteln:

1. das Passsystem (EB oder EW)
2. Höchst- und Mindestspiel S_g und S_k oder Höchst- und Mindestübermaß U_g und U_k sowie die Passtoleranz T_p
3. Handelt es sich bei diesen Passungen jeweils um eine Spiel-, Übergangs- oder Übermaßpassung?

Ergebnis:

60 H8/f7: **1.** EB, **2.** S_g = 106 µm, S_k = 30 µm, T_p = 76 µm, **3.** Spielpassung

20 H7/k6: **1.** EB, **2.** S_g = 19 µm, U_g = 15 µm, T_p = 34 µm, **3.** Übergangspassung

180 S7/h6: **1.** EW, **2.** U_g = 133 µm, U_k = 68 µm, T_p = 65 µm, **3.** Übermaßpassung

Lösungsweg:

1. Nach Abschnitt 1.2, Absatz „Passungsarten und Passungssystem“, in ME. **2.** Wie Beispiel 1.5, Beispiel 1.6 und Beispiel 1.7 in ME. **3.** Nach Abschnitt 1.2, Absatz „Passungsarten und Passungssystem“, in ME.

Aufgabe 1.11

Der Durchmesser einer Welle hat das tolerierte Maß 40 h9. Es ist das tolerierte Maß mit ISO-Toleranzkurzzeichen für eine Bohrung des Toleranzgrades 9 zu ermitteln, die mit der Welle eine Spielpassung bildet, wobei ein zulässiges Höchstspiel $S_{g\,zul}$ = 0,18 mm möglichst erreicht, aber nicht überschritten wird.

Ergebnis:

40 E9 (damit S_g = 174 µm < $S_{g\,zul}$ = 180 µm, EI = 50 µm < EI_{zul} = 56 µm, ES = 112 µm < ES_{zul} = 118 µm)

Lösungsweg:

Nach Formel 1.3 sowie Tabelle 1.2 und Tabelle 1.4 wie folgt: $T_B = T_W$ für IT 9 nach Tabelle 1.2, ei = – T_W und es = 0 bei h, $ES_{zul} = S_{g\,zul}$ + ei, $EI_{zul} = ES_{zul} - T_B$, danach Passung aus Tabelle 1.4, S_g nach Formel 1.3.

Aufgabe 1.12

Eine Bohrung mit dem tolerierten Maß 250 H7 soll mit einer Welle des Toleranzgrades 6 eine Übermaßpassung ergeben, bei der ein erforderliches Mindestübermaß $U_{k\,erf}$ = 0,09 mm nicht unterschritten wird. Es sind zu ermitteln:

1. das tolerierte Maß der Welle mit ISO-Toleranzkurzzeichen und mit Abmaßen

2. die Übermaße U_k und U_g

Ergebnis:

1. $250\ s6 = 250^{+0{,}169}_{+0{,}140}\ mm$ (ei = 140 µm > ei_{erf} = 136 µm)

2. U_k = 94 µm > 90 µm, U_g = 169 µm

Lösungsweg:

1. Sinngemäß wie Aufgabe 1.11 nach Formel 1.6 sowie Tabelle 1.2 und Tabelle 1.5. Es ist EI = 0 und ES = T_B bei H, ferner $ei_{erf} = U_{k\,erf}$ + ES (nach Formel 1.6). **2.** Nach Formel 1.6 und Formel 1.5.

Aufgabe 1.13

Die Verbindung einer Kupplungsnabe mit einer Welle von 100 mm Durchmesser soll als Pressverbindung ausgeführt werden, wobei ein Höchstübermaß von 0,15 mm zulässig und ein Mindestübermaß von 0,085 mm erforderlich ist. Die Bohrung ist im Toleranzgrad 7 und die Passung nach dem System Einheitsbohrung auszuführen. Das tolerierte Maß mit ISO-Toleranzkurzzeichen für Bohrung und Welle sowie die Übermaße U_g und U_k sind zu ermitteln.

Ergebnis:

100 H7/u6 mit U_g = 146 µm < $U_{g\ zul}$ = 150 µm und U_k = 89 µm > $U_{k\ erf}$ = 85 µm (ei = 124 µm > ei_{min} = 120 µm)

Lösungsweg:

Nach Formel 1.5 und Formel 1.6 sowie Tabelle 1.2 und Tabelle 1.5 (teilweise sinngemäß wie Aufgabe 1.12). Es müssen gewählt werden: Buchstabe für Toleranzfeldlage nach Tabelle 1.5 bei $ei \geq ei_{min} = U_{k\,erf} + ES$ und IT nach Tabelle 1.2 mit $T_W \leq T_{W\,max} = es_{max} - ei$, worin $es_{max} = U_{g\,zul} + EI$.

Aufgabe 1.14

Der Griff einer Handkurbel nach Bild 1.2 enthält eine Hülse aus Pressstoff, die auf dem Distanzrohr leicht drehbar sein soll und reichliches Axialspiel haben darf. Der Schaft der Sechskantschraube ist mit h13 und der Innendurchmesser des Rohres mit H11 toleriert. Die Rohrlänge hat ein unteres Abmaß von −0,5 mm, sein Außendurchmesser und die Länge der Pressstoffhülse sind nicht toleriert.

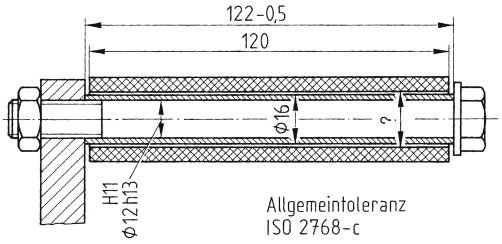


Bild 1.2
Abmessungen an einem Kurbelhandgriff

Es sind zu ermitteln:

1. das Höchst- und Mindestspiel zwischen Schraubenschaft und Rohrinnendurchmesser
2. das Höchst- und Mindestspiel zwischen Rohr- und Hülsenlänge
3. das tolerierte Maß für den Hülseninnendurchmesser mit Abmaßen, wenn das untere Abmaß EI = 0, das Mindestspiel S_k = 0,5 mm und das Höchstspiel S_g = 2 mm betragen sollen

Ergebnis:

1. S_g = 380 µm, S_k = 0
2. S_g = 2,8 mm, S_k = 0,7 mm (mit ±0,8 mm für N = 120 mm)
3. $17^{+0,5}_{0}$ mm (mit ±0,5 mm für N_w = 16 mm, G_B = 17,5 mm)

Lösungsweg:

1. und **2.** sinngemäß wie Beispiel 1.8 in ME. **3.** Aus Bild 1.3 folgen: $G_{oB} = S_g + G_{uW}$, $G_{uB} = S_k + G_{oW} = N_B$, $ES = G_{oB} - G_{uB}$.

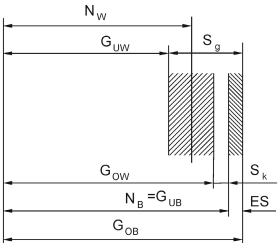


Bild 1.3
Darstellung des Höchst- und Mindestspiels

Aufgabe 1.15 ☒

Das Kettenrad einer Kettenspanneinrichtung ist entsprechend Bild 1.4 auf einem Bolzen gelagert, dessen Schaftdurchmesser das tolerierte Maß 20 h9 hat. Für die Maßeintragung sind zu ermitteln:

1. das tolerierte Maß für die Lagerbohrung, sodass reichlich Spiel vorhanden ist, sowie das Höchst- und Mindestmaß der gewählten Passung

2. das tolerierte Maß für die Bohrung im Hebel zur Aufnahme des Bolzens, wenn hier ein Haftsitz erforderlich ist, sowie Höchstspiel und -übermaß

3. eine geeignete Übermaßpassung des Systems EB für einen mittleren Presssitz zwischen Lagerbuchse und Kettenradbohrung mit dem Nennmaß 26 mm: Es sind das tolerierte Maß, das Höchst- und Mindestübermaß anzugeben.

4. das Nennmaß mit Abmaßen für die Schaftlänge L des Bolzens, wenn die Bohrungstiefe b = 15,5 mm im Hebel mit +0,2 mm und die Buchsenbreite B = 20 mm mit –0,2 mm toleriert sind und das Axialspiel S zwischen 0,1 und 0,7 mm schwanken darf

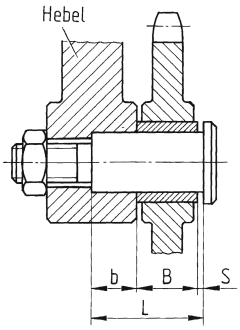


Bild 1.4
Kettenradlagerung

Ergebnis:

1. 20 E9, S_g = 144 µm, S_k = 40 µm

2. 20 K7, S_g = 58 µm, U_g = 15 µm

3. 26 H7/r6, U_g = 41 µm, U_k = 7 µm (oder 26 H7/s6, U_g = 48 µm, U_k = 14 µm)

4. $L = 36^{\,0}_{-0,2}$ mm (L_k = 35,8 mm)

Lösungsweg:

1., **2.** und **3.** nach Tabelle 1.9 und sinngemäß wie Beispiel 1.8 in ME. **4.** Es ist $L_k = S_k + B_g + b_g$, $L_g = S_g + B_k + b_k = N_L$, ei = $L_k - L_g$ und es = 0.

3 Festigkeitsberechnungen

3

Aufgabe 3.1

In Bild 3.1 ist der gefährdete Querschnitt A einer Zugstange aus Stahl E295 angegeben. Die Belastungskraft schwingt zwischen der Unterkraft F_u = 240 kN und der Oberkraft F_o = 420 kN. Es ist wie folgt ein Dauerfestigkeitsnachweis durchzuführen:

1. Berechnung der Nennspannungen σ_o, σ_u, σ_a, σ_m
2. Ermittlung der Kerbwirkungszahl β_k
3. Berechnung der Vergleichsausschlagspannung σ_{Va}
4. Ermittlung des Oberflächenfaktors b_1 und des Größeneinflusses b_2
5. Berechnung der Sicherheit S unter der Annahme, dass die nach Werkstofftabelle ertragbare Ausschlagspannung σ_a = 220 N/mm² beträgt

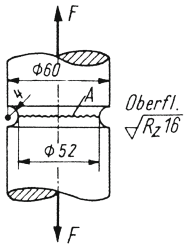


Bild 3.1
Zugstange mit Ringrille

Ergebnis:

1. σ_o = 197,8 N/mm², σ_u = 113 N/mm², σ_a = 42,4 N/mm², σ_m = 155,4 N/mm² (A = 2123,7 mm²)
2. $\beta_{kz,d}$ = 2,2 (r/d = 0,077, r/t = 1, $\alpha_{kz,d}$ = 2,41, χ = 0,5 mm^{-1}, $n_x \approx$ 1,1, R_e = 275 N/mm²)
3. σ_{Va} = 93,3 N/mm²
4. $b_1 \approx$ 0,85 (R_m = 490 N/mm²), $b_2 \approx$ 0,8
5. S = 1,6

Lösungsweg:

1. Berechnung der Spannungen unter Verwendung von Formel 3.6, Formel 3.42 und Formel 3.43
2. Ermittlung der Kerbwirkungszahl mittels Formel 3.59 durch Verwendung der Formzahl nach Tabelle 3.3. Berechnung des Spannungsgefälles nach Tabelle 15.6 und Ermittlung der Stützziffer nach Tabelle 3.4. Festigkeitskennwerte nach Tabelle 2.2
3. nach Formel 3.64
4. Oberflächenbeiwert und Größenbeiwert nach Diagramm 15.2 und Diagramm 15.3, Zugfestigkeit nach Tabelle 2.2
5. nach Formel 3.67

Aufgabe 3.2

Bild 3.2 zeigt den Ausschnitt einer Hohlwelle aus S275JR, deren Querschnitt A nur durch ein Drehmoment belastet wird, das zwischen dem Unterwert T_u = 1,6 kNm und dem maximalen Oberwert T_o = 7,0 kNm schwingt. Zu ermitteln sind:

1. die Torsionsspannungen der Nennspannungen τ_{to} und τ_{ta}
2. die Kerbwirkungszahl β_{kt} (mit α_{kt} wie bei Vollwellen)
3. Berechnung der Vergleichsausschlagspannung σ_{Va}
4. Ermittlung des Oberflächenfaktors b_1 und des Größeneinflusses b_2
5. Berechnung der Sicherheit S unter der Annahme, dass die nach Werkstofftabelle ertragbare Ausschlagspannung σ_A = 220 N/mm² beträgt

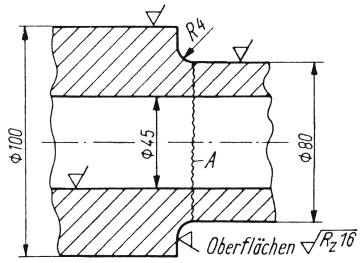


Bild 3.2
Hohlwellenausschnitt

Ergebnis:

1. τ_{to} = 75,96 N/mm² (W_t = 92148 mm³), τ_{ta} = 29,3 N/mm²
2. β_{kt} = 1,4 (r/t = 0,4, r/d = 0,05, d/D = 0,8, α_{kt} = 1,5, χ = 0,27 mm^{-1}, $n_x \approx$ 1,07, R_e = 245 N/mm²)
3. σ_{Va} = 71,05 N/mm²
4. $b_1 \approx$ 0,87 R_m = 430 N/mm²), $b_2 \approx$ 0,75
5. S = 2,02

Lösungsweg:

1. Berechnung der Spannungen unter Verwendung von Formel 3.15, Tabelle 15.2 und Formel 3.43
2. Ermittlung der dynamischen Kerbwirkungszahl mittels Formel 3.59 durch Verwendung der Formzahl nach Tabelle 3.3; Berechnung des Spannungsgefälles nach Tabelle 15.6 und Ermittlung der Stützziffer nach Tabelle 3.4; Festigkeitskennwerte nach Tabelle 2.2
3. nach Formel 3.64
4. Oberflächenbeiwert und Größenbeiwert nach Diagramm 15.2 und Diagramm 15.3; Zugfestigkeit nach Tabelle 2.2
5. nach Formel 3.67

Aufgabe 3.3

An der Riemenscheibe mit D_R = 500 mm Durchmesser nach Bild 3.3 wirken die gleichbleibenden Riemenkräfte F_1 = 5,2 kN und F_2 = 1,38 kN. Der Umschlingungswinkel beträgt β = 200°, der Lagerzapfendurchmesser D = 70 mm und der Übergangsradius r = 5 mm. Die geschmiedeten Bauteile sind aus dem Werkstoff Stahl E295. Gesucht sind:

1. die im Wellenquerschnitt A mit dem Durchmesser d = 60 mm durch die im Abstand l = 200 mm wirkende resultierende Riemenkraft F hervorgerufene Biegespannung σ_b
2. die durch das Torsionsmoment T in diesem Querschnitt erzeugte Torsionsspannung τ_t
3. die Kerbwirkungszahl β_{kb}
4. die Formzahl α_{kt}
5. die Vergleichsausschlagspannungen σ_{Va} und σ_{Vm}
6. der Oberflächenfaktor b_1 und der Größeneinfluss b_2
7. die notwendige Dauerfestigkeit σ_D bei einer Sicherheit von S = 2

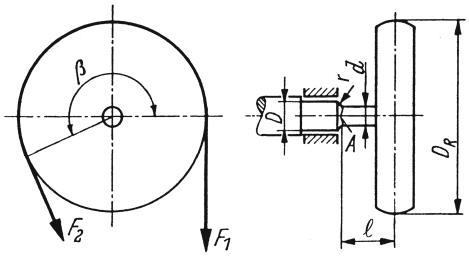


Bild 3.3
Getriebewelle mit Riemenscheibe

Ergebnis:

1. σ_b = 60,31 N/mm² (F = 6514 N, W_b = 21 600 mm³)
2. τ_t = 22,1 N/mm² (T = 955 Nm, W_t = 43 200mm³)
3. β_{kb} = 1,57 (r/t = 1, r/d = 0,083, d/D = 0,857, $\alpha_{kb} \approx 1{,}7$, χ = 0,43 mm^{-1}, $n_x \approx 1{,}08$, R_e = 275 N/mm²)
4. α_{kt} = 1,34
5. σ_{Va} = 94,69 N/mm², σ_{Vm} = 51,29 N/mm²
6. $b_1 \approx 0{,}66$ (R_m = 470 N/mm²), $b_2 \approx 0{,}78$
7. σ_D = 567,13 N/mm²

Lösungsweg:

1. Berechnung der Biegespannung unter Verwendung von Formel 3.12, Tabelle 15.2 bzw. Tabelle 3.2. Zur Bestimmung der resultierenden Riemenkraft wird der Cosinussatz benötigt
   $F = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + 2 \cdot F_1 \cdot F_2 \cdot \cos 20^\circ}$
2. Berechnung der Spannungen unter Verwendung von Formel 3.15 und Tabelle 15.2
3. Ermittlung der dynamischen Kerbwirkungszahl mittels Formel 3.59 durch Verwendung der Formzahl nach Tabelle 3.3; Berechnung des Spannungsgefälles nach Tabelle 15.6 und Ermittlung der Stützziffer nach Tabelle 3.4; Festigkeitskennwerte nach Tabelle 2.2
4. Berechnung der Formzahl nach Tabelle 3.3
5. nach Formel 3.63 und Formel 3.64
6. Oberflächenbeiwert und Größenbeiwert nach Diagramm 15.2 und Diagramm 15.3; Zugfestigkeit nach Tabelle 2.2
7. nach Formel 3.66

4 Schmelzschweißverbindungen

Aufgabe 4.1 ☒

In der Verstelleinrichtung einer Baggerschaufel befindet sich die in Bild 4.1 skizzierte Schubstange aus Baustahl S235JR. Sie hat eine wechselnd wirkende größte Kraft F = 46 kN zu übertragen. Wird die zulässige Schweißnahtspannung für die Bewertungsgruppe B überschritten?

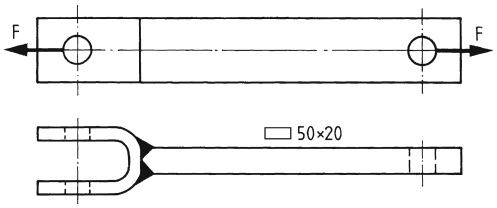


Bild 4.1
Geschweißte Schubstange

Ergebnis:

Nein, σ_w = 46 N/mm² < $\sigma_{w\,zul}$ = 55 N/mm² (A_w = 1000 mm²)

Lösungsweg:

Berechnung der DHV-Naht mit Doppelkehlnaht als Stumpfnaht mit Gegenlage

Aufgabe 4.2

Zur Aufhängung eines Elektroseilzuges sind an der in Bild 4.2 gezeigten Traverse zwei Flachstahlösen 1 und 2 angeschweißt (Werkstoff S355JO). Der Elektrozug hat ein Eigengewicht von 400 kg und ist für eine größte Last von 3 t ausgelegt. Wegen der häufigen Be- und Entlastung mit verschieden großen Lasten liegt schwellende Beanspruchung vor. Welche Länge l müssen die Schweißnähte für die Bewertungsgruppe C mindestens erhalten?

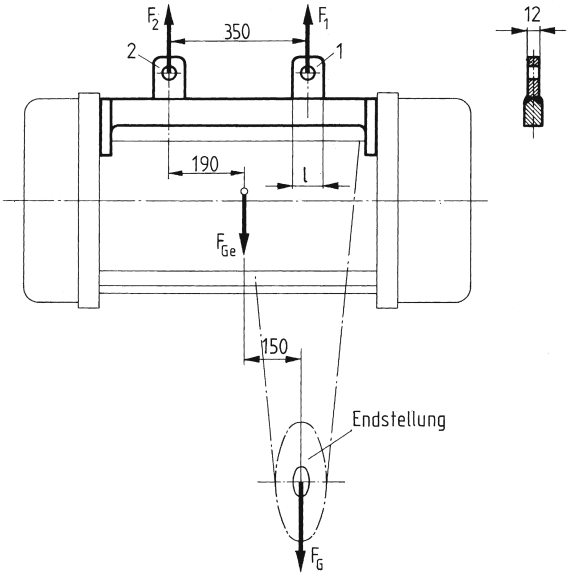


Bild 4.2
Geschweißte Ösen an einem Elektroseilzug

Ergebnis:

1. $F_1 = 30{,}72$ kN

2. $l = 24{,}4$ mm ≈ 25 mm ($\sigma_{w\,zul} = 105$ N/mm²)

Lösungsweg:

Die ungleichschenklige DV-Naht (X-Naht) wird als zugbeanspruchte Stumpfnaht mit Gegenlage berechnet. Beide Ösen stellen die Auflager eines Trägers auf zwei Stützen dar (Bild 4.3), der durch die Eigengewichtskraft $F_{Ge} = m_e \cdot g$ und die Gewichtskraft $F_G = m \cdot g$ der Last beansprucht wird. Da der Lastschwerpunkt näher an der Öse 1 liegt, wird diese stärker beansprucht als die Öse 2. Deshalb erfolgt die Berechnung nur für die Öse 1. Die Öse 2 wird wie die Öse 1 ausgeführt.

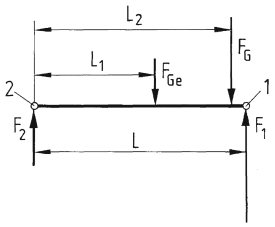


Bild 4.3
Skizze zur Berechnung der Ösenkräfte

Aufgabe 4.3 X

Der in Bild 4.4 dargestellte Kopf einer Kranbremsen-Zugstange wird mit der Kraft $F = 12$ kN schwellend beansprucht (Werkstoff S235JR).

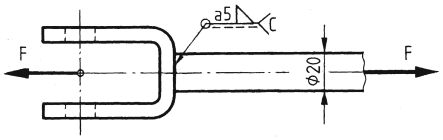


Bild 4.4
Geschweißter Zugstangenkopf

1. Ist die Schweißnaht ausreichend bemessen?

2. Genügt der Bauteil-Anschlussquerschnitt den Anforderungen?

3. Würde ggf. eine $a = 3$ mm dicke Naht ausreichen?

Ergebnis:

1. Ja, $\sigma_w = 30{,}6$ N/mm² < $\sigma_{w\,zul} = 70$ N/mm² ($A_w = 392{,}7$ mm²)

2. Ja, $\sigma = 38{,}2$ N/mm² < $\sigma_{zul} = 95$ N/mm² ($A \approx 314{,}2$ mm²)

3. Ja, $\sigma_w = 55{,}4$ N/mm² < $\sigma_{w\,zul}$

Lösungsweg:

Schweißnahtfläche $A_w = a(d + a)\pi$ wie in Bild 4.39a in ME

Aufgabe 4.4

Ein mit der Masse $m = 500$ kg belastetes Seil wird nach Bild 4.5 über eine Seilrolle geführt, die an einer geschweißten Pendelstange befestigt ist. Der Stangendurchmesser und die Schweißnahtdicke sind für die Bewertungsgruppe D und schwellende Beanspruchung zu berechnen. Unter Vernachlässigung der Reibung an der Seilrolle sind zu ermitteln:

1. die in der Stange wirkende Kraft F
2. der für den Werkstoff S235JRG2 erforderliche Stangendurchmesser d (auf volle mm aufgerundet)
3. die erforderliche Nahtdicke a (auf volle mm aufgerundet)

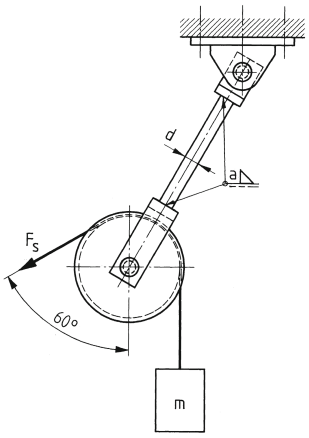


Bild 4.5
Geschweißte Pendelstange

Ergebnis:

1. $F = 8496$ N

2. $d = 12$ mm ($d_{erf} = 11{,}3$ mm, $\sigma_{zul} = 85$ N/mm^2)

3. $a = 3$ mm ($\sigma_{w\,zul} = 60$ N/mm^2)

Lösungsweg:

1. Die Stangenkraft F ist Resultierende oder Gleichgewichtskraft der Seilkräfte $F_S = F_G = m \cdot g$ (Bild 4.6). **2.** Stangendurchmesser aus $S_{erf} = F/\sigma_{zul} = d^2 \cdot \pi/4$. **3.** Nahtdicke aus $A_{w\,erf} = F/\sigma_{w\,zul} = (d + 2a)^2 \cdot \pi/4 - d^2 \cdot \pi/4$.

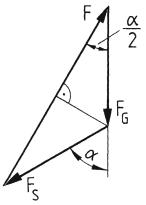


Bild 4.6
Krafteck zur Berechnung der Stangenkraft

Aufgabe 4.5 ☒

Von den in eine Seilrolle nach Bild 4.7 eingeschweißten Speichen aus S235JO hat jeweils eine Speiche die resultierende Kraft F aus den Sehkräften $F_S = 25$ kN aufzunehmen. Für die Berechnung denkt man sich den auf eine Speiche entfallenden Kranzanteil herausgeschnitten und freigemacht (siehe Wellenlinien a und b). Genügen die Nähte 1 und die Bauteil-Anschlussquerschnitte der durch die Drehbewegung hervorgerufenen schwellenden Beanspruchung, wenn die Nahtdicke $a = 6$ mm beträgt und die Bewertungsgruppe C vorgesehen ist?

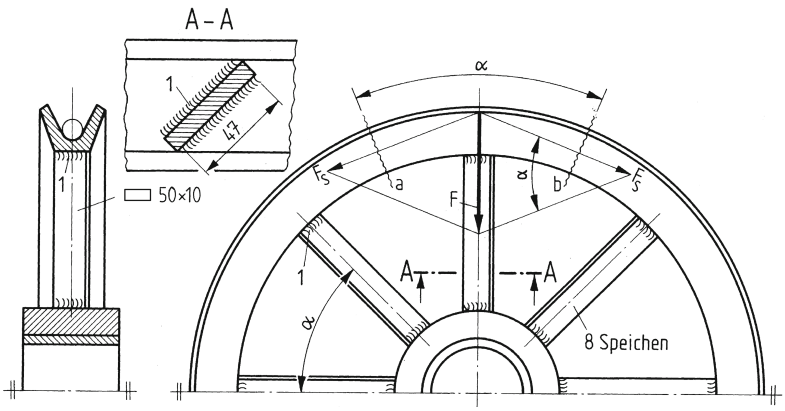


Bild 4.7 Seilrolle mit eingeschweißten Speichen

Ergebnis:

Ja, $\sigma_w = 33{,}9\ \text{N/mm}^2 < \sigma_{w\,zul} = 70\ \text{N/mm}^2$ ($F = 19{,}13$ kN), $\sigma_d = 38{,}3\ \text{N/mm}^2 < \sigma_{zul} = 95\ \text{N/mm}^2$

Lösungsweg:

Die Berechnungsmethode stellt eine für die Praxis notwendige Vereinfachung dar. Tatsächlich sind die Verhältnisse äußerst verwickelt, denn alle anderen Speichen nehmen an der Kraftübertragung ebenfalls teil, weil sie mit dem Kranz verbunden sind. Die tatsächliche Druckspannung ist daher geringer als die errechnete, jedoch tritt zusätzlich Biegebeanspruchung auf. Bei der Festlegung von $\sigma_{w\,zul}$ ist zu beachten, dass es sich um Doppelflachkehlnähte handelt.

Aufgabe 4.6 ☒

Für die in Bild 4.8 dargestellte geschweißte Tragöse aus S355JO ist die zulässige schwellend wirkende Belastungskraft F wie folgt zu ermitteln:

1. wenn nur mit der Stumpfnaht gerechnet wird
2. wenn Stumpf- und Kehlnaht berücksichtigt werden
3. Ist der Bauteil-Anschlussquerschnitt S an der Kehlnaht für die unter 2. errechnete Kraft ausreichend bemessen?

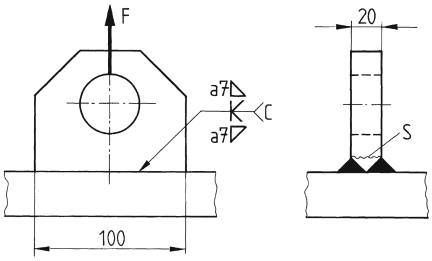


Bild 4.8
Angeschweißte Tragöse

Ergebnis:

1. $F = 210$ kN ($\sigma_{w\,zul} = 105$ N/mm^2)

2. $F = 323$ kN ($\sigma_{w\,zul} = 95$ N/mm^2)

3. Nein, $\sigma = 161{,}5$ N/mm^2 > $\sigma_{zul} = 110$ N/mm^2

Lösungsweg:

1. Nahtfläche der DHV-Naht (K-Naht als Stumpfnaht mit Gegenlage): $A_{wS} = a_S \cdot l = s \cdot b = S$. **2.** $A_w = A_{wS} + A_{wK} = (a_S + 2a_K)l$, $\sigma_{w\,zul}$ für Doppelflachkehlnaht. **3.** Die für das Bauteil zulässige Kraft hängt hier nicht vorzugsweise von der Spannung im Querschnitt an der Kehlnaht ab, sondern vom gefährdeten Querschnitt an der Bohrung, dessen zulässige Belastungskraft mit den entsprechenden Gleichungen der Festigkeitslehre zu berechnen ist.

Aufgabe 4.7

In einer Landmaschine ist ein Flachstahl aus S235JR entsprechend Bild 4.9 mit rundum laufenden Kehlnähten angeschweißt. Es ist eine wechselnd wirkende Kraft $F = 15$ kN zu übertragen.

1. Genügen die Schweißnähte den Anforderungen?

2. Mit welchem Betrag ist das Maß e auszuführen, wenn die Wirkungslinie der Kraft F in der Schwerlinie der Flankenkehlnähte liegen soll?

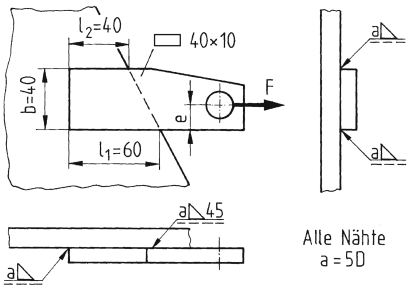


Bild 4.9
Schweißverbindung eines Flachstahls

Ergebnis:

1. Ja, $\tau_w = 16{,}7$ N/mm^2 < $\tau_{w\,zul} = 35$ N/mm^2

2. $e = 16$ mm

Lösungsweg:

1. Wie im Stahlbau ist auch hier für die Länge der schräg zur Kraftrichtung laufenden Kehlnaht nur die Flachstahlbreite b einzusetzen. Somit gilt: $A_w = \Sigma(a \cdot l) = a(l_1 + l_2 + 2b)$.

2. Das Maß e folgt aus $l_1 \cdot e = l_2(b - e)$. Das Ergebnis bleibt $e = 16$ mm.

Aufgabe 4.8

Der in Bild 4.10 gezeigte Gabelkopf der Zugstange einer Doppelbackenbremse ist durch zwei eingeschweißte Flachstähle gebildet (Werkstoff S235JR). Sind die Flankenkehlnähte und die Bauteil-Anschlussquerschnitte für die größte, schwellend wirkende Zugkraft $F = 25$ kN ausreichend bemessen?

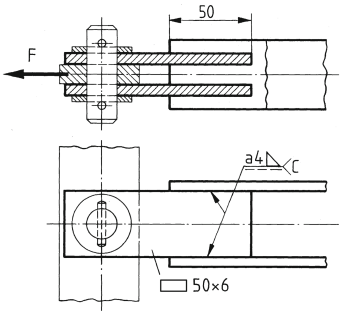


Bild 4.10
Geschweißter Gabelkopf einer Zugstange

Ergebnis:

Ja, $\tau_w = 31{,}3\ \text{N/mm}^2 < \tau_{wzul} = 50\ \text{N/mm}^2$ und $\sigma = 41{,}7/\text{mm}^2 < \sigma_{zul} = 95\ \text{N/mm}^2$

Lösungsweg:

Schweißnahtfläche $A_w = \Sigma(a \cdot l) = 4 \cdot a \cdot l$; Bauteil-Anschlussquerschnitt $S = 2 \cdot b \cdot s$

Aufgabe 4.9

In Bild 4.11 ist der Ausschnitt eines in Verbundkonstruktion ausgeführten Läufers eines Elektromotors dargestellt (Nabenwerkstoff Stahlguss GS-38, Stegbleche aus Baustahl S235JR). Für welches wechselnde Drehmoment ist die Schweißverbindung geeignet, wenn die DV-Nähte (Bewertungsgruppe B) ringsum geschweißt sind?

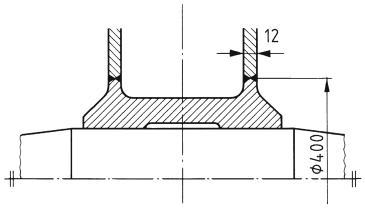


Bild 4.11
Ausschnitt eines Elektromotorläufers in Verbundkonstruktion

Ergebnis:

$M \approx 211$ kNm ($A_w = 30\,159\ \text{mm}^2$, $\tau_{w\,zul} = 35\ \text{N/mm}^2$)

Lösungsweg:

Es handelt sich um schubbeanspruchte, beidseitig geschweißte Stumpfnähte (DV-Nähte als Stumpfnähte mit Gegenlage). Zulässiges Drehmoment $M = F_{zul} \cdot d/2 = A_w \cdot \tau_{w\,zul} \cdot d/2$ mit $A_w = \Sigma(a \cdot l) = 2 \cdot a \cdot l = 2 \cdot a \cdot d \cdot \pi$.

Aufgabe 4.10 ☒

Das in Bild 4.12 gezeigte geschweißte Kettenrad hat ein schwellend wirkendes Spitzendrehmoment von 920 Nm zu übertragen. Die in den Ringschweißnähten auftretenden Spannungen sind rechnerisch zu überprüfen mit der Annahme, dass jede Naht das halbe Drehmoment aufnimmt. Ferner sind die Bauteilquerschnitte an der Kehlnaht nachzurechnen. Es sind zu ermitteln:

1. die Spannungen in den Nähten 1 und 2
2. die Bauteilspannungen an der Kehlnaht im Kettenrad aus S355JO und in der Nabe aus S235JO
3. Werden die zulässigen Spannungen der Bewertungsgruppe C überschritten?

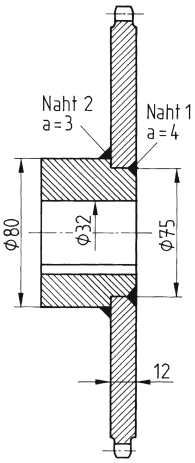


Bild 4.12
Geschweißtes Kettenrad

Ergebnis:

1. τ_{w1} = 13 N/mm² (F_1 = 12 267 N), τ_{w2} = 14,7 N/mm² (F_2 = 11 500 N)
2. τ = 6,6 N/mm² (F = 21 395 N, S = 3242 mm²), τ_t = 9,2 N/mm² ($W_t \approx$ 99 800 mm³)
3. Nein, $\tau_{w1\,zul}$ = 50 N/mm² > τ_{w1}, $\tau_{w2\,zul}$ = 70 N/mm² > τ_{w2} und τ_{zul} = 80 N/mm² > τ, $\tau_{t\,zul}$ = 70 N/mm² > τ_t

Lösungsweg:

1. Dass jede Naht das halbe Drehmoment überträgt, ist eine vereinfachende Annahme. Tatsächlich handelt es sich um einen statisch unbestimmten Fall. Beide Nähte werden getrennt auf Schub berechnet mit $A_{w1} = a_1 \cdot d_1 \cdot \pi$ (Naht 1 aufgefasst als Stumpfnaht ohne Gegenlage) und $A_{w2} = a_2(d_2 + a_2)\pi$. Hierbei gilt: d_1 = 75 mm, d_2 = 80 mm. **2.** Schubbeanspruchung in der Rundschnittfläche $S = (d_2 + 2a_2)\pi \cdot s$ des Kettenrades und Torsionsbeanspruchung im Querschnitt der Nabe mit $W_t \approx 0{,}2\left(d_2^4 - d^4\right)\Big/d_2$. Hierbei ist d = 32 mm. **3.** Auf die Berechnungen zu 2. kann normalerweise verzichtet werden, da diese Spannungen meistens sehr gering sind, wie sich auch hier zeigt.

Aufgabe 4.11 ☒

In einer Vorrichtung ist ein Flachstahl aus S235JR zur Aufnahme einer Zugfeder entsprechend Bild 4.13 angeschweißt.

1. Welche schwellend wirkende Federkraft F ist höchstens zulässig?
2. Welche Nahtdicke a ist für eine gleichlange Doppelflachkehlnaht der Bewertungsgruppe D anstelle der DHV-Naht zur Übertragung der unter 1. errechneten Kraft erforderlich, und ist der Bauteil-Anschlussquerschnitt hierfür ausreichend bemessen?

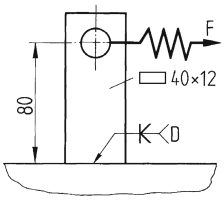


Bild 4.13
Schweißverbindung eines Flachstahls für Zugfederaufnahme

Ergebnis:

1. $F = 3$ kN ($\sigma_{w\,zul} = 75$ N/mm²)

2. $a = 7{,}5$ mm ($\sigma_{w\,zul} = 60$ N/mm²), Bauteil ausreichend: $\sigma_b = 68$ N/mm² < $\sigma_{b\,zul} = 110$ N/mm²

Lösungsweg:

1. Aus Formel 4.3 folgt für $F = \sigma_{w\,zul} \cdot a \cdot l^2/(6 \cdot L)$, $a = s$, $l = b$, $\sigma_{w\,zul}$ nach Tabelle 4.4 für Stumpfnaht mit Gegenlage, **2.** $a = \dfrac{F \cdot L \cdot 6}{\sigma_{w\,zul} \cdot 2 \cdot l^2}$, $\sigma_b = \dfrac{M_b}{W_b} = \dfrac{F(L-a)}{s \cdot b^2/6}$.

Aufgabe 4.12 ☒

Für ein Steuergestänge ist ein Winkelhebel nach Bild 4.14 als Schweißteil ausgebildet (Werkstoff S235JR). Die angreifenden Kräfte $F_1 = 600$ N und F_2 wirken wechselnd. Genügen die Schweißnähte und die Bauteil-Anschlussquerschnitte den Anforderungen? Es sind zu ermitteln:

1. die Kraft F_2 und die von den Schweißnähten aufzunehmenden Biegemomente M_{wb1} und M_{wb2}

2. die Vergleichsspannung σ_{wv} in der höher beanspruchten Schweißnaht und die Biegespannung σ_b im Bauteil-Anschlussquerschnitt

3. die Antwort auf die gestellte Frage und erforderlichenfalls eine andere Flachstahlbreite unter Beibehaltung der Dicke von 8 mm sowie ggf. auch eine andere Nahtdicke

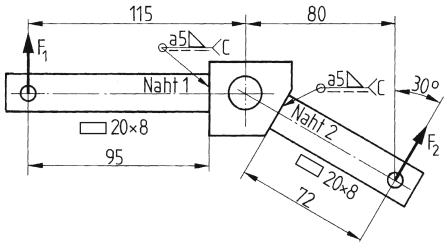


Bild 4.14
Geschweißter Winkelhebel

Ergebnis:

1. $F_2 = 747$ N, $M_{wb1} = 57$ Nm > $M_{wb2} = 53{,}8$ Nm

2. $\sigma_{wv} = 39{,}1$ N/mm² ($\sigma_{wb} = 38{,}9$ N/mm², $I_w = 1{,}467$ cm⁴, $\tau_w = 3$ N/mm², $F_q = 600$ N, $A_w = 200$ mm²), $\sigma_b \approx 101$ N/mm² ($M_b = 54$ Nm, $W_b = 0{,}533$ cm³)

3. Schweißnähte: ja, $\sigma_{wv\,zul} = 40$ N/mm² > σ_{wv}; Bauteil: nein, da $\sigma_{w\,zul} = 60$ N/mm² < σ_b, $b_{erf} = 26$ mm, gewählt Flachstahl 30 × 8. Damit Nahtdickenverringerung möglich. Bei $a = 4$ mm wird $\sigma_{wv} = 26{,}6$ N/mm² ($\sigma_{wb} = 26{,}4$ N/mm², $\tau_w = 2{,}5$ N/mm²).

Lösungsweg:

1. F_2 aus $\Sigma M = F_1 \cdot 115\ \text{mm} - F_2 \cdot 80\ \text{mm}/\cos 30° = 0$, **2.** σ_{wb} nach Formel 4.3 mit $M_{wb1} > M_{wb2}$ und I_w wie für Bild 4.41b in ME. Die durch die Querkraft hervorgerufenen Schubspannungen sind nur mit den Stegnahtflächen $2a \cdot l$ zu errechnen. Danach ist die Vergleichsspannung nach Formel 4.5 zu bilden. σ_b wie unter 2. in Aufgabe 4.11 mit F_1 und L_1, **3.** $\sigma_{w\,zul}$ nach Tabelle 4.4 für Doppelflachkehlnaht; erforderliche Flachstahlbreite aus $W_{b\,ref} = M_{b1}/\sigma_{b\,zul} = F_1(L_1 - a)/\sigma_{b\,zul} = s \cdot b_{erf}^2/6$.

Aufgabe 4.13 ☒

In die mit Bild 4.15 gezeigte Bremsscheibe einer Doppelbackenbremse ist eine elastische Kupplung eingebaut. Zur Aufnahme der Bindeglieder sind an den Steg gleichmäßig verteilt drei Rohrstutzen aus S235JR angeschweißt, die das wechselseitige Nenndrehmoment T_{KN} = 1,4 kNm zu übertragen haben. Es ist mit einem Stoßfaktor S_S = 2 zu rechnen (bei Kupplungen S_S, sonst K_A). Die um die Rohrstutzen gelegten ringförmigen Kehlnähte genügen der Bewertungsgruppe C. Der Einfluss der Versteifungsrippen ist zu vernachlässigen. Werden in den Schweißnähten und in den Anschlussquerschnitten der Rohrstutzen die zulässigen Spannungen überschritten?

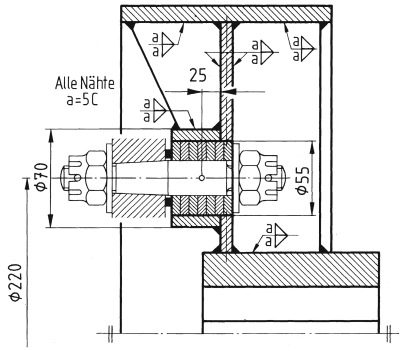


Bild 4.15
Bremsscheibe mit angeschweißten Rohrstutzen

Ergebnis:

Nein, $\sigma_{w\,zul}$ = 40 N/mm² > σ_{wv} = 13,1 N/mm² (F = 8485 N, I_w = 83,2 cm⁴, A_w = 1178 mm², σ_{wb} = 8,9 N/mm², τ_w = 7,2 N/mm²) und $\sigma_{b\,zul}$ = 60 N/mm² > σ_b = 8 N/mm² (W_b = 21,23 cm³)

Lösungsweg:

Die aus dem Stoßdrehmoment $T_K = S_S \cdot T_{KN}$ zu errechnende Umfangskraft $F_u = T_K/r_0$ beansprucht die am Teilkreis d_0 = 220 mm angeordneten Ringschweißnähte auf Biegung und Schub, sodass die Vergleichsspannung nach Formel 4.5 zu bilden ist. Die Biegespannung auf der kreisringförmigen Schweißnahtfläche wird nach Formel 4.3 mit I_w wie für Bild 4.41c in ME und $e_w = d/2$ errechnet. Die Schubspannung wird nach Formel 4.2 mit $A_w = a(d + a)\pi$ errechnet.

Aufgabe 4.14 ☒

Das geschweißte Lagerschild aus S235JR einer elektrischen Maschine ist in Bild 4.16 gezeigt. Durch die Eigengewichtskraft des Läufers und die Betriebskräfte (einschließlich Riemenzug am Wellenende) kann eine größte, schwellend wirkende Kraft F = 140 kN an der Lagerstelle auftreten. Die umlaufende Doppel-Flachkehlnaht am Flansch und der Bauteil-Anschlussquerschnitt im 10 mm dicken Blech sind unter Vernachlässigung der Versteifungsrippen rechnerisch auf Festigkeit zu überprüfen. Ist eine Verringerung der Naht- und Bauteildicken ratsam?

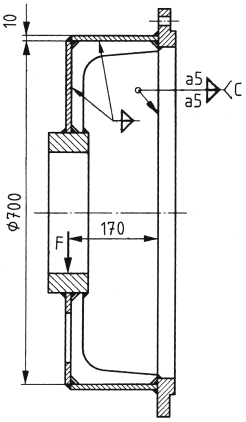


Bild 4.16
Geschweißtes Lagerschild

Ergebnis:

$\sigma_{wv} = 10{,}4\ \text{N/mm}^2 < \sigma_{w\,zul} = 70\ \text{N/mm}^2$ ($I_w \approx 140\,750\ \text{cm}^4$, $A_w = 22\,305\ \text{cm}^4$, $\sigma_{wb} \approx 6{,}1\ \text{N/mm}^2$, $\tau_w = 6{,}3\ \text{N/mm}^2$) und $\sigma_b = 5{,}8\ \text{N/mm}^2 < \sigma_{b\,zul} = 125\ \text{N/mm}^2$ ($W_b = 3978\ \text{cm}^3$); Verringerung ratsam, da $\sigma_{wv} \ll \sigma_{w\,zul}$ und $\sigma_b \ll \sigma_{b\,zul}$

Lösungsweg:

Beanspruchung auf Biegung und Schub, Berechnung wie in Aufgabe 4.13, jedoch besteht die Schweißnahtfläche aus zwei konzentrischen Kreisringflächen, deren Flächenmomente 2. Grades zusammen das Flächenmoment I_w der Nahtfläche ergeben. Als Randabstand e_w ist der Wurzelabstand y_w (siehe Bild 4.17) gleich Innenradius der äußeren Ringfläche einzusetzen.

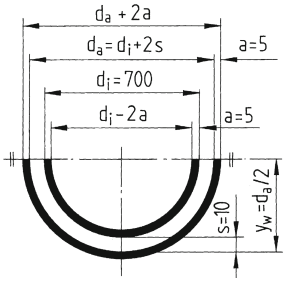


Bild 4.17
Skizze zur Berechnung des Flächenmoments 2. Grades

Aufgabe 4.15 ☒

An einen Tragbalken (Lasttraverse) sind zwei Tragösen aus S235JR angeschweißt (Bild 4.18). Durch die Anordnung der Tragketten greift die Kraft F unter 45° an. Sie wird in die Horizontalkomponente F_H und die Vertikalkomponente F_V zerlegt. Genügen die Schweißanschlüsse und die Bauteil-Anschlussquerschnitte für eine Belastung mit 10,5 t einschließlich Eigengewicht der Traverse? Wegen der häufigen Be- und Entlastung liegt schwellende Beanspruchung vor.

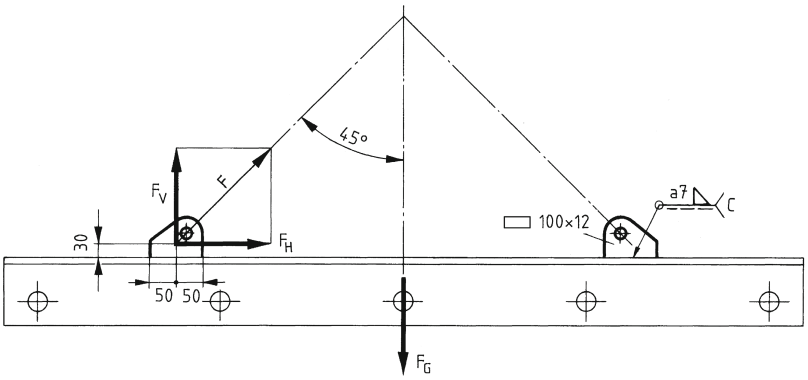


Bild 4.18 Tragbalken mit angeschweißten Ösen

Es sind zu ermitteln:

1. die Kraftkomponenten F_H und F_V und das eine Schweißnaht beanspruchende Biegemoment M_{wb}
2. die Nahtoberfläche A_w und deren Flächenmoment 2. Grades I_w
3. die größte resultierende Normalspannung σ_{wr}, die Schubspannung τ_w und die Vergleichsspannung σ_{wv} für die Schweißnaht
4. die größte resultierende Normalspannung σ im Bauteil-Anschlussquerschnitt
5. Sind die Spannungen zulässig?
6. Falls nein: Genügt eine Nahtdicke a = 8 mm oder muss für die Öse ein breiterer Flachstahl vorgesehen werden?

Ergebnis:

1. $F_H = F_V$ = 51,5 kN, M_{wb} = 1545 Nm
2. A_w = 1568 mm², I_w = 158,7 cm⁴
3. σ_{wr} = 81,5 N/mm² (σ_{wbz} = 48,7 N/mm²), σ_{wz} = 32,8 N/mm², τ_w = 36,8 N/mm², σ_{wv} = 95,3 N/mm²
4. σ = 102,1 N/mm² (σ_z = 42,9 N/mm², σ_{bz} = 59,2 N/mm²)
5. Schweißnaht: nein, $\sigma_{w\,zul}$ = 70 N/mm² < σ_{wv}; Bauteil: ja, $\sigma_{b\,zul}$ = 125 N/mm² > σ (Biegung vorherrschend)
6. Nein, σ_{wv} = 83,4 N/mm² > $\sigma_{w\,zul}$ (σ_{wz} = 28,7 N/mm², σ_{wb} = 42,6 N/mm², τ_w = 32,2 N/mm²), breiterer Flachstahl erforderlich, z. B. Fl 120 × 12 bei a = 8 mm (σ_{wv} = 66 N/mm² < $\sigma_{w\,zul}$)

Lösungsweg:

1. Beim Winkel 45° ist $F_H = F_V = F_G/2 = m \cdot g/2$. **2.** A_w und I_w wie bei Bild 4.41b und Bild 4.42 in ME. **3.** Durch F_V entstehen Zugspannungen σ_{wz} (Formel 4.1). Durch F_H entstehen Biegespannungen $\sigma_{wbz} = \sigma_{wbd}$ (Formel 4.3) mit $e_w = l/2$ = 50 mm). σ_{wz} und σ_{wbz} sind zur resultierenden Spannung σ_{wr} zu addieren (Formel 4.4). Für die Schubspannung τ_w (Formel 4.2) sind nur die Nähte an der Breitseite des Flachstahls einzusetzen mit $A_w = 2a \cdot l$, Vergleichsspannung σ_{wv} mit Formel 4.5. **4.** Die Schubspannung im Bauteil ist bei Biegung in der Randfaser Null und wird nicht berechnet. **5.** $\sigma_{w\,zul}$ für Doppelflachkehlnaht, da die Nähte an der Längsseite des Flachstahls Doppelkehlnähte sind. **6.** Mit a = 8 mm Berechnung wie zu 2. und 3., danach ggf. Annahme eines breiteren Flachstahls und erneut mit a = 8 mm wie zu 2. und 3. bis $\sigma_{wv} \le \sigma_{w\,zul}$.

Aufgabe 4.16

In Bild 4.19 ist der geschweißte Lagerbock für die Pendelstange nach Bild 4.5 dargestellt (Werkstoff S235JR). Die von der Stange zu übertragende Kraft F = 8,5 kN wirkt schwellend. Sind die Schweißnähte und der Bauteil-Anschlussquerschnitt hierfür ausreichend bemessen?

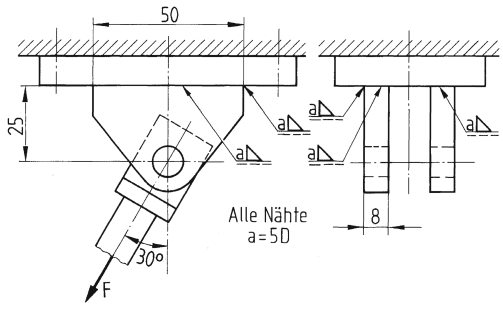


Bild 4.19
Geschweißter Lagerbock

Ergebnis:

Ja, $\sigma_{w\,zul}$ = 40 N/mm² > σ_{wv} = 26,8 N/mm² (F_x = 4,25 kN, F_y = 7,36 kN, A_w = 660 mm², I_w = 204 167 mm⁴, σ_{wz} = 11,2 N/mm², σ_{wbz} = 13 N/mm², τ_w = 8,5 N/mm²) und $\sigma_{b\,zul}$ = 110 N/mm² > σ = 21,9 N/mm² (W_b = 6667 mm³, σ_{bz} = 12,7 N/mm², σ_z = 9,2 N/mm²)

Lösungsweg:

Die Stangenkraft F wird in die Komponenten F_x und F_y zerlegt (siehe Bild 4.20). Durch F_x entstehen Biegespannungen und durch F_y Zugspannungen. Lösung sinngemäß wie zu Aufgabe 4.15.

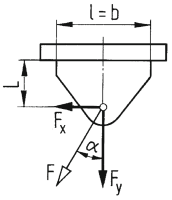


Bild 4.20
Berechnungsskizze

Aufgabe 4.17

Eine Schweißvorrichtung für Behältermäntel enthält vier gleichartig belastete geschweißte Rollenböcke aus S355JO. Die größte Belastung tritt bei der in Bild 4.21 dargestellten Anordnung und einem maximalen Behältergewicht von 40 t auf. Das Rollengewicht ist zu vernachlässigen. Dies gilt auch für die Nähte an der Mittelrippe wegen ihres geringen Einflusses auf den Schweißanschluss. Genügen die Doppel-Flachkehlnähte und die Bauteil-Anschlussquerschnitte den Anforderungen einer schwellenden Beanspruchung? Wegen der Gefahr von harten Stößen beim Aufsetzen des Mantels auf die Rollen ist mit einem Anwendungsfaktor K_A = 2,5 zu rechnen.

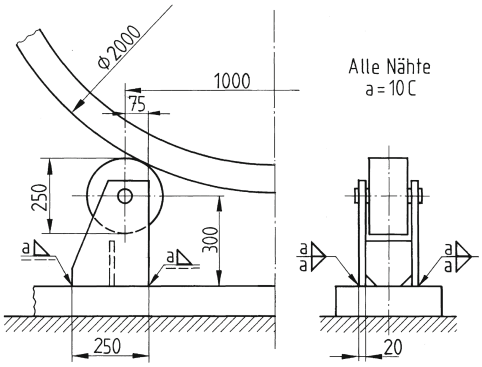


Bild 4.21
Geschweißter Rollenbock in einer Vorrichtung

Ergebnis:

Ja, für Doppelflachkehlnaht $\sigma_{w\,zul} = 95\ \text{N/mm}^2 > \sigma_{wv} = 71{,}6\ \text{N/mm}^2$ ($\alpha \approx 26{,}4°$, $F_y = 245{,}25$ kN, $F_x = 121{,}74$ kN, $M_{wb} \approx 24\,260$ Nm, $A_w = 108\ \text{cm}^2$, $I_w = 6458{,}3\ \text{cm}^2$, $\sigma_{wd} = 22{,}7\ \text{N/mm}^2$, $\sigma_{wbd} = 47\ \text{N/mm}^2$, $\tau_w = 12{,}2\ \text{N/mm}^2$) und $\sigma_{b\,zul} = 145\ \text{N/mm}^2 > \sigma = 79{,}8\ \text{N/mm}^2$ ($W_b = 416{,}7\ \text{cm}^3$, $\sigma_b = 55{,}3\ \text{N/mm}^2$)

Lösungsweg:

Die Komponente $F_y = K_A \cdot m \cdot g/4$ erzeugt Druckspannungen und das Moment $M_{wb} = F_x \cdot L_x - F_y \cdot L_y$ Biegespannungen in der Schweißnaht (siehe Bild 4.22, vgl. auch Bild 4.42b und Bild 4.42c in ME; hier Druck bei verringerter Biegung, $L_y = l/2 - L_r$). Lösung sinngemäß wie Aufgabe 4.15 und Aufgabe 4.16.

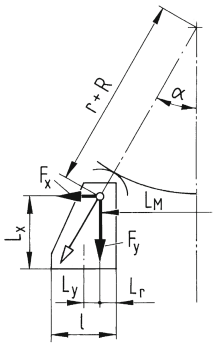


Bild 4.22
Berechnungsskizze

Aufgabe 4.18

Ein Ritzel aus C22 ist nach Bild 4.23 auf eine Welle aus S275JR geschweißt. Es ist ein einseitig und gleichbleibend wirkendes Drehmoment von 500 Nm zu übertragen. Im Wellenquerschnitt *S* wirkt außerdem ein Biegemoment von 600 Nm. Welche Nahtdicke *a* ist mindestens erforderlich, wenn die Bewertungsgruppe B infrage kommt? Es sind zu ermitteln:

1. die Normalspannung σ_w in der Schweißnaht
2. die zulässige Schubspannung $\tau_{w\,zul}$ an der Nahtwurzel (mit der zulässigen Vergleichsspannung errechnet)
3. die erforderliche Nahtdicke *a* (auf volle mm gerundet)

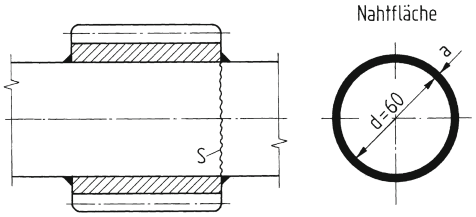


Bild 4.23
Aufgeschweißtes Ritzel

Ergebnis:

1. $\sigma_w = \sigma_b = 27{,}8\ \text{N/mm}^2$

2. $\tau_{w\,zul} = 32{,}8\ \text{N/mm}^2$ ($\sigma_{w\,zul} \approx 52\ \text{N/mm}^2$ interpoliert)

3. $a = 2$ mm ($a_{erf} = 1{,}32$ mm, $A_{w\,erf} = 508\ \text{mm}^2$)

Lösungsweg:

1. Die Spannung σ_w an der Nahtwurzel ist gleich der Biegespannung σ_b in der Welle. **2.** $\tau_{w\,zul}$ aus Formel 4.5) mit $\sigma_{wv} = \sigma_{w\,zul}$ nach Tabelle 4.4 für Wechselbeanspruchung, da Biegung wechselnd (Wert für S275 interpolieren). **3.** a freistellen aus $A_{w\,erf} = F/\tau_{w\,zul} = 2a(d + a)\,\pi$ (Gleichung 2. Grades, negatives Ergebnis ohne praktische Bedeutung) oder aus $A_w = 2[(d + 2a)^2 - d^2] \cdot \pi/4$.

Aufgabe 4.19

In der automatischen Zubringeeinrichtung einer Transferstraße (Fertigungsmaschinenstraße) sind, wie in Bild 4.24 skizziert, zwei Flachstähle zur Aufnahme einer Schubstange angeschweißt. Die Stangenkraft von 15 kN wirkt wechselnd (Werkstoff der Bauteile: S235JR). Für die Flachkehlnähte und die Bauteil-Anschlussquerschnitte ist der Spannungsnachweis durchzuführen.

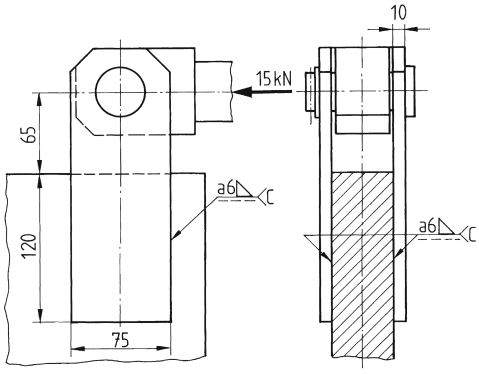


Bild 4.24
Flachstähle mit verdrehbeanspruchtem Kehlnahtanschluss

Ergebnis:

Ausreichend bemessen, $\tau_{w\,zul} = 25\ \text{N/mm}^2 > \tau_w = 22{,}9\ \text{N/mm}^2$ ($A_w = 1440\ \text{mm}^2$, $I_{wp} = 375{,}3\ \text{cm}^4$, $r \approx 70{,}8$ mm, $R = 125$ mm), $\sigma_{b\,zul} = 60\ \text{N/mm}^2 > \sigma_b = 52\ \text{N/mm}^2$ ($W_b = 18{,}75\ \text{cm}^3$)

Lösungsweg:

Es handelt sich um zwei durch ein Drehmoment schubbeanspruchte Anschlüsse mit Flankenkehlnähten entsprechend Bild 4.44a in ME, wobei $R = L - l/2$ und $r = \sqrt{b^2 + l^2}\ / 2$ mit $L = 65$ mm; I_{wp} nach Formel 4.6) und τ_w nach Formel 4.8. Biegebeanspruchung durch das Biegemoment $M_b = F/2 \cdot L$ im Bauteil-Anschlussquerschnitt.

Aufgabe 4.20

Der entsprechend Bild 4.25 mit zwei Flankenkehlnähten in der Bewertungsgruppe C angeschweißte Flachstahl aus S235JR hat eine unter dem Winkel $\beta = 45°$ angreifende wechselnd wirkende Kraft $F = 2{,}5$ kN zu übertragen. Sind die Schweißnähte mit der Dicke $a = 5$ mm und der Bauteil-Anschlussquerschnitt S ausreichend bemessen? Es sind zu ermitteln:

1. die Komponenten F_x und F_y und das von der Schweißnaht aufzunehmende Drehmoment T_w
2. die Schubspannungen τ_{wt}, τ_{wq}, τ_{wl} und die resultierende Schubspannung τ_w in der Schweißnaht
3. die Zugspannung σ_z, die Biegespannung σ_b und die resultierende Normalspannung σ im Bauteil-Anschlussquerschnitt S
4. die Antwort auf die gestellte Frage

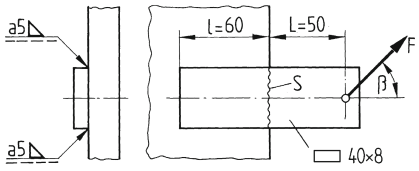


Bild 4.25
Flankenkehlnähte mit zusammengesetzter Schubbeanspruchung an einem Flachstahl

Ergebnis:

1. $F_x = F_y = 1768$ N, $T_w = 141{,}44$ Nm ($R = 80$ mm)
2. $\tau_{wt} = 12{,}1$ N/mm² ($I_{wp} = 42$ cm⁴), $\tau_{wq} = \tau_{wl} = 2{,}9$ N/mm² ($A_w = 600$ mm²), $\tau_w = 16{,}2$ N/mm² ($\alpha = 33{,}7°$, $\tau_{wtx} = 6{,}7$ N/mm², $\tau_{wty} = 10{,}1$ N/mm²)
3. $\sigma_z = 5{,}5$ N/mm², $\sigma_b = 41{,}4$ N/mm² ($W_b = 2113{,}3$ mm³), $\sigma = 46{,}9$ N/mm²
4. Ja, $\tau_{w\,zul} = 25$ N/mm² > τ_w und $\sigma_{b\,zul} = 60$ N/mm² > σ

Lösungsweg:

1. Wegen $\beta = 45°$ ist $F_x = F_y$. Sinngemäß zu Bild 4.44a in ME ist $T_w = F_y \cdot R$. **2.** Schweißanschluss wie Bild 4.44a in ME (vgl. Aufgabe 4.19), jedoch treten durch F_x zusätzlich Schubspannungen τ_{wl} auf. τ_{wt} ist in die Komponenten τ_{wtx} und τ_{wty} zu zerlegen (siehe Bild 4.26). Für den höchstbeanspruchten Wurzelpunkt ist $\tau_w = \sqrt{\left(\tau_{wty} + \tau_{wq}\right)^2 + \left(\tau_{wtx} + \tau_{wl}\right)^2}$. **3.** Im Bauteilquerschnitt S Zugspannung durch F_x und Biegespannung durch $M_b = F_y \cdot L$. **4.** $\tau_{w\,zul}$ und $\sigma_{b\,zul}$ (Biegung vorherrschend) nach Tabelle 4.4.

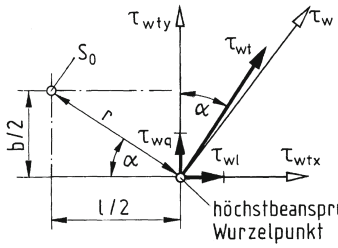


Bild 4.26
Schubspannungen am höchstbeanspruchten Wurzelpunkt

Aufgabe 4.21

Bild 4.27 zeigt die Anordnung zweier Seilrollen in einem medizinischen Gerät. Die Seilrollenachse ist in zwei Haltern aus S235JR gelagert, die an einem Gestell angeschweißt sind. In jedem Seilstrang wirkt eine schwellende Kraft $F = 800$ N. Auf einer Seite der Rollen schwankt mit dem Seil die Richtung der Kraft zwischen den Stellungen I und II, wie in Bild 4.27 angedeutet. Für beide Stellungen ist zu prüfen, ob in den Schweißnähten und in den Bauteil-Anschlussquerschnitten die zulässigen Spannungen überschritten werden. Dafür sind zu ermitteln:

1. die Schubspannung τ_w in den Schweißnähten und die Zugspannung σ_z in den Bauteil-Anschlussquerschnitten bei der Stellung I
2. die größte resultierende Schubspannung τ_w in den Schweißnähten bei der Seilstellung II
3. die größte resultierende Normalspannung σ in den Bauteil-Anschlussquerschnitten bei der Seilstellung II
4. Werden die zulässigen Spannungen überschritten?

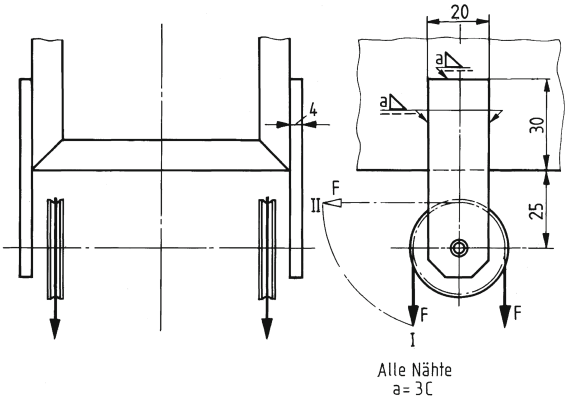


Bild 4.27
Anordnung zweier Seilrollen mit geschweißten Haltern

Ergebnis:

1. $\tau_w = 6{,}7$ N/mm² ($A_w = 240$ mm²), $\sigma_z = 20$ N/mm² ($S = 80$ mm²)
2. $\tau_w = 21{,}5$ N/mm² ($c \approx 11{,}2$ mm, $r = 21{,}3$ mm, $R = 43{,}8$ mm, $I_{wp} \approx 43\,900$ mm⁴, $\alpha = 28°$, $\tau_{wtx} = 15$ N/mm², $\tau_{wty} = 8$ N/mm², $\tau_{wq} = \tau_{wl} = 3{,}3$ N/mm²)
3. $\sigma = 85$ N/mm² ($\sigma_b \approx 75$ N/mm², $M_b = 200\,000$ Nm, $W_b = 267$ mm³, $\sigma_z = 10$ N/mm², $S = 80$ mm²)
4. Nein, da

   $\tau_{w\,zul} = 50$ N/mm² > $\tau_w = 21{,}5$ N/mm²

   $\sigma_{z\,zul} = 95$ N/mm² > $\sigma_z = 20$ N/mm²

   $\sigma_{b\,zul} = 125$ N/mm² > $\sigma = 85$ N/mm²

Lösungsweg:

Lösung für Stellung II sinngemäß wie Aufgabe 4.19 mit $c = a \cdot l^2/A_w$, $R = L + (l - c)$, $r = \sqrt{(b/2)^2 + (l-c)^2}$ und I_{wp} nach Formel 4.7, da Schweißanschluss entsprechend Bild 4.44b in ME; Schubspannungen am höchstbeanspruchten Wurzelpunkt siehe Bild 4.28.

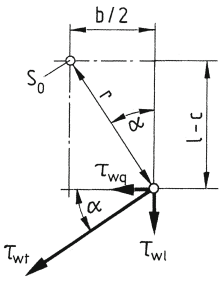


Bild 4.28
Schubspannungen am höchstbeanspruchten Wurzelpunkt

Aufgabe 4.22

Die in Bild 4.29 dargestellte geschweißte Konsole aus S355JO hat am Hebelarm L = 220 mm eine ruhend wirkende Kraft F = 70 kN zu übertragen. Für die Festigkeitskontrolle sind zu ermitteln:

1. die Nahtfläche A_w der Anschlussschweißnähte, deren Schwerpunktabstand e_{wd} von der Stegunterkante und das Flächenmoment I_w zweiten Grades
2. die größte Biegespannung σ_{wbd}, die Schubspannung τ_w und Vergleichsspannung σ_{wv} für die Anschlussschweißnaht
3. die Schubspannung τ_w in der Längsnaht (Halsnaht) nahe am Schweißanschluss
4. die größte Biegespannung σ_{bd} im Bauteilquerschnitt an der Anschlussschweißnaht
5. Sind die Spannungen in den Schweißnähten und im Bauteil-Anschlussquerschnitt zulässig?

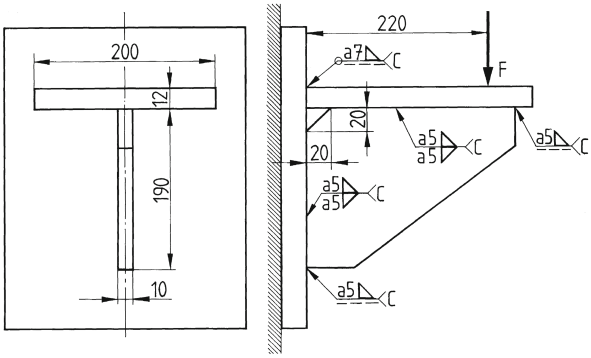


Bild 4.29
Geschweißte Konsole

Ergebnis:

1. A_w = 4718 mm² (A_{w1} = 1700 mm², A_{w2} = A_{w3} = 1400 mm², A_{w4} = 168 mm², A_{w5} = 50 mm²), e_{wd} ≈ 154 mm, I_w = 1860,5 cm⁴ (I_{wu1} = 1637,7 cm⁴, I_{wu2} = 5054 cm⁴, I_{wu3} = 5712,6 cm⁴, I_{wu4} = 645,4 cm⁴)
2. σ_{wdb} = 127,5 N/mm² (M_{wb} = 15,4 kNm), τ_w = 41,2 N/mm², σ_{wv} = 139 N/mm²
3. τ_w = 44,4 N/mm² (I ≈ 1702 cm⁴, e_d ≈ 151 mm, H = 108 cm³)
4. σ_{bd} = 137,6 N/mm² (e_d = 150 mm, I = 1640,9 cm⁴)
5. Ja, $\sigma_{wv\,zul}$ = $\tau_{w\,zul}$ = 150 N/mm² > σ_{wv} > τ_w und $\sigma_{b\,zul}$ = 220 N/mm² > σ_{bd}

Lösungsweg:

Es handelt sich um einen biegesteifen Kehlnahtanschluss entsprechend Bild 4.45 in ME; e_{wd} nach Formel 4.9 und I_w nach Formel 4.10 (siehe auch Beispiel 4.3 in ME); τ_w zu **2.** nach Formel 4.2 mit A_{w1}; τ_w zu **3.** nach Formel 4.11; $\sigma_{wv\,zul}$ zu **2.** und $\tau_{w\,zul}$ zu **3.** für Doppelflachkehlnaht. Es ist $\sigma_{wv\,zul} = \tau_{w\,zul} \cdot \sigma_{bd}$ wie unter **2.** in Beispiel 4.3 in ME mit $L_s = L - a_1 = 215$ mm.

Aufgabe 4.23

An einem geschweißten Hebel wirkt in der skizzierten Stellung (Bild 4.30) eine schwellende maximale Kraft $F = 1{,}6$ kN. Werden in den Kehlnähten 1 und 2 und in den Bauteil-Anschlussquerschnitten S_1 und S_2 die zulässigen Spannungen überschritten (Werkstoff der Bauteile: S355JO)?

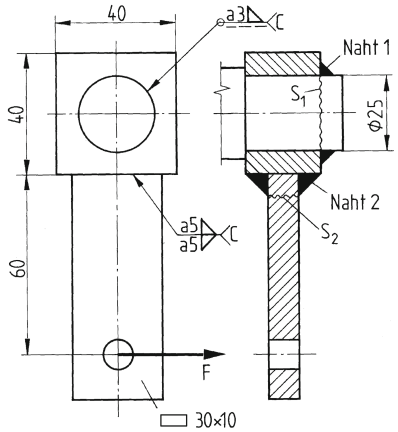


Bild 4.30
Geschweißter Hebel

Ergebnis:

Nein, Naht 1: $\tau_{w\,zul} = 95$ N/mm² > $\tau_{w1} = 38{,}8$ N/mm² ($A_{w1} = 263{,}9$ mm²), Querschnitt 1: $\tau_{tzul} = 80$ N/mm² > $\tau_t = 41$ N/mm²; Naht 2: $\sigma_{w\,zul} = 95$ N/mm² > $\sigma_{wb2} = 64$ N/mm²), Querschnitt 2: $\sigma_{b\,zul} = 145$ N/mm² > $\sigma_b = 58{,}7$ N/mm²

Lösungsweg:

Schubbeanspruchung durch $M = F \cdot R$ mit $R = 80$ mm in Naht 1, Torsionsbeanspruchung im Querschnitt S_1, Biegung durch $M_{wb} = F \cdot L$ in Naht 2 (Vergleichsspannung entfällt, siehe Abschnitt 4.5 in ME unter 5.), Biegung im Querschnitt S_2.

Aufgabe 4.24

In einer Steuereinrichtung ist ein Flachstahlhebel aus S355JO nach Bild 4.31 an eine Schaltwelle aus gleichem Werkstoff geschweißt und über einen Bolzen mit der geschweißten Gabel aus S235JR einer Schubstange verbunden. Die Welle hat in der gezeichneten Stellung ein wechselnd wirkendes Drehmoment von 1000 Nm zu übertragen. Gleichzeitig tritt im Querschnitt S_1 der Welle ein Biegemoment von 120 Nm auf. Genügen die Schweißnähte der Verbindungen 1 und 2 und deren Bauteil-Anschlussquerschnitte S_1 und S_2 den Anforderungen im Maschinenbau?

Biege- und Torsionsspannung im Querschnitt S_1 sind zur Vergleichsspannung $\sigma_v = \sqrt{\sigma_b^2 + 3\tau_t^2}$ zusammenzufassen.

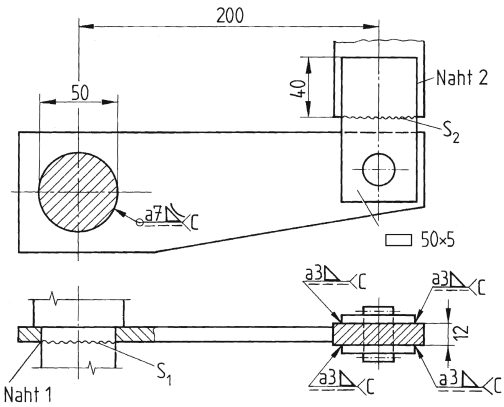


Bild 4.31
An Welle geschweißter Hebel mit geschweißtem Schubstangen-Gabelkopf

Ergebnis:

Ja, Naht und Querschnitt 1: $\sigma_{wv\ zul}$ = 45 N/mm² > σ_{wv} = 43,9 N/mm² und $\sigma_{v\ zul}$ = 75 N/mm² > σ_v = 69,9 N/mm² (F_1 = 40 kN, τ_{w1} = 31,9 N/mm², σ_{wb} = σ_b = 9,6 N/mm², τ_t = 40 N/mm²); Naht und Querschnitt 2: $\tau_{w\ zul}$ = 40 N/mm² > τ_{w2} = 10,4 N/mm² und $\sigma_{z\ zul}$ = 50 N/mm² > σ_z = 10 N/mm² (F_2 = 5 kN)

Lösungsweg:

Schub- und Biegebeanspruchung in Naht 1, Biegespannung $\sigma_{wb} = \sigma_b$ (siehe Abschnitt 4.5 in ME unter 5.), Vergleichsspannung nach Formel 4.5 bilden ($\sigma_{wv\ zul}$ für umlaufende Kehlnaht), Torsions- und Biegespannung im Querschnitt S_1 zur Vergleichsspannung σ_v zusammenfassen (siehe auch Abschnitt 15.5 und Formel 15.10 in ME), durch $F_2 = M/R$ mit R = 200 mm Schub in den Nähten 2 und Zug im Querschnitt S_2, $\tau_{w\ zul}$ für Doppel-Flachkehlnaht (s = 12 mm < 5a = 15 mm, siehe Abschnitt 4.6 in ME).

Aufgabe 4.25

An einem Transportgerät befinden sich vier Räder in der Anordnung nach Bild 4.32. Die sich aus der zulässigen Belastung ergebende Radkraft beträgt F_r = 36 kN je Rad. Für den Fahrwiderstand F_f beträgt die Fahrwiderstandszahl μ_F = 0,02. Die beim Anfahren und Anhalten möglichen Stöße sind mit einem Anwendungsfaktor K_A = 2,5 zu berücksichtigen. Genügen die Anschlussschweißnähte und die Bauteilquerschnitte am Schweißanschluss einer schwellenden Belastung? Für alle Nähte gilt die Bewertungsgruppe C (Werkstoff S235JR).

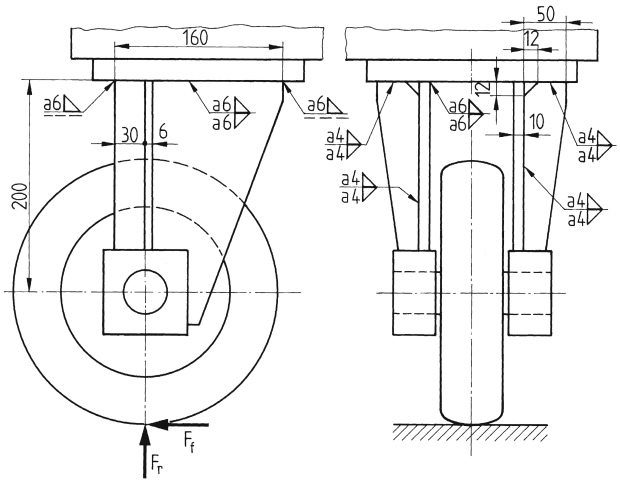


Bild 4.32
Geschweißter Radlagerbock

Ergebnis:

Ja, Anschlussnähte: $\sigma_{w\,zul} = 70$ N/mm² > $\sigma_w = 48{,}4$ N/mm² ≈ σ_{wv}, da $\tau_w = 0{,}5$ N/mm² sehr klein ($A_w = 46{,}88$ cm²), $e_{wd} = 73{,}9$ mm, $I_w = 1090{,}6$ cm⁴, $F_y = 90$ kN, $L_y = 43{,}9$ mm, $F_x = 1{,}8$ kN, $M_{wb} = 4311$ Nm, $\sigma_{wd} = 19{,}2$ N/mm², $\sigma_{wbd} = 29{,}2$ N/mm²), Bauteilquerschnitte: $\sigma_{b\,zul} = 125$ N/mm² > $\sigma = 63{,}7$ N/mm² ($\sigma_{bd} = 39{,}6$ N/mm², $\sigma_d = 24{,}1$ N/mm², $S = 3728$ mm², $e_d = 73{,}3$ mm, $I = 785{,}2$ cm⁴, $L_x = 194$ mm, $L_y = 43{,}3$ mm, $M_b = 4246{,}2$ Nm)

Lösungsweg:

Berechnung sinngemäß wie Beispiel 4.3 in ME, jedoch Druckbeanspruchung durch $F_y = K_A \cdot F_r$ und Biegebeanspruchung durch $F_y \cdot L_y$ und $F_x \cdot L_x$ ähnlich Bild 4.42c in ME mit $F_x = K_A \cdot F_f = K_A \cdot \mu_F \cdot F_r$, $L_x = 200$ mm und $L_y = e_{wd} - 30$ mm; da τ_w aus $F_q = F_x$ und $A_{w1} = 4 \cdot a_1 \cdot l_1$ sehr gering, kann auf Bildung der Vergleichsspannung nach Formel 4.5 verzichtet werden; für Bauteilquerschnitte ist $\sigma_{b\,zul}$ maßgebend, da Biegung vorherrschend.

5 Pressschweißverbindungen

Punktschweißverbindungen

Aufgabe 5.1

Bild 5.1 zeigt eine Punktschweißverbindung aus dem Stahlleichtbau.

1. Für welche maximale Kraft F (Lastfälle H und HZ) ist die Verbindung der Teile aus S235JR geeignet?
2. Mit welchen Abmessungen (übliche Mittelwerte) sind der Punktabstand e und das Vormaß v für d = 6 mm auszuführen?

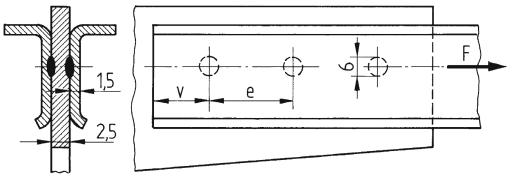


Bild 5.1
Punktschweißverbindung

Ergebnis:

1. Lastfall H: $F \approx 17{,}81$ kN ($n = 3$, $m = 2$, $A_w = 28{,}27$ mm^2, $\tau_{wa\,zul} = 105$ N/mm^2, $\sigma_{wl} \approx 396$ N/mm^2 < $\sigma_{wl\,zul} = 400$ N/mm^2); Lastfall HZ: $F \approx 19{,}5$ kN ($\tau_{wa\,zul} = 115$ N/mm^2, $\sigma_{wl} = 433$ N/mm^2 < $\sigma_{wl\,zul} = 450$ N/mm^2)
2. e = 18…36 mm, v = 12…24 mm, gewählt: e = 27 mm, v = 18 mm

Lösungsweg:

1. F aus der umgeformten Formel 5.2 mit $\tau_{wa\,zul}$ aus Tabelle 5.2, Kontrolle von σ_{wl} nach Formel 5.3 mit $\sigma_{wl\,zul}$ aus Tabelle 5.2. **2.** Nach Tabelle 5.1.

Aufgabe 5.2 X

Die Diagonalstäbe am Knoten einer punktgeschweißten Stahlleichtbaukonstruktion aus S235JR werden im Lastfall H mit den in der Skizze (Bild 5.2) angegebenen Kräften auf Druck beansprucht. Sind die Punktschweißverbindungen mit dem Punktdurchmesser d = 10 mm der Stabanschlüsse am Knotenblech richtig bemessen?

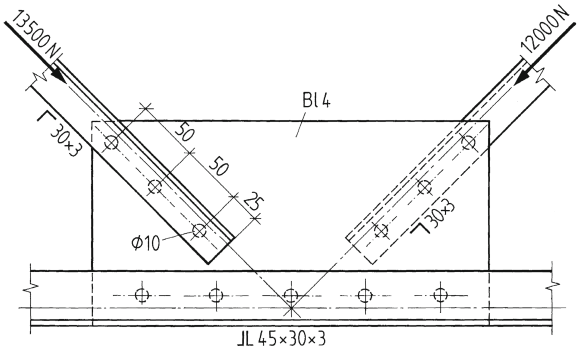


Bild 5.2
Punktgeschweißter Knoten

Ergebnis:

Ja, e = 50 mm und v = 25 mm entsprechen den üblichen Abmessungen für d = 10 mm bei s = 4 mm, $\tau_{wa\ max}$ = 76,4 N/mm² < $\tau_{wa\ zul}$ = 90 N/mm² (n = 3, m = 1, A_w = 58,9 mm²) und $\sigma_{wl\ max}$ = 173,2 N/mm² < $\sigma_{wl\ zul}$ = 255 N/mm².

Lösungsweg:

Überprüfung der Abmessungen nach Tabelle 5.1 für d = 10 mm; Überprüfung der Spannungen mit Formel 5.2 und Formel 5.3 und den zulässigen Werten in Tabelle 5.2 (obere Reihe wegen Knickgefährdung der druckbeanspruchten Stäbe). Da der ausgeführte Punktdurchmesser größer ist als d nach Formel 5.1, ist mit letzterem zu rechnen. Die Spannungskontrolle ist nur für den höher beanspruchten Stabanschluss erforderlich, da beide Anschlüsse gleich ausgeführt sind.

Aufgabe 5.3

In einer Leichtbaukonstruktion aus Stahlprofilen ist ein Winkel zur Aufnahme eines Trägers an eine Stütze mittels 4 Schweißpunkten mit d = 8 mm entsprechend Bild 5.3 befestigt. Ist die Verbindung für die Übertragung einer Kraft F = 20 kN im Lastfall HZ ausreichend bemessen (Werkstoff: S235JR; zulässige Spannungen unter Berücksichtigung der Kippgefahr)?

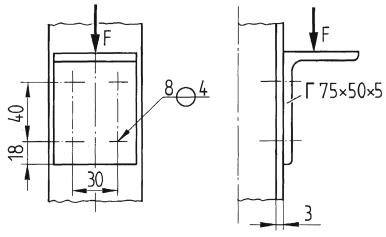


Bild 5.3
Punktgeschweißter Winkelstahl

Ergebnis:

Ja, τ_{wa} = 99,4 N/mm² < $\tau_{wa\ zul}$ = 100 N/mm² (n = 4, m = 1, A_w = 50,3 mm²), σ_{wl} = 208,3 N/mm² < $\sigma_{wl\ zul}$ = 290 N/mm²

Lösungsweg:

Vergleich der Spannungen nach Formel 5.2 und Formel 5.3 mit den zulässigen Werten in Tabelle 5.2 (obere Reihe des oberen Tabellenteils). Das durch F erzeugte Moment kann deshalb vernachlässigt werden.

Aufgabe 5.4

Nach Bild 5.4 ist die Stahlscheibe aus E295 des Reibbelagträgers einer Zweiflächenkupplung durch Schweißpunkte mit der Nabe verbunden. Das zu übertragende wechselnde Drehmoment kann bis 120 Nm ansteigen. Genügt die Verbindung den Anforderungen, wenn zur Erhöhung der Sicherheit nur ⅔ der Punkte als tragend gerechnet werden?