



EUROPA-FACHBUCHREIHE
für Metallberufe

J. Burmester
J. Dillinger

W. Escherich
R. Gomeringer

B. Schellmann
C. Scholer

Rechenbuch Metall

Lehr- und Übungsbuch

33. Auflage

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

Europa-Nr.: 10307

Autoren:

Burmester, Jürgen	Dipl.-Ing., Oberstudienrat	Neheim
Dillinger, Josef	Studiendirektor	München
Escherich, Walter	Studiendirektor	München
Gomeringer, Roland	Dipl.-Gwl., Studiendirektor	Balingen
Schellmann, Bernhard	Oberstudienrat	Wangen i.A.
Scholer, Claudius	Dipl.-Ing., Dipl.-Gwl., Studiendirektor	Metzingen

Lektorat und Leitung des Arbeitskreises:

Claudius Scholer, Metzingen

Bildentwürfe: Die Autoren

Bildquellen:

CASIO Europe GmbH, Norderstedt: S. 22, Bild 1

CASIO Europe GmbH, Norderstedt: S. 32, Bild 1

CASIO Europe GmbH, Norderstedt: S.162, Bild 1

Andreas Maier GmbH & Co. KG, Fellbach: S. 269, Bild 3

Universal Transmissions GmbH, Mühlhausen, © Gates: S.271, Bild 1

Heron Gruppe, Dornbirn, Österreich; www.robotunits.com: S.271, Bild 3

Schellmann, Bernhard, Wangen: S. 270, Bild 4

Bildbearbeitung:

Zeichenbüro des Verlags Europa-Lehrmittel, Ostfildern

33. Auflage 2020, korrigierter Nachdruck 2022

Druck 5 4 3 2

Alle Drucke derselben Auflage sind parallel einsetzbar, da sie bis auf die Korrektur von Druckfehlern identisch sind.

ISBN 978-3-8085-1857-1

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

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

Satz: Satz+Layout Werkstatt Kluth GmbH, 50374 Erftstadt
Umschlag: Grafische Produktionen Jürgen Neumann, 97222 Rimpar
Umschlagfotos: Sauter Feinmechanik GmbH, 72555 Metzingen
Druck: RCOM Print GmbH, 97222 Rimpar

Vorwort

Das Rechenbuch Metall ist ein Lehr- und Übungsbuch für die Aus- und Weiterbildung in Fertigungs- und Werkzeugberufen. Es vermittelt rechnerische Grund- und Fachkenntnisse, fördert und vertieft das Verständnis für technische Abläufe und technologische Zusammenhänge. Das Buch eignet sich sowohl für den unterrichtsbegleitenden Einsatz als auch zum Selbststudium.

Angehende Zielgruppen:

- Industriemechaniker
- Feinwerkmechaniker
- Zerspanungsmechaniker
- Werkzeugmechaniker
- Fertigungsmechaniker
- Technischer Produktdesigner
- Verfahrensmechaniker
- Meister und Techniker

Der Inhalt wurde durch **Animationen** und **interaktive Simulationen** dem Stand der Technik angepasst, sodass sich die Lernfeldkonzeption in Verbindung mit digitalen Medien im Unterricht umsetzen lässt. Die digitalen Inhalte sind auch zur Darstellung auf kleinen Displays (Smartphone, Tablet) geeignet.

Eine klare Gliederung in **Teil A Fachrechnen**, **Teil B Simulationsaufgaben**, **Teil C Vertiefungsaufgaben** und **Teil D Projektaufgaben** unterstützt die Arbeit des Anwenders.

Im **Teil A Fachrechnen** bildet jeder Lernbereich eine in sich geschlossene Einheit mit identischem methodischem Aufbau. Nach der Einführung in das Fachgebiet werden die notwendigen Formeln hergeleitet und erläutert. Wichtige mathematische und physikalische Zusammenhänge werden durch Animationen verdeutlicht. Nachfolgende Musterbeispiele zeigen die technische Anwendung. Daran schließen sich Übungsaufgaben an, die nach steigendem Schwierigkeitsgrad geordnet sind. Aufgaben mit höherem Schwierigkeitsgrad sind durch einen roten Punkt ● gekennzeichnet. Auf Simulationsaufgaben und weitere Vertiefungsaufgaben wird auf den einzelnen Seiten verwiesen.

Der neue **Teil B Simulationsaufgaben** ermöglicht durch einfache Aufgaben einen schnellen Einstieg in die entsprechenden Themen. Durch den Einsatz der Simulationen werden Zusammenhänge erkennbar und die Lösungen können selbstständig überprüft werden.

Der **Teil C Vertiefungsaufgaben** stellt einen Querschnitt durch alle Stoffgebiete dar und kann zur Leistungskontrolle und zur Prüfungsvorbereitung verwendet werden.

Im **Teil D Projektaufgaben** wird die Unterrichtskonzeption nach Lernfeldern in besonderer Weise unterstützt. Die Projektaufgaben umfassen neben den fachmathematischen Aufgaben auch Fragen der Technologie, Werkstofftechnik, Steuerungstechnik und Arbeitsplanung.

Der Inhalt des Rechenbuches wurde in der **33. Auflage** um 16 Seiten mit interaktiven Simulationen sowie Animationen erweitert. Die 13 Simulationen beziehen sich auf folgende Inhalte:

- | | | |
|---------------------------------|--------------------------------|------------------------------|
| • Geradlinige Bewegung | • Kreisförmige Bewegung | • Hebelgesetz |
| • Schiefe Ebene | • Druck und Kolbenkraft | • Hydraulische Presse |
| • Elektrotechnik | • Toleranzen | • Passungen |
| • Einfache Übersetzungen | • Biegen | |

Die beiden Lernbereiche **Flaschenzug** und **Welle-Nabe-Verbindung** wurden neu aufgenommen. Die „**Lösungen**“ zum Rechenbuch Metall ermöglichen nicht nur das Überprüfen der Ergebnisse, sondern enthalten außerdem den ausführlichen Lösungsweg der Aufgaben.

Kritische Hinweise und Verbesserungsvorschläge nehmen wir gerne entgegen über lektorat@europa-lehrmittel.de.

Technische Mathematik
9 ... 64

Technische Physik
65 ... 151

Prüftechnik und Qualitätsmanagement
152 ... 171

Maschinenelemente
172 ... 186

Fertigungsplanung
187 ... 203

Fertigungstechnik
204 ... 259

Simulationsaufgaben
260 ... 272

Vertiefungsaufgaben
273 ... 296

Projektaufgaben
297 ... 333

Inhaltsverzeichnis

Lernfeldkompass für Industrie- und Werkzeugmechaniker	6
Lernfeldkompass für Zerspanungs- und Feinwerkmechaniker	7
Mathematische und physikalische Begriffe	8

Teil A – Fachrechnen

Technische Mathematik

Zahlensysteme	9
Dezimales Zahlensystem	9
Duales (binäres) Zahlensystem	9
Hexadezimales Zahlensystem	10
Grundrechnungsarten	11
Variable	11
Klammerausdrücke (Klammerterm)	11
Runden	11
Strich- und Punktrechnungen	11
Bruchrechnen	14
Potenzieren	15
Radizieren (Wurzelziehen)	17
Allgemeine Berechnungen	19
Schlussrechnung (Dreisatzrechnung)	19
Prozentrechnung	20
Zeitberechnungen	21
Winkelberechnungen	22
Technische Berechnungen	24
Formeln (Größengleichungen)	24
Zahlenwertgleichungen	24
Größen und Einheiten	25
Darstellung großer und kleiner Zahlenwerte	25
Rechnen mit physikalischen Größen	26
Umrechnen von Einheiten	26
Umstellen von Formeln	29
Technische Berechnungen mit dem Taschenrechner	32
Berechnungen im Dreieck	35
Lehrsatz des Pythagoras	35
Winkelfunktionen	38
Längen, Flächen, Volumen,	
Gewichtskraft	44
Längen und Teilung	44
Flächen und Verschnitt	48
Volumen	54
Masse	55
Gewichtskraft	55
Gleichdicke Körper, Masseberechnung mithilfe von Tabellenwerten	57
Volumenänderung beim Umformen	60
Diagramme und Funktionen	61
Kreisdiagramm	61
Balkendiagramm	61
Histogramm und Paretdiagramm	61
Grafische Darstellungen von Funktionen und Messreihen	62
Technische Physik	
Bewegungen	65
Konstante Bewegungen	65

Beschleunigte und verzögerte Bewegungen	70
---	----

Kräfte	72
Darstellen von Kräften	72
Grafische Ermittlung von Kräften	72
Rechnerische Ermittlung von Kräften	74
Drehmoment, Hebelgesetz	76
Lagerkräfte	78
Umfangskraft und Drehmoment	80
Reibung	82

Arbeit, Energie, Leistung, Wirkungsgrad	84
Mechanische Arbeit	84
Mechanische Energie	85
Mechanische Leistung	87
Wirkungsgrad	88
Einfache Maschinen	91

Rollen und Flaschenzüge	94
--------------------------------------	----

Fluidmechanik und Automation	95
Druck – Einheiten und Druckarten	95
Kolbenkraft in Pneumatik und Hydraulik	96
Luftverbrauch in der Pneumatik	99
Hydrostatik – Prinzip der hydraulischen Presse	101
Hydrodynamik – Volumenstrom	103
Leistungsberechnung in der Hydraulik	105
Logische Verknüpfungen	107

Werkstoffprüfung	114
Zugversuch	114
Elastizitätsmodul und Hookesches Gesetz	117

Festigkeitslehre	120
Beanspruchung auf Zug	120
Beanspruchung auf Druck	122
Beanspruchung auf Flächenpressung	123
Beanspruchung auf Abscherung, Schneiden von Werkstoffen	124
Beanspruchung auf Biegung	126
Beanspruchung auf Torsion (Verdrehung)	128

Wärmelehre	130
Temperatur	130
Längen- und Volumenänderung	130
Schwindung beim Gießen	131
Wärmemenge	133

Elektrotechnik	136
Ohmsches Gesetz	136
Leiterwiderstand	137
Temperaturabhängige Widerstände	138

Schaltung von Widerständen	139
Elektrische Leistung bei Gleichspannung	143

Wechselspannung und Wechselstrom	145
Elektrische Leistung bei Wechselstrom und bei Drehstrom	148
Elektrische Arbeit und Energiekosten	150
Transformator	151

Prüftechnik und Qualitätsmanagement

Maßtoleranzen und Passungen	152
Maßtoleranzen	152
Passungen	154
ISO-Passungen	155

Qualitätsmanagement	158
Prozesskennwerte aus Stichprobenprüfung	158
Statistische Berechnungen mit dem Taschenrechner	162
Maschinen- und Prozessfähigkeit	164
Statistische Prozesslenkung mit Qualitätsregelkarten	168

Maschinenelemente

Zahnradmaße	172
Stirnräder mit Geradverzahnung	172
Stirnräder mit Schrägverzahnung	173
Achsabstand bei Zahnrädern	174

Übersetzungen bei Antrieben	176
Einfache Übersetzungen	176
Mehrfaache Übersetzungen	179

Welle-Nabe-Verbindung	181
Passfedererverbindung	181

Schraubenverbindung	183
Schraubenverbindungen mit axialem Betriebskraft F_B	183
Schraubenverbindungen ohne Betriebskraft	185

Fertigungsplanung

Standgrößen (Standzeit, Standmenge, Standweg, Standvolumen)	187
--	-----

Durchlaufzeit, Belegungszeit	188
---	-----

Auftragszeit	191
---------------------------	-----

Kostenrechnung	193
-----------------------------	-----

Maschinenstundensatz	197
-----------------------------------	-----

Deckungsbeitrag (Teilkostenrechnung)	199
---	-----

Lohnberechnung	201
-----------------------------	-----

Fertigungstechnik

Drehen	204	Schnittdaten und Drehzahl beim Bohren	220	Streifenmaße und Streifenausnutzung	241
Schnittdaten und Anzahl der Schnitte beim Drehen	204	Schnittkraft beim Bohren	221	Biegen	243
Drehzahl beim Drehen	205	Schnittleistung und Antriebsleistung beim Bohren	222	Zuschnittermittlung	243
Schnittkraft beim Drehen	206	Hauptnutzungszeit beim Bohren, Senken, Reiben	223	Rückfederung	245
Schnittleistung und Antriebsleistung beim Drehen	207	Schleifen	225	Tiefziehen	247
Rautiefe	209	Hauptnutzungszeit beim Längs-Rundschleifen	225	Zuschnittdurchmesser	247
Hauptnutzungszeit beim Drehen mit konstanter Drehzahl	210	Hauptnutzungszeit beim Umfangs-Planschleifen	227	Ziehstufen und Ziehverhältnisse ..	248
Kegelmaße	212	Indirektes Teilen	229	Exzenter- und Kurbelpressen	250
Fräsen (Stirnfräsen)	214	Koordinaten in NC-Programmen	231	Pressenauswahl	250
Schnittdaten und Drehzahl für das Stirnfräsen	214	Geometrische Grundlagen	231	Schneidarbeit	250
Schnittkraft beim Fräsen (Stirnfräsen)	215	Abtragen und Schneiden, Haupt-nutzungszeit	237	Spritzgießen	252
Schnittleistung und Antriebsleistung beim Fräsen	216	Trennen durch Schneiden	239	Schwindung	252
Hauptnutzungszeit beim Fräsen	218	Schneidspalt	239	Kühlung	253
Bohren	220			Dosierung der Formmasse	254
				Kräfte	255
				Schmelzschweißen	257
				Nahtquerschnitt und Elektrodenbedarf beim Lichtbogenschweißen ..	257

Teil B – Simulationsaufgaben

Konstante geradlinige Bewegungen	260	Druck und Kolbenkraft	264	Gemischte Schaltung von Widerständen	268
Konstante kreisförmige Bewegungen	261	Hydraulische Presse	265	ISO-Toleranzen	269
Hebelgesetz	262	Ohmsches Gesetz	266	ISO-Passungen	270
Schiefe Ebene	263	Reihenschaltung und Parallelschaltung von Widerständen	267	Einfache Übersetzungen	271
				Biegen	272

Teil C – Vertiefungsaufgaben

Lernfeldkompass	273	Maßtoleranzen, Passungen und Teilen	280	Wärmeausdehnung und Wärmemenge	290
Berechnungen im Dreieck	274	Statistische Auswertungen	281	Hydraulik und Pneumatik	291
Längen, Flächen, Volumen, Masse und Gewichtskraft	275	Maschinen- und Prozessfähigkeit	283	Grundlagen der Elektrotechnik	293
Bewegungen, Übersetzungen	276	Bohren, Senken, Reiben	284	Elektrische Leistung und Wirkungsgrad	294
Kräfte, Arbeit, Leistung, Wirkungsgrad	277	Drehen, Fräsen, Schleifen	285	Elektrische Antriebe und Steuerungen	295
Kräfte, Flächenpressung, Kennwerte	278	Koordinaten in NC-Programmen	287	Kalkulation	296
Kräfte an Bauteilen	279	Schneiden und Umformen	288		
		Schraub-, Stift-, Passfeder- und Lötverbindungen	289		

Teil D – Projektaufgaben

Vorschubantrieb einer CNC-Fräsmaschine	297	Folgeschneidwerkzeug	309	Pneumatische Steuerung	321
Hubeinheit	300	Tiefziehwerkzeug	312	Elektropneumatik – Sortieren von Materialien	324
Zahnradpumpe	303	Spritzgießwerkzeug	315	Frästeil Spannplatte	327
Hydraulische Spannklaue	306	Qualitätsmanagement	318	Drehteil Ritzelwelle	330

6 Lernfelder für Industrie- und Werkzeugmechaniker und die hierzu passenden Abschnitte im Rechenbuch Metall

Lernfelder für Industrie- und Werkzeugmechaniker und die hierzu passenden Abschnitte im Rechenbuch Metall				
Lernfeld	Industrie-mechaniker	Kapitel im Rechenbuch	Werkzeug-mechaniker	Kapitel im Rechenbuch
1	Fertigen von Bauelementen mit handgeführten Werkzeugen	Längen S. 44 Flächen S. 48 Volumen S. 54 Masse S. 55 Gewichtskraft S. 55 Maßtoleranzen S. 152 Umformen, Biegen S. 243	Fertigen von Bauelementen mit handgeführten Werkzeugen	Längen S. 44 Flächen S. 48 Volumen S. 54 Masse S. 55 Gewichtskraft S. 55 Maßtoleranzen S. 152 Umformen, Biegen S. 243
2	Fertigen von Bauelementen mit Maschinen	Passungen S. 154 Konstante Bewegungen S. 65 Drehen (v_c ; n; f) S. 204 Bohren (v_c ; n; f) S. 220 Fräsen (v_c ; n; f) S. 214 Kostenrechnen S. 193	Fertigen von Bauelementen mit Maschinen	Passungen S. 154 Konstante Bewegungen S. 65 Drehen (v_c ; n; f) S. 204 Bohren (v_c ; n; f) S. 220 Fräsen (v_c ; n; f) S. 214 Kostenrechnen S. 193
3	Herstellen von einfachen Baugruppen	Kräfte S. 72 Hebel S. 76 Einfache Maschinen S. 91	Herstellen von einfachen Baugruppen	Kräfte S. 72 Hebel S. 76 Einfache Maschinen S. 91
4	Warten technischer Systeme	Diagramme S. 61 Ohmsches Gesetz S. 136 Schaltung v. Widerständen S. 139	Warten technischer Systeme	Diagramme S. 61 Ohmsches Gesetz S. 136 Schaltung v. Widerständen S. 139
5	Fertigen von Einzelteilen mit Werkzeugmaschinen	Prozesskennwerte Stichproben S. 158 Drehen (F_c ; P_c ; t_h) S. 204 Bohren (F_c ; P_c ; t_h) S. 220 Fräsen (F_c ; P_c ; t_h) S. 214	Formgeben von Bauelementen durch spanende Fertigung	Drehen (F_c ; P_c ; t_h) S. 204 Bohren (F_c ; P_c ; t_h) S. 220 Fräsen (F_c ; P_c ; t_h) S. 214 Indirektes Teilen S. 229
6	Installieren und Inbetriebnehmen steuerungstechnischer Systeme	Druck und Kolbenkräfte S. 95 Logische Verknüpfungen S. 107 Projekt: Pneumatische Steuerung S. 321 Hydraulische Presse S. 101	Herstellen technischer Teilsysteme des Werkzeugbaus	Biegen, Rückfedern S. 243 Tiefeziehen S. 247 Excenter- und Kurbelpressen S. 250
7	Montieren von technischen Teilsystemen	Festigkeitslehre S. 120 Lagerkräfte S. 78 Zugversuch S. 114	Fertigen mit numerisch gesteuerten Werkzeugmaschinen	Berechnungen im Dreieck S. 35 Koordinaten in NC-Programmen S. 231
8	Fertigen auf numerisch gesteuerten Werkzeugmaschinen	Berechnungen im Dreieck S. 35 Koordinaten in NC-Programmen S. 231	Planen und Inbetriebnehmen steuerungstechnischer Systeme	Druck und Kolbenkräfte S. 95 Logische Verknüpfungen S. 107 Ohmsches Gesetz S. 136 Leiterwiderstand S. 137
9	Instandsetzen von technischen Systemen	Reibung S. 82 Wärmelehre S. 130 Kostenrechnung S. 193	Herstellen von formgebenden Werkzeugoberflächen	Hauptnutzungszeit beim Schneiden S. 237 Arbeit, Energie, Leistung, Wirkungsgrad S. 84 Wechselspannung und Wechselstrom S. 145
10	Herstellen und Inbetriebnehmen von technischen Systemen	Zahnradmaße S. 172 Übersetzungen S. 176 Arbeit, Energie, Leistung, Wirkungsgrad S. 84 Wechselspannung und Wechselstrom S. 145 El. Leistung S. 148 El. Energiekosten S. 150	Fertigen von Bauelementen in der rechnergestützten Fertigung	Berechnungen im Dreieck S. 35 Koordinaten in NC-Programmen S. 231
11	Überwachen der Produkt- und Prozessqualität	Qualitätsmanagement S. 158 Projekt: Qualitätsmanagement am Bsp. eines Stirnradgetriebes S. 318	Herstellen der technischen Systeme des Werkzeugbaus	Trennen durch Schneiden S. 239 Werkstoffprüfung S. 114 Festigkeitslehre S. 120
12	Instandhalten von technischen Systemen	Werkstoffprüfung S. 114 Festigkeitslehre S. 120	Inbetriebnehmen und Instandhalten von technischen Systemen des Werkzeugbaus	Qualitätsmanagement S. 158 El. Leistung S. 148 El. Energiekosten S. 150 Projekt: Folgeschneidwerkzeug S. 309
13	Sicherstellen der Betriebsfähigkeit automatisierter Systeme	Logische Verknüpfungen S. 107 Projekt: Pneumatische Steuerung S. 321 Projekt: Elektropneumatik S. 324	Planen und Fertigen technischer Systeme des Werkzeugbaus	Spritzgießen S. 252 Projekt: Spritzgießwerkzeug S. 315 Projekt: Tiefziehwerkzeug S. 312
14	Planen und Realisieren technischer Systeme	Projekt: Vorschubantrieb einer CNC-Fräsmaschine S. 297 Projekt: Hubeinheit S. 300	Ändern und Anpassen technischer Systeme des Werkzeugbaus	Qualitätsmanagement S. 158 Projekt: Qualitätsmanagement am Bsp. eines Stirnradgetriebes S. 318
15	Optimieren von technischen Systemen	Projekt: Zahnradpumpe S. 303 Projekt: Hydraulische Spannklaue S. 306	–	–

Lernfelder für Zerspanungs- und Feinwerkmechaniker und die hierzu passenden Abschnitte im Rechenbuch Metall				
Lernfeld	Zerspanungsmechaniker	Kapitel im Rechenbuch	Feinwerkmechaniker	Kapitel im Rechenbuch
1	Fertigen von Bauelementen mit handgeführten Werkzeugen	Längen S. 44 Flächen S. 48 Volumen S. 54 Masse S. 55 Gewichtskraft S. 55 Maßtoleranzen S. 152 Umformen, Biegen S. 243	Fertigen von Bauelementen mit handgeführten Werkzeugen	Längen S. 44 Flächen S. 48 Volumen S. 54 Masse S. 55 Gewichtskraft S. 55 Maßtoleranzen S. 152 Umformen, Biegen S. 243
2	Fertigen von Bauelementen mit Maschinen	Passungen S. 154 Konstante Bewegungen S. 65 Drehen (v_c ; n; f) S. 204 Bohren (v_c ; n; f) S. 220 Fräsen (v_c ; n; f) S. 214 Kostenrechnen S. 193	Fertigen von Bauelementen mit Maschinen	Passungen S. 154 Konstante Bewegungen S. 65 Drehen (v_c ; n; f) S. 204 Bohren (v_c ; n; f) S. 220 Fräsen (v_c ; n; f) S. 214 Kostenrechnen S. 193
3	Herstellen von einfachen Baugruppen	Kräfte S. 72 Hebel S. 76 Einfache Maschinen S. 91	Herstellen von einfachen Baugruppen	Kräfte S. 72 Hebel S. 76 Einfache Maschinen S. 91
4	Warten technischer Systeme	Diagramme S. 61 Ohmsches Gesetz S. 136 Schaltung v. Widerständen S. 139	Warten technischer Systeme	Diagramme S. 61 Ohmsches Gesetz S. 136 Schaltung v. Widerständen S. 139
5	Herstellen von Bauelementen durch spanende Fertigungsverfahren	Passungen S. 154 Drehen (F_c ; P_c ; t_h) S. 204 Bohren (F_c ; P_c ; t_h) S. 220 Fräsen (F_c ; P_c ; t_h) S. 214	Herstellen von Dreh- und Frästeilen	Passungen S. 154 Drehen (F_c ; P_c ; t_h) S. 204 Bohren (F_c ; P_c ; t_h) S. 220 Fräsen (F_c ; P_c ; t_h) S. 214
6	Warten und Inspizieren von Werkzeugmaschinen	Standgrößen S. 187 Durchlauf-, Belegungszeit S. 188 Flächenpressung S. 123 Lagerkräfte S. 78 Reibung S. 82	Programmieren und Fertigen auf numerisch gesteuerten Werkzeugmaschinen	Berechnungen im Dreieck S. 35 Koordinaten in NC-Programmen S. 231 Maschinenstundensatz S. 197 Deckungsbeitrag S. 199
7	Inbetriebnehmen steuerungstechnischer Systeme	Druck und Kolbenkräfte S. 95 Logische Verknüpfungen S. 107 Projekt: Zahnrädpumpe S. 303 Hydraulische Presse S. 101	Herstellen technischer Teilsysteme	Zugversuch S. 114 Elastizitätsmodul und Hookesches Gesetz S. 117 Längen- und Volumenänderung S. 130 Flächenpressung S. 123 Lagerkräfte S. 78 Reibung S. 82
8	Programmieren und Fertigen mit numerisch gesteuerten Werkzeugmaschinen	Koordinaten in NC-Programmen S. 231 Qualitätsmanagement S. 158	Planen und Inbetriebnehmen steuerungstechnischer Systeme	Druck und Kolbenkräfte S. 95 Logische Verknüpfungen S. 107 Projekt: Pneumatische Steuerung S. 321 Projekt: Elektropneumatik S. 324
9	Herstellen von Bauelementen durch Feinbearbeitungsverfahren	Schleifen (t_h) S. 225 Abtragen und Schneiden (t_h) S. 237 ISO-Passungen S. 155	Instandhalten von Funktionseinheiten	Lagerkräfte S. 78 Standgrößen S. 187 Durchlauf-, Belegungszeit S. 188 Flächenpressung S. 123
10	Optimieren des Fertigungsprozesses	Mechanische Leistung S. 87 Maschinen- und Prozessfähigkeit S. 164 Fertigungstechnik (Schnittleistung, Hauptnutzungszeit) S. 204 Fertigungsplanung S. 187	Feinbearbeiten von Flächen	Schleifen (t_h) S. 225 Abtragen und Schneiden S. 237 Auftragszeit S. 191 Kostenrechnung S. 193
11	Planen und Organisieren rechnergestützter Fertigung	Prozesskennwerte aus Stichprobenprüfung S. 158 Statistische Prozesslenkung S. 168	Herstellen von Bauteilen und Baugruppen aus Kunststoff	Spritzgießen S. 252 Projekt: Spritzgießwerkzeug S. 315 Projekt: Folgeschneidwerkzeug S. 309
12	Vorbereiten und Durchführen eines Einzelfertigungsauftrages	Fertigungstechnik: Schnittdaten, Schnittkräfte S. 204 Projekt: Hydraulische Spannklau S. 306 Maschinenstundensatz S. 197 Deckungsbeitrag S. 199	Planen und Organisieren rechnergestützter Fertigung	Prozesskennwert aus Stichprobenprüfung S. 158 Statistische Prozesslenkung S. 168
13	Organisieren und Überwachen von Fertigungsprozessen in der Serienfertigung	Projekt: Frästeil Spannplatte S. 327 Projekt: Drehteil Ritzelwelle S. 330 Projekt: Qualitätsmanagement am Bsp. eines Stirnradgetriebes S. 318	Instandhalten technischer Systeme	Maschinen- und Prozessfähigkeit S. 164 Fertigungstechnik (Schnittleistung, Hauptnutzungszeit) S. 204 Fertigungsplanung S. 187
14	–	–	Fertigen von Schweißkonstruktionen ¹⁾	Schmelzschweißen S. 257
15	–	–	Montieren, Demontieren und Inbetriebnehmen technischer Systeme ¹⁾	Arbeit, Leistung, Wirkungsgrad S. 84 Qualitätsmanagement S. 158 Elektrotechnik S. 136
16	–	–	Programmieren automatisierter Systeme und Anlagen ¹⁾	Projekt: Elektropneumatik S. 324

¹⁾ Schwerpunkt Maschinenbau



Technische Physik

Bewegungen

Bewegungen unterscheiden sich in ihrer Richtung und in der Art ihrer Geschwindigkeit. Die Richtung der Bewegung kann geradlinig oder kreisförmig, die Geschwindigkeit konstant oder beschleunigt bzw. verzögert sein.

Konstante Bewegungen

Konstante geradlinige Bewegungen

Bezeichnungen:

v	Geschwindigkeit	m/s
s	Weg	m
t	Zeit	s

Die auf einer Transferstraße bearbeiteten Motorblöcke werden mit einem Förderband abtransportiert (**Bild 1**). Der Bewegungsablauf wird mit einem Schreiber in einem Weg-Zeit-Diagramm aufgezeichnet (**Bild 2**).

In gleichen Zeitabständen werden jeweils gleiche Wege zurückgelegt. Die Bewegung ist konstant.

Die Geschwindigkeit v ist der in einer Zeiteinheit t zurückgelegte Weg s . Sie ist für die gesamte Bewegung konstant (**Bild 3**).

Beispiel:

Aus den Weg- und Zeitangaben in **Bild 1** ist die Geschwindigkeit zu berechnen

$$\text{Lösung: } v = \frac{s}{t}; \quad v = \frac{s_1}{t_1} = \frac{1,5 \text{ m}}{2 \text{ s}} = 0,75 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

oder

$$v = \frac{s_2}{t_2} = \frac{3,0 \text{ m}}{4 \text{ s}} = 0,75 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

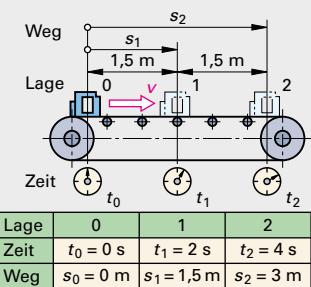


Bild 1: Förderband

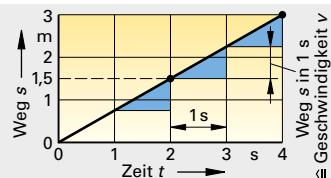


Bild 2: Weg-Zeit-Schaubild

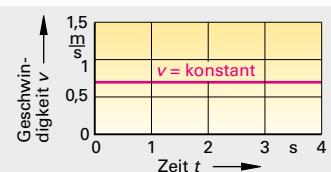


Bild 3: Geschwindigkeits-Zeit-Schaubild

Geschwindigkeit, Durchschnittsgeschwindigkeit

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

Einheiten

$$1 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 60 \frac{\text{m}}{\text{min}} = 3,6 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

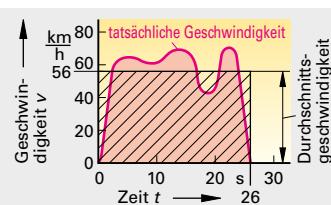


Bild 4: Durchschnittsgeschwindigkeit

Durchschnittsgeschwindigkeit

Die meisten Bewegungsabläufe haben keine konstante Geschwindigkeit. Sie sind beschleunigt oder verzögert. Zur Vereinfachung der Rechnung und für den praktischen Gebrauch genügt es oft, den Verlauf einer solchen Bewegung als konstant anzunehmen und mit einer Durchschnittsgeschwindigkeit zu rechnen (**Bild 4**).

Beispiel:

Ein Auszubildender fährt mit seinem Leichtkraftrad von der Ausbildungsstelle nach Hause. Dabei hat sich der Kilometerstand von 5 621,1 km auf 5 645,4 km erhöht. Für den zurückgelegten Weg benötigte er eine Fahrtzeit von 26 Minuten.

Welche Durchschnittsgeschwindigkeit erreichte der Auszubildende bei seiner Heimfahrt (**Bild 4**)?

$$\text{Lösung: } v = \frac{s}{t} = \frac{5\,645\,400 \text{ m} - 5\,621\,100 \text{ m}}{26 \cdot 60 \text{ s}} = \frac{24\,300 \text{ m}}{1560 \text{ s}} = 15,58 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$= 15,58 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot \frac{1 \text{ km}}{1000 \text{ m}} \cdot \frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ h}} = 56 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$



Drehmoment, Hebelgesetz

Hebel werden zur Änderung der Krafrichtung und zur Übersetzung von Kräften eingesetzt. Auf der Hebelwirkung beruhen z.B. Schraubenschlüssel, Zangen, Scheren, Zahnräder. Man unterscheidet einseitige Hebel, zweiseitige Hebel und Winkelhebel (**Bild 1**).

Bezeichnungen:

$F, F_1, F_2 \dots$	Kräfte	N
$l, l_1, l_2 \dots$	wirksame Hebellängen	m
F_G	Gewichtskraft	N
M, M_1, M_2, \dots	Drehmomente	N·m
M_l	linksdrehendes Moment	N·m
M_r	rechtsdrehendes Moment	N·m
ΣM	Summe aller Drehmomente	N·m

Greifen an einem Hebel Kräfte an, so bewirken sie Drehmomente.

Drehmoment. Ein Drehmoment hängt ab

- von der Größe der Kraft F ,
- von der wirksamen Hebellänge l .

Das Drehmoment hat die Einheit N·m.

Die wirksame Hebellänge l ist der senkrechte Abstand von der Wirkungslinie der Kraft F zum Drehpunkt (**Bild 1**).

Hebelgesetz. Ein Hebel ist im Gleichgewicht, wenn die Summe aller linksdrehenden Momente gleich der Summe aller rechtsdrehenden Momente ist.

● Beispiel:

Am Winkelhebel (**Bild 2**) greift die Kraft $F_1 = 250 \text{ N}$ an.

- Welches Drehmoment M entsteht in den Lagen a und b?
- Wie groß muss die Kraft F_2 in der Lage a sein, um den Gleichgewichtszustand herzustellen

Lösung: a) Lage a: $M = F_1 \cdot l_1 = 250 \text{ N} \cdot 0,2 \text{ m} = 50 \text{ N}\cdot\text{m}$
Lage b: $M = F_1 \cdot l_1 = 250 \text{ N} \cdot 0 \text{ m} = 0 \text{ N}\cdot\text{m}$

$$\text{b)} \quad \Sigma M_l = \Sigma M_r$$

$$F_1 \cdot l_1 = F_2 \cdot l_2$$

$$F_2 = \frac{F_1 \cdot l_1}{l_2} = \frac{250 \text{ N} \cdot 200 \text{ mm}}{250 \text{ mm}} = 200 \text{ N}$$

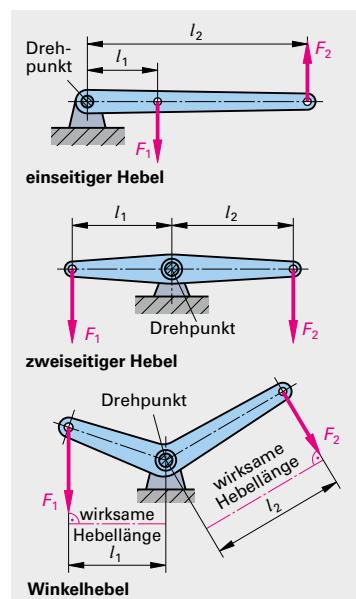


Bild 1: Hebelarten

Drehmoment

$$M = F \cdot l$$

Hebelgesetz

$$\Sigma M_l = \Sigma M_r$$

$$F_1 \cdot l_1 = F_2 \cdot l_2$$

Aufgaben | Drehmoment, Hebelgesetz

1. **Kettentreib (Bild 3).** Das Kettenrad überträgt ein Drehmoment $M = 144 \text{ N}\cdot\text{m}$. Wie groß ist die Zugkraft F in der Kette?

2. **Kipphebel (Bild 4).** Am Kipphebel wirkt die Kraft $F_1 = 1450 \text{ N}$. Wie groß ist die Kraft F_2 ?

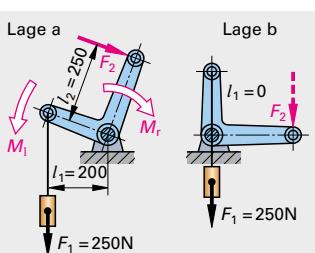


Bild 2: Winkelhebel

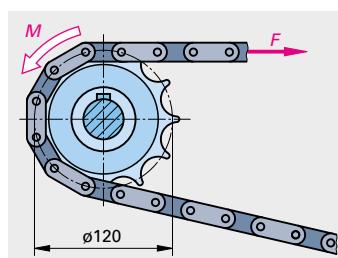


Bild 3: Kettentreib

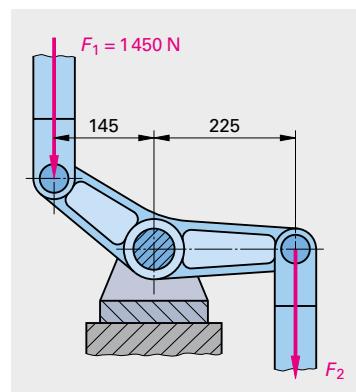


Bild 4: Kipphebel

Rollen und Flaschenzüge

Rollen und Flaschenzüge sind einfache Maschinen und dienen zum Heben von Lasten. Man unterscheidet lose Rollen, feste Rollen und Rollenflaschenzüge. Es gilt die „goldene Regel der Mechanik“: Was an Kraft gespart wird, muss an Weg zugesetzt werden. Die aufgewendete Arbeit ist gleich der abgegebenen Arbeit (Hubarbeit = Zugarbeit).

Feste Rolle

Eine feste Rolle (**Bild 1**) kann nur die Richtung der Kraft ändern, der Betrag der Kraft und die Länge des Weges bleiben gleich.

Lose Rolle

Bei einer losen Rolle (**Bild 1**) verteilt sich die Last auf zwei Seile. Jedes Seil trägt die halbe Last. Die Kraft wird halbiert und der Kraftweg verdoppelt.

Rollenflaschenzüge

Rollenflaschenzüge werden zum Heben schwerer Lasten verwendet. Sie bestehen aus festen und losen Rollen. Die Kräfte verteilen sich auf die tragenden Seile (**Bild 1**). Die Anzahl der tragenden Seile entspricht meist der Anzahl der Rollen.

Bezeichnungen:

F	Kraft, Handkraft	N	h	Lastweg	m
F_G	Last, Gewichtskraft	N	n	Anzahl der tragenden Seile	–
s	Kraftweg	m	W	Hubarbeit	Nm; J

Beispiel:

Eine Last $F_G = 960 \text{ N}$ soll durch einen Rollenflaschenzug mit vier tragenden Seilen bzw. zwei festen Rollen und zwei losen Rollen (**Bild 1**) auf eine Höhe von 0,9 m gehoben werden.

Welche Kraft F , welcher Weg s und welche Hubarbeit W ist hierfür notwendig?

$$\text{Lösung: } F = \frac{F_G}{n} = \frac{960 \text{ N}}{4} = 240 \text{ N}$$

$$s = n \cdot h = 4 \cdot 0,9 \text{ m} = 3,6 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} W &= F_G \cdot h \\ &= 960 \text{ N} \cdot 0,9 \text{ m} \\ &= 864 \text{ Nm} \end{aligned}$$

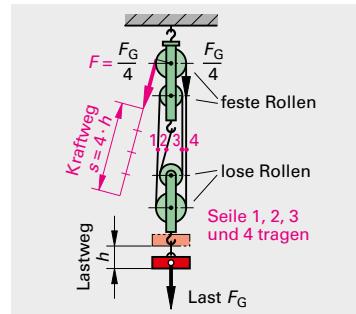


Bild 1: Rollenflaschenzug

Hubkraft und Kraftweg

$$F = \frac{F_G}{n}$$

$$s = n \cdot h$$

Hubarbeit

$$W = F_G \cdot h$$

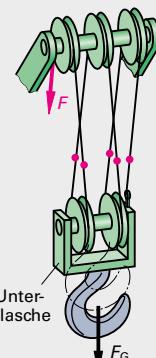


Bild 2: Flaschenzug

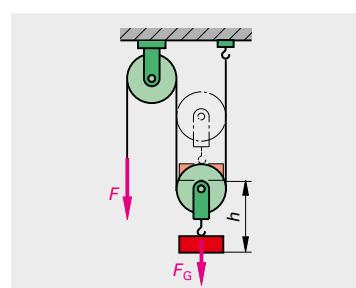


Bild 3: Last

Aufgaben | Rollen und Flaschenzüge

- Rollenflaschenzug.** Ein Rollenflaschenzug besitzt 3 feste und 3 lose Rollen. Berechnen Sie für eine Kraft von $F = 300 \text{ N}$
 - die anzuhebende Last und
 - den Kraftweg bei $h = 12 \text{ m}$?
- Flaschenzug (Bild 2).** Eine Last von 1880 N soll mithilfe des Flaschenzugs angehoben werden.
 - Welche Handkraft muss aufgebracht werden, wenn das Gewicht der Unterflasche 120 N beträgt?
 - Berechnen Sie den Kraftweg bei einem Hub von 2500 mm .
- Last (Bild 3).** Eine Last wird mittels einer Handkraft von 450 N angehoben. Der Kraftweg beträgt 8 m .
 - Ermitteln Sie die Last bei einem Unterflaschengewicht von 50 N .
 - Auf welche Höhe wird die Last gehoben?
 - Berechnen Sie die zu verrichtende Hubarbeit.



Fluidmechanik und Automation

Druck – Einheiten und Druckarten

Mithilfe von Druckflüssigkeiten oder Druckluft können Geräte und Maschinen angetrieben oder gesteuert werden. Bei der Hydraulik¹⁾ werden meistens Öle, seltener Wasser verwendet. Bei der Pneumatik²⁾ wird als Übertragungsmittel Luft eingesetzt.

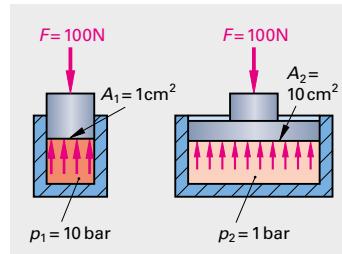


Bild 1: Druckentstehung

■ Druckarten, Druckeinheiten

Der Quotient „Kraft pro Flächeneinheit“ wird als Druck bezeichnet. Der Druck wird umso größer, je größer die Kraft und je kleiner die Fläche ist (**Bild 1**). Er hat die Einheit Pa (Pascal³⁾) oder bar⁴⁾. Die Umrechnung in die verschiedenen Druckeinheiten zeigt **Tabelle 1**.

Bezeichnungen⁵⁾:

p	Druck, allgemein	bar	p_e	Überdruck	bar
p_{abs}	absoluter Druck	bar	F	Kraft	N
p_{amb}	Luftdruck	bar	A	wirksame Fläche	cm ²

■ Luftdruck, absoluter Druck, Überdruck

Der **Luftdruck** hängt ab von der Höhe über der Meeresoberfläche und der Wetterlage (Hoch- und Tiefdruckgebiete). Der Mittelwert wird als Normalluftdruck bezeichnet. Er beträgt $p_{amb} = 1,013$ bar = 1013 mbar oder 1013 hPa. Für die Berechnungen in der Technik wird mit dem gerundeten Wert $p_{amb} \approx 1$ bar gerechnet.

Der **absolute Druck** p_{abs} ist der Druck bezogen auf das Vakuum (luftleerer Raum mit dem Druck $p_{abs} = 0$ bar).

Überdruck ist der Druckunterschied zwischen dem absoluten Druck und dem jeweiligen Luftdruck (**Bild 2**). Manometer in Hydraulik- oder Pneumatikanlagen zeigen den Überdruck in bar an. Der Überdruck ist positiv, wenn $p_{abs} > p_{amb}$. Er ist negativ, wenn $p_{abs} < p_{amb}$.

● Beispiel:

Berechnen Sie jeweils den Überdruck,

- wenn in einem Autoreifen ein Druck von $p_{abs} = 3,4$ bar herrscht,
- wenn im Ansaugrohr eines Ottomotors ein Druck von $p_{abs} = 0,6$ bar gemessen wird.
- Stellen Sie p_{abs} und p_e grafisch dar.

Lösung: a) $p_e = p_{abs} - p_{amb} = 3,4$ bar – 1 bar = 2,4 bar

b) $p_e = p_{abs} - p_{amb} = 0,6$ bar – 1 bar = -0,4 bar

c) die verschiedenen Drücke sind in **Bild 3** dargestellt.

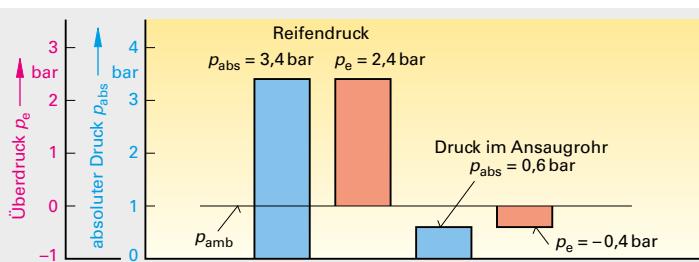


Bild 3: Positiver und negativer Überdruck

Druck

$$p = \frac{F}{A}$$

Überdruck

$$p_e = p_{abs} - p_{amb}$$

Tabelle 1: Umrechnungen von Druckeinheiten

1 Pa = 1	$\frac{\text{N}}{\text{m}^2}$	=	$\frac{1}{100\,000}$	bar = 0,000 01 bar
1 bar = 10	$\frac{\text{N}}{\text{cm}^2}$	=	$1 \frac{\text{daN}}{\text{cm}^2} = 10^5 \text{ Pa}$	
1 mbar = 100 Pa				= 1 hPa (Hektopascal)

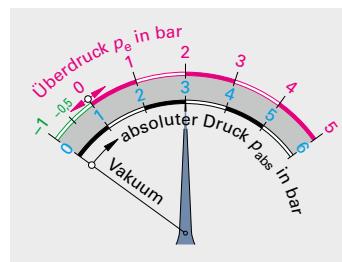


Bild 2: Absoluter Druck und Überdruck

1) von hydro (griech.) Wasser; 2) von pneuma (griech.) Luft; 3) nach Pascal, franz. Physiker (1623–1652); 4) von barys (griech.) schwer; 5) Ursprung der Indices: abs = absolut, unbeschränkt; e = excedens = überschreitend; amb = ambiens = umgebend

Welle-Nabe-Verbindung

Wellen übernehmen Drehmomente von Zahnradern, Kettenrädern, Riemenscheiben, Kupplungen und Hebeln. Dazu muss die Nabe dieser Maschinenelemente drehfest auf der Welle befestigt werden. Man unterscheidet formschlüssige Verbindungen, z.B. mit Passfeder, und kraftschlüssige Klemmverbindungen, z.B. durch Druckhülsen.

Passfederverbindung

Bei der Passfederverbindung (Bild 1) erzeugt das Drehmoment M_t eine Kraft F_u . Diese führt zu einer Verdrehung (Torsion) der Welle, sowie zu einer Flächenpressung p an der Passfeder und in der Nabennut. Dabei ist die Flächenpressung in der Nabennut die kritische Beanspruchung.

Eine Nachprüfung der Flächenpressung (Spannungsnachweis, Bild 2) an den Seitenflächen (Tragflächen) der Nuten ist erforderlich. Hierbei wird das Teil (Welle, Nabe oder Passfeder) mit der geringsten zulässigen Flächenpressung (Werkstoffwahl) und der kleinsten Tragfläche zugrunde gelegt.

Bezeichnungen:

M_t	zu übertragendes Drehmoment	Nm
F_u	Umfangskraft am Fugendurchmesser	N
d_1	Wellendurchmesser = Fugendurchmesser	mm
b	Breite der Passfeder	mm
h	Höhe der Passfeder	mm
h_{tr}	tragende Passfederhöhe in der Nabe $h_{tr} = h - t_1$ oder Welle $h_{tr} = t_1$	mm
l	Länge der Passfeder	mm
l_{tr}	tragende Passfederlänge	mm
A_{vorh}	vorhandene tragende Fläche	mm ²
p_{vorh}	vorhandene Flächenpressung	N/mm ²
p_{zul}	zulässige Flächenpressung	N/mm ²
ν	Sicherheitszahl	–

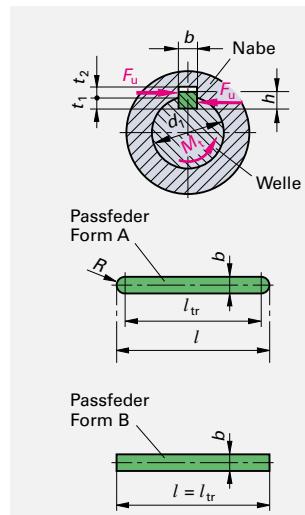


Bild 1: Passfederverbindung

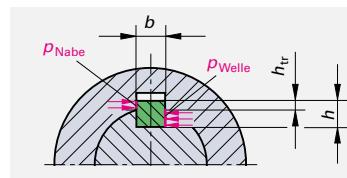


Bild 2: Spannungsnachweis

Beispiel:

Eine Welle und eine Nabe werden jeweils aus 28Mn6 hergestellt und sind vergütet. Der Wellendurchmesser beträgt $d_1 = 40 \text{ mm}$. Das Drehmoment von $M_t = 50 \text{ Nm}$ wird mit einer Passfeder DIN 6885-A 12x8x30-E295 übertragen. Die Sicherheit soll 1,5 betragen.

- Berechnen Sie die Umfangskraft am Fugendurchmesser.
- Berechnen Sie die vorhandene Flächenpressung an der Nabennut.
- Führen Sie einen Spannungsnachweis durch.

Lösung: Passfeder DIN 6885-A 12x8x30-E295

Form A mit runden Stirnflächen, Werkstoff E295, Abmessungen:
 $b = 12 \text{ mm}$, $h = 8 \text{ mm}$, $l = 30 \text{ mm}$, $t_1 = 5 \text{ mm}$, $t_2 = 3,3 \text{ mm}$,
 $l_{tr} = (30 - 12) \text{ mm} = 18 \text{ mm}$, $h_{trWelle} = h = t_1 = 5 \text{ mm}$,
 $h_{trNabe} = h - t_1 = 8 \text{ mm} - 5 \text{ mm} = 3 \text{ mm}$,

$$\text{a) } F_u = \frac{M_t \cdot 2}{d_1} = \frac{50 \text{ Nm} \cdot 2}{0,040 \text{ m}} = 2500 \text{ N}$$

$$\text{b) } p_{vorh} = \frac{F_u}{h_{trNabe} \cdot l_{tr}} = \frac{2500 \text{ N}}{3 \text{ mm} \cdot 18 \text{ mm}} = 46,3 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{c) 28Mn6: } R_e \text{ Welle/Nabe} = 490 \text{ N/mm}^2, \text{ E295: } R_e \text{ Feder} = 295 \text{ N/mm}^2$$

$$p_{zulNabe/Welle} = \frac{R_e}{\nu} = \frac{490 \text{ N/mm}^2}{1,5} = 326,7 \text{ N/mm}^2 \geq p_{vorh}$$

$$p_{zulFeder} = \frac{R_e}{\nu} = \frac{295 \text{ N/mm}^2}{1,5} = 196,7 \text{ N/mm}^2 \geq p_{vorh}$$

$$p_{zulWelle}, p_{zulNabe}, p_{zulFeder} \geq p_{vorh}$$

Zu übertragendes Drehmoment

$$M_t = \frac{F_u \cdot d_1}{2}$$

Umfangskraft am Fugendurchmesser

$$F_u = \frac{M_t \cdot 2}{d_1}$$

vorhandene Flächenpressung

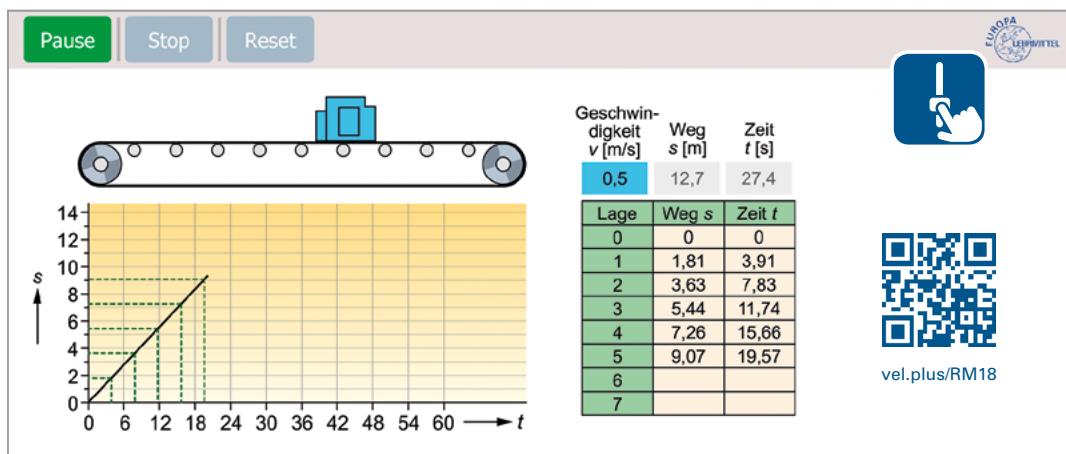
$$p_{vorh} = \frac{F_u}{A_{vorh}} = \frac{F_u}{h_{tr} \cdot l_{tr}}$$

Spannungsnachweis

$$p_{zul} = \frac{R_m(R_e)}{\nu}$$

Simulationsaufgaben

Simulationsaufgaben | Konstante geradlinige Bewegungen



1. **Förderband.** Ein Greifer legt Kisten auf ein Förderband, das mit einer Geschwindigkeit von $v = 0,5 \text{ m/s}$ betrieben wird.

- Ermitteln Sie wie weit eine Kiste nach einer Zeit von $t_1 = 4 \text{ s}$, $t_2 = 8 \text{ s}$ und $t_3 = 26 \text{ s}$ befördert worden ist.
- Nach welcher Zeit passiert eine Kiste die Wegpunkte $s_1 = 4 \text{ m}$ und $s_2 = 11 \text{ m}$?
- Die Gesamtlänge des Förderbandes beträgt $l = 14 \text{ m}$. Welche Zeit wird für die gesamte Länge benötigt?
- Erläutern Sie den Zusammenhang zwischen zurückgelegtem Weg der Kiste und der dafür benötigten Zeit. Zeichnen Sie mithilfe der Wertepaare aus den Aufgabenteilen a)–c) ein Weg-Zeit-Diagramm.
- Wie ändert sich die Transportdauer der Kisten bei einer Halbierung der Geschwindigkeit?
- Die Geschwindigkeit der Anlage wird auf $v_2 = 0,4 \text{ m/s}$ reduziert. Die Aufgabenteile a) bis c) sind mit der reduzierten Geschwindigkeit zu berechnen.

Tabelle 1: Transportband

s [m]	t [s]
?	10
5	25
?	30
8	?
9	?
?	60

2. **Transportband.** Die Bewegung eines Transportbandes wird durch Weg- und Zeitangaben beschrieben (**Tabelle 1**).

- Ermitteln Sie die Geschwindigkeit des Transportbandes.
- Die fehlenden Werte sind zu ergänzen.
- Zeichnen Sie das Weg-Zeit-Diagramm.

3. **Gurtförderer (Bild 1).** Drei Gurtförderer besitzen unterschiedliche Geschwindigkeiten, die in einem Diagramm dargestellt sind.

- Ermitteln Sie welches Band die höchste bzw. niedrigste Geschwindigkeit besitzt.
- Berechnen Sie die Geschwindigkeiten der Förderbänder und der jeweils zurückgelegte Weg nach $t = 10 \text{ s}$.
- Zeichnen Sie die unterschiedlichen Bandgeschwindigkeiten in ein v-t-Diagramm ein.

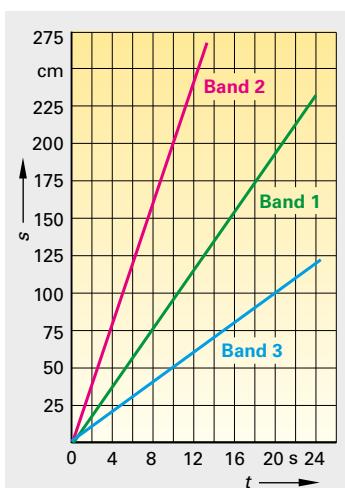
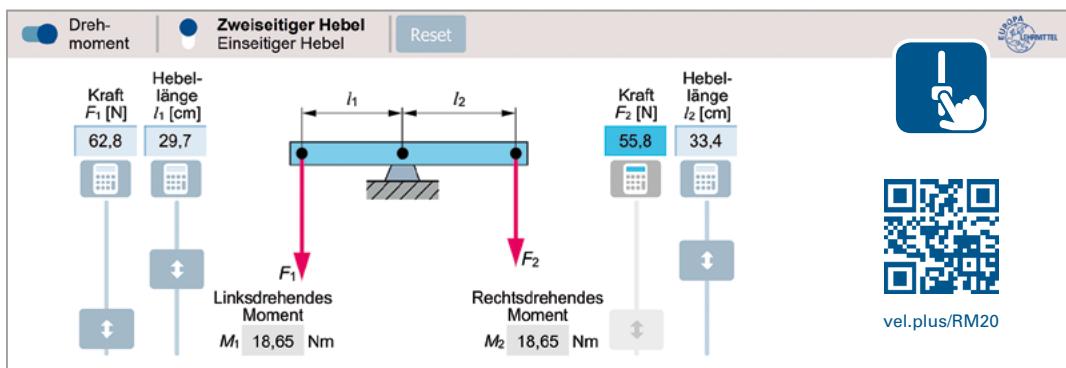


Bild 1: Gurtförderer

Simulationsaufgaben | Hebelgesetz



- Zweiseitiger Hebel (Bild 1).** An der linken Seite des Hebels wird durch Anhängen einer Masse m eine vertikale Kraft F_1 nach unten ausgeübt. An der rechten Seite wird an unterschiedlichen Stellen mit einem Kraftmesser nach unten gezogen, sodass die Stange wieder im Gleichgewicht horizontal steht. Es werden die Kräfte F_1 und F_2 sowie die dazugehörigen Hebelarme l_1 und l_2 gemessen.
 - Wie groß ist die Kraft F_2 , wenn $F_1 = 20 \text{ N}$, $l_1 = 50 \text{ cm}$ und $l_2 = 20 \text{ cm}$ betragen?
 - Wie ändert sich die Kraft F_2 bei kleiner werdender Hebel-länge l_1 ?
 - Wie ändert sich die Kraft F_2 bei größer werdender Hebel-länge l_2 ?
 - Skizzieren Sie den Hebel mit den wichtigsten Bezeichnungen.

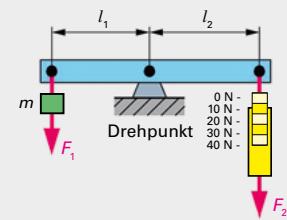


Bild 1: Zweiseitiger Hebel

Tabelle 1: Versuchsreihe

$F_1 (\text{N})$	$l_1 (\text{cm})$	$F_2 (\text{N})$	$l_2 (\text{cm})$
15	50	?	50
15	50	?	40
15	?	25	30
40	30	30	?
?	40	40	40
?	50	50	40

Tabelle 2: Drehmoment

	a	b	c
Kraft (N)	?	500	18
Hebelarm (cm)	18	?	45
Drehmoment (Nm)	100	125	?



Bild 2: Zange als Hebel

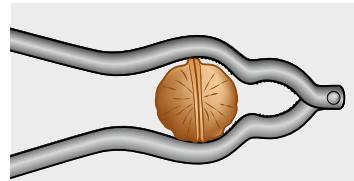


Bild 3: Nussknacker

- Versuchsreihe (Tabelle 1).** Berechnen Sie die fehlenden Werte in der Versuchsreihe von **Tabelle 1**, damit der Hebel im Gleichgewicht bleibt.
- Drehmoment (Tabelle 2).**
 - Berechnen Sie die fehlenden Werte für die Aufgaben a) bis c) der **Tabelle 2**.
 - Welcher Zusammenhang besteht zwischen links- und rechtsdrehendem Moment im Gleichgewichtszustand?
- Zange als Hebel (Bild 2).** Ein dünner Draht soll mit einer Zange durchtrennt werden. Die dazu notwendige Handkraft beträgt 18 N, der dabei wirksame Hebel ist 12 cm. Berechnen Sie die Kraft F_2 an der Zangenspitze, wenn dort ein Hebel von 5 cm wirksam ist.
- Kräfte an einem Nussknacker (Bild 3).**
 - Wodurch unterscheidet sich der „einseitige“ vom „zweiseitigen“ Hebel?
 - Eine Walnuss soll durch einen Nussknacker geöffnet werden. Erstellen Sie eine Skizze zum einseitig wirkenden Hebel, in dem Sie die Handkraft und die Kraft an der Walnuss eintragen sowie die beiden wirksamen Hebelarme.
 - Die Handkraft F_1 soll 22 N betragen, die beiden Hebelarme 10 cm und 4 cm. Wie groß wird die Kraft F_2 zum Zerlegen der Nuss?

Simulationsaufgaben | Druck und Kolbenkraft

Wirksame Kolbenfläche Drückende Last Ziehende Last Reset

Kolbendurchmesser D [mm]	Druck p_e [bar]	Kolbenkraft F [N]	Kolbenstangendurchmesser d [mm]
184,1	95,5	242213,9	40

vel.plus/RM22

Bei allen Aufgaben sind die Reibungskräfte zu vernachlässigen.

- 1. Drückende Last.** Folgende Werte sind für den Hubzylinder gegeben: Kolbendurchmesser $D = 20 \text{ mm}$ und Druck $p_e = 20 \text{ bar}$.

- Bestimmen Sie die Kolbenkraft F .
- Wie ändert sich die Kolbenkraft F bei größer werdendem Durchmesser D ?
- Wie beeinflusst eine Erhöhung des Drucks p_e die Kolbenkraft F ?

2. Drückende Last (Tabelle 1).

- Ermitteln Sie die fehlenden Werte in der **Tabelle 1**.
- Welche Zusammenhänge lassen sich aus den Werten ablesen?

3. Ziehende Last (Bild 1). Die Last wirkt in umgekehrter Richtung, sie „hängt“ nach unten. Die Kolbenkraft $F(\text{N})$ wirkt ihr entgegen.

- Warum muss zusätzlich der Kolbenstangendurchmesser angegeben werden?
- Ermitteln Sie die fehlenden Werte für die **Tabelle 2**. Die Fläche A bezieht sich auf die Kolbenringfläche.

- Welche Zusammenhänge lassen sich aus den Werten ablesen? Vergleichen Sie dazu die Werte mit den Ergebnissen aus der **Tabelle 1**.

4. Kolbenverdichter (Bild 2). Ein Kolbenverdichter erzeugt Druckluft mit dem Druck $p_e = 15 \text{ bar}$. Der Durchmesser des Kolbens beträgt 2 dm. Der Zylinderdeckel wird mit sechs Zylinderschrauben am Gehäuseflansch befestigt.

Berechnen Sie, wie groß die Kolbenkraft $F(\text{N})$ ist, die von den Schrauben aufgenommen werden muss?

5. Doppelkolbenzylinder. Der Doppelkolbenzylinder (Bild 3) wird an eine Hydraulikleitung angeschlossen. Der Druck wird auf 40 bar eingestellt und über ein Druckbegrenzungsventil abgesichert. Die beiden Kolben haben die Durchmesser $D_1 = 50 \text{ mm}$ und $D_2 = 100 \text{ mm}$.

- Berechnen Sie die beiden Kolbenkräfte.
- In welchem Verhältnis stehen die beiden Durchmesser und die beiden Kräfte?

6. Ziehende Last.

- Reicht bei einem gegebenen Druck $p_e = 100 \text{ bar}$ die Kolbenringfläche aus, um die Last von 2,5 t zu heben? Vorgegeben sind der Kolbendurchmesser $D = 80 \text{ mm}$ und der Kolbenstangendurchmesser mit $d = 25 \text{ mm}$.

- Wie weit lässt sich der Druck verringern, um bei den gegebenen Durchmessern die Last im Gleichgewicht zu halten?

Tabelle 1:

D (mm)	A (cm^2)	p_e (bar)	F (N)
50	19,63	30	?
63	31,17	?	12469
80	?	30	15079,6
?	122,72	40	49087,4

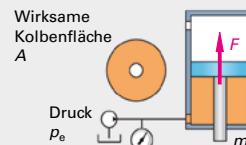


Bild 1: Ziehende Last

Tabelle 2:

D (mm)	d (mm)	A (cm^2)	p_e (bar)	F (N)
50	20	16,49	30	?
63	20	?	40	11212,3
125	32	114,63	?	45870,4

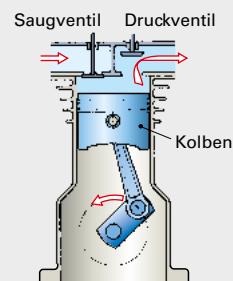


Bild 2: Kolbenverdichter

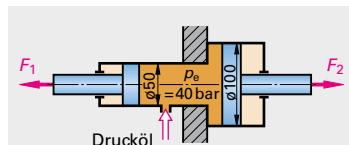


Bild 3: Doppelkolbenzylinder

Vertiefungsaufgaben | Kräfte, Arbeit, Leistung, Wirkungsgrad

- 1. Kräfte beim Zerspanen (Bild 1).** Auf einen Stechdrehmeißel wirken beim Einstechdrehen die Schnittkraft $F_c = 1600 \text{ N}$ und die Vorschubkraft $F_f = 550 \text{ N}$.

Ermitteln Sie

- die Größe der Resultierenden aus den Kräften F_c und F_f ,
- den Winkel zwischen der Resultierenden und der Vorschubkraft F_f .

- 2. Tragkette (Bild 2).** Ein 2,5 t schweres Rohr hängt an einer Kette, die das Rohr umschlingt und am Haken des Baggerseiles eingehängt ist.

Zu bestimmen sind

- die Zugkraft im Baggerseil,
- die Zugkraft an den beiden zum Haken gehenden Kettensträngen.

- 3. Spannpratze (Bild 3).** Mit einer Spannpratze werden gleichzeitig zwei Werkstücke gespannt. Die Spannmutter erzeugt in der Spannschraube (Festigkeitsklasse 8.8) eine Vorspannkraft $F_v \approx 40 \text{ kN}$.

- Entnehmen Sie das für diese Vorspannkraft erforderliche Anziehdrehmoment aus der **Tabelle 1, Seite 185**, oder aus einer anderen Quelle, z. B. aus einem Tabellenbuch.
- Welche Kraft muss beim Anziehen der Mutter an einem 300 mm langen Gabelschlüssel wirken, um das notwendige Anziehdrehmoment zu erhalten?
- Wie groß sind die Spannkräfte F_1 und F_2 auf die beiden Werkstücke?

- 4. Gabelstapler (Bild 4).** Ein Gabelstapler wiegt 1,7 t. Sein Schwerpunkt liegt 2100 mm rechts, der Schwerpunkt der anzuhebenden Last 1200 mm links von der Vorderachse.

Zu berechnen sind

- die Größe der Last F' , bei der der Stapler kippen würde,
- die Kräfte auf die Vorderachse und auf die Hinterachse beim Anheben einer Last von 2 t.

- 5. Seilwinde (Bild 5).** Die Trommel einer Seilwinde wird mit einer Kurbel über ein Zahnradpaar angetrieben. Die Last mit der Masse $m = 120 \text{ kg}$ soll mit der Geschwindigkeit $v = 12 \text{ m/min}$ gehoben werden. Wie groß sind

- die notwendige Zahl der Kurbelumdrehungen je Minute,
- die Arbeit an der Trommel bis zur Hubhöhe von 8,5 m,
- die notwendige Arbeit an der Kurbel, wenn der Wirkungsgrad der Winde 65 % beträgt,
- die Leistung an der Kurbel in kW?

- 6. Schraubenverbindung.** Der Deckel eines Hydraulikzylinders wird mit 10 Zylinderschrauben M8 der Festigkeitsklasse 8.8 befestigt.

- Ermitteln Sie aus der **Tabelle 1, Seite 185**, die Vorspannkraft je Schraube, wenn diese mit dem Drehmoment $M_A \approx 23 \text{ N} \cdot \text{m}$ angezogen wird.
- Welcher Innendruck im Zylinder ($d = 125 \text{ mm}$) würde die gleiche Kraft erzeugen wie die Vorspannkräfte aller Schrauben zusammen?

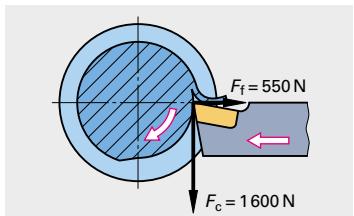


Bild 1: Kräfte beim Zerspanen

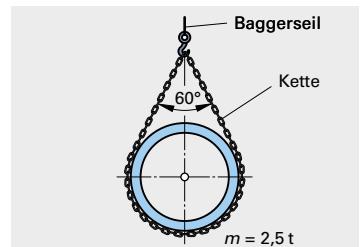


Bild 2: Tragkette

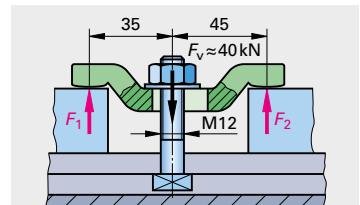


Bild 3: Spannpratze

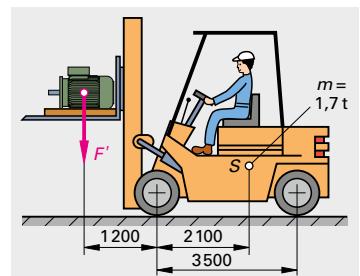


Bild 4: Gabelstapler

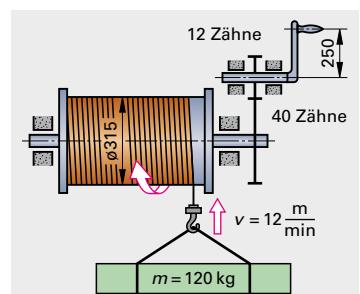


Bild 5: Seilwinde

Statistische Auswertungen

1. Gleitlagerbuchsen (Tabelle 1). Aus der Serienfertigung von Gleitlagerbuchsen wurden Stichproben entnommen und in einer Urwertliste zusammengefasst. Bestimmen Sie für den Außendurchmesser $d_2 = 12 \text{ s}6$

- eine Tabelle mit Strichliste und Häufigkeitsverteilung in Klassen ($k = 5; w = 0,002 \text{ mm}$),
- das Histogramm der Einzel- und Summenhäufigkeit.

2. Stahlblech (Tabelle 2). Die Blechdicke von Stahlblechen wurde gemessen. Der Sollwert beträgt $t = 3 \pm 0,3 \text{ mm}$.

Berechnen Sie

- den arithmetischen Mittelwert,
- den Medianwert,
- die Standardabweichung,
- die Spannweite.

3. Getriebewelle (Tabelle 3). Der Gleitlagersitz einer Getriebewelle hat den Außendurchmesser $d = 32 \text{ H}7$. Aus einer Stichprobenprüfung sind Messwerte für die Wellenabmaße bekannt.

- Erstellen Sie aus der Urliste eine Strichliste nach Klassen.
- Bestimmen Sie
 - die absolute und relative Häufigkeit und
 - die absolute und relative Summenhäufigkeit.
- Ermitteln Sie
 - den arithmetischen Mittelwert,
 - die Spannweite und
 - die Standardabweichung.

4. Normalverteilung (Bild 1). Die Auswertung einer Stichprobenprüfung von Zylinderstiften wurde als Summenlinie in einem Wahrscheinlichkeitsnetz dargestellt. Überprüfen und begründen Sie, ob von einer Normalverteilung der Einzelwerte ausgegangen werden kann.

5. Wahrscheinlichkeitsnetz (Bild 1). Bestimmen Sie aus dem dargestellten Wahrscheinlichkeitsnetz

- den arithmetischen Mittelwert,
- die Standardabweichung,
- die Überschreitung oben,
- die Überschreitung unten und
- den Maschinenstrebereich $\bar{x} \pm 3s$.

**Tabelle 1: Urwertliste Gleitlagerbuchsen
Außendurchmesser $d_2 = 12 \text{ s}6$**

12,029	12,032	12,031	12,030	12,034
12,035	12,033	12,034	12,033	12,036
12,035	12,034	12,036	12,032	12,031
12,036	12,033	12,037	12,036	12,037
12,033	12,034	12,033	12,038	12,033

Tabelle 2: Urwertliste Blechdicke $t = 3 \pm 0,3 \text{ mm}$

3,2	3,3	3,2	2,9	2,95
3,1	3,2	3,1	2,9	2,8
3,2	3,1	3,1	3,0	2,9

**Tabelle 3: Getriebewellen Urwertliste
Abmaße am Gleitlagersitz $d = 32 \text{ H}7$**

0,003	0,016	0,008	0,022	0,014
0,004	0,013	0,009	0,021	0,015
0,005	0,012	0,005	0,009	0,013
0,014	0,002	0,006	0,020	0,012
0,013	0,009	0,006	0,008	0,014
0,017	0,007	0,010	0,010	0,013
0,018	0,011	0,009	0,010	0,017
0,012	0,018	0,011	0,011	0,014
0,013	0,012	0,014	0,013	0,016
0,018	0,017	0,015	0,015	0,017

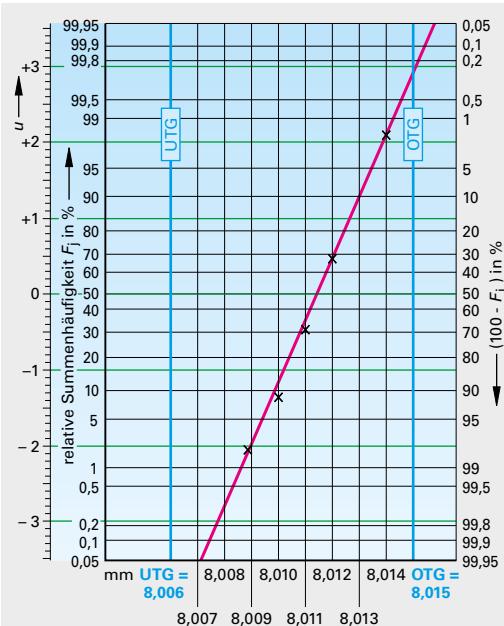
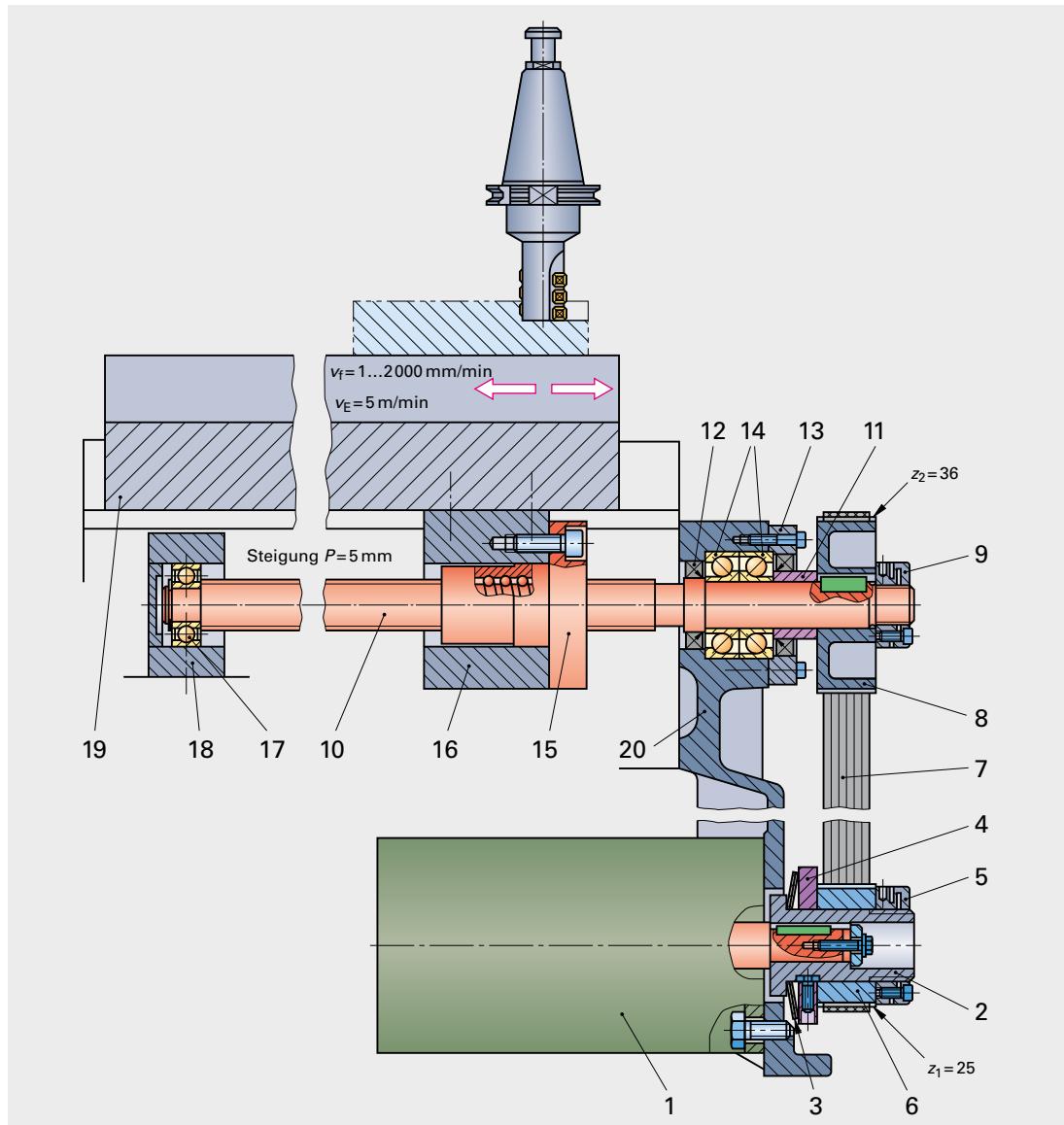


Bild 1: Wahrscheinlichkeitsnetz

Projektaufgaben

Vorschubantrieb einer CNC-Fräsmaschine



Teileliste (Auszug)

Pos.	Benennung	Pos.	Benennung	Pos.	Benennung
1	Drehstrommotor	8	Spindel-Riemenscheibe	15	Kugelgewindemutter
2	Nabe	9	Oberere Anstellmutter	16	Lagerbock
3	Tellerfeder	10	Kugelgewindespindel	17	Rillenkugellager
4	Reibscheibe	11	Distanzhülse	18	Loslagerbock
5	Untere Anstellmutter	12	Radialdichtring	19	Maschinentisch
6	Motor-Riemenscheibe	13	Lagerdeckel	20	Lagerflansch
7	Zahnriemen	14	Schrägkugellager		

Aufgaben | Vorschubantrieb einer CNC-Fräsmaschine

Der frequenzgesteuerte Drehstrom-Vorschubmotor (Pos. 1) treibt über einen Zahnriemen die Kugelgewindespindel (Pos. 10) und damit den Fräsmaschinentisch an.

- 1. Gewindespindel-Antrieb (Bild 1).** Der Fräsmaschinentisch fährt stufenlos mit den Vorschubgeschwindigkeiten $v_f = 1 \text{ mm/min}$ bis 2000 mm/min und mit der Eilganggeschwindigkeit $v_E = 5 \text{ m/min}$.

- Mit welcher Mindest- und Höchstdrehzahl muss sich die Gewindespindel beim Vorschubantrieb drehen?
- Welche Drehzahl hat die Gewindespindel im Eilgang?
- Welche Aufgaben haben die beiden Schräkgugellager (Pos. 14)?
- Warum ist der Außenring des Rillenkugellagers (Pos. 17) axial verschiebbar?
- Warum kann auf eine regelmäßige Schmierung der Lager verzichtet werden?

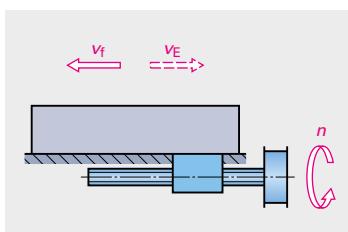


Bild 1: Gewindespindel-Antrieb

- 2. Zahnriemen-Antrieb (Bild 2).** Die Zähnezahlen der Zahnriemenscheiben betragen $z_1 = 25$ und $z_2 = 36$. Zu berechnen sind
- das Übersetzungsverhältnis des Zahnriemenantriebes,
 - der Drehzahlbereich des Motors bei den geforderten Geschwindigkeiten des Schlittens,
 - die Geschwindigkeit des Zahnriemens im Eilgang. Der wirkende Durchmesser der treibenden Zahnriemenscheibe beträgt 40 mm.
 - Warum werden bei NC-Vorschubantrieben keine Flach- oder Keilriemen eingesetzt?

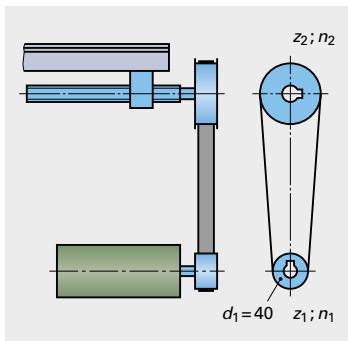


Bild 2: Zahnriemen-Antrieb

- 3. Sicherheitskupplung (Bild 3).** Die Riemenscheibe des Motors wird mit der Anstellmutter gegen die Reibscheibe gedrückt. Die Anpresskraft ergibt sich durch die Druckkraft der Tellerfedern. Die Riemenscheibe wird durch die Reibungskräfte an ihren beiden Planseiten mitgenommen. Steigt die Vorschubkraft des Schlittens sehr stark an, z. B. durch Kollision der Arbeitsspindel mit dem Werkstück, dreht die Nabe mit der Reibscheibe und der Anstellmutter gegenüber der dann still stehenden Riemenscheibe durch.

- Welche Reibungskraft entsteht an jeder Planseite der Zahnriemenscheibe, wenn die Anpresskraft auf beiden Seiten je $F_N = 2500 \text{ N}$ und die Reibungszahl $\mu = 0,25$ betragen?
- Welches Drehmoment kann dadurch übertragen werden? Die Reibungskräfte greifen an einem mittleren Durchmesser $d_R = 55 \text{ mm}$ an.
- Wie ändert sich das Drehmoment, wenn die Sicherheitskupplung anspricht und die Kupplungsteile nicht öl- oder fettfrei eingebaut werden?
- Für die Teile der Überlastsicherung wurden die in **Tabelle 1** genannten Werkstoffe festgelegt. Begründen Sie, ob die Eigenschaften dieser Werkstoffe den Anforderungen der Kupplung genügen.
- Welche Verfahren eignen sich zur Prüfung der Härte der Reibscheibe und der Anstellmutter?

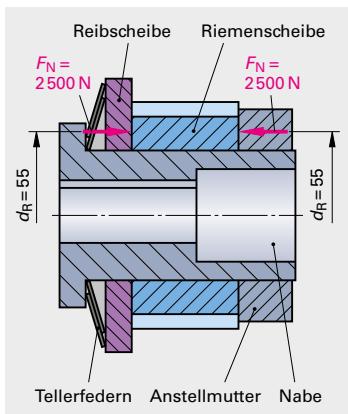


Bild 3: Sicherheitskupplung

Tabelle 1: Gewählte Werkstoffe

Nabe	16MnCr5
Reibscheibe	16MnCr5, gehärtet
Anstellmutter	16MnCr5, gehärtet
Riemenscheibe	AC-AlMg5Si

- 4. Bearbeitung des Lagerflansches (Bild 1).** Der Lagerflansch (Pos. 20) wird mit 4 Zylinderschrauben an den Maschinenständer geschraubt. Der gegossene Flansch aus EN-GJL-200 wird vorher auf einer CNC-Senkrechtfräsmaschine komplett bearbeitet. Die Zeichnung (**Bild 1**) enthält alle dafür notwendigen Maße und Oberflächenangaben.

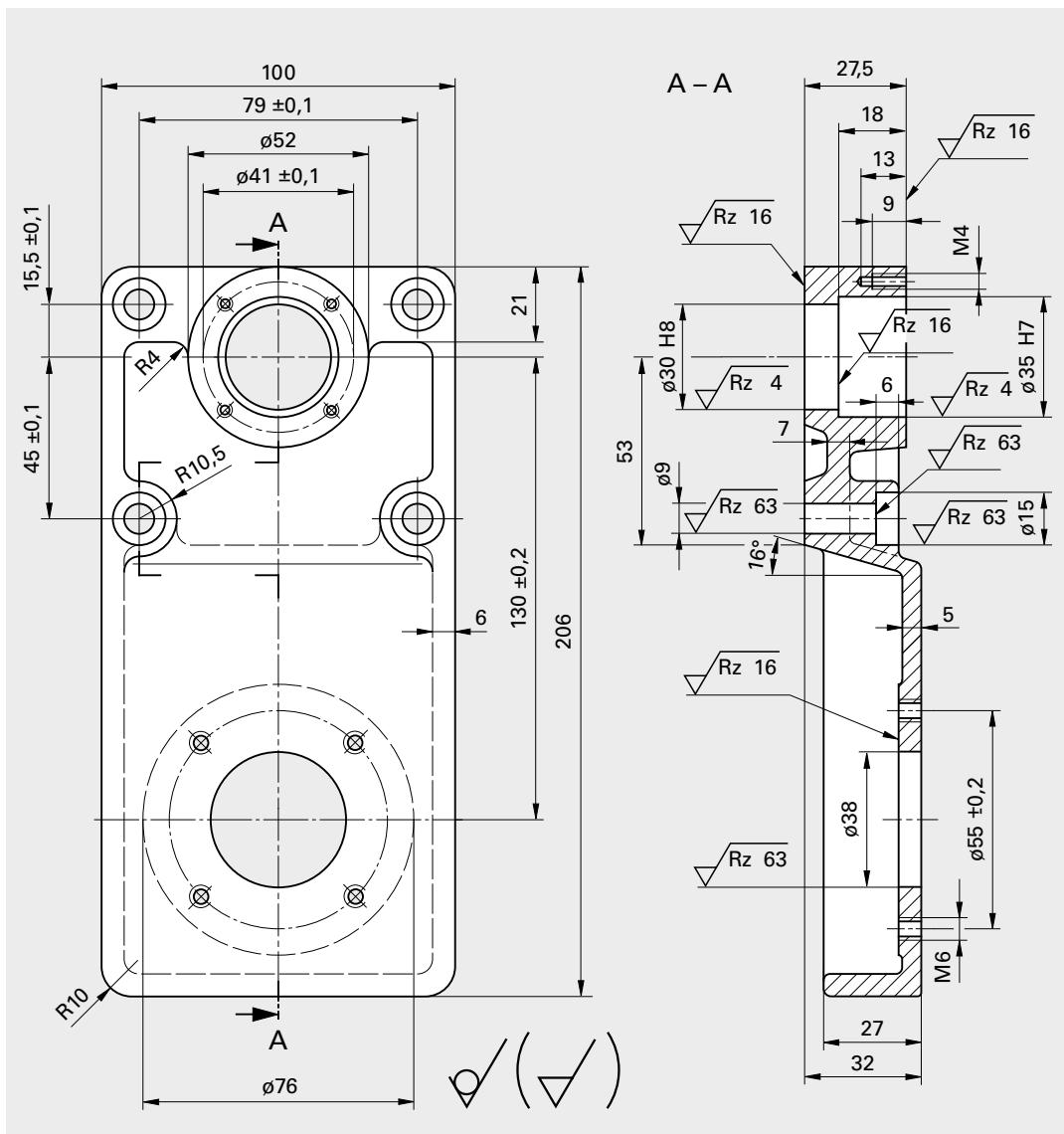


Bild 1: Lagerflansch

- Beschreiben Sie in Stichworten den Ablauf der Fertigung von der Auftragerteilung bis zum einbaufertigen Teil.
- Legen Sie fest, wie viele Aufspannungen für die spanende Bearbeitung notwendig sind und welche Arbeitsgänge in den Aufspannungen durchgeführt werden.
- Welche Vorteile hat die Komplettbearbeitung in einer Aufspannung, und welche Ausstattung müssen die Fräsmaschinen dafür haben?
- Wie sind NC-Programme aufgebaut? Geben Sie für die einzelnen Programmbestandteile jeweils einige typische Beispiele an.