



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  
Düsseldorfer 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](http://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](http://www.europa-lehrmittel.de)



Satz: Satz+Layout Werkstatt Kluth GmbH, 50374 Ertstadt  
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
- Schiefe Ebene
- Elektrotechnik
- Einfache Übersetzungen
- Kreisförmige Bewegung
- Druck und Kolbenkraft
- Toleranzen
- Biegen
- Hebelgesetz
- Hydraulische Presse
- Passungen

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](mailto: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

<b>Zahlensysteme</b> .....	9
Dezimals Zahlensystem .....	9
Duales (binäres) Zahlensystem .....	9
Hexadezimals Zahlensystem .....	10
<b>Grundrechnungsarten</b> .....	11
Variable .....	11
Klammerausdrücke (Klammerterm) .....	11
Runden .....	11
Strich- und Punktrechnungen .....	11
Bruchrechnen .....	14
Potenzieren .....	15
Radizieren (Wurzelziehen) .....	17
<b>Allgemeine Berechnungen</b> .....	19
Schlussrechnung (Dreisatz- rechnung) .....	19
Prozentrechnung .....	20
Zeitberechnungen .....	21
Winkelberechnungen .....	22
<b>Technische Berechnungen</b> .....	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
<b>Berechnungen im Dreieck</b> .....	35
Lehrsatz des Pythagoras .....	35
Winkelfunktionen .....	38

<b>Längen, Flächen, Volumen, Gewichtskraft</b> .....	44
Längen und Teilung .....	44
Flächen und Verschnitt .....	48
Volumen .....	54
Masse .....	55
Gewichtskraft .....	55
Gleichdicke Körper, Masse- berechnung mithilfe von Tabellenwerten .....	57
Volumenänderung beim Umformen .....	60

<b>Diagramme und Funktionen</b> .....	61
Kreisdiagramm .....	61
Balkendiagramm .....	61
Histogramm und Paretodiagramm .....	61
Grafische Darstellungen von Funktionen und Messreihen .....	62

### Technische Physik

<b>Bewegungen</b> .....	65
Konstante Bewegungen .....	65

Beschleunigte und verzögerte Bewegungen .....	70
<b>Kräfte</b> .....	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

<b>Arbeit, Energie, Leistung, Wirkungsgrad</b> .....	84
Mechanische Arbeit .....	84
Mechanische Energie .....	85
Mechanische Leistung .....	87
Wirkungsgrad .....	88
Einfache Maschinen .....	91

<b>Rollen und Flaschenzüge</b> .....	94
<b>Fluidmechanik und Automation</b> .....	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

<b>Werkstoffprüfung</b> .....	114
Zugversuch .....	114
Elastizitätsmodul und Hookesches Gesetz .....	117

<b>Festigkeitslehre</b> .....	120
Beanspruchung auf Zug .....	120
Beanspruchung auf Druck .....	122
Beanspruchung auf Flächen- pressung .....	123
Beanspruchung auf Abscherung, Schneiden von Werkstoffen .....	124
Beanspruchung auf Biegung .....	126
Beanspruchung auf Torsion (Verdrehung) .....	128

<b>Wärmelehre</b> .....	130
Temperatur .....	130
Längen- und Volumenänderung .....	130
Schwindung beim Gießen .....	131
Wärmemenge .....	133

<b>Elektrotechnik</b> .....	136
Ohmsches Gesetz .....	136
Leiterwiderstand .....	137
Temperaturabhängige Wider- stände .....	138
Schaltung von Widerständen .....	139
Elektrische Leistung bei Gleich- spannung .....	143

Wechselspannung und Wechsel- strom .....	145
Elektrische Leistung bei Wechsel- strom und bei Drehstrom .....	148
Elektrische Arbeit und Energie- kosten .....	150
Transformator .....	151

### Prüftechnik und Qualitätsmanagement

<b>Maßtoleranzen und Passungen</b> .....	152
Maßtoleranzen .....	152
Passungen .....	154
ISO-Passungen .....	155
<b>Qualitätsmanagement</b> .....	158
Prozesskennwerte aus Stichpro- benprüfung .....	158
Statistische Berechnungen mit dem Taschenrechner .....	162
Maschinen- und Prozessfähigkeit .....	164
Statistische Prozesslenkung mit Qualitätsregelkarten .....	168

### Maschinenelemente

<b>Zahnradmaße</b> .....	172
Stirnräder mit Geradverzahnung .....	172
Stirnräder mit Schrägverzahnung .....	173
Achsabstand bei Zahnradern .....	174
<b>Übersetzungen bei Antrieben</b> .....	176
Einfache Übersetzungen .....	176
Mehrfache Übersetzungen .....	179

<b>Welle-Nabe-Verbindung</b> .....	181
Passfederverbindung .....	181

<b>Schraubenverbindung</b> .....	183
Schraubenverbindungen mit axialer Betriebskraft $F_B$ .....	183
Schraubenverbindungen ohne Betriebskraft .....	185

### Fertigungsplanung

<b>Standgrößen (Standzeit, Stand- menge, Standweg, Standvo- lumen)</b> .....	187
<b>Durchlaufzeit, Belegungszeit</b> .....	188

<b>Auftragszeit</b> .....	191
---------------------------	-----

<b>Kostenrechnung</b> .....	193
-----------------------------	-----

<b>Maschinenstundensatz</b> .....	197
-----------------------------------	-----

<b>Deckungsbeitrag (Teilkosten- rechnung)</b> .....	199
---	-----

<b>Lohnberechnung</b> .....	201
-----------------------------	-----

**Fertigungstechnik**

<b>Drehen</b> .....	204	Schnittdaten und Drehzahl beim Bohren .....	220	Streifenmaße und Streifenausnutzung .....	241
Schnittdaten und Anzahl der Schnitte beim Drehen .....	204	Schnittkraft beim Bohren .....	221	<b>Biegen</b> .....	243
Drehzahl beim Drehen .....	205	Schnittleistung und Antriebsleistung beim Bohren .....	222	Zuschnitttermittlung .....	243
Schnittkraft beim Drehen .....	206	Hauptnutzungszeit beim Bohren, Senken, Reiben .....	223	Rückfederung .....	245
Schnittleistung und Antriebsleistung beim Drehen .....	207	<b>Schleifen</b> .....	225	<b>Tiefziehen</b> .....	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	<b>Indirektes Teilen</b> .....	229	<b>Exzenter- und Kurbelpressen</b> .....	250
<b>Fräsen (Stirnfräsen)</b> .....	214	<b>Koordinaten in NC-Programmen</b> ..	231	Pressenauswahl .....	250
Schnittdaten und Drehzahl für das Stirnfräsen .....	214	Geometrische Grundlagen .....	231	Schneidarbeit .....	250
Schnittkraft beim Fräsen (Stirnfräsen) .....	215	<b>Abtragen und Schneiden, Hauptnutzungszeit</b> .....	237	<b>Spritzgießen</b> .....	252
Schnittleistung und Antriebsleistung beim Fräsen .....	216	<b>Trennen durch Schneiden</b> .....	239	Schwindung .....	252
Hauptnutzungszeit beim Fräsen ..	218	Schneidspalt .....	239	Kühlung .....	253
<b>Bohren</b> .....	220			Dosierung der Formmasse .....	254
				Kräfte .....	255
				<b>Schmelzschweißen</b> .....	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**

<b>Lernfeldkompass</b> .....	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**

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

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		Fertigen von Bauelementen mit handgeführten Werkzeugen	Längen ..... S. 44	
		Flächen ..... S. 48			Flächen ..... S. 48	
		Volumen ..... S. 54			Volumen ..... S. 54	
		Masse ..... S. 55			Masse ..... S. 55	
		Gewichtskraft ..... S. 55			Gewichtskraft ..... S. 55	
		Maßtoleranzen ..... S. 152			Maßtoleranzen ..... S. 152	
		Umformen, Biegen ..... S. 243			Umformen, Biegen ..... S. 243	
2	Fertigen von Bauelementen mit Maschinen	Passungen ..... S. 154		Fertigen von Bauelementen mit Maschinen	Passungen ..... S. 154	
		Konstante Bewegungen ..... S. 65			Konstante Bewegungen ..... S. 65	
		Drehen ( $v_c$ ; $n$ ; $f$ ) ..... S. 204			Drehen ( $v_c$ ; $n$ ; $f$ ) ..... S. 204	
		Bohren ( $v_c$ ; $n$ ; $f$ ) ..... S. 220			Bohren ( $v_c$ ; $n$ ; $f$ ) ..... S. 220	
		Fräsen ( $v_c$ ; $n$ ; $f$ ) ..... S. 214			Fräsen ( $v_c$ ; $n$ ; $f$ ) ..... S. 214	
		Kostenrechnen ..... S. 193			Kostenrechnen ..... S. 193	
3	Herstellen von einfachen Baugruppen	Kräfte ..... S. 72		Herstellen von einfachen Baugruppen	Kräfte ..... S. 72	
		Hebel ..... S. 76			Hebel ..... S. 76	
		Einfache Maschinen ..... S. 91			Einfache Maschinen ..... S. 91	
4	Warten technischer Systeme	Diagramme ..... S. 61		Warten technischer Systeme	Diagramme ..... S. 61	
		Ohmsches Gesetz ..... S. 136			Ohmsches Gesetz ..... S. 136	
		Schaltung v. Widerständen ..... S. 139			Schaltung v. Widerständen ..... S. 139	
5	Fertigen von Einzelteilen mit Werkzeugmaschinen	Prozesskennwerte Stichproben .. S. 158		Formgeben von Bauelementen durch spanende Fertigung	Drehen ( $F_c$ ; $P_c$ ; $t_h$ ) ..... S. 204	
		Drehen ( $F_c$ ; $P_c$ ; $t_h$ ) ..... S. 204			Bohren ( $F_c$ ; $P_c$ ; $t_h$ ) ..... S. 220	
		Bohren ( $F_c$ ; $P_c$ ; $t_h$ ) ..... S. 220			Fräsen ( $F_c$ ; $P_c$ ; $t_h$ ) ..... S. 214	
		Fräsen ( $F_c$ ; $P_c$ ; $t_h$ ) ..... S. 214			Indirektes Teilen ..... S. 229	
6	Installieren und Inbetriebnehmen steuerungstechnischer Systeme	Druck und Kolbenkräfte ..... S. 95		Herstellen technischer Teilsysteme des Werkzeugbaus	Biegen, Rückfedern ..... S. 243	
		Logische Verknüpfungen ..... S. 107			Tiefziehen ..... S. 247	
		Projekt: Pneumatische Steuerung ..... S. 321			Exzenter- und Kurbelpressen .... S. 250	
		Hydraulische Presse ..... S. 101				
7	Montieren von technischen Teilsystemen	Festigkeitslehre ..... S. 120		Fertigen mit numerisch gesteuerten Werkzeugmaschinen	Berechnungen im Dreieck ..... S. 35	
		Lagerkräfte ..... S. 78			Koordinaten in NC-Programmen . S. 231	
		Zugversuch ..... S. 114				
8	Fertigen auf numerisch gesteuerten Werkzeugmaschinen	Berechnungen im Dreieck ..... S. 35		Planen und Inbetriebnehmen steuerungstechnischer Systeme	Druck und Kolbenkräfte ..... S. 95	
		Koordinaten in NC-Programmen . S. 231			Logische Verknüpfungen ..... S. 107	
					Ohmsches Gesetz ..... S. 136	
					Leiterwiderstand ..... S. 137	
9	Instandsetzen von technischen Systemen	Reibung ..... S. 82		Herstellen von formgebenden Werkzeugoberflächen	Hauptnutzungszeit beim Schneiden ..... S. 237	
		Wärmelehre ..... S. 130			Arbeit, Energie, Leistung, Wirkungsgrad ..... S. 84	
		Kostenrechnung ..... S. 193			Wechselspannung und Wechselstrom ..... S. 145	
10	Herstellen und Inbetriebnehmen von technischen Systemen	Zahnradmaße ..... S. 172		Fertigen von Bauelementen in der rechnergestützten Fertigung	Berechnungen im Dreieck ..... S. 35	
		Übersetzungen ..... S. 176			Koordinaten in NC-Programmen . S. 231	
		Arbeit, Energie, Leistung, Wirkungsgrad ..... S. 84				
		Wechselspannung und Wechselstrom ..... S. 145				
		El. Leistung ..... S. 148				
		El. Energiekosten ..... S. 150				
11	Überwachen der Produkt- und Prozessqualität	Qualitätsmanagement ..... S. 158		Herstellen der technischen Systeme des Werkzeugbaus	Trennen durch Schneiden ..... S. 239	
		Projekt: Qualitätsmanagement am Bsp. eines Stirnradgetriebes .... S. 318			Werkstoffprüfung ..... S. 114	
					Festigkeitslehre ..... S. 120	
12	Instandhalten von technischen Systemen	Werkstoffprüfung ..... S. 114		Inbetriebnehmen und Instandhalten von technischen Systemen des Werkzeugbaus	Qualitätsmanagement ..... S. 158	
		Festigkeitslehre ..... S. 120			El. Leistung ..... S. 148	
					El. Energiekosten ..... S. 150	
					Projekt: Folgeschneidwerkzeug .. S. 309	
13	Sicherstellen der Betriebsfähigkeit automatisierter Systeme	Logische Verknüpfungen ..... S. 107		Planen und Fertigen technischer Systeme des Werkzeugbaus	Spritzgießen ..... S. 252	
		Projekt: Pneumatische Steuerung ..... S. 321			Projekt: Spritzgießwerkzeug ..... S. 315	
		Projekt: Elektropneumatik ..... S. 324			Projekt: Tiefziehwerkzeug ..... S. 312	
14	Planen und Realisieren technischer Systeme	Projekt: Vorschubantrieb einer CNC-Fräsmaschine ..... S. 297		Ändern und Anpassen technischer Systeme des Werkzeugbaus	Qualitätsmanagement ..... S. 158	
		Projekt: Hubeinheit ..... S. 300			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	Fertigen von Bauelementen mit handgeführten Werkzeugen	Längen	S. 44
		Flächen	S. 48		Flächen	S. 48
		Volumen	S. 54		Volumen	S. 54
		Masse	S. 55		Masse	S. 55
		Gewichtskraft	S. 55		Gewichtskraft	S. 55
		Maßtoleranzen	S. 152		Maßtoleranzen	S. 152
		Umformen, Biegen	S. 243		Umformen, Biegen	S. 243
2	Fertigen von Bauelementen mit Maschinen	Passungen	S. 154	Fertigen von Bauelementen mit Maschinen	Passungen	S. 154
		Konstante Bewegungen	S. 65		Konstante Bewegungen	S. 65
		Drehen ( $v_c$ ; $n$ ; $f$ )	S. 204		Drehen ( $v_c$ ; $n$ ; $f$ )	S. 204
		Bohren ( $v_c$ ; $n$ ; $f$ )	S. 220		Bohren ( $v_c$ ; $n$ ; $f$ )	S. 220
		Fräsen ( $v_c$ ; $n$ ; $f$ )	S. 214		Fräsen ( $v_c$ ; $n$ ; $f$ )	S. 214
		Kostenrechnen	S. 193		Kostenrechnen	S. 193
3	Herstellen von einfachen Baugruppen	Kräfte	S. 72	Herstellen von einfachen Baugruppen	Kräfte	S. 72
		Hebel	S. 76		Hebel	S. 76
		Einfache Maschinen	S. 91		Einfache Maschinen	S. 91
4	Warten technischer Systeme	Diagramme	S. 61	Warten technischer Systeme	Diagramme	S. 61
		Ohmsches Gesetz	S. 136		Ohmsches Gesetz	S. 136
		Schaltung v. Widerständen	S. 139		Schaltung v. Widerständen	S. 139
5	Herstellen von Bauelementen durch spanende Fertigungsverfahren	Passungen	S. 154	Herstellen von Dreh- und Frästeilen	Passungen	S. 154
		Drehen ( $F_c$ ; $P_c$ ; $t_h$ )	S. 204		Drehen ( $F_c$ ; $P_c$ ; $t_h$ )	S. 204
		Bohren ( $F_c$ ; $P_c$ ; $t_h$ )	S. 220		Bohren ( $F_c$ ; $P_c$ ; $t_h$ )	S. 220
		Fräsen ( $F_c$ ; $P_c$ ; $t_h$ )	S. 214		Fräsen ( $F_c$ ; $P_c$ ; $t_h$ )	S. 214
6	Warten und Inspizieren von Werkzeugmaschinen	Standgrößen	S. 187	Programmieren und Fertigen auf numerisch gesteuerten Werkzeugmaschinen	Berechnungen im Dreieck	S. 35
		Durchlauf-, Belegungszeit	S. 188		Koordinaten in NC-Programmen	S. 231
		Flächenpressung	S. 123		Maschinenstundensatz	S. 197
		Lagerkräfte	S. 78		Deckungsbeitrag	S. 199
		Reibung	S. 82			
7	Inbetriebnehmen steuerungstechnischer Systeme	Druck und Kolbenkräfte	S. 95	Herstellen technischer Teilsysteme	Zugversuch	S. 114
		Logische Verknüpfungen	S. 107		Elastizitätsmodul und Hookesches Gesetz	S. 117
		Projekt: Zahnradpumpe	S. 303		Längen- und Volumenänderung	S. 130
		Hydraulische Presse	S. 101		Flächenpressung	S. 123
					Lagerkräfte	S. 78
					Reibung	S. 82
8	Programmieren und Fertigen mit numerisch gesteuerten Werkzeugmaschinen	Koordinaten in NC-Programmen	S. 231	Planen und Inbetriebnehmen steuerungstechnischer Systeme	Druck und Kolbenkräfte	S. 95
		Qualitätsmanagement	S. 158		Logische Verknüpfungen	S. 107
					Projekt: Pneumatische Steuerung	S. 321
					Projekt: Elektropneumatik	S. 324
9	Herstellen von Bauelementen durch Feinbearbeitungsverfahren	Schleifen ( $t_h$ )	S. 225	Instandhalten von Funktionseinheiten	Lagerkräfte	S. 78
		Abtragen und Schneiden ( $t_h$ )	S. 237		Standgrößen	S. 187
		ISO-Passungen	S. 155		Durchlauf-, Belegungszeit	S. 188
					Flächenpressung	S. 123
10	Optimieren des Fertigungsprozesses	Mechanische Leistung	S. 87	Feinbearbeiten von Flächen	Schleifen ( $t_h$ )	S. 225
		Maschinen- und Prozessfähigkeit	S. 164		Abtragen und Schneiden	S. 237
		Fertigungstechnik (Schnittleistung, Hauptnutzungszeit)	S. 204		Auftragszeit	S. 191
		Fertigungsplanung	S. 187		Kostenrechnung	S. 193
11	Planen und Organisieren rechnergestützter Fertigung	Prozesskennwerte aus Stichprobenprüfung	S. 158	Herstellen von Bauteilen und Baugruppen aus Kunststoff	Spritzgießen	S. 252
		Statistische Prozesslenkung	S. 168		Projekt: Spritzgießwerkzeug	S. 315
					Projekt: Folgeschneidwerkzeug	S. 309
12	Vorbereiten und Durchführen eines Einzelfertigungsauftrages	Fertigungstechnik: Schnittdaten, Schnittkräfte	S. 204	Planen und Organisieren rechnergestützter Fertigung	Prozesskennwert aus Stichprobenprüfung	S. 158
		Projekt: Hydraulische Spannklaue	S. 306		Statistische Prozesslenkung	S. 168
		Maschinenstundensatz	S. 197			
		Deckungsbeitrag	S. 199			
13	Organisieren und Überwachen von Fertigungsprozessen in der Serienfertigung	Projekt: Frästeil Spannplatte	S. 327	Instandhalten technischer Systeme	Maschinen- und Prozessfähigkeit	S. 164
		Projekt: Drehteil Ritzelwelle	S. 330		Fertigungstechnik (Schnittleistung, Hauptnutzungszeit)	S. 204
		Projekt: Qualitätsmanagement am Bsp. eines Stirnradgetriebes	S. 318		Fertigungsplanung	S. 187
14	–	–	–	Fertigen von Schweißkonstruktionen <sup>1)</sup>	Schmelzschweißen	S. 257
15	–	–	–	Montieren, Demontieren und Inbetriebnehmen technischer Systeme <sup>1)</sup>	Arbeit, Leistung, Wirkungsgrad	S. 84
					Qualitätsmanagement	S. 158
					Elektrotechnik	S. 136
16	–	–	–	Programmieren automatisierter Systeme und Anlagen <sup>1)</sup>	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

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

#### ■ 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 5621,1 km auf 5645,4 km erhöht. Für den zurückgelegten Weg benötigte er eine Fahrzeit von 26 Minuten.

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

$$\begin{aligned} \text{Lösung: } v &= \frac{s}{t} = \frac{5645,400 \text{ m} - 5621,100 \text{ m}}{26 \cdot 60 \text{ s}} = \frac{24\,300 \text{ m}}{1560 \text{ s}} = 15,58 \frac{\text{m}}{\text{s}} \\ &= \frac{15,58 \text{ m}}{\text{s}} \cdot \frac{1 \text{ km}}{1000 \text{ m}} \cdot \frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ h}} = 56 \frac{\text{km}}{\text{h}} \end{aligned}$$

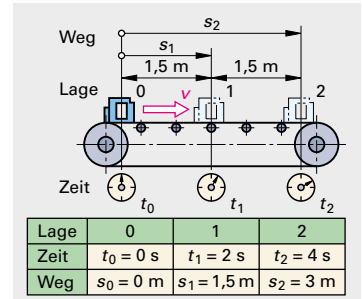


Bild 1: Förderband

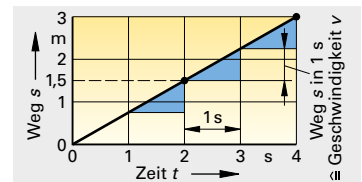


Bild 2: Weg-Zeit-Schaubild

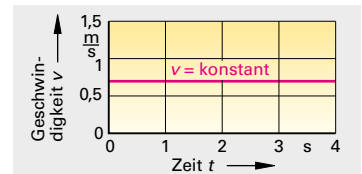


Bild 3: Geschwindigkeits-Zeit-Schaubild

#### Geschwindigkeit, Durchschnittsgeschwindigkeit

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

#### Einheiten

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

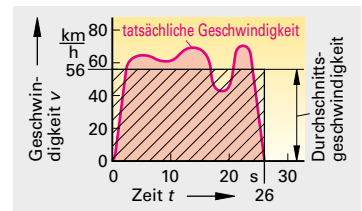


Bild 4: Durchschnittsgeschwindigkeit





## Drehmoment, Hebelgesetz

Hebel werden zur Änderung der Kraftrichtung 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
$\Sigma M$	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:  $M = F_1 \cdot l_1 = 250 \text{ N} \cdot 0 \text{ m} = 0 \text{ N} \cdot \text{m}$

$$\Sigma M_l = \Sigma M_r$$

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

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

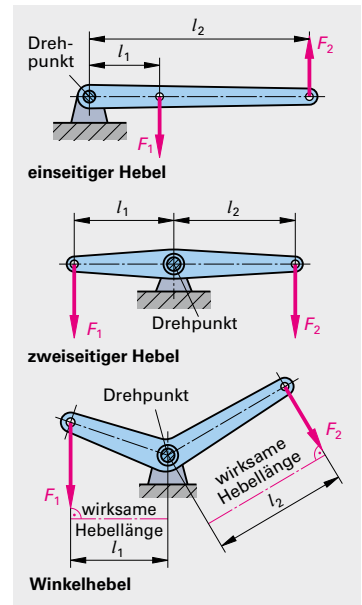


Bild 1: Hebelarten

### 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

- Kettentrieb (Bild 3).** Das Kettenrad überträgt ein Drehmoment  $M = 144 \text{ N} \cdot \text{m}$ . Wie groß ist die Zugkraft  $F$  in der Kette?
- Kipphebel (Bild 4).** Am Kipphebel wirkt die Kraft  $F_1 = 1450 \text{ N}$ . Wie groß ist die Kraft  $F_2$ ?

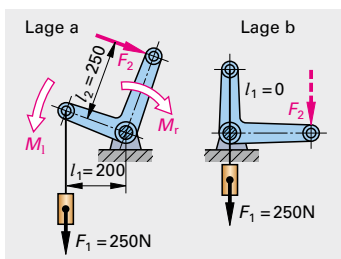


Bild 2: Winkelhebel

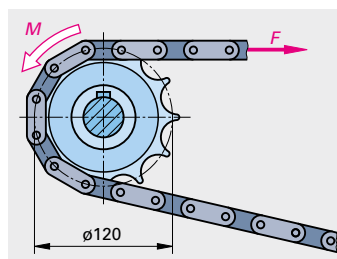


Bild 3: Kettentrieb

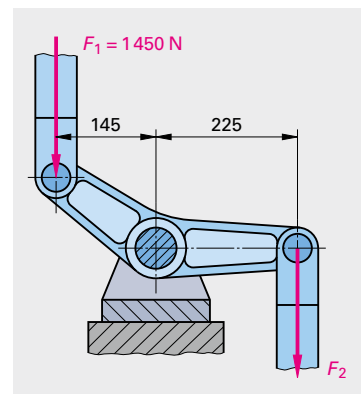


Bild 4: Kipphebel

## 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

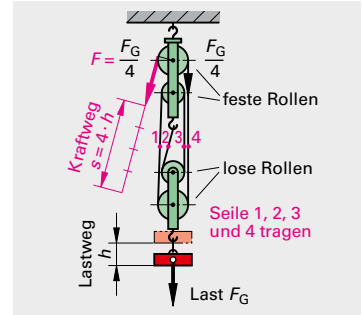
#### ● Beispiel:

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  $0,9 \text{ m}$  gehoben werden.

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

**Lösung:**  $F = \frac{F_G}{n} = \frac{960 \text{ N}}{4} = 240 \text{ N}$        $W = F_G \cdot h = 960 \text{ N} \cdot 0,9 \text{ m} = 864 \text{ Nm}$

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



**Bild 1: Rollenflaschenzug**

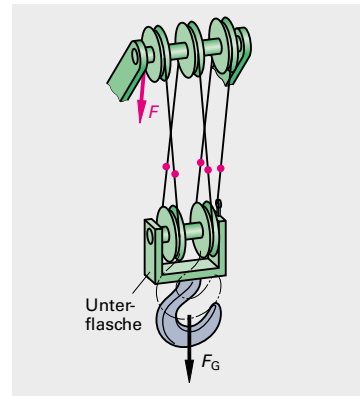
#### Hubkraft und Kraftweg

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

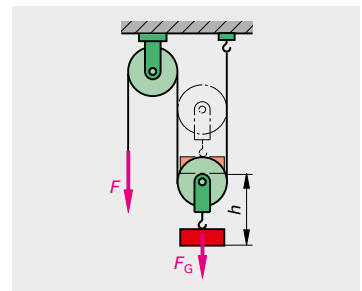
$$s = n \cdot h$$

#### 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  $1880 \text{ N}$  soll mithilfe des Flaschenzugs angehoben werden.
  - Welche Handkraft muss aufgebracht werden, wenn das Gewicht der Unterflasche  $120 \text{ N}$  beträgt?
  - Berechnen Sie den Kraftweg bei einem Hub von  $2500 \text{ mm}$ .
- Last (Bild 3).** Eine Last wird mittels einer Handkraft von  $450 \text{ N}$  angehoben. Der Kraftweg beträgt  $8 \text{ m}$ .
  - Ermitteln Sie die Last bei einem Unterfläschengewicht von  $50 \text{ N}$ .
  - Auf welche Höhe wird die Last gehoben?
  - Berechnen Sie die zu verrichtende Hubarbeit.



## Fluidmechanik und Automation

### Druck – Einheiten und Druckarten

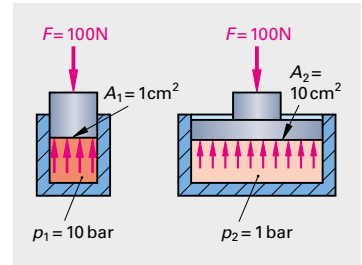
Mithilfe von Druckflüssigkeiten oder Druckluft können Geräte und Maschinen angetrieben oder gesteuert werden. Bei der Hydraulik<sup>1)</sup> werden meistens Öle, seltener Wasser verwendet. Bei der Pneumatik<sup>2)</sup> wird als Übertragungsmittel Luft eingesetzt.

#### ■ 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 (Pascal<sup>3)</sup>) oder bar<sup>4)</sup>. Die Umrechnung in die verschiedenen Druckeinheiten zeigt **Tabelle 1**.

##### Bezeichnungen<sup>5)</sup>:

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



**Bild 1: Druckentstehung**

#### Druck

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

#### ■ 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  $p_{amb} = 1,013 \text{ bar} = 1013 \text{ mbar}$  oder  $1013 \text{ hPa}$ . Für die Berechnungen in der Technik wird mit dem gerundeten Wert  $p_{amb} \approx 1 \text{ bar}$  gerechnet.

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

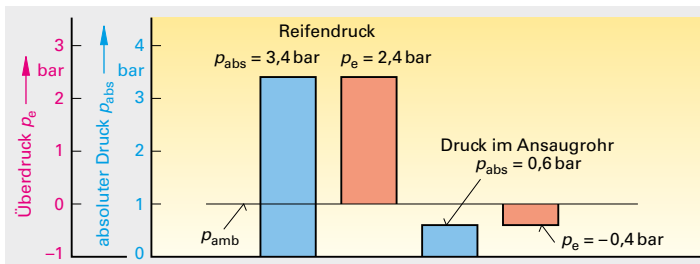
**Überdruck** ist der Druckunterschied zwischen dem absoluten Druck und dem jeweiligen Luftdruck (**Bild 2**). Manometer in Hydraulik- oder Pneumatikanlagen zeigen den Überdruck in bar an. Der Überdruck ist positiv, wenn  $p_{abs} > p_{amb}$ . Er ist negativ, wenn  $p_{abs} < p_{amb}$ .

#### ● Beispiel:

Berechnen Sie jeweils den Überdruck,

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

- Lösung:** a)  $p_e = p_{abs} - p_{amb} = 3,4 \text{ bar} - 1 \text{ bar} = 2,4 \text{ bar}$   
 b)  $p_e = p_{abs} - p_{amb} = 0,6 \text{ bar} - 1 \text{ bar} = -0,4 \text{ bar}$   
 c) die verschiedenen Drücke sind in **Bild 3** dargestellt.



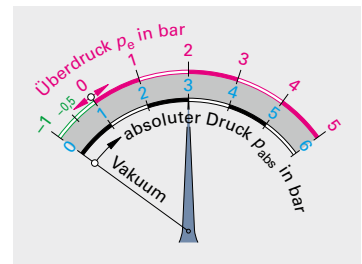
**Bild 3: Positiver und negativer Überdruck**

#### Überdruck

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

**Tabelle 1: Umrechnungen von Druckeinheiten**

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



**Bild 2: Absoluter Druck und Überdruck**

1) von hydro (griech.) Wasser; 2) von pneuma (griech.) Luft; 3) nach Pascal, franz. Physiker (1623–1662); 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 Zahnrädern, 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  $F$ . Diese führt zu einer Verdrehung (Torsion) der Welle, sowie zu einer Flächenpressung  $p$  an der Passfeder und in der Naben- und Wellennut. 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.

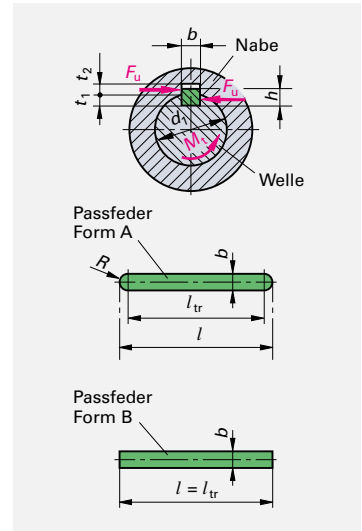


Bild 1: Passfederverbindung

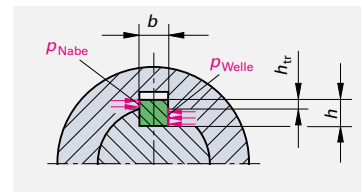


Bild 2: Spannungsnachweis

#### 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 <sup>2</sup>
$p_{vorh}$	vorhandene Flächenpressung	N/mm <sup>2</sup>
$p_{zul}$	zulässige Flächenpressung	N/mm <sup>2</sup>
$\nu$	Sicherheitszahl	–

#### Beispiel:

Eine Welle und eine Nabe werden jeweils aus 28Mn6 hergestellt und sind vergütet. Der Wellendurchmesser beträgt  $d_1 = 40$  mm. Das Drehmoment von  $M_t = 50$  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:

$b = 12$  mm,  $h = 8$  mm,  $l = 30$  mm,  $t_1 = 5$  mm,  $t_2 = 3,3$  mm,

$l_{tr} = (30 - 12)$  mm = 18 mm,  $h_{trWelle} = h = t_1 = 5$  mm,

$h_{trNabe} = h - t_1 = 8$  mm – 5 mm = 3 mm,

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

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

$$c) 28\text{Mn6: } R_{eWelle/Nabe} = 490 \text{ N/mm}^2, \text{ E295: } R_{eFeder} = 295 \text{ N/mm}^2$$

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

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

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

#### 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

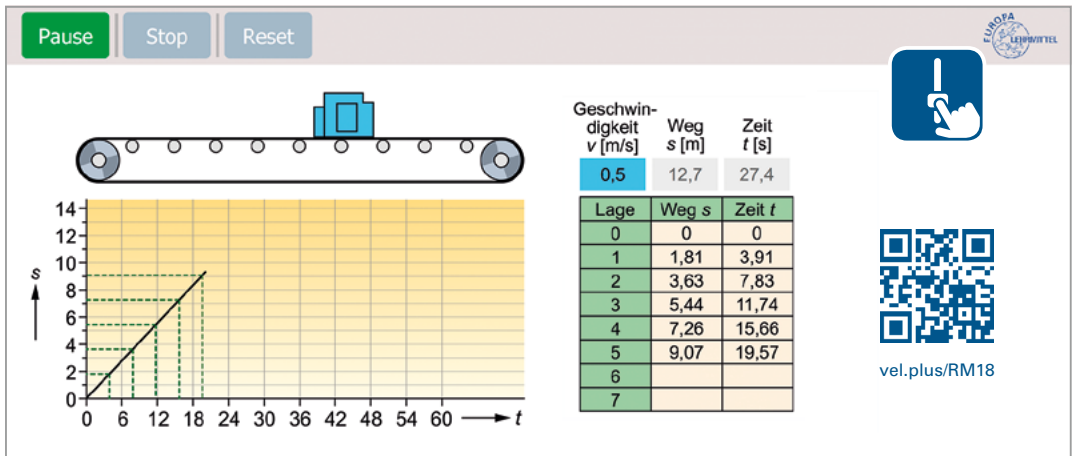
$$p_{vorh} = \frac{F_u}{A_{vorh}} = \frac{F_u}{h_{tr} \cdot l_{tr}}$$

#### 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  $v = 0,5$  m/s betrieben wird.

- Ermitteln Sie wie weit eine Kiste nach einer Zeit von  $t_1 = 4$  s,  $t_2 = 8$  s und  $t_3 = 26$  s befördert worden ist.
- Nach welcher Zeit passiert eine Kiste die Wegpunkte  $s_1 = 4$  m und  $s_2 = 11$  m?
- Die Gesamtlänge des Förderbandes beträgt  $l = 14$  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  $v_2 = 0,4$  m/s reduziert. Die Aufgabenteile a) bis c) sind mit der reduzierten Geschwindigkeit zu berechnen.

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

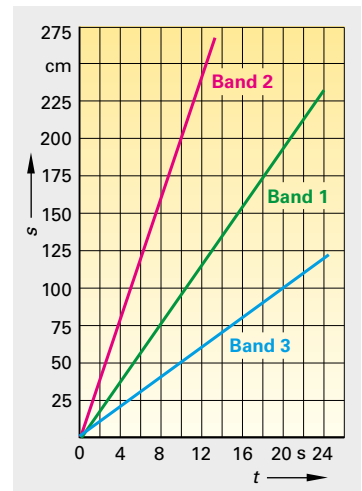
- Ermitteln Sie die Geschwindigkeit des Transportbandes.
- Die fehlenden Werte sind zu ergänzen.
- Zeichnen Sie das Weg-Zeit-Diagramm.

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  $t = 10$  s.
- Zeichnen Sie die unterschiedlichen Bandgeschwindigkeiten in ein  $v$ - $t$ -Diagramm ein.

**Tabelle 1: Transportband**

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



**Bild 1: Gurtförderer**

## Simulationsaufgaben | Hebelgesetz

☒ Drehmoment
 ☒ **Zweiseitiger Hebel**
☐ Einseitiger Hebel

Kraft  $F_1$  [N]  
62,8

Hebel-länge  $l_1$  [cm]  
29,7

Links-drehendes Moment  
 $M_1$  18,65 Nm

Kraft  $F_2$  [N]  
55,8

Hebel-länge  $l_2$  [cm]  
33,4

Rechts-drehendes Moment  
 $M_2$  18,65 Nm

vel.plus/RM20

1. **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  $F_1 = 20$  N,  $l_1 = 50$  cm und  $l_2 = 20$  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.

2. **Versuchsreihe (Tabelle 1).** Berechnen Sie die fehlenden Werte in der Versuchsreihe von **Tabelle 1**, damit der Hebel im Gleichgewicht bleibt.

3. **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?

4. **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.

5. **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?

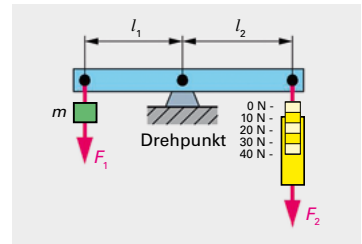


Bild 1: Zweiseitiger Hebel

Tabelle 1: Versuchsreihe

$F_1$ (N)	$l_1$ (cm)	$F_2$ (N)	$l_2$ (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	?

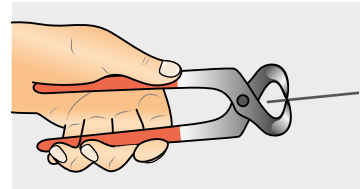


Bild 2: Zange als Hebel

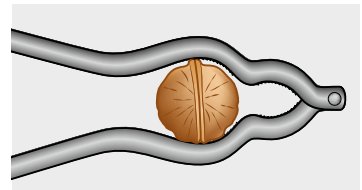


Bild 3: Nussknacker

## Simulationsaufgaben | Druck und Kolbenkraft

Wirksame Kolbenfläche  
A 211,43 cm<sup>2</sup>

Kolbendurchmesser D [mm] 184,1

Druck  $p_e$  [bar] 95,5

Kolbenkraft F [N] 242213,9

Kolbenstangendurchmesser d [mm] 40

vel.plus/RM22

Bei allen Aufgaben sind die Reibungskräfte zu vernachlässigen.

1. **Drückende Last.** Folgende Werte sind für den Hubzylinder gegeben: Kolbendurchmesser  $D = 20$  mm und Druck  $p_e = 20$  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  $F$  (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  $p_e = 15$  bar. Der Durchmesser des Kolbens beträgt 2 dm. Der Zylinderdeckel wird mit sechs Zylinderschrauben am Gehäuseflansch befestigt.

Berechnen Sie, wie groß die Kolbenkraft  $F$  (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  $D_1 = 50$  mm und  $D_2 = 100$  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  $p_e = 100$  bar die Kolbenringfläche aus, um die Last von 2,5 t zu heben? Vorgegeben sind der Kolbendurchmesser  $D = 80$  mm und der Kolbenstangendurchmesser mit  $d = 25$  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 <sup>2</sup> )	$p_e$ (bar)	F (N)
50	19,63	30	?
63	31,17	?	12469
80	?	30	15079,6
?	122,72	40	49087,4

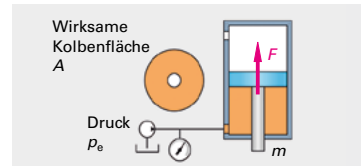


Bild 1: Ziehende Last

Tabelle 2:

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

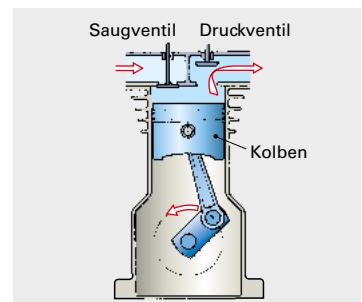


Bild 2: Kolbenverdichter

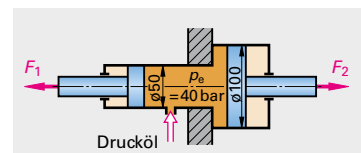


Bild 3: Doppelkolbenzylinder



## 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  $F_f$ .

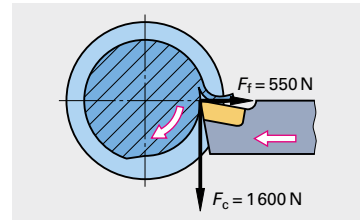


Bild 1: Kräfte beim Zerspanen

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

Zu bestimmen sind

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

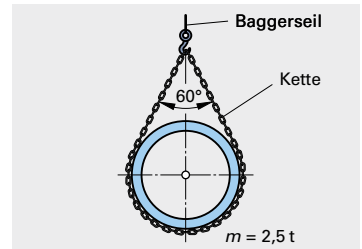


Bild 2: Tragkette

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 Spannkraften  $F_1$  und  $F_2$  auf die beiden Werkstücke?

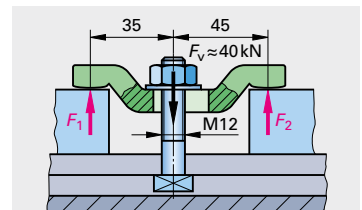


Bild 3: Spannpratze

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.

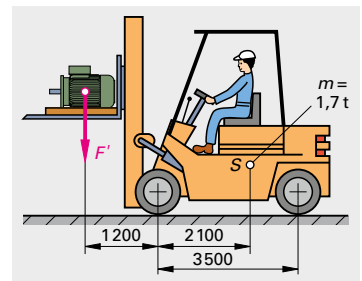


Bild 4: Gabelstapler

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?

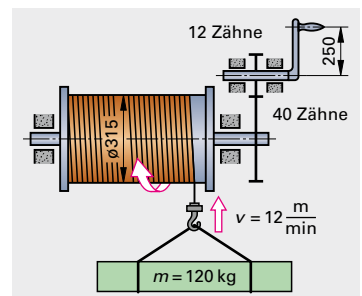


Bild 5: Seilwinde

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 Vorspannkraft aller Schrauben zusammen?



### Statistische Auswertungen

1. **Gleitlagerbuchsen (Tabelle 1).** Aus der Serienfertigung von Gleitlagerbuchsen wurden Stichproben entnommen und in einer Urwertliste zusammengefasst. Bestimmen Sie für den Außendurchmesser  $d_2 = 12 \text{ s6}$ 
  - a) eine Tabelle mit Strichliste und Häufigkeitsverteilung in Klassen ( $k = 5$ ;  $w = 0,002 \text{ mm}$ ),
  - b) 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
  - a) den arithmetischen Mittelwert,
  - b) den Medianwert,
  - c) die Standardabweichung,
  - d) die Spannweite.
3. **Getriebewelle (Tabelle 3).** Der Gleitlagersitz einer Getriebewelle hat den Außendurchmesser  $d = 32 \text{ H7}$ . Aus einer Stichprobenprüfung sind Messwerte für die Wellenabmaße bekannt.
  - a) Erstellen Sie aus der Urliste eine Strichliste nach Klassen.
  - b) Bestimmen Sie
    - die absolute und relative Häufigkeit und
    - die absolute und relative Summenhäufigkeit.
  - c) 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
  - a) den arithmetischen Mittelwert,
  - b) die Standardabweichung,
  - c) die Überschreitung oben,
  - d) die Überschreitung unten und
  - e) den Maschinenstreuungsbereich  $\bar{x} \pm 3s$ .

**Tabelle 1: Urwertliste Gleitlagerbuchsen**  
Außendurchmesser  $d_2 = 12 \text{ s6}$

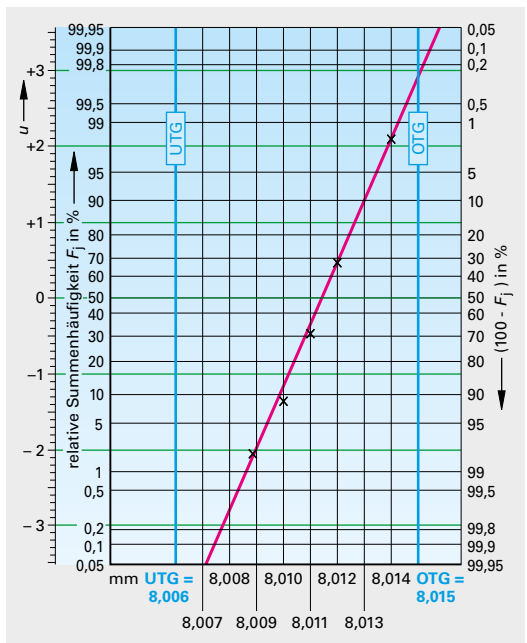
12,029	12,032	12,031	12,030	12,034
12,035	12,033	12,034	12,033	12,036
12,035	12,034	12,036	12,032	12,031
12,036	12,033	12,037	12,036	12,037
12,033	12,034	12,033	12,038	12,033

**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  $d = 32 \text{ H7}$

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**



### 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  $2000 \text{ mm/min}$  und mit der Eilganggeschwindigkeit  $v_E = 5 \text{ m/min}$ .

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

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 wirkliche Durchmesser der treibenden Zahnriemenscheibe beträgt  $40 \text{ mm}$ .

- Warum werden bei NC-Vorschubantrieben keine Flach- oder Keilriemen eingesetzt?

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?

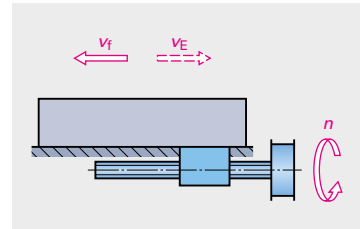


Bild 1: Gewindespindel-Antrieb

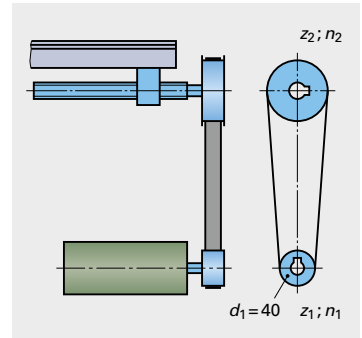


Bild 2: Zahnriemen-Antrieb

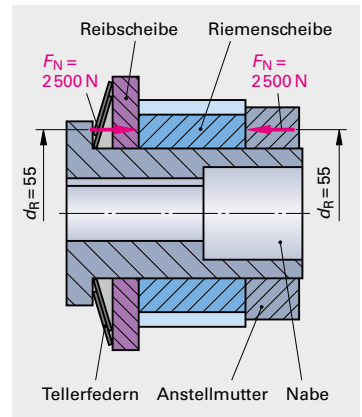
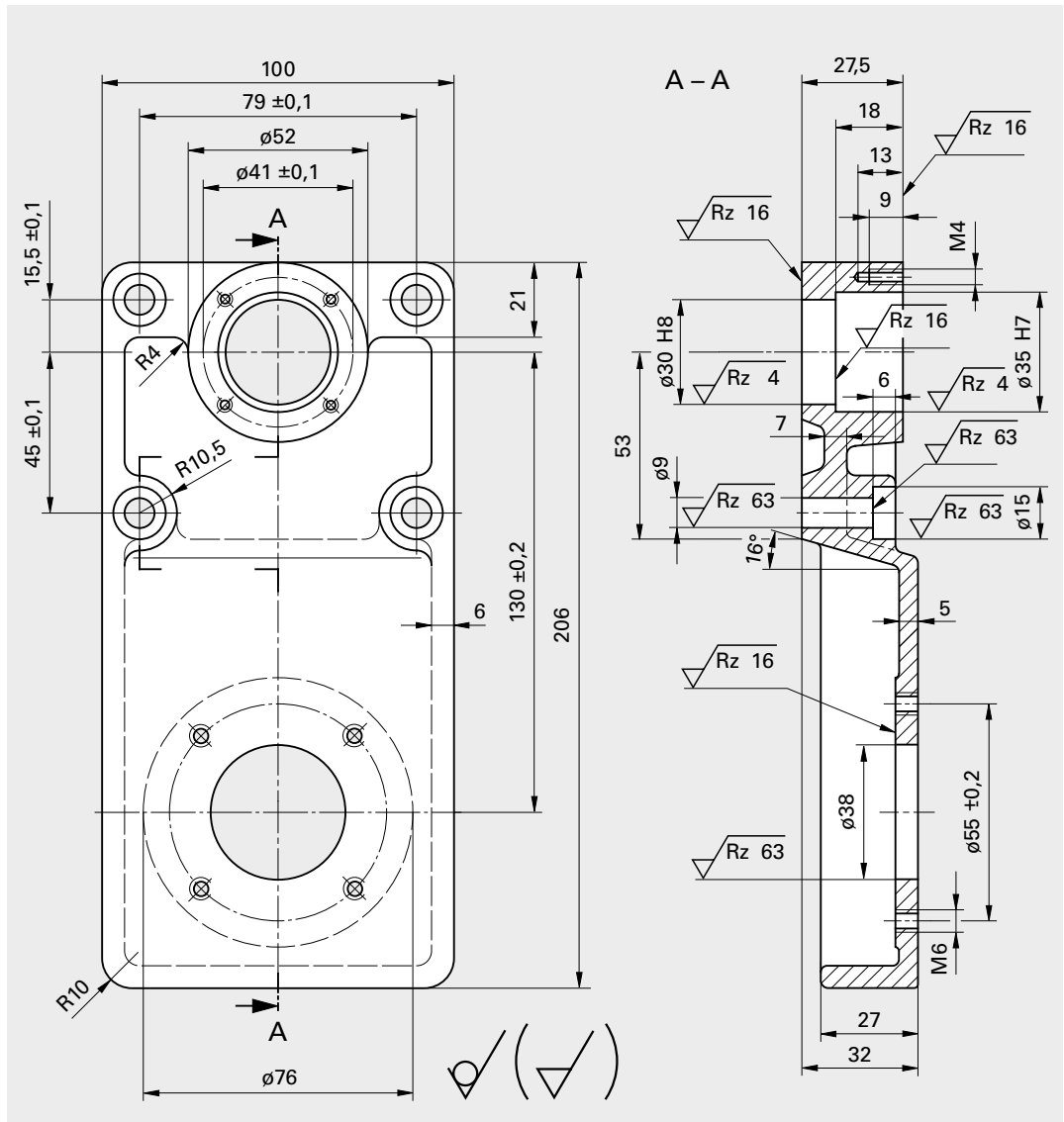


Bild 3: Sicherheitskupplung

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 Auftragserteilung 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.