

**Köhler/Rögnitz**

# **Maschinenteile**

**Teil 2**

Herausgegeben von

**Prof. Dr.-Ing. J. Pokorny**

Bearbeitet von

**Prof. Dipl.-Ing. E. Hemmerling   Prof. Dr.-Ing. J. Pokorny**  
**Prof. Dipl.-Ing. K.-H. Küttner   Prof. Dipl.-Ing. G. Schreiner**  
**Prof. Dr.-Ing. E. Lemke**

6., neubearbeitete und erweiterte Auflage

Mit 300 Bildern und 10 Tafeln mit weiteren 44 Bildern

Beilage: Arbeitsblätter mit 39 Bildern und 87 Tafeln  
mit weiteren 23 Bildern



Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH 1981

Herausgeber Professor Dr.-Ing. Joachim Pokorny  
Universität — Gesamthochschule — Paderborn,  
Abt. Soest

Bearbeiter Professor Dipl.-Ing. Ernst Hemmerling  
Hochschule für Technik Bremen  
Professor Dipl.-Ing. Karl-Heinz Küttner  
Technische Fachhochschule Berlin  
Professor Dr.-Ing. Erwin Lemke  
Technische Fachhochschule Berlin  
Professor Dr.-Ing. Joachim Pokorny  
Universität — Gesamthochschule — Paderborn,  
Abt. Soest  
Professor Dipl.-Ing. Gerhart Schreiner  
Fachhochschule für Technik, Mannheim

CIP-Kurztitelaufnahme der Deutschen Bibliothek

**Maschinenteile** / Köhler / Rögnitz. — Stuttgart:  
Teubner

NE: Köhler, Günter [Hrsg.]

Teil 2. Hrsg. von J. Pokorny. Bearb. von E.

Hemmerling . . . — 6., neubearb. u. erw. Aufl. — 1981.

ISBN 978-3-663-10751-4 ISBN 978-3-663-10750-7 (eBook)

DOI 10.1007/978-3-663-10750-7

NE: Pokorny, Joachim [Hrsg.]; Hemmerling, Ernst  
[Mitverf.]

Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, besonders die der Übersetzung, des Nachdrucks, der Bildentnahme, der Funksendung, der Wiedergabe auf photomechanischem oder ähnlichem Wege, der Speicherung und Auswertung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei Verwertung von Teilen des Werkes, dem Verlag vorbehalten.

Bei gewerblichen Zwecken dienender Vervielfältigung ist an den Verlag gemäß § 54 UrhG eine Vergütung zu zahlen, deren Höhe mit dem Verlag zu vereinbaren ist.

© Springer Fachmedien Wiesbaden 1981

Ursprünglich erschienen bei B.G. Teubner, Stuttgart 1981

Softcover reprint of the hardcover 6th edition 1981

Umschlaggestaltung: W. Koch, Sindelfingen

## Vorwort

Die vorliegende sechste Auflage des Teil 2 der „Maschinenteile“ wurde wie Teil 1 unter Berücksichtigung einer Reihe von Wünschen aus den Kreisen der Leser und unter Beachtung der technischen Entwicklung überarbeitet. So wurde auch der Text über die drehnachgiebigen Kupplungen, über hydrodynamische Axiallager und über Planetengetriebe erweitert. Die Normenangaben wurden auf den zur Zeit gültigen Stand gebracht.

Die Darlegung des Stoffes führt in den meisten Fällen im Sinne der Konstruktionsmethodik von der Aufgabenstellung über die Funktion, Berechnung und Gestaltung zu Lösungsmöglichkeiten. Die Berechnung wird durch reiches Zahlenmaterial und durch viele Zahlenbeispiele erläutert.

Durch die jedem Abschnitt vorangestellten wichtigsten Normen soll der Leser angeregt werden, sich mit den Original-DIN-Normblättern vertraut zu machen. Eine schnelle Unterrichtung über die wichtigsten Normen gestattet das vom DIN Deutsches Institut für Normung e. V. herausgegebene Buch: Klein „Einführung in die DIN-Normen“. Wegen des Einflusses der Herstellverfahren auf die Konstruktion der Maschinenteile wurden, soweit im Rahmen des vorliegenden Werkes möglich, werkstoff- und fertigungsgerechtes Gestalten mit behandelt.

Für eine leichtere Auswertung beider Teile wurden „Arbeitsblätter“ als Anhang gesondert beigelegt (s. a. „Hinweise für die Benutzung des Werkes“ auf S. VIII). Die Arbeitsblätter enthalten den wesentlichen Stoff in knapper übersichtlicher Darstellung als Gleichungen in Tafeln oder als Bilder. Die Zusammenstellung der Gleichungen entspricht im allgemeinen dem Ablauf der Berechnung und Auslegung von Bauelementen. Es befinden sich im Lehrbucheil keine Tafeln, so daß das Lesen nicht beeinträchtigt werden kann. Nachdem sich der Leser an Hand des Lehrbuches und, wenn zur leichteren Bewältigung des Stoffes notwendig, daneben an Hand des Arbeitsblattes über den Rechnungsgang der einzelnen Maschinenteile klargestellt ist, kann er die Arbeitsblätter – beispielsweise bei den Entwurfsübungen am Zeichenbrett usw. – für sich benutzen. Dabei sind diese für eine rezeptmäßige Anwendung von Formeln ohne Kenntnis der inneren Zusammenhänge nicht auswertbar. Sie sollen dem den Stoff beherrschenden Leser lediglich als Gedächtnisstütze dienen, den Auslegungs- bzw. Berechnungsfluß aufzeigen und das erforderliche Zahlenmaterial übersichtlich darbieten.

Die Arbeitsblätter können von den Studierenden auch zur Wiederholung oder als Formelnachschlagewerk benutzt werden.

Als zweckmäßig und vorteilhaft haben sich die Arbeitsblätter insbesondere auch bei der Betreuung von Studien- und Ingenieurarbeiten durch rasches Aufzeigen des Problems bewährt.

Die Umstellung der Einheiten auf das internationale, gesetzlich eingeführte SI-System erfolgte bereits in der fünften Auflage. Weil es auch jetzt noch notwendig ist, neben den SI-Einheiten die in der Vergangenheit gebräuchlichen Einheiten zu kennen (z. B. zum Lesen von älterer Literatur), sind Umrechnungsbeziehungen auf Seite VIII angegeben.

#### IV Vorwort

Die Formelzeichen wurden im wesentlichen nach DIN 1304 gewählt.

Um eine Einheitlichkeit der Formelzeichen durch alle Abschnitte zu erzielen, mußte von manchen in den betreffenden Normblättern angeführten Bezeichnungen abgewichen werden. So wurden die Bezeichnungen  $\sigma_B$  für die Bruchfestigkeit,  $\sigma_s$  für die Streckgrenze und  $\sigma_{0,2}$  für die 0,2-Grenze beibehalten, jedoch die Bezeichnungen nach DIN 50145 in den Tafeln für Festigkeitswerte in Klammern hinzugefügt, z. B. ( $R_m$ ), ( $R_e$ ), ( $R_p$ ). In einigen Normen z. B. für Zahnräder und in AD-Merkblättern wird für die Sicherheit das Formelzeichen  $S$  gesetzt. Um Verwechslungen auszuschließen, wurde daher in beiden Teilen des Werkes im Gegensatz zu DIN 1304 die Ober- und Querschnittsfläche mit  $A$  und die Sicherheit mit  $S$  bezeichnet.

Die Gleichungen sind meist als Größengleichungen nach DIN 1313, also für frei wählbare Einheiten geschrieben, in die die Zahlenwerte mit SI-Einheiten oder mit abgeleiteten SI-Einheiten eingesetzt werden können. Nur gelegentlich werden auch auf bestimmte Einheiten zugeschnittene Größen- bzw. Zahlenwertgleichungen verwendet (s. Hinweis für die Benutzung des Werkes auf S. VIII).

Ich danke allen Lesern, die zur Verbesserung des Werkes beigetragen haben, wie auch den Firmen, die Material zur Verfügung stellten. Nicht zuletzt gebührt mein Dank den Mitarbeitern, welche keine Mühen um die Weiterentwicklung ihrer Beiträge scheuten.

Verlag, Verfasser und Herausgeber würden sich freuen, auch weiterhin Anregungen aus den Kreisen der Benutzer zu erhalten.

Soest, im Sommer 1981

Joachim Pokorny

# Inhalt

<b>1. Achsen und Wellen (Pokorny)</b>	
1.1. Aufgabe und Einteilung . . . . .	1
1.2. Entwicklung des Rechnungsganges für Achsen und Wellen . . . . .	2
1.2.1. Achsen . . . . .	2
1.2.2. Wellen . . . . .	8
1.3. Gestalten und Fertigen . . . . .	33
1.4. Sonderausführungen . . . . .	37
Schrifttum . . . . .	38
<b>2. Gleitlager (Hemmerling)</b>	
2.1. Aufgabe . . . . .	39
2.2. Gleitvorgang . . . . .	39
2.2.1. Reibung im Gleitlager . . . . .	40
2.2.2. Eigenschaften der Schmiermittel . . . . .	51
2.2.3. Werkstoffe . . . . .	53
2.3. Berechnen und Bemessen der Radiallager . . . . .	55
2.3.1. Lagerbreite $b$ und Verhältnis $\beta = b/d =$ Breite zu Durchmesser . . . . .	56
2.3.2. Lager im Bereich $So > 1$ . . . . .	56
2.3.3. Lager im Bereich $So < 1$ . . . . .	60
2.4. Gleitlagerbauarten, Einzelteile . . . . .	62
2.4.1. Radiallager . . . . .	63
2.4.2. Axiallager . . . . .	68
2.5. Schmiereinrichtungen . . . . .	71
Schrifttum . . . . .	73
<b>3. Wälzlager (Hemmerling)</b>	
3.1. Aufbau und Eigenschaften . . . . .	75
3.2. Kraftwirkungen im Wälzlager . . . . .	76
3.2.1. Kräfte zwischen Laufbahn und Wälzkörper . . . . .	76
3.2.2. Verteilung des radialen Lastüberganges . . . . .	76
3.2.3. Berührungswinkel . . . . .	77
3.2.4. Schwenkwinkel . . . . .	78
3.2.5. Reibung . . . . .	79
3.2.6. Gebrauchsdauer des Wälzlagers . . . . .	79
3.3. Normung und Gestaltung der Lagerstelle . . . . .	86
3.3.1. Herstellgenauigkeit . . . . .	86
3.3.2. Einbaumaße . . . . .	86
3.3.3. Normbezeichnungen . . . . .	88
3.3.4. Bauarten, Eigenschaften und Verwendung . . . . .	90
3.3.5. Einbau der Wälzlager . . . . .	97
3.3.6. Werkstoffe . . . . .	102

## VI Inhalt

3.4. Beispiele . . . . .	102
3.4.1. Berechnungsbeispiele . . . . .	102
3.4.2. Einbaubeispiele . . . . .	104
Schrifttum . . . . .	109
<b>4. Kupplungen und Bremsen (Pokorny)</b>	
4.1. Kupplungen . . . . .	110
4.2. Nichtschaltbare starre Kupplungen . . . . .	111
4.3. Nichtschaltbare formschlüssige Ausgleichkupplungen . . . . .	113
4.3.1. Bewegliche Kupplungen . . . . .	114
4.3.2. Drehnachgiebige Kupplungen . . . . .	117
4.4. Schaltbare Kupplungen (Verlustarbeit bzw. -wärme)	129
4.4.1. Formschlüssige Kupplungen . . . . .	134
4.4.2. Kraftschlüssige (Reibungs-)Kupplungen . . . . .	142
4.4.3. Elektrische Kupplungen . . . . .	156
4.4.4. Hydrodynamische Kupplungen . . . . .	158
4.5. Bremsen . . . . .	160
4.5.1. Berechnung . . . . .	161
4.5.2. Bauarten . . . . .	162
Schrifttum . . . . .	167
<b>5. Kurbeltrieb (Küttner)</b>	
5.1. Tauchkolbentriebwerk . . . . .	169
5.2. Berechnungsgrundlagen . . . . .	170
5.3. Kinematik des Kurbeltriebes . . . . .	172
5.3.1. Kolbenweg . . . . .	172
5.3.2. Kolbengeschwindigkeit . . . . .	175
5.3.3. Kolbenbeschleunigung . . . . .	177
5.4. Dynamik des Kurbeltriebes . . . . .	179
5.4.1. Stoffkräfte und Leistungen . . . . .	180
5.4.2. Massenkräfte . . . . .	181
5.4.3. Kräfte im Triebwerk . . . . .	185
5.5. Aufbau, Funktion und Gestaltung der Triebwerksteile . . . . .	192
5.5.1. Kolben . . . . .	192
5.5.2. Schubstangen . . . . .	197
5.5.3. Kurbelwellen . . . . .	200
5.6. Festigkeitsberechnung der Triebwerksteile . . . . .	202
5.6.1. Kolben . . . . .	202
5.6.2. Schubstangen . . . . .	203
5.6.3. Kurbelwellen . . . . .	207
5.6.4. Lager . . . . .	208
Schrifttum . . . . .	208
<b>6. Kurvengetriebe (Küttner)</b>	
6.1. Nockensteuerungen . . . . .	209
6.2. Kreisbogennocken mit geradem Tellerstößel . . . . .	210
6.2.1. Aufbau des Nockens . . . . .	210
6.2.2. Stößelbewegung . . . . .	212

6.2.3. Stößelabmessungen . . . . .	213
6.2.4. Kräfte am Stößel . . . . .	213
6.3. Gestaltung . . . . .	216
Schrifttum . . . . .	218
<b>7. Zugmittelgetriebe (Schreiner)</b>	
7.1. Einteilung und Verwendung . . . . .	219
7.2. Reibschlüssige Zugmittelgetriebe . . . . .	220
7.2.1. Berechnen von Riementrieben . . . . .	220
7.2.2. Bauarten . . . . .	224
7.2.3. Riemenformen und Werkstoffe . . . . .	224
7.3. Formschlüssige Zugmittelgetriebe . . . . .	226
7.3.1. Kettenbauarten . . . . .	226
7.3.2. Kettenrad und Kette . . . . .	227
7.3.3. Berechnen von Rollenketten . . . . .	229
7.3.4. Bauformen der Kettentriebe . . . . .	229
Schrifttum . . . . .	233
<b>8. Zahnradgetriebe (Lemke)</b>	
8.1. Grundlagen . . . . .	235
8.2. Zykloidenverzahnung . . . . .	239
8.3. Evolventenverzahnung an Geradstirnrädern . . . . .	240
8.3.1. Grundbegriffe . . . . .	240
8.3.2. Profilverschiebung an Geradstirnrädern mit Evolventenverzahnung . . . . .	248
8.3.3. Innenverzahnung . . . . .	250
8.3.4. V-Getriebe mit Geradstirnrädern . . . . .	252
8.3.5. Flankenspiel bei Geradstirnrad-Getrieben . . . . .	257
8.3.6. Tragfähigkeitsberechnung der Geradstirnräder . . . . .	262
8.3.7. Entwurf und Gestaltung von Geradstirnrad-Getrieben . . . . .	275
8.4. Schrägstirnräder mit Evolventenverzahnung . . . . .	281
8.4.1. Grundbegriffe . . . . .	281
8.4.2. Tragfähigkeitsberechnung der Schrägstirnräder . . . . .	284
8.4.3. Entwurf und Gestaltung von Schrägstirnrad-Getrieben . . . . .	288
8.5. Kegelräder . . . . .	303
8.5.1. Grundbegriffe für geradverzahnte Kegelräder . . . . .	303
8.5.2. Tragfähigkeitsberechnung der geradverzahnten Kegelräder . . . . .	307
8.5.3. Entwurf und Gestaltung von geradverzahnten Kegelrädern . . . . .	308
8.6. Stirnrad-Schraubgetriebe . . . . .	315
8.6.1. Grundbegriffe . . . . .	315
8.6.2. Tragfähigkeitsberechnung der Stirnrad-Schraubgetriebe . . . . .	319
8.7. Schneckengetriebe . . . . .	322
8.7.1. Grundbegriffe . . . . .	323
8.7.2. Wirkungsgrad . . . . .	325
8.7.3. Tragfähigkeitsberechnung und Konstruktion . . . . .	326
8.8. Aufbau der Zahnradgetriebe . . . . .	334
8.8.1. Gestaltung der Getriebe . . . . .	334
8.8.2. Räderpaarungen . . . . .	335
8.8.3. Gefährliche Zahnkräfte in Mehrwellengetrieben . . . . .	344
Schrifttum . . . . .	345
<b>Sachverzeichnis . . . . .</b>	<b>347</b>

## VIII Inhalt

### Beilage

Arbeitsblatt 1: Achsen und Wellen . . . . .	A 1	Arbeitsblatt 5: Kurbeltrieb . . . . .	A54
Arbeitsblatt 2: Gleitlager . . . . .	A13	Arbeitsblatt 6: Kurvengetriebe . . . . .	A59
Arbeitsblatt 3: Wälzlager . . . . .	A25	Arbeitsblatt 7: Zugmittelgetriebe . . . . .	A62
Arbeitsblatt 4: Kupplungen und Bremsen . . . . .	A39	Arbeitsblatt 8: Zahnradgetriebe . . . . .	A73

### Hinweise für die Benutzung des Werkes

1. Wo nicht ausdrücklich anders bemerkt, werden Größengleichungen geschrieben (s. DIN 1313). In diesen Gleichungen bedeuten die Formelzeichen physikalische Größen, also jeweils ein Produkt aus Zahlenwert (Maßzahl) und Einheit.

Hin und wieder werden Zahlenwertgleichungen benutzt. In solchen Gleichungen sind die Formelzeichen als Zahlenwerte definiert, denen jedoch bestimmte Einheiten zugeordnet sind.

Zur schnellen Orientierung über die Bedeutung eines Formelzeichens wird auf die den einzelnen Arbeitsblättern vorangestellten Formelzeichenlisten verwiesen.

2. Angaben zum Internationalen Einheitensystem und Umrechnungsbeziehungen:

Masse:  $1 \text{ kp s}^2/\text{m} = 9,81 \text{ kg}$

Kraft:  $1 \text{ N} = 1 \text{ kg m/s}^2$   $1 \text{ kp} = 9,81 \text{ kg m/s}^2 = 9,81 \text{ N} \approx 10 \text{ N}$

Die Gewichtskraft  $F_g$ , die auf den Körper der Masse  $m = 1 \text{ kg}$  wirkt, beträgt:

$$F_g = mg = 1 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 = 9,81 \text{ N}$$

Mechanische Spannung, Flächenpressung:  $1 \text{ kp/mm}^2 = 9,81 \text{ N/mm}^2 \approx 10 \text{ N/mm}^2$

Druck:  $1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2 = 1 \cdot 10^{-5} \text{ bar}$   $1 \text{ MPa} = 1 \text{ N/mm}^2 = 1 \text{ MN/m}^2 = 10 \text{ bar} \approx 10 \text{ kp/cm}^2$   
 $1 \text{ bar} = 0,1 \text{ MPa} = 0,1 \text{ N/mm}^2$

$$1 \text{ at} = 1 \text{ kp/cm}^2 = 9,81 \cdot 10^4 \text{ N/m}^2 = 0,981 \text{ bar} \approx 1 \text{ bar}$$

Arbeit:  $1 \text{ J} = 1 \text{ Nm} = 1 \text{ Ws}$   $1 \text{ kpm} = 9,81 \text{ Nm} \approx 10 \text{ Nm}$   $1 \text{ kcal} = 427 \text{ kpm} = 4186,8 \text{ J}$

Leistung:  $1 \text{ W} = 1 \text{ J/s} = 1 \text{ Nm/s}$   $1 \text{ kpm/s} = 9,81 \text{ J/s} = 9,81 \text{ W}$   $1 \text{ PS} = 75 \text{ kpm/s} \approx 736 \text{ W}$   
 $1 \text{ kW} = 1,36 \text{ PS}$

Trägheitsmoment:  $1 \text{ kpm s}^2 = 9,81 \text{ Nm s}^2 = 9,81 \text{ kg m}^2$

Magnetische Flußdichte:  $1 \text{ T (Tesla)} = 1 \text{ Vs/m}^2 = 1 \text{ Nm}/(\text{m}^2\text{A})$

Dynamische Viskosität:  $1 \text{ Pa s} = 1 \text{ Ns/m}^2 = 1 \text{ kg}/(\text{ms}) = 10^3 \text{ cP (Centipoise)}$

Kinematische Viskosität:  $1 \text{ m}^2/\text{s} = 1 \text{ Pa s m}^3/\text{kg} = 10^4 \text{ St} = 10^6 \text{ cSt (Centistokes)}$

3. Hinweise auf DIN-Normen in diesem Werk entsprechen dem Stande der Normung bei Abschluß des Manuskriptes. Maßgebend sind die jeweils neuesten Ausgaben der Normblätter des DIN Deutsches Institut für Normung e.V. im Format A 4, die durch die Beuth-Verlag GmbH, Berlin und Köln, zu beziehen sind. – Sinngemäß gilt das gleiche für alle in diesem Buche erwähnten amtlichen Bestimmungen, Richtlinien, Verordnungen usw.

4. Die Zahlen in den Hinweisen im Text auf Bilder z. B. (41.1), auf Gleichungen z. B. Gl. (46.3) und auf Tafeln, Bilder oder Gleichungen im Arbeitsblatt z. B. A42.2, Bild A99.1 bzw. Gl.(A831) zeigen die betreffende Seite an und beziehen sich auf die dort laufende Numerierung.