

# Hochschultext



W. Steinhilper · R. Röper

# Maschinen- und Konstruktionselemente

Band 1

Grundlagen der Berechnung  
und Gestaltung

Mit 222 Abbildungen und 39 Tabellen

Springer-Verlag  
Berlin Heidelberg GmbH 1982

**Dr.-Ing. Waldemar Steinhilper**

o. Professor, Lehrstuhl für Maschinenelemente,  
Universität Kaiserslautern

**Dr.-Ing. Rudolf Röper**

o. Professor, Lehrstuhl für Maschinenelemente,  
Universität Dortmund

CIP-Kurztitelaufnahme der Deutschen Bibliothek.

Steinhilper, Waldemar:

Maschinen- u. Konstruktionselemente/W. Steinhilper, R. Röper.

(Hochschultext)

ISBN 978-3-540-11470-3

ISBN 978-3-662-08512-7 (eBook)

DOI 10.1007/978-3-662-08512-7

NE: Röper, Rudolf, Bd. 1, Grundlagen der Berechnung und Gestaltung.

Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, der Entnahme von Abbildungen, der Funksendung, der Wiedergabe auf photomechanischem oder ähnlichem Wege und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten.

Die Vergütungsansprüche des § 54, Abs. 2 UrhG werden durch die »Verwertungsgesellschaft Wort«, München, wahrgenommen.

© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 1982

Ursprünglich erschienen bei Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York 1982

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, daß solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

2362/3020-543210

# Vorwort

Unter Technik verstehen wir jene Vorrichtungen und Maßnahmen, mit denen der Mensch die Naturkräfte auf Grund der Kenntnis ihrer Gesetzmäßigkeiten in seinen Dienst stellt, um menschliches Leben und in der Folge Zivilisation und Kultur zu ermöglichen und zu sichern. Das Tätigkeitsfeld der Technik umfaßt global die Erzeugung und Umformung von Energie, Stoff und Information sowie die Orts- und Lagewandlung. Solche Vorgänge erfolgen durch den Einsatz technischer Systeme (Maschinen, Apparate und Geräte), in denen physikalische und chemische Abläufe unter der Beachtung besonderer technischer Begriffe wie Funktion, Funktionssicherheit, Herstellbarkeit und Aufwand-Nutzen-Relation nutzbar gemacht werden. Mit der Ingenieur Tätigkeit verbindet sich daher primär die schöpferische Gestaltung technischer Systeme und sie wird maßgebend gekennzeichnet durch das Konstruieren, d.h. das Auffinden von Zielvorgaben und deren Verwirklichung durch logische, physikalische und konstruktive Wirkzusammenhänge.

Hochtechnisierte Länder, insbesondere die mit nur geringen natürlichen Reichtümern an Bodenschätzen und Energie, sind darauf angewiesen, technische Produkte und Verfahren höchster Qualität zu schaffen und unterliegen damit einem besonderen Zwang zu außerordentlichen Ingenieurleistungen. Ferner ist die Entwicklung der Technik gekennzeichnet durch immer kürzere Innovationszeiten für technische Produkte, einen wachsenden Grad an Komplexität der Strukturen und eine immer engere Verknüpfung technischer, ökonomischer, sozialer und ökologischer Systeme. Dies bewirkt eine zunehmend schnellere Veralterung von - z.B. im Studium erworbenen - Kenntnissen und den frühen Verlust von zeitlich begrenzten Vorteilen einer Spezialisierung. Die sich abzeichnende Entwicklung verlangt eine stärkere Gewichtung der Grundlagen und eine gegenüber dem heutigen Stand weiter auszubauende Methodenlehre. Da eine speziellere Kenntnisvermittlung nur noch exemplarisch erfolgen kann, ist eine verstärkte Ausbildung in den Grundlagenfächern unerläßlich.

Gerade aus dieser Sicht kommt den Maschinen- und Konstruktionselementen als Basis für das Konstruieren eine herausragende Rolle zu. Dem widerspricht nicht die sicher zu pauschale Ansicht, daß "die Elemente nur in der Lehre für Dimensionierungsaufgaben nützlich sind, in der Praxis aber aus den Katalogen der Herstellerfirmen ent-

nommen werden". Tatsächlich sind Maschinen- und Konstruktionselemente die technische Realisierung physikalischer Effekte und weiterer Wirkzusammenhänge im Einzelement oder im technischen Teilsystem mit noch überschaubarer Komplexität. Sie fördern das Verständnis für die wesentlichen Merkmale höherer technischer Strukturen, lassen erkennen, auf welcher physikalischen (Funktion, Festigkeit, energetische Wirkung), logischen (Anordnung, Verknüpfung) und technischen (Werkstoff, Technologie) Systematik sie beruhen, die zum Gesamtverhalten führt, und schaffen somit überhaupt erst die Voraussetzungen zum Konstruieren.

Aus diesen Überlegungen heraus entstand das Konzept dieses Buches, die Maschinen- und Konstruktionselemente prinzipienorientiert darzustellen. Hierdurch werden die Elemente in der Vielzahl ihrer Erscheinungen geläufig, und die Basis geschaffen, neue Techniken, verbesserte Werkstoffe und moderne Technologien einsichtig anzuwenden. Dem didaktisch getragenen Vorhaben, kein Rezeptbuch oder gar einen Katalog für Maschinenteile, sondern ein Lehrbuch zu schaffen, entspricht es auch, daß den jeweiligen Kapiteln Beispiele nachgefügt sind, die den Lernprozeß durch Übung fördern und den Lernerfolg durch eine richtige und selbständig erbrachte Lösung überprüfen helfen.

Die Verfasser danken ihren Mitarbeitern für die Mithilfe bei der Reinschrift, beim Anfertigen der Bilder sowie Tabellen und beim Lesen der Korrekturen. Besonderer Dank gebührt dem Springer-Verlag für die angenehme Zusammenarbeit und die gute Ausstattung des Buches.

Kaiserslautern und Dortmund, im Sommer 1982

W. Steinhilper . R. Röper

# Inhaltsverzeichnis

1	Einführung .....	1
1.1	Maschinen- und Konstruktionselemente .....	2
1.2	Konstruktionswesen .....	3
1.2.1	Systeme .....	3
1.2.1.1	Technische Systeme .....	4
1.2.2	Konstruieren .....	7
1.2.2.1	Methodisches Konstruieren .....	8
1.2.2.2	Konstruktionsprozeß .....	11
1.2.2.3	Rechnergestütztes Konstruieren .....	12
1.3	Einteilung der Maschinen- und Konstruktionselemente .....	13
1.4	Funktionsgerechte und wirtschaftliche Konstruktion eines Maschinen- und Konstruktionselementes .....	14
1.4.1	Beanspruchungsgerechte Konstruktionen .....	14
1.4.2	Gestaltungsgerechte Konstruktionen .....	18
1.4.3	Werkstoffgerechte Konstruktionen .....	24
1.5	Kräfte, Momente, Arbeit und Leistung .....	45
1.5.1	Kräfte .....	45
1.5.2	Momente .....	46
1.5.3	Arbeit (Energie) .....	47
1.5.4	Leistung .....	48
1.6	Wirkungsgrad .....	49
1.7	Berechnungsbeispiele .....	50
	Schrifttum zu Kapitel 1 .....	54
2	Normen, Toleranzen und Passungen, technische Oberflächen .....	62
2.1	Normung .....	62
2.1.1	Einleitung .....	62
2.1.2	Historischer Überblick über die Entwicklung der Normen .....	63

2.1.3	Erstellung von Normen .....	64
2.1.4	Einige Grundnormen .....	64
2.2	Toleranzen und Passungen .....	71
2.2.1	Allgemeines und Begriffe .....	73
2.2.2	Maßangaben .....	79
2.2.2.1	Maße ohne Toleranzangaben .....	79
2.2.2.2	Maße mit zahlenmäßiger Toleranzangabe .....	80
2.2.2.3	Längenmaße mit Toleranzen nach dem ISO-Toleranzsystem ...	84
2.2.3	Passungen .....	92
2.2.3.1	Passungsarten .....	94
2.2.3.2	Paßsysteme .....	95
2.2.3.3	Beispiele für Passungen .....	96
2.3	Technische Oberflächen .....	107
2.3.1	Kennzeichnung von Oberflächen .....	110
2.3.2	Gestaltabweichungen .....	114
2.3.3	Rauheitsmessungen .....	117
2.3.4	Vergleich der Meßschriebe technischer Oberflächen .....	122
2.4	Berechnungsbeispiele .....	123
	Schrifttum zu Kapitel 2 .....	131
3	Grundlagen der Festigkeitsberechnung .....	138
3.1	Grundbeanspruchungsarten .....	138
3.1.1	Zugbeanspruchung .....	139
3.1.2	Druckbeanspruchung und Flächenpressung .....	142
3.1.3	Biegebeanspruchung (gerade Biegung!) .....	148
3.1.4	Torsionsbeanspruchung .....	153
3.1.5	Schub- oder Scherbeanspruchung .....	156
3.2	Zusammengesetzte Beanspruchung, Vergleichsspannung und Festigkeits-hypothesen .....	158
3.2.1	Festigkeits-hypothesen .....	158
3.2.1.1	Hypothese der größten Gestaltänderungsenergie (GE-Hypothese) .....	159
3.2.1.2	Hypothese der größten Normalspannung .....	162
3.2.1.3	Hypothese der größten Schubspannung .....	164
3.2.1.4	Hypothese der größten Dehnung oder Kürzung .....	169
3.2.2	Graphische Darstellung der Versagens-hypothesen beim zweiachsigen Hauptspannungszustand .....	174

3.2.3	Graphische Darstellung des mehrachsigen Spannungszustandes .....	179
3.2.4	Berechnungsbeispiele .....	180
3.3	Knickung und Knickbeanspruchung .....	183
3.3.1	Euler-Hyperbel und Tetmajer-Gerade .....	187
3.3.2	Das $\omega$ -Verfahren nach DIN 4114 .....	188
3.4	Hertzsche Pressung und Stribecksche Wälzpressung .....	190
3.4.1	Berührung zweier Kugeln .....	190
3.4.2	Berührung einer Kugel und einer ebenen Platte .....	193
3.4.3	Berührung zweier Zylinder .....	194
3.4.4	Berührung eines Zylinders und einer ebenen Platte .....	197
3.4.5	Stribecksche Wälzpressung .....	198
3.5	Werkstoffkennwerte .....	201
3.5.1	Zügige Beanspruchung (stationäre Belastung) .....	202
3.5.1.1	Werkstoffkennwerte bei Raumtemperatur .....	203
3.5.1.2	Werkstoffkennwerte bei hoher Temperatur .....	205
3.5.1.3	Näherungswerte für die zulässigen Spannungen bei stationärer Belastung .....	205
3.5.2	Wechselnde Beanspruchung (dynamische Belastung) .....	206
3.5.2.1	Dauerfestigkeit und Zeitfestigkeit .....	208
3.5.2.2	Wöhler-Diagramm .....	210
3.5.2.3	Dauerfestigkeits-Schaubild (DFS) .....	211
3.5.2.4	Einflüsse auf die Dauerfestigkeit $\sigma_D$ und den Spannungs- ausschlag $\sigma_A$ ; Gestaltfestigkeit .....	219
3.6	Kerbwirkung und Kerbspannungen .....	221
3.6.1	Statische Beanspruchung .....	223
3.6.2	Rein schwingende Beanspruchung .....	235
3.6.3	Allgemeine dynamische Beanspruchung .....	240
3.6.4	Rechnerische Ermittlung der Kerbwirkungszahl .....	241
3.6.5	Einfluß der Bauteilgestaltung .....	246
3.7	Sicherheitsbeiwerte und Festlegung der zulässigen Spannung .....	247
3.7.1	Sicherheitsfaktoren .....	247
3.7.2	Zulässige Spannungen .....	248
3.8	Festigkeitsnachweis .....	250
3.9	Berechnungsbeispiele .....	250
	Schrifttum zu Kapitel 3 .....	266
4	Gestaltung von Elementen und Systemen .....	270
4.1	Eindeutigkeit einer Konstruktion .....	270



4.2 Einfachheit einer Konstruktion .....	273
4.3 Sicherheit einer Konstruktion .....	275
4.3.1 Unmittelbare Sicherheit .....	276
4.3.2 Mittelbare Sicherheit .....	279
4.4 Beanspruchungsgerechte Gestaltung von Bauteilquerschnitten .....	280
4.4.1 Grundbeanspruchungsarten .....	281
4.4.2 Auswahl der untersuchten Querschnittsformen .....	282
4.4.3 Unterschiedliche Beanspruchungen .....	282
4.4.4 Zusammenfassung der Ergebnisse .....	297
4.5 Fertigungsgerechte Gestaltung .....	298
4.5.1 Fertigungsverfahren .....	298
4.5.2 Herstellungskosten .....	299
4.5.3 Spanabhebend bearbeitete Konstruktionen .....	300
4.5.3.1 Drehteile .....	301
4.5.3.2 Frästeile .....	301
4.5.3.3 Bohrteile .....	304
4.5.3.4 Räumteile .....	306
4.5.3.5 Schleifteile .....	308
4.5.4 Gußkonstruktionen .....	309
4.5.4.1 Gießgerechtes Gestalten .....	311
4.5.5 Schmiedekonstruktionen .....	323
4.5.5.1 Schmiedegerechtes Gestalten .....	326
4.5.5.2 Kaltfließpressen .....	331
4.5.6 Blechkonstruktionen .....	333
4.5.6.1 Gestaltung von Blechteilen .....	333
4.5.7 Schweißkonstruktionen .....	356
4.5.7.1 Schweißstöße .....	357
4.5.7.2 Schweißverfahren .....	357
4.5.7.3 Gestaltung von Schweißteilen .....	358
4.5.7.4 Fugenvorbereitung .....	367
4.6 Gestaltungsbeispiele .....	371
4.6.1 Schmiedekonstruktionen .....	372
4.6.2 Gußkonstruktionen .....	372
Schrifttum zu Kapitel 4 .....	374
Sachverzeichnis .....	381