

Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH

W. Steinhilper · R. Röper

Maschinen- und Konstruktionselemente 1

Grundlagen der Berechnung
und Gestaltung

Fünfte Auflage

Mit 236 Abbildungen und 38 Tabellen



Springer

DR.-ING. WALDEMAR STEINHILPER †
DR.-ING. RUDOLF RÖPER †

ISBN 978-3-540-67367-5 ISBN 978-3-662-08513-4 (eBook)
DOI 10.1007/978-3-662-08513-4

Die Deutsche Bibliothek - CIP-Einheitsaufnahme

Steinhilper, Waldemar:

Maschinen- und Konstruktionselemente / W. Steinhilper ; R. Röper. -
Berlin ; Heidelberg ; New York ; Barcelona ; Hongkong ; London ;
Mailand ; Paris ; Singapur ; Tokio : Springer
(Springer-Lehrbuch)

Bd. 1. Grundlagen der Berechnung und Gestaltung. – 5. Aufl. - 2000

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funksendung, der Mikroverfilmung oder Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland vom 9. September 1965 in der jeweils geltenden Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtsgesetzes.

© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2000

Ursprünglich erschienen bei Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York 2000.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Buch 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.

Sollte in diesem Werk direkt oder indirekt auf Gesetze, Vorschriften oder Richtlinien (z.B. DIN, VDI, VDE) Bezug genommen oder aus ihnen zitiert worden sein, so kann der Verlag keine Gewähr für die Richtigkeit, Vollständigkeit oder Aktualität übernehmen. Es empfiehlt sich, gegebenenfalls für die eigenen Arbeiten die vollständigen Vorschriften oder Richtlinien in der jeweils gültigen Fassung

Gedruckt auf säurefreiem Papier SPIN: 10764397 62/3020 - 5 4 3 2 1 0

Vorwort zur fünften Auflage

Die drei Bände der „Maschinen- und Konstruktionselemente“ sind in den Jahren 1982 bis 1996 von den Verfassern Steinhilper und Röper erarbeitet worden. Es wurde ein Lehrbuch für die universitäre Ausbildung geschaffen, das mit ausführlicher, systematischer Darstellung der Maschinenelemente Fachwissen in herausragender Qualität vermittelt. Der geplante vierte Band der „Maschinen- und Konstruktionselemente“ konnte von Prof. Steinhilper leider nicht mehr vollendet werden. Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. Waldemar Steinhilper ist nach schwerer Krankheit im Juli 1998 verstorben. Auch der Co-Autor, Prof. Dr.-Ing. Rudolf Röper, verstarb 1998.

Die positiven Rückmeldungen aus Fachkreisen und von Studierenden fordern dazu auf, die Lehrbücher „Maschinen- und Konstruktionselemente“ fortzusetzen und auch künftig fachlich zu aktualisieren. Mit der Fortsetzung der Lehrbuchreihe findet auch die Arbeit der beiden Verfasser weitere Anerkennung.

Die vorliegende fünfte Auflage des weiten Bandes gibt den bekannten Stand der vorangegangenen vierten Auflage wieder; eine tiefere inhaltliche Überarbeitung ist – auf Grund des noch immer zeitgemäßen Inhaltes – erst für die nächste Auflage vorgesehen.

Kaiserslautern im Sommer 2000

B. Sauer

Vorwort zur vierten Auflage

In den knapp drei Jahren seit dem Erscheinen der dritten Auflage dieses Lehrbuches sind auf dem Gebiet der Toleranzen, Passungen, Toleranzfelder und Toleranzklassen neue national und international geltende Normen erschienen, die eine Überarbeitung des zweiten Kapitels dieses Buches notwendig machten. Es wurden ferner die neuen deutschen Fassungen der EURONORMEN für die neuen und zukünftig verbindlichen Stahlbezeichnungen – soweit erschienen – im Kapitel 1 aufgeführt und bei der Bezeichnung der einzelnen Stähle auch berücksichtigt. Die Werkstoffblätter 1 bis 5 im Kapitel 1 wurden mit den alten Bezeichnungen noch belassen, da erstens mit der Einführung des neuen Systems in der Praxis so gut wie noch nicht begonnen wurde und zweitens sicher auch noch Ergänzungen und Änderungen bei den Zusatzsymbolen zu erwarten sind.

Unseren Lesern und Mitarbeitern, die zu dieser Auflage wertvolle Anregungen gegeben haben, danken wir ganz besonders. Wir ermutigen Sie alle, diesen konstruktiven Dialog auch in der Zukunft fortzusetzen. Für die Mithilfe bei der Reinschrift, beim Anfertigen der Bilder sowie Tabellen und beim Lesen der Korrekturen danken wir unseren Mitarbeitern sehr herzlich. Auch den Mitarbeitern des Springer-Verlags gilt unser Dank für die gute Zusammenarbeit bei der Drucklegung des Bandes.

Kaiserslautern, Dortmund, Februar 1994

W. Steinhilper R. Röper

Aus dem Vorwort zur ersten Auflage

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 entnommen werden“. Tatsächlich sind Maschinen- und Konstruktionselemente die technische Realisierung physikalischer Effekte und weiterer Wirkzusammenhänge im Einzelelement oder im technischen Teilsystem mit noch überschaubarer Komplexität. Sie fördern das Verständnis für die wesent-

lichen 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.

Kaiserslautern, Dortmund, Januar 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	10
1.2.2.3	Rechnergestütztes Konstruieren	11
1.3	Einteilung der Maschinen- und Konstruktionselemente	12
1.4	Funktionsgerechte und wirtschaftliche Konstruktion eines Maschinen- und Konstruktionselementes	13
1.4.1	Beanspruchungsgerechte Konstruktionen	13
1.4.2	Gestaltungsgerechte Konstruktionen	16
1.4.3	Werkstoffgerechte Konstruktionen	22
1.5	Kräfte, Momente, Arbeit und Leistung	43
1.5.1	Kräfte	43
1.5.2	Momente	44
1.5.3	Arbeit (Energie)	45
1.5.4	Leistung	45
1.6	Wirkungsgrad	46
1.7	Berechnungsbeispiele	46
1.8	Schrifttum	50
2	Normen, Toleranzen und Passungen, technische Oberflächen	54
2.1	Normung	54
2.1.1	Einleitung	54
2.1.2	Historischer Überblick über die Entwicklung der Normen	55
2.1.3	Erstellung von Normen	56
2.1.4	Einige Grundnormen	56

2.2	Toleranzen, Passungen und Paßtoleranzfelder	64
2.2.1	Allgemeines und Begriffe	65
2.2.2	Maßangaben	73
2.2.2.1	Maße ohne Toleranzangaben (Allgemeintoleranzen)	74
2.2.2.2	Maße mit zahlenmäßiger Toleranzangabe	74
2.2.2.3	Längenmaße mit Toleranzen nach dem ISO-System für Grenzmaße und Passungen	79
2.2.3	Passungen und Passungssysteme	87
2.2.3.1	Passungen (Spiel und Übermaß)	91
2.2.3.2	Passungssysteme im ISO-System	92
2.2.3.3	Beispiele für Passungen und Toleranzklassen	92
2.3	Technische Oberflächen	103
2.3.1	Kennzeichnung von Oberflächen	106
2.3.2	Gestaltabweichungen	108
2.3.3	Rauheitsmessungen	111
2.3.4	Vergleich der Meßschriebe technischer Oberflächen	113
2.4	Berechnungsbeispiele	117
2.5	Schrifttum	124
3	Grundlagen der Festigkeitsberechnung	127
3.1	Grundbeanspruchungsarten	127
3.1.1	Zugbeanspruchung	127
3.1.2	Druckbeanspruchung und Flächenpressung	131
3.1.3	Biegebeanspruchung (gerade Biegung!)	136
3.1.4	Torsionsbeanspruchung	140
3.1.5	Schub- oder Scherbeanspruchung	143
3.2	Zusammengesetzte Beanspruchung, Vergleichsspannung und Festigkeits-hypothesen	146
3.2.1	Festigkeits-hypothesen	146
3.2.1.1	Hypothese der größten Gestaltänderungsenergie (GE-Hypothese)	146
3.2.1.2	Hypothese der größten Normalspannung	149
3.2.1.3	Hypothese der größten Schubspannung	151
3.2.1.4	Hypothese der größten Dehnung oder Kürzung	155
3.2.2	Graphische Darstellung der Versagens-hypothesen beim zweiachsigen Hauptspannungszustand	158
3.2.3	Graphische Darstellung des mehrachsigen Spannungszustandes	163
3.2.4	Berechnungsbeispiele	164
3.3	Knickung und Knickbeanspruchung	166
3.3.1	Euler-Hyperbel und Tetmajer-Gerade	170
3.3.2	Das ω -Verfahren nach der früheren DIN 4114	172
3.4	Hertzsche Pressung und Stribecksche Wälzpressung	174
3.4.1	Berührung zweier Kugeln	174

3.4.2	Berührung einer Kugel und einer ebenen Platte	176
3.4.3	Berührung zweier Zylinder	177
3.4.4	Berührung eines Zylinders und einer ebenen Platte	180
3.4.5	Stribecksche Wälzpressung	181
3.5	Werkstoffkennwerte	184
3.5.1	Zügige Beanspruchung (stationäre Belastung)	184
3.5.1.1	Werkstoffkennwerte bei Raumtemperatur	186
3.5.1.2	Werkstoffkennwerte bei hoher Temperatur	187
3.5.1.3	Näherungswerte für die zulässigen Spannungen bei stationärer Belastung	188
3.5.2	Wechselnde Beanspruchung (dynamische Belastung)	188
3.5.2.1	Dauerfestigkeit und Zeitfestigkeit	190
3.5.2.2	Wöhler-Diagramm	192
3.5.2.3	Dauerfestigkeits-Schaubild (DFS)	193
3.5.2.4	Einflüsse auf die Dauerfestigkeit σ_D und den Spannungsaus- schlag σ_A ; Gestaltfestigkeit	200
3.6	Kerbwirkung und Kerbspannungen	206
3.6.1	Statische Beanspruchung	203
3.6.2	Rein schwingende Beanspruchung	215
3.6.3	Allgemeine dynamische Beanspruchung	219
3.6.4	Rechnerische Ermittlung der Kerbwirkungszahl	220
3.6.5	Einfluß der Bauteilgestaltung	226
3.7	Sicherheitsbeiwerte und Festlegung der zulässigen Spannung	226
3.7.1	Sicherheitsfaktoren	226
3.7.2	Zulässige Spannungen	227
3.8	Festigkeitsnachweis	228
3.9	Berechnungsbeispiele	229
3.10	Schrifttum	243
4	Gestaltung von Elementen und Systemen	245
4.1	Eindeutigkeit einer Konstruktion	245
4.2	Einfachheit einer Konstruktion	247
4.3	Sicherheit einer Konstruktion	250
4.3.1	Unmittelbare Sicherheit	251
4.3.2	Mittelbare Sicherheit	253
4.4	Beanspruchungsgerechte Gestaltung von Bauteilquerschnitten	254
4.4.1	Grundbeanspruchungsarten	255
4.4.2	Auswahl der untersuchten Querschnittsformen	256
4.4.3	Unterschiedliche Beanspruchungen	256
4.4.4	Zusammenfassung der Ergebnisse	270
4.5	Fertigungsgerechte Gestaltung	270

4.5.1	Fertigungsverfahren	271
4.5.2	Herstellungskosten	272
4.5.3	Spanabhebend bearbeitete Konstruktionen	273
4.5.3.1	Drehteile	274
4.5.3.2	Frästeile	274
4.5.3.3	Bohrteile	276
4.5.3.4	Räumteile	278
4.5.3.5	Schleifteile	279
4.5.4	Gußkonstruktionen	281
4.5.4.1	Gießgerechtes Gestalten	284
4.5.5	Schmiedekonstruktionen	293
4.5.5.1	Schmiedegerechtes Gestalten	297
4.5.5.2	Kaltfließpressen	302
4.5.6	Blechkonstruktionen	304
4.5.6.1	Gestaltung von Blechteilen	304
4.5.7	Schweißkonstruktionen	326
4.5.7.1	Schweißstöße	327
4.5.7.2	Schweißverfahren	327
4.5.7.3	Gestaltung von Schweißteilen	328
4.5.7.4	Fugenvorbereitung	336
4.6	Gestaltungsbeispiele	341
4.6.1	Schmiedekonstruktionen	343
4.6.2	Gußkonstruktionen	342
4.7	Schrifttum	343
Sachverzeichnis		347