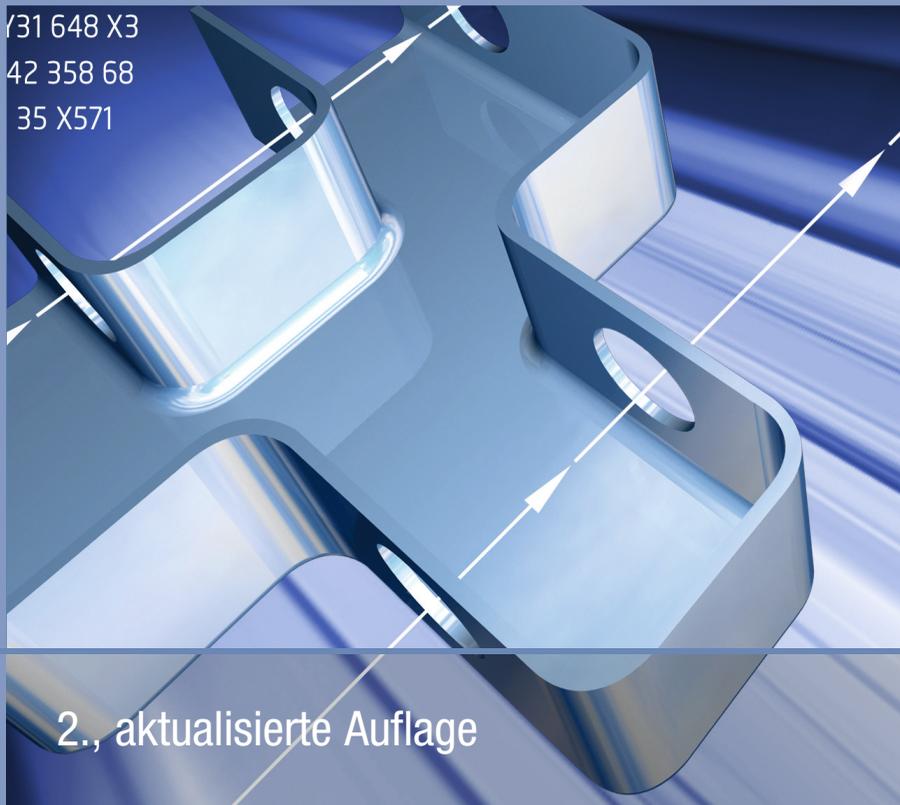


Frank Rieg
Rolf Steinhilper

Handbuch Konstruktion

731 648 X3
42 358 68
35 X571



2., aktualisierte Auflage



EXTRA
E-Book inside

HANSER

Rieg/Steinhilper

Handbuch Konstruktion

Frank Rieg
Rolf Steinhilper

Handbuch Konstruktion

2., aktualisierte Auflage

HANSER

Die Herausgeber:

Prof. Dr.-Ing. Frank Rieg

Inhaber des Lehrstuhls für Konstruktionslehre und CAD, Universität Bayreuth

Prof. Dr.-Ing. Rolf Steinhilper

Inhaber des Lehrstuhls für Umweltgerechte Produktionstechnik an der Universität Bayreuth und Leiter der Fraunhofer-Projektgruppe Prozessinnovation

Alle in diesem Buch enthaltenen Informationen wurden nach bestem Wissen zusammengestellt und mit Sorgfalt getestet. Dennoch sind Fehler nicht ganz auszuschließen. Aus diesem Grund sind die im vorliegenden Buch enthaltenen Informationen mit keiner Verpflichtung oder Garantie irgendeiner Art verbunden. Autor und Verlag übernehmen infolgedessen keine Verantwortung und werden keine daraus folgende oder sonstige Haftung übernehmen, die auf irgendeine Weise aus der Benutzung dieser Informationen – oder Teilen davon – entsteht, auch nicht für die Verletzung von Patentrechten, die daraus resultieren können.

Ebenso wenig übernehmen Autor und Verlag die Gewähr dafür, dass die beschriebenen Verfahren usw. frei von Schutzrechten Dritter sind. Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt also 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 benützt werden dürften.

Bibliografische Information der deutschen Nationalbibliothek:

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet unter <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt.

Alle Rechte, auch die der Übersetzung, des Nachdruckes und der Vervielfältigung des Buches, oder Teilen daraus, vorbehalten. Kein Teil des Werkes darf ohne schriftliche Genehmigung des Verlages in irgendeiner Form (Fotokopie, Mikrofilm oder ein anderes Verfahren), auch nicht für Zwecke der Unterrichtsgestaltung, reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

ISBN 978-3-446-45224-4

E-Book-ISBN 978-3-446-45619-8

© 2018 Carl Hanser Verlag München

www.hanser-fachbuch.de

Lektorat: Julia Stepp

Herstellung: Isabell Eschenberg

Umschlagkonzept: Marc Müller-Bremer, www.rebranding.de, München

Umschlagrealisation: Stephan Rönigk

Satz: Kösel Media GmbH, Krugzell

Druck und Bindung: Firmengruppe Appl, aprinta druck, Wemding

Printed in Germany



Vorwort der Herausgeber

Die Konstruktion gilt als Königsdisziplin des Ingenieurs. In den Köpfen der Konstrukteure entstehen Produkte und Dienstleistungen für König Kunde.

Damit verantworten Konstrukteure den Kern des industriellen Wertschöpfungsprozesses oder, deutlicher ausgedrückt, sie tragen Verantwortung für Erfolg oder Misserfolg. Bestechende konstruktive Lösungen standen am Anfang manches unternehmerischen Aufstiegs, missglückte Konstruktionen waren nicht selten der Auslöser des Niedergangs.

Das erfolgreiche Industrieunternehmen von heute ist ein aktives Element der global vernetzten Welt. Rund um den Globus entstehen mit hohem Tempo laufend neue Technologien, also neue Werkstoffe und Verfahren für bessere Produkte, welche dann neue Märkte und Chancen erschließen.

Damit wachsen nicht nur die Herausforderungen und Aufgaben der Konstruktion – es erweitern sich auch die Gestaltungs- und Entfaltungsmöglichkeiten der Konstrukteure.

Vor diesem Hintergrund gebührt dem Hanser Verlag unser großer Respekt für seine Initiative, dieses nun in zweiter Auflage erscheinende umfassende Handbuch der Konstruktion auf den Weg gebracht zu haben. Darin stecken Jahre harter Arbeit sowie viele Jahrzehnte wertvoller Erfahrungen von sage und schreibe 94 erstklassigen Autoren aus den vielfältigen Wissensgebieten, die in gute Konstruktionsarbeit einfließen. Durch die vorliegende Auflage weht frischer Wind, nicht nur aufgrund der gründlichen Durchsicht und Aktualisierung aller Kapitel. Zusätzlich enthält sie neue Beiträge zu Megatrends wie Digitalisierung, Industrie 4.0 sowie Biointelligenz.

Unser aufrichtiger Dank gilt vor allem den Fachleuten und geschätzten Kollegen, die als Autoren mit ihren Beiträgen

die Leser einladen, an ihrem Wissen teilzuhaben, um methodisch vorzugehen, neue Lösungen zu entwickeln, und damit die Leistungsfähigkeit der industriellen Wertschöpfung bzw. nicht zuletzt auch die Wettbewerbsfähigkeit ihres Unternehmens zu steigern und zu erweitern.

Der geneigte Leser mag sich fragen, wie er sowohl das beträchtliche Wissensangebot auf über 1000 Buchseiten als auch die oft unterschiedlichen, zuweilen gar widersprüchlichen Anforderungen aus den verschiedenen Wissensgebieten in seiner täglichen Arbeit überhaupt bewältigen soll. Doch darauf gibt es Antworten:

Konstrukteursarbeit ist seit jeher in hohem Maße Zielkonfliktmanagement, und aus Zielkonflikten gibt es dreierlei Auswege: Der nächstliegende ist der Kompromiss, nicht von ungefähr gern als fauler Kompromiss gescholten. Der mutigere ist das Setzen von Prioritäten – und der genialste heißt Innovation: mit einem konstruktiven Geniestreich vorher widersprüchliche Anforderungen plötzlich gemeinsam verwirklichen.

Wo finden Innovationen heute statt? Die Leitmeinung dazu lautet: interdisziplinär – also zwischen den Disziplinen.

So wünschen wir unseren Lesern, dass sie in diesem Handbuch nicht nur „zwischen den Zeilen“ lesen können, wo zusätzlich zu den vorgestellten technischen Themen auch mancherlei ökonomische, ökologische und selbst soziale Fortschritte durchschimmern, sondern dass sie auch und gerade „zwischen den Kapiteln“ Stimulantien für ihre Arbeit verspüren, um neue Ideen voranzubringen.

Bayreuth, im Mai 2018

Frank Rieg
Rolf Steinhilper

Inhaltsverzeichnis

Vorwort der Herausgeber	V
Autorenverzeichnis	XXXIX
TEIL I Grundlagen	1
1 Metallische Werkstoffe	5
<i>Uwe Glatzel, Florian Scherm</i>	
1.1 Aufbau und charakteristische Merkmale der Metalle	6
1.2 Benennung von Werkstoffen	8
1.3 Eisen und Stahl	10
1.3.1 Das Eisen-Kohlenstoff-Diagramm	10
1.3.2 Beeinflussung der Eigenschaften durch Legierungselemente	11
1.3.3 Systematik der Einteilung von Stählen	12
1.3.4 Europäische Normung	13
1.3.5 Einteilung und Kennzeichnung der Stähle	13
1.3.5.1 Unlegierte Stähle	13
1.3.5.2 Nichtrostende Stähle	13
1.3.5.3 Andere legierte Stähle	13
1.3.5.4 Qualitätsstähle (unlegiert/legiert)	14
1.3.5.5 Edelstähle (unlegiert/legiert)	14
1.3.5.6 Bezeichnung nach Verwendungszweck sowie mechanischen und physikalischen Eigenschaften (DIN 10027-1)	14
1.3.5.7 Bezeichnung nach der chemischen Zusammensetzung (DIN 10027-1)	14
1.3.5.8 Bezeichnung nach Werkstoffnummern (DIN 10027-2)	18
1.3.6 Beispiele für wichtige Stahlsorten: Einteilung nach Einsatzbereich und Verwendung	19
1.3.6.1 Warmgewalzte Erzeugnisse aus unlegierten Baustählen (DIN EN 10025)	19
1.3.6.2 Schweißgeeignete Feinkornbaustähle	19
1.3.6.3 Einsatzstähle	19
1.3.6.4 Vergütungsstähle	19
1.3.6.5 Nitrierstähle	20
1.3.6.6 Federstähle	20
1.3.6.7 Automatenstähle	20
1.3.6.8 Stähle für Feinbleche zur Kaltumformung	20

1.3.6.9	Nichtrostende Stähle	20
1.3.7	Gusswerkstoffe	21
1.4	Leichtmetalle	22
1.4.1	Werkstoffe auf Al-Basis	22
1.4.1.1	Aluminium-Knetlegierungen	22
1.4.1.2	Beschreibung verschiedener Aluminiumlegierungsgruppen	23
1.4.1.3	Aluminium-Gusslegierungen	24
1.4.2	Werkstoffe auf Mg-Basis	24
1.4.3	Werkstoffe auf Ti-Basis	26
1.4.3.1	Reintitan	27
1.4.3.2	Titanlegierungen	27
1.5	Hochtemperaturlegierungen	29
1.6	Kupfer	29
1.7	„Exotische“ metallische Werkstoffe	30
1.8	Weiterführende Informationen	30
2	Kunststoffgerechtes Konstruieren von Spritzgießbauteilen	33
	<i>Elmar Moritzer, Roger Weinlein</i>	
2.1	Physikalisches Werkstoffverhalten thermo- und duroplastischer Werkstoffe	33
2.2	Materialkostensteuerung in der Konstruktion	36
2.3	Allgemeine Gestaltungsregeln	36
2.4	Gestaltungsregeln für Flächenanbindungen	38
2.4.1	Gestaltungsregeln für räumliche Strukturen	40
2.4.2	Schraubdomes und Nocken	41
2.4.3	Angüsse	41
2.4.4	Bindenähte	42
2.4.5	Werkzeugentlüftung	42
2.5	Weiterführende Informationen	43
3	Konstruieren mit technischer Keramik	47
	<i>Walter Krenkel</i>	
3.1	Keramische Werkstoffe	47
3.1.1	Monolithische Keramiken	48
3.1.2	Faserverbundkeramiken	49
3.2	Bauteilgestaltung und Konstruktionsrichtlinien	52
3.2.1	Besonderheiten beim Konstruieren mit keramischen Werkstoffen	53
3.2.2	Allgemeine Konstruktionsrichtlinien für ein keramikgerechtes Design	54
3.2.3	Konstruktions- und Gestaltungsrichtlinien für Bauteile aus Faserverbundkeramiken	55

3.3	Beispiele für Metall-Keramik-Hybridkonstruktionen	59
3.3.1	Gleitlager aus SiC/SiC-Keramiken	59
3.3.2	Keramische Leichtbaubremse aus C/SiC	60
3.3.3	Heißgasrohre für Kraftwerke	60
3.4	Zusammenfassung und Ausblick	61
3.5	Weiterführende Informationen	62
4	Festigkeitsrechnung	67
	<i>Frank Rieg, Florian Nützel, Christoph Wehmann</i>	
4.1	Grundlagen der Festigkeitsrechnung	67
4.2	Einachsige Beanspruchung	69
4.2.1	Zugbeanspruchung	69
4.2.2	Druckbeanspruchung	70
4.2.3	Biegebeanspruchung	70
4.2.4	Torsionsbeanspruchung	72
4.2.5	Schubbeanspruchung	74
4.3	Mehrachsige Beanspruchung	74
4.3.1	Spannungs- und Dehnungszustand	74
4.3.2	Superpositionsprinzip	75
4.3.3	Beanspruchung von Scheiben	75
4.3.4	Beanspruchung von Platten	77
4.3.5	Beanspruchung von Schalen	78
4.3.6	Festigkeitsannahmen	79
4.3.7	Normalspannungshypothese	79
4.3.8	Schubspannungshypothese	80
4.3.9	Gestaltänderungsenergiehypothese	80
4.4	Statische und dynamische Beanspruchung	80
4.4.1	Lastfälle	80
4.4.2	Mehrachsige schwingende Beanspruchung einer Getriebewelle	82
4.4.3	Festigkeitsannahmen bei schwingender Beanspruchung	83
4.5	Kerbwirkung	85
4.5.1	Ruhende Beanspruchung, Formzahlen	85
4.5.2	Wechselnde Beanspruchung, Kerbwirkungszahlen	86
4.5.3	Kerbwirkung und Festigkeitsannahmen	88
4.6	Oberflächen- und Größeneinfluss	88
4.6.1	Einfluss des Oberflächenbeiwerts	88
4.6.2	Einfluss des Größenbeiwerts	89
4.6.3	Berechnung der Gestaltsfestigkeit	89
4.7	Werkstoffeigenschaften	90
4.7.1	Zugversuch und Spannungs-Dehnungs-Diagramm	90
4.7.2	Dauerschwingversuch und Wöhlerkurve	91
4.8	Nichtlineare Effekte	93

4.9	Knickung und Beulung	97
4.10	Hertz'sche Pressung	99
4.10.1	Kugel-Kugel-Kontakt	99
4.10.2	Kugel-Ebene-Kontakt	100
4.10.3	Zylinder-Zylinder-Kontakt	101
4.10.4	Zylinder-Ebene-Kontakt	102
4.11	Festigkeitsnachweis	102
4.12	Weiterführende Informationen	104
5	Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit	109
	<i>Bernd Bertsche, Martin Dazer, Mark Henß</i>	
5.1	Betriebsfestigkeit	109
5.1.1	Einordnung der Betriebsfestigkeit in die Schwingfestigkeit	109
5.1.1.1	Statische und dauerfeste Auslegung	110
5.1.1.2	Zeitfeste und betriebsfeste Auslegung	111
5.1.2	Ermittlung von Betriebsbelastung und Lastkollektiv	112
5.1.2.1	Das Lastkollektiv	115
5.1.3	Die ertragbare Belastung – Wöhlerlinie	117
5.1.3.1	Spannungs- und dehnungskontrollierte Wöhlerlinien	117
5.1.3.2	Ermittlung der Wöhlerlinien	118
5.1.4	Betriebsfestigkeitsrechnung	118
5.1.4.1	Schadensakkumulation	118
5.1.4.2	Zweiparametrische Schädigungsrechnung	121
5.1.4.3	Nennspannungskonzept und örtliches Konzept	121
5.2	Systemzuverlässigkeit	123
5.2.1	Statistische Beschreibung und Darstellung des Ausfallverhaltens von Bauteilen	123
5.2.2	Mathematische Beschreibung des Ausfallverhaltens durch Verteilungsfunktionen	125
5.2.3	Weibull-Verteilung: Grundbegriffe und Gleichungen	125
5.2.3.1	Zweiparametrische Weibull-Verteilung	125
5.2.3.2	Dreiparametrische Weibull-Verteilung	128
5.2.3.3	Grafische Darstellung der Weibull-Verteilung	128
5.2.4	Zuverlässigkeit bei Systemen	129
5.2.5	Verfügbarkeit von Systemen	131
5.2.6	Prognostics and Health Management (PHM)	131
5.3	Weiterführende Informationen	132
6	Maschinenelemente	137
	<i>Klaus Brökel, Carsten Böhme, Christian Kliewe, Enrico Kloß, André Knopp, Sven-Uwe Kreja, Reinhard Rahn, Roland Wegmann</i>	
6.1	Systematik der Maschinen- und Konstruktionselemente	137
6.2	Verbindungselemente	138
6.2.1	Schraubenverbindungen	138

6.2.2	Niete	142
6.2.3	Stift- und Bolzenverbindungen	145
6.3	Lager- und Führungselemente	148
6.3.1	Wälzlagerungen	148
6.3.2	Gleitlagerungen	153
6.3.3	Linearführungen	158
6.4	Elemente zur Verbindung von Welle und Nabe	162
6.4.1	Reibschlüssige Welle-Nabe-Verbindungen	163
6.4.2	Spannelementverbindungen	165
6.4.3	Formschlüssige Welle-Nabe-Verbindungen	167
6.5	Achsen und Wellen	170
6.6	Gleichförmig übersetzende Getriebe	174
6.6.1	Zahnradgetriebe	175
6.6.2	Zugmittelgetriebe	180
6.6.2.1	Keilriemen	180
6.6.2.2	Zahnriemengetriebe	181
6.6.2.3	Flachriemengetriebe	182
6.6.2.4	Kettengetriebe	184
6.7	Elastische Elemente	185
6.7.1	Federn und Federsysteme	185
6.8	Dichtungssysteme	191
6.9	Weiterführende Informationen	195
7	Technisches Zeichnen	201
	<i>Gerhard Engelken</i>	
7.1	Übersicht	201
7.2	Technisches Freihandzeichnen	201
7.3	Zeichnungen – Normen, Begriffe und Grundregeln	201
7.3.1	Normen	201
7.3.2	Begriffe	202
7.3.3	Formate, Blattgrößen, Vordrucke, Maßstäbe	203
7.3.4	Linien und ihre Anwendung	203
7.4	Zeichnung – Träger von Informationen	205
7.4.1	Geometrieinformation	205
7.4.1.1	Ansichten in Parallelprojektionen	205
7.4.1.2	Axonometrische Darstellungen	206
7.4.1.3	Besondere Ansichten	207
7.4.1.4	Darstellung von Einzelheiten	207
7.4.1.5	Vereinfachte Darstellungen	208
7.4.1.6	Schnittdarstellungen	208
7.4.2	Bemaßungsinformation	210

7.4.2.1	Normzahlen und Normzahlreihen	210
7.4.2.2	Elemente der Maßeintragung	210
7.4.2.3	Eintragen von Maßen	212
7.4.2.4	Eintragen von Toleranzen	213
7.4.3	Technologie- und Qualitätsinformation	213
7.4.4	Organisatorische Information	213
7.4.4.1	Schriftfeld	213
7.4.4.2	Stückliste	214
7.5	CAD – Computer Aided Design	215
7.5.1	Die Nutzung von 2D-CAD-Systemen	215
7.5.2	Die Nutzung von 3D-CAD-Systemen	215
7.5.3	Normtebibliotheken und Internetportale	216
7.6	Weiterführende Informationen	218
8	Form- und Lagetoleranzen	221
	<i>Wolfgang Schütte</i>	
8.1	Notwendigkeit geometrischer Toleranzen	222
8.1.1	Aufgaben der Zeichnungsdarstellung	222
8.1.2	Probleme der Zeichnungsdarstellung	222
8.1.3	Geometrische Produktspezifikationen	223
8.2	Gestaltabweichungen	225
8.3	Tolerierungsgrundsatz	226
8.3.1	Unabhängigkeitsprinzip	227
8.3.2	Hüllprinzip	228
8.4	Grundlegende Definitionen zur Form- und Lagetolerierung	230
8.4.1	Formtolerierung am Beispiel „gerade Kante“	230
8.4.2	Lagetolerierung am Beispiel „parallele Kanten“	231
8.5	Zeichnungseintragung	231
8.5.1	Grundregel zur Anwendung von Form- und Lagetoleranzen	231
8.5.2	Geometrieelemente	231
8.5.3	Toleriertes Element	232
8.5.4	Mehrere gemeinsam tolerierte Elemente	233
8.5.5	Bezugselement	233
8.5.6	Bezug aus mehreren Bezugselementen	234
8.6	Toleranzarten und Bezüge	235
8.6.1	Grundlegende Normen	235
8.6.2	Formtoleranzen	236
8.6.3	Bezüge und Bezugssysteme	236
8.6.4	Profiltoleranzen	239
8.6.5	Richtungstoleranzen	240
8.6.6	Orttoleranzen	240
8.6.7	Lauftoleranzen	241
8.7	Allgemeintoleranzen für Form und Lage	241

8.8	Methodische Festlegung von Form- und Lagetoleranzen	242
8.9	Weiterführende Informationen	243
9	Elektromechanische Antriebe	247
	<i>Detmar Zimmer, Malte Strop, Uwe Brückner, Magnus Schadomsky, Thomas Künneke</i>	
9.1	Grundlagen	248
9.1.1	Bewegungsformen	248
9.1.2	Arbeit, Leistung und kinetische Energie	249
9.1.3	Wirkungsgrad	250
9.1.4	Schlupf	250
9.2	Antriebsauslegung	251
9.2.1	Arbeitsprozesse	252
9.2.2	Motoren	252
9.2.3	Betriebspunkt	252
9.2.4	Lastkollektive und äquivalente Belastung	254
9.2.5	Antriebsauslegung mit Lastkollektiv	255
9.2.6	Antriebsauslegung mit Anwendungsfaktor	257
9.2.7	Maximale Beschleunigung	258
9.3	Komponenten von Antriebssystemen	258
9.3.1	Elektrische Maschinen	259
9.3.1.1	Gleichstrommotoren	259
9.3.1.2	Wechselstrommotoren	259
9.3.1.3	Drehfeldmotoren	260
9.3.1.4	Linearmotoren	263
9.3.2	Frequenzumrichter und Servoregler	264
9.3.2.1	Frequenzumrichter	264
9.3.2.2	Servoregler	266
9.3.3	Getriebe	266
9.3.3.1	Funktion	266
9.3.3.2	Belastung der Umgebungs konstruktion	268
9.3.3.3	Thermisch zulässige Leistung	268
9.3.3.4	Anwendungsspezifische Aspekte	271
9.3.4	Kupplungen	272
9.3.4.1	Ausgleichskupplungen	272
9.3.4.2	Schaltkupplungen	273
9.3.5	Bremsen	274
9.3.5.1	Permanentmagnetbremsen	274
9.3.5.2	Federkraftbremsen	275
9.3.5.3	Ansteuerung der Bremsen	276
9.3.5.4	Energieeffiziente Federkraftbremse	276
9.4	Antriebssysteme	278
9.4.1	Berechnung	278
9.4.2	Funktionsintegration	279
9.4.3	Modularisierung	280
9.5	Mehrmotoren-Antriebssysteme	281
9.5.1	Konzeption	282

9.5.2	Betrieb	283
9.5.3	Ausblick	284
9.6	Antriebstechnik und additive Fertigungsverfahren	284
9.7	Weiterführende Informationen	286
10	Steuerungen	291
	<i>Gerhard Fischerauer</i>	
10.1	Grundkonzepte der Leittechnik	291
10.2	Gliederungssystematik	293
10.2.1	Steuerungshierarchie	293
10.2.2	Signalformen	294
10.2.3	Zeitverhalten	295
10.2.4	Energieformen	295
10.3	Beschreibungsmethoden	297
10.3.1	Schalttabelle, Boolesche Algebra	297
10.3.2	Petri-Netz, Zustandsfolgediagramm	298
10.3.3	Zeitablaufdiagramm	299
10.3.4	Textbasierte Beschreibungen	299
10.4	Verbindungsprogrammierbare Steuerungen	300
10.4.1	Schaltnetze für Verknüpfungssteuerungen	300
10.4.2	Schaltwerke für Ablaufsteuerungen	301
10.5	Speicherprogrammierbare Steuerungen (SPS)	302
10.6	Kommunikation	305
10.7	Entwicklungstendenzen	307
10.8	Weiterführende Informationen	308
11	Mechatronik	313
	<i>Gerhard Fischerauer</i>	
11.1	Grundbegriffe der Mechatronik	313
11.2	Modellbildung mechatronischer Systeme	315
11.2.1	Grundsätzliches, Grundlagen der Systembeschreibung	315
11.2.2	Kinematik von Mehrkörpersystemen	316
11.2.3	Kinetik von Mehrkörpersystemen	317
11.2.4	Elektrische Modellbildung	318
11.3	Systemsimulation	319
11.3.1	Mechanisches Beispiel: Einmassenschwinger	319
11.3.2	Elektromechanisches Beispiel: Elektromagnet	321

11.4	Aktoren	323
11.4.1	Elektromagnete	324
11.4.2	Elektromotoren	324
11.4.3	Fluidische Aktoren	325
11.4.4	Materialeffektbasierte Aktoren	325
11.4.5	Vergleich verschiedener Aktoren	325
11.5	Sensoren für mechatronische Systeme	327
11.5.1	Weg- und Winkelmessung	327
11.5.2	Geschwindigkeits- und Winkelgeschwindigkeitsmessung	328
11.5.3	Linearbeschleunigungsmessung	328
11.5.4	Kraft- und Drehmomentmessung	329
11.6	Entwicklungstendenzen	330
11.7	Weiterführende Informationen	330
12	Maschinenakustik	335
	<i>Joachim Bös, Holger Hanselka</i>	
12.1	Einführung	335
12.2	Grundbegriffe und Grundkonzepte der technischen Akustik	336
12.2.1	Lärm, Schall, Frequenz, Ton, Klang, Geräusch	336
12.2.2	Schalldruck – Schalldruckpegel – Dezibel – Hinweise zu Pegelangaben	337
12.2.3	Schallschnelle – Schnellepegel – Schallkennimpedanz	340
12.2.4	Schallintensität – Schallintensitätspegel	341
12.2.5	Schalleistung – Schalleistungspegel	341
12.2.6	Schall als räumliches und zeitliches Phänomen – Wellenlänge und Periodendauer	342
12.2.7	Fourieranalyse, Frequenzspektrum, Campbell-Diagramm, Ordnungsanalyse	344
12.2.8	Frequenzbewertung, A-, C-, Z-Bewertung	346
12.2.9	Bezugswerte für die Pegelbildung	347
12.2.10	Einführung in die Pegelarithmetik	349
12.2.11	Schmalbandfilter – Oktavfilter – Terzfilter – Summenpegel	352
12.3	Mechanismen der Geräusentstehung	355
12.3.1	Direkte und indirekte Geräusentstehung	355
12.3.2	Maschinenakustische Grundgleichung	355
12.3.3	Anregungskräfte	358
12.3.4	Körperschallfunktion	358
12.3.5	Abstrahlgrad	359
12.4	Möglichkeiten der Geräusminderung	361
12.4.1	Reduktion der Anregungskräfte	362
12.4.2	Reduktion der Körperschallfunktion	365
12.4.3	Reduktion des Abstrahlgrades	365
12.4.4	Abschließende Bemerkungen	366
12.5	Weiterführende Informationen	366

13	Hydraulik	371
	<i>Horst-Walter Grollius</i>	
13.1	Aufbau eines Hydrosystems	372
13.2	Schaltpläne	373
13.3	Hydropumpen	375
13.4	Hydromotoren	376
13.5	Hydrozylinder	377
13.5.1	Doppeltwirkende Zylinder	377
13.5.2	Gleichgangzylinder	378
13.5.3	Einfachwirkende Zylinder	378
13.5.4	Teleskopzylinder	379
13.5.5	Endlagendämpfung	380
13.6	Hydroventile	380
13.6.1	Wegeventile	381
13.6.2	Sperrventile	382
13.6.3	Druckventile	383
13.6.4	Stromventile	383
13.7	Servoventile	384
13.8	Hydrauliköle	385
13.9	Zubehörteile	386
13.10	Projektierung von Hydrosystemen	387
13.11	Weiterführende Informationen	387
14	Pneumatik	391
	<i>Horst-Walter Grollius</i>	
14.1	Schaltpläne pneumatischer Systeme	392
14.2	Druckluftherzeugung und -aufbereitung	396
14.3	Zylinder	398
14.3.1	Einfachwirkende Zylinder	398
14.3.2	Doppeltwirkende Zylinder	399
14.3.3	Sonderzylinder	400
14.4	Schwenkmotoren	401
14.5	Druckluftmotoren	402
14.6	Ventile	403
14.6.1	Wegeventile	403

14.6.2	Sperrventile	404
14.6.3	Druckventile	405
14.6.4	Stromventile	405
14.6.5	Zeitverzögerungsventile	405
14.7	Grundsaltungen	406
14.8	Weiterführende Informationen	408
 TEIL II Entwickeln und Konstruieren		 411
1	Der allgemeine Konstruktionsprozess – Grundlagen des methodischen Konstruierens	415
	<i>Christian Schindler</i>	
1.1	Einführung	415
1.2	Grundlagen	416
1.2.1	Umfeld	416
1.2.2	Einflüsse auf die Konstruktion	417
1.2.3	Einflussmöglichkeiten während der Konstruktion	420
1.2.4	Produktlebenszyklus	420
1.3	Der allgemeine Lösungsprozess	420
1.4	Der Konstruktionsprozess	421
1.5	Die Spezifikationsphase	422
1.5.1	Lasten- und Pflichtenheft	423
1.5.2	Der Subprozess der Spezifikation	423
1.6	Die Konzeptphase	428
1.6.1	Abstrahieren der Anforderungen	428
1.6.2	Aufstellen einer Funktionsstruktur	429
1.6.3	Lösungssuche	431
1.6.3.1	Recherchierende Methoden	431
1.6.3.2	Heuristische Methoden	432
1.6.3.3	Diskursive Methoden	433
1.6.3.4	Systematische Kombination zur Gesamtlösung	434
1.6.4	Weiterentwicklung von Prinziplösungen	436
1.7	Lösungsauswahl und -bewertung	438
1.7.1	Punktebewertung	439
1.7.2	Technisch-wirtschaftliche Bewertung	440
1.7.3	Nutzwertanalyse	440
1.7.4	Schwachstellenanalyse	441
1.8	Die Gestaltungsphase	443
1.8.1	Gestaltungsgrundregeln	445
1.8.2	Sicheres Gestalten	446

1.8.2.1	Beherrschen stochastischer Gefahren	447
1.8.2.2	Vermeiden deterministischer Gefahren	449
1.8.3	Gestaltungsprinzipien	450
1.8.3.1	Kraftfluss	451
1.8.3.2	Aufgabenteilung	452
1.8.3.3	Selbsthilfe	452
1.8.3.4	Stabilität	454
1.8.3.5	Fehlerminimierung	454
1.8.4	Gestaltungsrichtlinien	454
1.8.4.1	Auslegungsgerechtes Gestalten	454
1.8.4.2	Lebensphasengerechtes Gestalten	456
1.8.4.3	Beachten des Standes der Technik	457
1.8.4.4	Nicht technische Restriktionen	457
1.9	Die Ausarbeitungsphase	457
1.10	Berechnungen und Versuche	458
1.10.1	Auslegung	458
1.10.2	Verifikation	459
1.10.3	Validierung	459
1.11	Schlussbemerkung	459
1.12	Weiterführende Informationen	460
2	Design for X (DFX)	465
	<i>Sandro Wartzack, Harald Meerkamm, Stefan Bauer, Hartmut Krehmer, Andreas Stockinger, Michael Walter, Benjamin Schleich</i>	
2.1	Einleitung	465
2.2	Grundlagen des DFX	466
2.2.1	Definition des DFX	466
2.2.2	Komplexität des DFX	467
2.3	Strukturierungsansätze	468
2.3.1	Prozessorientierte Strukturierung	468
2.3.2	Hierarchische Strukturierung	468
2.4	Vorstellung wichtiger Aspekte des DFX	468
2.4.1	Fertigungsgerechtes Konstruieren (DFP/DFM – Design for Production/Design for Manufacturing)	468
2.4.2	Montagegerechte Gestaltung (DFA – Design for Assembly)	471
2.4.3	Umweltgerechte Gestaltung (DFE – Design for Environment)	471
2.4.4	Nutzerzentrierte Gestaltung (UCD – User-centered Design)	472
2.5	Ansätze zur Beherrschung der Komplexität des DFX	472
2.5.1	Prozessunterstützung FORFLOW	473
2.5.2	Methoden und Strategien zur Entscheidungsfindung	474
2.5.2.1	Strategie-Balance 3D	474
2.5.2.2	Multikriterielle Bewertung	476
2.5.3	Wissensbereitstellung	477

2.5.4	Konstruktions-Assistenzsystem	477
2.5.5	Computer Supported Cooperative Work – CSCW	481
2.5.6	Physikalische Absicherung – Rapid Prototyping	481
2.5.7	Virtuelle Absicherung – Simulation	482
2.6	Zusammenfassung	483
2.7	Weiterführende Informationen	483
3	Leichtbau	487
	<i>Dieter Krause, Johann Schwenke, Thomas Gumpinger, Benedikt Plaumann</i>	
3.1	Einführung in die Produktentwicklung im konsequenten Leichtbau	488
3.2	Wissen im Leichtbau	489
3.2.1	Strategien des Leichtbaus	489
3.2.2	Leichtbau-Bauweisen	490
3.2.3	Gestaltungsprinzipien und -regeln	492
3.2.4	Stabilitätsverlust und Versagensarten	493
3.3	Vorgehen zur Leichtbaukonstruktion	494
3.3.1	Strategie zur Werkstoffauswahl	495
3.3.2	Berechnungswerkzeuge im Leichtbau	497
3.3.3	Versuche zur Verifikation und Validierung	498
3.4	Werkstoffe im Leichtbau	499
3.4.1	Metalle	500
3.4.2	Faserkunststoffverbunde (FKV, auch Faserverbundkunststoff, FVK)	501
3.5	Weiterführende Informationen	506
4	Strukturoptimierung	511
	<i>Kevin Deese, Michael Frisch, Stefan Hautsch</i>	
4.1	Dimensionierung	512
4.1.1	CAD-basierte Dimensionierung	512
4.1.2	FE-basierte Dimensionierung	512
4.1.3	Anwendungen der Dimensionierung	513
4.1.3.1	Blechdimensionierung	513
4.1.3.2	Querschnittsdimensionierung	513
4.1.3.3	Additive Fertigung	513
4.2	Formoptimierung	514
4.2.1	CAD-basiertes Vorgehen	515
4.2.2	Netzbasiertes Vorgehen	515
4.3	Topologieoptimierung	516
4.4	Weiterführende Informationen	518

5	Recyclinggerechtes Konstruieren	521
	<i>Bernd Rosemann, Markus Mörtl, Joachim Crone</i>	
5.1	Überblick	521
5.2	Begriffe	521
5.2.1	Recycling	521
5.2.2	Recyclinggerechtes Konstruieren im Kontext des Produktlebenszyklus	522
5.3	Rahmenbedingungen	523
5.3.1	Legislative Anforderungen	523
5.3.1.1	Stoffbezogene Anforderungen (RoHS und WEEE)	523
5.3.1.2	Altfahrzeugverordnung	524
5.3.1.3	Batteriegesetz	525
5.3.1.4	Ökodesign-Richtlinie	525
5.3.1.5	Anforderungen des Chemikalienrechts (REACH)	526
5.3.1.6	Dokumentation	527
5.3.2	Marktanforderungen	528
5.3.2.1	Angabe von Inhaltsstoffen	528
5.3.2.2	Recycler-Anforderungen	528
5.3.3	Aktualisierungsbedarf	528
5.4	Entwicklung recyclinggerechter Produkte – Design for Recycling	528
5.4.1	Methodik des Design for Recycling	528
5.4.1.1	Stellhebel bei der recyclinggerechten Produktgestaltung	528
5.4.1.2	Recyclinggerechte Produktgestaltung im Entwicklungs- und Konstruktionsprozess ..	529
5.4.2	Gestaltungshinweise und Anwendungsbeispiele für die recyclinggerechte Produktgestaltung ..	530
5.4.2.1	Formulierung einer Recyclingstrategie im Rahmen der Produktentwicklung	530
5.4.2.2	Analyse und Bewertung von Vorgänger- und Konkurrenzprodukten	531
5.4.2.3	Regeln für eine verwertungsgerechte Produktgestaltung	534
5.4.2.4	Beispiel Verwertung	534
5.4.2.5	Regeln für eine instandsetzungsgerechte Produkt- und Prozessgestaltung	535
5.4.2.6	Beispiel Instandsetzung	535
5.4.2.7	Regeln für eine modernisierungsgerechte Produkt- und Prozessgestaltung	538
5.4.2.8	Beispiel Modernisierung	538
5.5	Innovationsfeld Design for Recycling	539
5.6	Rechnerunterstützung im Produktlebenslauf	540
5.6.1	Informationsbereitstellung für die Konstruktion	540
5.6.1.1	Material- und Stoffdaten	540
5.6.1.2	Compliance-Anforderungen	542
5.6.2	Informationsbereitstellung für die Verwertung	542
5.6.2.1	Recyclingpass – als Information für den Verwerter	542
5.6.2.2	Demontage-Informationen – das Internationale Demontage-Informationssystem (IDIS)	542
5.6.2.3	Reparatur- und Wartungsinformationen (RMI)	543
5.7	Ausblick	543
5.8	Weiterführende Informationen	544

6	Sicherheitsgerechte Maschinen	551
	<i>Alfred Neudörfer</i>	
6.1	Rechtliche Basis des sicherheitsgerechten Konstruierens	551
6.1.1	EG-Maschinenrichtlinie	552
6.1.2	Normen und sicherheitsgerechtes Konstruieren	555
6.2	Gefahren, Gefährdungen und Risiken an Maschinen	557
6.2.1	Gefahrstellen	559
6.2.2	Risikobeurteilung	559
6.2.3	Praktische Durchführung von Risikobeurteilungen	559
6.3	Konstruktionsmaßnahmen gegen stochastische Gefährdungen	564
6.3.1	Das Safe-Life-Prinzip	565
6.3.2	Das Fail-Safe-Prinzip	565
6.3.3	Das Prinzip der Redundanz	567
6.3.4	Zuverlässigkeit von Steuerungen	568
6.4	Konstruktive Maßnahmen gegen deterministische Gefährdungen	570
6.4.1	Unmittelbare Sicherheitstechnik	570
6.4.2	Mittelbare Sicherheitstechnik	571
6.4.3	Verriegelungen trennender Schutzeinrichtungen	573
6.4.4	Sicherheitsschalter	575
6.5	Hinweisende Sicherheitstechnik	577
6.6	Sicherheitstechnische Besonderheiten großer Maschinen	579
6.7	Sicherheitsrelevante Befehlsgeräte	580
6.7.1	Hauptbefehlseinrichtungen	580
6.7.2	Not-Befehlseinrichtungen	580
6.8	Weiterführende Informationen	582
7	Ergonomiegerechtes Konstruieren	585
	<i>Ralph Bruder, Bastian Kaiser</i>	
7.1	Einleitung	585
7.2	Vorgehensweisen bei der ergonomischen Produktentwicklung	587
7.2.1	Vorgehensweise nach VDI-Richtlinie 2242	587
7.2.2	Gestaltungsprozess nach DIN EN ISO 9241-210	589
7.2.2.1	Gestaltungsgrundsätze	589
7.2.2.2	Gestaltungsvorgehen	591
7.2.2.3	Nutzungsorientierte und technische Gestaltung	592
7.2.2.4	Methoden der aktiven Nutzereinbindung	593
7.2.2.5	Dokumentation der Vorgehensweise	594
7.3	Fallbeispiel	594
7.3.1	Nutzungskontext festlegen und Nutzeranforderungen ermitteln	594
7.3.2	Erste Studien	595
7.3.3	Iterationsschritt	595

7.3.4	Fazit	596
7.4	Weiterführende Informationen	596
8	Umweltgerechtes Konstruieren	601
	<i>Herbert Birkhofer, Karola Schulze, Shulin Zhao, Julian Sarnes</i>	
8.1	Einleitung	601
8.2	Produkte und ihre Umweltbeeinträchtigungen	602
8.2.1	Der Produktlebenslauf	602
8.2.2	Die Prozesse im Produktlebenslauf	602
8.2.3	Beeinflussung von Umweltbeeinträchtigungen	604
8.3	Umweltrechtliche Vorgaben und Umweltkennzeichnungen	605
8.3.1	Europäische Richtlinien und Verordnungen	605
8.3.2	Umwetlabels	606
8.3.3	Typen von Umweltkennzeichnungen	607
8.4	Entwicklung umweltgerechter Produkte: EcoDesign	607
8.4.1	Methodik des EcoDesign	607
8.4.2	Ökologische Schwachstellen ermitteln	608
8.4.2.1	Ökobilanz	608
8.4.2.2	Eco-indicator 99	609
8.4.2.3	Checklisten	610
8.4.2.4	Hinweise zur ökologischen Bewertung	610
8.4.3	Ökologische Stellhebel ermitteln und Entwicklungsziel ableiten	612
8.4.3.1	Ökologisches Optimierungspotential bestimmen	612
8.4.3.2	Ökologisches Entwicklungsziel ableiten	613
8.4.4	Lösungen erarbeiten – Umweltbeeinträchtigungen gezielt reduzieren	614
8.4.4.1	Art und Menge der verwendeten Werkstoffe optimieren	615
8.4.4.2	Emissionen minimieren	616
8.4.4.3	Art und Menge des Energiebedarfs optimieren	616
8.4.4.4	Art und Intensität der Produktnutzung optimieren	617
8.4.5	Maßnahmen ganzheitlich beurteilen	617
8.4.5.1	Wechselwirkungen mit anderen Umweltwirkungen	617
8.4.5.2	Wechselwirkungen mit Marktanforderungen	618
8.5	Zusammenfassung und Ausblick	619
8.6	Weiterführende Informationen	619
9	Biointelligenz im Produkt und in der Produktion	623
	<i>Robert Mieke, Johannes Full, Alexander Sauer</i>	
9.1	Biointelligenz: Was ist das und warum brauchen wir das?	623
9.1.1	Zukünftige Herausforderungen für die industrielle Produktion	623
9.1.2	Die biologische Transformation – der Weg zu biointelligenten Produkten und Systemen	625
9.1.2.1	Integrations Ebenen der biologischen Transformation	626
9.1.2.2	Entwicklungsstufen der biologischen Transformation	626

9.2	Design for Bio-Intelligence – Konstruktion und Entwicklung biointelligenter Produkte und Systeme	628
9.2.1	Veränderung der Kundenbedürfnisse	628
9.2.2	Integration von biobasierten Materialien in den Konstruktionsprozess	630
9.2.2.1	Fertigung mit biobasierten Materialien	630
9.2.2.2	Qualitätseigenschaften biobasierter Produkte	630
9.2.3	Technologien biointelligenter Systeme	630
9.2.3.1	Imitieren – kraftflussorientierte Faserorientierung in Verbundwerkstoffen	631
9.2.3.2	Kooperieren – biobasierte Energie- und Materialkreisläufe	631
9.2.3.3	Assimilieren – biointelligente Selbstoptimierung und Regulierung	632
9.2.4	Berücksichtigung einer veränderten Gesetzeslage für biointelligente Systeme	632
9.3	Zusammenfassung	633
9.4	Weiterführende Informationen	633
10	Geräuschgerechtes Konstruieren	637
	<i>Rainer Storm</i>	
10.1	Einführung; inhaltliche Ein- und Abgrenzung	638
10.2	Akustisch relevante Phasen einer Produktentwicklung	641
10.2.1	Phase 1: Das Lasten- und Pflichtenheft	647
10.2.1.1	Falle 1: Angaben zu Luftschallpegeln	648
10.2.1.2	Falle 2: Angaben zu Körperschallpegeln	651
10.2.1.3	Falle 3: Referenzwerte (Bezugswerte) zu Pegelangaben	653
10.2.1.4	Falle 4: Einfluss undefinierter Einbausituationen auf den Körperschallpegel an Koppelpunkten und Verbindungsstellen	655
10.2.1.5	Falle 5: Grenzwerte und Grenzkurven für Spektren	657
10.2.1.6	Falle 6: Akustische Effekte der konstruktiven Umgebung	660
10.2.2	Phase 2: Zielführende Konzepte für Vorentwürfe	663
10.2.3	Phase 3: Akustische Machbarkeitsanalysen an Prototypen	666
10.2.3.1	Erste Einflussgröße „Dynamische Anregungskräfte“	667
10.2.3.2	Zweite Einflussgröße „Eingangsimpedanz“	676
10.2.3.3	Dritte Einflussgröße „Körperschalltransferfunktion“	687
10.2.3.4	Vierte Einflussgröße „Abstrahlgrad“	695
10.2.4	Phase 4: Istzustands-, Schwachstellen- und Ursachenanalyse, akustische Zusatzoptionen	697
10.2.4.1	Akustische Analysen an Funktionsprototypen und technischen Prototypen und Vorserienprodukten	697
10.2.4.2	Zusatzoptionen „Sound Design“ und „Schwingungsüberwachung“	706
10.2.5	Phase 5: Abnahmemessungen, Abgleich mit Pflichtenheft, akustisches Fine-Tuning; Beitragsanalyse; End-of-Line-Prüfung	707
10.2.5.1	Abnahmemessungen, Abgleich mit Pflichtenheft, akustisches Fine-Tuning	707
10.2.5.2	Beitragsanalyse und Übertragungsweganalyse	709
10.2.5.3	End-of-Line-Prüfungen	710
10.2.6	Phase 6 (begleitende Zusatzphase): Aufbau einer eigenen Kernkompetenz „Akustik“	711
10.3	Anhang zu Kapitel II.10.2.4.1: Beispiel für die Entwicklung von Prototypen	711
10.4	Weiterführende Informationen	713

11	Modulare Produktstrukturierung	719
	<i>Dieter Krause, Johanna Spallek, Christoph Bleses, Thomas Kipp</i>	
11.1	Produktstruktur und Produktarchitektur	719
11.2	Produktfamilie und Produktvariante	720
11.3	Modulare Produktstruktur	721
	11.3.1 Modular strukturierte Produkte	721
	11.3.2 Potentiale und Grenzen modularer Produktstrukturen	722
11.4	Allgemeines Vorgehen der modularen Produktstrukturierung	724
11.5	Modulare Produktstrukturstrategien	726
	11.5.1 Gleichmodulstrategie	727
	11.5.2 Modulbaukastenstrategie	727
	11.5.3 Plattformstrategie	728
11.6	Methoden zur Entwicklung modularer Produktfamilien	728
	11.6.1 Planning for Product Platforms nach Robertson/Ulrich	728
	11.6.2 Method of Module Heuristics nach Stone	729
	11.6.3 Integration Analysis Methodology nach Pimmler/Eppinger	730
	11.6.4 Modular Function Deployment nach Erixon	731
	11.6.5 Modulare Produktentwicklung nach Göpfert	733
	11.6.6 Der Integrierte PKT-Ansatz zur Entwicklung modularer Produktfamilien nach Krause	733
	11.6.6.1 Strategische Planung modularer Produktprogramme	734
	11.6.6.2 Aufnahme der bestehenden Vielfalt	734
	11.6.6.3 Variantengerechte Produktgestaltung	734
	11.6.6.4 Lebensphasenmodularisierung	736
	11.6.6.5 Einordnung des Integrierten PKT-Ansatzes zur Entwicklung modularer Produktfamilien und zukünftige Trends	739
11.7	Weiterführende Informationen	740
12	Design Matrix	745
	<i>Frank Deubzer, Matthias Kreimeyer, Udo Lindemann, Maik Maurer</i>	
12.1	Analyse und Planung komplexer Systeme	745
	12.1.1 Komplexität in der Entwicklung	745
	12.1.2 Vernetzung in der Produktarchitektur – ein Beispiel	746
12.2	Methoden zur Handhabung komplexer Systeme	748
	12.2.1 Der Umgang mit komplexen Systemen in der Wissenschaft	748
	12.2.2 Allgemeine Prinzipien zum Umgang mit Komplexität	748
	12.2.3 Matrix-basierte Methoden zur Handhabung von Komplexität	749
12.3	Analyse und Synthese auf Basis matrix-basierter Methoden	752
	12.3.1 Definition des zu betrachtenden Systems	753
	12.3.2 Erfassung von Abhängigkeiten	753
	12.3.3 Modellierung von Abhängigkeiten	754
	12.3.4 Vorgehen zur Analyse	755

12.4	Anwendungen von matrix-basierten Methoden	756
12.4.1	Beispiel Produktarchitektur	756
12.4.2	Beispiel Prozess- und Projektmanagement	758
12.4.3	Beispiel Organisationsgestaltung	761
12.5	Leistungsfähigkeit von Methoden im Umgang mit Komplexität	762
12.5.1	Werkzeugunterstützung	762
12.5.2	Hinweise und Empfehlungen	763
12.6	Weiterführende Informationen	764
 TEIL III Verfahren und Methoden		 767
1	Kostenrechnung in der Konstruktion	771
	<i>Markus Mörtl</i>	
1.1	Einführung	771
1.2	Märkte und deren Veränderung	772
1.3	Kostenverantwortung liegt in den frühen Phasen	773
1.4	Kostenrechnung und deren Grundlagen	774
1.4.1	Kostenbegriff	774
1.4.2	Kostenarten	775
1.4.3	Kostenträger	775
1.4.4	Kostenstellen	775
1.4.5	Einzel-, Gemeinkosten	775
1.4.6	Fixe, variable Kosten	776
1.4.7	Selbstkosten	776
1.4.8	Lebenslaufkosten	776
1.4.9	Kostenrechnungsarten	777
1.4.9.1	Zuschlagskalkulation	777
1.4.9.2	Teilkostenrechnung und Deckungsbeitragsrechnung	778
1.4.9.3	Platzkostenrechnung	779
1.4.9.4	Prozesskostenrechnung	779
1.5	Einflussmöglichkeiten zur Kostensenkung	779
1.5.1	Aufgabenstellung	781
1.5.2	Konzept	781
1.5.3	Gestalt	781
1.5.4	Stückzahl	781
1.5.5	Baugröße	781
1.5.6	Fertigung und Montage	782
1.5.7	Eigen-/Fremdfertigung	782
1.5.8	Varianten	782
1.6	Kostenschätzen und Kurzkalkulationsverfahren	783
1.6.1	Methodisches Vorgehen	783
1.6.2	Kontinuierliche Kostenverfolgung und -dokumentation	783

1.6.3	Organisatorischer Rahmen für Kostensenkungsprojekte	785
1.6.4	Kostenschätzen und Genauigkeit	786
1.6.5	Aufwandsreduzierung beim Kostenschätzen und Kalkulieren	786
1.6.6	Kurzkalkulationsverfahren	786
1.6.6.1	Gewichtskostenkalkulation	786
1.6.6.2	Materialkostenmethode	787
1.6.6.3	Kalkulation bei geometrischer Ähnlichkeit und Halbähnlichkeit	787
1.6.6.4	Summarisches Herstellkostenwachstumsgesetz	787
1.7	Änderungskosten in indirekten Bereichen	787
1.8	Abkürzungen	788
1.9	Weiterführende Informationen	789
2	Gewerblicher Rechtsschutz	793
	<i>Bettina Alber-Laukant</i>	
2.1	Patente	795
2.1.1	Ist die gemachte Erfindung patentierbar? – Voraussetzungen für die Erteilung eines Patents ...	796
2.1.2	Wo kann die Erfindung angemeldet werden? – Die nationale, europäische und internationale Patentanmeldung	797
2.1.3	Wie sieht ein Patent aus? – Formale Erfordernisse an den Aufbau einer Patentanmeldung	799
2.1.3.1	Titelblatt	799
2.1.3.2	Beschreibung	802
2.1.3.3	Patentansprüche	802
2.1.4	Die Einreichung – Und was passiert danach? – Das Einreichungs- und Prüfungsverfahren, die Einspruchsmöglichkeiten, die Erteilung eines Patents	803
2.1.5	Was kann man bei störenden Fremdpatenten machen? – Die Lizenzrechte, die Patentrecherche	806
2.2	Gebrauchsmuster	807
2.3	Eingetragenes Design	808
2.4	Gewerbliche Kennzeichen	810
2.4.1	Marken	811
2.4.2	Unternehmensbezeichnungen	813
2.4.3	Geografische Herkunftsangaben	814
2.4.4	Markenrechtsverletzungen	814
2.5	Weitere Schutzrechte	814
2.5.1	Urheberrecht	814
2.5.2	Topografie	815
2.5.3	Software	815
2.6	Patentrecherche	815
2.7	Weiterführende Informationen	817

3	Service Engineering	821
	<i>Rolf Steinhilper</i>	
3.1	Service Engineering – was ist das?	821
3.1.1	Service Engineering – eine junge Wissenschaftsdisziplin	821
3.1.2	Interaktionen zwischen Konstrukteur und Service: allzu leicht unterschätzt	822
3.1.3	Typologisierung von Dienstleistungen: wegbereitend für treffsichere Maßnahmen zur Effizienzsteigerung	822
3.1.4	Service Engineering für technische Produkte – eine höchst lohnende, jedoch anspruchsvolle Aufgabe	824
3.2	Service Engineering für Konsumgüter	825
3.2.1	Reparieren lohnt sich doch	825
3.2.2	Typische Defekte generieren typische Konstruktionsaufgaben	826
3.2.3	Typische Servicefälle erfordern passende Servicekonzepte	827
3.2.4	Neue Akteure im Servicemarkt: Abschied vom klassischen Konzept „Werkskundendienst“	828
3.2.5	Neue Serviceaktivitäten neuer Akteure – eine Informationsquelle für Konstrukteure	830
3.3	Service Engineering für Automobile	830
3.3.1	Die größte Umwälzung seit der Erfindung des Automobils fordert besonders dessen Service ...	830
3.3.2	Das Phänomen Rückrufaktionen: Konstruktionsmängel oder zu hastige Markteinführung?	831
3.3.3	Kfz-Service – mehr als eine Mobilitätsdienstleistung	833
3.3.4	Computergestützte Kfz-Fehlerdiagnose – ein Drittel des Serviceaufwands	834
3.3.5	Ersatz teurer Komponenten statt Reparatur	835
3.3.6	Ersatzteilversorgung während und nach der Produktionsdauer eines Automodells	837
3.3.7	Refabrikation von Kfz-Austauschersatzteilen	838
3.3.8	Schutzrechte	842
3.3.9	Haftung für Servicearbeiten	843
3.3.10	Anspruchsvolle Kfz-Servicefälle in drei Kategorien	845
3.3.10.1	Ersatzteilgetriebene Servicefälle	845
3.3.10.2	Technologietrendgetriebene Servicefälle	847
3.3.10.3	Phänomengetriebene Servicefälle	848
3.3.11	Neue Kfz-Serviceoptionen im Blickpunkt des Konstrukteurs	849
3.3.11.1	Innovationen für Austauschoptionen kleinerer Module	849
3.3.11.2	Ausweitung des Refabrikations-Knowhows auf neues Produkt-Terrain	851
3.3.11.3	Entwicklung neuer In-Situ-Instandsetzungstechnologien im Kfz	851
3.3.11.4	Neue Kommunikations- und Kooperationsnetzwerke	852
3.3.11.5	Kfz-Bauteil-Regeneration mit Additiven Fertigungsverfahren	852
3.3.12	Handlungsfelder des Konstrukteurs	853
3.4	Service Engineering für Investitionsgüter	853
3.4.1	Die Investitionsgüter-Instandhaltung hat ihre eigenen Determinanten.	853
3.4.2	Die „Total Cost of Ownership“ sowie Zusatznutzen entscheiden über den Service-Anbieter sehr wesentlich mit	855
3.4.3	Ersatzteilversorgung für Investitionsgüter: Trends in die Fläche und in Richtung intelligenter Bedarfsprognosen	855
3.5	Instandhaltungsgerechtes Konstruieren	856
3.5.1	Geringer Instandhaltungsaufwand erfordert Zuverlässigkeit plus Instandhaltbarkeit	856
3.5.2	Grundsätzliche Regeln zum instandhaltungsgerechten Konstruieren	857
3.5.2.1	Handlungsfeld „Optimieren der Zuverlässigkeit“	858
3.5.2.2	Handlungsfeld „Verringern des Instandhaltungsaufwands“	860
3.5.2.3	Handlungsfeld „Erleichtern der Instandhaltungsmaßnahmen“	861

3.6	Am Horizont: Serviceführerschaft	862
3.6.1	Innovationen beim Service Engineering folgen anderen Rhythmen	862
3.6.2	Das Geschäftsfeld Service hat die weiteste Dimension	862
3.7	Weiterführende Informationen	863
4	Qualitätsmanagement in der Entwicklung und Konstruktion	867
	<i>Albert Weckenmann, Martin Bookjans</i>	
4.1	Einführung	867
4.1.1	Bedeutung des Qualitätsmanagements für den nachhaltigen Unternehmenserfolg	867
4.1.2	Qualitätsmanagementwerkzeuge im Produktlebenszyklus	868
4.2	Grundwerkzeuge	869
4.2.1	Seven Tools of Quality	869
4.2.2	Seven New Tools of Quality	871
4.3	Quality Function Deployment	873
4.3.1	Historische Entwicklung	873
4.3.2	House of Quality	873
4.3.3	Kano-Modell	875
4.4	Wertanalyse	875
4.5	Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse (FMEA)	876
4.5.1	Arten von FMEA	876
4.5.2	Vorgehensweise	876
4.6	Fehlerbaum- und Ereignisablaufanalyse	878
4.6.1	Ereignisablaufanalyse	878
4.6.2	Fehlerbaumanalyse	879
4.7	Design for Six Sigma	881
4.7.1	Six Sigma – der Ursprung des Design for Six Sigma	881
4.7.2	Ziele und Einsatzgebiete des Design for Six Sigma	883
4.7.3	Ablaufschemas für Design-for-Six-Sigma-Projekte	883
4.7.4	DMADV – Kernprozess des Design for Six Sigma	883
4.8	Robust Design	884
4.8.1	Verlustfunktion nach Taguchi	885
4.8.2	Arten von Einflussfaktoren	885
4.8.3	Phasen des Robust Design	886
4.9	TRIZ/TIPS	886
4.9.1	Klassifikation von Produktinnovationen	886
4.9.2	Morphologische Widerspruchsmatrix	887
4.10	Mizenboushi	888
4.11	Poka Yoke	889
4.12	Virtuelles Qualitätsmanagement und Industrie 4.0	889

4.13	Weiterführende Informationen	893
5	Reverse Engineering	897
	<i>Bernd Rosemann, Stefan Freiberger</i>	
5.1	Zweck und Einsatz des Reverse Engineering	897
5.2	Technologische Voraussetzungen, Vorgehensweise und technische Anwendungsgrenzen	899
5.2.1	Der Reverse-Engineering-Prozess	899
5.2.2	Bauteilerfassung (Scanning)	899
5.2.3	Geometrieverarbeitung	903
5.2.4	Weiterverarbeitung der Flächenmodelle	905
5.3	Anwendungen des Reverse Engineering	905
5.3.1	Anwendung im Maschinenbau	905
5.3.2	Reverse Engineering in der Product Customization	905
5.4	Rechtliche Aspekte des Reverse Engineering	905
5.5	Weiterführende Informationen	907
TEIL IV	Computereinsatz	909
1	Konstruieren mit CAD	913
	<i>Reinhard Hackenschmidt</i>	
1.1	CAD-Grundlagen	913
1.1.1	Geometrisches Modellieren	913
1.1.2	Repräsentationsformen geometrischer Grundelemente	913
1.1.3	Modellformen	915
1.1.4	Parametrisches Modellieren	917
1.1.5	Featurebasiertes Modellieren	918
1.1.6	Aufbau von 3D-Produktmodellen	919
1.2	Funktionsübersicht CAD-Systeme	919
1.2.1	Designstadium	919
1.2.2	Modellierungsphase	921
1.2.3	Weiterführende Werkzeuge	923
1.3	Datenqualität	924
1.3.1	Austausch von CAD-Modellen	925
1.3.2	Qualitätssicherung im CAD-Bereich	926
1.3.3	Organisatorische Lösungen	928
1.4	Weiterführende Entwicklungen	930
1.5	Weiterführende Informationen	930