

Inhalt

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)	15
1.3.5.7 Bezeichnung nach der chemischen Zusammensetzung (DIN 10027-1)	15
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
1.4.1.3 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.....	31
	<i>Elmar Moritzer</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	Schraubdome und Nocken	41
2.4.3	Angüsse.....	41
2.4.4	Bindenähte.....	42
2.4.5	Werkzeugentlüftung	42
3	Konstruieren mit technischer Keramik	45
	<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 Leichtbaubremsen aus C/SiC	60
3.3.3	Heißgasrohre für Kraftwerke.....	60
3.4	Zusammenfassung und Ausblick	61
3.5	Weiterführende Informationen.....	62

4	Festigkeitsrechnung	65
<i>Frank Rieg, Florian Nützel und 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	73
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	76
4.3.5	Beanspruchung von Schalen	78
4.3.6	Festigkeitshypothesen	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	81
4.4.3	Festigkeitshypothesen bei schwingender Beanspruchung	83
4.5	Kerbwirkung	85
4.5.1	Ruhende Beanspruchung, Formzahlen	85
4.5.2	Wechselnde Beanspruchung, Kerbwirkungszahlen	87
4.5.3	Kerbwirkung und Festigkeitshypothesen	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 Gestaltfestigkeit	89
4.7	Werkstoffeigenschaften	90
4.7.1	Zugversuch und Spannungs-Dehnungs-Diagramm	90
4.7.2	Dauerschwingversuch und Wöhlerkurve	91
4.8	Knickung und Beulung	93
4.9	Hertz'sche Pressung	95
4.9.1	Kugel-Kugel-Kontakt	95
4.9.2	Kugel-Ebene-Kontakt	96
4.9.3	Zylinder-Zylinder-Kontakt	97
4.9.4	Zylinder-Ebene-Kontakt	98
4.10	Festigkeitsnachweis	98
4.11	Weiterführende Informationen	100

5	Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit.....	103
<i>Bernd Bertsche</i>		
5.1	Betriebsfestigkeit.....	105
5.1.1	Einordnung der Betriebsfestigkeit in der Schwingfestigkeit	105
5.1.1.1	Statische und dauerfeste Auslegung	106
5.1.1.2	Zeitfeste und betriebsfeste Auslegung	106
5.1.2	Ermittlung von Betriebsbelastung und Lastkollektiv	108
5.1.2.1	Das Lastkollektiv	111
5.1.3	Die ertragbare Belastung, Wöhlerkurven	113
5.1.3.1	Spannungs- und dehnungskontrollierte Wöhlerkurven	113
5.1.3.2	Ermittlung der Wöhlerlinien	114
5.1.4	Betriebsfestigkeitsrechnung	114
5.1.4.1	Schadensakkumulation	115
5.1.4.2	Zweiparametrische Schädigungsrechnung	117
5.1.4.3	Nennspannungskonzept und örtliches Konzept	117
5.2	Systemzuverlässigkeit.....	119
5.2.1	Statistische Beschreibung und Darstellung des Ausfallverhaltens von Bauteilen	119
5.2.2	Mathematische Beschreibung des Ausfallverhaltens durch Verteilungsfunktionen.....	121
5.2.4	Zuverlässigkeit bei Systemen.....	126
5.2.5	Verfügbarkeit von Systemen.....	127
5.3	Weiterführende Informationen.....	128
6	Maschinenelemente	129
<i>Klaus Brökel</i>		
6.1	Systematik der Maschinen- und Konstruktionselemente	131
6.2	Verbindungselemente	132
6.2.1	Schraubenverbindungen	132
6.2.2	Niete	136
6.2.3	Stift- und Bolzenverbindungen	139
6.3	Lager- und Führungselemente	142
6.3.1	Wälzlager	142
6.3.2	Gleitlager	146
6.3.3	Linearführungen	152
6.4	Elemente zur Verbindung von Welle und Nabe	156
6.4.1	Reibschlüssige Welle-Nabe-Verbindungen	156
6.4.2	Spannelementverbindungen	159
6.4.3	Formschlüssige Welle-Nabe-Verbindungen	161
6.5	Achsen und Wellen	163
6.6	Gleichförmig übersetzende Getriebe	168
6.6.1	Zahnradgetriebe	168
6.6.2	Zugmittelgetriebe	174
6.6.2.1	Keilriemen	174
6.6.2.2	Zahnriemen	175

6.6.2.3	Flachriemen.....	177
6.6.2.4	Kettengetriebe.....	178
6.7	Elastische Elemente	179
6.7.1	Federn	179
6.8	Dichtungssysteme	185
6.9	Weiterführende Informationen.....	189
7	Technisches Zeichnen	193
	<i>Gerhard Engelken</i>	
7.1	Übersicht.....	195
7.2	Technisches Freihandzeichnen	195
7.3	Zeichnungen – Normen, Begriffe und Grundregeln.....	195
7.3.1	Normen.....	195
7.3.2	Begriffe.....	196
7.3.3	Formate, Blattgrößen, Vordrucke, Maßstäbe	197
7.3.4	Linien und ihre Anwendung.....	197
7.4	Zeichnung – Träger von Informationen	199
7.4.1	Geometrieinformation	199
7.4.1.1	Ansichten in Parallelprojektionen.....	199
7.4.1.2	Axonometrische Darstellungen.....	200
7.4.1.3	Besondere Ansichten	201
7.4.1.4	Darstellung von Einzelheiten	201
7.4.1.5	Vereinfachte Darstellungen	202
7.4.1.6	Schnittdarstellungen.....	202
7.4.2	Bemaßungsinformation	204
7.4.2.1	Normzahlen und Normzahlreihen.....	204
7.4.2.2	Elemente der Maßeintragung.....	204
7.4.2.3	Eintragen von Maßen.....	206
7.4.2.4	Eintragen von Toleranzen	207
7.4.3	Technologie- und Qualitätsinformation	207
7.4.4	Organisatorische Information	207
7.4.4.1	Schriftfeld	207
7.4.4.2	Stückliste.....	208
7.5	CAD – Computer Aided Design	209
7.5.1	Die Nutzung von 2D-CAD-Systemen	209
7.5.2	Die Nutzung von 3D-CAD-Systemen	209
7.5.3	Normteilbibliotheken und Internetportale.....	210
7.6	Weiterführende Informationen.....	212

8	Form- und Lagetoleranzen.....	213
	<i>Wolfgang Schütte</i>	
8.1	Notwendigkeit geometrischer Toleranzen	216
8.1.1	Aufgaben der Zeichnungsdarstellung	216
8.1.2	Probleme der Zeichnungsdarstellung	216
8.1.3	Geometrische Produktspezifikationen.....	217
8.2	Gestaltabweichungen.....	218
8.3	Tolerierungsgrundsatz.....	220
8.3.1	Unabhängigkeitsprinzip.....	220
8.3.2	Hüllprinzip	222
8.4	Grundlegende Definitionen zur Form- und Lagetolerierung	223
8.4.1	Formtolerierung am Beispiel „gerade Kante“	223
8.4.2	Lagetolerierung am Beispiel „parallele Kanten“	224
8.5	Zeichnungseintragung	225
8.5.1	Grundregel zur Anwendung von Form- und Lagetoleranzen.....	225
8.5.2	Geometrieelemente	225
8.5.3	Toleriertes Element	225
8.5.4	Mehrere gemeinsam tolerierte Elemente	226
8.5.5	Bezugselement.....	227
8.5.6	Bezug aus mehreren Bezugselementen.....	228
8.6	Toleranzarten und Bezüge.....	228
8.6.1	Grundlegende Normen	228
8.6.2	Formtoleranzen.....	229
8.6.3	Bezüge und Bezugssysteme.....	229
8.6.4	Profiltoleranzen	232
8.6.5	Richtungstoleranzen	233
8.6.6	Ortstoleranzen	233
8.6.7	Lauftoleranzen	235
8.7	Allgemeintoleranzen für Form und Lage	235
8.8	Methodische Festlegung von Form- und Lagetoleranzen	235
8.9	Weiterführende Informationen.....	236
9	Elektromechanische Antriebe.....	237
	<i>Detmar Zimmer</i>	
9.1	Grundlagen	240
9.1.1	Bewegungsformen	240
9.1.2	Arbeit, Leistung und kinetische Energie	240
9.1.3	Wirkungsgrad	241
9.1.4	Schlupf	242
9.2	Antriebsauslegung	243
9.2.1	Arbeitsprozesse	243

9.2.2	Motoren	244
9.2.3	Betriebspunkt.....	244
9.2.4	Maximale Beschleunigung.....	245
9.2.5	Lastkollektive und äquivalente Belastung	246
9.2.6	Anwendungsfaktor	247
9.3	Komponenten von Antriebssystemen	247
9.3.1	Elektrische Maschinen	248
9.3.1.1	Gleichstrommotoren.....	248
9.3.1.2	Wechselstrommotoren	249
9.3.1.3	Drehfeldmotoren.....	249
9.3.1.4	Linearmotoren.....	252
9.3.2	Frequenzumrichter und Servoregler	253
9.3.2.1	Frequenzumrichter	253
9.3.2.2	Servoregler	256
9.3.3	Getriebe.....	256
9.3.3.1	Funktion	256
9.3.3.2	Belastung der Umgebungskonstruktion	257
9.3.3.3	Thermisch zulässige Leistung.....	259
9.3.3.4	Anwendungsspezifische Aspekte	260
9.3.4	Kupplungen	261
9.3.4.1	Ausgleichskupplungen.....	261
9.3.4.2	Schaltkupplungen	262
9.3.5	Bremsen	263
9.4	Antriebssysteme	264
9.4.1	Berechnung	264
9.4.2	Funktionsintegration	265
9.4.3	Modularisierung.....	265
9.5	Weiterführende Informationen.....	266
10	Steuerungen	269
<i>Gerhard Fischerauer</i>		
10.1	Grundkonzepte der Leittechnik.....	271
10.2	Gliederungssystematik	273
10.2.1	Steuerungshierarchie	273
10.2.2	Signalformen	274
10.2.3	Zeitverhalten	275
10.2.4	Energieformen	275
10.3	Beschreibungsmethoden	277
10.3.1	Schalttabelle, Boolesche Algebra	277
10.3.2	Petri-Netz, Zustandsfolgediagramm	278
10.3.3	Zeitablaufdiagramm.....	279
10.3.4	Textbasierte Beschreibungen	279
10.4	Verbindungsprogrammierbare Steuerungen.....	280
10.4.1	Schaltnetze für Verknüpfungssteuerungen	280
10.4.2	Schaltwerke für Ablaufsteuerungen.....	281

10.5	Speicherprogrammierbare Steuerungen (SPS)	282
10.6	Kommunikation	285
10.7	Entwicklungstendenzen	287
10.8	Weiterführende Informationen	288
11	Mechatronik	291
	<i>Gerhard Fischerauer</i>	
11.1	Grundbegriffe der Mechatronik	293
11.2	Modellbildung mechatronischer Systeme	295
11.2.1	Grundsätzliches, Grundlagen der Systembeschreibung	295
11.2.2	Kinematik von Mehrkörpersystemen	296
11.2.3	Kinetik von Mehrkörpersystemen	297
11.2.4	Elektrische Modellbildung	298
11.3	Systemsimulation	299
11.3.1	Mechanisches Beispiel: Einmassenschwinger	299
11.3.2	Elektromechanisches Beispiel: Elektromagnet	301
11.4	Aktoren	303
11.4.1	Elektromagnete	304
11.4.2	Elektromotoren	304
11.4.3	Fluidische Aktoren	305
11.4.4	Materialeffektbasierte Aktoren	305
11.4.5	Vergleich verschiedener Aktoren	305
11.5	Sensoren für mechatronische Systeme	307
11.5.1	Weg- und Winkelmessung	307
11.5.2	Geschwindigkeits- und Winkelgeschwindigkeitsmessung	308
11.5.3	Linearbeschleunigungsmessung	308
11.5.4	Kraft- und Drehmomentmessung	309
11.6	Entwicklungstendenzen	310
11.7	Weiterführende Informationen	310
12	Maschinenakustik	313
	<i>Joachim Bös, Holger Hanselka</i>	
12.1	Einführung	315
12.2	Grundbegriffe und Grundkonzepte der technischen Akustik	316
12.2.1	Lärm, Schall, Frequenz, Ton, Klang, Geräusch	316
12.2.2	Schalldruck – Schalldruckpegel – Dezibel – Hinweise zu Pegelangaben	317
12.2.3	Schallschnelle – Schnellepegel – Schallkennimpedanz	320
12.2.4	Schallintensität – Schallintensitätspegel	321
12.2.5	Schallleistung – Schallleistungspegel	321

12.2.6	Schall als räumliches und zeitliches Phänomen – Wellenlänge und Periodendauer	322
12.2.7	Fourieranalyse, Frequenzspektrum, Campbell-Diagramm, Ordnungsanalyse.....	324
12.2.8	Frequenzbewertung, A-, C-, Z-Bewertung	326
12.2.9	Bezugswerte für die Pegelbildung	327
12.2.10	Einführung in die Pegelarithmetik.....	329
12.2.11	Schmalbandfilter – Oktavfilter – Terzfilter – Summenpegel	332
12.3	Mechanismen der Geräuschentstehung.....	335
12.3.1	Direkte und indirekte Geräuschentstehung	335
12.3.2	Maschinenaustische Grundgleichung	335
12.3.3	Anregungskräfte.....	338
12.3.4	Körperschallfunktion	338
12.3.5	Abstrahlgrad.....	339
12.4	Möglichkeiten der Geräuschminderung	341
12.4.1	Reduktion der Anregungskräfte	342
12.4.2	Reduktion der Körperschallfunktion	345
12.4.3	Reduktion des Abstrahlgrades	345
12.4.4	Abschließende Bemerkungen.....	346
12.5	Weiterführende Informationen.....	346
13	Hydraulik	349
	<i>Horst-Walter Grollius</i>	
13.1	Aufbau eines Hydrosystems	352
13.2	Schaltpläne	353
13.3	Hydropumpen	355
13.4	Hydromotoren	356
13.5	Hydrozylinder	357
13.5.1	Doppeltwirkende Zylinder	357
13.5.2	Gleichgangzylinder	358
13.5.3	Einfachwirkende Zylinder	358
13.5.4	Teleskopzylinder.....	359
13.5.5	Endlagendämpfung	360
13.6	Hydroventile	360
13.6.1	Wegeventile	361
13.6.2	Sperrventile	362
13.6.3	Druckventile	363
13.6.4	Stromventile	363
13.7	Servoventile	364
13.8	Hydrauliköle	365
13.9	Zubehörteile	366

13.10 Projektierung von Hydrosystemen	367
13.11 Weiterführende Informationen.....	367
14 Pneumatik.....	369
<i>Horst-Walter Grollius</i>	
14.1 Schaltpläne pneumatischer Systeme	372
14.2 Drucklufterzeugung und -aufbereitung	376
14.3 Zylinder	378
14.3.1 Einfachwirkende Zylinder.....	378
14.3.2 Doppeltwirkende Zylinder	379
14.3.3 Sonderzylinder.....	380
14.4 Schwenkmotoren	381
14.5 Druckluftmotoren.....	382
14.6 Ventile	383
14.6.1 Wegeventile	383
14.6.2 Sperrventile.....	384
14.6.3 Druckventile.....	385
14.6.4 Stromventile	385
14.6.5 Zeitverzögerungsventile.....	385
14.7 Grundschaltungen.....	386
14.8 Weiterführende Informationen.....	388

TEIL II Entwickeln und Konstruieren.....391

1 Der allgemeine Konstruktionsprozess – Grundlagen des methodischen Konstruierens	393
<i>Christian Schindler</i>	
1.1 Einführung	395
1.2 Grundlagen	396
1.2.1 Umfeld	396
1.2.2 Einflüsse auf die Konstruktion.....	397
1.2.3 Einflussmöglichkeiten während der Konstruktion	400
1.2.4 Produktlebenszyklus	400
1.3 Der allgemeine Lösungsprozess	400
1.4 Der Konstruktionsprozess.....	401

1.5	Die Spezifikationsphase.....	402
1.5.1	Lasten- und Pflichtenheft	403
1.5.2	Der Subprozess der Spezifikation.....	403
1.6	Die Konzeptphase	408
1.6.1	Abstrahieren der Anforderungen	408
1.6.2	Aufstellen einer Funktionsstruktur	409
1.6.3	Lösungssuche.....	411
1.6.3.1	Recherchierende Methoden	411
1.6.3.2	Heuristische Methoden	412
1.6.3.3	Diskursive Methoden.....	414
1.6.3.4	Systematische Kombination zur Gesamtlösung	414
1.6.4	Weiterentwicklung von Prinziplösungen	416
1.7	Lösungsauswahl und -bewertung.....	418
1.7.1	Punktebewertung	419
1.7.2	Technisch-wirtschaftliche Bewertung	419
1.7.3	Nutzwertanalyse.....	420
1.7.4	Schwachstellenanalyse	421
1.8	Die Gestaltungsphase	423
1.8.1	Gestaltungsgrundregeln.....	425
1.8.2	Sicheres Gestalten	426
1.8.2.1	Beherrschen stochastischer Gefahren	427
1.8.2.2	Vermeiden deterministischer Gefahren	429
1.8.3	Gestaltungsprinzipien	430
1.8.3.1	Kraftfluss	431
1.8.3.2	Aufgabenteilung	432
1.8.3.3	Selbsthilfe	432
1.8.3.4	Stabilität.....	434
1.8.3.5	Fehlerminimierung.....	434
1.8.4	Gestaltungsrichtlinien	434
1.8.4.1	Auslegungsgerechtes Gestalten	434
1.8.4.2	Lebensphasengerechtes Gestalten.....	436
1.8.4.3	Beachten des Standes der Technik	437
1.8.4.4	Nicht technische Restriktionen.....	437
1.9	Die Ausarbeitungsphase	437
1.10	Berechnungen und Versuche.....	438
1.10.1	Auslegung	438
1.10.2	Verifikation.....	439
1.10.3	Validierung	439
1.11	Schlussbemerkung	439
1.12	Weiterführende Informationen.....	440
2	Design for X (DFX).....	443
	<i>Harald Meerkamm, Sandro Wartzack, Stefan Bauer, Hartmut Krehmer, Andreas Stockinger und Michael Walter</i>	
2.1	Einleitung	445

2.2	Grundlagen des DFX	446
2.2.1	Definition des DFX	446
2.2.2	Komplexität des DFX	447
2.3	Strukturierungsansätze.....	447
2.3.1	Prozessorientierte Strukturierung.....	447
2.3.2	Hierarchische Strukturierung.....	448
2.4	Vorstellung wichtiger Aspekte des DFX	450
2.4.1	Fertigungsgerechtes Konstruieren (DFP/DFM – Design for Production/ Design for Manufacturing).....	450
2.4.2	Montagegerechte Gestaltung (DFA – Design for Assembly)	452
2.4.3	Umweltgerechte Gestaltung (DFE – Design for Environment).....	452
2.5	Ansätze zur Beherrschung der Komplexität des DFX	452
2.5.1	Prozessunterstützung FORFLOW	453
2.5.2	Methoden und Strategien zur Entscheidungsfindung	454
2.5.2.1	Strategie-Balance 3D.....	454
2.5.2.2	Multikriterielle Bewertung	456
2.5.3	Wissensbereitstellung	456
2.5.4	Konstruktions-Assistenzsystem.....	457
2.5.5	Methoden und Werkzeuge von Boothroyd/Dewhurst	459
2.5.6	Computer Supported Cooperative Work – CSCW	459
2.5.7	Physikalische Absicherung – Rapid Prototyping	459
2.5.8	Virtuelle Absicherung – Simulation	460
2.6	Zusammenfassung.....	461
2.7	Weiterführende Informationen.....	461
3	Leichtbau	465
	<i>Dieter Krause</i>	
3.1	Einführung in die Produktentwicklung im konsequenten Leichtbau	466
3.2	Wissen im Leichtbau	467
3.2.1	Strategien des Leichtbaus	467
3.2.2	Leichtbau-Bauweisen	468
3.2.3	Gestaltungsprinzipien und -regeln.....	469
3.2.4	Stabilitätsverlust und Versagensarten.....	470
3.3	Vorgehen zur Leichtbaukonstruktion.....	471
3.3.1	Strategie zur Werkstoffwahl	472
3.3.2	Berechnungswerkzeuge im Leichtbau	474
3.3.3	Versuch.....	475
3.4	Werkstoffe im Leichtbau	476
3.4.1	Metalle.....	477
2.4.2	Faserkunststoffverbunde (FKV, auch Faserverbundkunststoff, FVK)	478
3.5	Weiterführende Informationen.....	483

4	Recyclinggerechtes Konstruieren	485
	<i>Joachim Crone, Bernd Rosemann und Markus Mörtl</i>	
4.1	Überblick.....	487
4.2	Begriffe	487
4.2.1	Recycling.....	487
4.2.2	Recyclinggerechtes Konstruieren im Kontext des Produktlebenszyklus	488
4.3	Rahmenbedingungen.....	489
4.3.1	Legislative Anforderungen	489
4.3.1.1	Stoffbezogene Anforderungen (RoHS und WEEE)	489
4.3.1.2	Altfahrzeugverordnung	490
4.3.1.3	Batteriegesetz.....	490
4.3.1.4	Ökodesign-Richtlinie.....	490
4.3.1.5	Anforderungen des Chemikalienrechts (REACH).....	490
4.3.1.6	Dokumentation	491
4.3.2	Marktanforderungen.....	491
4.3.2.1	Angabe von Inhaltsstoffen	491
4.3.2.2	Recycler-Anforderungen.....	491
4.3.3	Aktualisierungsbedarf.....	491
4.4	Entwicklung recyclinggerechter Produkte – Design for Recycling	492
4.4.1	Methodik des Design for Recycling	492
4.4.1.1	Stellhebel bei der recyclinggerechten Produktgestaltung.....	492
4.4.1.2	Recyclinggerechte Produktgestaltung im Entwicklungs- und Konstruktionsprozess	492
4.4.2	Gestaltungshinweise und Anwendungsbeispiele für die recyclinggerechte Produktgestaltung.....	492
4.4.2.1	Formulierung einer Recyclingstrategie im Rahmen der Produktentwicklung.....	492
4.4.2.2	Analyse und Bewertung von Vorgänger- und Konkurrenzprodukten	494
4.4.2.3	Regeln für eine verwertungsgerechte Produktgestaltung	496
4.4.2.4	Beispiel Verwertung.....	497
4.4.2.5	Regeln für eine instandsetzungsgerechte Produkt- und Prozessgestaltung	498
4.4.2.6	Beispiel Instandsetzung	498
4.4.2.7	Regeln für eine modernisierungsgerechte Produkt- und Prozessgestaltung	501
4.4.2.8	Beispiel Modernisierung.....	501
4.5	Innovationsfeld Design for Recycling	502
4.6	Rechnerunterstützung im Produktlebenslauf.....	503
4.6.1	Informationsbereitstellung für die Konstruktion.....	503
4.6.1.1	Material- und Stoffdaten.....	503
4.6.1.2	Compliance-Anforderungen.....	504
4.6.2	Informationsbereitstellung für die Verwertung	505
4.6.2.1	Recyclingpass - als Information für den Verwerter	505
4.6.2.2	Internationales Demontage-Informationssystem (IDIS)	505
4.7	Ausblick.....	506
4.8	Weiterführende Informationen.....	507

5	Sicherheitsgerechte Maschinen	511
	<i>Alfred Neudörfer</i>	
5.1	Rechtliche Basis des sicherheitsgerechten Konstruierens	513
5.1.1	EG-Maschinenrichtlinie.....	514
5.1.2	Normen und sicherheitsgerechtes Konstruieren	517
5.2	Gefahren, Gefährdungen und Risiken an Maschinen	519
5.2.1	Gefahrstellen	520
5.2.2	Risikobeurteilung	522
5.2.3	Praktische Durchführung von Risikobeurteilungen.....	522
5.3	Konstruktionsmaßnahmen gegen stochastische Gefährdungen	526
5.3.1	Das Safe-Life-Prinzip.....	526
5.3.2	Das Fail-Safe-Prinzip.....	528
5.3.3	Das Prinzip der Redundanz	528
5.3.4	Zuverlässigkeit von Steuerungen	530
5.4	Konstruktive Maßnahmen gegen deterministische Gefährdungen	531
5.4.1	Unmittelbare Sicherheitstechnik	532
5.4.2	Mittelbare Sicherheitstechnik	533
5.4.3	Verriegelungen trennender Schutzeinrichtungen.....	533
5.4.4	Sicherheitsschalter.....	536
5.5	Hinweisende Sicherheitstechnik.....	539
5.6	Sicherheitstechnische Besonderheiten großer Maschinen.....	540
5.7	Sicherheitsrelevante Befehlsgeräte	540
5.7.1	Hauptbefehlseinrichtungen	540
5.7.2	Not-Befehlseinrichtungen	542
5.8	Weiterführende Informationen.....	543
6	Ergonomiegerechtes Konstruieren	545
	<i>Ralph Bruder, Bastian Kaiser</i>	
6.1	Einleitung	547
6.2	Vorgehensweisen bei der ergonomischen Produktentwicklung	549
6.2.1	Vorgehensweise nach VDI-Richtlinie 2242.....	549
6.2.2	Gestaltungsprozess nach DIN EN ISO 9241-210	551
6.2.2.1	Gestaltungsgrundsätze.....	551
6.2.2.2	Gestaltungsvorgehen	553
6.2.2.3	Nutzungsorientierte und technische Gestaltung	555
6.2.2.4	Methoden der aktiven Nutzereinbindung	555
6.2.2.5	Dokumentation der Vorgehensweise	556
6.3	Fallbeispiel	556
6.3.1	Nutzungskontext festlegen und Nutzeranforderungen ermitteln.....	557
6.3.2	Erste Studien	557
6.3.3	Iterationsschritt	557

6.3.4	Fazit	559
6.4	Weiterführende Informationen.....	559
7	Umweltgerechtes Konstruieren.....	561
	<i>Herbert Birkhofer, Karola Rath und Shulin Zhao</i>	
7.1	Einleitung	563
7.2	Produkte und ihre Umweltbeeinträchtigungen	564
7.2.1	Der Produktlebenslauf.....	564
7.2.2	Die Prozesse im Produktlebenslauf.....	564
7.2.3	Beeinflussung von Umweltbeeinträchtigungen	565
7.3	Umweltrechtliche Vorgaben und Umweltkennzeichnungen	567
7.3.1	Europäische Richtlinien und Verordnungen.....	567
7.3.2	Umweltlabels.....	568
7.4	Entwicklung umweltgerechter Produkte: EcoDesign	569
7.4.1	Methodik des EcoDesign	569
7.4.2	Ökologische Schwachstellen ermitteln	570
7.4.2.1	Ökobilanz	570
7.4.2.2	Eco-indicator 99	570
7.4.2.3	Checklisten.....	572
7.4.2.4	Hinweise zur ökologischen Bewertung.....	572
7.4.3	Ökologische Stellhebel ermitteln und Entwicklungsziel ableiten.....	574
7.4.3.1	Ökologisches Optimierungspotential bestimmen	574
7.4.3.2	Ökologisches Entwicklungsziel ableiten	575
7.4.4	Lösungen erarbeiten - Umweltbeeinträchtigungen gezielt reduzieren	576
7.4.4.1	Art und Menge der verwendeten Werkstoffe optimieren	576
7.4.4.2	Emissionen minimieren	578
7.4.5	Maßnahmen ganzheitlich beurteilen	579
7.4.5.1	Wechselwirkungen mit anderen Umweltwirkungen.....	579
7.4.5.2	Wechselwirkungen mit Marktanforderungen	579
7.4.4.4	Art und Intensität der Produktnutzung optimieren	579
7.5	Zusammenfassung und Ausblick	581
7.6	Weiterführende Informationen.....	581
8	Geräuschgerechtes Konstruieren.....	583
	<i>Rainer Storm</i>	
8.1	Einführung; inhaltliche Ein- und Abgrenzung	586
8.2	Akustisch relevante Phasen einer Produktentwicklung	589
8.2.1	Phase 1: Das Lasten- und Pflichtenheft.....	594
8.2.1.1	Falle 1: Angaben zu Luftschallpegeln.....	595
8.2.1.2	Falle 2: Angaben zu Körperschallpegeln	598
8.2.1.3	Falle 3: Referenzwerte (Bezugswerte) zu Pegelangaben.....	600
8.2.1.4	Falle 4: Einfluss undefinierter Einbausituationen auf den Körperschallpegel an den Koppelpunkten.	601

8.2.1.5 Falle 5: Grenzwerte und Grenzkurven für Spektren.....	604
8.2.1.6 Falle 6: Akustische Effekte der konstruktiven Umgebung	606
8.2.2 Phase 2: Zielführende Konzepte für Vorentwürfe.....	608
8.2.3 Phase 3: Akustische Machbarkeitsanalysen an Prototypen	611
8.2.3.1 Erste Einflussgröße „Dynamische Anregungskräfte“	612
8.2.3.2 Zweite Einflussgröße „Eingangsimpedanz“	621
8.2.3.3 Dritte Einflussgröße „Körperschalltransferfunktion“	629
8.2.3.4 Vierte Einflussgröße „Abstrahlgrad“	638
8.2.4 Phase 4: Istzustands-, Schwachstellen- und Ursachenanalyse, akustische Zusatzoptionen	641
8.2.4.1 Akustische Analysen an Funktionsprototypen und technischen Prototypen und Vorserienprodukten	641
8.2.4.2 Zusatzoptionen „Sound Design“ und „Schwingungsüberwachung“	649
8.2.5 Phase 5: Abnahmemessungen, Abgleich mit Pflichtenheft, akustisches Fine-Tuning; Beitragsanalyse; End-of-Line-Prüfung.....	650
8.2.5.1 Abnahmemessungen, Abgleich mit Pflichtenheft, akustisches Fine-Tuning	650
8.2.5.2 Beitragsanalyse und Übertragungsweganalyse	652
8.2.5.3 End-of-Line-Prüfungen.....	653
8.2.6 Phase 6 (begleitende Zusatzphase): Aufbau einer eigenen Kernkompetenz „Akustik“	654
8.3 Weiterführende Informationen.....	654
9 Modulare Produktstrukturierung.....	659
<i>Dieter Krause</i>	
9.1 Begriffliche Grundlagen	660
9.1.1 Produktfamilien und Produktvarianten	660
9.1.2 Produktstruktur und Produktarchitektur	660
9.1.3 Arten der Produktstruktur.....	660
9.1.3.1 Differential- und Integralbauweise.....	660
9.1.3.2 Baureihen.....	661
9.1.3.3 Baukästen	662
9.1.3.4 Modulbauweise	662
9.1.3.5 Produktplattform	662
9.1.3.6 Pakete	663
9.1.3.7 Modular strukturierte Produkte	663
9.2 Potentiale und Grenzen modularer Produktfamilien.....	664
9.3 Methoden zur Entwicklung modularer Produktfamilien.....	666
9.3.1 Der Power Tower nach Meyer/Lehnerd	667
9.3.2 Planning for Product Platforms nach Robertson/Ulrich.....	667
9.3.3 Method of Module Heuristics nach Stone.....	668
9.3.4 Integration Analysis Methodology nach Pimmler/Eppinger	669
9.3.5 Modular Function Deployment (MFD) nach Erixon.....	670
9.3.6 Modulare Produktentwicklung nach Göpfert	671
9.3.7 Methode zur integrierten Entwicklung modularer Produktfamilien nach Krause et al.....	672
9.3.7.1 Aufnahme der bestehenden Vielfalt.....	672
9.3.7.2 Variantengerechte Produktgestaltung	674
9.3.7.3 Lebensphasenmodularisierung.....	674
9.4 Weiterführende Informationen.....	677

10 Design Matrix	681
<i>Frank Deubzer, Matthias Kreimeyer, Udo Lindemann und Maik Maurer</i>	
10.1 Analyse und Planung komplexer Systeme	681
10.1.1 Komplexität in der Entwicklung	681
10.1.2 Vernetzung in der Produktarchitektur – ein Beispiel	682
10.2 Methoden zur Handhabung komplexer Systeme	684
10.2.1 Der Umgang mit komplexen Systemen in der Wissenschaft	684
10.2.2 Allgemeine Prinzipien zum Umgang mit Komplexität	684
10.2.3 Matrix-basierte Methoden zur Handhabung von Komplexität	685
10.3 Analyse und Synthese auf Basis matrix-basierter Methoden	688
10.3.1 Definition des zu betrachtenden Systems	689
10.3.2 Erfassung von Abhängigkeiten	689
10.3.3 Modellierung von Abhängigkeiten	690
10.3.4 Vorgehen zur Analyse	691
10.4 Anwendungen von matrix-basierten Methoden	692
10.4.1 Beispiel Produktarchitektur	692
10.4.2 Beispiel Prozess- und Projektmanagement	694
10.4.3 Beispiel Organisationsgestaltung	697
10.5 Leistungsfähigkeit von Methoden im Umgang mit Komplexität	698
10.5.1 Werkzeugunterstützung	698
10.5.2 Hinweise und Empfehlungen	699
10.6 Weiterführende Informationen	700

TEIL III Verfahren und Methoden 703

1 Kostenrechnung in der Konstruktion	705
<i>Markus Mörtl</i>	
1.1 Einführung	707
1.2 Märkte und deren Veränderung	708
1.3 Kostenverantwortung liegt in den frühen Phasen	709
1.4 Kostenrechnung und deren Grundlagen	710
1.4.1 Kostenbegriff	710
1.4.2 Kostenarten	711
1.4.3 Kostenträger	711
1.4.4 Kostenstellen	711
1.4.5 Einzel-, Gemeinkosten	711
1.4.6 Fixe, variable Kosten	712
1.4.7 Selbstkosten	712
1.4.8 Lebenslaufkosten	712
1.4.9 Kostenrechnungsarten	713

1.4.9.1	Zuschlagskalkulation	713
1.4.9.2	Teilkostenrechnung und Deckungsbeitragsrechnung.....	714
1.4.9.3	Platzkostenrechnung	715
1.4.9.4	Prozesskostenrechnung.....	715
1.5	Einflussmöglichkeiten zur Kostensenkung	715
1.5.1	Aufgabenstellung.....	717
1.5.2	Konzept	717
1.5.3	Gestalt.....	717
1.5.4	Stückzahl	717
1.5.5	Baugröße	717
1.5.6	Fertigung und Montage.....	718
1.5.7	Eigen-/Fremdfertigung.....	718
1.5.8	Varianten	718
1.6	Kostenschätzen und Kurzkalkulationsverfahren.....	719
1.6.1	Methodisches Vorgehen	719
1.6.2	Kontinuierliche Kostenverfolgung und -dokumentation.....	719
1.6.3	Organisatorischer Rahmen für Kostensenkungsprojekte.....	721
1.6.4	Kostenschätzen und Genauigkeit	722
1.6.5	Aufwandsreduzierung beim Kostenschätzen und Kalkulieren	722
1.6.6	Kurzkalkulationsverfahren.....	722
1.6.6.1	Gewichtskostenkalkulation.....	722
1.6.6.2	Materialkostenmethode.....	723
1.6.6.3	Kalkulation bei geometrischer Ähnlichkeit und Halbähnlichkeit.....	723
1.6.6.4	Summarisches Herstellkostenwachstumsgesetz	723
1.7	Abkürzungen	723
1.8	Weiterführende Informationen.....	723
2	Gewerblicher Rechtsschutz	725
<i>Bettina Alber-Laukant</i>		
2.1	Patente	729
2.1.1	Ist die gemachte Erfindung patentierbar? – Voraussetzungen für die Erteilung eines Patents.....	730
2.1.2	Wo kann die Erfindung angemeldet werden? – Die nationale, europäische und internationale Patentanmeldung	731
2.1.3	Wie sieht ein Patent aus? – Formale Erfordernisse an den Aufbau einer Patentanmeldung.....	733
2.1.3.1	Titelblatt.....	733
2.1.3.2	Beschreibung.....	736
2.1.3.3	Patentansprüche	736
2.1.4	Die Einreichung – Und was passiert danach? – Das Einreichungs- und Prüfungsverfahren, die Einspruchsmöglichkeiten, die Erteilung eines Patents	737
2.1.5	Was kann man bei störenden Fremdpatenten machen? – Die Lizenzrechte, die Patentrecherche	740
2.2	Gebrauchsmuster	741
2.3	Geschmacksmuster	742
2.4	Gewerbliche Kennzeichen.....	744
2.4.1	Marken	745

2.4.2	Unternehmensbezeichnungen	747
2.4.3	Geografische Herkunftsangaben.....	748
2.4.4	Markenrechtsverletzungen	748
2.5	Weitere Schutzrechte.....	748
2.5.1	Urheberrecht	748
2.5.2	Topografie	749
2.5.3	Software	749
2.6	Online-Recherchemöglichkeiten für Schutzrechte	749
2.7	Weiterführende Informationen.....	750
3	Service Engineering.....	751
	<i>Rolf Steinhilper</i>	
3.1	Service Engineering – was ist das?.....	753
3.1.1	Service Engineering: eine junge Wissenschaft	753
3.1.2	Interaktionen zwischen Konstrukteur und Service: neue Herausforderungen.....	754
3.1.3	Typologisierung von Dienstleistungen: wegbereitend für treffsichere Maßnahmen zur Effizienzsteigerung..	755
3.1.4	Service Engineering für materielle Güter: eine höchst vielschichtige Aufgabe	757
3.2	Service Engineering für Konsumgüter.....	758
3.2.1	Reparieren lohnt sich doch	758
3.2.2	Typische Defekte generieren typische Konstruktionsaufgaben.....	759
3.2.3	Typische Servicefälle erfordern passende Servicekonzepte.....	760
3.2.4	Neue Akteure im Servicemarkt: Abschied vom klassischen Konzept „Werkskundendienst“	761
3.2.5	Neue Betätigungsfelder der neuen Akteure und neue Optionen	762
3.3	Service Engineering für Automobile.....	763
3.3.1	Die größte Umwälzung seit der Erfindung des Automobils ist in vollem Gange.....	763
3.3.2	Das Phänomen Rückrufaktionen fällt meist auf den Konstrukteur zurück	764
3.3.3	Servicekonzepte und Serviceangebote unterliegen im Zeitlauf des Fahrzeuggebrauchs einem signifikanten Wandel	765
3.3.4	Ersatzteilversorgung während und nach der Produktionsdauer eines Automodells.....	766
3.3.5	Refabrikation von Kfz-Austauschersatzteilen.....	768
3.3.6	Schutzrechte.....	772
3.3.7	Haftung für Servicearbeiten	773
3.4	Service Engineering für Investitionsgüter	774
3.4.1	Die Investitionsgüter-Instandhaltung hat ihre eigenen Determinanten	774
3.4.2	Die „Total Cost of Ownership“ sowie Zusatznutzen entscheiden über den Serviceanbieter sehr wesentlich mit.....	775
3.4.3	Ersatzteilversorgung für Investitionsgüter: Trends in die Fläche und in Richtung intelligenter Bedarfsprognosen.....	776
3.5	Instandhaltungsgerechtes Konstruieren	777
3.5.1	Geringer Instandhaltungsaufwand erfordert Zuverlässigkeit plus Instandhaltbarkeit	777
3.5.2	Grundsätzliche Regeln zum instandhaltungsgerechten Konstruieren	778
3.5.2.1	Handlungsfeld „Optimieren der Zuverlässigkeit“	778
3.5.2.2	Handlungsfeld „Verringern des Instandhaltungsaufwands“	781
3.5.2.3	Handlungsfeld „Erleichtern der Instandhaltungsmaßnahmen“	781

3.6	Am Horizont: Serviceführerschaft.....	782
3.6.1	Innovationen beim Service Engineering folgen anderen Rhythmen.....	782
3.6.2	Das Geschäftsfeld Service hat die weiteste Dimension.....	783
3.7	Weiterführende Informationen	784
4	Qualitätsmanagement in der Entwicklung und Konstruktion	785
<i>Albert Weckenmann, Martin Bookjans</i>		
4.1	Einführung	787
4.1.1	Bedeutung des Qualitätsmanagements für den nachhaltigen Unternehmenserfolg	787
4.1.2	Qualitätsmanagementwerkzeuge im Produktlebenszyklus	788
4.2	Grundwerkzeuge.....	789
4.2.1	Seven Tools of Quality.....	789
4.2.2	Seven New Tools of Quality.....	791
4.3	Quality Function Deployment	793
4.3.1	Historische Entwicklung	793
4.3.2	House of Quality	793
4.3.3	Kano-Modell	795
4.4	Wertanalyse.....	795
4.5	Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse (FMEA).....	796
4.5.1	Arten von FMEA	796
4.5.2	Vorgehensweise	796
4.6	Fehlerbaum- und Ereignisablaufanalyse	798
4.6.1	Ereignisablaufanalyse.....	798
4.6.2	Fehlerbaumanalyse	799
4.7	Design for Six Sigma.....	801
4.7.1	Six Sigma – der Ursprung des Design for Six Sigma	801
4.7.2	Ziele und Einsatzgebiete des Design for Six Sigma.....	803
4.7.3	Ablaufschemata für Design-for-Six-Sigma-Projekte.....	803
4.7.4	DMADV – Kernprozess des Design for Six Sigma	803
4.8	Robust Design	804
4.8.1	Verlustfunktion nach Taguchi	805
4.8.2	Arten von Einflussfaktoren.....	805
4.8.3	Phasen des Robust Design	806
4.9	TRIZ/TIPS	806
4.9.1	Klassifikation von Produktinnovationen	806
4.9.2	Morphologische Widerspruchsmatrix	807
4.10	Mizenboushi.....	808
4.11	Poka Yoke	809
4.12	Weiterführende Informationen.....	809

5	Reverse Engineering	811
	<i>Bernd Rosemann, Stefan Freiberger</i>	
5.1	Zweck und Einsatz des Reverse Engineering.....	813
5.2	Technologische Voraussetzungen, Vorgehensweise und technische Anwendungsgrenzen.....	814
5.2.1	Der Reverse-Engineering-Prozess.....	814
5.2.2	Bauteilerfassung (Scanning)	815
5.2.3	Geometrieverarbeitung.....	818
5.2.4	Weiterverarbeitung der Flächenmodelle	821
5.3	Anwendung des Reverse Engineering.....	821
5.4	Rechtliche Aspekte des Reverse Engineering.....	821
5.5	Weiterführende Informationen.....	821

TEIL IV Computereinsatz..... .823

1	Konstruieren mit CAD.....	825
	<i>Reinhard Hackenschmidt</i>	
1.1	CAD-Grundlagen	827
1.1.1	Geometrisches Modellieren	827
1.1.2	Repräsentationsformen geometrischer Grundelemente.....	827
1.1.3	Modellformen	829
1.1.4	Parametrisches Modellieren	831
1.1.5	Featurebasiertes Modellieren.....	832
1.1.6	Aufbau von 3D-Produktmodellen.....	833
1.2	Funktionsübersicht CAD-Systeme	833
1.2.1	Designstadium	833
1.2.2	Modellierungsphase.....	835
1.2.3	Weiterführende Werkzeuge	837
1.3	Datenqualität	838
1.3.1	Austausch von CAD-Modellen	839
1.3.2	Qualitätssicherung im CAD-Bereich.....	840
1.3.3	Organisatorische Lösungen	842
1.4	Weiterführende Entwicklungen	844
1.5	Weiterführende Informationen.....	844
2	Finite-Elemente-Analyse	847
	<i>Bernd Roith, Martin Neidnicht und Frank Rieg</i>	
2.1	Einleitung	849

2.2	Das grundsätzliche Vorgehen.....	851
2.3	Beispiele für typische Einsatzgebiete der FEA.....	858
2.3.1	Lineare Festigkeitsrechnung - Kolben	858
2.3.2	Nichtlineare Festigkeitsrechnung - Tellerfeder.....	863
2.3.3	Thermomechanische Analyse: Ventil.....	865
2.3.4	Eigenfrequenz-Analyse: Kurbelwelle	869
2.4	Weiterführende Informationen.....	871
3	CNC-Produktion	873
	<i>Stefan Freiberger, Bernd Rosemann</i>	
3.1	Einführung in CNC.....	875
3.2	CNC-Maschinen in Produktion und Montage.....	875
3.3	Funktionen von CNC-Maschinen	876
3.4	Positionserkennung	877
3.5	CNC-Programm.....	878
3.6	Simulation in der NC-Fertigung	882
3.7	Weiterführende Informationen.....	884
4	Simulation.....	887
	<i>Bettina Alber-Laukant, Martin Neidnicht und Bernd Roith</i>	
4.1	Computergestützte Simulationswerkzeuge.....	890
4.2	Computer-Aided-x: CAx	891
4.3	Vorgehensweise bei einer Simulation.....	892
4.4	Modellbildung.....	894
4.4.1	Physikalische und mathematische Modelle.....	894
4.4.1.1	Physikalische Modelle	894
4.4.1.2	Mathematische Modelle	894
4.4.1.3	Analytische Modelle.....	896
4.4.1.4	Numerische Simulation.....	897
4.4.1.5	Einordnung der mathematischen Analyseverfahren	902
4.4.2	Grafische Modelle.....	903
4.5	Qualität, Ergebnisse und Prognosefähigkeit der Simulation	904
4.6	Weiterführende Informationen.....	906

5	Generative Fertigungsverfahren	907
	<i>Michael Zäh, Johannes Schilp, Michael Ott und Sebastian Westhäuser</i>	
5.1	Einführung	909
5.2	Definition	910
5.3	Verfahrenskette	911
5.3.1	Bauprozessvorbereitung	912
5.3.2	Bauprozess	912
5.3.3	Nacharbeit	913
5.4	Einteilung der generativen Fertigungsverfahren	913
5.4.1	Einteilung nach dem Ausgangsmaterial	913
5.4.2	Einteilung nach der Art der Formgebung	914
5.5	Vorstellung wichtiger Schichtbauverfahren	915
5.5.1	Strahlschmelzen	915
5.5.2	3D-Drucken	916
5.6	Richtlinien für die Konstruktion generativer Bauteile	917
5.6.1	Funktionsintegration	917
5.6.2	Bauteilgröße und Positionierung	920
5.6.3	Verarbeitbare Werkstoffe	920
5.6.4	Mechanische Kennwerte	921
5.6.5	Oberflächengüte und Aufmaß	921
5.6.6	Treppenstufeneffekt (Stair Casing)	922
5.6.7	Support und Maßhaltigkeit	922
5.7	Potentiale	923
5.8	Zusammenfassung und Ausblick	923
5.9	Weiterführende Informationen	923
6	Virtuelle Produktentstehung	925
	<i>Reiner Anderl, Thomas Rollmann, Diana Völz, Roland Nattermann, Sebastian Maltzahn und Christian Mosch</i>	
6.1	Prozesskette Virtuelle Produktentstehung und Simultaneous Engineering	929
6.1.1	Wissensbasierte Produktentwicklung	929
6.1.2	Simultaneous Engineering (SE)	930
6.2	Datenmanagement	932
6.2.1	Produktdatenmanagement (PDM)	932
6.2.2	Simulationsdatenmanagement (SDM)	934
6.2.3	Fabrikdatenmanagement (FDM)	936
6.3	Zusammenfassung	937
6.4	Weiterführende Informationen	938

7	3D-Datenaustausch und Datenformate in der Produktentwicklung.....	939
<i>Alexander Troll</i>		
7.1	Grundlagen des Austauschs von CAx-Modelldaten	941
7.1.1	Datenaustausch als Teil der Produktentwicklung	941
7.1.2	Kopplung von CAx-Werkzeugen	942
7.1.3	Austauschbare Inhalte von CAx-Modellen	943
7.2	Neutralformate – Arten, Inhalte und Vorteile.....	946
7.2.1	Offene CAx-Datenformate für die 3D-Geometrieübertragung.....	946
7.2.1.1	ACIS (Dateiendung *.sat, *.acis).....	946
7.2.1.2	Parasolid (Dateiendung *.x_t, *.xt).....	947
7.2.1.3	Jupiter Tesselation JT (Dateiendung *.jt).....	947
7.2.1.4	STL (Dateiendung *.stl).....	947
7.2.1.5	Virtual Reality Markup Language VRML (Dateiendung *.vrml) und Extensible 3D X3D (Dateiendung *.x3dv)	948
7.2.2	Neutrale, standardisierte CAx-Datenformate für Produktdaten.....	948
7.2.2.1	Initial Graphics Exchange Standard IGES (Dateiendung *.igs, *.iges)	948
7.2.2.2	Standard for the Exchange of Product (Model) Data STEP (Dateiendung *.stp, *.step)	948
7.2.3	Vor- und Nachteile neutraler CAx-Formate.....	951
7.2.3.1	Datenkonsistenz.....	951
7.2.3.2	Umfang der austauschbaren Daten	951
7.2.3.3	Komplexität und Flexibilität.....	951
7.3	Datenaustausch in der betrieblichen Praxis.....	952
7.3.1	Normen, Richtlinien und Best Practices.....	952
7.3.1.1	Datenaustausch nach VDA – Vereinbarungen, Vorgehen, Inhalte.....	952
7.3.1.2	Datenaustausch nach DIN 4003-1 ff.....	955
7.3.2	Allgemeine Vorgehenshilfen für die Verwendung neutraler CAx-Datenformate	956
7.3.2.1	Anforderungsklärung im CAx-Datenaustausch	956
7.3.2.2	Kriterien für die Formatauswahl	956
7.4	Weiterführende Informationen.....	956
8	Workflowunterstützung in der Produktentwicklung.....	959
<i>Kristin Paetzold</i>		
8.1	Einleitung	961
8.2	Grundlagen zur Beschreibung von Konstruktionsprozessen	962
8.2.1	Eine Charakterisierung von Entwicklungsprozessen	962
8.2.2	Systemtheoretische Überlegungen für Konstruktionsprozesse	965
8.3	Workflowbetrachtungen für die Konstruktion	969
8.3.1	Grundlagen für die Workflowunterstützung.....	969
8.3.2	Workflowbetrachtungen im Kontext von Konstruktionsprozessen	970
8.3.2.1	Ein 3-Ebenen-Modell zur flexiblen Prozessbeschreibung in der Konstruktion	971
8.3.2.2	Anpassung des Prozessmodells an die Bedingungen im Unternehmen.....	973
8.3.2.3	Rechnerunterstützung für die Workflowanwendung	974
8.3.3	Zur Vervollständigung der Prozessbeschreibung	974
8.3.3.1	Prozesse und Organisation	975
8.3.3.2	Datenverwaltung und Werkzeugeinsatz.....	976

8.3.3.3	Produktdaten	977
8.3.3.4	Prozessdaten	977
8.3.3.5	Methoden und Handhabung.....	977
8.4	Ausblick.....	978
8.5	Weiterführende Informationen.....	979

TEIL V Produktion und Management 981

1	Nummerung und Stücklisten.....	983
<i>Reinhard Hackenschmidt</i>		
1.1	Nummerung	985
1.1.1	Anforderungen.....	985
1.1.2	Gestaltung.....	986
1.1.3	Aufbau	988
1.1.4	Fehler und Fehlerarten.....	990
1.1.5	Fehlererkennung und -vermeidung.....	991
1.2	Stücklisten.....	993
1.2.1	Mengenübersichts-Stücklisten	994
1.2.2	Baukasten-Stücklisten	994
1.2.3	Struktur-Stücklisten	996
1.2.4	Varianten-Stücklisten.....	997
1.2.5	Stücklistenverwendung in der SAP R/3 Produktionsplanung und -steuerung	997
1.3	Weiterführende Informationen.....	998
2	Spanende Fertigung.....	1001
<i>Bernd Rosemann</i>		
2.1	Einleitung	1003
2.2	Produkte und deren Fertigung.....	1003
2.2.1	Produkterstellung.....	1003
2.2.2	Fertigungsverfahren	1004
2.3	Fertigungsverfahren des Zerspanens	1005
2.3.1	Einordnung und Einsatz spanender Fertigungsverfahren.....	1005
2.3.2	Verhältnisse beim Spanprozess und der Spanbildung.....	1007
2.3.3	Spanen mit geometrisch bestimmten Schneiden.....	1008
2.3.4	Übersicht der Verfahren des Spanens mit geometrisch bestimmten Schneiden	1009
2.3.5	Spanen mit geometrisch unbestimmten Schneiden	1012
2.3.6	Übersicht der Verfahren des Spanens mit geometrisch unbestimmten Schneiden	1013
2.4	Entwickeln fertigungsgerechter Produkte: Design for Manufacturing.....	1016
2.4.1	Fertigungs- und verfahrensgerechte Produktgestaltung.....	1016
2.4.2	Fertigungsgerechtes Gestalten im Konstruktionsablauf	1016

2.5 Fertigungsgerechte Werkstückgestaltung	1016
2.5.1 Fertigungsgerechte Werkstoffwahl.....	1017
2.5.2 Auswahl von Fertigungsverfahren	1020
2.5.3 Gestaltungsrichtlinien für die Grobgestalt.....	1022
2.5.4 Gestaltungsrichtlinien für die Feingestalt	1028
2.5.5 Gestaltungshinweise für verfahrensgerechte Bauteilkonstruktionen	1030
2.5.5.1 Drehen.....	1031
2.5.5.2 Bohren, Senken und Gewindeschneiden.....	1034
2.5.5.3 Fräsen	1038
2.5.5.4 Schleifen.....	1040
2.6 Trends	1042
2.6.1 Hochgeschwindigkeitsfräsen statt Senkerodieren.....	1042
2.6.2 Hartdrehen anstelle Schleifen.....	1043
2.6.3 Komplettbearbeitung und Drehfräsen statt Drehen	1043
2.6.4 Multiprozessbearbeitung	1044
2.7 Zusammenfassung und Ausblick.....	1046
2.8 Weiterführende Informationen.....	1046
3 Umformen	1049
<i>Edmund Böhm</i>	
3.1 Einführung	1051
3.1.1 Was ist „Umformen“?.....	1051
3.1.2 Einteilung der Umformverfahren	1051
3.1.3 Verfahrensübersicht	1052
3.2 Werkstoffe und ihre Eigenschaften	1053
3.2.1 Werkstoffauswahl.....	1053
3.2.2 Formänderung	1053
3.2.3 Einflussfaktoren.....	1054
3.2.4 Blechprüfung.....	1055
3.3 Blechumformen.....	1056
3.3.1 Biegen.....	1056
3.3.2 Tiefziehen	1061
3.3.3 Streckziehen	1064
3.3.4 Drücken	1065
3.4 Massivumformen	1066
3.4.1 Schmieden	1066
3.4.2 Kaltfließpressen.....	1069
3.4.3 Strangpressen	1072
3.4.4 Walzen	1073
3.5 Besondere Umformverfahren	1076
3.6 Konstruktion und Fertigung.....	1079
3.6.1 Beispiel Teleskop-Hubvorrichtungen	1079
3.6.2 Beispiel Feinschneidetechnik	1081

3.6.3	Beispiel Kontaktstecker und Leadframes für die Elektronikindustrie.....	1082
3.6.4	Beispiel umformtechnisches Fügen	1082
3.6.5	Beispiele aus der Massivumformung.....	1084
3.6.6	Beispiel Kupplungslamellenträger	1085
3.7	Beispiele aus verschiedenen Branchen	1086
3.7.1	Allgemeiner Maschinenbau.....	1086
3.7.2	Stahl-(Hoch-)Bau.....	1088
3.7.3	Apparate- und Behälterbau.....	1089
3.7.4	Fahrzeugbau.....	1090
3.8	Weiterführende Informationen.....	1091
4	Fügetechnik – Schweißen (Schweißkonstruktionen)	1093
<i>Edmund Böhm</i>		
4.1	Einführung	1095
4.1.1	Was ist „Schweißen“?.....	1095
4.1.2	Einordnung in die Fertigungstechnik	1095
4.1.3	Systematische Einteilung	1095
4.2	Anwendungsgebiete	1095
4.2.1	Aufgabengebiete	1095
4.2.2	Anwendungsbereiche	1096
4.3	Schweißverfahren (Übersicht)	1097
4.3.1	Einteilung.....	1097
4.3.2	Schweißen von Metallen.....	1097
4.3.3	Schweißen von Kunststoffen.....	1099
4.4	Entwurf und Konstruktion	1100
4.4.1	Konstruktionsvorgaben	1100
4.4.1.1	Ausführungsmöglichkeiten	1100
4.4.2	Dokumentation	1100
4.4.3	Benennungen und Symbole.....	1101
4.4.4	Zeichnerische Darstellung	1101
4.4.5	Toleranzen bei Schweißverbindungen	1102
4.5	Gestaltungsprinzipien	1103
4.5.1	Schweißgerechte Gestaltung.....	1103
4.5.2	Prüfgerechte Gestaltung.....	1103
4.5.3	Fertigungsgerechte Gestaltung	1103
4.5.4	Korrosionsschutzgerechte Gestaltung	1103
4.5.5	Sicherheitsgerechte Gestaltung	1104
4.5.6	Umweltorientierte Gestaltung	1104
4.5.7	Kostenbewusste Gestaltung	1104
4.6	Berechnung von Schweißnähten	1104
4.6.1	Belastungen und Lastannahmen	1104
4.6.2	Belastungsarten	1104
4.6.3	Beanspruchungsarten.....	1105
4.6.4	Zusammengesetzte Spannungen	1105

4.7 Werkstoffauswahl	1106
4.7.1 Schweißeignung.....	1106
4.7.2 Stahl- und Eisenwerkstoffe	1106
4.7.3 Nichteisenmetalle.....	1107
4.7.3.1 Leichtmetalle	1107
4.7.3.2 Schwermetalle.....	1107
4.7.4 Nichtmetalle (Kunststoffe)	1107
4.7.5 Schweißzusatzstoffe	1108
4.8 Anforderungen an die Fertigung	1108
4.8.1 Arbeitsvorbereitung	1108
4.8.2 Geräte-/Maschinenausstattung.....	1108
4.8.3 Werkzeuge und Vorrichtungen	1108
4.8.4 Werkstoff-/Halbzeug-Logistik.....	1109
4.9 Ausführung von Schweißverbindungen	1109
4.9.1 Umwelteinflüsse bei der Herstellung	1109
4.9.2 Einflüsse auf die Schweißnaht	1109
4.10 Prüfung und Qualität von Schweißverbindungen	1110
4.10.1 Herstellungsbetrieb.....	1110
4.10.2 Schweißpersonal.....	1110
4.10.3 Verfahrensprüfungen.....	1110
4.10.4 Prüfverfahren	1110
4.10.5 Schweißnahtfehler.....	1111
4.11 Beispiele von Schweißkonstruktionen	1111
4.11.1 Allgemeiner Maschinenbau	1111
4.11.2 Stahl-(Hoch-)bau	1111
4.11.3 Apparate- und Behälterbau	1115
4.12 Weiterführende Informationen	1122
5 Fügetechnik – Kleben	1125
<i>Georges Romanos</i>	
5.1 Einleitung, Anwendungen	1127
5.2 Klebstoffe	1129
5.2.1 Chemisch abbindende Klebstoffe (Reaktionsklebstoffe)	1130
5.2.1.1 Polyadditionsklebstoffe.....	1130
5.2.1.2 Polymerisationsklebstoffe	1131
5.2.1.3 Polykondensationsklebstoffe	1132
5.2.2 Physikalisch abbindende Klebstoffe	1133
5.2.3 Kombinationsklebstoffe	1133
5.2.3.1 Reaktive Schmelzklebstoffe	1133
5.2.3.2 Weitere dual härtende Klebstoffe	1133
5.3 Herstellung von Klebverbindungen	1134
5.3.1 Oberflächenbehandlung	1134
5.3.2 Klebstoffverarbeitung	1135
5.3.3 Klebstoffauftragung	1136

5.3.4	Fügen, Fixieren	1137
5.3.5	Aushärtung (Verfestigung)	1138
5.3.6	Verarbeitung von Dichtstoffen	1139
5.3.7	Fertigungskontrolle.....	1139
5.4	Tragfähigkeitsverhalten	1139
5.4.1	Beanspruchungsbedingungen.....	1139
5.4.2	Temperatureinfluss, Zeitabhängigkeit.....	1141
5.4.3	Ermüdung bei schwingender Belastung.....	1141
5.4.4	Langzeitbeständigkeit, Umwelteinflüsse.....	1142
5.5	Dimensionierung, Festigkeitsnachweis	1142
5.5.1	Dimensionierungsgrundlagen	1142
5.5.2	Spannungsberechnung mithilfe von Näherungsmethoden	1144
5.5.3	Anwendung numerischer Methoden, Simulation	1144
5.6	Prüfung.....	1146
5.7	Gestaltungshinweise.....	1150
5.8	Weiterführende Informationen.....	1152