

<b>TEIL I Grundlagen</b>	<b>1</b>
<b>1 Metallische Werkstoffe</b>	<b>5</b>
<i>Uwe Glatzel, Florian Scherm</i>	
<b>1.1 Aufbau und charakteristische Merkmale der Metalle</b>	<b>6</b>
<b>1.2 Benennung von Werkstoffen</b>	<b>8</b>
<b>1.3 Eisen und Stahl</b>	<b>10</b>
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 Edlstähle (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
<b>1.4 Leichtmetalle</b>	<b>22</b>
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
<b>2</b>	<b>Kunststoffgerechtes Konstruieren von Spritzgießbauteilen</b> .....	<b>31</b>
	<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	Schraubdomes und Nocken .....	41
2.4.3	Angüsse.....	41
2.4.4	Bindenähte.....	42
2.4.5	Werkzeugentlüftung .....	42
<b>3</b>	<b>Konstruieren mit technischer Keramik</b> .....	<b>45</b>
	<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

<b>4</b>	<b>Festigkeitsrechnung</b> .....	<b>65</b>
	<i>Frank Rieg, Florian Nützel und Christoph Wehmann</i>	
<b>4.1</b>	<b>Grundlagen der Festigkeitsrechnung</b> .....	<b>67</b>
<b>4.2</b>	<b>Einachsige Beanspruchung</b> .....	<b>69</b>
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
<b>4.3</b>	<b>Mehrachsige Beanspruchung</b> .....	<b>74</b>
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
<b>4.4</b>	<b>Statische und dynamische Beanspruchung</b> .....	<b>80</b>
4.4.1	Lastfälle .....	80
4.4.2	Mehrachsige schwingende Beanspruchung einer Getriebewelle.....	81
4.4.3	Festigkeitshypothesen bei schwingender Beanspruchung .....	83
<b>4.5</b>	<b>Kerbwirkung</b> .....	<b>85</b>
4.5.1	Ruhende Beanspruchung, Formzahlen.....	85
4.5.2	Wechselnde Beanspruchung, Kerbwirkungszahlen .....	87
4.5.3	Kerbwirkung und Festigkeitshypothesen .....	88
<b>4.6</b>	<b>Oberflächen- und Größeneinfluss</b> .....	<b>88</b>
4.6.1	Einfluss des Oberflächenbeiwerts .....	88
4.6.2	Einfluss des Größenbeiwerts .....	89
4.6.3	Berechnung der Gestaltsfestigkeit.....	89
<b>4.7</b>	<b>Werkstoffeigenschaften</b> .....	<b>90</b>
4.7.1	Zugversuch und Spannungs-Dehnungs-Diagramm .....	90
4.7.2	Dauerschwingversuch und Wöhlerkurve.....	91
<b>4.8</b>	<b>Knickung und Beulung</b> .....	<b>93</b>
<b>4.9</b>	<b>Hertz'sche Pressung</b> .....	<b>95</b>
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
<b>4.10</b>	<b>Festigkeitsnachweis</b> .....	<b>98</b>
<b>4.11</b>	<b>Weiterführende Informationen</b> .....	<b>100</b>

<b>5</b>	<b>Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit</b>	103
	<i>Bernd Bertsche</i>	
<b>5.1</b>	<b>Betriebsfestigkeit</b>	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
<b>5.2</b>	<b>Systemzuverlässigkeit</b>	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
<b>5.3</b>	<b>Weiterführende Informationen</b>	128
<b>6</b>	<b>Maschinenelemente</b>	129
	<i>Klaus Brökel</i>	
<b>6.1</b>	<b>Systematik der Maschinen- und Konstruktionselemente</b>	131
<b>6.2</b>	<b>Verbindungselemente</b>	132
6.2.1	Schraubenverbindungen	132
6.2.2	Niete	136
6.2.3	Stift- und Bolzenverbindungen	139
<b>6.3</b>	<b>Lager- und Führungselemente</b>	142
6.3.1	Wälzlager	142
6.3.2	Gleitlager	146
6.3.3	Linearführungen	152
<b>6.4</b>	<b>Elemente zur Verbindung von Welle und Nabe</b>	156
6.4.1	Reibschlüssige Welle-Nabe-Verbindungen	156
6.4.2	Spannelementverbindungen	159
6.4.3	Formschlüssige Welle-Nabe-Verbindungen	161
<b>6.5</b>	<b>Achsen und Wellen</b>	163
<b>6.6</b>	<b>Gleichförmig übersetzende Getriebe</b>	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
<b>6.7</b>	<b>Elastische Elemente .....</b>	<b>179</b>
6.7.1	Federn .....	179
<b>6.8</b>	<b>Dichtungssysteme .....</b>	<b>185</b>
<b>6.9</b>	<b>Weiterführende Informationen.....</b>	<b>189</b>
<b>7</b>	<b>Technisches Zeichnen .....</b>	<b>193</b>
	<i>Gerhard Engelken</i>	
<b>7.1</b>	<b>Übersicht.....</b>	<b>195</b>
<b>7.2</b>	<b>Technisches Freihandzeichnen .....</b>	<b>195</b>
<b>7.3</b>	<b>Zeichnungen – Normen, Begriffe und Grundregeln .....</b>	<b>195</b>
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
<b>7.4</b>	<b>Zeichnung – Träger von Informationen .....</b>	<b>199</b>
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
<b>7.5</b>	<b>CAD – Computer Aided Design .....</b>	<b>209</b>
7.5.1	Die Nutzung von 2D-CAD-Systemen .....	209
7.5.2	Die Nutzung von 3D-CAD-Systemen .....	209
7.5.3	Normteilibibliotheken und Internetportale.....	210
<b>7.6</b>	<b>Weiterführende Informationen.....</b>	<b>212</b>

<b>8</b>	<b>Form- und Lagetoleranzen</b> .....	213
	<i>Wolfgang Schütte</i>	
<b>8.1</b>	<b>Notwendigkeit geometrischer Toleranzen</b> .....	216
8.1.1	Aufgaben der Zeichnungsdarstellung.....	216
8.1.2	Probleme der Zeichnungsdarstellung.....	216
8.1.3	Geometrische Produktspezifikationen.....	217
<b>8.2</b>	<b>Gestaltabweichungen</b> .....	218
<b>8.3</b>	<b>Tolerierungsgrundsatz</b> .....	220
8.3.1	Unabhängigkeitsprinzip.....	220
8.3.2	Hüllprinzip .....	222
<b>8.4</b>	<b>Grundlegende Definitionen zur Form- und Lagetolerierung</b> .....	223
8.4.1	Formtolerierung am Beispiel „gerade Kante“ .....	223
8.4.2	Lagetolerierung am Beispiel „parallele Kanten“ .....	224
<b>8.5</b>	<b>Zeichnungseintragung</b> .....	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
<b>8.6</b>	<b>Toleranzarten und Bezüge</b> .....	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	Orsttoleranzen .....	233
8.6.7	Lauftoleranzen .....	235
<b>8.7</b>	<b>Allgemeintoleranzen für Form und Lage</b> .....	235
<b>8.8</b>	<b>Methodische Festlegung von Form- und Lagetoleranzen</b> .....	235
<b>8.9</b>	<b>Weiterführende Informationen</b> .....	236
<b>9</b>	<b>Elektromechanische Antriebe</b> .....	237
	<i>Detmar Zimmer</i>	
<b>9.1</b>	<b>Grundlagen</b> .....	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
<b>9.2</b>	<b>Antriebsauslegung</b> .....	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
<b>9.3</b>	<b>Komponenten von Antriebssystemen .....</b>	<b>247</b>
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 Umgebungs konstruktion .....	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
<b>9.4</b>	<b>Antriebssysteme .....</b>	<b>264</b>
9.4.1	Berechnung .....	264
9.4.2	Funktionsintegration .....	265
9.4.3	Modularisierung.....	265
<b>9.5</b>	<b>Weiterführende Informationen.....</b>	<b>266</b>
<b>10</b>	<b>Steuerungen .....</b>	<b>269</b>
	<i>Gerhard Fischerauer</i>	
<b>10.1</b>	<b>Grundkonzepte der Leittechnik.....</b>	<b>271</b>
<b>10.2</b>	<b>Gliederungssystematik .....</b>	<b>273</b>
10.2.1	Steuerungshierarchie .....	273
10.2.2	Signalformen .....	274
10.2.3	Zeitverhalten .....	275
10.2.4	Energieformen .....	275
<b>10.3</b>	<b>Beschreibungsmethoden .....</b>	<b>277</b>
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
<b>10.4</b>	<b>Verbindungsprogrammierbare Steuerungen.....</b>	<b>280</b>
10.4.1	Schaltnetze für Verknüpfungssteuerungen .....	280
10.4.2	Schaltwerke für Ablaufsteuerungen.....	281

<b>10.5</b>	<b>Speicherprogrammierbare Steuerungen (SPS)</b>	282
<b>10.6</b>	<b>Kommunikation</b>	285
<b>10.7</b>	<b>Entwicklungstendenzen</b>	287
<b>10.8</b>	<b>Weiterführende Informationen</b>	288
<b>11</b>	<b>Mechatronik</b> <i>Gerhard Fischerauer</i>	291
<b>11.1</b>	<b>Grundbegriffe der Mechatronik</b>	293
<b>11.2</b>	<b>Modellbildung mechatronischer Systeme</b>	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
<b>11.3</b>	<b>Systemsimulation</b>	299
11.3.1	Mechanisches Beispiel: Einmassenschwinger	299
11.3.2	Elektromechanisches Beispiel: Elektromagnet	301
<b>11.4</b>	<b>Aktoren</b>	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
<b>11.5</b>	<b>Sensoren für mechatronische Systeme</b>	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
<b>11.6</b>	<b>Entwicklungstendenzen</b>	310
<b>11.7</b>	<b>Weiterführende Informationen</b>	310
<b>12</b>	<b>Maschinenakustik</b> <i>Joachim Bös, Holger Hanselka</i>	313
<b>12.1</b>	<b>Einführung</b>	315
<b>12.2</b>	<b>Grundbegriffe und Grundkonzepte der technischen Akustik</b>	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
<b>12.3</b>	<b>Mechanismen der Geräuscentstehung.....</b>	<b>335</b>
12.3.1	Direkte und indirekte Geräuscentstehung .....	335
12.3.2	Maschinenakustische Grundgleichung .....	335
12.3.3	Anregungskräfte.....	338
12.3.4	Körperschallfunktion .....	338
12.3.5	Abstrahlgrad.....	339
<b>12.4</b>	<b>Möglichkeiten der Geräuschkinderung .....</b>	<b>341</b>
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
<b>12.5</b>	<b>Weiterführende Informationen.....</b>	<b>346</b>
<b>13</b>	<b>Hydraulik .....</b>	<b>349</b>
	<i>Horst-Walter Grollius</i>	
<b>13.1</b>	<b>Aufbau eines Hydrosystems .....</b>	<b>352</b>
<b>13.2</b>	<b>Schaltpläne .....</b>	<b>353</b>
<b>13.3</b>	<b>Hydropumpen .....</b>	<b>355</b>
<b>13.4</b>	<b>Hydromotoren.....</b>	<b>356</b>
<b>13.5</b>	<b>Hydrozylinder .....</b>	<b>357</b>
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
<b>13.6</b>	<b>Hydroventile.....</b>	<b>360</b>
13.6.1	Wegeventile .....	361
13.6.2	Sperrventile.....	362
13.6.3	Druckventile.....	363
13.6.4	Stromventile .....	363
<b>13.7</b>	<b>Servoventile.....</b>	<b>364</b>
<b>13.8</b>	<b>Hydrauliköle .....</b>	<b>365</b>
<b>13.9</b>	<b>Zubehörteile.....</b>	<b>366</b>

13.10	Projektierung von Hydrosystemen .....	367
13.11	Weiterführende Informationen.....	367
<b>14</b>	<b>Pneumatik</b> .....	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	Grundsaltungen.....	386
14.8	Weiterführende Informationen.....	388
<b>TEIL II</b>	<b>Entwickeln und Konstruieren</b> .....	391
<b>1</b>	<b>Der allgemeine Konstruktionsprozess – Grundlagen des methodischen Konstruierens</b> .....	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

<b>1.5</b>	<b>Die Spezifikationsphase</b> .....	402
1.5.1	Lasten- und Pflichtenheft .....	403
1.5.2	Der Subprozess der Spezifikation.....	403
<b>1.6</b>	<b>Die Konzeptphase</b> .....	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
<b>1.7</b>	<b>Lösungsauswahl und -bewertung</b> .....	418
1.7.1	Punktebewertung .....	419
1.7.2	Technisch-wirtschaftliche Bewertung.....	419
1.7.3	Nutzwertanalyse.....	420
1.7.4	Schwachstellenanalyse.....	421
<b>1.8</b>	<b>Die Gestaltungsphase</b> .....	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
<b>1.9</b>	<b>Die Ausarbeitungsphase</b> .....	437
<b>1.10</b>	<b>Berechnungen und Versuche</b> .....	438
1.10.1	Auslegung.....	438
1.10.2	Verifikation.....	439
1.10.3	Validierung .....	439
<b>1.11</b>	<b>Schlussbemerkung</b> .....	439
<b>1.12</b>	<b>Weiterführende Informationen</b> .....	440
<b>2</b>	<b>Design for X (DFX)</b> .....	443
	<i>Harald Meerkamm, Sandro Wartzack, Stefan Bauer, Hartmut Krehmer, Andreas Stockinger und Michael Walter</i>	
<b>2.1</b>	<b>Einleitung</b> .....	445

<b>2.2</b>	<b>Grundlagen des DFX</b> .....	446
2.2.1	Definition des DFX .....	446
2.2.2	Komplexität des DFX .....	447
<b>2.3</b>	<b>Strukturierungsansätze</b> .....	447
2.3.1	Prozessorientierte Strukturierung .....	447
2.3.2	Hierarchische Strukturierung.....	448
<b>2.4</b>	<b>Vorstellung wichtiger Aspekte des DFX</b> .....	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
<b>2.5</b>	<b>Ansätze zur Beherrschung der Komplexität des DFX</b> .....	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
<b>2.6</b>	<b>Zusammenfassung</b> .....	461
<b>2.7</b>	<b>Weiterführende Informationen</b> .....	461
<b>3</b>	<b>Leichtbau</b> .....	465
	<i>Dieter Krause</i>	
<b>3.1</b>	<b>Einführung in die Produktentwicklung im konsequenten Leichtbau</b> .....	466
<b>3.2</b>	<b>Wissen im Leichtbau</b> .....	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
<b>3.3</b>	<b>Vorgehen zur Leichtbaukonstruktion</b> .....	471
3.3.1	Strategie zur Werkstoffwahl .....	472
3.3.2	Berechnungswerkzeuge im Leichtbau .....	474
3.3.3	Versuch.....	475
<b>3.4</b>	<b>Werkstoffe im Leichtbau</b> .....	476
3.4.1	Metalle.....	477
2.4.2	Faserkunststoffverbunde (FKV, auch Faserverbundkunststoff, FVK) .....	478
<b>3.5</b>	<b>Weiterführende Informationen</b> .....	483

<b>4</b>	<b>Recyclinggerechtes Konstruieren</b> .....	485
	<i>Joachim Crone, Bernd Rosemann und Markus Mörtl</i>	
<b>4.1</b>	<b>Überblick</b> .....	487
<b>4.2</b>	<b>Begriffe</b> .....	487
4.2.1	Recycling .....	487
4.2.2	Recyclinggerechtes Konstruieren im Kontext des Produktlebenszyklus .....	488
<b>4.3</b>	<b>Rahmenbedingungen</b> .....	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
<b>4.4</b>	<b>Entwicklung recyclinggerechter Produkte – Design for Recycling</b> .....	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
<b>4.5</b>	<b>Innovationsfeld Design for Recycling</b> .....	502
<b>4.6</b>	<b>Rechnerunterstützung im Produktlebenslauf</b> .....	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
<b>4.7</b>	<b>Ausblick</b> .....	506
<b>4.8</b>	<b>Weiterführende Informationen</b> .....	507

<b>5</b>	<b>Sicherheitsgerechte Maschinen</b> .....	511
	<i>Alfred Neudörfer</i>	
<b>5.1</b>	<b>Rechtliche Basis des sicherheitsgerechten Konstruierens</b> .....	513
5.1.1	EG-Maschinenrichtlinie.....	514
5.1.2	Normen und sicherheitsgerechtes Konstruieren .....	517
<b>5.2</b>	<b>Gefahren, Gefährdungen und Risiken an Maschinen</b> .....	519
5.2.1	Gefahrstellen .....	520
5.2.2	Risikobeurteilung.....	522
5.2.3	Praktische Durchführung von Risikobeurteilungen.....	522
<b>5.3</b>	<b>Konstruktionsmaßnahmen gegen stochastische Gefährdungen</b> .....	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
<b>5.4</b>	<b>Konstruktive Maßnahmen gegen deterministische Gefährdungen</b> .....	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
<b>5.5</b>	<b>Hinweisende Sicherheitstechnik</b> .....	539
<b>5.6</b>	<b>Sicherheitstechnische Besonderheiten großer Maschinen</b> .....	540
<b>5.7</b>	<b>Sicherheitsrelevante Befehlsgeräte</b> .....	540
5.7.1	Hauptbefehlseinrichtungen .....	540
5.7.2	Not-Befehlseinrichtungen .....	542
<b>5.8</b>	<b>Weiterführende Informationen</b> .....	543
<b>6</b>	<b>Ergonomiegerechtes Konstruieren</b> .....	545
	<i>Ralph Bruder, Bastian Kaiser</i>	
<b>6.1</b>	<b>Einleitung</b> .....	547
<b>6.2</b>	<b>Vorgehensweisen bei der ergonomischen Produktentwicklung</b> .....	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
<b>6.3</b>	<b>Fallbeispiel</b> .....	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
<b>7</b>	<b>Umweltgerechtes Konstruieren</b> .....	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	Umwetlabels.....	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
<b>8</b>	<b>Geräuschgerechtes Konstruieren</b> .....	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	<b>Modulare Produktstrukturierung</b> .....	659
	<i>Dieter Krause</i>	
9.1	<b>Begriffliche Grundlagen</b> .....	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	<b>Potentiale und Grenzen modularer Produktfamilien</b> .....	664
9.3	<b>Methoden zur Entwicklung modularer Produktfamilien</b> .....	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 Pimpler/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



<b>10</b>	<b>Design Matrix</b> .....	681
	<i>Frank Deubzer, Matthias Kreimeyer, Udo Lindemann und Maik Maurer</i>	
<b>10.1</b>	<b>Analyse und Planung komplexer Systeme</b> .....	681
10.1.1	Komplexität in der Entwicklung.....	681
10.1.2	Vernetzung in der Produktarchitektur – ein Beispiel.....	682
<b>10.2</b>	<b>Methoden zur Handhabung komplexer Systeme</b> .....	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
<b>10.3</b>	<b>Analyse und Synthese auf Basis matrix-basierter Methoden</b> .....	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
<b>10.4</b>	<b>Anwendungen von matrix-basierten Methoden</b> .....	692
10.4.1	Beispiel Produktarchitektur.....	692
10.4.2	Beispiel Prozess- und Projektmanagement.....	694
10.4.3	Beispiel Organisationsgestaltung.....	697
<b>10.5</b>	<b>Leistungsfähigkeit von Methoden im Umgang mit Komplexität</b> .....	698
10.5.1	Werkzeugunterstützung.....	698
10.5.2	Hinweise und Empfehlungen.....	699
<b>10.6</b>	<b>Weiterführende Informationen</b> .....	700

## **TEIL III Verfahren und Methoden**.....703

<b>1</b>	<b>Kostenrechnung in der Konstruktion</b> .....	705
	<i>Markus Mörtl</i>	
<b>1.1</b>	<b>Einführung</b> .....	707
<b>1.2</b>	<b>Märkte und deren Veränderung</b> .....	708
<b>1.3</b>	<b>Kostenverantwortung liegt in den frühen Phasen</b> .....	709
<b>1.4</b>	<b>Kostenrechnung und deren Grundlagen</b> .....	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
<b>1.5</b>	<b>Einflussmöglichkeiten zur Kostensenkung .....</b>	<b>715</b>
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
<b>1.6</b>	<b>Kostenschätzen und Kurzkalkulationsverfahren.....</b>	<b>719</b>
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
<b>1.7</b>	<b>Abkürzungen .....</b>	<b>723</b>
<b>1.8</b>	<b>Weiterführende Informationen.....</b>	<b>723</b>
<b>2</b>	<b>Gewerblicher Rechtsschutz .....</b>	<b>725</b>
	<i>Bettina Alber-Laukant</i>	
<b>2.1</b>	<b>Patente .....</b>	<b>729</b>
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
<b>2.2</b>	<b>Gebrauchsmuster.....</b>	<b>741</b>
<b>2.3</b>	<b>Geschmacksmuster .....</b>	<b>742</b>
<b>2.4</b>	<b>Gewerbliche Kennzeichen.....</b>	<b>744</b>
2.4.1	Marken .....	745

2.4.2	Unternehmensbezeichnungen .....	747
2.4.3	Geografische Herkunftsangaben.....	748
2.4.4	Markenrechtsverletzungen .....	748
<b>2.5</b>	<b>Weitere Schutzrechte .....</b>	<b>748</b>
2.5.1	Urheberrecht .....	748
2.5.2	Topografie .....	749
2.5.3	Software .....	749
<b>2.6</b>	<b>Online-Recherche­möglichkeiten für Schutzrechte .....</b>	<b>749</b>
<b>2.7</b>	<b>Weiterführende Informationen.....</b>	<b>750</b>
<b>3</b>	<b>Service Engineering .....</b>	<b>751</b>
	<i>Rolf Steinhilper</i>	
<b>3.1</b>	<b>Service Engineering – was ist das?.....</b>	<b>753</b>
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
<b>3.2</b>	<b>Service Engineering für Konsumgüter.....</b>	<b>758</b>
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
<b>3.3</b>	<b>Service Engineering für Automobile.....</b>	<b>763</b>
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
<b>3.4</b>	<b>Service Engineering für Investitionsgüter .....</b>	<b>774</b>
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
<b>3.5</b>	<b>Instandhaltungsgerechtes Konstruieren .....</b>	<b>777</b>
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

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

<b>5</b>	<b>Reverse Engineering</b> .....	811
	<i>Bernd Rosemann, Stefan Freiburger</i>	
<b>5.1</b>	<b>Zweck und Einsatz des Reverse Engineering</b> .....	813
<b>5.2</b>	<b>Technologische Voraussetzungen, Vorgehensweise und technische Anwendungsgrenzen</b> .....	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
<b>5.3</b>	<b>Anwendung des Reverse Engineering</b> .....	821
<b>5.4</b>	<b>Rechtliche Aspekte des Reverse Engineering</b> .....	821
<b>5.5</b>	<b>Weiterführende Informationen</b> .....	821
<b>TEIL IV</b>	<b>Computereinsatz</b> .....	823
<b>1</b>	<b>Konstruieren mit CAD</b> .....	825
	<i>Reinhard Hackenschmidt</i>	
<b>1.1</b>	<b>CAD-Grundlagen</b> .....	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
<b>1.2</b>	<b>Funktionsübersicht CAD-Systeme</b> .....	833
1.2.1	Designstadium .....	833
1.2.2	Modellierungsphase.....	835
1.2.3	Weiterführende Werkzeuge .....	837
<b>1.3</b>	<b>Datenqualität</b> .....	838
1.3.1	Austausch von CAD-Modellen .....	839
1.3.2	Qualitätssicherung im CAD-Bereich.....	840
1.3.3	Organisatorische Lösungen .....	842
<b>1.4</b>	<b>Weiterführende Entwicklungen</b> .....	844
<b>1.5</b>	<b>Weiterführende Informationen</b> .....	844
<b>2</b>	<b>Finite-Elemente-Analyse</b> .....	847
	<i>Bernd Roith, Martin Neidnicht und Frank Rieg</i>	
<b>2.1</b>	<b>Einleitung</b> .....	849

<b>2.2</b>	<b>Das grundsätzliche Vorgehen.....</b>	<b>851</b>
<b>2.3</b>	<b>Beispiele für typische Einsatzgebiete der FEA.....</b>	<b>858</b>
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
<b>2.4</b>	<b>Weiterführende Informationen.....</b>	<b>871</b>
<b>3</b>	<b>CNC-Produktion .....</b>	<b>873</b>
	<i>Stefan Freiburger, Bernd Rosemann</i>	
<b>3.1</b>	<b>Einführung in CNC.....</b>	<b>875</b>
<b>3.2</b>	<b>CNC-Maschinen in Produktion und Montage.....</b>	<b>875</b>
<b>3.3</b>	<b>Funktionen von CNC-Maschinen .....</b>	<b>876</b>
<b>3.4</b>	<b>Positionserkennung .....</b>	<b>877</b>
<b>3.5</b>	<b>CNC-Programm.....</b>	<b>878</b>
<b>3.6</b>	<b>Simulation in der NC-Fertigung .....</b>	<b>882</b>
<b>3.7</b>	<b>Weiterführende Informationen.....</b>	<b>884</b>
<b>4</b>	<b>Simulation.....</b>	<b>887</b>
	<i>Bettina Alber-Laukant, Martin Neidnicht und Bernd Roith</i>	
<b>4.1</b>	<b>Computergestützte Simulationswerkzeuge.....</b>	<b>890</b>
<b>4.2</b>	<b>Computer-Aided-x: CAx.....</b>	<b>891</b>
<b>4.3</b>	<b>Vorgehensweise bei einer Simulation.....</b>	<b>892</b>
<b>4.4</b>	<b>Modellbildung.....</b>	<b>894</b>
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
<b>4.5</b>	<b>Qualität, Ergebnisse und Prognosefähigkeit der Simulation.....</b>	<b>904</b>
<b>4.6</b>	<b>Weiterführende Informationen.....</b>	<b>906</b>

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

<b>7</b>	<b>3D-Datenaustausch und Datenformate in der Produktentwicklung</b> .....	939
	<i>Alexander Troll</i>	
<b>7.1</b>	<b>Grundlagen des Austauschs von CAX-Modelldaten</b> .....	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
<b>7.2</b>	<b>Neutralformate – Arten, Inhalte und Vorzüge</b> .....	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 *.vrmf) 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
<b>7.3</b>	<b>Datenaustausch in der betrieblichen Praxis</b> .....	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
<b>7.4</b>	<b>Weiterführende Informationen</b> .....	956
<b>8</b>	<b>Workflowunterstützung in der Produktentwicklung</b> .....	959
	<i>Kristin Paetzold</i>	
<b>8.1</b>	<b>Einleitung</b> .....	961
<b>8.2</b>	<b>Grundlagen zur Beschreibung von Konstruktionsprozessen</b> .....	962
8.2.1	Eine Charakterisierung von Entwicklungsprozessen .....	962
8.2.2	Systemtheoretische Überlegungen für Konstruktionsprozesse .....	965
<b>8.3</b>	<b>Workflowbetrachtungen für die Konstruktion</b> .....	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**

<b>1</b>	<b>Nummerung und Stücklisten .....</b>	<b>983</b>
	<i>Reinhard Hackenschmidt</i>	
<b>1.1</b>	<b>Nummerung .....</b>	<b>985</b>
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
<b>1.2</b>	<b>Stücklisten .....</b>	<b>993</b>
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
<b>1.3</b>	<b>Weiterführende Informationen.....</b>	<b>998</b>
<b>2</b>	<b>Spanende Fertigung.....</b>	<b>1001</b>
	<i>Bernd Rosemann</i>	
<b>2.1</b>	<b>Einleitung .....</b>	<b>1003</b>
<b>2.2</b>	<b>Produkte und deren Fertigung.....</b>	<b>1003</b>
2.2.1	Produkterstellung.....	1003
2.2.2	Fertigungsverfahren .....	1004
<b>2.3</b>	<b>Fertigungsverfahren des Zerspanens .....</b>	<b>1005</b>
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
<b>2.4</b>	<b>Entwickeln fertigungsgerechter Produkte: Design for Manufacturing.....</b>	<b>1016</b>
2.4.1	Fertigungs- und verfahrensgerechte Produktgestaltung.....	1016
2.4.2	Fertigungsgerechtes Gestalten im Konstruktionsablauf .....	1016

<b>2.5</b>	<b>Fertigungsgerechte Werkstückgestaltung .....</b>	<b>1016</b>
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
<b>2.6</b>	<b>Trends .....</b>	<b>1042</b>
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
<b>2.7</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick .....</b>	<b>1046</b>
<b>2.8</b>	<b>Weiterführende Informationen.....</b>	<b>1046</b>
<b>3</b>	<b>Umformen .....</b>	<b>1049</b>
	<i>Edmund Böhm</i>	
<b>3.1</b>	<b>Einführung .....</b>	<b>1051</b>
3.1.1	Was ist „Umformen“?.....	1051
3.1.2	Einteilung der Umformverfahren .....	1051
3.1.3	Verfahrensübersicht .....	1052
<b>3.2</b>	<b>Werkstoffe und ihre Eigenschaften .....</b>	<b>1053</b>
3.2.1	Werkstoffauswahl .....	1053
3.2.2	Formänderung .....	1053
3.2.3	Einflussfaktoren.....	1054
3.2.4	Blechprüfung.....	1055
<b>3.3</b>	<b>Blechumformen.....</b>	<b>1056</b>
3.3.1	Biegen.....	1056
3.3.2	Tiefziehen .....	1061
3.3.3	Streckziehen.....	1064
3.3.4	Drücken.....	1065
<b>3.4</b>	<b>Massivumformen.....</b>	<b>1066</b>
3.4.1	Schmieden .....	1066
3.4.2	Kaltfließpressen.....	1069
3.4.3	Strangpressen .....	1072
3.4.4	Walzen .....	1073
<b>3.5</b>	<b>Besondere Umformverfahren .....</b>	<b>1076</b>
<b>3.6</b>	<b>Konstruktion und Fertigung.....</b>	<b>1079</b>
3.6.1	Beispiel Teleskop-Hubvorrichtungen .....	1079
3.6.2	Beispiel Feinschneidtechnik.....	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	<b>Beispiele aus verschiedenen Branchen</b> .....	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	<b>Weiterführende Informationen</b> .....	1091
4	<b>Fügetechnik – Schweißen (Schweißkonstruktionen)</b> .....	1093
	<i>Edmund Böhm</i>	
4.1	<b>Einführung</b> .....	1095
4.1.1	Was ist „Schweißen“? .....	1095
4.1.2	Einordnung in die Fertigungstechnik .....	1095
4.1.3	Systematische Einteilung .....	1095
4.2	<b>Anwendungsgebiete</b> .....	1095
4.2.1	Aufgabengebiete .....	1095
4.2.2	Anwendungsbereiche .....	1096
4.3	<b>Schweißverfahren (Übersicht)</b> .....	1097
4.3.1	Einteilung .....	1097
4.3.2	Schweißen von Metallen .....	1097
4.3.3	Schweißen von Kunststoffen .....	1099
4.4	<b>Entwurf und Konstruktion</b> .....	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	<b>Gestaltungsgrundsätze</b> .....	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	<b>Berechnung von Schweißnähten</b> .....	1104
4.6.1	Belastungen und Lastannahmen .....	1104
4.6.2	Belastungsarten .....	1104
4.6.3	Beanspruchungsarten .....	1105
4.6.4	Zusammengesetzte Spannungen .....	1105

<b>4.7</b>	<b>Werkstoffauswahl .....</b>	<b>1106</b>
4.7.1	Schweißbeignung.....	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
<b>4.8</b>	<b>Anforderungen an die Fertigung.....</b>	<b>1108</b>
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
<b>4.9</b>	<b>Ausführung von Schweißverbindungen.....</b>	<b>1109</b>
4.9.1	Umwelteinflüsse bei der Herstellung.....	1109
4.9.2	Einflüsse auf die Schweißnaht .....	1109
<b>4.10</b>	<b>Prüfung und Qualität von Schweißverbindungen .....</b>	<b>1110</b>
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
<b>4.11</b>	<b>Beispiele von Schweißkonstruktionen .....</b>	<b>1111</b>
4.11.1	Allgemeiner Maschinenbau.....	1111
4.11.2	Stahl-(Hoch-)bau .....	1111
4.11.3	Apparate- und Behälterbau.....	1115
<b>4.12</b>	<b>Weiterführende Informationen.....</b>	<b>1122</b>
<b>5</b>	<b>Fügetechnik – Kleben .....</b>	<b>1125</b>
	<i>Georges Romanos</i>	
<b>5.1</b>	<b>Einleitung, Anwendungen.....</b>	<b>1127</b>
<b>5.2</b>	<b>Klebstoffe .....</b>	<b>1129</b>
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
<b>5.3</b>	<b>Herstellung von Klebverbindungen.....</b>	<b>1134</b>
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
<b>5.4</b>	<b>Tragfähigkeitsverhalten</b> .....	<b>1139</b>
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
<b>5.5</b>	<b>Dimensionierung, Festigkeitsnachweis</b> .....	<b>1142</b>
5.5.1	Dimensionierungsgrundlagen .....	1142
5.5.2	Spannungsberechnung mithilfe von Näherungsmethoden .....	1144
5.5.3	Anwendung numerischer Methoden, Simulation .....	1144
<b>5.6</b>	<b>Prüfung</b> .....	<b>1146</b>
<b>5.7</b>	<b>Gestaltungshinweise</b> .....	<b>1150</b>
<b>5.8</b>	<b>Weiterführende Informationen</b> .....	<b>1152</b>