

<b>Autorenverzeichnis .....</b>	<b>XV</b>
<b>Vorwort .....</b>	<b>XVII</b>
<b>1 Einleitung .....</b>	<b>1</b>
1.1 Literaturverzeichnis .....	4
<b>2 Urformen .....</b>	<b>5</b>
2.1 Einführung .....	5
2.1.1 Einordnung des Urformens in die Fertigungstechnik .....	5
2.1.2 Einordnung in den Einzelteiltragsprozess .....	6
2.1.3 Blockgießen .....	7
2.1.4 Stranggießen .....	7
2.1.5 Formgießen .....	8
2.1.6 Gussabnehmer .....	9
2.2 Verfahrensprinzipien beim Formgießen .....	9
2.2.1 Einleitung .....	9
2.2.2 Gieß- bzw. Formverfahren .....	10
2.2.3 Gussteilherstellung in Formen für den einmaligen Gebrauch ..	10
2.2.3.1 Einleitung .....	10
2.2.3.2 Handformerei .....	12
2.2.3.3 Maschinenformerei .....	14
2.2.3.4 Spezialformverfahren .....	15
2.2.3.5 Generative Fertigungsverfahren zur Gussteilerzeugung .....	21
2.2.4 Gussteilherstellung in Formen für den mehrmaligen Gebrauch (Dauerformen) .....	24
2.2.4.1 Einleitung .....	24
2.2.4.2 Schwerkraftkokillengießverfahren .....	25
2.2.4.3 Druckgießverfahren .....	26

2.2.4.4	Arten von Druckgießmaschinen .....	27
2.2.4.5	Verfahrensablauf beim Druckgießen .....	27
2.2.4.6	Thixogießverfahren .....	28
2.2.4.7	Niederdruckgießverfahren .....	29
2.2.4.8	Schleudergießverfahren .....	30
2.3	Gusswerkstoffe .....	31
2.3.1	Einführung .....	31
2.3.2	Kennzeichnende Kenngrößen der Gusswerkstoffe .....	31
2.3.2.1	Niedrige Gießtemperatur .....	33
2.3.2.2	Fließ- und Formfüllungsvermögen .....	34
2.3.2.3	Volumenänderung beim Schmelzen und Erstarren ..	35
2.3.3	Arten von Gusswerkstoffen .....	36
2.3.3.1	Gusseisenwerkstoffe .....	36
2.3.3.2	Stahlguss .....	37
2.3.3.3	Aluminium- und Magnesiumgusswerkstoffe .....	37
2.3.3.4	Kupfergusswerkstoffe .....	37
2.3.3.5	Mechanische Kennwerte wichtiger Gusswerkstoffe ..	38
2.4	Gussteilgestaltung .....	38
2.5	Literaturverzeichnis .....	44
<b>3</b>	<b>Umformen .....</b>	<b>47</b>
3.1	Begriffe, Ordnungsgesichtspunkte .....	47
3.1.1	Definitionen und Abgrenzung .....	47
3.1.2	Einordnungskriterien .....	47
3.2	Ausgewählte Grundlagen der Umformtechnik .....	51
3.2.1	Plastomechanische Grundlagen .....	51
3.2.2	Werkstoffaufbau .....	57
3.2.3	Kristallbaufehler .....	61
3.2.4	Fließkurve .....	63
3.3	Typische Prozesse und Verfahren der umformenden Halbzeugfertigung .....	69
3.3.1	Wichtige Prozessketten der Halbzeugfertigung .....	69
3.3.2	Ausgewählte Umformverfahren zur Halbzeugfertigung .....	71
3.3.2.1	Verfahrensübersicht Walzen .....	71
3.3.2.2	Verfahrensübersicht Freiformen .....	73
3.3.2.3	Verfahrensübersicht Durchdrücken – Strangpressen .....	76
3.3.2.4	Verfahrensübersicht Durchziehen .....	78
3.3.2.5	Verfahrensübersicht Biegeumformen .....	80

<b>3.4 Ausgewählte Teilefertigungsverfahren der Massivumformung .....</b>	<b>81</b>
<b>3.4.1 Stauchen .....</b>	<b>81</b>
<b>3.4.1.1 Verfahrensübersicht Stauchen .....</b>	<b>81</b>
<b>3.4.1.2 Bedeutung und Besonderheiten des Stauchens .....</b>	<b>83</b>
<b>3.4.2 Freiformschmieden und Rundkneten (Feinschmieden, Rundhämmern) .....</b>	<b>85</b>
<b>3.4.2.1 Verfahrensübersicht Freiformschmieden .....</b>	<b>85</b>
<b>3.4.2.2 Bedeutung und Besonderheiten des Freiformschmiedens .....</b>	<b>86</b>
<b>3.4.2.3 Verfahrensübersicht Rundkneten .....</b>	<b>87</b>
<b>3.4.2.4 Bedeutung und Besonderheiten des Rundknetens ...</b>	<b>87</b>
<b>3.4.3 Gesenkschmieden und Warmpressen .....</b>	<b>88</b>
<b>3.4.3.1 Verfahrensübersicht Gesenkschmieden und Warmpressen mit Grat .....</b>	<b>88</b>
<b>3.4.3.2 Verfahrensübersicht Gesenkschmieden und Warmpressen ohne Grat .....</b>	<b>90</b>
<b>3.4.3.3 Verfahrensübersicht zur Herstellung der Anfangsformen und Massenverteilungs-Zwischenformen für das Gesenkschmieden und Warmpressen .....</b>	<b>92</b>
<b>3.4.3.4 Bedeutung und Besonderheiten des Gesenkschmiedens und Warmpressens .....</b>	<b>95</b>
<b>3.4.4 Kaltfließpressen und Kaltschmieden .....</b>	<b>98</b>
<b>3.4.4.1 Verfahrensübersicht Kaltfließpressen und Kaltschmieden .....</b>	<b>99</b>
<b>3.4.4.2 Bedeutung und Besonderheiten des Kaltfließpressens und Kaltschmiedens .....</b>	<b>103</b>
<b>3.4.5 Walzverfahren der Teilefertigung .....</b>	<b>105</b>
<b>3.4.5.1 Verfahrensübersicht Walzverfahren zur Erzeugung bzw. Veränderung von Werkstückgrundformen .....</b>	<b>106</b>
<b>3.4.5.2 Verfahrensübersicht Walzverfahren zur Erzeugung von Nebenformen .....</b>	<b>112</b>
<b>3.4.5.3 Verfahrensübersicht Walzverfahren zur Feinbearbeitung von Oberflächen .....</b>	<b>114</b>
<b>3.5 Ausgewählte Teilefertigungsverfahren der Blechumformung .....</b>	<b>115</b>
<b>3.5.1 Verfahren zur Herstellung ebener Blechformteile durch Trennverfahren .....</b>	<b>115</b>
<b>3.5.1.1 Verfahrensübersicht Zerteilverfahren .....</b>	<b>116</b>
<b>3.5.1.2 Bedeutung und Besonderheiten des Scherschneidens .....</b>	<b>118</b>
<b>3.5.2 Verfahren zur Herstellung räumlicher Blechformteile .....</b>	<b>121</b>

3.5.2.1	Verfahrensübersicht Zug-Druck-Umformverfahren zur Erzeugung bzw. Veränderung räumlicher Blechformteile .....	121
3.5.2.2	Verfahrensübersicht Druck-Umformverfahren zur Erzeugung bzw. Veränderung räumlicher Blechformteile .....	126
3.5.2.3	Verfahrensübersicht Zug-Umformverfahren zur Erzeugung bzw. Veränderung räumlicher Blechformteile .....	129
3.5.2.4	Verfahrensübersicht Biege-Umformverfahren zur Erzeugung bzw. Veränderung räumlicher Blechformteile .....	132
3.6	Literaturverzeichnis .....	134
<b>4</b>	<b>Trennen .....</b>	<b>137</b>
4.1	Definition und Einteilung .....	137
4.2	Trennen durch Spanen .....	138
4.2.1	Entwicklung und Bedeutung .....	139
4.2.2	Grundbegriffe beim Spanen .....	140
4.2.2.1	Kinematik und Geometrie des Spanungsvorganges ..	141
4.2.2.2	Geometrie am Schneidteil spanender Werkzeuge ..	146
4.2.3	Spanbildung .....	150
4.2.3.1	Vorgänge bei der Spanbildung .....	150
4.2.3.2	Spanarten und Spanformen .....	151
4.2.4	Kräfte beim Spanen .....	154
4.2.4.1	Bedeutung .....	154
4.2.4.2	Spanungskraft und Spanungskraftkomponenten ....	154
4.2.4.3	Einflussgrößen auf die Kräfte .....	155
4.2.5	Werkzeugverschleiß und Werkzeugstandzeit .....	157
4.2.5.1	Verschleißursachen und Verschleißarten .....	157
4.2.5.2	Verschleißformen und Messgrößen .....	158
4.2.5.3	Standbegriffe .....	159
4.2.5.4	Standzeitermittlung .....	160
4.2.6	Werkzeugschneidstoffe für Werkzeuge mit geometrisch bestimmter Schneide .....	163
4.2.7	Kühlschmierstoffe .....	166
4.2.8	Spanen mit geometrisch bestimmten Schneiden .....	168
4.2.8.1	Drehen .....	168
4.2.8.2	Fräsen .....	170
4.2.8.3	Bohren, Senken, Reiben .....	173
4.2.8.4	Hobeln und Stoßen .....	176
4.2.8.5	Räumen .....	178

4.2.9	Spanen mit geometrisch unbestimmten Schneiden .....	180
4.2.9.1	Schleifen mit rotierenden Werkzeugen .....	180
4.2.9.2	Honen .....	186
4.2.9.3	Läppen .....	189
4.2.10	Zeit-, Kraft- und Leistungsberechnung bei ausgewählten Verfahren .....	191
4.2.10.1	Hauptzeitberechnung .....	191
4.2.10.2	Kraft- und Leistungsberechnung Drehen .....	193
4.2.10.3	Kraft- und Leistungsberechnung Fräsen .....	196
4.2.10.4	Kraft- und Leistungsberechnung Schleifen .....	201
4.2.11	Spezielle Entwicklungen .....	203
4.2.11.1	Ultraschallunterstützte Zerspanung .....	203
4.2.11.2	Kryogene Zerspanung .....	205
4.3	Trennen durch Abtragen .....	206
4.3.1	Funkenerosion .....	208
4.3.1.1	Grundlagen .....	209
4.3.1.2	Anlagentechnik zum funkenerosiven Schneiden .....	211
4.3.1.3	Anlagentechnik zum funkenerosiven Senken .....	213
4.3.2	Wasserstrahltechnologie .....	221
4.3.2.1	Verfahrensgrundlage .....	222
4.3.2.2	Anlagentechnik .....	225
4.3.2.3	Verfahrensmerkmale (Kerbtiefe, Schnittfläche, Schnittfuge) .....	229
4.3.2.4	Anwendungsgebiete .....	231
4.3.2.5	Zusammenfassung der Vor- und Nachteile des Verfahrens .....	231
4.3.3	Autogenes Brennschneiden .....	232
4.3.3.1	Verfahrensmerkmale und Anwendungshinweise .....	232
4.3.3.2	Anwendungsbereich – Vergleich zu anderen Trennverfahren .....	234
4.3.4	Laserstrahlschneiden .....	235
4.3.4.1	Verfahrensmerkmale und Anwendungshinweise .....	235
4.3.4.2	Anwendungsbereich – Vergleich zu anderen Trennverfahren .....	237
4.3.5	Plasmuschneiden .....	238
4.3.5.1	Verfahrensmerkmale und Anwendungshinweise .....	238
4.3.5.2	Anwendungsbereich – Vergleich zu anderen Trennverfahren .....	240
4.4	Literaturverzeichnis .....	241

<b>5 Fügen .....</b>	<b>245</b>
<b>5.1 Einführung in die Fügetechnik .....</b>	<b>245</b>
<b>5.1.1 Einteilung der Fügeverfahren .....</b>	<b>245</b>
<b>5.1.2 Wirkprinzipien beim Fügen .....</b>	<b>246</b>
<b>5.1.3 Fügbarkeit .....</b>	<b>247</b>
<b>5.2 Zusammensetzen .....</b>	<b>248</b>
<b>5.3 Füllen .....</b>	<b>250</b>
<b>5.4 An- und Einpressen .....</b>	<b>251</b>
<b>5.4.1 Überblick .....</b>	<b>251</b>
<b>5.4.2 Schrauben .....</b>	<b>252</b>
<b>5.4.3 Fügen durch Pressverbindung .....</b>	<b>256</b>
<b>5.5 Fügen durch Urformen .....</b>	<b>258</b>
<b>5.6 Fügen durch Umformen .....</b>	<b>260</b>
<b>5.6.1 Überblick .....</b>	<b>260</b>
<b>5.6.2 Fügen durch Umformen drahtförmiger Körper .....</b>	<b>261</b>
<b>5.6.3 Fügen durch Umformen bei Blech-, Rohr- und Profilteilen .....</b>	<b>261</b>
<b>5.6.3.1 Überblick .....</b>	<b>261</b>
<b>5.6.3.2 Bördeln und Falzen .....</b>	<b>263</b>
<b>5.6.3.3 Durchsetzfügen .....</b>	<b>264</b>
<b>5.6.3.4 Fließlochformendes Schrauben .....</b>	<b>265</b>
<b>5.6.4 Fügen durch Nietverfahren .....</b>	<b>266</b>
<b>5.6.4.1 Überblick .....</b>	<b>266</b>
<b>5.6.4.2 Stanznieten .....</b>	<b>267</b>
<b>5.6.4.3 Nieten .....</b>	<b>269</b>
<b>5.6.4.4 Blindnieten .....</b>	<b>270</b>
<b>5.6.4.5 Schließbringnieten .....</b>	<b>271</b>
<b>5.7 Fügen durch Schweißen .....</b>	<b>272</b>
<b>5.7.1 Überblick .....</b>	<b>272</b>
<b>5.7.2 Pressschweißen .....</b>	<b>273</b>
<b>5.7.2.1 Überblick .....</b>	<b>273</b>
<b>5.7.2.2 Pressschweißen durch elektrische Gasentladung .....</b>	<b>274</b>
<b>5.7.2.3 Pressschweißen durch Bewegung von Masse .....</b>	<b>276</b>
<b>5.7.2.4 Pressschweißen durch elektrischen Strom .....</b>	<b>278</b>
<b>5.7.2.5 Diffusionsschweißen .....</b>	<b>281</b>
<b>5.7.3 Schmelzschweißen .....</b>	<b>282</b>
<b>5.7.3.1 Überblick .....</b>	<b>282</b>
<b>5.7.3.2 Schmelzschweißen durch Gas .....</b>	<b>283</b>
<b>5.7.3.3 Schmelzschweißen durch elektrische Gasentladung .....</b>	<b>284</b>
<b>5.7.3.4 Schmelzschweißen durch Strahlung .....</b>	<b>291</b>

<b>5.8</b>	<b>Fügen durch Löten .....</b>	<b>294</b>
5.8.1	Überblick .....	294
5.8.2	Löten durch feste Körper .....	297
5.8.3	Löten durch Flüssigkeit .....	298
5.8.4	Löten durch Gas .....	298
5.8.5	Löten durch Strahlung .....	299
5.8.6	Löten durch elektrischen Strom .....	300
5.8.7	Ofenlöten .....	301
5.8.8	Löten durch elektrische Gasentladung .....	302
<b>5.9</b>	<b>Kleben .....</b>	<b>303</b>
5.9.1	Überblick .....	303
5.9.2	Kleben mit physikalisch abbindenden Klebstoffen .....	305
5.9.3	Kleben mit chemisch abbindenden Klebstoffen .....	306
<b>5.10</b>	<b>Textiles Fügen .....</b>	<b>307</b>
<b>5.11</b>	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>311</b>
<b>6</b>	<b>Beschichten .....</b>	<b>313</b>
<b>6.1</b>	<b>Einführung .....</b>	<b>313</b>
<b>6.2</b>	<b>Beschichten aus dem flüssigen Zustand .....</b>	<b>315</b>
6.2.1	Überblick .....	315
6.2.2	Schmelztauchen .....	315
6.2.3	Lackieren .....	316
6.2.4	Emaillieren .....	318
<b>6.3</b>	<b>Beschichten aus dem körnigen oder pulverförmigen Zustand .....</b>	<b>319</b>
6.3.1	Überblick .....	319
6.3.2	Wirbelsintern .....	320
6.3.3	Elektrostatisches Beschichten .....	320
6.3.4	Thermisches Spritzen .....	321
<b>6.4</b>	<b>Beschichten durch Schweißen .....</b>	<b>325</b>
<b>6.5</b>	<b>Beschichten aus dem gas- oder dampfförmigen Zustand .....</b>	<b>327</b>
6.5.1	Überblick .....	327
6.5.2	PVD-Verfahren .....	328
6.5.3	CVD-Verfahren .....	330
<b>6.6</b>	<b>Beschichten aus dem ionisierten Zustand .....</b>	<b>330</b>
6.6.1	Überblick .....	330
6.6.2	Galvanisches Beschichten .....	331
6.6.3	Chemisches Beschichten .....	332
<b>6.7</b>	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>333</b>

<b>7 Stoffeigenschaftsändern durch Wärmebehandeln .....</b>	<b>335</b>
7.1 Definitionen, Ziele, metallkundliche Effekte und Abgrenzung .....	335
7.2 Wärmebehandlungsprozesse für Stähle .....	340
7.2.1 Thermische Verfahren .....	340
7.2.1.1 Prozessgrundlagen .....	340
7.2.1.2 Charakterisierung wesentlicher Verfahren .....	345
7.2.2 Thermochemische Verfahren .....	351
7.2.2.1 Prozessgrundlagen .....	351
7.2.2.2 Charakterisierung wesentlicher Verfahren .....	353
7.2.3 Thermomechanische Verfahren .....	358
7.2.3.1 Prozessgrundlagen .....	358
7.2.3.2 Charakterisierung wesentlicher Verfahren .....	360
7.3 Fertigungstechnische Realisierung .....	362
7.4 Stellung der Wärmebehandlung im Fertigungsprozess .....	365
7.5 Literaturverzeichnis .....	368
<b>8 Generative Fertigungsverfahren .....</b>	<b>371</b>
8.1 Prototypen in der Produktentwicklung .....	371
8.2 Das Grundprinzip generativer Fertigungsverfahren .....	372
8.3 Die informationstechnische Prozesskette .....	374
8.3.1 3D-CAD-Modellierung .....	374
8.3.2 STL-Schnittstelle .....	375
8.3.3 Datenaufbereitung .....	376
8.3.4 Bauprozess .....	377
8.3.5 Finish-Bearbeitung und Folgeverfahren .....	378
8.4 Industrielle generative Fertigungsverfahren .....	379
8.4.1 Polymerisation .....	379
8.4.2 Schmelzen und Verfestigen von Pulvern .....	382
8.4.3 Ausschneiden und Fügen von Folien .....	385
8.4.4 Schmelzen und Verfestigen aus der festen Phase .....	387
8.4.5 Verkleben von Pulvern mit Bindersystemen .....	389
8.5 Folgetechnologien und Rapid Tooling .....	391
8.5.1 Zielwerkstoff Kunststoff .....	391
8.5.2 Zielwerkstoff Metall .....	393
8.6 Literaturverzeichnis .....	394

<b>9 Leitlinie zur Gestaltung von Fertigungsprozessen .....</b>	<b>395</b>
9.1 Einführung .....	395
9.1.1 Aufgaben und Ziele der Fertigungsprozessgestaltung .....	395
9.1.2 Einflussgrößen auf den Planungsaufwand .....	397
9.2 Grundlagen und Begriffe .....	399
9.2.1 Gliederung der Fertigungsprozesse nach Prozesselementen ..	399
9.2.2 Gliederung der Fertigung nach der Mengenstruktur .....	401
9.2.3 Gliederung der Fertigung nach der Organisationsstruktur .....	402
9.3 Ausarbeiten von Fertigungsprozessen der Teilefertigung .....	405
9.3.1 Vorbetrachtungen .....	405
9.3.2 Prüfen der konstruktiven/funktionellen Anforderungen .....	405
9.3.3 Funktionale Flächen am Einzelteil .....	406
9.3.4 Bestimmflächen .....	410
9.3.5 Auswahl der Arbeitsweise .....	411
9.3.6 Generierendes Ausarbeiten des Fertigungsprozesses .....	412
9.3.6.1 Ermittlung der technischen Elemente (Bearbeitungselemente) und des Rohteiles .....	413
9.3.6.2 Prozessgrobentwurf .....	414
9.3.6.3 Prozessfeinentwurf .....	416
9.4 Vergleich technologischer Varianten .....	423
9.4.1 Entscheidungskriterien .....	423
9.4.2 Methoden zur Berechnung vergleichbarer Kosten .....	424
9.4.2.1 Kostenschema .....	424
9.4.2.2 Berechnung der direkt zurechenbaren technologischen Einzelkosten .....	426
9.4.2.3 Zuschlagskalkulation .....	428
9.4.2.4 Stundenkostenkalkulation .....	432
<b>Stichwortverzeichnis .....</b>	<b>439</b>