

Inhalt

1	Einführung	1
2	Urformen	5
2.1	Urformen durch Gießen	5
2.1.1	Grundbegriffe der Gießereitechnologie	5
2.1.1.1	Formen und Formverfahren	6
2.1.1.2	Formverfahren mit verlorenen Formen	8
2.1.1.3	Dauerformverfahren	9
2.1.1.4	Schmelzen	10
2.1.1.5	Gießen	10
2.1.1.6	Putzen	12
2.1.1.7	Wärmebehandlung	13
2.1.1.8	Qualitätsmanagement	13
2.1.1.9	Konstruieren mit Gusswerkstoffen	15
2.2	Metallkundliche Grundlagen des Gießens	15
2.2.1	Entstehung der Gussgefüge	15
2.2.2	Stoffzustände	15
2.2.3	Keimbildung und Impfen	17
2.2.3.1	Homogene Keimbildung	17
2.2.3.2	Impfen der Schmelze	18
2.2.4	Kristallformen	19
2.2.4.1	Globulare Kristallformen	21
2.2.4.2	Säulenförmige Kristalle	21
2.2.4.3	Dendritische Kristallformen	22
2.2.5	Erstarrungstypen	22
2.2.6	Isotropes, anisotropes und quasi-isotropes Verhalten von Gusswerkstoffen	23
2.3	Gusswerkstoffe	24
2.3.1	Eisengusswerkstoffe	24
2.3.1.1	Gusseisen	25
	Gusseisen mit Lamellengrafit	25
	Gusseisen mit Kugelgrait	28
	Gusseisen mit Vermiculargrafit	30
2.3.1.2	Temperguss	31
	Weißer Temperguss	32
2.3.1.3	Stahlguss	33
2.3.2	Nichteisen-Gusswerkstoffe	35
2.3.2.1	Leichtmetall-Gusswerkstoffe	36
	Druckgusslegierungen	36
	Kokillengusslegierungen	38
	Sandgusslegierungen	38
2.3.2.2	Schwermetall-Gusswerkstoffe	39
	Zink-Druckgusslegierungen	39
	Kupfergusswerkstoffe	40
2.4	Gießbarkeit	40
2.4.1	Fließ- und Formfüllungsvermögen	41
2.4.2	Schwindung (Schrumpfung)	42

2.4.3	Warmrissneigung	45
2.4.4	Gasaufnahme	47
2.4.5	Penetrationen	48
2.4.6	Seigerungen	49
2.4.7	Fehlerzusammenstellung bei Sandguss	50
2.5	Form- und Gießverfahren	50
2.5.1	Formverfahren mit verlorenen Formen	50
2.5.1.1	Tongebundene Formstoffe	51
	Handformen	54
	Maschinenformen mit Kästen	56
	Kastenloses Formen	59
2.5.1.2	Kohlensäure-Erstarrungsverfahren (CO ₂ -Verfahren)	60
2.5.1.3	Maskenformverfahren	61
2.5.2	Formverfahren mit verlorenen Formen nach verlorenen Modellen	65
2.5.2.1	Feingießverfahren	65
2.5.2.2	Vollformgießverfahren	67
2.5.3	Formverfahren mit Dauerformen	68
2.5.3.1	Druckgießverfahren	68
2.5.3.2	Kokillengießverfahren	73
2.5.3.3	Schleudergießverfahren	75
2.5.3.4	Stranggießverfahren	76
2.6	Gestaltung von Gussteilen	77
2.6.1	Allgemeines	77
2.6.2	Gestaltungsregeln	77
2.6.3	Gießgerechte Gestaltung	78
2.6.4	Beanspruchungsgerechte Gestaltung	85
2.6.5	Fertigungsgerechte Gestaltung	87
2.6.6	Normung von Erzeugnissen aus Gusseisen	90
2.6.7	Normung von Erzeugnissen aus Stahlguss	90
2.7	Urformen durch Sintern (Pulvermetallurgie)	91
2.7.1	Pulvermetallurgische Grundbegriffe	91
2.7.2	Pulvererzeugung	92
2.7.3	Presstechnik	93
2.7.4	Sintern	95
2.7.5	Verfahren zum Verbessern der Werkstoffeigenschaften	96
2.7.6	Anwendungen	99
2.8	Gestaltung von Sinterteilen	99
2.8.1	Allgemeines	99
2.8.2	Gestaltungsregeln	99
2.8.3	Werkstoff- und werkzeuggerechte Gestaltung	100
2.8.4	Fertigungs- und fügegerechte Gestaltung	102
2.9	Generative Fertigungsverfahren (Rapid Manufacturing)	105
2.9.1	Stereolithografie	107
2.9.1.1	Funktionsschema	108
2.9.1.2	Fertigungsablauf	108
2.9.1.3	Polymerisation	110
2.9.2	Selektives Lasersintern	110

2.9.3	Laminierverfahren	112
2.9.4	Extrusionsverfahren	113
2.9.5	3D-Drucken	113
	Ergänzendes und weiterführendes Schrifttum	114
3	Fügen	115
3.1	Das Fügeverfahren Schweißen	115
3.1.1	Bedeutung der Schweißtechnik	115
3.1.2	Das Fertigungsverfahren Schweißen; Abgrenzung und Definitionen	115
3.1.3	Einteilung der Schweißverfahren	116
3.1.4	Hinweise zur Wahl des Schweißverfahrens	119
3.2	Werkstoffliche Grundlagen für das Schweißen	121
3.2.1	Wirkung der Wärmequelle auf die Werkstoffeigenschaften	121
3.2.2	Physikalische Eigenschaften der Werkstoffe	122
3.2.3	Einfluss des Temperaturfeldes	123
3.2.4	Werkstoffbedingte Besonderheiten und Schwierigkeiten beim Schweißen	125
3.2.4.1	Probleme während des Erwärmens	125
3.2.4.2	Probleme während des Erstarrens	126
3.2.4.3	Verbindungs- und Auftragschweißen unterschiedlicher Werkstoffe	128
3.2.4.4	Schweißbarkeit metallischer Werkstoffe	130
3.3	Schmelzschweißverfahren	131
3.3.1	Gasschweißen (G) (Ordnungsnummer: 311)	131
3.3.1.1	Verfahrensprinzip	131
3.3.1.2	Die Acetylen-Sauerstoff-Flamme	131
3.3.1.3	Betriebsstoffe: Acetylen, Sauerstoff	132
3.3.1.4	Der Schweißbrenner	133
3.3.1.5	Arbeitsweisen beim Gasschweißen	133
3.3.1.6	Zusatzwerkstoffe; Schweißstäbe	134
3.3.1.7	Anwendung und Anwendungsgrenzen	134
3.3.2	Lichtbogenhandschweißen (E) (Ordnungsnummer: 111) – Metall-Lichtbogenschweißen	135
3.3.2.1	Verfahrensprinzip und Schweißanlage	135
3.3.2.2	Vorgänge im Lichtbogen	136
3.3.2.3	Schweißstromquellen	138
3.3.2.4	Zusatzwerkstoffe; Stabelektroden	144
3.3.2.4.1	Aufgaben der Elektrodenumhüllung	145
3.3.2.4.2	Metallurgische Grundlagen	146
3.3.2.4.3	Die wichtigsten Stabelektrodentypen	147
3.3.2.4.4	Bedeutung des Wasserstoffs	150
3.3.2.4.5	Normung der umhüllten Stabelektroden	151
3.3.2.5	Ausführung und Arbeitstechnik	154
3.3.2.5.1	Stoßart; Nahtart; Fugenform	154
3.3.2.5.2	Einfluss der Schweißposition	156
3.3.2.5.3	Magnetische Blaswirkung	156
3.3.2.6	Anwendung und Anwendungsgrenzen	157
3.3.3	Schutzgasschweißen (SG)	158
3.3.3.1	Verfahrensprinzip	158
3.3.3.2	Wirkung und Eigenschaften der Schutzgase	158
3.3.3.3	Wolfram-Schutzgasschweißen (WSG) (Ordnungsnummer: 14)	160

3.3.3.3.1	Wolfram-Inertgasschweißen (WIG) (Ordnungsnummer: 141)	160
3.3.3.3.1.1	Verfahrensprinzip	160
3.3.3.3.1.2	Schweißanlage und Zubehör	161
	Schweißstromquellen	161
	Schweißbrenner	161
	Wolframelektrode	161
	Zündhilfen	162
	Sieb-(Filter-)kondensator	162
	Kraterfülleinrichtung	163
3.3.3.3.1.3	Hinweise zur praktischen Ausführung	163
3.3.3.3.1.4	WIG-Impulslichtbogenschweißen	164
3.3.3.3.1.5	Anwendung und Grenzen	164
3.3.3.3.2	Wolfram-Plasmaschweißen (WP) (Ordnungsnummer: 15)	165
3.3.3.3.2.1	Physikalische Grundlagen	165
3.3.3.3.2.2	Verfahrensgrundlagen	165
3.3.3.3.2.3	Verfahrensvarianten	167
3.3.3.4	Metall-Schutzgasschweißen(MSG) (Ordnungsnummer: 13)	168
3.3.3.4.1	Verfahrensprinzip	168
3.3.3.4.2	Schweißanlage; Zubehör	169
3.3.3.4.3	Die innere Regelung	170
3.3.3.4.4	Lichtbogenformen und Werkstoffübergang	171
3.3.3.4.5	Auswahl der Schutzgase und Drahtelektroden	173
	Fülldrahtelektroden	176
3.3.3.4.6	MSG-Verfahrensvarianten	176
3.3.3.4.6.1	MIG-Schweißen (Ordnungsnummer: 131)	176
	Impulslichtbogenschweißen	177
3.3.3.4.6.2	MAG-Verfahrensvarianten	178
	Kurzlichtbogentechnik	178
	Schweißen mit rotierendem Lichtbogen	179
3.3.3.4.7	Praktische Hinweise; Anwendung und Möglichkeiten	179
3.3.4	Unterpulverschweißen (UP) (Ordnungsnummer: 12)	181
3.3.4.1	Verfahrensprinzip; Schweißanlage	181
3.3.4.2	Verfahrensvarianten	182
	UP-Doppeldrahtverfahren	183
	UP-Mehrdrahtverfahren	183
	UP-Auftragschweißen mit Bandedelektroden	184
3.3.4.3	Aufbau und Eigenschaften der UP-Schweißnaht	184
3.3.4.4	Zusatzstoffe	185
3.3.4.4.1	Zusatzwerkstoffe	185
3.3.4.4.2	Schweißpulver	186
	Schmelzpulver	187
	Agglomerierte Pulver	187
	Schweißpulver-Kennwerte	188
	Metallurgisches Verhalten der Draht-Pulver- Kombination	188
3.3.4.5	Hinweise zur praktischen Ausführung	189
3.3.4.6	Anwendungen und Anwendungsgrenzen	190
3.3.5	Elektronenstrahlschweißen (EB) (Ordnungsnummer: 51)	190
3.3.5.1	Verfahrensprinzip	190
3.3.5.2	Eigenschaften und Anwendungen	191
3.3.5.2.1	Der Tiefschweißeffekt	191
3.3.5.2.2	Die Schweißnahtvorbereitung	192
3.3.5.2.3	Anwendungsbeispiele	192

3.3.5.2.4	Schweißbeignung der Werkstoffe	194
3.3.5.2.5	Vor- und Nachteile des Verfahrens	194
3.3.6	Laserstrahlschweißen (LA) (Ordnungsnummer: 52)	195
3.3.6.1	Verfahrensprinzip	195
3.3.6.2	Eigenschaften und Anwendung	196
3.3.6.3	Vor- und Nachteile des Verfahrens	197
3.4	Widerstandsschweißen (Ordnungsnummer: 2)	197
3.4.1	Widerstandspressschweißen	198
3.4.1.1	Punktschweißen (Ordnungsnummer: 21)	198
3.4.1.1.1	Wärmeerzeugung an der Schweißstelle	198
3.4.1.1.2	Verfahrenstechnische Grundlagen	199
3.4.1.1.3	Verfahrensvarianten	201
3.4.1.1.4	Punktschweißelektroden	201
3.4.1.1.5	Technologische Besonderheiten	202
	Elektrodeneindrücke	202
	Stromnebenschluss	202
	Thermisches Gleichgewicht	202
	Sekundärfensteröffnung	203
	Strom- und Kraftprogramme	203
3.4.1.1.6	Anwendung und Anwendungsgrenzen	204
3.4.1.2	Rollennahtschweißen (Ordnungsnummer: 22)	204
3.4.1.3	Buckelschweißen (Ordnungsnummer: 23)	206
3.4.1.4	Pressstumpfschweißen (Ordnungsnummer: 25)	207
3.4.1.5	Abbreinstumpfschweißen (Ordnungsnummer: 24)	208
3.4.2	Widerstandsschmelzschweißen	209
3.4.2.1	Elektroschlackeschweißen (Ordnungsnummer: 72)	209
3.5	Gestaltung von Schweißverbindungen	210
3.5.1	Allgemeines	210
3.5.2	Gestaltungsregeln	210
3.5.3	Gestaltung von Schmelzschweißverbindungen	211
3.5.4	Gestaltung von Punktschweißverbindungen	216
3.6	Löten (Ordnungsnummer: 9)	218
3.6.1	Grundlagen des Lötens	218
3.6.2	Einteilung der Lötverfahren	221
	Fester Körper	221
	Flüssigkeit	221
	Reflowlöten (Wiederaufschmelzlöten)	222
	Gas	222
	Elektrischer Strom	223
3.6.3	Flussmittel; Vakuum; Schutzgas	224
3.6.4	Lote	226
	Weichlote (DIN 1707-100, DIN EN ISO 9453, DIN EN 61190-1-3)	228
	Hartlote (DIN EN 1044, DIN EN ISO 3677)	228
3.6.5	Konstruktive Gestaltung von Lötverbindungen	229
	Wahl und Form der Spaltbreite	229
	Oberflächenfeingestalt der Lötstellen	230
3.7	Gestaltung von Lötverbindungen	230
3.7.1	Allgemeines	230

3.7.2	Gestaltungsregeln	230
3.7.3	Gestaltung gelöteter Blechverbindungen	231
3.7.4	Gestaltung gelöteter Rundverbindungen	231
3.7.5	Gestaltung gelöteter Rohrverbindungen	233
3.7.6	Gestaltung gelöteter Bodenverbindungen	235
3.8	Kleben	236
3.8.1	Wirkprinzip des Klebens	236
3.8.2	Vorbehandlung zur Steigerung der Klebfestigkeit	237
3.8.3	Vorbereitung der Klebung	239
3.8.4	Eigenschaften polymerer Werkstoffe	240
3.8.5	Klebstoffarten	241
3.8.5.1	Physikalisch abbindende Klebstoffe	241
3.8.5.2	Reaktionsklebstoffe	242
3.8.6	Herstellung der Klebung	243
	Mischen der Mehrkomponenten-Klebstoffe	243
	Auftragen des Klebstoffs	243
	Fügen und Fixieren	243
	Abbinden unter Druckanwendung	244
	Abbindetemperatur und Abbindezeit	244
3.8.7	Anwendungsbeispiele	244
3.9	Gestaltung von Klebverbindungen	249
3.9.1	Allgemeines	249
3.9.2	Gestaltung geklebter Blechverbindungen	249
3.9.3	Gestaltung geklebter Rohrverbindungen	251
3.9.4	Gestaltung geklebter Rundverbindungen	251
	Ergänzendes und weiterführendes Schrifttum	252
4	Trennen (Zerteilen; Spanen; Abtragen; thermisches Schneiden)	255
4.1	Allgemeines und Verfahrensübersicht	255
4.2	Scherschneiden	255
4.2.1	Beschreibung des Schneidvorgangs	257
4.2.2	Schneidkraft	259
4.2.3	Gestaltung von Schneidwerkzeugen	260
4.2.4	Vorschubbegrenzungen	261
4.3	Spanen	263
4.3.1	Einteilung nach DIN 8589	263
4.3.2	Technische und wirtschaftliche Bedeutung	264
4.4	Grundbegriffe der Zerspantechnik	264
4.4.1	Bewegungen und Geometrie von Zerspanvorgängen	264
4.4.2	Eingriffe von Werkzeugen	265
4.4.3	Spanungsgrößen	266
4.4.4	Geometrie am Schneidteil	266
4.4.5	Kräfte und Leistungen	268
4.4.6	Standzeit- und Verschleißbegriffe	268
4.5	Grundlagen zum Spanen	269

4.5.1	Spanbildung	269
4.5.2	Spanstauchung	270
4.5.3	Scherwinkelgleichungen	271
4.5.4	Spanarten	271
4.5.5	Spanformen	273
4.5.6	Energieumwandlung beim Spanen	274
4.5.7	Schneidstoffe	274
4.5.7.1	Werkzeugstähle	275
4.5.7.2	Schnellarbeitsstähle	275
4.5.7.3	Hartmetalle	276
4.5.7.4	Schneidkeramik	278
4.5.7.5	Diamant und Bornitrid	280
4.5.8	Werkzeugverschleiß	281
4.5.9	Kühlschmierstoffe	282
4.5.10	Hart-, Hochgeschwindigkeits- und Trockenbearbeitung	283
4.5.10.1	Hartbearbeitung	283
4.5.10.2	Hochgeschwindigkeitsbearbeitung (HSC)	283
4.5.10.3	Trockenbearbeitung	283
4.5.11	Mikrozerspanung	284
4.5.12	Standzeitberechnung und Standzeitoptimierung	284
4.5.13	Schnittkraftberechnung	287
4.6	Spanen mit geometrisch bestimmten Schneiden	288
4.6.1	Drehen	289
4.6.1.1	Drehverfahren	289
4.6.1.2	Drehwerkzeuge	293
4.6.1.3	Zeitberechnung	294
4.6.2	Bohren, Senken, Reiben	294
4.6.2.1	Bohrverfahren	296
4.6.2.2	Bohrwerkzeuge	297
4.6.2.3	Zeitberechnung	299
4.6.3	Fräsen	300
4.6.3.1	Fräsverfahren	300
4.6.3.2	Fräswerkzeuge	303
4.6.3.3	Zeitberechnung	303
4.6.4	Hobeln und Stoßen	304
4.6.4.1	Hobel- und Stoßverfahren	304
4.6.4.2	Hobelwerkzeuge	306
4.6.4.3	Zeitberechnung	306
4.6.5	Räumen	306
4.6.5.1	Räumverfahren	307
4.6.5.2	Räumwerkzeuge	308
4.6.5.3	Zeitberechnung	311
4.7	Spanen mit geometrisch unbestimmten Schneiden	311
4.7.1	Schleifen	311
4.7.1.1	Grundlagen	311
4.7.1.1.1	Kinematische Grundlagen	311
4.7.1.1.2	Schneideneingriff und Schneidenraum	313
4.7.1.1.3	Schleifkraft und Verschleiß	314
4.7.1.2	Schleifwerkzeug	314
4.7.1.2.1	Schleifmittel und Bindung	314

	Anorganische Bindungen	315
	Organische Bindungen	315
4.7.1.2.2	Schleifwerkzeuge mit Korund und Siliciumcarbid-Kornwerkstoffen	315
4.7.1.2.3	Schleifwerkzeuge mit Diamant- und Bornitrid-Kornwerkstoff (CBN)	318
4.7.1.2.4	Werkzeugaufspannung	319
4.7.1.2.5	Abrichten des Schleifwerkzeugs	320
4.7.1.3	Der Schleifprozess	323
4.7.1.3.1	Änderung des Schneidenraums im Schleifprozess	323
4.7.1.3.2	Rauheit	324
4.7.1.3.3	Schleifkraft und Schleifleistung	326
4.7.1.3.4	Schleiftemperatur und Kühlung	327
4.7.1.3.5	Schleifscheibenverschleiß	328
4.7.1.3.6	Einflüsse verschiedener Einstellgrößen auf das Schleifergebnis	328
4.7.1.3.7	Mehrstufiger Schleifprozess	329
4.7.1.3.8	Kostenberechnung	329
4.7.1.4	Schleifverfahren	330
4.7.1.4.1	Planschleifen	332
4.7.1.4.2	Rundschleifen	332
4.7.1.4.3	Schraubenschleifen	337
4.7.1.4.4	Wälzschleifen	339
4.7.1.4.5	Profilschleifen	340
4.7.2	Honen	340
4.7.2.1	Kinematische Grundlagen	341
4.7.2.2	Einfluss der Einstellgrößen auf den Honvorgang und das Honergebnis	342
4.7.2.3	Einfluss des Werkzeugs	344
4.7.2.4	Einfluss des Werkstücks	345
4.7.2.5	Einfluss des Kühlschmierstoffs	345
4.7.2.6	Plateauhonen	346
4.7.2.7	Messsteuerung des Honprozesses	347
4.7.3	Läppen	347
4.7.3.1	Grundlagen	347
4.7.3.2	Einfluss von Prozessgrößen auf das Läppergebnis	349
4.7.3.3	Läppverfahren	351
4.7.3.3.1	Planläppen	351
4.7.3.3.2	Außen- und Innenrundläppen	352
4.7.3.3.3	Kugelläppen	352
4.7.3.3.4	Polierläppen	352
4.7.4	Gleitschleifen	354
4.7.5	Strahlspanen	355
4.7.6	Ansätze zur Miniaturisierung spanender Verfahren	357
4.7.7	Auswahl spanender Fertigungsverfahren	359
4.8	Abtragende Verfahren	363
4.8.1	Thermisches Abtragen	364
	Funkenerosives Abtragen (Erodieren)	364
4.8.2	Chemisches Abtragen	367
4.8.2.1	Abtragen durch Ätzen	367
4.8.2.2	Thermisch-chemisches Entgraten (TEM)	368
4.8.3	Elektrochemisches Abtragen	369
4.9	Thermisches Schneiden	370
4.9.1	Autogenes Brennschneiden	370

4.9.1.1	Verfahrensgrundlagen	370
4.9.1.2	Thermische Beeinflussung der Werkstoffe	371
4.9.1.3	Geräte und Einrichtungen	372
4.9.1.4	Technik des Brennschneidens	376
4.9.1.5	Qualität brenngeschnittener Erzeugnisse	377
	Form- und Lagetoleranzen	377
	Schnittflächenqualität	377
4.9.1.6	Anwendung des Brennschneidens	380
4.9.2	Plasmaschneiden	381
4.9.2.1	Verfahrensvarianten	382
	Plasmapressluftschneiden	382
	Plasmawasserinjektionsschneiden	382
4.9.3	Laserschneiden	383
4.9.3.1	Verfahrensprinzip	383
4.9.3.2	Verfahrensmöglichkeiten und Grenzen	384
4.10	Wasserstrahlschneiden	386
4.10.1	Einleitung	386
4.10.2	Verfahrensgrundlagen	387
4.10.2.1	Physikalische Grundlagen	387
4.10.2.2	Technologische Grundlagen	387
4.10.3	Einsatz und Anwendung	390
4.11	Gestaltung spanend herzustellender Werkstücke	392
4.11.1	Allgemeines	392
4.11.2	Gestaltung für das Drehen	393
4.11.2.1	Form- und Lageabweichungen	393
4.11.2.2	Gestaltungsbeispiele	394
4.11.3	Gestaltung für das Bohren, Senken, Reiben	395
4.11.3.1	Gestaltung von Gewinden	397
4.11.4	Gestaltung für das Fräsen	398
4.11.5	Gestaltung für das Hobeln und Stoßen	399
4.11.6	Gestaltung für das Räumen	400
4.11.7	Gestaltung für das Schleifen	401
4.11.8	Gestaltung von Schnittteilen	403
4.11.8.1	Werkstoffausnutzung	403
4.11.8.2	Fertigung	405
4.11.8.3	Genauigkeit	406
4.11.8.4	Beanspruchung	407
	Ergänzendes und weiterführendes Schrifttum	408
5	Umformen	411
5.1	Einteilung und Vorteile der Umformverfahren	411
5.2	Grundlagen der Umformtechnik	413
5.3	Druckumformen	419
5.3.1	Walzen	420
5.3.1.1	Definition und Einteilung nach DIN 8583	420
5.3.1.2	Verhältnisse im Walzspalt	424
5.3.1.3	Kraft- und Arbeitsbedarf beim Walzen	426

5.3.2	Schmieden	427
5.3.2.1	Freiformschmieden	427
5.3.2.2	Gesenkschmieden	431
5.3.2.3	Kraft- und Arbeitsbedarf beim Schmieden	433
5.3.3	Eindrücken	435
5.3.4	Durchdrücken	437
5.3.4.1	Strangpressen	437
5.3.4.2	Fließpressen	440
5.4	Zug-Druck-Umformen	445
5.4.1	Draht- und Stabziehen	446
5.4.2	Gleitziehen von Rohren	449
5.4.3	Abstreckziehen von Hohlkörpern	449
5.4.4	Tiefziehen	451
5.4.4.1	Zuschnittermittlung beim Tiefziehen	454
5.4.5	Drücken	457
5.4.6	Kragenziehen (Bördeln von Öffnungen)	458
5.5	Zugumformen	458
5.5.1	Längen	459
5.5.2	Weiten	459
5.5.3	Tiefen (Streckziehen)	460
5.5.4	Blechprüfung zur Kennwertermittlung	460
5.5.4.1	Tiefungsversuch nach <i>Erichsen</i>	461
5.5.4.2	Näpfchen-Tiefziehprüfung nach <i>Swift</i>	462
5.5.4.3	Beurteilung von Blechen mittels Messrastertechnik	462
5.6	Biegen	463
5.6.1	Einteilung der Biegeverfahren	464
5.6.2	Biegespannungen, Verformungen und Kräfte	465
5.7	Innenhochdruckumformen (IHU)	469
5.7.1	Allgemeines	469
5.7.2	Anwendungsgebiete	469
5.7.3	Bauteil- und Prozessauslegung	471
	Simulation der Formgebung	473
5.7.4	Anlagen- und Werkzeugtechnik	475
5.7.5	Fertigteilqualität	476
	Vorausplanung mit dem Kunden	476
	Werkzeugeinfluss	479
	Beispiele für Messungen und Toleranzen	480
5.7.6	Wirtschaftlichkeitsbetrachtung	480
5.7.7	Fertigungsbeispiele	481
5.8	Gestaltung von Umformteilen	482
5.8.1	Allgemeines	482
5.8.2	Gestaltung von Gesenkschmiedestücken	483
5.8.3	Gestaltung von Tiefziehteilen	488
	Ergänzendes und weiterführendes Schrifttum	491
6	Sachwortverzeichnis	493