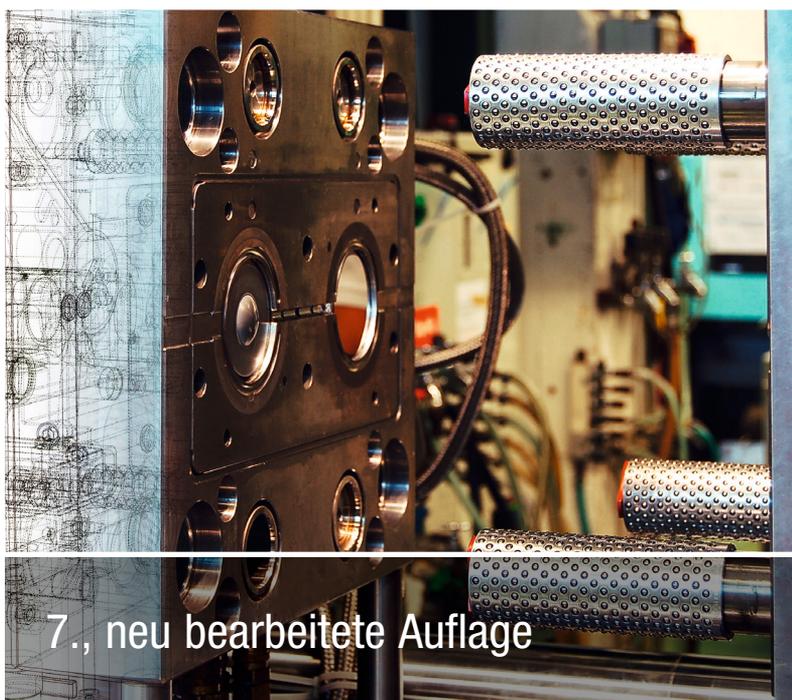


Christian Hopmann
Georg Menges
Walter Michaeli
Paul Mohren

Spritzgieß- werkzeuge

Auslegung, Bau, Anwendung



7., neu bearbeitete Auflage

HANSER



Bleiben Sie auf dem Laufenden!

Hanser Newsletter informieren Sie regelmäßig über neue Bücher und Termine aus den verschiedenen Bereichen der Technik. Profitieren Sie auch von Gewinnspielen und exklusiven Leseproben. Gleich anmelden unter

www.hanser-fachbuch.de/newsletter

Die Internet-Plattform für Entscheider!

Exklusiv: Das Online-Archiv der Zeitschrift Kunststoffe!

Richtungsweisend: Fach- und Brancheninformationen stets top-aktuell!

Informativ: News, wichtige Termine, Bookshop, neue Produkte und der Stellenmarkt der Kunststoffindustrie

***Kunststoffe*.de**

Christian Hopmann

Georg Menges

Walter Michaeli

Paul Mohren

Spritzgießwerkzeuge

Auslegung, Bau, Anwendung

7., neu bearbeitete Auflage

HANSER

Die Herausgeber:

Univ.-Prof. Christian Hopmann

Prof. Georg Menges

Prof. Walter Michaeli

Paul Mohren

Institut für Kunststoffverarbeitung in Industrie und Handwerk an der RWTH Aachen

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek:

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

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutzgesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Alle in diesem Buch enthaltenen Verfahren bzw. Daten wurden nach bestem Wissen dargestellt. Dennoch sind Fehler nicht ganz auszuschließen. Aus diesem Grund sind die in diesem Buch enthaltenen Darstellungen und Daten mit keiner Verpflichtung oder Garantie irgendeiner Art verbunden. Autoren und Verlag übernehmen infolgedessen keine Verantwortung und werden keine daraus folgende oder sonstige Haftung übernehmen, die auf irgendeine Art aus der Benutzung dieser Darstellungen oder Daten oder Teilen davon entsteht.

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Alle Rechte, auch die der Übersetzung, des Nachdruckes und der Vervielfältigung des Buches oder Teilen daraus, vorbehalten. Kein Teil des Werkes darf ohne schriftliche Einwilligung des Verlages in irgendeiner Form (Fotokopie, Mikrofilm oder einem anderen Verfahren), auch nicht für Zwecke der Unterrichtsgestaltung – mit Ausnahme der in den §§ 53, 54 URG genannten Sonderfälle –, reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

© 2018 Carl Hanser Verlag München

www.hanser-fachbuch.de

Herstellung: Jörg Strohbach

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

Coverrealisierung: Stephan Rönigk

Satz: Manuela Treindl, Fürth

Druck und Bindung: Druckerei Hubert & Co GmbH und Co KG BuchPartner, Göttingen

Printed in Germany

ISBN: 978-3-446-45192-6

E-Book-ISBN: 978-3-446-45390-6

Vorwort

■ Zur 7. Auflage

Spritzgießwerkzeuge sind fast immer Unikate. Sie werden mit höchster Präzision hergestellt und müssen im Dauereinsatz unter hohen mechanischen und thermischen Belastungen Formteile größter Gleichmäßigkeit oft millionenfach herstellen. Dabei wird unbedingte Zuverlässigkeit erwartet, denn nur dann kann der Spritzgießer, der vielfach auch Zulieferer für andere Fertigungen ist (z. B. für die Automobilindustrie), erfolgreich und wirtschaftlich arbeiten sowie die produzierten Formteile termingerecht ausliefern.

Die Zuverlässigkeit, die man von den Werkzeugen im täglichen Einsatz erwartet, verlangt ein wohlüberlegtes Planen und Gestalten von Formteil und Werkzeug. Dabei sind im Hinblick auf eine wirtschaftliche Produktion formteil- und konstruktionsabhängige Festlegungen zu treffen sowie Werkstoff- und Kostenfragen zu klären.

Eine sorgfältige gemeinsame Planung und Zusammenarbeit aller am gesamten Prozess Beteiligten, angefangen vom Designer, dem Konstrukteur, dem Werkzeugmacher und dem Spritzgießer wäre dabei wünschenswert. Leider findet eine solche gemeinsame Planung jedoch so gut wie nie statt, vielmehr wird fast immer in vollständiger Arbeitsteilung nebeneinander gearbeitet. Erschwerend kommt noch hinzu, dass Werkzeuge sehr häufig nach rein kaufmännischen Gesichtspunkten beschafft werden.

Für organisatorische Fehler dieser Art bietet dieses Buch keine Lösungen an. Es soll vielmehr allen Beteiligten der Entscheidungskette die Regeln näher bringen, nach denen Formteile und Werkzeuge ausgelegt werden sollten, damit die in der Anschaffung sehr teuren Werkzeuge mit ihren eminenten Auswirkungen auf die Zuverlässigkeit und Wirtschaftlichkeit der späteren Produktion zum gewünschten Erfolg führen.

So wurde in dieser Neuauflage insbesondere auf die grundlegenden Zusammenhänge zwischen Materialeigenschaften, Prozess und Bauteilqualität Wert gelegt. Es wurden Kapitel ergänzt, die den Spritzgießprozess und die Eigenschaften der Kunststoffe

beschreiben. Dadurch wird es dem Leser möglich, Auswirkungen von Material und Prozess auf die Auslegung von Spritzgießwerkzeugen und die daraus resultierende Bauteilqualität besser zu verstehen und frühzeitig in den Entwicklungsprozess einfließen zu lassen.

Die Ausführungen zu den Fertigungsverfahren für Spritzgießwerkzeuge wurden überarbeitet und zeigen die hervorragenden Möglichkeiten, welche heute das so genannte Rapid Tooling bieten. Zu diesem Gebiet, das in den letzten Jahren durch die Entwicklung variothermer Prozessführung und konturnaher Temperierung stark an Bedeutung gewonnen hat, werden interessante Konstruktionsbeispiele speziell für die Auslegung von konturnahen Kühlsystemen gezeigt, die geeignet sind, die Qualität der Formteile zu verbessern und die Zykluszeit zu reduzieren.

Ausführlich werden zudem die Spritzgießsonderverfahren und spezielle Werkzeugkonstruktionen behandelt, die heute zusätzlich zum Ausformen und Abkühlen der Schmelze weitere Fertigungsschritte im Rahmen einer weitgehenden vollautomatischen Fertigung übernehmen. Die Ausführungen wurden grundlegend überarbeitet und um hochaktuelle Sonderverfahren ergänzt.

Weitere Schwerpunkte der Neuauflage sind die Prozessoptimierung, die Produktions- und Qualitätsüberwachung sowie die Überwachung der Werkzeuge im laufenden Betrieb. Vorgestellt werden die dazu erforderliche Messtechnik und Möglichkeiten zur Dokumentation der gewonnenen Prozessdaten, sodass im Gewährleistungsfall jederzeit ein Leistungsnachweis für das Werkzeug möglich ist.

In die Neuauflage sind zahlreiche Erkenntnisse aus diesbezüglichen Forschungsvorhaben eingeflossen, die großzügig von den öffentlichen Forschungsförderern und den Mitgliedern der Fördervereinigung des Instituts für Kunststoffverarbeitung an der RWTH Aachen finanziert wurden. Ohne diese materielle und ideelle Unterstützung ist ein solches Werk in der erforderlichen Praxisnähe nicht zu gestalten.

Wertvolle Anregungen haben wir durch das Studium der Literatur und vor allem immer wieder in Diskussionen auf Tagungen und Seminaren, bei Besuchen in der Industrie sowie bei Besichtigungen privater oder öffentlicher Forschungseinrichtungen erhalten, die sich in den Ausführungen zu den Problemen im Werkzeugbau und in den vorgeschlagenen Lösungsansätzen wiederfinden. Durch die Aufnahme in das Literaturverzeichnis bzw. durch Quellenangaben wollen wir nicht nur gesetzliche Auflagen erfüllen, sondern auch unsere Anerkennung für die erbrachte wissenschaftliche Leistung und unseren Dank für das zur Verfügung gestellte Bildmaterial zum Ausdruck bringen.

An der Überarbeitung der Neuauflage, die auf den vorhergehenden Ausgaben aufbaut und in allen Kapiteln soweit überarbeitet wurde, dass sie nach Meinung der Herausgeber dem heutigen Wissensstand entspricht, haben derzeitige und frühere wissenschaftliche Mitarbeiter und Studierende des Instituts für Kunststoffverarbei-

tung an der RWTH Aachen sowie befreundete Kollegen aus anderen Hochschuleinrichtungen und der Industrie mitgearbeitet, denen hiermit ebenso wie allen an den früheren Ausgaben Beteiligten herzlich gedankt sei.

Stellvertretend sei hier Herrn Dr.-Ing. M. Theunissen für die tatkräftige Mitarbeit aller genannt. Schließlich gilt unser Dank noch dem Carl Hanser Verlag, hier insbesondere Frau U. Wittmann, für die anschauliche und attraktive Gestaltung dieses Buches.

C. Hopmann

W. Michaeli

Februar 2018

**Hinweis:**

Die farbigen Abbildungen können Sie dem E-Book inside entnehmen.

Die Autoren

INSTITUT FÜR
KUNSTSTOFFVERARBEITUNG
IN INDUSTRIE UND HANDWERK AN DER RWTH AACHEN



Univ.-Prof. Christian Hopmann



Seit 2011 ist Prof. Christian Hopmann Inhaber des Lehrstuhls für Kunststoffverarbeitung der RWTH Aachen University und Leiter des Instituts für Kunststoffverarbeitung (IKV) in Industrie und Handwerk an der RWTH Aachen. Er studierte Maschinenbau mit der Vertiefungsrichtung Kunststofftechnik an der RWTH Aachen und ist nach seiner Promotion im Bereich Spritzgießen in verschiedenen Positionen am IKV tätig. Nach mehreren Jahren in der kunststoffverarbeitenden Industrie übernahm er 2011 den Lehrstuhl und die Leitung des IKV. Er ist Gründungsprofessor des Aachener Zentrums für integrativen Leichtbau (AZL) und visiting professor der Beijing University of Chemical Technology. 2014 wurde er mit dem Innovationspreis des Landers NRW ausgezeichnet.

Prof. Georg Menges

Prof. Georg Menges wurde 1965 auf den neu gegründeten Lehrstuhl für Kunststoffverarbeitung an der Fakultät für Maschinenwesen der RWTH Aachen berufen. Er war bis 1987 in Personalunion Leiter des Instituts für Kunststoffverarbeitung (IKV) an der RWTH Aachen. In dieser Zeit baute er das Institut zu einer international anerkannten Einrichtung in Forschung und Lehre aus. Für seine großen Verdienste um die Kunststoffverarbeitung wurden ihm und dem Institut hohe nationale und internationale Auszeichnungen zuteil. Professor Georg Menges, der maßgeblich die Entwicklung der Kunststofftechnik bestimmt und vorangetrieben hat, gilt als einer der großen Pioniere der Kunststoffverarbeitung.

Prof. Walter Michaeli

Prof. Walter Michaeli war von 1988 bis 2011 Inhaber des Lehrstuhls für Kunststoffverarbeitung der RWTH Aachen und Inhaber des Lehrstuhls Kunststoffverarbeitung. Michaeli studierte Fertigungstechnik an der RWTH Aachen, nach über acht Jahren Industrietätigkeit übernahm er 1988 als Direktor die Leitung des IKV. Er war Mitglied in mehreren bedeutenden wissenschaftlichen Akademien und in der Jury des Deutschen Zukunftspreises. Für seine Entwicklung der Wasserinjektionstechnik beim Spritzgießen von Kunststoffen erhielt Professor Michaeli im Jahr 2002 den Otto von Guericke-Preis der AiF.

Paul Mohren

Paul Mohren schloss seine Ausbildung an der Ingenieursschule Aachen 1963 ab und gestaltete ab da das noch junge Forschungsinstitut IKV als Betriebsingenieur mit. Aufgrund seiner Ausbildung und seiner Affinität zu Spritzgießwerkzeugen erarbeitete er die Erstausgabe des Buches Spritzgießwerkzeuge gemeinsam mit Prof. Menges.

Unter Mitwirkung

An der Neubearbeitung dieses Buches haben mitgewirkt:

Kapitel 1	neu gestaltet	Y. Zhang, M. Sc. RWTH Dr.-Ing. M. Theunissen
Kapitel 2	neu gestaltet	S. Koch, M. Sc. RWTH
Kapitel 3	überarbeitet	J. Onken, M. Sc. RWTH Dr.-Ing. M. Theunissen
Kapitel 4	überarbeitet	J. Onken, M. Sc. RWTH
Kapitel 5	überarbeitet	H. Dornebusch, M. Sc. RWTH
Kapitel 6	überarbeitet	Dipl.-Wirt.-Ing. B. Grümer P. Bibow, M. Sc. RWTH
Kapitel 7	überarbeitet	H. Dornebusch, M. Sc. RWTH
Kapitel 8	überarbeitet	M. Rieck, M. Sc. RWTH
Kapitel 10	mitgestaltet und überarbeitet	Dipl.-Ing. M. Schmitz Dr.-Ing. M. Theunissen
Kapitel 11	mitgestaltet und überarbeitet	T. Schneppe, M. Sc. RWTH Dr.-Ing. M. Theunissen
Kapitel 12	überarbeitet	Dipl.-Ing. M. Schmitz Dr.-Ing. M. Theunissen
Kapitel 13	überarbeitet	M. Röbig, M. Sc. RWTH
Kapitel 14	überarbeitet	Dipl.-Wirt.-Ing. B. Grümer
Kapitel 15	überarbeitet	Dipl.-Ing. S. Haase
Kapitel 16	grundlegend überarbeitet	C. Zimmermann, M. Sc. RWTH

Kapitel 17	überarbeitet	P. Ochotta, M. Sc. RWTH
Kapitel 18	mitgestaltet und grundlegend überarbeitet	M. Röbig, M. Sc. RWTH Dr.-Ing. M. Theunissen
Kapitel 19	mitgestaltet und überarbeitet	J. Heinisch, M. Sc. RWTH
Kapitel 20	überarbeitet	M. Orth, M. Sc. RWTH
Kapitel 21	mitgestaltet und überarbeitet	M. Orth, M. Sc. RWTH Dr.-Ing. M. Theunissen
Kapitel 22	überarbeitet	N. Lammert, M. Sc. RWTH
Kapitel 23	überarbeitet	M. Orth, M. Sc. RWTH
Kapitel 24	überarbeitet	N. Lammert, M. Sc. RWTH

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	V
Zur 7. Auflage	V
Die Autoren	IX
1 Das Spritzgießverfahren	1
1.1 Ablauf des Spritzgießprozesses	2
1.2 Spritzgießen von Thermoplasten	3
1.3 Spritzgießen vernetzender Formmassen	4
1.3.1 Spritzgießen von Elastomeren	5
1.3.2 Spritzgießen von Duroplasten	6
Literatur Kapitel 1	6
2 Formmassen für das Spritzgießen	7
2.1 Aufbau von Kunststoffen	7
2.2 Klassifikation von Kunststoffen aufgrund ihrer chemischen Struktur	8
2.2.1 Thermoplaste	8
2.2.1.1 Teilkristalline Thermoplaste	8
2.2.1.2 Amorphe Thermoplaste	9
2.2.2 Vernetzende Formmassen	11
2.2.2.1 Duroplaste	12
2.2.2.2 Elastomere	12
2.2.3 Zusatzstoffe	13
Literatur Kapitel 2	16
3 Gestalten von Bauteilen für das Spritzgießen von Thermoplasten	17
3.1 Kunststoff als Konstruktionswerkstoff	17
3.2 Gestaltungsregeln für die fertigungs- und werkstoffgerechte Konstruktion von Spritzgießbauteilen	18
3.2.1 Wanddicke so dünn wie möglich auslegen	19
3.2.2 Gleichbleibende Wanddicken vorsehen	23

3.2.3	Masseanhäufungen vermeiden	27
3.2.4	Ecken und Kanten mit Radien versehen.	29
3.2.5	Rippen spritzgießgerecht gestalten.	33
3.2.6	Ebene Flächen vermeiden	38
3.2.7	Ausreichende Konizitäten vorsehen	40
3.2.8	Hinterschneidungen vermeiden	40
3.2.9	Keine genauere Bearbeitung als nötig	44
3.2.10	Das Potenzial der freien Formgebung ausschöpfen	46
3.2.11	Position des Angusses bei der Formgestaltung beachten.	51
3.2.12	Kunststoff-Metall-Verbunde spannungsausgleichend gestalten	54
3.2.13	Löcher und Auskernungen kunststoffgerecht gestalten	60
3.2.14	Gewinde kunststoffgerecht gestalten	62
3.2.15	Formteile verfahrensgerecht optimieren	65
3.3	Prototypenfertigung mithilfe additiver Verfahren.	67
	Literatur Kapitel 3	69
4	Maßänderungen, Schwindung und Verzug	71
4.1	Einleitung.	71
4.2	Definitionen zur Schwindung	71
4.3	Ursache der Schwindung	74
4.4	Ursachen des anisotropen Schwindungsverhaltens	75
4.5	Ursachen des Verzugs	77
4.6	Beeinflussung von Schwindung und Verzug durch den Prozess.	79
4.7	Hilfsmittel zur Schwindungsvorhersage.	82
4.8	Toleranzen für Kunststoffformteile	83
4.8.1	Bestimmung der Toleranzgruppe	83
	Literatur Kapitel 4	88
5	Das Spritzgießwerkzeug, seine Bauarten und Aufgaben	91
5.1	Bezeichnungen am Spritzgießwerkzeug.	91
5.2	Einteilung der Werkzeuge	91
5.3	Aufgaben des Spritzgießwerkzeugs	93
5.3.1	Kriterien zur Einteilung der Werkzeuge in Gruppen	95
5.3.2	Prinzipielle Vorgehensweise bei der Werkzeugkonstruktion.	99
5.3.3	Bestimmung der Werkzeuggröße	104
5.3.3.1	Maximale Formnestzahl.	104
5.3.3.2	Zuhaltekraft.	105
5.3.3.3	Maximale Aufspannfläche	106
5.3.3.4	Erforderlicher Öffnungshub.	106
5.3.4	Fließweg-Wanddickenverhältnis	107
5.4	Anordnung der Formnester in der Trennebene.	109

5.4.1	Allgemeine Forderungen	109
5.4.2	Darstellung der Lösungsmöglichkeiten	110
5.4.3	Kräftegleichgewicht des Werkzeugs beim Füllvorgang	110
5.4.4	Zahl der Trennebenen	112
5.4.4.1	Konstruktive Lösungsmöglichkeiten.....	113
Literatur Kapitel 5		113
6	Verfahren zur Abschätzung der Werkzeugkosten.....	115
6.1	Allgemeines.....	115
6.2	Verfahren zur Werkzeugkalkulation.....	116
6.3	Das Prinzip der Kostenfunktion	118
6.3.1	Kalkulationsgruppe I: Formnest (3.3.1–3.3.4 auszugsweise aus [6.9])	119
6.3.2	Kalkulationsgruppe II: Grundaufbau	119
6.3.3	Kalkulationsgruppe III: Grundfunktionseinheiten	121
6.3.4	Kalkulationsgruppe IV: Sonderfunktionseinheiten.....	122
6.4	Das Prinzip der Kostenähnlichkeit	123
6.5	Weitere Kalkulationsansätze	126
6.5.1	Die ressourcenorientierte Prozesskostenrechnung.....	126
6.5.2	Das Prinzip der hierarchischen Ähnlichkeitssuche	127
6.6	Aktuelle Rechenprogramme	128
Literatur Kapitel 6		130
7	Eintritt der Schmelze in das Werkzeug, ihre Verteilung und der Füllvorgang der Kavitäten	133
7.1	Beschreibung des Angussystems	133
7.2	Prinzip und Definition verschiedener Angusskanalarten	134
7.2.1	Normale Verteilerkanäle	134
7.2.2	Heißkanäle.....	135
7.2.3	Kaltkanäle	135
7.3	Anforderungen an das Angussystem	136
7.4	Angussformen	137
7.5	Angussbuchse	139
7.6	Gestaltung der Verteilerkanäle	142
7.7	Gestaltung der Angussstege (Anschnitte)	145
7.7.1	Lage des Anschnittes am Formteil	149
7.8	Verteilerkanäle für hochgefüllte Schmelzen	154
7.9	Verteilerkanäle und Anschnitte für vernetzende Formmassen	156
7.9.1	Elastomere	156
7.9.2	Duroplaste	157
7.10	Rheologische Werkzeugauslegung	157

7.10.1	Rheologische Grundlagen [7.39]	159
7.10.1.1	Ermittlung des viskosen Fließverhaltens unter Scherung mit Hilfe des Kapillarrheometers	168
7.10.1.2	Dehnviskosität	172
7.10.1.3	Gleichungen zur Druckverlustberechnung in Angüssen und Angussverteilern	173
7.11	Auslegung von Angüssen und Angussverteilern für vernetzende Formmassen	176
7.11.1	Elastomere	176
7.11.1.1	Berechnung des Füllvorgangs	176
7.11.1.2	Einfluss der Verarbeitungseigenschaften ermittelt anhand von Verarbeitungsfenstern	177
7.11.1.3	Kritische Anmerkungen und Beispiele zum Modell des Verarbeitungsfensters	179
7.11.2	Duroplaste	181
	Literatur Kapitel 7	184
8	Ausführung der Angüsse	187
8.1	Stangenanguss	187
8.2	Band- oder Filmanguss	189
8.3	Schirmanguss	191
8.4	Ringanguss	193
8.5	Tunnelanguss	195
8.6	Abreiß-Punktanguss – Dreiplattenwerkzeug	197
8.7	Vorkammer-Punktanguss	200
8.8	Angussloses Anspritzen	204
8.9	Werkzeuge mit Isolierkanalverteilern [8.15]	204
8.10	Temperierte Angussysteme – Heißkanal [8.16]	208
8.10.1	Heißkanalsysteme	208
8.10.1.1	Wirtschaftliche Vor- und Nachteile der Heißkanalsysteme	210
8.10.1.2	Heißkanäle für verschiedene Anwendungen und neue Möglichkeiten	211
8.10.1.3	Aufbau und Bestandteile eines Heißkanalsystems ..	212
8.10.1.3.1	Außen- und Innenbeheizte Systeme	214
8.10.1.4	Angussbuchse	217
8.10.1.5	Schmelzefilter	218
8.10.1.6	Verteilerblöcke	219
8.10.1.7	Verteilerbalken	220
8.10.1.8	Heißkanaldüsen (Anspritzdüsen, Anschnittdüsen) ..	222
8.10.1.9	Daten zur Auslegung von Heißkanalverteilern	225

8.10.1.9.1	Verteilerbalken	225
8.10.1.9.2	Düsenauslegung	227
8.10.1.9.3	Hinweise zum Betrieb von Heißkanälen	228
8.10.1.10	Elemente zur Beheizung von Heißkanalsystemen ..	228
8.10.1.10.1	Beheizung von Düsen	228
8.10.1.10.2	Beheizung von Verteilern	229
8.10.1.10.3	Ermittlung der Heizleistung	231
8.10.1.10.4	Temperaturregelung in Heißkanälen	231
8.10.1.10.5	Anordnung der Temperaturfühler	232
8.10.2	Kaltkanäle	233
8.10.2.1	Kaltkanalsysteme für Elastomer-Spritzgießwerkzeuge	234
8.10.2.2	Kaltkanalwerkzeuge für Duroplaste	240
Literatur Kapitel 8	242
9	Entlüften der Werkzeuge	247
9.1	Passive Entlüftung	249
9.2	Aktive Entlüftung	258
9.3	Entlüften beim Gasgedruckspritzgießen	260
Literatur Kapitel 9	262
10	Die thermische Auslegung	265
10.1	Kühlzeit (Temperierzeit)	266
10.2	Kühlzeitermittlung bei Thermoplasten	270
10.2.1	Kühlzeit bei asymmetrischen Wandtemperaturen	271
10.2.2	Kühlzeit bei anderen Geometrien	272
10.3	Temperaturleitfähigkeit verschiedener Formmassen	276
10.3.1	Die Temperaturleitfähigkeit duroplastischer Formmassen	277
10.4	Die Wärmeströme und die Temperierleistung	278
10.4.1	Thermoplaste	278
10.4.2	Vernetzende Formmassen [10.14]	283
10.5	Analytische thermische Berechnung anhand des spezifischen Wärmestroms (globale Auslegung)	286
10.5.1	Berechnungsablauf	286
10.5.1.1	Kühlzeitberechnung	290
10.5.1.2	Wärmestrombilanz	290
10.5.1.3	Temperiermitteldurchsatz	294
10.5.1.4	Temperierkanaldurchmesser	294
10.5.1.5	Lage der Temperierkanäle	299
10.5.1.6	Auslegung des Temperierkreislaufes	302
10.5.1.6.1	Temperiermitteldurchsatz	302

10.5.1.6.2	Berechnung des Druckbedarfs und der Pumpleistung.	303
10.5.2	Beispiel für die Auslegung von Temperierkanälen [10.25]	304
10.6	Berechnung der Heizleistung von Werkzeugen für vernetzende Werkstoffe	309
10.7	Thermische Auslegung von Werkzeugen für vernetzende Kunststoffe [10.29]	309
10.7.1	Wärmehaushalt.	309
10.7.2	Temperaturverteilung.	314
10.8	Einfache Abschätzung der unterschiedlichen Wärmeströme an kritischen Stellen	315
10.9	Numerische Berechnung zur thermischen Auslegung.	317
10.9.1	Thermische Formteilsimulation	318
10.9.2	Simulation von Temperierkanälen	321
10.9.3	Simulation von Heizelementen	323
10.9.4	Simulation von Werkzeugelementen	324
Literatur	Kapitel 10	325
11	Temperierkonzepte	329
11.1	Praktische Ausführung der Kühlkanäle.	329
11.1.1	Temperiersysteme für Kerne und rotationssymmetrische Formteile	329
11.1.2	Temperiersysteme für flächige Formteile.	336
11.1.3	Abdichten der Temperiersysteme	340
11.1.4	Konturnahe Temperierung.	341
11.1.5	Empirische Praxis zur Kompensation des Verzugs aus Wärmestromdifferenzen in Ecken bei thermoplastischen Formteilen	342
11.1.5.1	Änderung der Eckengeometrie	342
11.1.5.2	Partielle Anpassung der Wärmeströme	343
11.2	Praktische Ausführung der elektrischen Beheizung von Duroplastwerkzeugen	344
11.3	Temperiergeräte für Spritzgieß- und Presswerkzeuge	345
11.3.1	Aufgabe, Prinzip, Einteilung	345
11.3.2	Kontinuierlich arbeitende Anlagen.	346
11.3.2.1	Durchflusstemperierung	346
11.3.2.2	Temperiergeräte mit eigenem Kreislauf.	346
11.3.2.3	Diskontinuierlich arbeitende Temperieranlagen (Impulskühlung)	348
11.3.2.4	Diskontinuierlich mit alternativ wechselnder Temperatur arbeitende Temperieranlagen (sogenannte variotherme Temperierung).	350

11.3.3	Regelung	352
11.3.3.1	Regelungsarten	352
11.3.3.1.1	Regelung der Mediumstemperatur	352
11.3.3.1.2	Regelung der Werkzeugtemperatur	353
11.3.3.1.3	Kaskadenregelung	353
11.3.4	Auswahl eines geeigneten Temperiergeräts	355
11.3.5	Wartung, Reinigung	357
Literatur Kapitel 11		358
12	Mechanische Auslegung von Spritzgießwerkzeugen	363
12.1	Die Werkzeugverformung	363
12.2	Analyse und Bewertung der Verformungen	364
12.3	Grundlagen zur Beschreibung der Deformationen	366
12.3.1	Einfache Rechnung zur Abschätzung der Spaltbildung	367
12.3.2	Genauere Rechnung zur Abschätzung der Spaltbildung und Verhinderung von Schwimmhäuten und Graten	368
12.4	Das Überlagerungsverfahren	370
12.4.1	Zusammengeschaltete Federn als Ersatzelemente	371
12.4.1.1	Parallelschaltung von Elementen	372
12.4.1.2	Reihenschaltung von Elementen	372
12.5	Ermittlung der Werkzeugwanddicken und ihrer Verformungen	373
12.5.1	Darstellung der einzelnen Belastungsarten und Verformungen	374
12.5.2	Dimensionierung kreiszylindrischer Formnester	375
12.5.3	Dimensionierung von nicht-runden Werkzeugkonturen	376
12.5.4	Dimensionierung der Werkzeugplatten	378
12.6	Vorgehen bei der Dimensionierung einer Werkzeugwand unter Forminnendruck	379
12.7	Verformung von Backenwerkzeugen unter Forminnendruck (auch gültig für Schieberwerkzeuge)	380
12.8	Vorbereitungen der Verformungsrechnungen	387
12.8.1	Vereinfachungen der Geometrie	389
12.8.2	Hinweise zur Wahl der Randbedingungen	390
12.9	Rechenbeispiele	393
12.10	Identifizierung kritischer Formteilbereiche und deren Auslegung im Rahmen eines Virtual Prototyping	403
12.11	Versatz von Kernen und Einlege teilen	407
12.11.1	Versatz von Kernen	407
12.11.1.1	Abschätzung des maximalen Kernversatzes	407
12.11.1.2	Kernversatz am runden Kern mit Punktanschnitt seitlich am Fuß (starre Einspannung)	408

12.11.1.3	Kernversatz am runden Kern mit Schirmanguss (starre Einspannung)	411
12.11.1.4	Kernversatz bei verschiedenen Anguss- und Anschnittformen (starre Einspannung)	416
12.11.1.5	Numerische Berechnung des Kernversatzes	418
12.11.2	Versatz von Einlegeteilen	419
12.11.2.1	Analytische Berechnung der Verformung von Metalleinlegeteilen am Beispiel zylindrischer Walzenkörper [12.19]	419
12.11.2.2	Numerische Berechnung der Verformung von Einlegeteilen	422
12.11.3	Konstruktionsbeispiele für die Kerneinspannung und für die Zentrierung tiefer Werkzeuge	423
12.12	Weitere Belastungen	425
12.12.1	Die Abschätzung der zusätzlich auftretenden Belastungen	425
	Literatur Kapitel 12	426
13	Zentrierung, Führung und Handling der Werkzeuge	429
13.1	Aufgabe der Führung und Zentrierung	429
13.2	Zentrierung des Werkzeugs auf der Schließeinheit	430
13.3	Innere Führung und Zentrierung	431
13.4	Führung und Zentrierung bei großen Werkzeugen	439
	Literatur Kapitel 13	442
14	Werkzeugwechsel- und Spannsysteme	445
14.1	Werkzeugwechselsysteme	445
14.2	Manuell-mechanisch-arbeitende Werkzeugwechselsysteme	447
14.3	Hydraulisch arbeitende Spannsysteme	453
14.3.1	Adaptive Spannsysteme	453
14.3.2	Integrierte Spannsysteme	455
14.4	Magnetsysteme zum Spannen von Spritzgießwerkzeugen	457
14.5	Automatische Kupplungssysteme für Energietransport und Sensorik	460
14.6	Auswerferkupplungssysteme	463
14.7	Transportmittel für den Werkzeugwechsel	464
	Literatur Kapitel 14	468
15	Entformen gespritzter Teile	469
15.1	Übersicht über Entformungsarten	469
15.2	Auslegung des Entformungssystems – Entformungskräfte und Öffnungskräfte [15.5]	470
15.2.1	Allgemeines	470

15.2.2	Möglichkeiten zur Bestimmung der Entformungskräfte	474
15.2.2.1	Haftreibungskoeffizienten zur Ermittlung von Entformungs- und Öffnungskräften	474
15.2.2.2	Rechnerische Abschätzmethode für zylindrische Hülsen	476
15.2.2.3	Rechteckige Hülsen.	480
15.2.2.4	Konische Hülsen	480
15.2.2.5	Zusammenstellung verschiedener Grundfälle	481
15.2.3	Entformungskraft für komplexe Formteile am Beispiel eines Lüfterrades	484
15.2.4	Numerische Berechnung von Entformungsvorgängen (bei Elastomerformteilen).	488
15.2.5	Abschätzung der Öffnungskräfte	492
15.2.5.1	Zustandsverlauf im p-v-T-Diagramm bei unterschiedlichen Werkzeugsteifigkeiten.	493
15.2.5.2	Mittlere Öffnungskräfte	493
15.2.5.3	Gesamte Öffnungskraft.	493
15.3	Auswerferarten	494
15.3.1	Gestaltung und Dimensionierung von Auswerferstiften	494
15.3.2	Angriffsorte von Stiften und anderen Entformungselementen	498
15.3.3	Aufnahme der Auswerferstifte in den Auswerferplatten	503
15.4	Betätigung und Betätigungsmittel für das Auswerfen	505
15.4.1	Betätigungsarten und Wahl des Angriffsortes.	505
15.4.2	Betätigungsmittel	505
15.5	Besondere Auswerfersysteme	510
15.5.1	Doppeletagenauswurf (zweifacher Auswerferweg).	510
15.5.2	Gemischtes Auswerfen.	512
15.5.3	Dreiplattenwerkzeug.	513
15.5.3.1	Unterteilung der Auswerferbewegung durch Zuganker	514
15.5.3.2	Unterteilung der Auswerferbewegung durch einen Klinkenzug.	514
15.5.3.3	Entformen auf der Düsenseite	516
15.6	Auswerferrückzug.	516
15.7	Entformen von Formteilen mit Hinterschneidungen	518
15.7.1	Entformen von Formteilen mit Hinterschneidungen durch Abschieben	519
15.7.2	Zulässige Hinterschnitthöhe am Beispiel von Schnappverbindungen	520
15.8	Entformen von Gewinden.	522
15.8.1	Entformen von Formteilen mit Innengewinde.	522

15.8.1.1	Abstreiferwerkzeuge	522
15.8.1.2	Zusammenklappende Kerne	523
15.8.1.3	Werkzeuge mit Wechselkernen	525
15.8.2	Abschraubwerkzeuge	525
15.8.3	Entformen von Formteilen mit Außengewinde	533
15.9	Hinterschneidungen in nicht rotationssymmetrischen Formteilen	534
15.9.1	Innere Hinterschneidungen	534
15.9.2	Äußere Hinterschneidungen	534
15.9.2.1	Schieberwerkzeuge	536
15.9.2.2	Backenwerkzeuge	543
15.9.3	Werkzeuge mit Kernzügen	548
	Literatur Kapitel 15	550
16	Rechnerunterstützte Werkzeugauslegung und CAD-Einsatz in der Werkzeugkonstruktion	553
16.1	CAD-Einsatz in der Werkzeugkonstruktion	553
16.1.1	Einleitung	553
16.1.1.1	Assoziativität, Parametrik/Varimetrik, Feature-Verarbeitung, Datenformate	554
16.1.2	CAD-Anwendung im Werkzeugbau	556
16.1.2.1	Geometrierzeugung/Modellierung	556
16.1.3	Integrierte Funktionalitäten für den Werkzeugbau	560
16.1.3.1	Anwendungsspezifische Funktionserweiterung	563
16.1.3.2	Möglichkeiten des Concurrent-Engineering durch CAD-Einsatz	563
16.2	Spritzgießsimulation	566
16.2.1	Vorteile der Spritzgießsimulation während der Entwicklungsphase	567
16.2.2	Reduktion der Kosten durch den Einsatz von Simulationstechniken	568
16.2.3	Erstellung einer Spritzgießsimulation	570
16.2.4	Auslegung des Angussystems	573
16.2.5	Schwindungs- und Verzugsberechnung	575
16.2.6	Simulation von Spritzgießsonderverfahren	575
16.2.7	Optimierte Spritzgießsimulation	579
	Literatur Kapitel 16	581
17	Spezielle Werkzeuge zur Steigerung der Wirtschaftlichkeit	583
17.1	Familienwerkzeuge	583
17.2	Etagenwerkzeuge	585
17.2.1	Etagenwendetechnik – Würfeltechnik	590

17.2.2	Etagenwendetechnik – Quader mit umlaufenden Kavitäten . . .	594
17.3	Werkzeuge mit modular umsetzbaren Kavitäten.	595
17.3.1	Paternoster-Werkzeuge.	595
17.3.2	Shuttle-Molding.	597
17.4	Tandemwerkzeuge	599
17.4.1	Tandemwendetechnik.	603
17.5	Injection-Transfer-Molding-Werkzeuge (ITM)	604
17.5.1	Werkzeuge für das ITM-Verfahren in der Elastomerverarbeitung.	604
17.5.2	Werkzeuge für das ITM-Verfahren in der Thermoplastverarbeitung.	608
	Literatur Kapitel 17	609
18	Werkzeuge für Spritzgießsonderverfahren	613
18.1	Mehrkomponenten-Spritzgießen.	613
18.1.1	Additionsverfahren.	613
18.1.2	Sequenzverfahren.	620
18.1.2.1	Intervall-Spritzgießen.	621
18.1.2.2	Sandwich-Spritzgießen.	621
18.2	Fluidinjektionstechnik	626
18.2.1	Verfahrensvarianten.	626
18.2.2	Verfahrenstechnische Aspekte	627
18.2.3	Injektortechnologie.	630
18.2.4	Injektoren für die Gasinjektionstechnik.	630
18.2.5	Injektoren für die Wasserinjektionstechnik.	631
18.2.5.1	Selbstbetätigte Injektoren.	633
18.2.5.2	Fremdbetätigte Injektoren	634
18.2.5.3	Ziehende und stechende Injektoren	635
18.2.5.4	Axial- und Radialinjektoren.	636
18.2.5.5	Generelle Gestaltungshinweise für WIT-Injektoren. .637	
18.2.6	Designrichtlinien für Bauteile und Werkzeuge bei der FIT	638
18.2.6.1	Stabförmige FIT-Formteile	638
18.2.6.2	Flächige Formteile mit Rippen.	641
18.2.6.3	Formteile mit dickwandigen Bereichen	643
18.2.6.4	Mehrkavitätenwerkzeuge.	644
18.2.6.5	Gestaltung von Nebenkavitäten.	645
18.3	Thermoplast-Schaumspritzgießen.	646
18.3.1	Formteilmgestaltung	648
18.3.1.1	Wanddicken, Wanddickensprünge	648
18.3.1.2	Rippen, Dome, Schnapphaken	651
18.3.1.3	Fließhindernisse	653

18.3.2	Angusssystem	654
18.3.2.1	Balancierung des Angusssystems	654
18.3.2.2	Angussbuchse	655
18.3.2.3	Anschnittarten	656
18.3.2.4	Lage der Anspritzpunkte	658
18.3.3	Temperierung beim Schaumspritzgießen	659
18.3.4	Entlüftung (vgl. Kapitel 9)	661
18.3.5	Werkzeugmaterialien beim Schaumspritzgießen	662
18.3.6	Möglichkeiten zur Verbesserung der Oberflächenqualität beim Schaumspritzgießen	662
18.3.6.1	„Atmendes“ Werkzeug	662
18.3.6.2	Gasgedruckverfahren	665
18.3.6.3	Werkzeuginnendrucke beim Schaumspritzgießen ..	668
18.3.6.4	Verwendung von Oberflächenstrukturierungen ...	669
18.3.6.5	Verwendung von Beschichtungen im Werkzeug ...	669
18.3.6.6	Variotherme Temperierung	670
18.4	Spritzprägen	672
18.4.1	Verfahrensvarianten	673
18.4.2	Werkzeugtechnik für das Spritzprägen	676
18.4.3	Anwendungsgebiete, Vor- und Nachteile des Spritzprägens ...	677
18.5	Hinterspritzen	679
18.5.1	Einleitung	679
18.5.2	Einstufige Dekorationsverfahren	680
18.5.2.1	Textilhinterspritztechnik/Textilmelttechnik	680
18.5.2.2	In-Mold-Labeling (IML)	680
18.5.2.3	In-Mold-Decoration (IMD)	681
18.5.2.4	In-Mold-Decoration/Insert-Molding/Insert-Molding- Decoration	681
18.5.2.5	Folienhinterspritztechnik (FHST)/In-Mold-Surfacing Technik (ISF)/Paintless-Film-Molding/In-Mold- Decoration (IMD-3D/F)	681
18.5.2.6	In-Mold Coating (IMC)/In-Mold-Painting (IMP)	685
18.5.2.7	Mehrfarbenspritzgießen/In-Lay-Technik	685
18.5.2.8	Kombinierter Tiefzieh- und Hinterspritzprozesses ..	686
18.5.3	Werkzeugtechnik	687
18.6	Spritzgießen von Mikroformteilen [18.182]	693
18.6.1	Werkzeugtechnik und Prozessführung	695
18.6.2	Herstellungsverfahren für Mikrokavitäten	698
18.7	Flüssigsilikonverarbeitung [18.199]	699
18.7.1	Maschinen- und Anlagentechnik für die LSR-Verarbeitung	699
18.7.2	Werkzeugtechnik	701

18.8	Spritzgießen von überlangen und endlosen Bauteilen	704
18.8.1	Prozessführung	705
18.8.2	Werkzeugtechnik für das Exjection-Verfahren	707
Literatur Kapitel 18		709
19	Messen in Spritzgießwerkzeugen	723
19.1	Werkzeuginnendrucksensoren	724
19.1.1	Positionierung von Werkzeuginnendrucksensoren	724
19.1.2	Sensoren zur Messung des Werkzeuginnendrucks	725
19.1.2.1	Direkt messende Werkzeuginnendrucksensoren ..	726
19.1.2.2	Indirekt messende Werkzeuginnendrucksensoren ..	732
19.2	Temperatursensoren	734
19.2.1	Temperatursensoren mit Schmelzekontakt	734
19.2.1.1	Kontakttemperatursensoren	735
19.2.1.2	IR-Sensoren	736
19.3	Prozessoptimierung mit Werkzeuginnendrucksensoren	737
19.4	Produktions-/Qualitätsüberwachung und Qualitätsdokumentation mit Sensoren	742
19.4.1	Online-Qualitätsüberwachung auf der Basis von Prozessgrößen	743
19.4.2	Online-Qualitätsüberwachung auf Basis von Qualitätsmodellen	744
19.5	Eingebettete Datenerfassungs- und Diagnosesysteme in Spritzgießwerkzeugen	745
19.6	Messtechnik beim Einfahren und zur praktischen Überprüfung von Spritzgießwerkzeugen im Betrieb [19.36]	747
19.7	Einsatz der IR-Thermografie [19.36]	749
19.7.1	Grundlagen	749
19.7.2	Anwendungen der Thermografie bei Spritzgießwerkzeugen ...	749
19.7.3	Ist-Analysen an Werkzeugen und Produktionsprozessen	750
19.7.4	Werkzeugwandtemperatur/Formteilerflächentemperatur ...	751
19.7.5	Einsatzmöglichkeiten von IR-Thermografie	752
19.7.5.1	Thermografie der Formteile	752
19.7.5.2	Thermografie an Werkzeugen	753
19.7.6	Erkennung von Temperierfehler an Werkzeugen mittels IR-Thermografie	753
19.7.6.1	Thermografie an Heißkanal-Systemen	755
19.7.6.2	Verstopfte Kühlbohrungen	756
19.7.7	Optimierungsbeispiel Stoßfänger	756
Literatur Kapitel 19		760

20	Maßnahmen zur Beseitigung von Verarbeitungsfehlern beim Spritzgießen	765
	Literatur Kapitel 20	779
21	Instandhaltung von Spritzgießwerkzeugen	781
21.1	Instandhaltung	781
21.2	Vorgehensweise zur planmäßigen Werkzeug-Instandhaltung	783
21.2.1	Datenerfassung	783
21.2.2	Lagerung der Werkzeuge	785
21.2.3	Anforderungen an das Werkzeuglager	786
21.3	Wartungs- und Instandhaltungsarbeiten	787
21.3.1	Pflege und Wartung der Werkzeuoberflächen	788
21.3.1.1	Wischen, Bürsten und Polieren	788
21.3.1.2	Reinigen durch Strahlen	789
21.3.1.2.1	Trocken-Nassdampf- oder Heißwassersprühstrahler	790
21.3.1.2.2	Organische Strahlmittel	790
21.3.1.2.3	Reinigen mit Trockeneis	790
21.3.1.2.4	Reinigen mit Laser	791
21.3.2	Reinigen mit Ultraschall	792
21.4	Pflege und Wartung der Temperiersysteme	793
21.5	Pflege und Wartung des Heiz- und Regelsystems	794
21.6	Pflege und Wartung des Angussystems	795
21.7	Pflege und Wartung von Gleitführungen	795
21.8	Pflegemaßnahmen vor der Einlagerung	796
21.9	Reparaturen und Änderungen an Spritzgießwerkzeugen	796
21.9.1	Mechanische Nacharbeit und Austausch von Teilen oder Baugruppen	797
21.9.2	Einsetzen oder Einlöten von Stiften oder Kernen	799
21.9.3	Reparaturen und Änderungen durch Materialauftrag	800
21.9.3.1	Laserstrahlschweißen	801
21.9.3.2	Elektrische Schweißverfahren	803
21.9.3.3	Werkzeugreparaturen mit „Plastik-Stahl“	805
	Literatur Kapitel 21	805
22	Standardisierung – Werkzeugnormalien	809
	Literatur Kapitel 22	824
23	Werkstoffe und Beschichtungen für den Werkzeugbau	825
23.1	Stähle	826
23.2	Nichteisenmetallische Werkstoffe	829
23.2.1	Kupferlegierungen	829

23.2.2	Zink und dessen Legierungen	.831
23.2.3	Aluminiumlegierungen	.832
23.2.4	Zinn-Wismut-Legierungen	.835
23.2.5	Keramische Werkstoffe	.836
23.3	Galvanisch abgeschiedene Werkstoffe	.836
23.4	Oberflächenbehandlung von Stählen für Spritzgießwerkzeuge	.837
23.4.1	Generelle Hinweise	.837
23.4.2	Thermische Behandlungsverfahren	.839
23.4.3	Thermochemische Behandlungsverfahren	.839
23.4.3.1	Einsatzhärten	.839
23.4.3.2	Nitrieren	.841
23.4.3.3	Borieren	.842
23.4.4	Elektrochemische Behandlungsverfahren	.842
23.4.4.1	Hartverchromen	.843
23.4.4.2	Vernickeln	.843
23.4.5	Beschichten bei niedrigen Drücken	.844
23.4.5.1	Chemische Gasphasenabscheidung, CVD-Verfahren	.845
23.4.5.2	Physikalische Gasphasenabscheidung, PVD-Verfahren	.846
23.4.6	Laserstrahloberflächenbehandlung (LOB)	.849
23.4.6.1	Laserstrahlhärten und -umschmelzen	.850
23.4.6.2	Laserstrahllegieren, -dispergieren und -beschichten	.851
23.4.7	Lamcoat-Beschichtung	.851
	Literatur Kapitel 23	.852
24	Fertigungsverfahren für Spritzgießwerkzeuge	.857
24.1	Spanende Bearbeitungsverfahren	.860
24.1.1	Zerspanung mit definierter Schneide	.860
24.1.1.1	Drehen	.860
24.1.1.2	Bohren	.861
24.1.1.3	Fräsen	.861
24.1.1.3.1	Konventionelle Fräsbearbeitung	.862
24.1.1.3.2	HSC-Fräsen	.863
24.1.1.3.3	Hartfräsen	.864
24.1.1.3.4	Fünfbearbeitung	.865
24.1.1.4	Verfahrensabgrenzung	.865
24.1.2	Zerspanung mit undefinierter Schneide	.866
24.1.2.1	Flachschleifen	.866
24.1.2.2	Koordinatenschleifen	.867
24.1.2.3	Strahlslappen	.867

	24.1.2.4	Druckfließbläppen.	867
24.2		Abtragende Fertigungsverfahren	868
	24.2.1	Funkenerosives Abtragen (EDM, Electric-Discharge-Machining)	868
	24.2.1.1	Funkenerosives Senken	868
	24.2.1.2	Funkenerosives Schneiden mit Drahtelektroden.	872
	24.2.2	Abtragen durch elektrochemische Auflösung (ECM, Electric-Chemical-Machining)	873
	24.2.2.1	Elektrochemisches Polieren	873
	24.2.2.2	Elektrochemisches Ätzen	874
24.3		Polieren	877
	24.3.1	Theorien zum Materialabtrag bei der Politur.	877
	24.3.2	Maschinensysteme	878
	24.3.3	Aufbau und Zusammensetzung der Werkzeuge	879
	24.3.3.1	Poliermittelträger	879
	24.3.3.2	Poliermittel.	880
24.4		Laser-Carving	881
24.5		Additive Fertigung für Spritzgießwerkzeuge.	884
	24.5.1	Einleitung	884
	24.5.2	Direkte additive Fertigung.	887
	24.5.2.1	Stereolithographie.	889
	24.5.2.2	Poly-Jet-Verfahren für duroplastische Werkzeugeinsätze	890
	24.5.2.3	Schmelzeschichten/Fused-Layer-Modeling.	891
	24.5.2.4	Selektives Lasersintern von Metallen.	893
	24.5.2.5	Selektives Laserschmelzen von Stählen und Metallen	895
	24.5.2.6	Nachbearbeitung von additiv gefertigten Bauteilen .	902
24.6		Hybride Fertigungsstrategien	902
24.7		Herstellung von Spritzgießformen und Formeinsätzen durch Gießen . .	904
	24.7.1	Gießen in verlorenen Formen mit Dauermodellen	907
	24.7.1.1	Sandgießen.	907
	24.7.1.2	Maskenformverfahren	909
	24.7.1.3	Shaw-Verfahren	911
	24.7.2	Gießen in verlorenen Formen mit verlorenen Modellen.	911
	24.7.2.1	Feingießen	911
	24.7.2.2	Vollformgießen	913
	24.7.2.3	Verfahren in Dauerformen.	914
	24.7.2.4	Kokillengießen.	915
	24.7.2.5	Druckgießen.	915
	24.7.2.6	Harzabgießen.	917
	24.7.2.7	Vakuumgießen.	917