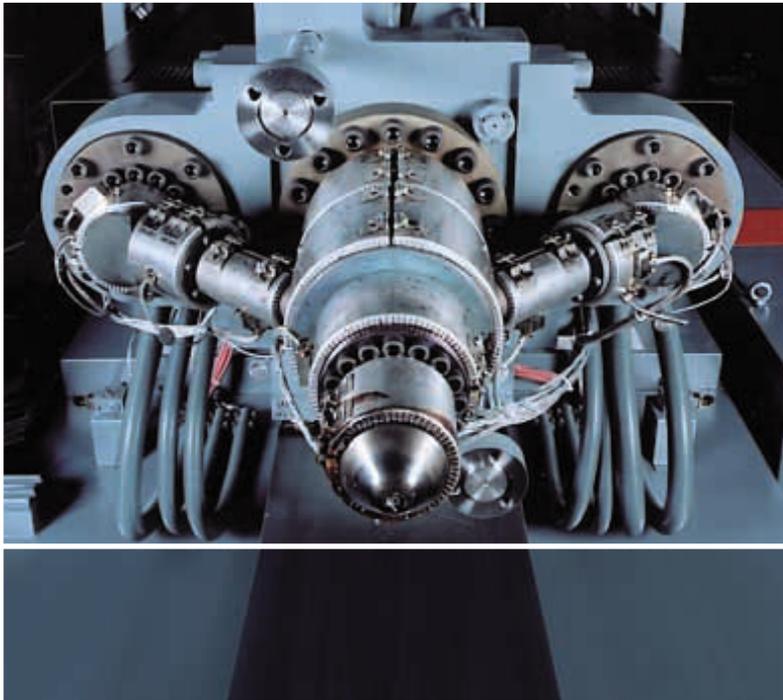


Friedrich Johannaber
Walter Michaeli

Handbuch Spritzgießen



2. Auflage

HANSER

Johannaber / Michaeli
Handbuch Spritzgießen

Know-How aus einer Hand

www.kunststoffe.de – Fach- und Brancheninformationen für Ihre Entscheidungen

■ **Fachzeitschriften:** Das Online-Archiv der Zeitschriften

Kunststoffe, Kunststoffe plast europe und International Polymer Processing

■ **Seminare:** Vertieftes Wissen für die tägliche Praxis

■ **Fachbücher:** Vom Lehrbuch bis zum umfassenden Nachschlagewerk

Kunststoffe.DE

Immer einen Click voraus!

Friedrich Johannaber
Walter Michaeli

Handbuch Spritzgießen

Mit 738 Abbildungen

2. Auflage

HANSER

Die Autoren:

Dr.-Ing. Friedrich Johannaber, Berta Lungstras Weg 14, 53797 Lohmar
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. e.h. Walter Michaeli, Institut für Kunststoffverarbeitung,
RWTH Aachen, Pontstraße 49, 52062 Aachen

Bibliografische Information Der Deutschen Bibliothek:

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

ISBN 978-3-446-22966-2

E-Book-ISBN 978-3-446-44098-2

www.hanser-fachbuch.de

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 erstellt und mit Sorgfalt getestet. Dennoch sind Fehler nicht ganz auszuschließen. Aus diesem Grund sind die in diesem Buch enthaltenen Verfahren und Daten mit keiner Verpflichtung oder Garantie irgendeiner Art verbunden. Autor und Verlag übernehmen infolgedessen keine Verantwortung und werden keine daraus folgende oder sonstige Haftung übernehmen, die auf irgend eine Art aus der Benutzung dieser Verfahren 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 Genehmigung 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.

© Carl Hanser Verlag München 2004

Herstellung: Oswald Immel

Coverkonzept: Marc Müller-Bremer, Rebranding, München

Coverumsetzung: MCP • Susanne Kraus GbR, Holzkirchen

Satz: Druckhaus „Thomas Müntzer“ GmbH, Bad Langensalza

Druck und Bindung: Kösel, Krugzell

Vorwort

Kunststoffe zu spritzgießen ist eine der fortschrittlichsten Verarbeitungstechnologien unserer Zeit. Spritzgießen liefert ursprünglich kaum voraussehbare, aber in Nutzen und Wirkung stets nachvollziehbare und kontrollierbare Anwendungen für praktisch alle Bereiche industrieller Nutzung und des täglichen Gebrauchs.

Neben der im Vordergrund stehenden technischen Beschreibung des Verfahrens ist es das Bemühen der Autoren, einen Beitrag zum gefahrlosen Umgang mit Spritzgießeinrichtungen zu leisten. Deshalb gibt dieses Buch in den Abschnitten: Sicherheit, Arbeitsplatzhygiene, Trocknung, Entgasung, Entsorgung ... Hinweise auf vorbildliche und umweltfreundliche Betriebsweisen. Weiterhin möchte dieses Buch die Öffentlichkeit mit den Realitäten, Problemen und Vorteilen der Spritzgießtechnik vertraut machen. So soll diese für unsere Zukunft wichtige Technologie den ihr zustehenden Platz erhalten.

Der Leser dieses Werks könnte nun der Auffassung sein, dass er hiermit ein Handbuch zur Verfügung hat, das den Wert eines Kochbuchs für einen Koch aufweist. Jedoch – Ein Möchtegern-Koch legte eines Tages die Gans in die Sautierpfanne so wie vorgeschrieben gestopft und zugenäht. Dennoch war ihm der erwartete Erfolg nicht beschieden, seiner Liebsten zu imponieren, als er die gebratene Gans im arg ramponierten Federkleid aus der Pfanne entnahm. Im Kochbuch fehlte eben der wesentliche Hinweis bei „Gans“, nämlich „gerupft“. Es wird offensichtlich in jedem Kochbuch, auch dem bester Güte, unterstellt, dass jeder Koch weiß, dass nach der gegebenen Vorschrift nur gerupfte Gänse zu behandeln sind und zwar immer. Bei der Lektüre dieses Buchs sollte man zuvor Beschriebenes im Hinterkopf haben. Kritischer Umgang, Prüfung des gerade gültigen Umfelds und ggf. Nachfragen beim Spezialisten sichert zusätzlich ab. Hier und da sind die Aussagen auch klar erkenntlich als allgemeine Richtlinien gekennzeichnet. Da muss man zusätzlich nach dem Speziellen suchen.

Dieses Buch erhebt nicht den Anspruch, die Spritzgießtechnik wissenschaftlich zu durchleuchten. Vorzugsweise soll der Praktiker Anregungen und Hinweise zur Lösung seiner täglichen Probleme erhalten. Dabei wurde große Aufmerksamkeit darauf verwendet, vorliegende Praxiserfahrungen zu sammeln und in übersichtlichen Tabellen und Diagrammen darzustellen.

Es wurde bewusst der Versuch gemacht, ältere Literatur zu berücksichtigen. Der Fachmann geht oftmals davon aus, dass in einer Zeit, die mehr als 10 bis 15 Jahre zurückliegt, keine verwertbaren Informationen mehr gefunden werden. Diese Annahme ist grundsätzlich falsch. Dieses zeigt das Geschehen um die elektromechanisch angetriebenen sog. vollelektrischen Spritzgießmaschinen. Die gesamte Technik, bis auf die regelbaren E-Motoren, war schon vor 1965 vorhanden.

Ein derart umfassendes Buch kann ohne qualifizierte Mithilfe nicht entstehen.

Den Herren Prof. Dr.-Ing. Jürgen Rothe, Prof. Dr.-Ing. Ernst Schmachtenberg, Prof. Dr.-Ing. Paul Thienel und Bruno Stillhard wird in ganz besonderer Weise gedankt, da sie in umfangreicher Weise Text- und Bildmaterial zur Verfügung stellten. Herr Dipl.-Ing. Herbert Thoma stellte in einzigartiger Weise sein Wissen, seine Bildunterlagen und seine Zeit zur Verfügung, um Rat zu geben und die Durchsicht einer Reihe von Kapiteln vorzunehmen. Für seine wertvollen Korrekturen und Ergänzungen sowie Bilder und einige beigesteuerte Textpassagen gebührt ihm besonderer Dank.

Ganze Kapitel verfassten dankenswerter Weise die Herren Prof. Dr.-Ing. Helmut Potente, Dr.-Ing. Ch. Obermann, Dipl.-Ing. H. Recker, Dr.-Ing. L. Spix und Prof. Dr.-Ing. E. Schmachtenberg. Zahlreiche Mitarbeiter des IKV haben uns bei der Materialsammlung, bei der Manuskripterstellung und bei der Korrektur intensiv unterstützt. Ihnen allen sei an dieser Stelle herzlich gedankt: Dr.-Ing. G. Aengenheyster, Dr.-Ing. J. Berthold, Dr.-Ing. R. Bluhm, Dr.-Ing. S. Bölinger, Dr.-Ing. C. Brockmann, Dipl.-Ing. A. Brunswick, Dr.-Ing. J. Dassow, Dr.-Ing. F. Ehrig, Dr.-Ing. H. Findeisen, Dipl.-Ing. A. Franz, Dr.-Ing. T. Galuschka, Dr.-Ing. T. Gernot, Dr.-Ing. M. Giersbeck, Dr.-Ing. C. Herschbach, Dr.-Ing. C. Hopmann, Dr.-Ing. M. Hopmann, Dipl.-Ing. T. Jüntgen, Dr.-Ing. A. Kammann, Dr.-Ing. T. Kloubert, Dr.-Ing. J. Knothe, Dr.-Ing. N. Kudlik, Dr.-Ing. F. Lindner, Dr.-Ing. R. v. Oepen, Dr.-Ing. O. Pfanschmidt, Dr.-Ing. M. C. Philipp, Dipl.-Ing. H. Recker, Dr.-Ing. T. E. Robers, Dr.-Ing. A. Rogalla, Dr.-Ing. V. Romberg, Dr.-Ing. C. Ronnewinkel, Dr.-Ing. W. Schlegel, Dr.-Ing. O. Schnerr-Häselbarth, Dr.-Ing. H. Smets, Dr.-Ing. A. Spennemann, Dr.-Ing. W. Tietz, Dr.-Ing. R. Vaculik, Dipl.-Ing. H. Wehr, Dipl.-Ing. M. Wielpütz, Dr.-Ing. J. Zacher und Dr.-Ing. C. Ziegmann. Wesentliche Unterstützung leisteten auch folgende Firmen, die Informationen und insbesondere Bildmaterial zur Verfügung stellten, wie Arburg GmbH + Co., Loßburg, Battenfeld GmbH, Meinerzhagen, BASF AG, Geschäftsbereich Polymere, Ludwigshafen, Bayer AG, Geschäftsbereich Kunststoffe, Leverkusen, Dr. Boy GmbH, Neustadt/Wied, DEMAGergotech GmbH, Schwaig, Engel Vertriebsgesellschaft mbH, Schwertberg, Ewikon Heißkanalsysteme GmbH & Co. KG, Frankenberg, Ferromatik Milacron GmbH, Malterdingen, GWK Gesellschaft Wärme Kältetechnik mbH, Kierspe, Hettinga Technologies, Des Moines, USA, HPM Hemscheidt GmbH, Schwerin, Husky Spritzgießsysteme GmbH; Wiesbaden/Dudelange, Luxemburg, Krauss Maffei AG, München, LWB Steinl GmbH & Co. KG, Altdorf, Stork Plastics Machinery B. V. Hengelo. Auch dafür danken die Autoren den Fachkollegen und den Firmen.

Friedrich Johannaber
Walter Michaeli

Inhalt

Einleitung	7
1 Geschichte des Spritzgießens	
1.1 Historische, maschinentechnische und werkstofftechnische Aspekte der Entwicklung des Spritzgießens	10
1.1 Die industrielle Entwicklung des Spritzgießens	12
1.2.1 Die Entwicklung der Schneckeneinspritzung	20
Literatur zu Kapitel 1	29
2 Wirtschaftliche Bedeutung des Spritzgießens	
2.1 Maschinenmarkt	35
Literatur zu Kapitel 2	38
3 Werkstoffe für das Spritzgießen	
3.1 Kurzzeichen für Kunststoffe nach DIN 7728 T.1(01.88) ISO 1043-1987(E)	41
3.2 Kennzeichnung von Kunststoffen	44
3.3 Die Kunststoffe	49
3.3.1 Thermoplaste	49
3.3.2 Duroplaste	52
3.3.3 Elastomere	52
3.4 Kunststoffe zum Spritzgießen	56
3.4.1 Thermoplaste für das Spritzgießen	57
3.4.1.1 Polymerisate	68
3.4.1.1.1 Polystyrol (PS) (DIN 7741, VDI/VDE 2471)	68
3.4.1.1.2 Schlagzäh modifiziertes Polystyrol (SB) (DIN 16771)	70
3.4.1.1.3 Acrylnitril-Butadien-Styrol (ABS) (DIN 16772)	71
3.4.1.1.4 Styrol-Acrylnitril-Copolymer (SAN) (DIN 16777)	72
3.4.1.1.5 Polymethylmethacrylat (PMMA) (DIN 7745)	73
3.4.1.1.6 Polyethylen (PE) (DIN 16776)	74
3.4.1.1.7 Polypropylen (PP) (DIN 16776)	75
3.4.1.1.8 Thermoplastische Elastomere (TPE)	77
3.4.1.1.9 PP/EPDM-Elastomerblend	78
3.4.1.1.10 Polyetherblockamid (PEBA)	78
3.4.1.1.11 Thermoplastisches Polyurethan	79
3.4.1.1.12 Polyester-Blockpolymere, Polyesterelastomere (TPE-E)	79
3.4.1.1.13 Ethylen-Vinylacetat-Copolymer (EVA)	80
3.4.1.1.14 Ethylencopolymere	80
3.4.1.1.15 Polyacetal (POM)	81
3.4.1.1.16 Polytetrafluorethylen (PTFE)	81
3.4.1.1.17 Polyvinylchlorid (PVC)	82
3.4.1.1.18 Polyvinylidenfluorid (PVDF)	83
3.4.1.2 Polykondensate	84
3.4.1.2.1 Polyamid (DIN 16773)	84
3.4.1.2.2 Polyphthalamid (PPA)	86
3.4.1.2.3 Polycarbonat (PC)	87

3.4.1.2.4	Polyethylenterephthalat (PET)	88
3.4.1.2.5	Polybutylenterephthalat (PBT)	89
3.4.1.2.6	Polyarylat (PAR)	90
3.4.1.2.7	Flüssigkristalline Polymere/LCP-Polyester	90
3.4.1.2.8	Polysulfone (PSU)	91
3.4.1.2.9	Polyarylethersulfon (PAS)	92
3.4.1.2.10	Polyphenylensulfid (PPS)	92
3.4.1.2.11	Polyaryletherketone (PEK, PEEK, PAEK)	93
3.4.1.2.12	Polyimide/Polyamidimid (PAI)	94
3.4.1.2.13	Polyetherimid (PEI)	94
3.4.1.3	Abgewandelte Naturstoffe	95
3.4.1.3.1	Celluloseester (CA, CP, CAB)	95
3.4.1.4	Polymerblends	96
3.4.1.4.1	ABS/PA-Blend	97
3.4.1.4.2	PC/ABS-Blend	97
3.4.1.4.3	PC/LCP-Blend	97
3.4.1.4.4	PC/PET-Blend	98
3.4.1.4.5	Polyphenylenether (PPE, PPE _{mod} und PS)	98
3.4.2	Duroplaste	98
3.4.2.1	Duroplastische Polykondensate für das Spritzgießen	98
3.4.2.1.1	Phenol/Formaldehyd-Kunststoffe (PF)	98
3.4.2.1.2	Harnstoff/Formaldehyd-Kunststoffe (UF)	99
3.4.2.1.3	Melamin/Formaldehyd-Kunststoffe (MF)	99
3.4.2.1.4	Ungesättigte Polyester (UP)	99
3.4.2.2	Duroplastische Polyaddukte	100
3.4.2.2.1	Epoxidharz	100
3.4.3	Silikone (LSR, Liquid Silicone Rubber)	100
3.4.4	Andere Werkstoffe zum Spritzgießen	102
3.4.4.1	Metallpulver-Spritzgießmassen	102
3.4.4.2	Keramik-Formmassen	102
3.4.4.3	Abbaubare spritzgießfähige Werkstoffe	104
3.4.4.4	Biologisch abbaubare Polymerwerkstoffe	105
3.4.4.5	Abbaubares thermoplastisches Holz	105
3.5	Modifikation der Eigenschaften von Kunststoffen	106
3.5.1	Elektrisch leitfähige Modifikation von Kunststoffen	106
3.5.2	Kunststoffgebundene Dauermagnete	108
3.5.3	Pulvermassen für das Spritzgießen von Metall- oder Keramiteilen ..	110
3.5.4	Zusatzstoffe für Thermoplaste (Hilfsstoffe, Füll- und Verstärkungsstoffe)	113
3.5.4.1	Hilfsstoffe	114
3.5.4.1.1	Gleitmittel, Trennmittel	114
3.5.4.1.2	Stabilisatoren	115
3.5.4.1.3	Antistatika	115
3.5.4.1.4	Antioxidantien	116
3.5.4.1.5	Flammschutzmittel	116
3.5.4.1.5	Farbmittel	116
3.5.4.2	Füllstoffe und Verstärkungsmittel	117
3.5.4.2.1	Füllstoffe (Extender-Füllstoffe)	117
3.5.4.2.2	Verstärkungsmittel	118
3.6	Werkstoffkennwerte	119
3.6.1	Kennwerte für den Vergleich von Kunststoffen	119
3.6.2	Herstellung von Probekörpern	127

3.7	Datenbanken	134
3.7.1	Werkstoffdatenbanken.....	134
3.7.1.1	Produktinformationssysteme.....	135
3.7.1.2	Kommerzielle Systeme.....	137
3.7.2	Konstruktionsdatenbanken	139
3.7.3	Datenbanken zu speziellen Gebieten	140
3.7.3.1	Datenbanken zur Medienbeständigkeit.....	140
3.7.3.2	Herstellerdatenbanken.....	141
3.7.3.3	Patentdatenbanken.....	141
3.7.4	Literaturdatenbanken	141
3.8	Kennwerte zum Spritzgießen von Kunststoffen	143
3.8.1	Viskositätskennwerte	143
3.8.1.1	Lösungsviskosität	145
3.8.1.2	Melt Flow Index	146
3.8.1.3	Viskositätsfunktionen gemessen mit dem Hochdruckkapillarviskosimeter	148
3.8.1.4	Fließweg/Wanddicken-Diagramme	148
3.8.1.5	Fließindex, Füllindex, Fülldruck, Arbeitsintegral, Einspritzintegral, Einspritzarbeit.....	149
3.8.2	Inline-Messungen der Viskosität	158
	Literatur zu Kapitel 3	158

4 Verarbeitungsdaten

4.1	Verarbeitungsdaten für Thermoplaste	166
4.1.1	Zeiten.....	166
4.1.1.1	Kühlzeit	166
4.1.1.2	Einspritzzeit.....	168
4.1.2	Temperaturen	168
4.1.3	Druckwerte	171
4.1.4	Einspritzgeschwindigkeit	175
4.2	Verarbeitungsdaten für Duroplaste	175
4.3	Verarbeitungsdaten für Elastomere	176
4.4	Verarbeitungsdaten für sonstige Werkstoffe (Keramik, Metallpulver).....	177
	Literatur zu Abschnitt 4.1 bis 4.4	178
4.5	Verarbeitungseinfluss auf das Werkstoffverhalten	179
4.5.1	Rheologisches Verhalten der Kunststoffschmelzen	179
	Literatur zu Abschnitt 4.5.1.....	183
4.5.2	Orientierung der Moleküle	184
4.5.2.1	Entstehung der Molekülorientierungen	184
4.5.2.2	Nachweismethoden für Molekülorientierungen.....	186
4.5.2.3	Einflüsse auf Orientierungen	187
	Literatur zu Abschnitt 4.5.2.....	189
4.5.3	Innere Spannungen	189
4.5.3.1	Bauteilversagen durch innere Spannungen.....	191
4.5.3.2	Bauteilprüfungen auf Spannungsrissbildung.....	193
	Literatur zu Abschnitt 4.5.3.....	195
4.5.4	Kristallinität.....	195
4.5.4.1	Einfluss der Kristallisation auf die Material- und Verarbeitungseigenschaften	195
4.5.4.2	Der Kristallisationsvorgang.....	196
4.5.4.3	Nukleierung.....	198
4.5.4.4	Bestimmung des Kristallisationsgrads	199

4.5.4.5	Spezielle Strukturen bei Spritzgussteilen	200
	Literatur zu Abschnitt 4.5.4	201
4.5.5	Kompressibilität von Kunststoffschmelzen	201
	Literatur zu Abschnitt 4.5.5	203
4.5.6	Kunststoffabbau beim Spritzgießen	204
4.5.6.1	Thermischer Abbau	204
4.5.6.2	Thermisch oxidativer Abbau	205
4.5.6.3	Hydrolytischer Abbau	205
4.5.6.4	Mechanischer Abbau	205
	Literatur zu Abschnitt 4.5.6	206
4.5.7	Einfluss der Verweilzeit	206
4.5.7.1	Definition der Verweilzeit	211
4.5.7.2	Ermittlung der Verweilzeit	213
4.5.7.2.1	Messtechnische In-line-Erfassung der Verweilzeit	213
4.5.7.2.2	Empirische Ermittlung der Verweilzeit	213
4.5.7.2.3	Rechnerische Ermittlung der Verweilzeit	213
4.5.7.3	Berechnung der Verweilzeit	215
	Literatur zu Abschnitt 4.5.7	216
4.6	Einfärben von Kunststoffen beim Spritzgießen	216
4.6.1	Einfärbung durch Farbkonzentrate (Batches)	226
4.6.2	Einfärbung durch Farbstoffe (Flüssigfarben, Pasten)	227
4.6.3	Einfärbung durch Pigmente	227
	Literatur zu Abschnitt 4.6	228
4.7	Zugabe von Verstärkungs- und Füllstoffen beim Spritzgießen	
	von Thermoplasten	229
4.7.1	Einarbeiten von Fasern beim Spritzgießen	230
4.7.1.1	Trockeneinarbeitung von Fasern über den Trichter	230
4.7.1.2	Einarbeiten von Endlos-Fasern in die Schmelze beim Spritzgießen, DIF-Verfahren	231
	Literatur zu Abschnitt 4.7	232
4.8	Trocknen von Kunststoffen	233
4.8.1	Trocknungsanlagen	247
4.8.1.1	Trocknen mit Frischlufttrockner	248
4.8.1.2	Trocknen mit Umlufttrockner	248
4.8.1.3	Trocknen mit Trockenlufttrockner	250
4.8.1.4	Trocknen mit Kristallisationstrockner	255
4.8.1.5	Trocknen mit Vakuumtrockner	256
4.8.1.6	Kontinuierliche Vakuum-Kondensations-Trocknung	256
4.8.1.7	Infrarottrocknen von Kunststoffen	256
4.8.2	Bestimmung der Restfeuchte	257
4.8.2.1	Feststellen von Restfeuchte vor Produktionsbeginn	257
4.8.2.2	Feststellen von Restfeuchte am Spritzgussteil	257
4.8.2.3	Feststellen von Restfeuchte am Granulat – Plättchentest	258
4.8.2.4	Messverfahren zum Feststellen von Restfeuchte	258
	Literatur zu Abschnitt 4.8	259
4.9	Konditionieren von Spritzgussteilen	260
	Literatur zu Abschnitt 4.9	265
4.10	Warmlagern	265
	Literatur zu Abschnitt 4.10	268
4.11	Lagern von Kunststoffen	268
	Literatur zu Abschnitt 4.11	271
4.12	Materialeingangskontrolle	271

4.12.1	Rieselfähigkeit (DIN 53492).....	273
4.12.2	Schüttdichte (DIN 53466).....	275
4.12.3	Schüttwinkel	275
4.12.4	Stopfdichte (DIN 53467).....	275
4.12.5	Korngröße, Korngrößenverteilung und Kornform.....	276
	Literatur zu Abschnitt 4.12	276

5 Spritzgießverfahren

5.1	Begriffe und Kurzzeichen	279
5.1.1	Kurzzeichenverzeichnis der Methoden und Verfahren, Institutionen. .	279
5.1.2	Begriffe des Spritzgießens nach DIN 24450.....	285
5.1.3	Prozessgrößen	297
5.1.4	Begriffe und erklärende Beschreibung zum Recycling	299
5.2	Prozessverlauf	300
5.2.1	Drücke beim Spritzgießen.....	314
5.2.1.1	Hydraulikdruck.....	314
5.2.1.2	Staudruck.....	317
5.2.1.3	Druck vor der Schneckenspitze	318
5.2.1.3.1	Einspritzdruck/Einspritzen	318
5.2.1.3.2	Kompressionsdruck	323
5.2.1.4	Werkzeuginnendruck	323
5.2.1.5	Umschalten von Einspritz- auf Nachdruck.....	326
5.2.1.6	Nachdruck/Nachdruckphase	331
5.2.1.6.1	Nachdruckerzeugung mit dem Einspritzkolben.....	332
5.2.1.6.2	Externe Nachdruckerzeugung.....	333
5.2.2	Druckübertragungsverhalten.....	337
5.3	Temperaturen beim Spritzgießen	337
5.3.1	Öltemperatur.....	338
5.3.2	Zylindertemperatur	339
5.3.3	Massetemperatur	340
5.3.4	Werkzeugtemperatur	341
5.3.5	Heißkanaltemperatur	343
5.3.6	Nachttemperiertemperatur.....	343
5.3.7	Zwischentemperatur (-temperierung)	344
5.3.8	Temperatur (Warmlagerung) von Einlegeteilen	344
	Literatur zu Abschnitt 5.1 bis 5.3.....	344
5.4	Verarbeitungshinweise	346
5.4.1	Spritzgießen von Elastomeren	346
5.4.1.1	Verarbeitungsfehler bei Elastomeren	352
5.4.2	Spritzgießen von Duroplasten	355
	Literatur zu Abschnitt 5.4	357
5.5	Pulverspritzgießen von Sinterbauteilen aus Metall oder Keramik	358
	Literatur zu Abschnitt 5.5	363
5.6	Verarbeitungsfehler/Beseitigung	363
5.6.1	Oberflächenfehler.....	363
5.6.2	Grate an Spritzgussteilen.....	366
5.6.2.1	Gratbildung	366
5.6.2.2	Gratvermeidung/Gratbeseitigung	366
5.6.2.3	Schwimmhäute	367
5.6.2.4	Bindenaht	367
5.6.2.5	Kaskadenspritzgießen	367
5.6.2.6	Thermische Verfahren	368

5.6.2.7	Durchströmen der Bindenaht	368
5.6.3	Lunker	369
5.6.4	Spannungsrisse	369
5.7	Expertensysteme	370
	Literatur zu Abschnitt 5.6 bis 5.7	371
5.8	Verarbeitungseinfluss auf Formteileigenschaften	371
5.8.1	Kühlzeit (Siegelpunkt)	374
5.8.4	Maßhaltigkeit	378
5.8.5	Gewicht	382
5.8.6	Glasfaserbruch/-orientierung	385
5.8.7	Schwindung/Nachschwindung (DIN16901)	389
5.8.8	Verarbeitungsfenster	394
	Literatur zu Abschnitt 5.8	394

6 Sonderverfahren der Spritzgießtechnologie

6.1	Sonderverfahren des Thermoplast-Spritzgießens	406
6.1.1	Dünnwandtechnik	406
6.1.2	Dünnstwandtechnik	409
	Literatur zu Abschnitt 6.1	409
6.2	Spritzgießverfahren unter Anwendung niedriger Drücke und Zuhaltekräfte ...	410
6.2.1	Niederdruckspritzgießen (ND-SG)	412
6.2.2	Spritzgießen mit drehender Schnecke	415
6.2.3	Fließguss-(Intrusions)verfahren	415
6.2.4	Spritzprägen	417
6.2.5	Gasaußendrucktechnik (GAT) (siehe Abschnitt 6.3.2)	427
6.2.6	Kaskadenspritzgießen	427
6.2.7	Niederdruckverfahren für Recyclate	428
6.3	Hochdruckspritzgießen	429
	Literatur zu Abschnitt 6.2 bis 6.3	432
6.4	Gas- oder Fluidunterstütztes Spritzgießen	434
6.4.1	Gas-Injektion-Technik (GIT), auch Gasinnendruck-Technik (GID) ...	436
6.4.1.1	Cinpresverfahren	443
6.4.1.2	Airmouldverfahren	445
6.4.1.3	Gasmeltverfahren	446
6.4.1.4	Airpressverfahren	448
6.4.1.5	Gasinjektionstechnik (GIT): Untersuchungen der Abhängigkeit der Restwanddicke von Polymer und Füllstoff	448
6.4.1.5.1	Grundlagen zur Ausbildung der Restwanddicke	448
6.4.1.5.2	Praktische Untersuchungen	450
6.4.1.5.3	Einfluss von Talkum, Kreide und Glaskugeln auf die Restwanddicken bei Polypropylen	451
6.4.1.5.4	Einfluss des Kurzglasfasergehalts auf die Restwanddicken bei Polyamid	452
6.4.1.6	GIT-S (GIT-Schäumtechnik)	453
6.4.1.7	HELGA-Verfahren	454
6.4.1.8	Structural-Web-Verfahren	455
6.4.1.9	Der Gaskanal als Funktionshohlraum	455
6.4.1.10	Gasinjektionstechnik beim Flüssigsilikonspritzgießen	458
6.4.1.11	GIT beim Keramikspritzgießen	462
6.4.1.12	Wasserinjektionstechnik (WIT)	463
6.4.2	Gasaußendrucktechnik (GAT)	469
	Literatur zu Abschnitt 6.4.1 bis 6.4.2	472

6.4.3.1	Das klassische TSG-Verfahren	476
6.4.3.2	Varianten des Thermoplastschaumspritzgießens	479
6.4.3.2.1	Variotherm-Verfahren bei TSG	479
6.4.3.2.2	Schaumspritzgießen mit Tauchkantenwerkzeugen	479
6.4.3.2.3	Gasegendruck-Verfahren	480
6.4.3.2.4	Afinaplast-Verfahren	480
6.4.3.2.5	Direktbegasungsverfahren	482
	Literatur zu Abschnitt 6.4.3	487
6.5	Verbinden mehrerer Komponenten beim Spritzgießen	488
6.5.1	Inserttechnik	491
6.5.2	Outserttechnik	494
6.5.3	Bandspritzgießen/Endlosspritzgießen	498
6.5.4	Metallumformung im Spritzgießwerkzeug und anschließendes Umspritzen	499
6.5.5	Kunststoff-Metall-Hybridspritzgießen	499
6.5.6	Mehrkunststoffspritzgießen (MK-SG)/Mehrkomponentenspritzgießen	505
6.5.6.1	2K-Verbundspritzgießen/Zweifarbenspritzgießen (2F-SG), Overmoulding	506
6.5.6.2	Dreifarbenspritzgießen/3K-Verbund-Spritzgießen/ Mehrfarbenspritzgießen	509
6.5.6.3	Indexplattenverfahren	511
6.5.6.4	Transfer Robot Technologie	512
6.5.6.5	Verbundfestigkeiten beim Mehrkomponentenspritzgießen	514
6.5.6.6	Bewegliche Verbunde durch Spritzgießen	523
6.5.6.6.1	Montagespritzgießen	523
6.5.6.6.2	Ein-Komponenten-Montagespritzgießen	523
6.5.6.7	Spritzgießen mit zweischichtigem Aufbau durch Doppelnadeltechnik	524
6.5.6.8	Mehrschichtkörper aus extrudiertem Innenliner und spritzgegosse- nem Mantel	524
6.5.6.9	Mehrschichtspritzgießen zur Beschleunigung des Abkühlvorgangs . .	527
6.5.7	Mehrkomponentenspritzgießen/Sandwichspritzgießen	527
6.5.7.1	2K-(Sandwich)Spritzgießen	527
6.5.7.2	Sandwichspritzgießen mit 2K-Plattensystem	533
6.5.7.3	Mehrschichtspritzgießen von Vorformlingen für das Streckblasen	535
6.5.7.4	Sandwichverfahren mit einer Spritzeinheit	536
6.5.7.4.1	Addmix-Verfahren	536
6.5.7.4.2	Monosandwichspritzgießen/Der Monosandwich-Prozess – Zweifarbenspritzgießen mit einer Monosandweicheinheit	538
6.5.7.4.3	3K-Spritzgießen	540
6.5.7.5	Intervalltechnik	541
6.5.7.6	Marmorierverfahren	543
6.5.7.7	GIPT-Methode (Granular Injected Paint Technology)	545
6.5.7.8	3D-MID (Moulded Interconnect Devices)	545
	Literatur zu Abschnitt 6.5.1 bis 6.5.7	548
6.5.8	Spritzgießen mit ins Werkzeug eingebrachten und hinterspritzten Substraten, Hinterspritztechnik (HST)	555
6.5.8.1	In-Mould-Dekoration beim Spritzgießen/Film-Dekoration (IMD-Verfahren)	559
6.5.8.2	In-Mould-Labeling	562
6.5.8.3	HST von Folien oder IMFD-Verfahren (In-Mould-Film-Decoration)	563

6.5.8.4	IMD-3D/F-Technik	569
6.5.8.5	Folienverformung im Spritzgießwerkzeug	573
6.5.8.5.1	Thermoformen im Spritzgießwerkzeug	573
6.5.8.5.2	HPF-Verfahren	574
6.5.8.5.3	Lack-Hinterspritzen (SFC, Surface Finishing Compression)	575
6.5.8.6	HST von Textilien (IMTD, In-Mould-Textile-Decoration)	576
6.5.8.7	Verstärken von spritzgegossenen Formteilen durch endlosfaserverstärkte thermoplastische Prepregs	581
6.5.8.8	Hinterpresstechnik (HPT)	585
Literatur zu Abschnitt 6.5.8		587
6.5.9	Weitere Oberflächenveredelungsverfahren	589
Literatur zu Abschnitt 6.5.9		590
6.6	Spritzgießen mit oszillierender Schmelze	591
6.6.1	Gegentaktspritzgießen (GTS)	592
6.6.2	Multi-Live Feed Injection Moulding (MLFM)	597
6.6.3	Gegentakt/COM-Prozess	599
6.6.4	SCORIM-Verfahren, SCORTEC-Verfahren	599
6.6.5	Wechselseitiger Nachdruck	600
6.6.6	Spritzgießen mit pulsierendem Nachdruck	601
Literatur zu Abschnitt 6.6		601
6.7	Verfahren mit verlorenen Kernen	602
6.7.1	Schmelzkerntechnik (SKT)	605
6.7.2	Lösekerntechnik (LKT)	617
6.7.3	Mehrschalenspritzgießen/Halbschalentechnik (MS-SG)	618
6.7.4	Spritzgießen mit rotierendem Kern (Injection Spin Process)	621
Literatur zu Abschnitt 6.7		621
6.8	Spritzgießen von Mikrostrukturen/Mikrospritzgießen	623
Literatur zu Abschnitt 6.8		628
6.9	Verfahren mit veränderlicher Werkzeugtemperatur	629
6.9.1	Variothermverfahren	629
6.9.2	Cryomold-Verfahren	631
Literatur zu Abschnitt 6.9		631
6.10	Spritzgießen von Hohlkörpern	632
6.10.1	Blasspritzgießen	632
Literatur zu Abschnitt 6.10.1		632
6.10.2	Spritzblasen/Spritzstreckblasformen	632
Literatur zu Abschnitt 6.10.2		634
6.10.3	Mehrschichtkörper aus extrudiertem Innenliner und spritzgegossenem Mantel	634
6.10.4	Mehrschichtspritzgießen von Vorformlingen für das Streckblasen	634
6.11	Spritzgießen mit Doppelwerkzeugen in Hintereinanderanordnung	635
6.11.1	Tandem-Spritzgießverfahren (TSV)	635
6.11.2	Stack-Mould-Technik	637
6.11.3	Index-Platten-Technik	637
Literatur zu Abschnitt 6.10 und 6.11		637
6.12	Einarbeitung von Fasern beim Spritzgießen	638
6.13	Sonderverfahren des Elastomer-Spritzgießens	638
6.13.1	Flüssigsilikonspritzgießen (LSR-Spritzgießen oder LIM)	638
6.13.2	Injection-Transfer-Moulding (ITM)	640
Literatur zu Abschnitt 6.13		641
6.14	Sonderverfahren des Duroplast-Spritzgießens	643
6.14.1	Spritzgießen von Polyester-Formmassen	643