

Andreas Bührig-Polaczek
Walter Michaeli
Günter Spur

Handbuch Urformen



HANSER

Edition | Handbuch der Fertigungstechnik

Herausgegeben

von Prof. Dr. h. c. mult. Dr.-Ing. E. h. Dr.-Ing. Günter Spur



Handbuch
Urformen



Handbuch
Umformen



Handbuch Spanen



Handbuch
Wärmebehandeln
und Beschichten



Handbuch Fügen, Handhaben,
Montieren

Andreas Bührig-Polaczek
Walter Michaeli
Günter Spur

Handbuch Urformen

Edition | Handbuch der Fertigungstechnik

HANSER

Die Herausgeber:

Prof. Dr.-Ing. Andreas Bührig-Polaczek

Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. e.h. Walter Michaeli

Prof. Dr. h. c. mult. Dr.-Ing. E. h. Dr.-Ing. Günter Spur †

Bibliografische Information Der Deutschen Bibliothek:

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

ISBN: 978-3-446-42035-9

E-Book-ISBN: 978-3-446-43406-6

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 irgendeine 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 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.

© Carl Hanser Verlag, München 2014

www.hanser-fachbuch.de

Lektorat: Dipl.-Ing. Volker Herzberg

Herstellung: Steffen Jörg

Satz: Christopher Hayes und Yetvart Ficiciyan, Berlin

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

Titelillustration: Frank Wohlgemuth, Hamburg

Coverrealisierung: Stephan Rönigk

Druck und Bindung: FIRMENGRUPPE APPL, aprinta druck GmbH, Wemding

Printed in Germany

Vorwort der Bandherausgeber

Im Jahre 1981 erschien die erste Auflage des 1. Bandes aus der Reihe „Handbuch der Fertigungstechnik“, der sich seinerzeit ausschließlich mit den Urformverfahren metallischer Werkstoffe befasste. Die Bedeutung der urgeformten Werkstoffe und die damit verbundenen Verfahren haben sich seitdem deutlich verändert. Neben den vielfältigen Weiterentwicklungen im Zweig der Metalle kommt heute den Kunststoffen und ihrer Verarbeitung eine den Metallen gleichwertige Bedeutung zu. Diesem aktuellen Stand der Technik wird in der hiermit vorliegenden vollständig überarbeiteten Neuauflage sowohl durch die paritätische Aufteilung der Inhalte als auch durch ihre durchgängige Neubearbeitung Rechnung getragen.

Die Aufnahme der Kunststoffe wurde im Rahmen der Neuauflage und der damit verbundenen umfangreichen Revision von Herrn Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. mult. Dr.-Ing. E.h. mult. Günter Spur angeregt. Professor Spur verstarb zu unser aller Bedauern kurz vor der Fertigstellung dieses Bandes. Wir verdanken ihm die Initiative zur umfassenden Darstellung der industriellen Fertigungstechnik in mehreren auf die jeweiligen Produktionsverfahren abgestimmten Einzelbänden. Es schuf damit ein gesamthafes einzigartiges Werk für Praxis und Lehre gleichermaßen. Mit hohem persönlichen Einsatz hat Professor Spur sowohl die erste Auflage initiiert und umgesetzt als auch nach 30 Jahren die zweite Auflage maßgeblich begleitet.

Im vorliegenden Werk werden moderne und innovative Fertigungsverfahren der Urformtechnik und die darin eingesetzten Werkstoffe ausführlich beschrieben und mit zahlreichen Abbildungen und Daten dargestellt. Der Band Urformen gliedert sich in zwei große Teile, Urformen von Metallen (Gießen und Pulvermetallurgie) und Urformen von Kunststoffen. Die Gießereitechnik ist vertreten mit Hauptkapiteln zu den technologischen und wirtschaftlichen Aspekten und Grundlagen des Gießens, den Gusswerkstoffen, den Technologien des Schmelzens und Gießens, der Gussteilfertigung mit verlorenen Formen, der Gussteilfertigung mit Dauerformen, der Gussnachbearbeitung und Fertigstellung der Gussteile zum Versand, der Qualitätssicherung durch Simulation sowie zur Produktplanung und Kalkulation in der Gießerei. Die Pulvermetallurgie umfasst die Bedeutung und Einteilung der Werkstoffe, die Herstellung und Eigenschaften der Sinterpulver, ihre Formgebung und Sinterung sowie die Eigenschaften der Sinterwerkstoffe selbst und beispielhafte Anwendungen. Die Kunststoffverarbeitung gliedert sich in die Hauptkapitel Einführung in die Urformtechnik von Kunststoffen, Aufbereitungstechnik, Extrusion, Spritzgießen, Rotationsformen, Pressen sowie die Herstellung von Formteilen aus Polyurethan.

Am vorliegenden Band haben zahlreiche renommierte Fachleute aus Wissenschaft und Industrie mitgewirkt. Unser Dank gilt allen Autoren der Einzelbeiträge und dem hohen Engagement und Einsatz mit dem sie sich in dieses Werk eingebracht haben. Wir bedanken uns auch bei den Firmen, die uns vielfältiges Bildmaterial zur Verfügung gestellt haben. Darüber hinaus gilt unser besonderer Dank für die umfangreichen Arbeiten in der Koordination des Gesamtwerkes und des Redigierens des gesamten Fachbuches Herrn Dr. Uwe Vroomen, Herrn Dr. Gerald Klaus, Herrn Dr. Matthias Bünck und Herrn Heiner Michels seitens des Gießerei-Instituts sowie vielen aktuellen und ehemaligen Mitarbeitern des IKV. Namentlich möchten wir uns auch bei Herrn Dipl.-Ing. Volker Herzberg vom Carl Hanser Verlag für die sehr gute Zusammenarbeit, Unterstützung und Geduld bedanken.

Aachen, im September 2013

Andreas Bührig-Polaczek

Walter Michaeli

Inhaltsverzeichnis

Vorwort der Bandherausgeber	V
Die Herausgeber	XXV
Autorenverzeichnis	XXVII
I Urformen von Metallen	1
1 Gießen	3
1.1 Technologische und wirtschaftliche Aspekte	7
1.1.1 Einführung in die Technologie des Gießens	7
1.1.1.1 Die Bedeutung der Gießereitechnik	7
1.1.1.2 Übersicht der Form- und Gießverfahren	10
1.1.1.3 Der Gießereibetrieb im wirtschaftlichen Umfeld	12
1.1.2 Wirtschaftliche Bedeutung der Gießereiindustrie	13
1.2 Grundlagen des Gießens	17
1.2.1 Erstarrung	17
1.2.1.1 Entstehung des Gussgefüges	17
1.2.1.2 Erstarrungsmorphologie	18
1.2.2 Schmelzebehandlung	21
1.2.2.1 Kornfeinung, Impfen	21
1.2.2.2 Schmelzezusätze zur Gefügebeeinflussung	23
1.2.2.2.1 Schmelzezusätze zur Gefügebeeinflussung von Aluminium-Legierungen	23
1.2.2.2.2 Schmelzezusätze zur Gefügebeeinflussung von Gusseisen-Legierungen	24
1.2.2.3 Schmelzereinigung	25
1.2.3 Gießeigenschaften	28
1.2.3.1 Formfüllungsvermögen	28
1.2.3.2 Fließvermögen	30
1.2.3.3 Speisungsvermögen	31
1.2.3.4 Warmrissneigung	34
1.2.3.5 Gasaufnahme, Oxidationsneigung	36
1.2.4 Gieß-, Anschnitt- und Speisungstechnik	37
1.2.4.1 Gieß- und Anschnitttechnik	37
1.2.4.2 Speisungstechnik	39
1.3 Gusswerkstoffe	42
1.3.1 Eisenbasis-Gusswerkstoffe	43
1.3.1.1 Eisen-Kohlenstoff-Diagramm	44
1.3.1.1.1 Einflüsse von Kohlenstoff, Silicium und Phosphor auf die grundlegenden Erstarrungsvorgänge von Eisenbasis-Gusswerkstoffen	45
1.3.1.1.2 Einflüsse von Legierungs- und Spurenelementen auf die eutektische Erstarrung	48
1.3.1.1.3 Einflüsse von Legierungs- und Spurenelementen auf die eutektoide Umwandlung	49
1.3.1.1.4 Einfluss der Abkühlgeschwindigkeit	49
1.3.1.2 Stahlguss	51

1.3.1.3	Gusseisen mit Lamellengraphit.....	54
1.3.1.4	Gusseisen mit Kugelgraphit.....	56
1.3.1.5	Sonderwerkstoffe auf der Basis von Gusseisen mit Kugelgraphit	57
1.3.1.6	Gusseisen mit Vermiculargraphit	58
1.3.1.7	Temperguss	58
1.3.1.8	Verschleißbeständige weiße Gusseisenwerkstoffe	59
1.3.2	Nichteisen-Gusswerkstoffe.....	61
1.3.2.1	Aluminiumbasis-Gusswerkstoffe	61
1.3.2.1.1	Legierungssysteme.....	62
1.3.2.1.1.1	Das System AlSi	62
1.3.2.1.1.2	Das System AlMg	67
1.3.2.1.1.3	Das System AlCu	68
1.3.2.1.1.4	Das System AlZn	68
1.3.2.1.1.5	Das System AlLi.....	69
1.3.2.1.1.6	Einfluss der bedeutsamsten Begleitelemente auf die Eigenschaften von Aluminiumgusslegierungen.....	69
1.3.2.1.2	Einfluss des Gießverfahrens auf die Gefügebildung.....	71
1.3.2.1.3	Bezeichnungssystematik der Aluminiumgusswerkstoffe	72
1.3.2.1.4	Korrosionsverhalten von Aluminiumgusslegierungen	72
1.3.2.2	Magnesiumbasis-Gusswerkstoffe.....	75
1.3.2.3	Kupferbasis-Gusswerkstoffe	80
1.3.2.3.1	Gießverfahren	83
1.3.2.3.2	Besonderheiten.....	83
1.3.2.3.3	Produktbeispiele	85
1.3.2.4	Zinkbasis-Gusswerkstoffe	86
1.3.2.5	Zinnbasis-Gusswerkstoffe	88
1.3.2.6	Titanbasis-Gusswerkstoffe	89
1.3.2.6.1	Einsatz von Titanwerkstoffen.....	89
1.3.2.6.2	Historie von Titan und Titanlegierungen	89
1.3.2.6.3	Metallurgie des Titans.....	89
1.3.2.6.4	Titanschmelzen	91
1.3.2.6.5	Titanfeinguss	91
1.3.2.6.6	Alpha-case.....	92
1.3.2.6.7	Gussteilnachbehandlung	92
1.3.2.6.8	Thermische Nachbehandlung von Titanwerkstoffen.....	92
1.3.2.7	Nickelbasis-Gusswerkstoffe	93
1.3.2.8	Kobaltbasis-Gusswerkstoffe	95
1.3.2.9	Gusswerkstoffe für Sonderanwendungen	96
1.3.2.9.1	Implantate	96
1.3.2.9.2	Normenübersicht für Implantatwerkstoffe	96
1.3.2.9.3	Kunstguss.....	96
1.3.2.9.4	Schmuckguss.....	97
1.3.3	Verbundguss und gegossene Verbundwerkstoffe	98
1.3.3.1	Verbundguss	98
1.3.3.2	Gegossene Verbundwerkstoffe.....	99
1.3.4	Konstruieren mit Gusswerkstoffen	102
1.3.4.1	Werkstoffbedingte Einflussgrößen Wanddickenabhängigkeit und Warmrissempfindlichkeit	103
1.3.4.2	Verfahrensbedingte Einflussgrößen, Hinterschneidung, Formschrägen, Bearbeitungszugaben, Toleranzen, Eigenspannungen	106
1.3.4.3	Werkstoffkenndaten	107

1.4	Technologie des Schmelzens und Gießens.....	112
1.4.1	Kupolofen	112
1.4.1.1	Stoff- und Energiebilanz.....	113
1.4.1.1.1	Stoffbilanz	113
1.4.1.1.2	Energiebilanz	114
1.4.1.2	Auslegung und Betrieb eines Kupolofens	115
1.4.1.2.1	Ofendaten	115
1.4.1.2.2	Schmelzleistung.....	115
1.4.1.2.3	Windmenge	116
1.4.1.2.4	Durchgasung.....	117
1.4.1.2.5	Vorwärmung	117
1.4.1.2.6	Kohlenstoffaufnahme („Aufkohlung“)	118
1.4.1.2.7	Windgeschwindigkeit in den Düsen	118
1.4.1.3	Ofensysteme und Gesamtanlagen	119
1.4.1.3.1	Kaltwindofen mit Langzeitfutter.....	119
1.4.1.3.2	Warmwindofen mit Langzeitfutter	120
1.4.1.3.3	Heißwindkupolofen mit Langzeitfutter	120
1.4.1.3.4	Heißwindkupolofen ohne Futter.....	121
1.4.1.3.5	Heißwindkupolofen im Hüttenwerk.....	121
1.4.1.3.6	Erdgasofen mit Langzeitfutter.....	122
1.4.1.3.7	Shuttle-Kupolofen	123
1.4.1.3.8	Vergleich der Betriebsdaten	123
1.4.1.4	Prozessleittechnik.....	124
1.4.1.5	Umweltschutz.....	126
1.4.1.5.1	Staubemissionen	126
1.4.1.5.2	Schwefel- und Stickoxidemissionen.....	126
1.4.1.5.3	Dioxine und Furane	126
1.4.1.5.4	CO ₂ -Emissionen.....	127
1.4.1.5.5	Beste verfügbare Techniken	128
1.4.2	Lichtbogenofen	128
1.4.2.1	Einleitung	128
1.4.2.2	Aufbau.....	129
1.4.3	Induktionsofen.....	135
1.4.3.1	Arbeitsweise und Aufbau von Induktionsofenanlagen	135
1.4.3.1.1	Arbeitsweise und Ofentypen	135
1.4.3.1.2	Gesamtaufbau.....	137
1.4.3.2	Energieversorgung.....	137
1.4.3.3	Auslegung und Gestaltung der Schaltanlage.....	140
1.4.3.4	Wirkungsgrad und Energieeffizienz	142
1.4.3.5	Prozessleittechnik.....	146
1.4.3.6	Feuerfeste Zustellung	148
1.4.3.7	Sicherheitseinrichtungen	149
1.4.3.8	Einsatzkriterien.....	151
1.4.3.8.1	Auswahl des Ofentyps	151
1.4.3.8.2	Baugrößen und Leistungsdaten	152
1.4.4	Widerstandsöfen zum Schmelzen, Warmhalten und Gießen	160
1.4.4.1	Physikalisches Wirkprinzip	160
1.4.4.2	Aufbau von Widerstandsöfen	160
1.4.4.3	Betrieb.....	163
1.4.5	Herdschmelzofen und Schachtschmelzofen	164
1.4.5.1	Verfahrensprinzip	164
1.4.5.2	Metallurgie.....	167

1.4.5.3	Ofenbetrieb.....	168
1.4.6	Schmelzetransport.....	171
1.4.7	Gießeinrichtungen und Dosiertechnik	175
1.4.7.1	Manuelles Gießen mit Gießpfannen.....	175
1.4.7.2	Automatisiertes Gießen mit Gießlöffeln	176
1.4.7.3	Automatisiertes Gießen mit beheizten Gießeinrichtungen (Gießöfen und Dosieröfen)	177
1.5	Gussteilfertigung mit verlorenen Formen.....	181
1.5.1	Modellbau.....	183
1.5.1.1	Aufbau und Konstruktion von Modellen für das Gießen	183
1.5.1.2	Modellbauwerkstoffe	186
1.5.1.3	Modellherstellung.....	189
1.5.2	Formstoffe	193
1.5.2.1	Formgrundstoffe.....	193
1.5.2.2	Formstoffbinder und -härtter.....	195
1.5.2.3	Formzusatz- und Hilfsstoffe.....	196
1.5.3	Herstellung verlorener Formen und Kerne unter Verwendung von Dauermodellen.....	197
1.5.3.1	Formverfahren mit mechanischer Verdichtung – Verdichtungsformverfahren.....	199
1.5.3.2	Formverfahren mit chemischer Härtung.....	210
1.5.3.3	Formverfahren mit physikalischer Verfestigung	221
1.5.4	Herstellung verlorener Formen mit verlorenen Modellen	224
1.5.4.1	Vollformgießen	224
1.5.4.1.1	Varianten des Vollformgießens	225
1.5.4.1.2	Das Lost Foam Verfahren	225
1.5.4.1.3	Wirtschaftliche Bedeutung des Lost Foam Verfahrens.....	228
1.5.4.2	Feingussverfahren	229
1.5.5	Rapid Prototyping mit Formstoffen	237
1.5.6	Niederdruck-Sandgießen	245
1.5.7	Formstoffregenerierung.....	248
1.6	Gussteilfertigung mit Dauerformen	252
1.6.1	Formenbau	253
1.6.1.1	Aufbau und Konstruktion von Dauerformen	253
1.6.1.2	Werkstoffe für Dauerformen und deren Wärmebehandlung.....	268
1.6.1.3	Fertigung und Oberflächen-behandlung von Dauerformen	272
1.6.1.4	Wartung von Dauerformen	272
1.6.2	Kokillengießverfahren.....	274
1.6.3	Niederdruck-Gießverfahren	288
1.6.3.1	Grundlagen und Prozessablauf.....	288
1.6.3.2	Niederdruck-Kokillenguss für Nichteisenmetalle	290
1.6.4	Druckgießen.....	297
1.6.4.1	Verfahrensprinzip	298
1.6.4.1.1	Kalt- und Warmkammerverfahren.....	298
1.6.4.1.2	Formfüllvorgang.....	305
1.6.4.1.3	Gießsysteme für das Druckgießen.....	312
1.6.4.1.4	Entlüftung der Druckgießform und Gießen mit Vakuum (Zwangsentlüftung)	314
1.6.4.2	Aufbau der Druckgießmaschinen.....	315
1.6.4.3	Anwendungsgebiete	322
1.6.4.4	Vacuralgießen	325
1.6.4.5	Thixogießen.....	326
1.6.4.6	Squeeze Casting	328
1.6.5	Schleudergießen.....	329

1.6.5.1	Das Schleudergieß-Verfahren (echter Schleuderguss).....	329
1.6.5.1.1	Prinzip und Verfahren.....	329
1.6.5.1.2	Gießprozess.....	330
1.6.5.1.3	Erstarrung.....	331
1.6.5.1.4	Schleudergieß-Formen.....	332
1.6.5.1.5	Formbeschichtung.....	332
1.6.5.1.6	Eigenschaften des Schleudergieß-Verfahrens.....	332
1.6.5.1.7	Anwendungen und Produkte.....	333
1.6.5.2	Das Schleuderformgieß-Verfahren (halber Schleuderguss).....	333
1.6.5.2.1	Prinzip und Verfahren.....	333
1.6.5.2.2	Gießprozess.....	333
1.6.5.2.3	Formen.....	333
1.6.5.2.4	Eigenschaften des Schleuderformgießverfahrens.....	333
1.6.5.2.5	Anwendungen und Produkte.....	334
1.6.5.3	Zentrifugieren (unechter Schleuderguss).....	334
1.6.5.3.1	Prinzip und Verfahren.....	334
1.6.5.3.2	Gießprozess.....	334
1.6.5.3.3	Formen.....	334
1.6.5.3.4	Eigenschaften, Anwendungen und Produkte.....	334
1.6.6	Stranggießen.....	335
1.6.6.1	Geschichte und Stand des Stranggießens.....	336
1.6.6.2	Stranggießen von Stahl.....	337
1.6.6.2.1	Stranggießen von Stahl mit oszillierender Kokille.....	338
1.6.6.2.2	Sonderformen von Stahlstranggießanlagen.....	339
1.6.6.3	Stranggießen von Gusseisen.....	340
1.6.6.4	Stranggießen von Aluminium.....	341
1.6.6.4.1	Horizontalguss.....	341
1.6.6.4.2	Vertikalguss von Walzbarren.....	342
1.6.6.4.3	Vertikalguss von Rundbarren.....	345
1.6.6.4.4	Dünnbandgießen.....	346
1.6.6.5	Strangguss von Kupfer.....	346
1.7	Gussnachbearbeitung und Fertigstellung der Gussteile zum Versand.....	348
1.7.1	Entformen, Entsanden, Entzundern.....	348
1.7.2	Trennen von Anschnitt- und Speisersystem.....	352
1.7.3	Entgraten der Gussteile.....	355
1.7.4	Gussfehlerausbesserung.....	356
1.7.5	Wärmebehandeln und Beschichten.....	358
1.8	Qualitätssicherung und Simulation.....	362
1.8.1	Simulation: Der Blick in die Zukunft.....	363
1.8.2	Physikalische Grundlagen des Gießens.....	363
1.8.2.1	Modelle und Physik: vereinfachte Abbilder der Realität.....	363
1.8.2.2	Die Methoden.....	366
1.8.3	Prozessbeschreibung.....	367
1.8.3.1	Die Basis des Verfahrens - Formfüllung und Erstarrung.....	367
1.8.3.2	Simulation in der Arbeitsvorbereitung - Speisung und Porositäten.....	369
1.8.3.3	Spannungen und Verzug.....	370
1.8.3.4	Die Vielfalt von Gusswerkstoffen.....	373
1.8.4	Anforderungen des Prozesses.....	375
1.8.4.1	Beispiel Dauerformverfahren.....	375
1.8.4.2	Kein Gussteil ohne Form - Sandsimulation.....	376

1.8.4.3	Die Prozesskette	377
1.8.5	Gießtechnische Optimierung.....	378
1.8.6	Entwicklungs- und Optimierungswerkzeug Simulation	380
1.8.6.1	Potenziale der Integration in die Prozess-Entwicklungskette	380
1.8.6.2	Einsparpotenziale durch Simulation.....	382
1.8.7	Voraussetzungen für erfolgreiche Nutzung	382
1.8.7.1	Hardware	382
1.8.7.2	Unverzichtbare Voraussetzungen: Daten	384
1.8.7.3	Simulation im gesamten Unternehmen.....	384
1.9	Produktplanung und Kalkulation in der Gießerei.....	388
1.9.1	Bedeutung der Arbeits- und Ressourcenplanung im ERP/PPS-System	388
1.9.2	Gießereitypische Anforderungen an die Produktplanung.....	389
1.9.3	Angebotskalkulation, Auftragsvorkalkulation	392
1.9.4	Planungssystematik in einem gießereitypischen MES/PPS-System	397
1.9.5	Rückmeldungen und Nachkalkulation im integrierten System	398
2	Pulvermetallurgie	399
2.1	Bedeutung der Pulvermetallurgie und Einteilung der Werkstoffe	401
2.2	Herstellung der Sinterpulver	405
2.3	Eigenschaften der Sinterpulver	407
2.3.1	Physikalische Eigenschaften	407
2.3.1.1	Spezifische Oberfläche	408
2.3.1.2	Teilchengröße und Teilchengrößenverteilung	408
2.3.1.3	Teilchenform	408
2.3.1.4	Härte.....	408
2.3.2	Technologische Eigenschaften	409
2.4	Formgebung und Sinterung	410
2.4.1	Möglichkeiten der Formgebung	410
2.4.1.1	Schüttsinterung (Gravity Sintering)	410
2.4.1.2	Axiale Presstechnik	411
2.4.1.3	Warmpresstechnik (Warm Compaction)	414
2.4.1.4	Kaltisostatische Presstechnik	415
2.4.1.5	Heißisostatisches Verdichten (Hot isostatic pressing - HIP).....	415
2.4.1.6	Pulvermetallurgisches Spritzgießen (Metal Injection Molding)	415
2.4.1.7	Pulverwalzen	417
2.4.1.8	Schlickergießen	417
2.4.2	Verfahren der Sinterung	417
2.4.2.1	Phänomenologie der Sintertechnik	417
2.4.2.2	Sinteratmosphären	418
2.4.2.3	Anlagen für den Sinterprozess	418
2.4.3	Verfahren unter Anwendung von Druck und Temperatur	419
2.4.3.1	Pulverschmieden	419
2.4.3.2	Heißisostatisches Pressen	420
2.4.3.3	Strangpressen	420
2.4.3.4	Sprühkompaktieren	420
2.4.3.5	Hochgeschwindigkeitsverdichten	420
2.4.4	Nachbearbeitung der Formkörper.....	420

2.4.4.1	Kalibrieren	420
2.4.4.2	Entgraten	421
2.4.4.3	Spanende Bearbeitung	421
2.4.4.4	Infiltration und Imprägnation	422
2.4.4.5	Metallische Überzüge.....	423
2.4.4.6	Beschichtungen aus der Gasphase	423
2.4.4.7	Randschichtverfestigung	423
2.4.4.8	Oberflächenumschmelzen	424
2.4.4.9	Wärmebehandlung	424
2.4.5	Fügen von Sinterweisen und Sinterstahl	424
2.5	Eigenschaften von Sinterwerkstoffen	425
2.5.1	Ausbildung der Werkstoffeigenschaften	425
2.5.2	Ausbildung der Oberfläche.....	426
2.5.3	Erzielbare Toleranzen.....	427
2.5.4	Härte von porösen Werkstoffen	428
2.5.5	Festigkeitseigenschaften.....	429
2.6	Beispielhafte Anwendungen von Sinterwerkstoffen	434
2.6.1	Sinterfilter	434
2.6.2	Sintergleitlager.....	435
2.6.3	Axial gepresste Formteile	436
2.6.3.1	Niedriglegierte Werkstoffe.....	436
2.6.3.2	Weichmagnetische Werkstoffe	440
2.6.3.3	Soft Magnetics Composites (SMC)	440
2.6.4	Friktionswerkstoffe.....	441
2.6.5	MIM-Bauteile	442
2.6.5.1	Niedriglegierte FeNiCr-Stähle.....	442
2.6.5.2	Säure- und laugenbeständiger Stahl	443
2.6.5.3	Hitzebeständiger Stahl	444
2.6.5.4	Verschleißbeständiger Stahl.....	444
2.6.5.5	Weichmagnetischer FeSi-Werkstoff.....	445
2.6.5.6	Hochwarmfeste Ni-Basislegierung	445
2.6.5.7	Hartmetalle	445
2.6.5.8	Zweikomponentenbauteile	446
2.7	Zusammenfassung und Ausblick	446
II	Urformen von Kunststoffen	449
1	Einführung in die Urformtechnik von Kunststoffen.....	451
1.1	Einleitung.....	453
1.2	Aufbau der Kunststoffe	453
1.2.1	Makromolekularer Aufbau der Kunststoffe	454
1.2.2	Herstellung von Polymeren	454
1.2.2.1	Polymerisation.....	454
1.2.2.2	Polyaddition	456
1.2.2.3	Polykondensation.....	456
1.2.3	Bindungskräfte in Polymeren	457

1.3	Einteilung der Kunststoffe.....	458
1.3.1	Thermoplaste	459
1.3.1.1	Grundsätzliche Eigenschaften thermoplastischer Kunststoffe	459
1.3.1.2	Unterteilung nach Morphologie bzw. Ordnungszustand	462
1.3.1.2.1	Amorphe Thermoplaste.....	462
1.3.1.2.2	Teilkristalline Thermoplaste.....	463
1.3.1.3	Unterteilung nach Leistungs- bzw. Preisklassen	465
1.3.1.3.1	Standard-Thermoplaste	467
1.3.1.3.2	Technische Thermoplaste.....	467
1.3.1.3.3	Hochleistungskunststoffe	467
1.3.2	Elastomere und Duroplaste	468
1.3.2.1	Elastomere.....	468
1.3.2.1.1	Begriffe	468
1.3.2.1.2	Eigenschaften der Elastomere.....	468
1.3.2.1.3	Einteilung der Kautschuke	469
1.3.2.1.4	Aufbau von Elastomermischungen.....	470
1.3.2.2	Duroplaste	471
1.3.3	Copolymere und Polymerge mische.....	472
1.3.3.1	Strukturen von Copolymeren.....	472
1.3.3.2	Kinetik der Copolymerisation	473
1.3.3.3	Beispiele für Copolymere.....	473
1.3.3.3.1	PE/PP-Copolymere	474
1.3.3.3.2	Styrolcopolymere	474
1.3.3.3.3	Flüssigkristalline Kunststoffe	474
1.3.3.3.4	Thermoplastische Elastomere	475
1.3.3.4	Arten von Polymerge mischen	475
1.3.3.5	Beispiele für Polymerge mische.....	476
1.3.4	Additive und Zuschlagstoffe.....	476
1.3.4.1	Zuschlagstoffe.....	476
1.3.4.1.1	Gleitmittel	476
1.3.4.1.2	Stabilisatoren.....	477
1.3.4.1.3	Antistatika.....	477
1.3.4.1.4	Flammschutzmittel	477
1.3.4.1.5	Farbmittel.....	477
1.3.4.1.6	Weichmacher	477
1.3.4.1.7	Haftvermittler	478
1.3.4.1.8	Treibmittel.....	478
1.3.4.1.9	Duftstoffe.....	478
1.3.4.1.10	Nukleierungsmittel	478
1.3.4.2	Füll- und Verstärkungsstoffe.....	480
1.3.4.2.1	Kugelförmige Füllstoffe.....	480
1.3.4.2.2	Plättchenförmige Füllstoffe	480
1.3.4.2.3	Faserartige Füllstoffe.....	480
1.4	Verarbeitungsrelevante Werkstoffeigenschaften.....	480
1.4.1	Fließeigenschaften von Kunststoffschmelzen	480
1.4.1.1	Fließverhalten.....	481
1.4.1.2	Viskoelastische Eigenschaften.....	483
1.4.1.3	Orientierungen	484
1.4.1.4	Messung rheologischer Eigenschaften	484
1.4.1.4.1	MFR-Messgerät	485
1.4.1.4.2	Hochdruckkapillarrheometer.....	485

1.4.1.4.3	Rotationsrheometer	487
1.4.2	Abkühlung aus der Schmelze und Entstehung von inneren Strukturen	488
1.4.2.1	Struktur und innere Eigenschaften	488
1.4.2.2	Das Verformungsverhalten fester Kunststoffe	490
2	Aufbereitungstechnik	493
2.1	Kunststoff-Aufbereitung	495
2.1.1	Compoundieren	496
2.1.2	Rezepturbestandteile	496
2.2	Mischen und Dosieren	497
2.2.1	Feststoffmischer	498
2.2.1.1	Schwerkraftmischer	498
2.2.1.2	Schubmischer	498
2.2.1.3	Fluidmischer	498
2.2.2	Dosieraggregate	498
2.2.2.1	Volumetrische Dosieraggregate	498
2.2.2.2	Gravimetrische Dosieraggregate	500
2.3	Extruder	502
2.3.1	Allgemeiner Aufbau	502
2.3.2	Antriebsmotoren	503
2.3.2.1	Auswahlkriterien, IP-Schutzklassen	503
2.3.2.2	Gleichstromantriebe	504
2.3.2.3	Drehstromantriebe	505
2.3.3	Sicherheitskupplung	506
2.3.4	Getriebe	507
2.3.4.1	Verzahnungen	507
2.3.4.2	Lagerung	507
2.3.4.3	Ölschmieranlage	508
2.3.4.4	Schmierstoffe	508
2.3.4.5	Getriebebauart	508
2.3.4.5.1	Getriebe mit einer Abtriebswelle	509
2.3.4.5.2	Getriebe mit zwei oder mehreren Abtriebswellen	509
2.3.5	Schneckenwellenkupplung	511
2.3.6	Verfahrensteil des Extruders	511
2.3.6.1	Schneckenzyylinder und Schneckenwellen	512
2.3.6.1.1	Temperierung	512
2.3.6.1.2	Verschleißverhalten, Werkstoffe	512
2.3.7	Verfahrenszonen	514
2.3.7.1	Einzugs- und Feststoff-Förderzone	515
2.3.7.2	Aufschmelzzone	516
2.3.7.3	Misch- und Homogenisierzone	516
2.3.7.3.1	Dispersives Mischen	516
2.3.7.3.2	Distributives Mischen	517
2.3.7.4	Entgasungszone	519
2.3.7.4.1	Entgasungsmechanismus	519
2.3.7.4.2	Entgasungsdome	519
2.3.7.4.3	Vakuumanlagen	519
2.3.7.4.4	Standard-Entgasung	520
2.3.7.4.5	Flash-Entgasung	520

2.3.7.4.6	Rest-Entgasung.....	520
2.3.7.4.7	Entgasen mit Schleppmitteln	521
2.3.7.5	Austragszone	522
2.4	Austragsteile.....	523
2.4.1	Zahnradpumpen	523
2.4.2	Schmelzefilter	525
2.4.3	Granuliertvorrichtungen	527
2.4.3.1	Kaltabschlagverfahren	527
2.4.3.1.1	Stranggranulierung	527
2.4.3.1.2	Unterwasserstranggranulierung	528
2.4.3.2	Heißabschlagverfahren	528
2.4.3.2.1	Messerwalzengranulierung.....	528
2.4.3.2.2	Exzentrische Granulierung.....	529
2.4.3.2.3	Zentrische Granulierung.....	529
2.5	Granulatnachbehandlung	532
2.6	Extruderbauarten.....	533
2.6.1	Einschneckenextruder	534
2.6.1.1	Standardbauform.....	534
2.6.1.2	Ko-Kneter.....	536
2.6.2	Dicht kämmende Doppelschneckenextruder.....	537
2.6.2.1	Gegenläufige Doppelschneckenextruder	537
2.6.2.2	Gleichläufige Doppelschneckenextruder	538
2.6.3	Gegenläufige, tangierende Doppelschneckenmischer	540
2.6.4	Mehrschneckenextruder.....	542
2.6.4.1	Planetwalzenextruder	542
2.6.4.2	Ringextruder.....	543
2.6.5	Vergleich der Extrudersysteme.....	544
2.6.6	Extruderauslegung	544
2.7	Verfahrensbeispiele.....	545
2.7.1	Polyolefine.....	545
2.7.2	Technische Kunststoffe.....	546
2.7.3	Pulverlacke und Toner	546
2.7.4	Temperatur- und scherempfindliche Produkte.....	548
2.7.5	Reaktives Aufbereiten	548
2.7.6	Chemische Produkte.....	549
2.7.7	Lebensmitteltechnik.....	549
3	Extrusion.....	553
3.1	Einschneckenextruder	555
3.1.1	Allgemeines	555
3.1.2	Spezifikation der Randbedingungen und Anforderungen des Extruders	558
3.1.3	Prozesse im Plastifizierextruder.....	560
3.1.3.1	Feststoffförderung.....	560
3.1.3.2	Aufschmelzen	562
3.1.3.3	Schmelzeförderung.....	563
3.1.3.4	Mischen/Homogenisieren (Scher- und Mischteile).....	564
3.1.3.5	Zusammenfassende Betrachtung (Verläufe über der Schneckenlänge).....	566
3.1.4	Bauarten von Extrudern und ihre Betriebskennlinien.....	567

3.1.4.1	Glattrohrextruder	567
3.1.4.2	Nutbuchsenextruder.....	567
3.1.4.3	Entgasungsextruder	568
3.1.4.4	Schmelzeextruder	569
3.1.4.5	Schnelllaufende Extruder	570
3.1.4.6	Baureihen	570
3.1.5	Extrusionsmaschinenbau	573
3.1.5.1	Zylinderbaugruppe	573
3.1.5.2	Schnecke.....	573
3.1.5.3	Antriebsstrang.....	573
3.1.5.4	Gestell	574
3.1.5.5	Sensorik, Steuerung und Regelung.....	574
3.1.6	Extrusionssysteme.....	575
3.1.6.1	Zusammenschaltung mit Filtern und Pumpen.....	575
3.1.6.2	Coextruder in Mehrkomponentenanlagen.....	575
3.2	Schmelzefiltration.....	576
3.2.1	Filtrationsgrundlagen.....	576
3.2.2	Aufbau des Filtermediums.....	576
3.2.3	Filtrationssysteme	578
3.2.4	Entwicklung der Bolzensiebwechsler	578
3.2.5	Weitere kontinuierliche Schmelzefilter am Markt.....	581
3.2.6	Zahnradpumpe	582
3.3	Verfahrenstechnische Auslegung von Extrusionswerkzeugen.....	585
3.3.1	Rheologische Auslegung, Simulation, Grundlagen von Mehrschichtströmungen	585
3.3.2	Werkzeuge mit kreisförmigem Austrittsquerschnitt.....	590
3.3.3	Werkzeuge mit ebenem Schlitzquerschnitt	592
3.3.3.1	Bauformen von Breitschlitzwerkzeugen	592
3.3.3.2	Herstellung von Mehrschichtverbunden mit Hilfe von Coextrusionswerkzeugen	594
3.3.3.2.1	Mehrkanalwerkzeuge.....	594
3.3.3.2.2	Adapterwerkzeuge.....	594
3.3.4	Werkzeuge mit kreisringspaltförmigem Austrittsquerschnitt.....	595
3.3.4.1	Stegdornhalter	595
3.3.4.2	Pinolenkopf.....	595
3.3.4.3	Wendelverteiler	596
3.3.4.4	Siebkorbwerkzeug	596
3.3.5	Werkzeuge mit beliebigen Austrittsquerschnitten.....	597
3.3.6	Temperierung.....	599
3.3.6.1	Bauformen und Verwendung.....	599
3.3.6.1.1	Elektrisch beheizte Werkzeuge.....	599
3.3.6.1.2	Flüssigtemperierte Werkzeuge	600
3.3.7	Mechanische Auslegung	600
3.3.7.1	Mechanische Auslegung eines Breitschlitzverteilers.....	601
3.3.7.2	Mechanische Auslegung eines Radialwendelverteilers.....	601
3.4	Verfahrens- und Anlagentechnik zur Herstellung von Extrusionsprodukten.....	602
3.4.1	Rohrextrusion	602
3.4.1.1	Einleitung	602
3.4.1.2	Eingesetzte Kunststoffe	602
3.4.1.2.1	Polyvinylchlorid (PVC)	602
3.4.1.2.2	Polyolefine	603
3.4.1.2.3	Weitere Rohrwerkstoffe	603

3.4.1.3	Rohrtypen	604
3.4.1.3.1	Einschichtige Rohre	604
3.4.1.3.2	Mehrschichtige Rohre	604
3.4.1.3.3	Faserverstärkte Rohre	605
3.4.1.3.4	Großrohre	605
3.4.1.3.5	Ummantelte Stahlrohre.....	605
3.4.1.3.6	Bewässerungsrohre	605
3.4.1.4	Herstellverfahren für Rohre	605
3.4.1.4.1	Materialbeschickung	606
3.4.1.4.2	Extruder	606
3.4.1.4.3	Rohrwerkzeuge	607
3.4.1.4.4	Nachfolgeeinheiten	608
3.4.1.5	Ausblick	610
3.4.2	Proflextrusion.....	610
3.4.2.1	Profile.....	610
3.4.2.2	Extrusionsprozess und Extrusionsverfahren	611
3.4.2.3	Extrusionswerkzeuge.....	612
3.4.2.3.1	Extrusionsdüse	612
3.4.2.3.2	Bauarten	612
3.4.2.3.3	Konstruktive Auslegung und Simulation	613
3.4.2.4	Kalibrierwerkzeug	614
3.4.2.4.1	Bauarten	614
3.4.2.4.2	Konstruktive Auslegung und Simulation	615
3.4.2.5	Post-CoExtrusion.....	616
3.4.2.6	Composite-Extrusion	617
3.4.2.7	Extrusionsanlagen	618
3.4.2.7.1	Vakuumkalibriertisch.....	618
3.4.2.7.2	Profilraupenabzug.....	618
3.4.2.7.3	Profilcutter	619
3.4.2.7.4	Zusatzeinrichtungen.....	619
3.4.3	Folienextrusion.....	620
3.4.3.1	Gießfolienextrusion	620
3.4.3.1.1	Grundlagen der Gießfolienextrusion.....	620
3.4.3.1.2	Anlagen- und Verfahrenstechnik zur Herstellung von Gießfolien	620
3.4.3.1.3	Anlagensteuerung und Automation	623
3.4.3.1.4	Eigenschaften, Anwendungen und Einsatzgebiete von Gießfolien	623
3.4.3.2	Glättwerkverfahren zur Herstellung von Flachfolien und Platten	626
3.4.3.2.1	Aufbau einer Folien- oder Platten-Extrusionsanlage mit Glättwerk	626
3.4.3.2.2	Bauformen von Glättwerken.....	627
3.4.3.2.3	Aufgaben des Glättwerks	627
3.4.3.2.4	Besonderheiten einer Flachfolienanlage	628
3.4.3.2.5	Besonderheiten einer Plattenanlage	629
3.4.3.3	Herstellung kalandrierter Folien	629
3.4.3.4	Blasfolienextrusion	632
3.4.3.4.1	Einleitung.....	632
3.4.3.4.2	Rohstoffe.....	633
3.4.3.4.3	Anwendungen.....	633
3.4.3.4.4	Extruder.....	635
3.4.3.4.5	Blaskopf.....	635
3.4.3.4.6	Schlauchbildungszone.....	636
3.4.3.4.7	Abzug.....	638

3.4.3.4.8	Automation.....	638
3.4.3.4.9	Sonderbauformen.....	638
3.4.3.5	Extrusion von Schaumfolien und -platten	640
3.4.3.5.1	Eigenschaften von Schaumkunststoffen	640
3.4.3.5.2	Verfahren zur Herstellung von extrudierten Schäumen.....	640
3.4.3.5.3	Anlagentechnik zur Herstellung physikalisch getriebener Schäume	641
3.4.3.5.4	Werkzeugkonzepte bei der Schaumextrusion	643
3.4.3.6	Folienrecktechnologie	646
3.4.3.6.1	Einleitung.....	646
3.4.3.6.2	Biaxiale Folienrekanlagen	648
3.4.3.6.3	Folientypen und Einsatzgebiete.....	656
3.4.3.6.4	Trends für verstreckte Folien	660
3.4.3.7	Wicklertechnologie	662
3.4.3.7.1	Wickelverfahren	662
3.4.3.7.2	Maschinentechnik.....	663
3.4.3.7.3	Prozessführung und Wickeldefekte	664
3.4.4	Extrusionsblasformen	667
3.4.4.1	Anwendungsbereiche für blasgeformte Hohlkörper	667
3.4.4.2	Prozessablauf beim Extrusionsblasformen.....	668
3.4.4.3	Kunststoffe für das Extrusionsblasformen.....	669
3.4.4.4	Maschinentechnik.....	670
3.4.4.4.1	Grundsätzlicher Aufbau einer Blasformmaschine.....	670
3.4.4.4.2	Schlauchköpfe	670
3.4.4.4.3	Kontinuierliche/diskontinuierliche Extrusion	672
3.4.4.4.4	Wanddickensteuerung.....	673
3.4.4.4.5	Schließeinheiten.....	674
3.4.4.4.6	Einzel-/Mehrfach-Kopf Anlagen	676
3.4.4.4.7	Ein-/Doppelstationen-Maschinen.....	676
3.4.4.5	Spezielle Verfahrensvarianten.....	677
3.4.4.5.1	Mehrschicht-(Multilayer)/Coextrusionsblasformen.....	677
3.4.4.5.2	3-D-Blasformen	678
3.4.4.5.3	Blasformen von faserverstärkten Thermoplasten.....	681
3.4.4.5.4	Blow Fill Seal-Verfahren.....	681
3.4.5	Kautschukextrusion.....	683
3.4.5.1	Einführung.....	683
3.4.5.2	Bauarten	684
3.4.5.2.1	Prinzipieller Aufbau	684
3.4.5.2.2	Warmfütterextruder.....	685
3.4.5.2.3	Kaltgummi-Stiftextruder.....	686
3.4.5.2.4	Kaltgummi-Entgasungsextruder.....	688
3.4.5.2.5	Zahnradpumpe	689
3.4.5.2.6	Sonderbauarten	689
3.4.5.3	Extrusionsköpfe und -werkzeuge	689
3.4.5.4	Betriebsverhalten bei der Kautschukextrusion.....	691
3.4.5.4.1	Leistungsgrenzen	691
3.4.5.4.2	Einflussgrößen.....	692
3.4.5.5	Extrusionslinien	693
3.4.5.5.1	Extrusionslinien zur diskontinuierlichen Produktherstellung	694
3.4.5.5.2	Extrusionslinien zur kontinuierlichen Produktherstellung.....	694
3.4.5.5.3	Peripherieeinrichtungen.....	696

3.5	Grundlagen der Mess- und Regelungstechnik für Extrusionsanlagen.....	697
3.5.1	Grundlagen und Herausforderungen.....	697
3.5.2	Mess- und Automatisierungselemente entlang der Prozesskette	697
3.5.2.1	Materialzufuhr und Dosierung	697
3.5.2.1.1	Materialzufuhr.....	697
3.5.2.1.2	Gravimetrische Dosierung.....	698
3.5.2.1.3	Batchdosierung.....	698
3.5.2.1.4	Volumetrische Dosierung.....	698
3.5.2.2	Mess- und Regelungsgrößen am Extruder	699
3.5.2.2.1	Extruderzylinder und Extruderschnecke	699
3.5.2.2.2	Siebe.....	699
3.5.2.2.3	Schmelzepumpe	699
3.5.2.2.4	Flansche, Rohrverbindungen, Feedblock	700
3.5.2.3	Mess- und Regelungsgrößen an der Düse	700
3.5.2.3.1	Temperaturregelung und Druckmessung	700
3.5.2.4	Kühlung, Kalibrierung, Produktentnahme	700
3.5.3	Messen und Regeln der Qualitätseigenschaften	700
3.5.3.1	Dickenmessung	700
3.5.3.2	Dickenregelung in Extrusionsrichtung	701
3.5.3.3	Dickenregelung quer zur Extrusionsrichtung (Dickenverteilung)	701
3.5.3.3.1	Flachfolie	701
3.5.3.3.2	Blasfolie	702
3.5.3.3.3	Rohre, Kabelummantelung, Profilextrusion	702
3.5.3.3.4	Blasformdüse	702
3.5.3.4	Weitere Qualitätsmerkmale	702
3.5.4	Aufbau eines Automatisierungssystems	703
3.5.5	Entwicklungstendenzen.....	703
4	Spritzgießen	705
4.1	Wirtschaftliche Bedeutung	709
4.2	Der Spritzgießzyklus.....	711
4.2.1	Verfahrensablauf.....	711
4.2.2	Dosierphase.....	712
4.2.3	Einspritzphase.....	712
4.2.4	Nachdruckphase.....	716
4.2.5	Kühlphase.....	717
4.3	Produktentwicklung beim Spritzgießen	717
4.3.1	Erstellen der Anforderungsliste.....	718
4.3.2	Machbarkeitsstudie	718
4.3.3	Erstellen des Projektplans	719
4.3.4	Produktgestaltung/Aufgaben der Entwicklungsteams	719
4.3.5	Werkstoffauswahl	719
4.3.6	Konstruktion/Rapid Prototyping	721
4.3.6.1	Mechanische Auslegung/Dimensionierung	721
4.3.6.2	Rheologische Auslegung	722
4.3.7	Werkzeugauslegung	723
4.3.8	Erprobung	723

4.4	Maschinentechnik.....	724
4.4.1	Einführung.....	724
4.4.2	Plastifizier- und Einspritzeinheit.....	725
4.4.2.1	Trichter	725
4.4.2.2	Schneckensysteme.....	726
4.4.2.3	Rückstromsperre (RSP)	732
4.4.2.4	Maschinendüse.....	732
4.4.2.5	Zylinderbeheizung.....	733
4.4.2.6	Schneckenantrieb	735
4.4.2.6.1	Rotatorischer Schneckenantrieb.....	735
4.4.2.6.2	Translatorischer Schneckenantrieb.....	737
4.4.3	Antriebssysteme von Spritzgießmaschinen	739
4.4.4	Schließeinheiten.....	743
4.4.4.1	Schließeinheiten mit mechanischer Zuhaltung.....	744
4.4.4.2	Schließeinheiten mit hydraulischer Zuhaltung.....	746
4.5	Spritzgießwerkzeugtechnik.....	751
4.5.1	Aufgaben des Spritzgießwerkzeugs.....	752
4.5.2	Funktionskomplexe von Spritzgießwerkzeugen.....	752
4.5.2.1	Angusssystem.....	752
4.5.2.2	Kavität zur Ausformung der Schmelze	757
4.5.2.3	Temperiersystem.....	757
4.5.2.4	Entformungssystem.....	761
4.5.2.5	Nebenfunktionen: Führung und Zentrierung, Maschinen- und Kraftaufnahme, Bewegungsübertragung	764
4.5.3	Einteilung und Klassifikation von Spritzgießwerkzeugen	766
4.5.3.1	Unterscheidung nach Anzahl der Trennebenen.....	766
4.5.3.2	Unterscheidung nach Art der Entformung.....	767
4.5.3.3	Unterscheidung nach Art der Angusstemperierung	767
4.5.3.4	Unterscheidung nach Art der Kraftaufnahme	768
4.5.4	Integrierte Bauteil- und Werkzeugkalkulation	768
4.5.4.1	Einflussfaktoren, Stellgrößen für die Bauteilkosten.....	769
4.5.4.2	Einflussfaktoren, Stellgrößen für die Werkzeugkosten	770
4.5.4.3	Kalkulationsverfahren für die Ermittlung von Werkzeugkosten.....	770
4.5.4.3.1	Empirische Verfahren.....	771
4.5.4.3.2	Das Prinzip der Kostenfunktion.....	771
4.5.4.3.3	Das Prinzip der Kostenähnlichkeit.....	772
4.5.4.3.4	Ressourcenorientierte Prozesskosten-Rechnung.....	772
4.5.4.3.5	Unterstützung der Werkzeugkalkulation durch spezialisierte Software	772
4.5.5	Sonderwerkzeuge	773
4.5.5.1	Mehrkavitätenwerkzeuge	773
4.5.5.2	Familienwerkzeuge.....	774
4.5.5.3	Etagenwerkzeuge	774
4.5.5.4	Etagenwendetechnik	776
4.5.5.5	Tandemwerkzeuge	777
4.6	Prozessverlauf der Formteilbildung beim Spritzgießen	779
4.6.1	Prozessphasen	779
4.6.1.1	Einspritzphase.....	779
4.6.1.2	Umschaltphase	782

4.6.1.3	Nachdruckphase.....	782
4.6.1.4	Abkühlphase.....	784
4.6.2	Zusammenhang zwischen Verarbeitung und der Struktur-Eigenschaftsbeziehung.....	786
4.6.2.1	Orientierungen.....	787
4.6.2.2	Schwindung und Verzug.....	790
4.6.2.3	Kristallisation.....	794
4.6.2.4	Eigenspannungen.....	797
4.6.2.5	Weitere Prozesseinflüsse auf die inneren Eigenschaften.....	799
4.6.2.6	Fazit.....	799
4.6.3	Prozessüberwachung beim Spritzgießen.....	800
4.6.3.1	SPC.....	800
4.6.3.2	Prozessüberwachung mit Maschinenkennzahlen.....	800
4.6.3.3	Prozessüberwachung mit Sensoren im Werkzeug.....	800
4.6.3.4	Qualitätsüberwachung mit Prozessmodellen.....	802
4.6.3.5	Prozesssteuerung und -regelung mit Sensoren im Werkzeug.....	803
4.6.4	Typische Fehler beim Spritzgießen – Ursachen und Strategien zur Beseitigung.....	803
4.6.4.1	Einführung.....	803
4.6.4.2	Grundlagen.....	804
4.6.4.3	Vorgehensweise zur Fehler-identifizierung und Fehlerdiagnose.....	804
4.7	Automation in der Spritzgießverarbeitung.....	811
4.7.1	Einführung.....	811
4.7.2	Produkt- und Werkzeuggestaltung.....	811
4.7.2.1	Produktgestaltung.....	811
4.7.2.2	Werkzeuggestaltung.....	811
4.7.2.3	Werkzeugwechsel.....	812
4.7.3	Handling.....	813
4.7.3.1	Roboterwahl.....	813
4.7.3.2	Freiheitsgrad und Arbeitsraum.....	813
4.7.3.3	Antriebe.....	813
4.7.3.4	Roboterarten.....	813
4.7.3.5	Greifer.....	815
4.7.4	Effiziente Fertigungszellen.....	816
4.7.5	Vorbearbeitung.....	817
4.7.6	Nachbearbeitung.....	817
4.7.7	Prüftechnik.....	818
4.7.8	Verpacken und Transportieren.....	819
4.7.9	Interaktion.....	819
4.7.9.1	Ergonomie.....	819
4.7.9.2	Schnittstellen nach Euromap.....	819
4.7.9.3	Steuerung.....	819
4.7.10	Entscheidungshilfen zur Auswahl der optimalen Automation.....	820
4.7.11	Anwendungsbeispiele.....	821
4.8	Sonderverfahren des Spritzgießens.....	824
4.8.1	Mehrkomponenten-Spritzgießen.....	824
4.8.1.1	Additionsverfahren.....	824
4.8.1.2	Serielle Verfahren.....	825
4.8.1.3	Simultane Verfahren.....	827
4.8.1.4	Sequenzverfahren.....	829
4.8.1.5	Sandwich-Spritzgießen.....	829

4.8.2	Fluidinjektionstechnik	833
4.8.2.1	Gasinjektionstechnik.....	836
4.8.2.2	Wasserinjektionstechnik	837
4.8.2.3	Gasaußendrucktechnik	838
4.8.3	Schaumspritzgießen	840
4.8.3.1	Einteilung verschiedener Schaumtypen.....	840
4.8.3.2	Eigenschaften von Schäumen	840
4.8.3.3	Treibmittelarten.....	840
4.8.3.4	Mechanismen der Schaumbildung	842
4.8.3.5	Verfahren zum Schaumspritzgießen	842
4.8.3.6	Schäumverfahren zum Erzeugen guter Oberflächen.....	844
4.8.4	Mikrospritzgießen.....	847
4.8.4.1	Werkzeugtechnik	847
4.8.4.2	Fertigungsverfahren für mikrostrukturierte Kavitäten	849
4.8.4.3	Maschinentechnik.....	849
4.8.5	Hinterspritztechnik	852
4.8.5.1	Übersicht über die Verfahren.....	854
4.8.5.2	Maschinentechnik für das Hinterspritzen	857
4.8.5.3	Werkzeugtechnik für die Hinterspritztechnik.....	857
4.8.5.4	Automatisierung der Hinterspritztechnik.....	858
4.8.6	Spritzprägen	859
4.8.6.1	Einführung.....	859
4.8.6.2	Schließprägen.....	861
4.8.6.3	Schließprägen mit Masseausdrücken.....	861
4.8.6.4	Expansionsprägen (Atmungsprägen)	861
4.8.6.5	Zweistufiges Expansionsprägen	861
4.8.6.6	Keil-Prägen.....	862
4.8.6.7	Spritzprägeprozess - Besonderheiten im pVT-Diagramm	862
4.8.7	Transfer Moulding (Spritzpressen)	864
4.8.8	Injection Transfer Moulding	868
4.8.8.1	Injection Transfer Moulding in der Elastomerverarbeitung.....	868
4.8.8.2	Injection Transfer Moulding in der Thermoplastverarbeitung	870
4.8.9	Schmelzkerntechnik.....	872
4.8.9.1	Einleitung.....	872
4.8.9.2	Verarbeitungsverfahren mit „verlorenen Kernen“	872
4.8.9.3	Verfahrensbeschreibung.....	873
4.8.10	Insert-/Outserttechnik	877
4.8.10.1	Inserttechnik.....	877
4.8.10.2	Outserttechnik	879
4.8.11	Hybridtechnik.....	883
4.8.11.1	Funktionsprinzip.....	883
4.8.11.2	Materialauswahl.....	883
4.8.11.3	Konstruktion	884
4.8.11.4	Fertigungsprozess.....	885
4.8.11.5	Anwendungen.....	886
4.8.12	Pulverspritzgießen.....	887
4.8.12.1	Vorteile und Anwendungsgebiete des Pulverspritzgießens	887
4.8.12.2	Das Pulverspritzgießverfahren	887
4.8.12.3	Optimierung der Bauteilgeometrie für den Pulverspritzguss.....	888
4.8.12.4	Toleranzen vom PIM-Bauteilen.....	888

5	Rotationsformen	891
5.1	Einführung	893
5.2	Grundlagen	893
5.3	Werkstoffe für das Rotationsformen	894
5.4	Maschinentechnik.....	894
5.5	Werkzeuge und Bauteilauslegung	896
5.5.1	Werkzeuge.....	896
5.5.2	Bauteilauslegung.....	896
5.5.3	Verfahrensvarianten.....	897
5.6	Wirtschaftlichkeit und Vergleich mit anderen Verfahren	898
6	Pressen	899
6.1	Pressen von Elastomeren.....	901
6.1.1	Die Presse.....	901
6.1.2	Die Werkzeuge.....	902
6.1.3	Verfahrensablauf.....	902
6.1.4	Vor- und Nachteile des Pressverfahrens.....	903
6.2	Pressen von faserverstärkten Kunststoffen	903
6.2.1	Maschinen- und Werkzeugtechnik.....	903
6.2.2	Fließpressen von SMC.....	904
6.2.3	Fließpressen von thermoplastischen Werkstoffen.....	906
7	Herstellung von Formteilen aus PUR	909
7.1	Werkstoff nach Maß durch Chemie und Verarbeitung.....	911
7.2	Grundlagen der PUR-Verfahrenstechnik.....	911
7.2.1	Verfahren zur Dosierung und Vermischung von PUR-Rohstoffen	912
7.2.2	Nukleierung und Treibmittel.....	916
7.3	Anlagentechnik RIM und Reaktionsgießen	918
7.3.1	Formgebungswerkzeug.....	918
7.3.2	Transporteinrichtungen	918
7.4	Anwendungstechniken	920
7.4.1	Gießen von PUR-Formteilen.....	920
7.4.1.1	Gießen von PUR-Elastomeren.....	920
7.4.1.2	Gießen von massiven oder geschäumten Formteilen.....	920
7.4.2	RIM-Technik als Sonderform des Reaktionsgießens	921
7.4.2.1	Verarbeitungstechnik	921
7.4.2.2	RIM-Werkstoffe.....	922
7.4.2.3	RRIM: Herstellung verstärkter RIM-Formteile	922
7.4.2.4	Typische Anwendungen.....	922
7.4.3	Herstellung langfaser-verstärkter PUR-Bauteile	922
7.4.3.1.	Structural Reaction Injection Moulding (S-RIM) Verfahren.....	922
7.4.3.2	S-RIM-Sandwichbauteile	923
7.4.3.3	Faserverstärkte Bauteile hergestellt im Sprühverfahren	923
7.4.4	Herstellung von PUR-Kühlmöbeln.....	924

Die Herausgeber

Gesamtherausgeber

Prof. Dr. h. c. mult. Dr.-Ing. E. h. Dr.-Ing. Günter Spur

Professor Günter Spur, geboren am 28. Oktober 1928 in Braunschweig, verstorben am 19. September 2013 in Kopenhagen, war emeritierter Professor der Technischen Universität Berlin. Nach seinem Studium an der Technischen Hochschule Braunschweig und mehrjähriger Tätigkeit als Assistent und Oberingenieur am Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik wirkte er mehrere Jahre in leitender Funktion bei der Gildemeister AG, Bielefeld. Ab 1965 leitete Professor Spur über Jahrzehnte das Institut für Werkzeugmaschinen und Fabrikbetrieb der TU Berlin sowie das Fraunhofer-Institut für Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik. In der Zeit von 1991 bis 1996 war er Gründungsrektor der Brandenburgischen Technischen Universität Cottbus. Professor Spur hat bedeutende Beiträge zur Produktionswissenschaft geleistet – vor allem auf den Gebieten der Werkzeugmaschinen und der Fertigungstechnik, des Fabrikbetriebes sowie der rechner-integrierten Produktion und Automatisierung. Über 1.000 Zeitschriften- und Buchveröffentlichungen sowie zahlreiche Vorträge im In- und Ausland sind Bestandteil seiner Forschungsarbeiten. Günter Spur war Mitglied in zahlreichen wissenschaftlichen Institutionen und Akademien. Seine Verdienste als Wissenschaftler und Hochschullehrer wurden auch international durch hohe Auszeichnungen und Ehrungen gewürdigt.

Bandherausgeber

Prof. Dr.-Ing. Andreas Bührig-Polaczek

Professor Dr.-Ing. Andreas Bührig-Polaczek, geboren am 28.6.1959 in Stuttgart, studierte Hüttenkunde an der TU Berlin und Gießereikunde an der RWTH Aachen, wo er 1992 promovierte. Von 1992 bis 1998 war er Gruppenleiter am Gießerei-Institut der RWTH Aachen. Von 1998 bis 2002 war er Professor für Gießereikunde an der Montanuniversität Leoben und in Personalunion Geschäftsführer des Österreichischen Gießerei-Instituts, Leoben. 2002 erhielt er den Ruf auf die Professur für Gießereikunde am Gießerei-Institut der RWTH Aachen und ist seitdem auch Geschäftsführender Vorstandsvorsitzender des An-Institutes ACCESS e.V. Materials & Processes. 2011 erhielt er den Merton C. Flemings Award, ACRC, MPI, Worcester, USA. Er ist seit 2011 Sprecher des Studenttags Materialwissenschaft und Werkstofftechnik (StMW) sowie seit 2013 Gründungsmitglied und Sprecher des Fakultätentages Materialwissenschaft und Werkstofftechnik (F MatWerk). Weiterhin ist er seit 2012 im Vorstand des Wissenschaftlichen Arbeitskreises der Universitäts-Professoren der Werkstofftechnik e.V. (WAW) und Gründungsmitglied der Akademischen Interessensvertretung Gießereitechnik (AIG), des Aluminium Engineering Centers e.V. (aec) und des Forschungsclusters AMAP GmbH. Ferner ist er als Vorstandsmitglied, Beirat und Mitglied in Verbänden und Stiftungen tätig.

Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E. h. Walter Michaeli

Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Walter Michaeli hat sich durch viele wesentliche Beiträge auf dem Gebiet der Kunststofftechnik ausgezeichnet, die in zahlreichen Zeitschriften- und Buchveröffentlichungen dokumentiert sind. Von 1989 bis 2011 hatte er den Lehrstuhl für Kunststoffverarbeitung an der Fakultät für Maschinenwesen der RWTH Aachen inne. Er leitete gleichzeitig das Institut für Kunststoffverarbeitung (IKV) an der RWTH Aachen und war Geschäftsführer der Fördervereinigung des Instituts, der 250 namhafte Unternehmen der Kunststoffbranche angehören. Das von Michaeli bis 2011 geleitete Institut für Kunststoffverarbeitung, welches sich mit der Erforschung und Beschreibung der Zusammenhänge zwischen dem Werkstoff „Kunststoffe“, der Gestaltung von Kunststoffbauteilen und deren Herstellung befasst, genießt Weltruf.

An der Schnittstelle von Forschung, Wissenschaft und Industrie ist Professor Michaeli in zahlreichen Vorständen, Beiräten, Kuratorien, Foren, Editorial Boards und Arbeitskreisen ehrenamtlich aktiv. Er hat zahlreiche Ehrungen und Auszeichnungen erhalten, darunter 1998 die Ernennung zum Dr.-Ing. E.h. durch die Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg. Im Jahr 2009 wurde ihm das Bundesverdienstkreuz Erster Klasse verliehen. Im November 2010 würdigt ihn die AiF für seinen Brückenbau zwischen Wirtschaft und Wissenschaft mit der Otto von Guericke-Medaille.

Zum 1. Oktober 2011 wurde Professor Michaeli zum Sekretar der Technikwissenschaftlichen Klasse der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften berufen.

Autorenverzeichnis

Dipl.-Ing. Otto Altmann, ASK Altmann Systemengineering Kunststofftechnik, Rosenheim

Dr.-Ing. Daniel Ammer, Projektleiter Entwicklung, KraussMaffei Technologies GmbH, München

Prof. Dipl.-Ing. Dr. Helmut Antrekowitsch, Montanuniversität Leoben

Dipl.-Ing. Martin Backmann, Windmüller und Hölscher KG, Lengerich

Prof. Dr.-Ing. habil. Dr.-Ing. E. h. Rüdiger Bähr, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, Institut für Fertigungstechnik und Qualitätssicherung, Bereich Ur- und Umformtechnik

Dr.-Ing. Thomas Baranowski, Ford-Forschungszentrum Aachen GmbH, Aachen

Dr. Frank Baumgärtner, Schunk Sintermetalltechnik GmbH, Heuchelheim

Dr.-Ing. Eduard Bergweiler, aixtrusion GmbH, Arnsberg

ao. Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. Prof. Christian Bernhard, Montanuniversität Leoben

Dipl.-Ing. Samuel Bogner, RWTH Aachen University, Gießerei-Institut

Dr.-Ing. Jürgen Breil, Brückner Maschinenbau GmbH, Siegsdorf

Dr.-Ing. Thomas Brümmer, Freudenberg Forschungsdienste KG, Weinheim

Prof. Dr.-Ing. Andreas Bührig-Polaczek, Lehrstuhl für das gesamte Gießereiwesen und Gießerei-Institut, RWTH Aachen University, Gießerei-Institut

Dr.-Ing. Matthias Bünck, ACCESS e.V., Aachen

Dipl.-Ing. Thomas Burbach, Hochschule für Technik, Institut für Produkt- und Produktionsengineering, Windisch, Schweiz

Dr.-Ing. Erwin Bürkle, Wobbe Bürkle Partner, Geretsried

Dr. rer. nat. Rainer Dahlmann, Institut für Kunststoffverarbeitung (IKV) an der RWTH Aachen

Prof. Rüdiger Deike, Institut für Angewandte Materialtechnik der Uni Duisburg-Essen, Duisburg

Dipl.-Ing. Helmut Eckardt, Wittmann Battenfeld GmbH, Meinerzhagen

Dr.-Ing. Athanassios Elas, BREYER GmbH, Singen

Dr.-Ing. Björn Fink, Victrex Europa GmbH, Hofheim

M.Sc. Sebastian F. Fischer, RWTH Aachen University, Gießerei-Institut

Dr.-Ing. Laura Florez, SIGMA Engineering GmbH, Aachen

Dr.-Ing. Oliver Grönlund, B.Braun Melsungen AG, Melsungen

Dipl.-Ing. Veronika Groten, RWTH Aachen University, Gießerei-Institut

Dr.-Ing. Katrin Hagemann, MediMet Precision Casting and Implants Technology GmbH, Stade

Dipl.-Ing. Bernhard Helbich, simcon kunststofftechnische Software GmbH, Würselen

Dr.-Ing. Jan Hensele, Vorwerk & Co. KG, Wuppertal

Dr.-Ing. Andreas Herold, Robert Bosch GmbH, Waiblingen

Dipl.-Ing. Tilo Hildebrand, Selit-tec Dämmsysteme GmbH, Erbes-Büdesheim

Dipl.-Ing. Rudolf Hillen, Product Development der StrikoWestofen GmbH, Wiehl-Bomig

Dr.-Ing. Simon Hollad, Doncasters Precision Castings Bochum GmbH, Bochum

Georg P. Holzinger, Leiter Forschung & Entwicklung,
KraussMaffei Technologies GmbH

Dipl.-Ing. Todor Ivanov, Kolbenschmidt Pierburg,
Shanghai Nonferrous Components Co. Ltd. Shanghai,
China

Prof. Ansgar Jaeger, Fachhochschule Würzburg-
Schweinfurt

Prof. Dr.-Ing. Friedrich Johannaber, Lohmar

Dr.-Ing. Roland Kahn, Ing.-Büro Kahn GbR, Ehrings-
hausen

Dr.-Ing. Gerald Klaus, Nematik Dillingen GmbH,
Dillingen

Dr.-Ing. Ingo Kleba, Geschäftsführer der RÜHL
PUROMER GmbH, Friedrichsdorf

Dipl.-Ing. Eike Klünker, Institut für Kunststoffverar-
beitung (IKV) an der RWTH Aachen

Prof. Christian Kohlert, Klöckner Pentaplast GmbH &
Co. KG, Heiligenroth

Dr. Lothar Köster, Hamburg

Dr.-Ing. Christoph Kremer, Döllken Kunststoffverar-
beitung GmbH, Gladbeck

Dr. Norbert Kreth, Battenfeld Extrusionstechnik
GmbH, Bad Oeynhausen

Stefan Krenz, Kreyenborg GmbH, Münster

Dr.-Ing. Dirk Kropp, Polymer-Tec GmbH, Bad Sobern-
heim

Dr.-Ing. Bin Lao, Audi AG, Ingolstadt

Dr. Michael Lemperle, Küttner GmbH & Co.KG, Essen

Dr.-Ing. Christoph Lettowsky, Reifenhäuser Kiefel
Extrusion GmbH, Troisdorf

Dipl.-Hdl. Heiko Lickfett, Referatsleitung Volkswirt-
schaft der BDG Bundesverband der Deutschen
Gießerei-Industrie

Dr.-Ing. Oliver Lingk, 3M Deutschland GmbH, Neuss

Dr.-Ing. Dexin Ma, RWTH Aachen University, Gießere-
rei-Institut

Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E. h. Walter Michaeli, bis Juli
2011 Leiter des Instituts für Kunststoffverarbeitung
(IKV) an der RWTH Aachen

Dipl.-Ing. Heiner Michels, RWTH Aachen University,
Gießerei-Institut

Dipl.-Ing. Andreas Neuß, Institut für Kunststoffverar-
beitung (IKV) an der RWTH Aachen

Dr.-Ing. Stefanie Nickel, LANXESS Deutschland
GmbH, Leverkusen

Dr.-Ing. Christian Oberschelp, Nematik Dillingen GmbH,
Frankfurt am Main

Prof. Dr.-Ing. Friedrich Ohlendorf, Hochschule für
Angewandte Wissenschaften Hamburg

Dr.-Ing. Kai Opdenwinkel, Helix Medical Europe KG,
Kaiserslautern

Dr. Hartmut Ortloff, RGU GmbH, Dortmund

Dr.-Ing. Falco Paepenmüller, Windmüller und Hölscher
KG, Lengerich

Dr. Frank Petzold, Fraunhofer-Institut für Fertigungs-
technik und Angewandte Materialforschung – IFAM,
Bremen

Dr.-Ing. Tobias Pfefferkorn, BASF SE, Ludwigshafen

Dipl.-Ing. Hartmut Polzin, Gießerei-Institut an der TU
Bergakademie Freiberg

Dipl.-Ing. Andre Potthoff, Walter Potthoff GmbH,
Meinerzhagen

Dipl.-Ing. Dipl.-Wirt. Ing. Florian Puch, Institut für
Kunststoffverarbeitung (IKV) an der RWTH Aachen

Dipl.-Ing. Yann Queudeville, RWTH Aachen University,
Gießerei-Institut

Dr.-Ing. Arno Rogalla, Rogalla Consulting, Bad
Bromstedt

Dr.-Ing. Bernd Rothe, Bayer MaterialScience AG,
Leverkusen

Hans-Joachim Sämman, Coperion Werner & Pfeleiderer
GmbH & Co. KG, Stuttgart

Dr.-Ing. Micha Scharf, Phoenix Contact GmbH & Co.
KG, Blomberg

Dipl.-Wirtsch.-Ing. Stefan Scharf, Otto-von-Guericke-
Universität Magdeburg, Institut für Fertigungstechnik
und Qualitätssicherung, Bereich Ur- und Umformtech-
nik

Dipl.-Ing. Gabriel Schenke, RWTH Aachen University,
Gießerei-Institut

Dr. Reinhard Schiffers, KraussMaffei Technologies
GmbH

Dr.-Ing. Michael Schlumm, Schmitz Cargobull AG,
Horstmar

Manuela Schmidbauer, Leitung Vertrieb, KraussMaffei
Automation AG

Dr. Wilfried Schmitz, Otto Junker GmbH, Simmerath-
Lammersdorf

Dr.-Ing. Andreas Schobel, BASF SE, Ludwigshafen

Prof. Dr.-Ing. Volker Schöppner, Institut für Kunststoff-
technik KTP, Paderborn

Dipl.-Ing. Harald Schwickal, BMW AG, Landshut

Dr.-Ing. Torsten Schmitz, Windmüller und Hölscher KG,
Lengerich

Dr. Oliver Schnerr, Kistler Instrumente AG,
Winterthur, Schweiz

Meinhard Schwaiger, Technoplast Kunststofftechnik
GmbH & Co. KG, Micheldorf in Oberösterreich

Dr.-Ing. Henning Seidel, RKW SE, Frankenthal

Dr. Jörg C. Sturm, MAGMA, Aachen

Dipl.-Ing. Emir Subasic, ACCESS e.V., Aachen

M.Sc. Sebastian Tewes, Nemak Dillingen GmbH,
Aachen

Dr. Michael Thielen, Polymedia Publisher GmbH,
Mönchengladbach

Dr.-Ing. Dietmar Trauzeddel, Otto Junker GmbH,
Simmerath-Lammersdorf

Dr. Arne Treppschuh, Stahlwerk Bous, Bous

Dr.-Ing. Uwe Vroomen, RWTH Aachen University,
Gießerei-Institut

Dr.-Ing. Roland Wehmeyer, A. Schulman GmbH,
Kerpen

Dr.-Ing. Hans Wobbe, Wobbe Bürkle Partner,
Geretsried

Dipl.-Ing. Eike Wüller, Siemens AG, Voerde

Dipl.-Ing. Olaf Zöllner, Bayer MaterialScience AG,
Leverkusen