

Erwin Bürkle
Hans Wobbe

Kombinationstechnologien auf Basis des Spritzgießverfahrens



Mit Videolinks

Videos zu den
vorgestellten
Kombinationsverfahren!

**Komplett
in Farbe**

mit über
300 Bildern!

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

Erwin Bürkle
Hans Wobbe

Kombinations- technologien auf Basis des Spritzgieß- verfahrens

HANSER

Die Herausgeber:

Dr.-Ing. Erwin Bürkle, Dr.-Ing. Hans Wobbe

Wobbe – Bürkle – Partner, Sarensecker Weg 21, D-29456 Hitzacker (Elbe)

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.

© 2016 Carl Hanser Verlag München

www.hanser-fachbuch.de

Seitenlayout und Herstellung: Der *Buchmacher*, Arthur Lenner, München

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

Coverbildgestaltung: Florian Petzinka

Coverrealisierung: Stephan Rönigk

Videobearbeitung und Realisierung: Singer-Media, www.singer-media.com

Druck und Bindung: Kösel, Altusried-Krugzell

Printed in Germany

ISBN: 978-3-446-44300-6

E-Book-ISBN: 978-3-446-44608-3

Zu diesem Fachbuch erhalten Sie zusätzliches Videomaterial unter:

Link: www.wb-partner.com/ktvideos

Passwort: KTV4528

Vorwort

Nahezu vier Jahrzehnte begleiten wir als Maschinenbauer die Entwicklung der Kunststoffverarbeitung. Unser Schwerpunkt lag und liegt auf der Entwicklung von Maschinen und Prozessen für die Spritzgießtechnik.

Geprägt wurde diese Zeit neben der reinen Maschinenteknik vordergründig von der Entwicklung zahlreicher Sonderverfahren des Spritzgießens. Die Ansätze dazu entstanden an Hochschul- und Forschungsinstituten, bei den Maschinenbauunternehmen und zum Teil bei den Rohstoffherstellern, immer getrieben durch die steigenden Anforderungen an neue Produkte aus den verschiedensten Branchen - voran der Automobilindustrie.

Im Laufe der Zeit erschöpften sich die Ideen für weitere Verfahrensabwandlungen, und so wurde der Blick geschärft, über Verfahrensgrenzen hinaus nach neuen Lösungsmöglichkeiten zu suchen. Dabei entstanden bis heute Kombinationen auf der Basis der Spritzgießtechnik mit Compoundiermaschinen, Polyurethananlagen, Umformverfahren, Metalldruckgießtechnik, Blasformen und Partikelschaumtechnologie.

Im vorliegenden Buch werden (moderne) und innovative Kombinationstechnologien, deren Prozessgrundlagen und Besonderheiten, ihre spezielle Maschinen- und Werkzeugtechnik sowie die Peripherie und Anlagentechnik ausführlich beschrieben. Zudem wird ihr jeweiliges Einsatzgebiet anhand aktueller Anwendungsbeispiele aus der Praxis veranschaulicht. Die Beispiele sollen dem Leser zum einen eine gewisse Sicherheit zur Machbarkeit solcher "komplexer" Prozesse geben, zum anderen aber zu Ideen anregen für zukünftige Anwendungsmöglichkeiten und Potenziale eröffnen für die Herstellbarkeit neuer Produkte.

Am vorliegenden Buch haben renommierte Fachleute aus Wissenschaft und Industrie mitgewirkt. Unser besonderer Dank gilt den Autoren der einzelnen Kapitel und Abschnitte, für ihre Bereitschaft zur Mitarbeit und die Ausdauer bis zur Entstehung des Werkes sowie Herrn Florian Petzinka für die gekonnte künstlerische Gestaltung des Coverbildes. Wir bedanken uns auch bei den Firmen und Instituten, die uns vielfältiges Bild- und Filmmaterial zur Verfügung gestellt haben. Weiterhin sind die Herausgeber den Mitarbeitern des Carl Hanser Verlages, insbeson-

dere unserer Lektorin Frau Ulrike Wittmann, zu großem Dank verpflichtet, für ihre Hilfsbereitschaft und großzügige Unterstützung bei der Koordination der Arbeiten im Verlag. Ein ganz besonderer Dank geht an Frau Angelika Wobbe, die nicht nur die Fäden zusammenhalten musste, sondern auch für ihr Engagement bei der sorgfältigen Durchsicht und Korrektur der einzelnen Buchkapitel.

Benediktbeuern/Hitzacker im Herbst 2015

Erwin Bürkle

Hans Wobbe

Geleitwort

Kein Werkstoff ist so vielfältig wie Kunststoff, kein Verarbeitungsverfahren so wandlungsfähig wie das Spritzgießverfahren. Es ermöglicht die Herstellung geometrisch äußerst komplex geformter, dabei hervorragend maßhaltiger und nachbearbeitungsfreier Kunststoffbauteile mit höchster Produktivität und Reproduzierbarkeit. Der Erfolg der Kunststoffe ist untrennbar mit dem Spritzgießen verbunden. Das Geheimnis des Erfolgs allerdings liegt in der Wandlungsfähigkeit des Verfahrens, die mit dem Wort Prozessintegration beschrieben wird und die Kombination mehrerer, teils artfremder Verarbeitungsschritte zu einem Gesamtprozess beschreibt. Sie ermöglicht die vollautomatisierte Herstellung hochgradig funktionsintegrierter Produkte durch die Integration sehr unterschiedlicher Verfahrensschritte, Werkstoffe und Funktionen. Hierdurch werden Eigenschaften erzeugt, die auf anderem Wege nur mit großem Aufwand oder auch gar nicht erreichbar sind. Kombinationstechnologien sind daher Schlüsseltechnologien zur Erschließung wirtschaftlicher Potenziale, die kein anderes Fertigungsverfahren in der Form bietet. Beispielweise ist der funktionsintegrierte Multi-Materialeichtbau ohne Kombinationstechnologien auf Basis des Spritzgießverfahrens nicht wirtschaftlich darstellbar. Er stellt aber die wesentliche Basis für die dringend erforderliche Gewichtsreduktion im Transportsektor zur Erreichung der Klimaziele dar. Kombinationstechnologien leisten also einen wichtigen Beitrag zur gesellschaftlichen Entwicklung.

Es ist erfreulich, dass sich mit den Autoren zwei ausgewiesene Experten mit langjähriger Erfahrung auf diesem wichtigen Gebiet die Mühe gemacht haben, diese Vielfalt zusammenzutragen, zu sortieren, zu strukturieren und in einem Buch so aufzubereiten, dass sie dem Leser nachvollziehbar und ihr Anwendungszweck und spezifischer Vorteil, aber auch die jeweiligen technischen und wirtschaftlichen Restriktionen verständlich werden. Damit ist dieses Buch den Studierenden ebenso ein wichtiges Lehrbuch wie dem Entwickler von Prozessen und Produkten ein Nachschlagewerk, der die Chancen der Kombinationstechnologien erfassen und in seinem Unternehmen nutzen möchte. Dass zahlreiche der am Institut für Kunststoffverarbeitung an der RWTH Aachen erforschte und entwickelte Prozesse im

Buch erörtert werden, freut mich in besonderer Weise. Damit leistet das Werk zusätzlich einen substantiellen Beitrag zum Technologietransfer aus der Wissenschaft in die betriebliche Praxis.

Sicher ist es auch im Sinne der Autoren, dieses Buch als Quelle der Inspiration zu nutzen. Wenn es den Leser anregt, neue Varianten und Kombinationen zu entdecken und zu entwickeln, hat das Werk seinen wertvollsten Zweck erfüllt. In diesem Sinne wünsche ich Ihnen eine anregende Entdeckungsreise durch die Welt der Kombinationstechnologien auf Basis der Spritzgießverfahrens.

Aachen im August 2015

Christian Hopmann

Inhalt

Vorwort	VII
Geleitwort	IX
Inhalt	XI
Einleitung	1
<i>Erwin Bürkle und Hans Wobbe</i>	
1 Impulse und Motivation für die Kombinationstechnologien	5
<i>Erwin Bürkle</i>	
Literatur	11
2 Definition und Merkmale der Kombinationstechnologie	13
<i>Hans Wobbe</i>	
2.1 Risiken der Verkettung	13
2.2 Know-how als Möglichkeit oder Last	14
2.3 Qualität und Qualitätskontrolle	15
2.4 Raum-/Platzbedarf	16
2.5 Logistikkosten	17
2.6 Energiebilanzen	17
2.7 Anlagenbedienung	18
2.8 Gesamtkostenbetrachtung	18

3	Maschinenbauliche Grundlagen für Prozesskombinationen	21
	<i>Hans Wobbe</i>	
3.1	Maschinentechnik	23
3.1.1	Materialaufbereitung von Thermoplasten	23
3.1.2	Materialaufbereitung von Metallen	27
3.1.3	Variantenkonstruktion von Aggregatskombinationen der Spritzgießmaschine	28
3.1.4	Das Kolbenspritzaggregat	29
3.1.5	Modifikation der Schließeinheit für Kombinationstechnologien	32
	Literatur	35
3.2	Werkzeugtechnik und Peripherie	35
	<i>Erwin Bürkle und Manuela Schmidbauer</i>	
3.2.1	Werkzeugtechnik	36
3.2.1.1	Die Designgrade der Mehrkomponententechnologien . .	38
3.2.1.2	Vom Drehen und Wenden	39
3.2.1.3	Spritzgießen und Überfluten mit reaktiven Werkstoffsystemen	42
3.2.1.4	Kunststoffspritzgießen und Metalldruckgießen in einem Werkzeug	50
3.2.1.5	Werkzeugtechnik für Umformen und Urformen	51
3.2.1.6	Werkzeugtechnik für Partikelschäumen und Spritzgießen	55
3.2.2	Peripherie	58
	Literatur	65
3.3	Steuerungsgrundlagen	65
	<i>Thomas Kosthorst</i>	
	Literatur	74
4	Kombinationstechnologie: Spritzgießen und Compoundieren . .	75
	<i>Hans Wobbe</i>	
4.1	Grundlagen zum Prozess	76
4.1.1	Dosieraggregate	77
4.1.2	Zweischneckenextruder	78
4.2	Maschinen- und Funktionsbeschreibung eines Spritzgießcompounders	80
4.3	Vorteile des Verfahrens	84
4.4	Anwendungsbeispiele	85
4.4.1	Waschmaschinengewicht	85
4.4.2	Automobil-Frontend-Montageträger	86

4.4.3	Kunststoffpaletten	87
4.5	Abgrenzung der Wettbewerbsverfahren zum Prinzip des Spritzgießcompounders	88
4.5.1	Direct Compounding Injection Molding (DCIM)	88
4.5.2	Direktspritzgießen	90
4.5.3	Abgrenzung der Verfahren zueinander	91
4.6	Zukunft des Spritzgießcompoundierens	93
	Literatur	93
5	Kombinationstechnologie: Spritzgießen und PU-Überfluten	95
	<i>Martin Würtele</i>	
5.1	Grundlagen zum Prozess	97
5.1.1	Produktionstechnik	97
5.1.2	Materialauswahl	98
5.1.3	Designnutzen	104
5.1.4	Wirtschaftlichkeit	109
5.2	Maschinenlayout	112
5.2.1	Mischkopftechnologie	113
5.2.2	Dosiertechnik	118
5.2.3	Werkzeugtechnik	123
5.2.4	Automation und Nachbearbeitung	128
5.3	Anwendungsbeispiele	131
5.3.1	Haptische Schicht	131
5.3.2	Optische Schicht	142
	Literatur	154
5.4	Sonderbeispiel „Varysoft“ – Softtouch nach Maß	156
	<i>Roger Kaufmann</i>	
5.4.1	Varysoft 1.0	157
5.4.2	Varysoft 2.0	158
6	Kombinationstechnologie: Spritz-Streckblasen	163
	<i>Peter Heidemeyer</i>	
6.1	Das GITBlow-Verfahren	164
6.1.1	Verfahrensablauf	164
6.1.1.1	Herstellung des Vorformlings	165
6.1.1.2	Aufblasen zur Endkontur	166
6.1.2	Verfahrenstechnische Aussagen	170
6.1.3	Potenzielle Anwendungen	170
6.2	Das inject2blow-Verfahren	171

6.2.1	Verfahrensablauf	171
6.2.2	Maschinenteknik für inject2blow	173
6.2.2.1	Flexibilität durch Wechseleinsätze	174
6.2.3	Verfahrenstechnik	174
6.2.4	Anwendungen in der Praxis	175
6.3	Injection(Stretch-) Blow Molding I(S)BM	176
6.3.1	Verfahrensabläufe im I(S)BM	176
6.3.1.1	Injection Blow Molding (IBM)	177
6.3.1.2	Injection Stretch Blow Molding (ISBM)	177
6.3.2	Maschinenteknik	179
6.3.2.1	Injection Blow Molding (IBM)	179
6.3.2.2	Injection Stretch Blow Molding (ISBM)	179
6.3.3	Verfahrenstechnik	180
6.3.4	Anwendungen in der Praxis	181
	Literatur	182
7	Kombinationstechnologie: PUR-Dichtungsauftrag	185
	<i>Michael Fischer</i>	
7.1	Integriert in die Spritzgießmaschine	185
7.1.1	Einleitung	185
7.1.2	Übersicht über die PUR-Verarbeitungsverfahren für Dichtraupen	187
7.1.2.1	Grundlegendes zur PUR-Verarbeitung/Dichtraupe	187
7.1.2.2	2K-Niederdruckverfahren	188
7.1.2.3	1K-Verfahren	194
7.2	Integriert in die Spritzgießzelle	203
7.2.1	2K-Niederdruckverfahren integriert in die Spritzgießzelle	203
7.2.1.1	Adaption der Reaktionskinetik	203
7.2.1.2	Anlagenkonzept	204
7.2.2	1K-Verfahren integriert in die Spritzgießzelle	209
7.2.2.1	Reaktionskinetik	209
7.2.2.2	Anlagentechnik	209
	Literatur	213
8	Kombinationstechnologie: Spritzgießen und Metalldruckguss	215
	<i>Johannes Wunderle</i>	
8.1	Materialien	217
8.1.1	Materialkombinationen und Verbundfestigkeit	220
8.2	Leiterbahndimensionierung und Möglichkeit der Kontaktierung	220
8.2.1	Einfluss der Temperierung auf die erzielbare Leiterbahnlänge	221

8.2.2	Kontaktierbarkeit von metallischen Einlegeteilen	225
8.2.3	Stromtragfähigkeit: Simulation der Wärmeentwicklung	226
8.3	Anlagen- und Prozesstechnik für das IMKS	228
8.3.1	Druckgießaggregat zur Verarbeitung der niedrig schmelzenden Metalllegierung	229
8.3.2	Beschichtung der Bauelemente	230
8.3.3	Schutz der flüssigen Metalllegierung	230
8.3.4	Beschickung des Schmelztiegels	231
8.3.5	Werkzeugtechnik und Anwendungen	231
	Literatur	235
9	Kombinationstechnologie: Spritzgießen (Urformen) und Umformen	237
	<i>Erwin Bürkle</i>	
9.1	Grundlagen zum Prozess	239
9.2	Maschinen-Layout	245
9.3	Anwendungsbeispiele	249
	Literatur	252
10	Kombinationstechnologie: Spritzgießen und Innenhochdruckumformen (IHU)	253
	<i>Hans Wobbe</i>	
10.1	Grundlagen zum Prozess	254
10.2	Maschinen-Layout	256
10.3	Ausblick	258
	Literatur	259
11	Kombinationstechnologie: Spritzgießen und Partikelschaum	261
	<i>Erwin Bürkle und Hans Wobbe</i>	
11.1	Einleitung	261
11.2	Prozessgrundlagen	264
11.2.1	Verbund Thermoplastschicht zum Partikelschaum	264
11.2.2	Das Verfahren des Partikelschäumens	266
11.2.3	Alternative Energien im Vergleich zum Heißdampf beim konventionellen Partikelschäumen	269
11.2.4	Kontrolle und Simulation der Füllphase der Schäumkavität	271
11.3	Potenziale des Kombinationsverfahrens Spritzgießen/ Partikelschaum	272
	Literatur	273

12 Kombinationstechnologie: Spritzgießen und Resin-Transfer-Molding (Shell-Fiber-Verfahren)	275
<i>Philipp Ochotta</i>	
12.1 Einleitung	275
12.2 Die Idee des Shell-Fiber-Verfahren	276
12.3 Bauteilfertigung mit faserverstärkten reaktiven Formmassen	277
12.4 Grundlagen für die Kombinationstechnologie Spritzgießen/RTM ...	279
12.5 Darstellung des Verfahrens Spritzgießen/RTM	281
Literatur	282
13 Ausblick	283
<i>Erwin Bürkle und Hans Wobbe</i>	
Autorenverzeichnis	285
Index	291

Einleitung

Erwin Bürkle und Hans Wobbe

Je anspruchsvoller sich Produktdesign und -funktionalität entwickeln, desto komplexer gestalten sich die Prozesse und die Baugruppen der Anlagen, die zur Herstellung dieser Produkte nötig sind. In der Kunststofftechnik wird es dann richtig spannend, wenn Anwender und Verarbeiter auf die Idee kommen, Bauteile mit mehreren Funktionen auszustatten, zugleich aber auf zusätzliche Montageschritte verzichten wollen. Daraus entstehen zunächst „Sonderverfahren“, die sich nach einiger Zeit als weitgehend „normale“ Verarbeitungsverfahren etablieren. Vielfach kommt die Initiative dazu aus den Märkten – man denke dabei an die Forderung nach Mehrfarbentechnik für die Kfz-Rückleuchtenabdeckung – oder ist durch Trends, wie z. B. dem Leichtbau, geprägt.

Im Laufe der Jahrzehnte sind viele Sonderverfahren entstanden, wie z. B. Hinterspritz-, Fluidinjektions- und Prägetechnik, Schäumen etc., um nur einige zu nennen. Die Sonderverfahren öffnen eine Fülle neuer Möglichkeiten für die Verwendung attraktiver Kunststofflösungen.

Das Spritzgießverfahren ist dabei in besonderer Weise durch Verfahrensvielfalt gekennzeichnet und gehört nach wie vor zu den innovativsten Technologien. Wer dachte, mit den seit den 1980er-Jahren bis heute entwickelten unterschiedlichen Sonderverfahren sei das Potenzial der Verfahrensinnovationen im Bereich Spritzgießen ausgeschöpft, sieht sich getäuscht. Heute geht der Blick über die Verfahrensgrenzen hinaus hin zu Verfahrenskombinationen (Bild 0.1).

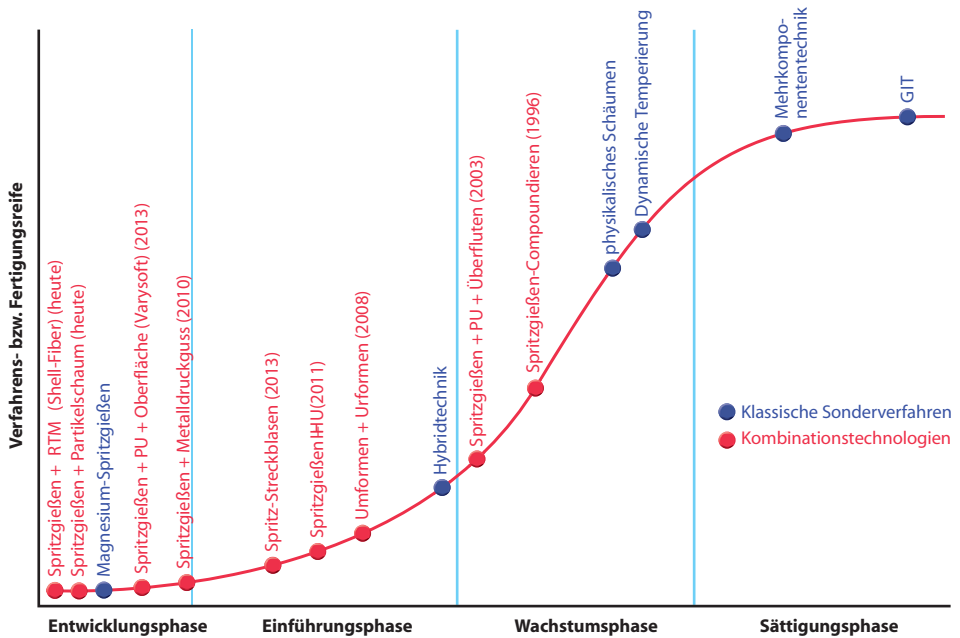


Bild 0.1 Lebenszyklus von Verfahren der Spritzgießtechnik, Qualitative Ordnung über der Zeitachse

Einer der führenden Treiber von Innovationen und somit zwangsläufig auch von Veränderungen in den Fertigungstechnologien ist heute die Automobilindustrie. So spielt z. B. bei den Interieur-Designern die Gestaltung der Oberflächen der jeweiligen Baugruppen eine ganz besondere Rolle. Es kommen die unterschiedlichsten Materialien und Werkstoffverbunde sowie Fertigungstechnologien zur Anwendung. Die Oberflächenschichten werden dabei über Kaschiertechniken, Polyurethan-Technologien oder durch Spritzgießverfahren auf die Trägersysteme aufgebracht. Aufgrund der steigenden Anforderungen ist man gezwungen, die bekannten Pfade zu verlassen und neue Wege zu gehen.

Ein solches weiterführendes Verfahren – abgeleitet aus der Zweikomponententechnik des Spritzgießens – wurde in einem Firmenkonsortium entwickelt und erstmals auf der K'2007 im Betrieb vorgestellt. Bei diesem Verfahren sind das Spritzgießen und das physikalische Schäumen in einer Fertigungszelle zusammengefasst – bekannt geworden unter dem Namen „Dolphin-Verfahren“. In einem Wendepaltenwerkzeug wird in der Station 1 ein Träger spritzgegossen und im geschlossenen Werkzeug in der Station 2 wird dieser Träger mit einem gasbeladenen thermoplastischen Elastomer (TPE) überspritzt. Nach einer kurzen Abkühlphase, in der sich an der kalten Werkzeugkavitätenwand eine geschlossene und genarbte Randschicht bildet, wird das Werkzeug in dieser Station kontrolliert um ca. 3 mm geöffnet, sodass das gasbeladene TPE expandieren und eine Schaumschicht bilden

kann (Bild 0.2). Dadurch entsteht die gewünschte Soft-Touch-Oberfläche. Dieses Verfahren kann man zwar als Kombination von zwei Sonderverfahren des Spritzgießens bezeichnen, es fällt jedoch noch nicht unter die Definition der Kombinationstechnologien wie in Kapitel 2 festgelegt. Als echtes Kombinationsverfahren kann man dann erst das unter Abschnitt 5.4 ebenfalls ausführlich beschriebenes ähnliches Varysoft-Verfahren bezeichnen.

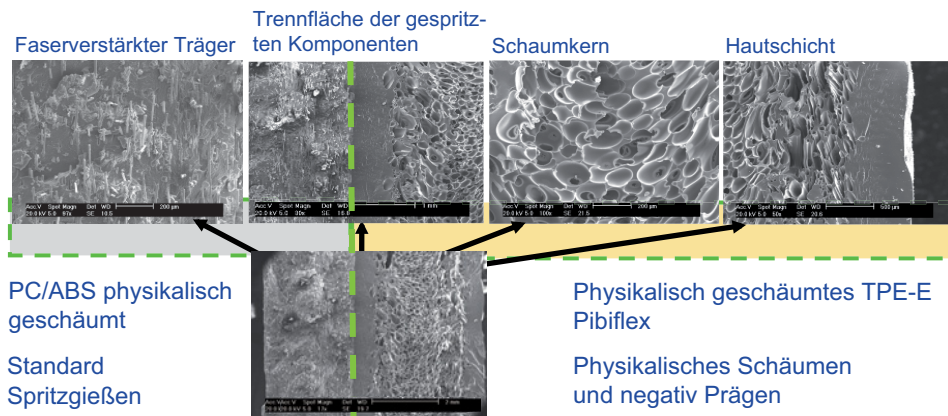


Bild 0.2 Schichtaufbau beim Dolphin-Verfahren [Bildquelle: BASF]

Sowohl die Komplexität neuer Bauteilkonzepte (z. B. durch erhöhte Funktionsintegration) als auch der Zwang zur Senkung der Herstellkosten (Zykluszeit, Ausschuss), aber auch die Notwendigkeit einer gesicherten reproduzierbaren Bauteilqualität erfordern es, neue Wege zu gehen und über den angestammten Verfahrenshorizont hinaus zu schauen und zu denken.

In der Wertschöpfungskette benachbarte Verfahrenstechnologien werden oft in vorgeschalteten Prozessstufen angewandt, wie z. B. das Spritzgießen eines Bauteilträgers mit dem anschließenden „Veredeln“ mittels Polyurethan-Technologie, wobei dann meist aufwendige Zwischenschritte (wie Vorbehandlungen, Fügeverfahren etc.) erforderlich sind. Die Vereinigung zweier unterschiedlicher Verfahren hat auch den Vorteil, dass die anfallende Prozesswärme direkt für den nachfolgenden Verfahrensvorgang genutzt werden kann, was wiederum energetische Vorteile mit sich bringt. Daneben sei auch auf die Reduktion der teils kostenintensiven Logistik hingewiesen.

Aus heutiger Sicht kann man sagen: Die Zukunft der innovativen Spritzgießverfahren gehört eindeutig den Verfahrenskombinationen, aus denen sich möglicherweise das ein oder andere Verfahren als neuer industrieller Fertigungsstandard entwickelt. Wird dann dabei noch die Möglichkeit der Integration eines Sonderverfahrens in die Kombinationstechnologie genutzt, ist das das Salz in der Suppe!

Erste Ansätze dazu bieten die Fluidinjektionstechnik, die Prägetechnik oder auch das physikalische Schäumen.

Nicht vergessen darf man allerdings, dass sich die Kombinationstechnologien noch in einem frühen Stadium der Entwicklung befinden und es derzeit keines dieser innovativen Verfahren – bis auf die einzige Ausnahme des Spritzgießcompounders – geschafft hat, sich hin zu einem neuen, industriell verbreiteten Standardfertigungsverfahren zu entwickeln. In der Ethnologie gibt es den Begriff der „Liminalität“, der den Schwellenzustand zwischen zwei Entwicklungsstadien, der Phase zwischen „nicht mehr“ und „noch nicht“ bezeichnet. In Anlehnung an diese Definition könnte man sagen, dass sich die Kombinationstechnologien ziemlich genau dort auf dem Weg zu neuen Fertigungsstandards befinden.

1

Impulse und Motivation für die Kombinations-technologien

Erwin Bürkle

Sehr oft zwingt der Entwicklungsfortschritt an technologischen oder wirtschaftlichen Brennpunkten zu einem Umdenken in den eingefahrenen Vorgehensweisen. Häufig müssen ganz neue Wege beschritten werden, die – im Gegensatz zum Einsatz neuer Materialien – bisher nie im Fokus standen, beispielsweise Fertigungsmethoden. Auslöser sind in der Regel gesteigerte Bedürfnisse auf dem Markt. So wurden schon Mitte der 90er-Jahre Forderungen in der Gartenmöbelindustrie laut, beim Spritzgießen von Gartenstühlen direkt im Prozess erhöhte Mengen an Calciumcarbonat (CaCO_3) beizumischen. Der Grund hierfür lag einerseits in der Verbesserung der mechanischen Eigenschaften des Bauteils, andererseits in der Reduktion der Herstellkosten. Eine klassische Spritzgießmaschine mit Einschnellen-Plastifiziersystem war mit dieser Aufgabe überfordert. Der hohe Anteil von CaCO_3 -Pulver konnte nicht homogen in der PP-Schmelze verteilt werden. Es stellte sich die Frage, welche Lösungswege sich hierfür anbieten.

Ein erster Lösungsansatz war der Einsatz eines gleichsinnig drehenden Doppelschneckenextruders, wie er aus der Compoundierindustrie bekannt ist. Dieser hätte einer Spritzgießmaschine vorgeschaltet werden müssen. Aus wirtschaftlicher Sicht wurde dieser Weg aber verworfen. Die ideale Lösung wäre, die Spritzgießmaschine konstruktiv mit einem Doppelschnecken-Plastifizieraggregat auszustatten, also quasi den Doppelschneckencompounder mit der Spritzgießmaschine zu "verheiraten". Die Herausforderung dabei ist, den kontinuierlichen Prozess des Compoundierens mit dem diskontinuierlichen Spritzgießverfahren zu kombinieren. Letztlich wurde dieser Weg verfolgt und in einer Partnerschaft zwischen Maschinenbauern und einem Endanwender eine entsprechende Maschine entwickelt – es entstand der Spritzgießcompounder, auch Injection-Molding-Compounder (IMC) genannt (Bild 1.1).



Bild 1.1 Spritzgießcompounder [Bildquelle: KraussMaffei Technologies GmbH]

Dieses neue Maschinenkonzept wird seitdem am Markt als Produktionsmaschine für unterschiedliche Compoundier-/Spritzgießaufgaben eingesetzt.

Heute setzt der Leichtbaugedanke neue Maßstäbe an die Produktionstechnologien. Dabei kommt insbesondere dem Leichtbau mit Faserverbundwerkstoffen (FVW) ein hoher Stellenwert zu. Besonders die hohe Festigkeit und Steifigkeit bei geringer Masse, die einstellbaren Dämpfungs- und Crasheigenschaften machen die noch junge Werkstoffgruppe der thermoplastischen Faserverbundwerkstoffe für künftige industrielle Anwendungen höchst interessant. Zudem setzt sich aktuell ein starker Bewusstseinswandel durch exogene Effekte durch (CO₂-Strafzahlungen, Elektromobilität, Innenstadtverbote mit konventionellem Antrieb etc.), mit welchen ein weiterer Zwang zum Leichtbau – insbesondere im Automobilbereich – verbunden ist.

In diesem Zusammenhang ist eine exponierte Baugruppe aus dem Automobil zu nennen, bei der der konzeptionelle Entwicklungsfortschritt zu einem neuen Technologieansatz für die Herstellung des Bauteils führte. Es handelt sich dabei um die in einer Fahrzeugtür benachbarten Komponenten "Türinnenverkleidung" und "Türmodul". Die Innenverkleidung muss dem Design und der Anmutung Rechnung tragen, während das Türmodul alle Funktionskomponenten einer Tür, wie Fensterheber, Schließeinheit oder beliebige Servomotoren, zu tragen hat. Zum Erreichen der erforderlichen Steifigkeit des Türmoduls musste beim Spritzgießprozess auf die Langfasertechnik (LFT) zurückgegriffen werden (Bild 1.2).

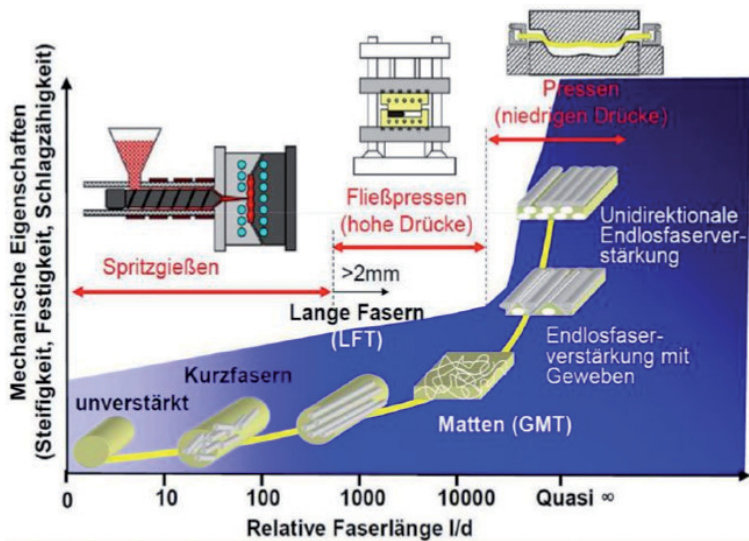


Bild 1.2 Qualitative Darstellung des Einflusses von Faserlänge und Faserarchitektur auf mechanische Bauteileigenschaften [Bildquelle: LANXESS Deutschland GmbH, Bond Laminates]

Bei dem sogenannten integrierten Türmodul des MINI der zweiten Generation [1] wurde nicht nur Blech durch langglasfaserverstärktes PP im Spritzgießverfahren ersetzt, sondern gleichzeitig das Türmodul auch noch partiell mit einem TPO-Decor hinterspritzt (Bild 1.3).



Bild 1.3 Integriertes Türmodul [Bildquelle: GK Formenbau AG]

Das Ergebnis betraf eine sehr weitgehende Funktionsintegration. Bleibt die Frage, inwiefern solche Entwicklungen dazu beitragen, Gewicht einzusparen. Auf den ersten flüchtigen Blick mag der Eindruck entstehen, dass eher das Gegenteil der Fall ist. Doch genauer betrachtet erschließen sich zahlreiche Details, die zusammen ein ganzes Bündel an technischen, wirtschaftlichen und ökologischen Vorteilen bieten.

Aus fertigungstechnischer Sicht ist die einstufige Herstellung solch komplexer Bauteile ohne Frage ein gewaltiges Plus. Hier stehen sicherlich zwei Effekte an erster Stelle:

- die verringerte Zahl der Fertigungsschritte und
- die Vorteile der Funktionsintegration.

Mit der Zeit wurden zudem die Wanddicken generell – aber auch die Verstärkungsrippen und die Befestigungsdomen – systematisch optimiert, was ebenfalls deutliche Material- und damit Gewichtseinsparungen brachte [2].

Und die Entwicklung geht weiter – es soll noch mehr Gewicht eingespart werden. Aber das Potenzial einer weiteren Wanddickenreduzierung durch Kompaktspritzguss ist ausgeschöpft. Auch die Materialseite einschließlich Kurz- oder Langfaserverstärkung ist ausgereizt. Wie aus den Bildern 1.2 und 1.4 hervorgeht, können höhere mechanische Bauteileigenschaften – hier im Speziellen die Schlagzähigkeit – nur durch Endlosfasersysteme (Gewebe oder Gelege) erreicht werden.

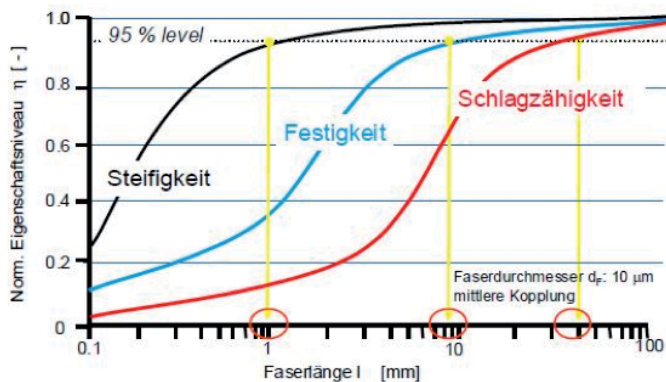


Bild 1.4 Einfluss der Faserlängen auf die mechanischen Eigenschaften, nach J. L. Thomason [3]

Das bedeutet aber, dass das Spritzgießverfahren hier ausscheidet, obwohl es die idealen Voraussetzungen hinsichtlich der möglichen Bauteilkomplexität erfüllt und den wirtschaftlichsten, großserientauglichsten Prozess darstellt.

Die Entwicklung von mit thermoplastischer Matrix konsolidierten Endlosfasergewebestrukturen, auch bekannt als Organoblech, bietet einen neuen Lösungsan-

satz. Die lasttragenden Bereiche in einem Bauteil werden durch ein dünnwandiges, im Pressverfahren umgeformtes, Organoblechhalbzeug ersetzt. Der so hergestellte Preform wird anschließend in ein Spritzgießwerkzeug eingelegt und die notwendigen Funktionen und Berandungen zum Fertigteil angespritzt. Das heißt, die beiden Prozesse "Umformen" und "Urformen" werden in einem Zweistufenprozess verknüpft (Bild 1.5).

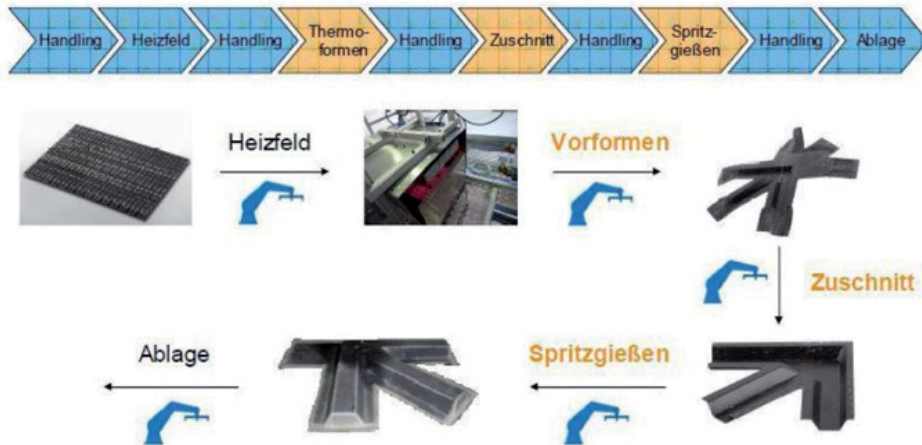


Bild 1.5 Umformen und Umspritzen von Organoblechen

Später wurde die Idee, die beiden Prozesse Umformen und Urformen in einem Einstufenprozess zu kombinieren, in einem BMBF-Projekt (2007 bis 2009) wissenschaftlich erforscht und industriell verifiziert. Seit dieser Zeit wird das neue Kombinationsverfahren in verschiedensten Leichtbau-Anwendungsprojekten eingesetzt.

Doch nun zurück zum Türmodul: Zur weiteren Gewichtsreduzierung des Bauteils wurde aufgrund der neuen Fertigungstechnik das Konstruktionskonzept neu überdacht. Das bisher im LFT-Spritzgießprozess hergestellte Modul wurde dazu verfahrensgerecht neu gestaltet – Organoblech kombiniert mit Spritzguss – und entsprechend hergestellt (Bild 1.6).



Bild 1.6 Neues Türmodulkonzept Organoblech/Spritzguss [Bildquelle: Brose Fahrzeugteile GmbH & Co.]

Gegenüber der ursprünglichen LFT-Spritzgussvariante konnte damit eine weitere Gewichtseinsparung von 350 g pro Modul erreicht werden.

Das erste Beispiel des Spritzgießcompounders war von Material- bzw. Bauteilanforderungen initiiert, für die es kein wirtschaftliches Fertigungsverfahren gab. Mit der daraus entwickelten Maschine war es dann möglich, im Urformverfahren marktgerechte Artikel zu produzieren.

Die Vorteile dieser ersten Kombinationstechnologie, die materialschonende Aufbereitung verstärkter und/oder hochgefüllter Thermoplaste in einer Wärme, war dann der grundlegende technologische Bruch zu Fertigungsverfahren für entsprechende Bauteile des zweiten Beispiels. Die weitere Dimension der Kombinationstechnologien erschließt sich jedoch erst durch das Verständnis der Prozess- und Verfahrensentwickler, den Gedanken des Urformens als logischen Weg zur wirtschaftlichen Produktion zu begreifen.

Damit ist dann auch die Motivation zu der Kombination z. B. des Metalldruckgießens mit dem Spritzgießen nicht mehr fern, ebenso wie die Verknüpfung von Verarbeitungsverfahren thermoplastischer Matrixsysteme im Zusammenhang mit den harzbasierten oder vernetzenden Systemen.

Leitgedanke bei der Entwicklung zukünftiger Fertigungsverfahren sollte daher sein, verfahrensübergreifend zu denken, die Vorteile der bekannten infrage kommenden Verfahren zu betrachten bzw. zu vergleichen und die technische Machbarkeit einer eventuellen neuen Kombinationstechnik zu prüfen, ohne dabei den Blick auf deren Wirtschaftlichkeit aus den Augen zu verlieren.

Literatur

- [1] *Rottig, H.-J.*: Der Schritt von der Innenverkleidung zum Türmodul. *Kunststoffe*. 2006, 10, S. 113 bis 116.
- [2] *Bürkle, E.* und *Kaufmann, G.*: Türöffner für Leichtbau und Verfahrensintegration. *Kunststoffe*. 2013, 8, S. 64 bis 68.
- [3] *Thomason, J. L.*: The influence of fibre length and concentration on the properties of glass fibre reinforced polypropylene: 5. Injection molded long and short fibre PP, in: *Composites, Part A: Applied science and Manufacturing A 33* (2002), S. 1641–1652.

2

Definition und Merkmale der Kombinationstechnologie

Hans Wobbe

Der Begriff Kombinationstechnologie in sich gibt eigentlich schon seine Definition wieder, in gewisser Weise ist dies jedoch zu präzisieren: Ausgehend vom klassischen Spritzgießverfahren, dem Kompaktspritzgießen von Kunststoffbauteilen, leitet sich der Begriff „Standardspritzgießen“ ab. Aufbauend darauf entwickelten sich die vielen „Spritzgießsondervverfahren“, wie das Schaumspritzgießen, die Hinterspritztechnik, die Gasinjektionstechnik oder auch die Mehrkomponententechnologie. Davon abgrenzend definieren sich die Kombinationstechnologien auf Basis des Spritzgießverfahrens als:

Die Kombination mindestens zweier in sich eigenständiger etablierter Technologien zu einem In-Line-Verfahren.

Es geht also bei den Kombinationstechnologien immer darum, mindestens eine Halbzeugstufe in die gesamte Wertschöpfungskette der Produktherstellung zu integrieren, woraus sich ein erheblicher Vorteil ergibt. Dabei ist die Fokussierung auf Herstellkosten jedoch nur ein Teil der Betrachtung, ein oft noch wichtigeres Ergebnis liegt in der Tatsache, mit der Kombinationstechnologie ein Verfahren zu haben, welches die Fertigung des Bauteils in der geforderten Qualität überhaupt erst ermöglicht, wie die folgenden Beiträge ab Kapitel 4 mit der jeweiligen Technologiebeschreibung eindrucksvoll zeigen.

■ 2.1 Risiken der Verkettung

Es ist zwar trivial, dennoch muss immer wieder darauf hingewiesen werden, dass die Ausfallwahrscheinlichkeit einer verketteten Anlage – und um eine solche handelt es sich bei der Kombinationstechnologie – im Vergleich zur Einzeltechnologie ansteigt. Liegt die Ausfallwahrscheinlichkeit bei der separat betriebenen Technologie z.B. bei je 5 %, so beträgt die Ausfallwahrscheinlichkeit der sich aus diesen zwei Anlagen zusammengesetzten Kombinationstechnologie bereits 9,75 %. Die

daraus hervorgehende theoretische Maschinenlaufzeit muss zumindest in den Maschinenstundensätzen für die Artikelkostenkalkulation berücksichtigt werden.

Die Maschinenausfallwahrscheinlichkeit, oder besser die Zuverlässigkeit einer Anlage, ist in ihren Begriffen in einer Norm (DIN 40 041) festgelegt. Dabei geht es bei der Maschinenzuverlässigkeit als Teil der Qualität einer Maschine jedoch immer um Störungen aufgrund fehlender, unvollständiger oder mangelhafter Erfüllung der geforderten Funktion. Dies bezieht sich allein auf die Maschine oder Anlage, nicht jedoch auf den gesamten Produktionsprozess. Insbesondere ist diese Aussage bedeutend, vergleicht man ein Bauteil, welches mittels einer Kombinationstechnologie produziert wurde, mit einem Bauteil, das mit zwei entsprechend nicht verketteten Einzeltechnologien hergestellt worden ist.

Die Zuverlässigkeit der Kombinationstechnologie ist, wie eingangs erwähnt, geringer als die jeweilige Zuverlässigkeit der Einzeltechnologien. Die Betrachtung relativiert sich aber, nimmt man fairerweise die zwischen den beiden Einzeltechnologien nötige Produktionslogistik mit in die Gesamtbetrachtung auf. Die durch Transport, Verpacken, Lagern und Kommissionieren möglichen Fehlerquellen können hoch sein und vor allem kommt hierbei die Fehlerquelle Mensch vermehrt ins Spiel.

■ 2.2 Know-how als Möglichkeit oder Last

Die Komplexität einer Kombinationstechnologie, verglichen mit den basierenden Einzeltechnologien, nimmt in jeder technischen Hinsicht zu. Einerseits geht es hier um die Entwicklung der neuen Anlage sowie der damit im Zusammenhang stehenden verknüpften Einzelprozesse, die dann in eine bedienerfreundliche Steuerung für die Gesamtanlage umzusetzen sind. Andererseits erfordert der anschließende Betrieb der Anlage intensives Wissen der Bediener. Und auch die Produktentwickler vonseiten der Anwender sind angehalten sich mit den neuen Möglichkeiten und Chancen der Kombinationstechnologie eingehend zu beschäftigen, um so den Nutzen der neuen Produktionstechnologie für die Entwicklung innovativer Kunststoffartikel einzusetzen.

Bei der Frage, ob man sich für eine Kombinationstechnologie entscheiden soll, wirken allein die daraus ersichtlichen neuen Prozesse, die es aufseiten der Anwender zu etablieren gilt, auf den ersten Blick häufig abschreckend. Daneben steht dann auch noch der Zeit- und Kostenaufwand für zusätzliche Schulungen der involvierten Mitarbeiter.

Die schwierigste Entscheidung aus Sicht eines Spritzgießbetriebes, der sich bis dato auf der Materialseite allein mit der kunststofftypischen Beschaffung von poly-

meren Compounds, Masterbatches, Additiven oder Recyclat beschäftigt hat, beruht immer auf der unbekanntenen neuen Materialkomponente. Sei es nun die Qualitätssicherung der eigenen Rezeptur des auf einem Spritzgießcompounder produzierten Kunststoffartikels, oder auch der Umgang mit dem vorher unbekanntenen PU-Systemen oder gar der Einsatz von niedrigschmelzenden Metalllegierungen im IMKS-Verfahren (Integriertes Metall-Kunststoff-Spritzgießen) – alles ist neu und wird oft mit großer Skepsis betrachtet. Dies führt dann häufig zur schnellen Ablehnung, unter dem immer präsenten Stichwort des zu hohen „Technikrisikos“. Das ist dann das „Aus“ für die Einführung der innovativen Kombinationstechnologie, aber auch die große Chance ist vertan!

Denn Chancen sind in den Kombinationstechnologien vielfach vorhanden: Einerseits wird die Möglichkeit überhaupt erst geboten, Bauteile aus Materialien herzustellen oder zu kombinieren, die ohne die neue Technik nicht zu produzieren gewesen wären. Als Beispiel möge die Herstellung von Frontendträgern im Automobil dienen, die auf einem Spritzgießcompounder produziert werden, mit langfasergefülltem PP, oder PU-überflutete Dekorbauteile für den Fahrzeuginnenraum, die dadurch eine brillante Tiefenwirkung aufzeigen, die anders gar nicht herstellbar gewesen wäre.

Andererseits ergeben sich auf der Materialseite unendliche Chancen zum Aufbau von eigenem Wissen oder gar eigenen Rezepturen, welches einen schwierig aufzuholenden Vorteil zum Wettbewerb ausmacht oder diesen gar ausschließt! Ein gutes Beispiel ist der Spritzgießcompounder, der basierend auf einem eigenen Rezepturaufbau den Einkauf von Compounds beim Compoundeur überflüssig macht, da nur noch die Rohstoffkomponenten zu beschaffen sind. Damit bleibt das Rezepturwissen im eigenen Unternehmen, und kein Mitbewerber kann sich das gleiche Material beim Compoundeur beschaffen. Eine Kopie der Materialzusammensetzung wird damit fast unmöglich.

■ 2.3 Qualität und Qualitätskontrolle

Entscheidet sich nun ein Unternehmen für ein Verfahren mit Kombinationstechnologie, so muss es sich unweigerlich eingehend mit dem Themenkomplex der Qualitätssicherung beschäftigen. Dabei ist es nicht allein damit getan, Wissensträger der neuen Teiltechnologie ins Unternehmen zu holen oder geeignete Mitarbeiter aus dem Unternehmen auszubilden. Es gilt auch die geeigneten neuen oder modifizierten Prozesse auszuarbeiten und neben den bereits etablierten Wegen zu implementieren. Dabei kommt dem Bereich der Qualitätssicherung innerhalb der Wareneingangskontrolle bereits die erste entscheidende Rolle zu. Da es hier ja nun