

Martin Bastian
Thomas Hochrein

Komplett
in Farbe

Einfärben von Kunststoffen

Produktanforderungen, Verfahrenstechnik, Prüfmethodik



2., aktualisierte und erweiterte Auflage

HANSER



bleiben Sie auf dem Laufenden!

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

www.hanser-fachbuch.de/newsletter

Die Internet-Plattform für Entscheider!

Exklusiv: Das Online-Archiv der Zeitschrift Kunststoffe!

Richtungsweisend: Fach- und Brancheninformationen
stets top-aktuell!

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

Kunststoffe.de

Martin Bastian
Thomas Hochrein

Einfärben von Kunststoffen

Produktanforderungen –
Verfahrenstechnik – Prüfmethodik

2., aktualisierte und erweiterte Auflage

HANSER

Der Autor:

Prof. Dr.-Ing. Martin Bastian,
Dr. rer. nat. Thomas Hochrein,
Fördergemeinschaft für das Kunststoff-Zentrum SKZ

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek:

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

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

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

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

© 2018 Carl Hanser Verlag München

www.hanser-fachbuch.de

Herstellung: Jörg Strohbach

Lektorat: Ulrike Wittmann

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

Coverrealisierung: Stephan Rönigk

Satz: Kösel Media GmbH, Krugzell

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

Printed in Germany

ISBN: 978-3-446-45398-2

E-Book-ISBN: 978-3-446-45399-9

Vorwort

„Die Welt ist im Grunde dazu da, in ein schönes Buch zu münden“, ist ein berühmtes Zitat des französischen Dichters Stéphane Mallarmé. Ein Buch zum Einfärben von Kunststoffen muss allerdings nicht primär schön sein, sondern vor allem nützlich. Das vorliegende Buch soll als Grundlage zur Aus- und Weiterbildung von Fachkräften, z. B. von Meistern, Technikern, Ingenieuren, Chemikern oder Physikern, dienen und es soll hilfreich sein bei der täglichen Arbeit in der industriellen Praxis, um kleinere und größere Schwierigkeiten bei der Herstellung von Compounds, Masterbatches oder Bauteilen sowie der Prüfung der Eigenschaften zu überwinden.

Das Buch entstand während meiner Tätigkeiten als Geschäftsführer und Institutsleiter des SKZ in Würzburg in den Jahren 2003 bis 2009 und wurde 2017 vollständig überarbeitet. In dieser Zeit bestand die Möglichkeit, mich in enger Zusammenarbeit mit der Industrie, Verbänden und anderen Institutionen mit den wichtigsten Grundlagen zum Einfärben von Kunststoffen, genauer gesagt von Thermoplasten, zu beschäftigen. Auf der Basis der ersten Arbeiten entstand die Idee, den Stand des Wissens zum Thema Einfärben von Thermoplasten in verständlicher Form zusammenzustellen.

Mein Dank gilt daher zunächst einmal allen Mitarbeitern des SKZ in Würzburg sowie den Zweigstellen in Halle, Peine, Horb und Selb. Hervorheben möchte ich hierbei die ausgesprochen kooperative Zusammenarbeit mit den vielfältigen sowie sehr anregenden Diskussionen. Ganz besonders danke ich Dr. Michael Burzler, Angela Deynet, Dr. Peter Heidemeyer, Dr. Marcus Heindl, Dr. Karsten Kretschmer, Thomas Kilian, Dieter Krüger, Dr. Marieluse Lang, Ismail Mustafov, Klaus Schink, Dr. Bernhard Ulmer, Ulrike Werner, Dr. Anton Zahn, Dr. Johann Erath, Moritz Grünewald, Dr. Dorothea Marquardt, Christoph Kugler, Dr. Marieluse Lang, Matthias Wilhelm, Johannes Rudloff, Dr. Kurt Engelsing, Thomas Kilian, Dr. Felipe Wolff-Fabris und Thomas Zentgraf, ohne deren tatkräftige Unterstützung die Arbeit in der vorliegenden Form nicht möglich gewesen wäre. Ganz besonders möchte ich meinem neuen Co-Autor, seit dieser zweiten Auflage, Dr. Thomas Hochrein danken, der das Buch u. a. mit seiner Expertise in der Messtechnik nochmals wesentlich bereichert und umfassend überarbeitet hat.

Zahlreiche interessante Hinweise erhielt ich durch Kooperationen mit Unternehmen, z. B. mit Arburg, BASF, Bayer Material Science, Berstorff, Buss, Ciba, Clariant, Coperion, Datacolor, Ert Optik, Entex, Evonik, Farbenwerke Wunsiedel, Krauss Maffei, Lancess, Leistritz, Merck, Micado, ROC, Schulmann, Viba, Hans Weber Maschinenfabrik, Wittmann Battenfeld, und Extricom. Diesbezüglich möchte ich allen Beteiligten für ihre große Kooperations- sowie Diskussionsbereitschaft und auch für die großzügige Bereitstellung von Maschinen, Anlagen sowie von Versuchsmaterialien und Ergebnissen danken. Ganz besonders hervorheben möchte ich an dieser Stelle die umfassende Unterstützung durch Dr. Martin Fabian, Dr. Josef Kuchler sowie Walter Franz.

Ein Teil der Erkenntnisse der Arbeit wurde im Rahmen von Forschungstätigkeiten zusammengetragen, die dankenswerterweise durch verschiedene Projektträger, z. B. das BMBF, das BMWA (unter anderem im Programm der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) über die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen „Otto von Guericke“ e. V. (AiF)) und den Freistaat Bayern durch das bayerische Staatsministerium für Wirtschaft, Infrastruktur, Verkehr und Technologie, finanziert.

Den Verantwortlichen des Instituts für Kunststofftechnik (KTP) in Paderborn, insbesondere Prof. Dr. Helmut Potente sowie Prof. Dr. Volker Schöppner und Prof. Dr. Matthias Rehahn (Gründer und wissenschaftlich-technischer Geschäftsführer „Smart4Poly GmbH, Universitätsprofessor und Vizepräsident der TU Darmstadt, AiF-Vizepräsident), gilt mein besonderer Dank für Ihre über viele Jahre kontinuierlich geleistete Unterstützung und die zahlreichen fachlichen Anregungen. Das jeweils ausgezeichnete Vertrauensverhältnis hat mir einen großen Rückhalt für diese Arbeit gegeben.

Würzburg, im März 2018

Martin Bastian

Die Autoren

■ Prof. Dr.-Ing. Martin Bastian

Die berufliche Karriere von Martin Bastian begann zunächst ausgeprägt praxisorientiert mit einer Tätigkeit als Werkzeugmacher. In vieljähriger Tätigkeit sammelte er vielseitige Erfahrungen bei der Konstruktion und dem Bau von Spritzgießwerkzeugen. Nach der Weiterbildung zum Techniker war er Entwicklungskonstrukteur in einem mittelständischen südwestdeutschen Maschinenbauunternehmen.

Es folgte das Studium an der Universität Paderborn. Dort diplomierte und promovierte er zum Dr.-Ing. (mit Auszeichnung) im Bereich Maschinenbau, Fachrichtung Kunststoff- und Verfahrenstechnik in den Jahren 1996 bzw. 2000.

Danach baute er in Darmstadt am Deutschen Kunststoff-Institut als Abteilungsleiter eine anwendungsorientierte Forschergruppe zu den Themen Polymermodifizierung (Compoundierung), Polymerverarbeitung, Bauteilauslegung und Verschleiß von Polymerverarbeitungsmaschinen auf. Im Rahmen dieser Tätigkeit hatte er einen Lehrauftrag der TU Darmstadt für „Werkstoffverhalten der Polymere“ sowie „Polymerverarbeitung“. Er fungiert seither auch als Fachgutachter für verschiedene Forschungsprogramme, z. B. für DFG-Vorhaben und Projekte der industriellen Gemeinschaftsforschung der AiF.

2003 übernahm Bastian die Leitung der Forschung und Entwicklung sowie Prüfung, Qualitätssicherung und Zertifizierung von Kunststoffherzeugnissen am SKZ in Würzburg mit ca. 100 Mitarbeitern. Seit 2006 ist er Institutsdirektor am gesamten SKZ mit inzwischen ca. 430 Mitarbeitern und einem Jahresumsatz von über 36 Mio. €.



Seit 2011 ist er zusätzlich Professor für das Fachgebiet „Technologie der polymeren Werkstoffe“ an der Julius-Maximilians-Universität Würzburg. Ehrenamtlich ist Bastian als Kurator beim DKI (Deutsches Kunststoff-Institut) und Fraunhofer ISC sowie als Stiftungsrat der Stiftung Eisenbibliothek tätig. Als Gründungs- und Präsidiumsmitglied der Zuse-Gemeinschaft setzt sich Bastian seit 2015 für die Interessen unabhängiger privatwirtschaftlich organisierter Forschungseinrichtungen ein.

In seiner Freizeit leitet der ambitionierte Mountainbiker anspruchsvolle Touren als Fachübungsleiter des Deutschen Alpenvereins.

■ Dr. rer. nat. Thomas Hochrein

Thomas Hochrein studierte an der FH Nürnberg Feinwerk- und Mikrosystemtechnik und absolvierte 2004 an der Universität Würzburg das Physik-Diplom. Nach dem Studium begann Thomas Hochrein in einem mittelständischen Unternehmen als Assistent der Geschäftsführung und Verantwortlicher für die F&E. Die Firma entwickelte und produzierte neuartige Hochleistungscompounds und Präzisionsspritzgussteile überwiegend für tribologische Anwendungen.

Im Jahre 2007 wechselte er in die Forschung und Entwicklung des SKZ in Würzburg. Dort forschte er an neuen prozessnahen Messtechnologien für die Extrusion und Compoundierung und etablierte daraus das neue Geschäftsfeld Messtechnik. Neben dieser Gruppenleitertätigkeit war er auch Interimsverantwortlicher für die Materialentwicklung und das Qualitätsmanagement. Ab dem Jahre 2014 übernahm er die Bereichsleitung „Produkte & Prozesse“ und betreute damit die Forschergruppen zerstörungsfreie Prüfverfahren, Prozessmesstechnik, Bauteileigenschaften und Nachhaltigkeit. Im Jahr 2017 wurde er zum Geschäftsführer für die Bildung und Forschung in der SKZ-Gruppe berufen und ist damit für derzeit rund 200 Mitarbeiter und 6 Standorte verantwortlich.

Seine nebenberufliche Promotion an der Universität Würzburg befasste sich mit der Weiterentwicklung der noch recht jungen Terahertz-Technologie. Als Gastwissenschaftler an der Rice University in Houston, TX (USA) im Jahre 2008 vertiefte er seine Kenntnisse. 2009 wurde er für seine Forschungsleistungen mit dem Otto von Guericke-Preis der Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen ausgezeichnet und von dieser für den Deutschen Zukunftspreis 2016 vorge-



schlagen. Seine Promotion schloss er im Jahre 2018 mit Auszeichnung ab. Viele seiner Entwicklungen im Bereich Messtechnik, Sensorik und Optik schlugen sich in Schutzrechtsanmeldungen nieder.

Hochrein ist ehrenamtlich tätig als Peer Review-Gutachter verschiedener Zeitschriften sowie Mitglied im Fachkomitee Qualitätsgipfel, der Kommission Sicherheitsforschung des DAV, im Fachausschuss Mikrowellen und Terahertz-Verfahren der DGZfP sowie im VDI-Richtlinienausschuss BigData und Terahertz.

Nebenberuflich ist er als Fachbuchautor, Referent und staatlich geprüfter Berg- und Skiführer tätig.

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	V
Die Autoren	VII
Prof. Dr.-Ing. Martin Bastian	VII
Dr. rer. nat. Thomas Hochrein	VIII
1 Kunststoffe und Farbe	1
1.1 Motivation und Zielsetzung	1
1.2 Bedeutung von Kunststoffen und Additiven	3
1.3 Bedeutung der Farbe für Kunststoffherzeugnisse	10
1.4 Allgemeine Entwicklungstrends und ihre Folgen	13
2 Wahrnehmung von Farbe	17
2.1 Einführung	17
2.2 Physiologische Grundlagen	20
2.3 Psychologische Grundlagen	25
2.4 Physikalische Grundlagen	28
2.4.1 Grundlagen zur Lichtstrahlung sowie zur additiven und subtraktiven Farbmischung	28
2.4.2 Reflexion, Brechung, Absorption, Transmission und Emission ..	35
2.5 Farbwahrnehmung in der Praxis – Appearance	41
2.5.1 Menschlicher Farbeindruck	42
2.5.2 Wege zur Objektivierung des Farbeindrucks	44
2.5.3 Appearance zur Beschreibung des farblichen Gesamteindrucks	48
3 Prüfen und Bewerten des Erscheinungsbildes von Erzeugnissen	53
3.1 Einführung	54
3.1.1 Farbvorlagesysteme zur Farbauswahl und Festlegung von Farbstandards	56
3.2 Lichtquelle, Lichtart, Normlichtart und Metamerie	58

3.3	Beobachter	62
3.4	Objekt	65
3.5	Farbsystem (Farbraum)	66
3.6	Farbdifferenz und Farbtoleranz	72
3.7	Prüfen der Farbe	75
3.7.1	Farbmessgeräte für flächige Proben	78
3.7.2	Farbmessgeräte für Schüttgüter	82
3.7.3	Schnelltest zur Bestimmung alterungsbedingter Farbveränderungen	87
3.8	Glanz, Haze, Orange Peel und Transparenz	90
3.8.1	Appearance-Messgeräte	96
3.9	Qualitätssicherung	97
3.10	Farbkommunikation	101
4	Farbmittel für Polymere	109
4.1	Einführung	109
4.1.1	Einteilung von Farbmitteln, Colour-Index	111
4.1.2	Charakterisierung von Farbmitteln, Farbstärke und Farbtiefe ...	113
4.2	Anforderungen an Farbmittel bzw. Farbpräparationen	116
4.2.1	Technologische Anforderungen an Farbmittel bzw. Farbpräparationen	119
4.2.1.1	Chemische Beständigkeit	119
4.2.1.2	Hitzestabilität	120
4.2.1.3	Lichtstabilität, Gelbwert, Blauwollskala, Lichtalterung ..	124
4.2.1.4	Wetterechtheit, Graumaßstab	127
4.2.1.5	Migrationsechtheit, Ausblühen, Ausbluten	127
4.2.1.6	Schwindung und Verzug	129
4.2.2	Gesetzliche Anforderungen an Farbmittel	131
4.3	Farbentstehung	135
4.4	Prinzipielle Eigenschaften der Farbmittel	138
4.5	Prinzipielle Eigenschaften der Farbstoffe	139
4.6	Prinzipielle Eigenschaften der Pigmente	141
4.6.1	Organische Pigmente	150
4.6.2	Anorganische Pigmente	152
4.6.3	Anorganische Effektpigmente	156
5	Alterung von Polymeren	173
5.1	Einführung	173
5.1.1	Einflussfaktoren auf die Alterung und Reaktionsmechanismen ..	179
5.1.1.1	Einfluss der Verarbeitung auf die Alterung	182
5.1.1.2	Einfluss der Strahlung und Probertemperatur auf die Alterung	183
5.1.1.3	Einfluss der Farbmittel auf die Alterung	192

5.2	Prüfkriterien zur Alterung bezüglich Aussehen und Oberflächeneigenschaften	195
5.3	Prüfung der Alterung durch Freibewitterung	199
5.4	Prüfung der Alterung durch künstliche Bewitterung	202
5.5	Korrelation und Zeitraffung zwischen Frei- und Gerätebewitterung	207
6	Festlegung der Farb Rezeptur beim Einfärben von Polymeren ..	209
6.1	Einführung	209
6.2	Farbrezepturberechnung	211
6.2.1	Prinzipielle Vorgehensweise zur Farbrezepturberechnung	211
6.2.2	Theorie des optischen Strahlungstransports	213
6.2.2.1	Einfach- und Mehrfachstreuung	213
6.2.2.2	Strahlungstransport-Gleichung	215
6.2.2.3	Ansatz von <i>Kubelka</i> und <i>Munk</i>	216
6.2.3	Ermittlung der optischen Konstanten	219
6.2.4	Verfahren zur Berechnung und zur Korrektur von Farbrezepturen	223
6.2.4.1	Eichausfärbungen	223
7	Grundlagen zum Mischen	231
7.1	Strömungsverhältnisse beim Mischen	233
7.2	Distributives Mischen	242
7.2.1	Längsmischen	242
7.2.2	Quermischen	247
7.3	Dispergieren von Pigmenten	249
7.4	Flüssig/Flüssig-Mischen	266
8	Einfärben von Polymeren	273
8.1	Einführung	273
8.1.1	Farbmitteleinsatz	276
8.1.2	Materialbedingte Einflüsse auf das Erscheinungsbild	277
8.1.3	Verfahrens- und prozessspezifische Einflüsse auf das Erscheinungsbild	285
8.1.4	Mögliche Verarbeitungsfehler	287
8.2	Einfärben mit Pulverpigmenten, Masterbatch- oder Monokonzentratfertigung	290
8.3	Einfärben von Polymeren mit Masterbatches oder Monokonzentraten ..	296
8.4	Einfärben von Polymeren mit Flüssigfarben	302
8.5	Vergleich verschiedener Möglichkeiten zum Selbsteinfärben	305
8.5.1	Einfärbestrategie „Rundumversorgung aus einer Hand“	308
8.5.2	Einfärbestrategie „Alles in eigener Regie“	309
8.5.3	Einfärbestrategie „Alles von diversen Lieferanten besorgen“	311
8.6	Nachträgliches Einfärben von Kunststoffbauteilen	312

9	Anlagentechnik zum Einfärben von Polymeren	315
9.1	Einführung zum Compoundieren	315
9.2	Anlagenaufbau und Prozessschritte beim Einfärben	317
9.3	Compoundiermaschinen zum Einfärben	324
9.3.1	Einschneckenextruder (bzw. Spritzgießmaschinen)	327
9.3.2	Gleichdrall-Doppelschneckenextruder	333
9.3.2.1	Allgemeines zum Gleichdrall-Doppelschneckenextruder	333
9.3.2.2	Schneckenelemente des Gleichdrall-Doppelschneckenextruders	336
9.3.2.3	Berechnung des Prozessverhaltens des Gleichdrall-Doppelschneckenextruders	351
9.3.3	Gegendrall-Doppelschneckenextruder	364
9.3.4	Ko-Knetter	382
9.3.5	Ringextruder	395
9.3.6	Planetwalzenextruder	401
10	Ersatzgrößen und prozessnahe Methoden zur Bewertung eingefärbter Produkte	419
10.1	Druckfiltertest zur Dispergiertgüteprüfung	421
10.1.1	Grundlagen des Druckfiltertests	422
10.1.2	Filtrierprozess und Siebwahl	428
10.1.3	Abhängigkeiten von der Füllstoffgeometrie	431
10.1.4	Prozessnaher Einsatz des Druckfiltertests	432
10.1.4.1	Anlagenkonzept zur Materialoptimierung	432
10.1.4.2	Durchführung des Online-Druckfiltertests	435
10.1.4.3	Anwendungsbeispiele für den Online-Druckfiltertest	436
10.2	Beurteilung extrudierter Folien	439
10.3	Prozessnahe Farbmessung	440
10.3.1	Automatisierte Farbmessung am Granulat	442
10.3.1.1	Anlagenkonzept zur automatischen Granulatfarbmessung	442
10.3.1.2	Regelkreis mit Rezeptierung	444
10.3.2	Farbmessung in der Schmelze	447
10.3.2.1	Sondenaufbau	448
10.3.2.2	Detektoren und Beleuchtungsquellen	451
10.3.2.3	Kalibrierung, Stabilität und Einflussfaktoren	454
10.3.2.4	Thermochromie	456
10.3.2.5	Korrelation mit Laborgeräten	458
10.3.2.6	Anfahr- und Regelstrategie	459
10.3.3	Prozessfarbmessung am Extrudat	462
	Index	469

■ 1.1 Motivation und Zielsetzung

Die Motivation für dieses Buch liegt darin begründet, dass maßgeschneiderte Produkte heutzutage mehr denn je gefordert sind und hier vor allem die optischen Eigenschaften der Produkte zunehmend in den Vordergrund treten. „Optik wird immer wichtiger“ oder „Kunststoffe werden zu emotionalen Trägern“ steht in den Überschriften vieler Messeberichte [1] [2] [3]. Die Schlagzeilen sind also sehr deutlich geprägt von Design, Optik, Farbe, Selbsteinfärben, Masterbatches oder Effektfarben. Selbst große Rohstoffhersteller wie die BASF beschäftigen sich in zunehmendem Maße mit der Thematik. So haben sich neben neuen Produkten auch Serviceleistungen rund um das Thema Farbe bzw. Einfärben zu Themen mit allgemein anerkannt hoher Bedeutung entwickelt.

Für den Menschen als Augentier ist der Farbeindruck bei außerordentlich vielen Produkten ganz zweifelsfrei ein wesentliches Bewertungskriterium und trägt ganz erheblich zum Erfolg oder auch Misserfolg des Produktes bei. Der Begriff „Farbeindruck“ unterscheidet sich hierbei erheblich vom reinen Begriff „Farbe“, worauf in Kapitel 2 noch sehr differenziert eingegangen wird.

Bei Kaufentscheidungen sorgen ansprechende Farben für ein deutlich gesteigertes Interesse an den farblich ansprechend gestalteten Produkten. In der Nutzungsphase trägt eine gleichbleibende Farbe nennenswert zu einem positiven Image bei und beeinflusst damit die Wertschätzung gegenüber dem Produkt enorm. Farbliche Veränderungen im Verlauf des Produktlebens führen dagegen zu geringer Wertschätzung oder gar Ablehnung.

Für das Erscheinungsbild von Kunststoffherzeugnissen und der Veränderung im Laufe des Produktlebens ist das Einfärben der Kunststoffe von zentraler Bedeutung. Daher ist es verwunderlich, dass in wissenschaftlichen Arbeiten und auch in Veröffentlichungen bislang stets nur einzelne Aspekte der insgesamt sehr umfangreichen Thematik behandelt wurden. Zudem sind viele Zusammenhänge des Einfärbens von Kunststoffen leider nach wie vor nicht ausreichend verstanden.

Dies ist nicht verwunderlich, denn die Herstellung eines zu vertretbaren Kosten hochwertig eingefärbten und ausreichend lange einsetzbaren Produkts ist sehr komplex.

Schritt für Schritt dieses Wissen zu erschließen, war und ist deshalb Ziel vieler Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten von Instituten aus dem Bereich der Farbe und Kunststoffen. Das Kunststoff-Zentrum SKZ in Würzburg nimmt hierbei eine herausragende Rolle ein. Neben der Spezialisierung auf Kunststoffe stehen hier zugleich das Einfärben sowie die Farb- und Oberflächenbeurteilung im Fokus zahlreicher Arbeiten. Das Ziel des Buches „Einfärben von Kunststoffen“ liegt darin, die diesbezüglich wichtigsten Sachverhalte in leicht verständlicher Form zusammenzustellen. Dabei soll an dieser Stelle bereits betont werden, dass der Schwerpunkt auf thermoplastischen Polymeren liegt. Allerdings sind zahlreiche Aspekte auch auf Duromere und Elastomere übertragbar.

In diesem einleitenden Kapitel wird zunächst die Bedeutung von Kunststoffen und den verwendeten Additiven (vgl. Abschnitt 1.2) sowie der Farbe für die Kunststoffherzeugnisse (vgl. Abschnitt 1.3) mit den diesbezüglich relevanten Entwicklungstrends (vgl. Abschnitt 1.4) behandelt.

Im Anschluss an diese Einführung folgen die wichtigsten physiologischen, psychologischen und physikalischen Grundlagen zur Wahrnehmung von Farbe (vgl. Kapitel 2). Darauf aufbauend werden für das Verständnis benötigte Zusammenhänge zum Prüfen und Bewerten des Erscheinungsbildes von Erzeugnissen mit Fokus auf die Farbe thematisiert (vgl. Kapitel 3). In Kapitel 4 folgen Erläuterungen zu den wichtigsten Anforderungen an die Farbmittel und deren Eigenschaften, angefangen von Farbstoffen bis hin zu den verschiedenen Pigmenten.

Die Grundlagen zur Alterung von Kunststoffen werden in Kapitel 5 behandelt, da diese Thematik für den Dauergebrauch eingefärbter Kunststoffbauteile von herausragender Bedeutung ist. Die prinzipielle Vorgehensweise zur Festlegung eines Farbrezeptes inklusive der diesbezüglich relevanten Grundlagen folgt in Kapitel 6. Im darauffolgenden Kapitel sind die wichtigsten Zusammenhänge zum distributiven und dispersiven Mischen zusammengestellt.

Die prinzipiellen Möglichkeiten zum Einfärben, die Auswirkungen eines bestimmten Farbmittleinsatzes und materialbedingte sowie verfahrens- und prozessspezifische Einflüsse auf den Farbton werden in Kapitel 8 erklärt. Außerdem werden mögliche Verarbeitungsfehler thematisiert. Danach wird in Kapitel 9 die industriell eingesetzte Anlagentechnik beim Einfärben von Polymeren beleuchtet. Dabei werden verschiedene Compoundiermaschinen und deren Prozessverhalten diskutiert.

Kapitel 10 beschäftigt sich mit Ersatzgrößen (alternativen Messgrößen) zur Bewertung von eingefärbten Kunststoffherzeugnissen sowie prozessnaher Prüfmethode u. a. beim Spritzgießen, Compoundieren und Extrudieren. Es werden also neben

den in der Einfärbepaxis etablierten Wegen auch neuere Ansätze zur beschleunigten Optimierung und Kontrolle der Einfärbeprozesse und zur Qualitätssicherung angesprochen.

Es werden folglich die wichtigsten Themen zum Einfärben von Kunststoffen behandelt (vgl. Bild 1.1). Dabei werden neben den erforderlichen Grundlagen auch viele Anwendungsbeispiele und Lösungskonzepte vorgestellt. Das Buch soll somit eine Hilfe für alle sein, die sich mit Fragestellungen aus dem Bereich des Einfärbens von thermoplastischen Polymeren oder Kunststoffbauteilen, insbesondere der Rezeptur, der Auswahl und Optimierung der Maschinen- und Verfahrenstechnik sowie der Prüftechnik bzw. Qualitätssicherung, beschäftigen.

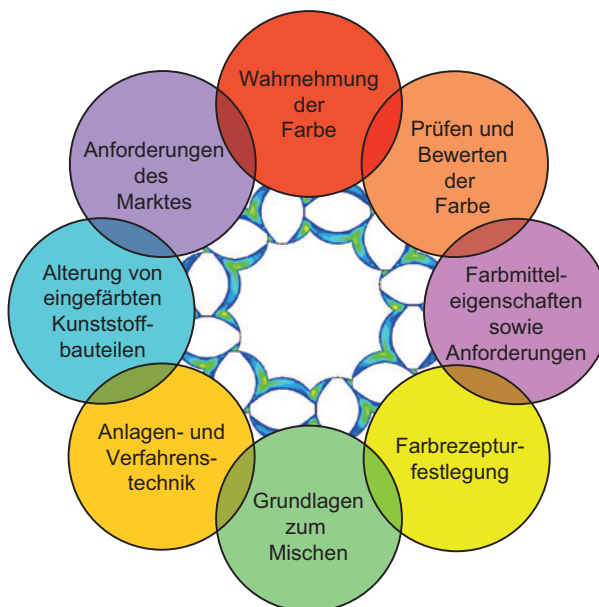


Bild 1.1 Bedeutsame Aspekte beim Einfärben von Kunststoffen

■ 1.2 Bedeutung von Kunststoffen und Additiven

Der weltweite Kunststoffverbrauch steigerte sich seit 1950 bis 2015 jährlich um ca. 8,6% auf 322 Millionen Tonnen pro Jahr. Zwischen 2002 und 2015 lag das Wachstum noch bei etwa 3,5% und soll auch die nächsten Jahre ähnlich wachsen [4] [5]. Die Märkte Asiens liegen dabei an der Spitze. Alleine die führende Nation China

verarbeitet in 2015 rund 28% der weltweiten Produktion. Europa und die NAFTA-Staaten folgen mit jeweils rund 18 bis 19%. Deutschland ist innerhalb Europas der führende Kunststoffverarbeiter mit über 25% der europäischen Produktion.

Die Kunststoffproduktion in Europa hat sich nach dem Einbruch in 2009 wieder stabilisiert. Das Niveau in 2013 entspricht etwa den Werten aus 2002. Das europäische Marktvolumen der Kunststoffe lag im Jahr 2013 bei 57 Millionen Tonnen bei einem Umsatz der Kunststoffindustrie von rund 320 Milliarden €.

In der Anwendung von Kunststoffen sind die Verpackungen mit ca. 40% Marktanteil und der Baubereich mit ca. 20% Marktanteil in Europa sehr dominant (vgl. Bild 1.2) [5]. Das derzeit stärkste Wachstum findet in kleineren Bereichen statt, wie z. B. Sport und Freizeit sowie Medizintechnik.

Speziell in Deutschland existiert eine hochentwickelte Kunststoffindustrie. Sie ist ein sehr bedeutender Industriezweig und auch international einer der großen Akteure. Die Branche erwirtschaftet insgesamt ca. 7% des gesamten Bruttoinlandsproduktes. Dabei beliefern die ca. 50 deutschen Rohstoffhersteller ein Drittel des europäischen Marktes. Die ca. 800 in Deutschland beheimateten Hersteller von Maschinen und Anlagen führen das Ranking der Nationen mit einem Weltmarktanteil von über 25% mit großem Abstand an. Auf die Kunststoffverarbeitung (ohne Herstellung und Maschinenbau) entfallen in 2010 etwa 46 Milliarden € Umsatz [6] [7] [8] [9] [10].

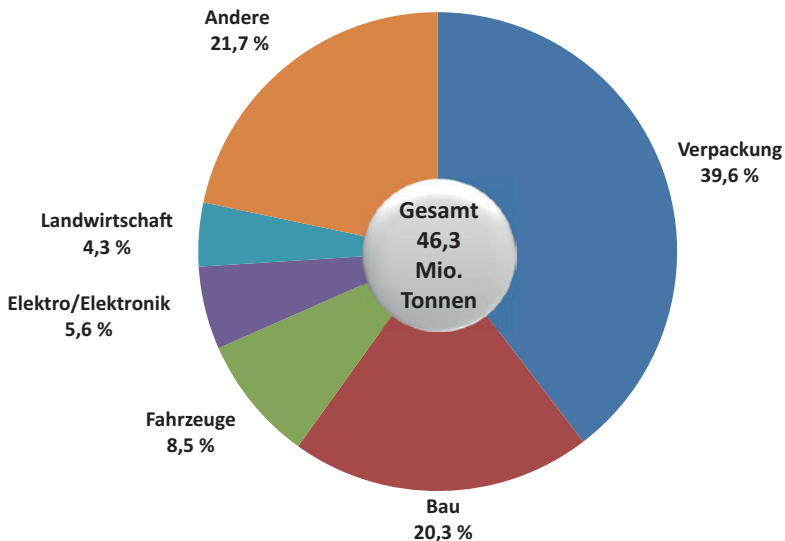


Bild 1.2 Anwendung von Kunststoffen in verschiedenen Branchen [11]

Im Bereich Kunststoffe ist das deutschlandweite Wachstum seit Jahren mehr als doppelt so hoch wie die Zunahme des durchschnittlichen Bruttoinlandsproduktes. Zu dieser guten Positionierung innerhalb der deutschen Industrie trägt sowohl der Inlandsverbrauch als auch der Export mit entsprechenden Zuwächsen bei. Die Kunststoffe entwickeln sich damit als Konkurrenzwerkstoff zu Metall, Glas, Porzellan oder Keramik seit Jahren weit überdurchschnittlich (vgl. Bild 1.3). Im Jahre 1989 wurde volumenmäßig erstmalig mehr Kunststoff als Stahl mit steigender Tendenz produziert [5].

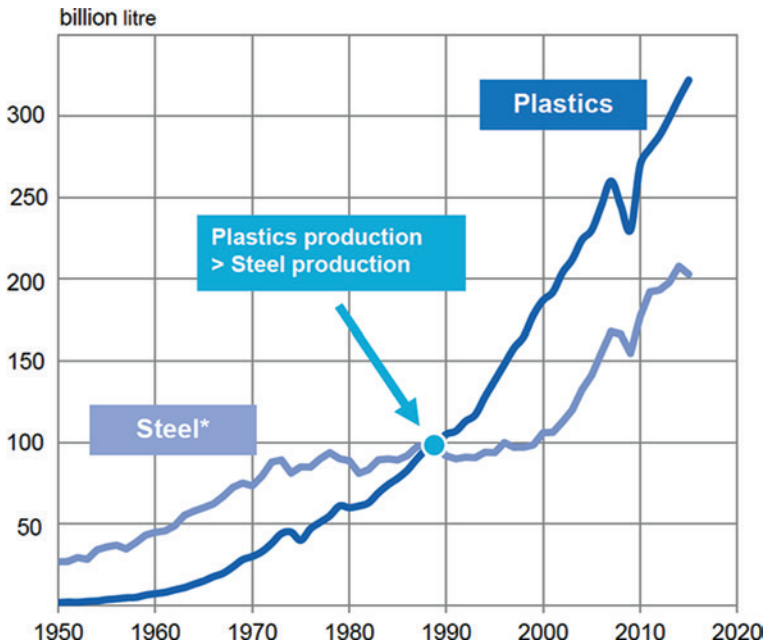


Bild 1.3 Entwicklung der volumenmäßigen Produktion von Stahl und Kunststoff [11]

Um eine solche Verdrängung anderer Produkte zu erreichen, müssen die Erzeugnisse auf die gestellten Aufgaben und Anforderungen sehr genau abgestimmt werden. Es stellt sich folglich die Frage, warum sich dieser Anspruch mit Polymeren sehr gut erfüllen lässt – obwohl Polymerwerkstoffe im Vergleich zu Stahl eine um eine Größenordnung niedrigere Festigkeit und eine um zwei Größenordnungen niedrigere Steifigkeit sowie ausgeprägt zeit- und temperaturabhängige Gebrauchseigenschaften aufweisen.

In Deutschland ist hier zunächst die erwähnte Technologieführerschaft in den drei Bereichen Herstellung, Maschinenbau und Verarbeitung zu nennen. Auch die deutlich gesteigerte Akzeptanz in der Bevölkerung/Öffentlichkeit trägt sicherlich zu diesen Erfolgen bei. Letztlich liegt die Begründung allerdings vor allem in der Tatsache, dass Kunststoffe ein extrem attraktives Nutzen/Kosten-Verhältnis haben.

Dabei ist zu beachten, dass für den Erfolg oder Misserfolg eines Bauteils stets verschiedene Produkteigenschaften wichtig sind. Um ein exzellentes Nutzen/Kosten-Verhältnis und damit ein erfolgreiches Erzeugnis zu erreichen, ist es entscheidend, zu welchem Preis sich die gewünschte Spezifikation erzielen lässt.

Entsprechend Bild 1.4 sind für das exzellente Preis/Leistungs-Verhältnis von Kunststoffen bzw. Kunststoffcompounds u. a. nachfolgende typische Eigenschaften und resultierende Potenziale ursächlich:

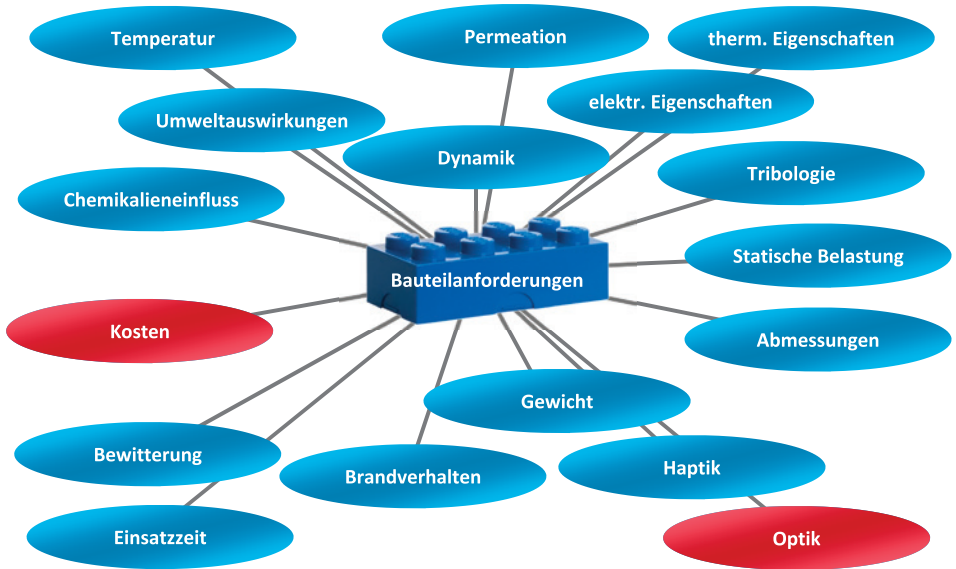


Bild 1.4 Anforderungen an die Eigenschaften von Polymerbauteilen

- sehr niedriges spezifisches Gewicht
→ hohes Anwendungspotenzial in Leichtbau und Verpackung
- steif oder flexibel einstellbar
→ vielfältige Einsatzbereiche
- meist sehr gutes thermisches Isoliervermögen
→ Einsatz in der Wärme- und Kälte­dämmung
- gutes elektrisches Isoliervermögen
→ hohes Anwendungspotenzial in der Elektrotechnik/Elektronik
- gutes Dämpfungsvermögen
→ hohes Potenzial für Schwingungsanwendungen
- einstellbare Durchlässigkeit (Diffusion, Permeation)
→ prädestiniert für Verpackungen, Textilien und in der Medizintechnik

- bei niedrigen Temperaturen sehr einfach formbar
 - komplexe Bauteilgeometrien bei hohen Stückzahlen und einfachen Verfahren produzierbar
- nahezu beliebig einfärbbar, auch Transparenz möglich
 - prädestinierter Einsatz im Konsumbereich
- einfache Verwertung und Recycling
 - positive Energieeffizienz, Ökoeffizienz und Ressourcenschonung realisierbar

Bei Kunststoffbauteilen lässt sich ein gewünschtes Eigenschaftsprofil vergleichsweise preiswert einstellen. Daher erschließen Polymerwerkstoffe immer mehr Anwendungen, die bisher anderen Werkstoffen wie z.B. Metall, Papier, Holz oder Keramik vorbehalten waren. Durch die steten Verbesserungen der Materialien ist es außerdem möglich, Massenkunststoffe in Märkten zu etablieren, welche vorher allein von technischen Kunststoffen bedient werden konnten.

Viele dieser Entwicklungen wurden weniger durch die Entwicklung neuer Polymertypen möglich, sondern vielmehr durch die gezielte Modifizierung der Polymereigenschaften durch Additive oder Füllstoffe bzw. auch durch die Herstellung von Polymerblends. Damit ist ein bedeutender Paradigmenwechsel verbunden. Noch in den achtziger Jahren wurde in großem Umfang versucht, neue Polymere zu entwickeln, um neue Materialeigenschaften zu erzielen. Danach veränderte sich die Vorgehensweise drastisch. Heute steht die Frage „welches Material für eine bestimmte Anwendung technisch sinnvoll und gleichzeitig ökonomisch ist“ im Vordergrund. Vorhandene Kunststoffe werden ggf. durch Zusätze angepasst. In jüngster Zeit spielen neben der Wirtschaftlichkeit zusätzlich ökologische und soziale Aspekte eine zunehmende Rolle.

Die positive Beeinflussung der Eigenschaften von Polymeren durch eine gezielte Additivierung ist folglich eine der wichtigsten Aufgaben, die es zu meistern gilt. Denn erst die Additivierung von Kunststoffen lässt die Materialien anwendungstauglich werden. Wie Bild 1.5 verdeutlicht, werden dazu in der Praxis verschiedenste Additive (sowie Kunststoffe, Füll- und Verstärkungsstoffe und Farbstoffe) mit den unterschiedlichsten Zielen eingesetzt.

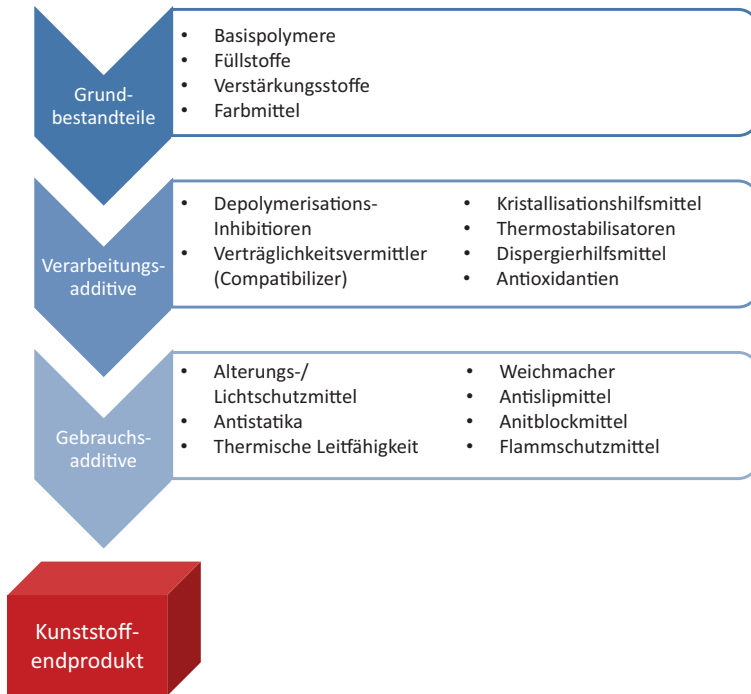


Bild 1.5 Mögliche Additive zur Eigenschaftsmodifizierung von Kunststoffen

Dabei muss beachtet werden, dass viele Additive nicht nur einzelne Eigenschaften des Werkstoffs verändern, sondern häufig gleich mehrere beeinflussen. Naheliegender Weise ist hier zunächst das Fließverhalten bei der Verarbeitung zu nennen. Werden hohe Farbkonzentrationen verwendet, so beeinflusst dies im Allgemeinen auch die Schmelzeviskosität. So steigern hohe Pigmentanteile das Viskositätsniveau. Da die Farbmittel aber meist wegen des relativ hohen Beschaffungspreises nur in geringen Mengen (Konzentrationen von ca. 2 bis 3 %) verwendet werden, ist dieser Einfluss auf die Viskosität der Schmelze eher bei dünnen (und deswegen höher pigmentierten) Artikeln bedeutsam [12]. Werden dagegen dicke Bauteile hergestellt und/oder lösliche Farbstoffe in geringen Mengen zugesetzt, so ist der Einfluss auf die Schmelzeviskosität des Kunststoffes durch die Farbmittel im Allgemeinen vernachlässigbar.

Als weiteres Beispiel soll hier genannt werden, dass sich bei kristallinen Materialien das Kristallisationsverhalten ändern kann. In einigen Fällen können Pigmente auch die Spannungsrissempfindlichkeit von Polymeren erheblich erhöhen. Zunehmende Bedeutung haben auch Pigmentpräparationen, die einerseits für ein ansprechendes farbiges Erscheinungsbild von Kunststoffbauteilen sorgen und andererseits Laserbeschriftungen oder auch Laserschweißprozesse ermöglichen. Ein weiteres schönes Beispiel mit großem Anwendungspotential sind organische Farb-

mittel. Neben ihrer Farbwirkung erhöhen sie die Speicherqualität von hochdichten, einmal beispielbaren zweischichtigen DVDs auf das ca. Zehnfache [13]. Da in 2014 bereits 1,4 Milliarden DVDs hergestellt wurden, zeigt dieses Beispiel exemplarisch, welch großes Anwendungspotenzial Kunststoffe und Additive auch in Zukunft haben werden.

Mit dem bereits angesprochenen rasanten Anstieg des Kunststoffverbrauchs der vergangenen Jahrzehnte (vgl. Bild 1.3) hat dementsprechend auch der weltweite Bedarf an Additiven ein beachtliches Volumen erreicht. Allein der Verbrauch an Pigmenten liegt weltweit bei ca. 2,2 Millionen Tonnen pro Jahr. Im Bereich der Masterbatches für Thermoplaste (Farb- und Additivmasterbatches) lag die europäische Produktion im Jahr 2006 bei ca. 960 Tausend Tonnen und der Verbrauch bei rund 800 Tausend Tonnen [14]. Für Masterbatches lagen die Wachstumsraten in Europa in den wachstumsärmeren Jahren 2001 bis 2007 bei jährlich ca. 3% [14].

Dabei hängen dauerhafte Verkaufserfolge der Kunststoffe von einer insgesamt guten und gleichbleibenden Qualität der Erzeugnisse ab. Eine funktionierende Qualitätssicherung beinhaltet (vgl. Bild 1.6):

- wohlüberlegte, zwischen Lieferanten und Kunden gut abgestimmte Festlegung der Produktspezifikationen (inklusive zulässiger Toleranzen)
- an die Fragestellung angepasste Wareneingangskontrolle
- an die Anforderungen angepasste Fertigungskontrolle
- ausreichende Überprüfung der Endprodukteigenschaften

Daneben führen insbesondere Qualitätsmanagementsysteme zu einer grundsätzlichen Betrachtung der Qualität. Der bekannteste und wichtigste Standard ist hierbei die EN ISO 9001, wobei mittlerweile weitere branchenspezifische Standards existieren und zur Anwendung kommen. Getreu dem Motto „*Gute Qualität wird produziert und nicht erprüft!*“ wird hier die Produktqualität in größerem Kontext (z. B. Lieferantenauswahl, Festlegung und Überwachung der Prozesse, Mitarbeiterqualifikation, Fehlereinflussanalyse) betrachtet. Letztlich ist die Qualitätssicherung hierbei nur ein kleiner Aspekt und kann ausschließlich feststellen, ob die Qualität stimmt oder nicht – einen Einfluss auf die produzierte Qualität hat die Qualitätssicherung kaum.



Bild 1.6 Allgemeine Anforderungen an die Qualitätssicherung bei der Fertigung von Kunststoff-erzeugnissen

■ 1.3 Bedeutung der Farbe für Kunststoffherzeugnisse

Vor einem halben Jahrhundert bemerkte *Johannes Itten* (1888 bis 1967): „*Farbe ist das Leben, denn eine Welt ohne Farben erscheint wie tot*“. Die Gründe, warum Kunststoffe eingefärbt werden, sind sicherlich differenzierter zu sehen. Sie sind im Allgemeinen vielschichtig, oft ist jedoch von zentralem Interesse, dass Farbe einen bestimmten Sinneseindruck bei Benutzern bzw. Käufern von Produkten erwirken soll. Das Produkt soll durch die Farbe also in erster Linie verschönert werden. Ein anderer Nutzen liegt in der Reflektion oder Absorption von Strahlung. Neben dem Preis, dem mechanischen Verhalten und der Beständigkeit aller Eigenschaften ist die Farbe eines Produktes damit zweifelsfrei eines der wichtigsten qualitätsrelevanten Kriterien.

Eine wesentliche Ursache hierfür liegt darin, dass für den Menschen von den fünf Sinneseindrücken das Sehen bei der Reizverarbeitung mit großem Abstand die größte Bedeutung hat. So werden über das Auge die meisten Informationen der Umwelt aufgenommen. Manche Schätzungen gehen davon aus, dass beim Menschen bis zu 40 % aller aufgenommenen Informationen über Farben verfügbar werden [15]. Andere gehen davon aus, dass mehr als 4/5 aller Informationen oder 10 Millionen Bit/Tag vom Auge ans Gehirn weitergeleitet werden [16] [17]. Der Tastsinn folgt mit lediglich 1 Million Bit/Tag, dann der Geruchs- und Gehörsinn mit jeweils 100 000 Bit/Tag und der Geschmackssinn mit gerade einmal 1000 Bit/Tag [16].

Die richtige farbliche Gestaltung von Produkten führt zu schnellerem und besserem Erfolg am Markt [13]. Da die „Macht der Farben“ dementsprechend groß ist, wird nicht nur in der Kunst, sondern auch in vielen anderen Bereichen des täglichen Lebens, z. B. bei der Gestaltung von Produkten oder Verpackungen, intensiv mit der Optik, optischen Illusionen, Farben und Symbolen „gespielt“. Folgerichtig wird Farbe auch bei Kunststoffprodukten als Gestaltungsmöglichkeit gezielt eingesetzt. Dabei gibt es über verschiedene Kulturen und längere Zeiträume gültige Zusammenhänge zwischen bestimmten Farben und den damit verknüpften emotionalen Reaktionen der Menschen. Auf der anderen Seite gibt es aber auch kurzfristiger wirkende Farbtrends.

Als Beispiel für dieses Phänomen lässt sich die Außenfarbe von Kraftfahrzeugen nennen. 2007 dominierten auf deutschen Straßen sehr eindeutig leicht getöntes Silber und dunkle Farbtöne (45 % der Neuzulassungen waren silberfarben, 25 % schwarz, 17 % blau und nur 2 bis 3 % weiß). In Japan dagegen gilt Weiß als Farbe der Reinheit und Klarheit, weswegen 27 % aller Autokäufer diese Wagenfarbe wählen. 2007 wird in der Farbtrendprognose der Designer der BASF Coatings angenommen, dass Weißtöne (weiß, mattes weiß, weiß mit leichtem Goldschimmer, mit

sanftem Perleffekt, mit extremem Sparkle oder in abgetönten Varianten) weltweit das Potential aufweisen, die dritt wichtigste Autofarbe zu werden. Der Trend hat sich bestätigt. In 2016 waren in Europa die Weißtöne mit rund einem Drittel am beliebtesten [18].

Ein ganz anderes Beispiel sind Produkte, bei denen farbbezogene Assoziationen mit verschiedenen Duftnoten genutzt werden. So wird Apfelduft fast ausschließlich mit Grün verbunden, Johannisbeerduft wird in violetten Verpackungen verarbeitet, Kirschduft in roten. In westlichen Kulturkreisen steht Rosa für kindlich und rein und eignet sich deshalb am besten für Produkte der Sauberkeit. Manchmal findet man die gleichen Produkte aber auch in orangefarbenen Behälter. Hier steht die Farbe Orange dann mehr für die Wärme und das Angenehme. Auf diese Weise können also größere Käuferschichten für das gleiche Produkt angesprochen werden. Auf der einen Seite diejenigen, die über das Rosa stärker die Reinlichkeit, aber auch etwas die Unnahbarkeit und das Unerreichbare (man ist eigentlich nie sauber) suchen und auf der anderen Seite diejenigen, die mehr die Wärme im Orange finden.

Mit Metallfarben wie Gold, Silber, Kupfer lassen sich Kunststoffe auch häufig als hochwertig empfundene Metalle mutieren. Es besteht offensichtlich ein weites Feld von Assoziationen, die mit Hilfe von Farben auf das Produkt übertragen werden sollen.

Insbesondere Produkte mit hohem Wert wie Autos sind heutzutage in hohem Maße emotionale Träger. So ist die Anmutung des Fahrzeuginnenraums, in dem heutzutage bis zu 2000 Kunststoffteile verbaut werden [19], zu einem der dominanten Kriterien für die Kaufentscheidung geworden [20]. Käufer wollen sich im Fahrzeug wohlfühlen (vgl. Bild 1.7).



Bild 1.7 Anmutung des Fahrzeuginnenraums eines modernen Pkw [19]

Die ästhetischen Ansprüche nehmen immer mehr zu, wodurch das Design folglich von entscheidender Bedeutung für die Differenzierung der Produkte im hart umkämpften Konkurrenzumfeld ist. Dies geht soweit, dass ein künftiger Trend im sogenannten Customized-Color-Design liegt (der Kunde gibt die gewünschte Produktfarbe weitgehend frei vor). Die für die Wettbewerbsfähigkeit der Produzenten solcher Produkte und ihrer Zulieferer bedeutsame Kaufentscheidung der Kunden hängt dementsprechend enorm vom Erscheinungsbild der Gesamtheit aller sichtbaren Teile ab (vgl. Abschnitt 3.4).

Folgerichtig werden auch die diesbezüglichen Qualitätsansprüche immer höher, weswegen die Kombination verschiedener Materialien mit unterschiedlichsten Texturen offensichtlich eine zunehmende Herausforderung darstellt. Der Designer hat folglich eine zunehmend wichtige Position beim Produktentstehungsprozess. Dies wird allgemein immer mehr erkannt und berücksichtigt. Aus diesem Grund wurde z. B. das frühere Farblabor der BASF umgewandelt in eine Designfabrik mit Farbmustern zu insgesamt 20 000 Farbtönen und jeweils fünf verschiedenen Oberflächen, womit sich bis zu einer Million unterschiedliche Farbeindrücke ergeben.

Farbe lässt sich auch hervorragend zur Differenzierung sehr ähnlicher Produkte einsetzen. So sind beispielsweise in der Medizintechnik farbige Kunststoffe üblich, um verschiedene Instrumente oder auch die Größe von Produkten (z. B. Anpassungskörper von Hüftgelenksimplantaten) leicht zu unterscheiden. Extrem hohe Farbkonstanz ist hier folglich eher von untergeordneter Bedeutung. Die Farbmittel und auch die eingefärbten Produkte müssen jedoch die existierenden Richtlinien für den Einsatz in der Medizintechnik erfüllen. Weitere Forderungen sind hier z. B. Biokompatibilität, gute Festigkeit, Steifigkeit sowie Zähigkeit, geringe Wasseraufnahme und gute Sterilisierbarkeit.

Die genannten Beispielaspekte verdeutlichen, dass die Bedeutung der Farbe eines Produktes groß ist, denn so viel wie die „inneren Werte“ eines Produktes zählt heute das „attraktive Äußere“. Die hohe Relevanz der Thematik zeigt sich deshalb auch beim Bewerten von Kunststoffprodukten, denn hier ist die Produktfarbe sehr häufig ein Qualitätsmerkmal mit herausragender Bedeutung. Mit der Sicherung dieses Qualitätskriteriums ist deswegen oftmals ein enormer Aufwand verbunden. Dieser wird betrieben, um in der industriellen Praxis die Sicherstellung der Farbqualität eines Produktes gewährleisten zu können.

Aufgrund der immensen wirtschaftlichen Bedeutung der Farbe von Kunststoff-erzeugnissen ist der Farbbegriff inklusive der Messung der Farbe in einer entsprechenden Norm definiert [21]. Farbe ist demnach ein durch das Auge vermittelter Sinneseindruck, durch den sich zwei aneinandergrenzende Teile unterscheiden lassen. Produkte werden in der industriellen Coloristik folglich bezüglich von Farbunterschieden bewertet. Eingefärbte Produkte werden dabei sehr häufig mit einer Referenz, dem Urmuster oder Standardproben verglichen.

Die Wirkungskette der Einflussgrößen beim Betrachten eines Produktes beinhaltet das auf das Produkt einfallende Licht (Lichtart, Intensität), die Probe selbst und die verwendete Analytik (z.B. visuell durch das menschliche Auge). Das technische Erfassen von Farbunterschieden dient dabei der objektiven Bewertung von eingefärbten Produkten, denn nur so können Ergebnisverfälschungen, z.B. durch das Ändern der Lichtquelle (z.B. Tageslicht, künstliches Licht), vermieden werden.

Für den Erfolg von Produkten ist jedoch nicht nur der vorliegende Farbton bei bestimmten Lichtverhältnissen von Bedeutung, sondern auch ein nicht akzeptables Maß an Veränderung der Farbe mit der Zeit durch die unvermeidbare Alterung. Beim Einfärben von Kunststoffen sind folglich vielschichtige Kenntnisse zu unterschiedlichsten Aspekten von Bedeutung.

■ 1.4 Allgemeine Entwicklungstrends und ihre Folgen

Für die Kunststoffaufbereitung bzw. -veredelung sind die wichtigsten allgemeinen Trends in Bild 1.8 verdeutlicht. Meist verändern sich über die Jahre lediglich die Gewichtungen untereinander.

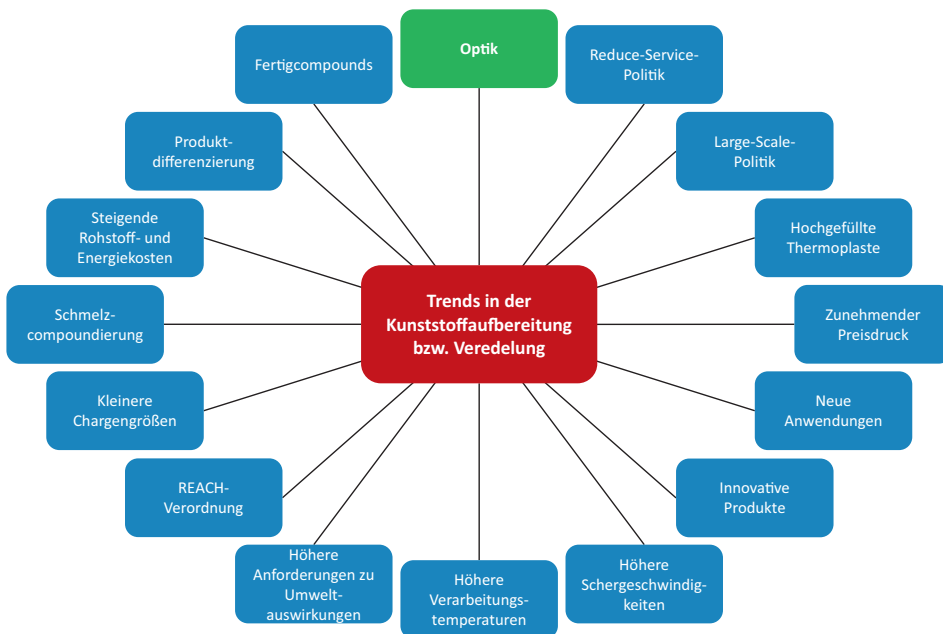


Bild 1.8 Entwicklungstrends in der Aufbereitung bzw. Veredelung von Kunststoffen

Nachfolgend werden diese Trends im Detail beschrieben:

- Seitens der Rohstoffhersteller wird in starkem Maße eine sogenannte Large-Scale-Politik betrieben. Die Kunststoffproduzenten stellen auf ihren Anlagen, die für weltweite Bedarfsmengen ausgelegt sind, immer größere Mengen einheitliches Material her (häufig in Naturfarbe oder auch in wenigen Standardfarben).
- Die großen Rohstoffhersteller forcieren eine sogenannte Reduce-Service-Politik. Die früher kostenlos zur Verfügung gestellte Anwendungstechnik und Beratungsunterstützungen werden erheblich reduziert oder zumindest ausgelagert.
- Neue bzw. verbesserte Materialien werden fast ausschließlich durch die Schmelzecompondierung hergestellt (Nanocompounds, Flammschutz, naturfaserverstärkte Kunststoffe etc.).
- Neue Materialien, z.B. hochgefüllte Compounds oder Biopolymere, verbesserte recycelte Werkstoffe und auch neue Anwendungen werden zunehmend an Bedeutung gewinnen.
- Die von den Verarbeitern benötigten Chargengrößen werden häufig immer kleiner, wodurch das Streben nach mehr Durchsatz zunehmend durch Wünsche nach Lösungsansätzen zur Steigerung der Flexibilität ersetzt wird.
- Es besteht ein Trend, Fertigcompounds durch das direkte Abmischen bei der Endverarbeitung zu substituieren.
- Farb- und Spezialeffekte werden zunehmend eingesetzt, um Produktdifferenzierung zu erzielen.
- Hochwertige Kunststoffoberflächen werden auch ohne Lackierungen angestrebt.
- Es werden immer höhere Anforderungen an die Umwelt- und Sicherheitsauswirkungen der Erzeugnisse gestellt. So werden z.B. vermehrt umweltfreundliche Stabilisatoren eingesetzt, der Einsatz schwermetallhaltiger Pigmente in Kunststoffprodukten reduziert bzw. substituieren schwermetallfreie Farbmittel bisherige Produkte.
- Die Grundmaterialien werden dahingehend verbessert, damit höhere Verarbeitungstemperaturen und Schergeschwindigkeiten möglich sind. Dies bedingt, dass auch die Farbzusätze bezüglich ihrer Beständigkeit angepasst werden müssen.
- Rohstoff- und Energiekosten steigen stetig.
- Rohstoff- und Energievertierungen führen zu einem zunehmenden Preisdruck, der z.B. zu einer Konzentration der Wirkstoffe oder zu häufigeren Verwendung von Kombinationsbatches führt.
- Ökonomische Erfolge werden zunehmend durch neue Anwendungen erzielt. Dazu gehören z.B. innovative Produkte mit qualitativ hochwertigem Aussehen (Optik) und hoher Integration verschiedener Funktionen.
- Durch die aktuelle Fassung EU-Verordnung REACH (Registrierung, Bewertung und Zulassung von Chemikalien) wird ein relativ hoher Aufwand an Bürokratie erzeugt und einige Rezepturen müssen verändert werden.

Die resultierende Materialdiversifikation durch steigende Forderungen des Marktes sowie aus den vorgenannten Entwicklungstrends nimmt daher stetig zu. Die Spezialitäten, z.B. die mit bestimmten Farben und anderen Additiven versehenen Materialien, kommen heutzutage in zunehmendem Maße von Compoundeuren und/oder Masterbatchern und nur noch in geringerem Umfang direkt von den großen Rohstoffherstellern [22]. Um den wirtschaftlichen Erfolg sicher zu stellen, müssen sich die Compoundeure, Masterbatcher und auch Verarbeiter auf die sich im Laufe der Jahre ständig verändernden Rahmenbedingungen einstellen (vgl. Bild 1.9). So zwingt der zunehmende Kostendruck die Hersteller von Kunststoffzeugnissen immer stärker dazu, neue Wege beim Einfärben der Produkte zu beschreiten [23].

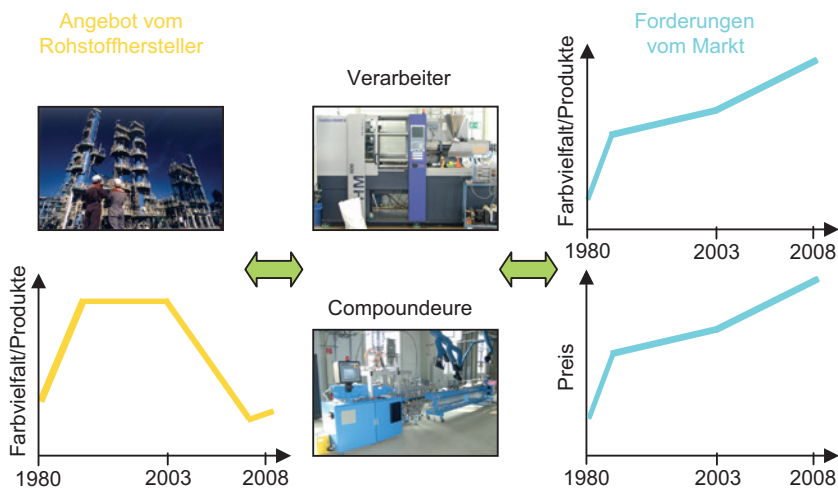


Bild 1.9 Veränderte Rahmenbedingungen bei der Herstellung von eingefärbten Kunststoffprodukten

Für Verarbeiter resultiert aus den Veränderungen des Marktes immer häufiger die Notwendigkeit, sich mit Rezepturfragestellungen zu beschäftigen. Er muss sich folglich mit der notwendigen Mischung (Polymer, Farbstoffe und sonstige Additive) zur Fertigung der Formteile selbst auseinandersetzen.

In der Rückwärtsintegration von Fertigungsschritten liegt allerdings auch eine Chance zur Verbesserung der Wettbewerbsfähigkeit. Beim Einfärben von Kunststoffteilen lässt sich die damit verknüpfte erhöhte Wertschöpfung im eigenen Hause, z.B. durch das Selbsteinfärben, erreichen. Hintergrund sind hier insbesondere die steigenden Produkt-/Farbvarianten bei ständig kleiner werdenden Losgrößen und steigenden Ansprüchen (z.B. engere Farbtoleranzen) sowie die abnehmende Vielfalt an eingefärbten Kunststoffen der Rohstofflieferanten und deren reduzierter Anwendungssupport. Damit verknüpft sind allerdings erhebliche