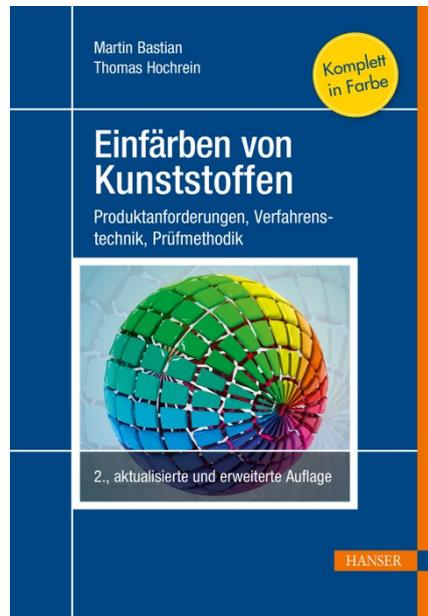


HANSER



Leseprobe

zu

„Einfärben von Kunststoffen“

von Martin Bastian und Thomas Hochrein

ISBN (Buch): 978-3-446-45398-2

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

Weitere Informationen und Bestellungen unter
<http://www.hanser-fachbuch.de/978-3-446-45398-2>

sowie im Buchhandel

© Carl Hanser Verlag, München

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

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

■ 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.

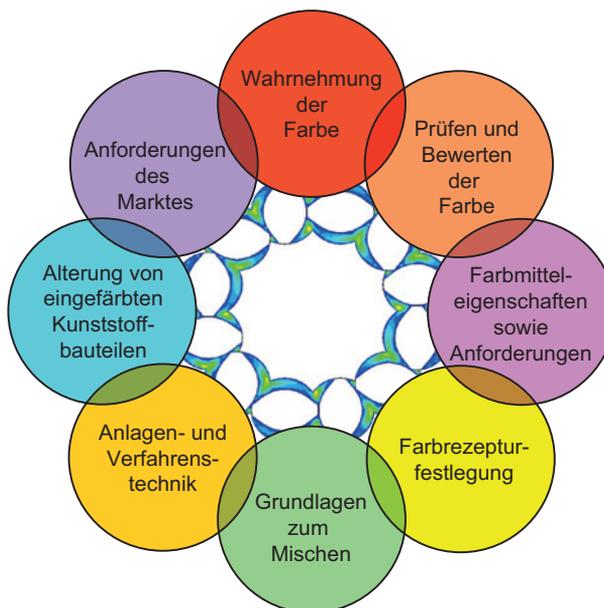


Bild 1.1 Bedeutsame Aspekte beim Einfärben von Kunststoffen

■ 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

2

Wahrnehmung von Farbe

■ 2.1 Einführung

Betrachtet man die Historie bezüglich naturwissenschaftlicher Erkenntnisse über Farben, so stammen die frühen Untersuchungen von *Newton* aus der Zeit um das Jahr 1671, die er im Jahre 1704 zusammengefasst hat [1], und von *Goethe*, die er im Jahre 1810 als Farbenlehre publiziert hat [2]. Wegweisend sind u. a. die Arbeiten von *Young* mit der Erfindung des Spektrografen zur Messung der Intensitätsverteilung von Lichtquellen und der ersten physikalisch und physiologisch begründeten Dreifarbenlehre zum Sehen von Farben [3], von *Graßmann* mit Farbgesetzen zur additiven Farbmischung aus dem Jahre 1853 [4], von *Helmholtz* die heute gültige Dreifarbenlehre [5] und von *Maxwell* aus der Zeit um 1860 [6] und *Schrödinger* aus der Zeit um 1920 [7]. *Schrödinger* formulierte die höhere Farbmessung, auf der die heutigen farbmessenden Methoden basieren. Die Wahrnehmung von Farbe ist heute weitgehend verstanden und die Hintergründe in der Literatur vielfältig beschrieben [8] [9] [10] [11] [12] [13].

In unserem täglichen Sprachgebrauch wird der Begriff Farbe für die verschiedensten Aspekte und Gegenstände verwendet. So sprechen wir z.B. von Farbe, wenn wir Malerfarbe für die Wand meinen. Dabei kennzeichnen Wortverbindungen wie Malfarbe, Druckfarbe oder Wasserfarbe den stofflichen Charakter dieser Dinge eigentlich bedeutend besser als nur das Wort Farbe. Auch für das farbige Erscheinungsbild von Objekten unter der Voraussetzung einer entsprechenden Beleuchtung verwenden wir den Begriff Farbe. Gemeint ist in diesem Fall die Körperfarbe des Objektes oder auch die Filterfarbe eines transparenten Objektes.

Nach DIN 5033 ist Farbe definiert als „*diejenige Gesichtsempfindung (Sinnesempfindung) eines dem Auge strukturlos erscheinenden Teiles des Gesichtsfeldes, durch die sich dieser Teil bei einäugiger Beobachtung mit unbewegtem Auge von einem gleichzeitig gesehenen, ebenfalls strukturlosen angrenzenden Bezirk allein unterscheiden kann*“. Dementsprechend ist die Farbe ein Unterscheidungsmerkmal für sonst in Form, Größe und Helligkeit nicht unterscheidbare Gegenstände.

Da in der Farbmeterik auch Objekte unterschieden werden können, die bezüglich ihrer optischen Eigenschaften ausschließlich durch ihre Helligkeit verschieden sind, müssen auch Weiß, Grau und Schwarz zu den Farben gezählt werden. Goethe bezeichnete diese sogenannten unbunten Farben allerdings als Unfarben. Das Merkmal, das verschiedene Farben unterscheidet, ist der sogenannte Farbton (Buntton).

In der Farbmeterik (Lehre von den Maßbeziehungen zwischen Farben) versteht man – streng genommen – unter dem Begriff Farbe ausschließlich die optische Erscheinung, die von elektromagnetischer Strahlung ausgelöst wird, die unser Auge erreicht, und dort in eine Nervenerregung umgewandelt wird und über das Gehirn als Farbe in das Bewusstsein des Menschen tritt. Farbe ist also ein Sinneserlebnis – eine sogenannte Gesichtsempfindung. Das Ganze ist demzufolge ein sehr komplexer biologischer Vorgang, bei dem die Strahlung und deren Veränderung durch ein Objekt (z. B. Probe) nur die äußere physikalische Ursache ist. Die Strahlung oder auch eine Probe für sich betrachtet, sagt dementsprechend nichts Ausreichendes über die Farbe aus, denn dazu bedarf es der sinnesphysiologischen Verarbeitung. Die Sinnesempfindung ihrerseits setzt voraus, dass ein lebender bzw. der Empfindung fähiger Organismus vorhanden ist (vgl. Geschmackssinn oder Schmerzempfinden beispielsweise durch Nadelstiche).

Da Farbe dementsprechend ein durch das Auge und das Gehirn vermittelter Sinnesindruck ist, ist die Wahrnehmung von Farbe für alle sehenden Menschen eine absolut fundamentale Selbstverständlichkeit.

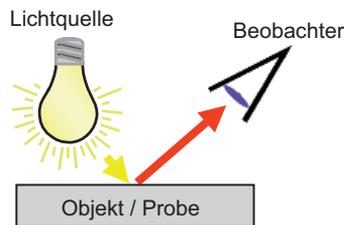


Bild 2.1 Beeinflussung der Wahrnehmung von Farbe

Der Sinnesindruck Farbe hängt, wie Bild 2.1 verdeutlicht, von folgenden drei Faktoren ab:

- Lichtquelle (Lichtart, Intensität)
- Probe (Rezeptur, makroskopische und mikroskopische Oberfläche)
- Beobachter (Sensitivität)

Der physikalische Vorgang beinhaltet folglich, dass die Strahlung (das Licht) $E(\lambda)$ mit einer bestimmten Wellenlänge λ durch die Wechselwirkung mit dem Objekt

bzw. der Materie verändert bzw. gefiltert wird ($F(\lambda)$) und beim Beobachter bzw. im Detektor, der eine wellenabhängige Sensitivität $V(\lambda)$ hat (auch spektrale Empfindlichkeit im Wellenlängenbereich von λ_1 bis λ_2 genannt), einen ebenfalls wellenabhängigen Beobachter- bzw. Lichtreiz (Farbreiz) $R_B(\lambda)$ erzeugt:

$$R_B = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} V(\lambda) F(\lambda) E(\lambda) d\lambda \quad (2.1)$$

Da der Mensch tagsüber bzw. in beleuchteter Umgebung mit dem Öffnen der Augen stets Farben sieht, wird im Allgemeinen kaum über Farben oder deren Eigenschaften und Wirkungen nachgedacht. Dies ist prinzipiell bemerkenswert, denn Farben sind von elementarer Bedeutung für das menschliche Empfinden und werden aufgrund ihrer Signalwirkung ganz gezielt als Steuerungsmöglichkeit eingesetzt.

Die Analyse der Evolution des Sehens ergibt, dass die meisten Säugetiere nur Schwarz-Weiß beziehungsweise Hell-Dunkel wahrnehmen können. Es wird deshalb davon ausgegangen, dass dies auch beim menschlichen Auge am Evolutionsbeginn so war. In der weiteren Entwicklung kam die Gelb-Blau-Wahrnehmung hinzu und in der letzten Phase schließlich das Rot-Grün-Sehen. Diese Entwicklung war ein enormer Fortschritt für die Menschen, denn dadurch konnten beispielsweise reife Früchte von unreifen, beziehungsweise rote Früchte von grünen Blättern einfacher differenziert werden.

Die unterschiedlichen Farben vereinfachen es folglich, Objekte zu unterscheiden und sich leichter zurechtzufinden. Die Informationen, die von der Vielfalt der Farben in der Umgebung ausgehen, sind dementsprechend sehr vielschichtig. Sie können vom Menschen als Empfänger deshalb auch schneller und besser verarbeitet werden. Im Überlebenskampf bzw. Wettbewerb ergeben sich hierdurch eindeutige Vorteile.

Für den Menschen sind aber nicht nur die Farben der Objekte und der Umgebung wichtig, sondern auch die Farben unserer Mitmenschen, die damit Signale aussenden. Beispielsweise signalisiert uns ein plötzliches „im Gesicht rot werden“, dass eine innerliche Anspannung bei der betroffenen Person auftritt. Blasse Gesichter vermitteln einen unbefriedigenden Gesundheitszustand. Wenn man die physiologischen und medizinischen Aspekte beachtet, zeugen sie gar von Krankheit und Tod. Allerdings hat sich bei uns Nordeuropäern vom soziologischen Standpunkt die Einstellung zu blasser Haut geändert: Deutete die braune Haut in früheren Zeiten auf Arbeit in der Landwirtschaft hin und blasse Haut – auch als vornehme Blässe bezeichnet – eher auf Müßiggang, so hat sich die Einstellung heute gewandelt. Heute sind die „Vielarbeiter“ blass; braun gebrannte Mitmenschen lassen Müßiggang oder Urlaub vermuten. An diesem Beispiel lassen sich aber auch

Tabelle 4.2 Farbtiefebewertung nach Standardfarbtiefe

Pigmenttyp	ST 1/3 (g/kg)	Chroma
Pigment A	2,0	75,0
Pigment B	2,5	75,0

Während zum Erreichen der Standardfarbtiefe *ST 1/3* in diesem Beispiel 2,5 g Pigment B pro kg Polymer benötigt werden, kommt man bei Verwendung von Pigment A mit 2,0 g Pigment pro kg Polymer aus. D.h. Pigment A ist 20 % farbstärker als Pigment B.

Vergleichsweise hohe Farbtiefen werden beispielsweise für Folien und Kunstleder aus PVC, Beschichtungen aus PUR, Spritzgussteile aus PP, PC oder ABS und Spinnfasern aus PA oder linearem Polyester gefordert. Für Rohre und Kabelmassen aus PE oder auch PVC, Armaturenabdeckungen und Stützlehnen aus PUR-Schaum sowie Formteile aus ungesättigten Polyesterharzen bestehen im Allgemeinen lediglich mittlere Anforderungen an die Farbtiefe.

■ 4.2 Anforderungen an Farbmittel bzw. Farbpräparationen

Neben den preislichen Aspekten sind die Anforderungen an Farbmittel sehr vielschichtig und betreffen gleichermaßen technologische Aspekte als auch Gesetzesvorgaben. An erster Stelle steht dabei allerdings zweifelsfrei die Frage, ob der vom Designer bzw. Produktverantwortlichen festgelegte und gewünschte Farbton mit einer entsprechenden Farbpräparation erreicht werden kann und in der Anwendung erhalten bleibt. Wichtige Qualitätsmerkmale für Farbmittel sind in Bild 4.5 verdeutlicht. Hierbei muss beachtet werden, dass bei partieller Löslichkeit Schwierigkeiten bezüglich Migration und auch Thermostabilität in Kauf genommen werden.

Farbmittel müssen folglich neben einem möglichst niedrigen Preis und einer hohen Farbstärke (bzw. erreichbaren Farbtiefe) relativ viele verschiedene technologische und gesetzliche Anforderungen erfüllen. Der aufgrund der zahlreichen Anforderungen aufwändige Ablauf um eine Farbeinstellung zu entwickeln, ist in Bild 4.6 gezeigt.



Bild 4.5 Anforderungen an Farbmittel

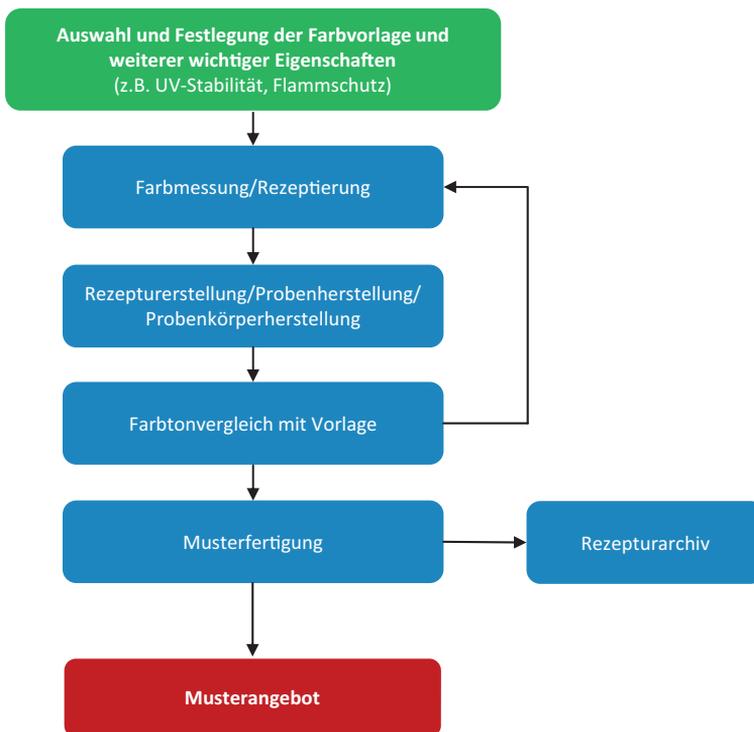


Bild 4.6 Prinzipielles Ablaufschema für die Entwicklung einer Farbeinstellung [8]

4.6.2 Anorganische Pigmente

Typische Vertreter anorganischer Pigmente sind z.B. Titandioxid und diverse Ruße, z.B. Furnaceruß-Typen (zu ca. 98% eingesetzt), Gasruß-Typen (feinste Teilchen mit ca. 10 bis 80 nm), Flammruß-Typen (60 bis 200 nm) und Thermal- und Acetylenruß-Typen. Durch das hohe Streuvermögen und der damit bedingten ausgezeichneten Deckkraft nimmt das Weißpigment Titandioxid (TiO_2) von den Verbrauchsmengen eine herausragende Stellung ein.

Charakteristische Eigenschaften anorganischer Pigmente sind u. a. (vgl. Bild 4.30):

- Sehr hohe Temperaturstabilität
- Höchste Licht- und Wetterechtheit
- Keine Migration
- Geringe Neigung zu Verzug
- Relativ gute Deckung wegen der stark lichtstreuenden Wirkung
- Nicht sehr farbstark
- Relativ trübe bzw. unsauber im Farbton (Ausnahmen sind Cadmium, Blei und Bismutvanadate; diese sind sehr brillant)
- Hohes spezifisches Gewicht
- Möglichkeit für hohe Füllgrade

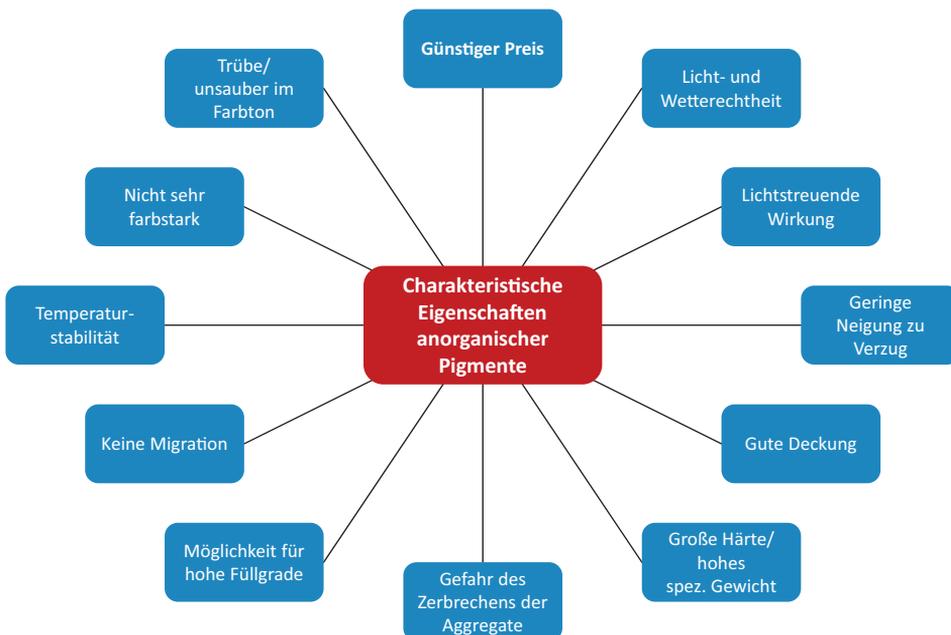


Bild 4.30 Charakteristische Eigenschaften anorganischer Pigmente

- Meist große Härte (Mohssche Härte) und dadurch Gefahr des Zerbrechens der zu dispergierenden Aggregate, wodurch sowohl Farbton als auch Deckkraft verändert werden.
- Günstiger Preis hinsichtlich Preis/Menge und bzw. Preis/Wirkung.

In Tabelle 4.10 sind die charakteristischen Eigenschaften einiger wichtiger anorganischer Pigmente zusammengefasst.

Tabelle 4.10 Charakteristische Eigenschaften ausgewählter anorganischer Pigmente

Pigment	Charakteristische Eigenschaften	Typische Vertreter
Oxide	<ul style="list-style-type: none"> ■ anorganische Pigmente ■ niedriges Preisniveau ■ sehr gute Temperatur- und Chemikalienbeständigkeit 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Titandioxid (haben von der Verarbeitungsmenge eine herausragende Bedeutung, Teilchengröße ca. 0,2 μm) ■ Eisenoxide ■ Chrom- und Nickeltitanate ■ Kobaltblau ■ Bismutvanadate
Sulfide	<ul style="list-style-type: none"> ■ anorganische Pigmente ■ im Allgemeinen weniger beständig als Oxide (z. B. eingeschränkte Wetterbeständigkeit von Zink- sowie Cadmiumsulfiden, Ultramarin unbeständig bei saurem Regen) ■ sehr gute Licht, Wetter- und Temperaturbeständigkeit weisen die sogenannten Cersulfid-Pigmente auf (rot oder orange) 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Zinksulfide ■ Cadmiumpigmente ■ Ultramarinblau (eigentlich kein Sulfid, enthält ein S_3-Chromophor) ■ Cersulfid-Pigmente
Chromate	<ul style="list-style-type: none"> ■ anorganische Pigmente ■ mittleres Preisniveau ■ große Teilchengröße (dadurch hohe Deckkraft) 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Chromgelb (Bleichromat) ■ Molybdatrot (Bleichromat)
Kohlenstoff-Pigmente	<ul style="list-style-type: none"> ■ werden häufig zu den anorganischen Pigmenten gezählt, obwohl aus Kohlenstoff aufgebaut ■ technische Ruße bilden zum Schwarzefärben oder Nuancieren eine außerordentlich bedeutsame Pigmentklasse ■ hohes Absorptionsvermögen, dadurch auch ausgezeichneter UVStabilisator 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Furnaceruß-Typen (zu ca. 98 % eingesetzt) ■ Gasruß-Typen (feinste Teilchen mit ca. 10 bis 80 nm) ■ Flammruß-Typen (60 bis 200 nm) ■ Thermal- und Acetylenruß-Typen

Bei den anorganischen Pigmenten gibt es Molekül-, Ionen- und Atomkristalle. Die Farbe resultiert bei den Kristallen aus der chemischen Zusammensetzung und dem geometrischen Aufbau des Kristallgitters. Als Beispiel für den Aufbau von anorganischen Pigmentkristallen ist in Bild 4.31 die Elementarzelle und ein Cluster des TiO_2 (Rutil) gezeigt.

Um Aussagen zur Alterung von eingefärbten Kunststoffen vergleichbar und gleichzeitig auch relativ kurzfristig verfügbar zu machen, werden in der Regel zeit-
 raffende Bestrahlungen bzw. Bewitterungen in Geräten durchgeführt. Die genauen
 Bedingungen für die künstliche Bestrahlung bzw. Bewitterung von Kunststoffen
 sind in der DIN EN ISO 48922 festgelegt. Dabei wird die Beanspruchung der Werk-
 stoffe durch die verschiedenen Klimafaktoren als „Bewitterung“ und teilweise
 auch als „Belichtung“ bezeichnet. Sie stellt als „äußere Alterung“ bei Beständig-
 keitsprüfungen den bedeutendsten Teilausschnitt der möglichen Alterungsvor-
 gänge dar.

Für die Planung von Prüfabläufen in den Prüfgeräten (und damit für die Simu-
 lation der Wetterfaktoren) und auch für die Extrapolation sowie Interpretation der
 Ergebnisse aus den Tests sind zunächst einmal grundsätzliche Kenntnisse über
 die Strahlungs- bzw. Klimabedingungen und über ihre Wirkung auf die exponier-
 ten Werkstoffe erforderlich. Für die Materialprüfung ist vor allem die Sonnen-
 strahlung an der Erdoberfläche von Bedeutung, die heute gut dokumentiert ist
 (vgl. Bild 5.13).

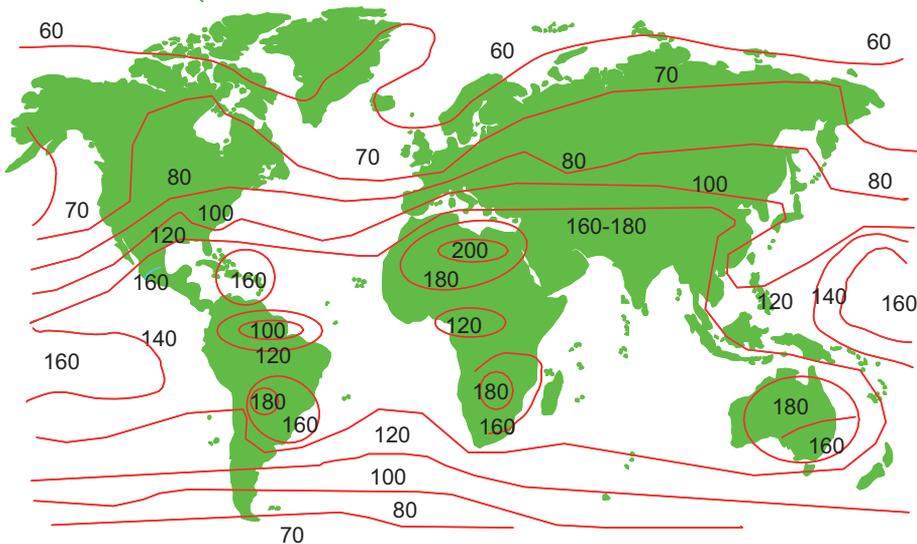


Bild 5.13 Globalstrahlung in kilo Langley (k Ly) pro m^2 und Jahr [9]

Die Energieeinstrahlung in Mitteleuropa liegt bei ungefähr $80 \text{ kLy}/(m^2a) = 3,352 \text{ MJ}/(m^2a)$. $1 \text{ Langley} = 1,0 \text{ cal}/cm^2 = 10,0 \text{ kcal}/m^2 = 41,9 \text{ kJ}/m^2$. Bild 5.13 zeigt sehr deutlich, dass die spektrale Bestrahlungsstärke der Sonnenstrahlung auf der Erdoberfläche sehr stark abhängig vom Ort ist. Hinzu kommt eine Abhängigkeit von der Jahres- und Tageszeit. Auf Basis meteorologischer Daten werden deshalb standardisierte spektrale Verteilungen der Sonnenenergie festgelegt. Zu nennen ist hier z. B. die CIE Publikation Nr. 85, Tabelle 4 [9].

Die CIE-Publication No. 85 stellt also Daten für das Spektrum der Sonnenstrahlung unter atmosphärischen Bedingungen zur Verfügung. Eine verkürzte Version in Form einer Tabelle, welche die maximale globale Strahlung am Äquator beschreibt, ist in DIN EN ISO 48921 enthalten. Referenzwerte für die spektrale, solare Bestrahlungsstärke am Boden sind in ISO 9845 enthalten. Die DIN EN 61725 gibt eine analytische Darstellung für solare Tagesstrahlungsprofile wieder.

Die Strahlungsenergie ist sehr viel charakteristischer für den Bewitterungszustand von Prüfkörpern als die bloße Auslegungszeit, da die Globalstrahlung – außer dem Tag/Nacht-Zyklus – auch starken jahreszeitlichen, meteorologischen und jährlichen Schwankungen in der Intensität wie auch solchen in der spektralen Zusammensetzung unterliegt [1].

Die Strahlungsleistung:

$$\Phi = Q / t \quad (5.5)$$

gibt an, welche Strahlungsenergie Q pro Zeiteinheit von der Strahlungsquelle abgegeben wird. Die zeitlich variierende Bestrahlungsstärke:

$$E = \Phi / F \quad (5.6)$$

gibt an, welche Strahlungsleistung auf eine Fläche F auftrifft.

Bei beiden genannten Größen ist es notwendig, den Wellenlängenbereich anzugeben, in dem die Werte gemessen oder für den die Werte berechnet wurden. Geht man zu kleinen Wellenlängenintervallen über, so erhält man die spektrale Bestrahlungsstärke (Spektralverteilung):

$$E_\lambda = \Phi_\lambda / F \quad (5.7)$$

Sie gibt an, wie groß die Bestrahlungsstärke auf einer Fläche im Wellenlängenbereich $\Delta\lambda$ (üblicherweise $\Delta\lambda = 1 \text{ nm}$) ist. Die Gesamtheit aller E_λ ist die Strahlungsfunktion, oft auch spektrale Energieverteilung der Strahlung genannt. Die Bestrahlungsstärke im Wellenlängenbereich zwischen λ_1 und λ_2 ist dann:

$$E = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} E_\lambda \, d\lambda \quad (5.8)$$

mit der Bestrahlungsstärke E , den beiden Grenzwellenlängen λ_1 und λ_2 sowie der spektralen Bestrahlungsstärke E_λ .

Bild 5.19 und Tabelle 5.1 zeigen den Einfluss verschiedener Farbpigmente auf die Witterungsstabilität beispielhaft für ein mit verschiedenen Blaupigmenten eingefärbtes PE-HD.

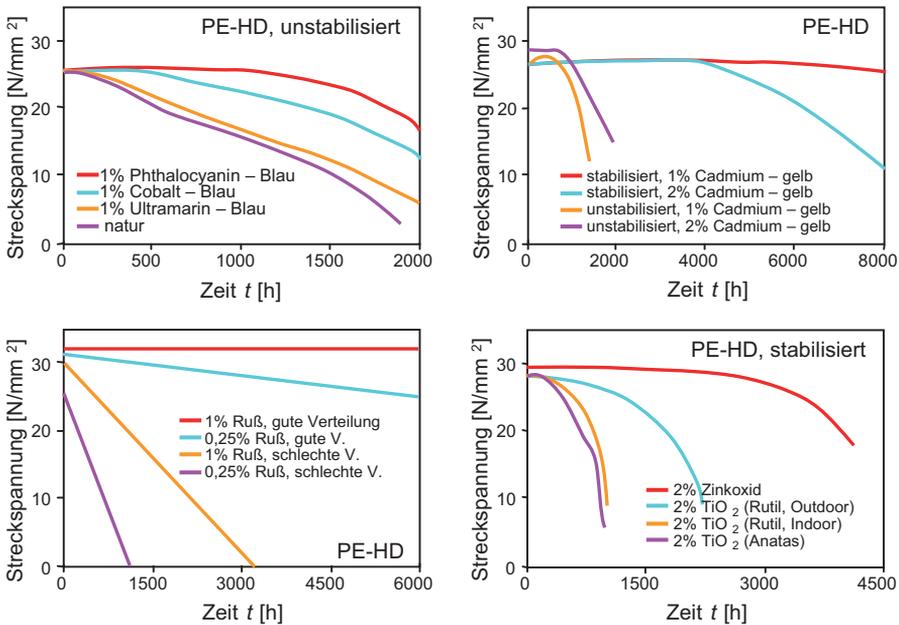


Bild 5.19 Einfluss von Pigmenten auf die Witterungsbeständigkeit von PE-HD untersucht im Weatherometer [1]

Oben links: Einfluss verschiedener Blaupigmente

Oben rechts: Einfluss der Konzentration von Pigment und Stabilisator

Unten links: Einfluss der Verteilung

Unten rechts: Einfluss verschiedener Weißpigmente und deren Struktur

Tabelle 5.1 Verbesserung der Witterungsbeständigkeit von PE-HD durch Farbpigmente im Vergleich zu nicht eingefärbter Naturware [1]

Farbe	Pigmentart	Verbesserung
Weiß	stabilisierte Titandioxide	30 %
Gelb	Cadmiumsulfid	30 bis 40 %
Orange	Cadmiumsulfid/selenid	30 bis 40 %
Rot	Cadmiumsulfid/selenid	30 bis 40 %
Eurorot	Cadmiumsulfid/selenid	40 bis 50 %

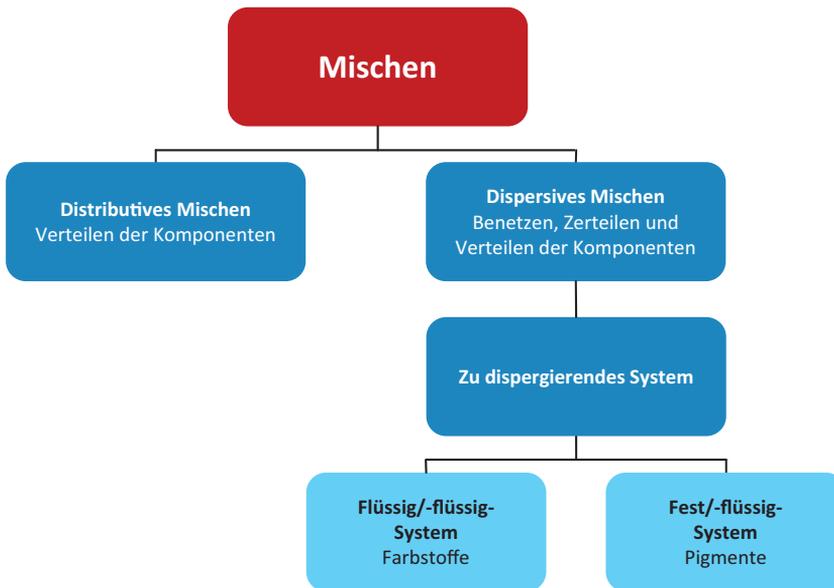


Bild 7.3 Klassifizierung beim Mischen

■ 7.1 Strömungsverhältnisse beim Mischen

Für das Mischen sind, wie bereits erwähnt, die Strömungsverhältnisse in einem vorgesehenen Mischer von fundamentaler Bedeutung. Grundlage aller mathematisch-physikalischen Beschreibungen des Prozessverhaltens und damit auch der Strömungsvorgänge in einem Extruder sind die Erhaltungssätze für Masse, Impuls und Energie.

Zur exakten Beschreibung müssen an jedem durchströmten Ort zu jeder Zeit das Geschwindigkeitsfeld und die thermodynamischen Zustandsgrößen Druck, Dichte und Temperatur bekannt sein. Zur Beschreibung des Materialverhaltens sind die Erhaltungsgleichungen mit einem entsprechenden Stoffgesetz (Konstitutivgleichung) zu verknüpfen. Für die Lösung des Gesamtsystems aus Erhaltungs- und Konstitutivgleichungen sind in den sehr komplexen Geometrien der Mischer stets vereinfachende Annahmen zu treffen und Randbedingungen festzulegen. Die Qualität der Vereinfachungen und der Randbedingungen bestimmt folglich die Genauigkeit der Lösung.

Für ein ruhendes geschlossenes System gilt der 1. Hauptsatz der Thermodynamik. Dieser beschreibt in einem System eine Zustandsänderung von Zustand 1 zu Zustand 2 und besagt, dass die Summe aus zugeführter Wärme Q_{12} und Arbeit W_{12} eine Änderung der inneren Energie ΔU_{12} bewirkt:

$$Q_{12} + W_{12} = U_2 - U_1 \quad (7.4)$$

Bezieht man die Größen relativ auf die Masse m ($q = Q/m$, $w = W/m$, $u = U/m$), so ergibt sich:

$$q_{12} + w_{12} = u_2 - u_1 \quad (7.5)$$

Die dem System beim Übergang von Zustand 1 zu Zustand 2 zugeführte Arbeit ergibt sich durch die am System angreifende Kraft F und den Weg s , also durch die Summe von äußerer Arbeit W_{ext} , der Volumenänderungsarbeit W_V und der mechanischen Reibungsarbeit W_{Diss} (Dissipationsarbeit):

$$W_{12} = \int_1^2 \vec{F} \cdot d\vec{s} = W_{\text{ext}} + W_V + W_{\text{Diss}} \quad (7.6)$$

Dabei gilt mit der Friktionskraft \vec{F}_{fri} , Geschwindigkeit v , Erdbeschleunigung g , Potenzialhöhe z , dem Druck p und Volumen V :

$$W_{\text{ext}} = \left[\frac{m}{2} v^2 + m g z \right]_2 - \left[\frac{m}{2} v^2 + m g z \right]_1 \quad (7.7)$$

$$W_V = - \int_{v_1}^{v_2} p \, dV \quad (7.8)$$

$$W_{\text{Diss}} = \int_1^2 \vec{F}_{\text{fri}} \cdot d\vec{s} \quad (7.9)$$

Dabei ist die zugeführte Arbeit definitionsgemäß größer null und die abgeführte Arbeit kleiner null.

Im System führt eine Temperaturänderung ΔT und/oder eine Druckänderung Δp zu einer Änderung der Enthalpie ΔH unter Annahme identischer spezifischer Wärmekapazitäten $c = c_v = c_p$ und einer konstanten Dichte ρ :

$$\Delta H = c \Delta T + \Delta p / \rho \quad (7.10)$$

Der erste beschreibende Erhaltungssatz ist der sogenannte Kontinuitätssatz:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{v}) = 0 \quad (7.11)$$

Dabei ist ρ die Dichte der Kunststoffschmelze, t die Zeit und \vec{v} der Geschwindigkeitsvektor in die Richtung der jeweiligen Koordinate. In ausführlicher Form lautet die Gleichung für kartesische Koordinaten (x, y, z):

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} = - \left[\frac{\partial}{\partial x} (\rho v_x) + \frac{\partial}{\partial y} (\rho v_y) + \frac{\partial}{\partial z} (\rho v_z) \right] \quad (7.12)$$

Der Kontinuitätssatz ist also die mathematische Formulierung einer Massenbilanz in einem ortsfesten Kontrollraum. Er besagt, dass die in einem Volumen gespeicherte Masse der Differenz der ein- und austretenden Masseströme entspricht.

Die nachfolgende Bewegungsgleichung (Impulssatz) ist der zweite Erhaltungssatz:

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho \vec{v}) = -\nabla (\rho \vec{v} \vec{v}) - \nabla p - \nabla \tau + \rho \vec{g} \quad (7.13)$$

Darin ist τ der Schubspannungstensor, p der Druck und \vec{g} die Fallbeschleunigung. In ausführlicher Form lautet die Gleichung für kartesische Koordinaten (x, y, z) wie folgt:

x -Richtung:

$$\rho \left(\frac{\partial v_x}{\partial t} + v_x \frac{\partial v_x}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_x}{\partial y} + v_z \frac{\partial v_x}{\partial z} \right) = - \frac{\partial p}{\partial x} \left(\frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} \right) + \rho g_x \quad (7.14a)$$

y -Richtung:

$$\rho \left(\frac{\partial v_y}{\partial t} + v_x \frac{\partial v_y}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_y}{\partial y} + v_z \frac{\partial v_y}{\partial z} \right) = - \frac{\partial p}{\partial y} \left(\frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial z} \right) + \rho g_y \quad (7.14b)$$

z -Richtung:

$$\rho \left(\frac{\partial v_z}{\partial t} + v_x \frac{\partial v_z}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_z}{\partial y} + v_z \frac{\partial v_z}{\partial z} \right) = - \frac{\partial p}{\partial z} \left(\frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zz}}{\partial z} \right) + \rho g_z \quad (7.14c)$$

Die Bewegungsgleichung drückt aus, dass die Änderung eines Impulses pro Zeit in einem Volumenelement der Differenz von ein- und austretendem Impuls plus der am System wirkenden Kräfte (z. B. aufgrund der Erdbeschleunigung) entspricht.

Der Energiesatz bilanziert die im Kontrollraum gespeicherte Wärmemenge zu den zu- und abfließenden Wärmeströmen und den im Kontrollraum existierenden Wär-

Index

A

- Abbau 181
 - photochemischer 182
 - von Antioxidanzien 177
 - von Polymeren 177, 192
 - von UV-Stabilisatoren 177
- Abbaubarkeit, biologische 134
- Abbaureaktion 191
 - oxidative 190
- Aberration, chronische 24
- Abfall der mechanischen Eigenschaften 174, 176
- Abkühlbedingungen 130
- absolute Farbstärke 113
- absorbierende Medien 215
- Absorption 32, 35, 38 ff., 140, 216, 219, 221
 - selektive 139
 - spektrale 22 f.
 - spezifische 227
 - von Lichtquanten 189
 - von Strahlungsenergie 177
- Absorptionsenergie 40
- Absorptionsfarben 135
- Absorptionsgrad 40, 205
- Absorptionskoeffizient 40, 189, 213, 215
- Absorptionskonstante 226
- Absorptionsprozess 136
- Absorptionsverhalten 192
- Absorptionsvermögen 39
- Absorptionszentren 181
- Abtönen 114, 149
- Adaptation 64
 - chromatische 26, 63, 71
- additive Farbmischung 28, 32 f.
- Additivierung 8
- Additivwanderung 181
- Adsorptionen 138
- Agglomerat 141, 250
- Agglomeratbildung 280
- Agglomerattypen 261
- Agglomeratzerteilung 258 f., 263
- Aggregat 141, 250
- Aggregatbildung 280
- Akkommodation 21
- akute orale Toxizität 134
- akute Toxizität 134
- Algentoxizität 134
- Alkalibeständigkeit 120
- Alterung 173, 176, 181
 - äußere 180, 185
 - chemische 181
 - Einfluss der Farbmittel 192
 - Einfluss der Proben­temperatur 183
 - Einfluss der Strahlung 183
 - Einfluss der Verarbeitung 182
 - Einflussfaktoren 179
 - innere 179 f.
 - irreversible 174
 - physikalische 177, 182
 - Prüfkriterien 195
 - Prüfung 199, 202
 - reversible 174
 - von Polymeren, visuelle Beurteilungsverfahren 196
 - witterungsbedingte 173
- alterungsbedingte Farbveränderungen, Schnelltest zur Bestimmung 87
- Alterungskriterien, Prüfmetho­den für verschiedene 195
- Alterungsursachen
 - äußere 180
 - innere 179
- Alterungsverhalten 177, 194
 - im Freiluftklima 199
 - materialseitiges 181
 - photochemisches 188
- Alterungsvorgänge
 - chemische 181
 - physikalische 181
- Aluminiumpigmente 164
- Aluminiumpulver 161
- Ambivalenz 28
- Ameskerntest 134
- Ames-Test 134
- Amine, primäre aromatische 133
- Anforderungen 6
 - an Farbmittel 116, 119
- angeregter Zustand 136
- Angriff, biologischer 195

- Anguss 286
 Anhaften von Schmelze 290
 Anlagenaufbau 317
 Anlagentechnik 315
 anorganische Effektpigmente 156
 anorganische Pigmente 153
 Ansatz von Kubelka und Munk 216
 Antiauxochrom 137
 Antioxidanzien, Abbau 177
 Antriebsleistung 231
 aquatische Toxizität 134
 Arbeit, äußere 234
 Arbeitsschutz 132
 Aristoteles 66
 Arrhenius-Ansatz 239
 asymmetrischer Farbraum 75
 Atline-Farbmessung 440
 Atomkristalle 154
 Aufbau
 – chemischer 119
 – des Kristallgitters 154
 – von quellungsinduzierten Spannungen 177
 – von thermischen Spannungen 177
 Aufbereitungssysteme 320
 Aufblättern von Laminaten 195
 Aufhellen 146
 Aufhellung 121f.
 Aufschmelzen 360
 Auge 10, 21, 32, 54, 62
 Ausbleichen 124, 189
 Ausblühen 127f., 181, 195
 Ausbluten 127f.
 Ausbreitungsgeschwindigkeit 38
 Ausbreitungsrichtung 38
 Ausfärbung 212, 224
 ausgetauschte Wärme, Zylinderwand 231
 Auskreiden 195
 Auslegungszeit 186
 Ausschwitzen 181, 195
 äußere Alterung 180, 185
 äußere Alterungsursachen 180
 äußere Arbeit 234
 Austauschprozesse, mechanisch erzeugte 319
 Auswaschung 178
 automatische Toleranzfindung 74
 Auxochrom 137
 Azimutwinkel 214
- B**
- Barrierschnecke 330f.
 Bauteilgeometrie 130
 Beanspruchungskollektiv 174f., 202
 Beanspruchungszahl 251
 Beauvais, Vinzenz von 66
 Becher 419
 Bedarfsgegenständeverordnung 133
 Beer 213
 Beer-Lambert-Gesetz 36, 39
 Belagbildung 197
 Belichtung 185
 benetzen 249
 Benetzungsvorgänge 232
 Benetzung, Verbesserung 291
 Beobachter 18, 62
 Beobachterreiz 19
 Berechnung von Farbzepturen 223
 Beschreibungen des Prozessverhaltens, mathematisch-physikalische 233
 Beständigkeit 174
 – chemische 119
 Bestimmung alterungsbedingter Farbveränderungen, Schnelltest 87
 bestrahlte Probe 36
 Bestrahlung 187, 205
 – Dosis 187
 – künstliche 185
 – spektrale 187
 – zeitraffende 185
 Bestrahlungsdosis 207
 Bestrahlungsstärke 186
 – spektrale 186f.
 – wirksame 187
 Beurteilungsverfahren, visuelle, für die Alterung von Polymeren 196
 Bewegungsgleichung 235
 Bewegungsprinzip 325
 bewerten 53
 Bewertung
 – von Blasfolien 421
 – von Flachfolien 421
 – von Mikroskopiebildern 421
 Bewertungsskala 420
 Bewitterung 185
 – künstliche 202
 – natürliche 199
 – von Kunststoffen 185
 – zeitraffende 185
 bewitterungsbedingte Alterung 173
 Bewitterungsbeständigkeit 194
 Bewitterungsnorm 205
 Bewitterungsprüfung 174
 Bewitterungsverhalten 182
 Bezugsfarben 53
 biaxiale Dehnströmung 240
 Bildschärfe 94f.
 Bindemittel 302
 Bindenähte 169
 biologische Abbaubarkeit 134
 biologischer Angriff 195
 Black-Spots 347
 Blasflaschen 419
 Blasfolien
 – Bewertung 421, 439
 – Vermessung 421, 439
 blaues Licht 23
 Blaumaßstab 126
 Blauwollskala 124f.

Blockströmung 243
 – reine 242
 Bolen 252
 Boltzmann-Gesetz 177
 Booy 352
 braune Schlieren 290
 Brechung 35, 38
 Brechungsindex 38, 63, 140, 146 f.
 Brechungsindexsprung 63
 Breite der Verweilzeitverteilung 243
 Brenner 290
 Brillanz 94, 160, 162
 Brinkmann-Zahl 237
 Brownsche Molekularbewegung 252
 Bruchenergie 259
 Bruchverhalten 261
 Brückenbildung 291
 Buntheit 70 f.
 Buntheitskoordinaten 71
 Buntpigmente 143
 Buntton 18

C

Carreau-Ansatz 238
 C-förmige Schneckenkammern 365
 Charakterisierung
 – Farbmittel 113
 – Farbstärke 113
 – Farbtiefe 113
 Chargenschwankungen 279
 Charge-Transfer-Übergänge 138
 Chemikaliengesetz 131 f.
 chemische Alterung 181
 chemische Alterungsvorgänge 181
 chemische Beständigkeit 119
 chemische Konstitution 126
 chemischer Aufbau 119
 Chevreul, Michel Eugene 66
 Chroma 70
 chromatische Aberration 24
 chromatische Adaptation 26, 63, 71
 Chromophor 35, 136 f.
 chronische Toxizität 134
 CIE 59
 CIELab-Farbenraum 70 f.
 Clarity 95
 Cluster 263
 Clusterbildung 264
 Cold-Feed-Extrusion 294
 Color-Matching 54, 66, 100
 Colorslider 57
 Colour-Index 111 f.
 Colour-Index-Generic-Name 112
 Colwell 252
 Compoundieranlagen 318
 Compoundieren 315
 Compoundiermaschinen 324
 Constitution-Number 112

Custom-Coloring 294
 Customized-Color-Design 12

D

Daphnientoxizität 134
 Datenbank 212
 Dauer der Gebrauchstauglichkeit 176
 Da Vinci, Leonardo 66
 Deaktivierung, strahlende 136
 Deckfähigkeit 162, 276
 Deckkraft 146
 Deckvermögen 147
 Dehnen 247
 Dehnströmung, biaxiale 240
 Dehnungsvorgänge 247
 Dehydrochlorierung 182
 Deklinationswinkel 214
 Desagglomeration 257
 Deutlichkeit 94
 Dichte der Verweilzeitverteilung 243
 Dichteverteilung
 – inhomogene 179
 Deseleffekt 287
 diffuse Intensitäten 215
 diffuse Remission 218
 diffuse Rückstrahlung 38
 diffuses Streulicht 93
 Diffusion 178
 Diffusionsgesetz, Ficksches 178
 Diffusionskoeffizient 178
 digitale Farbkommunikation 106
 DIN 5033 12, 17, 59, 62, 67 f., 80, 196
 DIN 6174 70
 DIN 50035 173
 DIN 53235 114 f.
 DIN 53775 127
 DIN 54001 127
 DIN 75220 175
 DIN EN ISO 105 127
 DIN EN ISO 4892 205
 DIN EN ISO-Normen 76
 DIN-Farbenkarte 77
 Dispergierbarkeit 119
 dispergieren 144, 249, 295
 Dispergierenergie 300
 Dispergiergrad 263
 Dispergierhärte 144
 dispergierharte Pigmente 292
 Dispergierhilfsmittel 280 ff., 285
 Dispergiermaß 258
 Dispergierung 281 f., 285
 Dispergierzeit 300
 Dispersionskoeffizienten 244
 dispersives Mischen 232
 Dissipation 232
 Dissipationsarbeit 234
 dissipierte Energie 232
 Distinctness of Image 94

distributives Mischen 231f., 242
 DOI 94
 Doppelschneckenextruder 333
 doppelte Weibull-Verteilung 245
 d-Orbitale 138
 Dosierpumpen 303
 Dosis der Bestrahlung 187
 Drehsinn 324
 Dreifarbentheorie 17
 Dreistrahl-Konzept 222
 Dreistrahl-Näherung 222
 Dreizonenschnecke 330
 Druckaufbau 340
 Druck-Durchsatzverhalten 358f.
 Druckfiltertest 421
 Druckfilterwert 282, 285, 300, 425
 Dualitätscharakter 32
 Dullness 94
 Dunkeln 197
 Dunkelphasen 205
 Durchflussrührkessel 244
 dynamische Mischer 289

E

ebene hyperbolische Strömung 240
 Echtheit 119, 151
 Ecken, tote 287
 Effektpigmente 144, 158f.
 – anorganische 156
 – Mechanismen 160
 Effektpigment-Masterbatch 171
 Effizienz der Farbpräparation 283
 Eichausfärbungen 223
 Eichfärbungen 212
 Eichgrößen 212
 Eichkonstanten 212
 Eichreihen 212, 223, 226
 Eichwerte 225
 Eigenfarbe 109, 114, 146, 276ff.
 Eigenschaften
 – mechanische, Abfall 174, 176
 – ökologische 134
 – optische 109
 – toxikologische 132, 134
 Eigenspannungen 179
 einfache Weibull-Verteilung 245
 Einfachstreuung 213f.
 Einfärbekonzentration 296
 Einfärben 273
 – mit Flüssigfarben 302
 – mit Masterbatches 296, 298f.
 – mit Monobatches 298
 – mit Monokonzentraten 296, 299
 – mit Pigmenten 292
 – mit Pulverpigmenten 290
 – nachträglich 312
 Einfärberezept 209f.
 Einfärbestrategie

– alles in eigener Regie 309
 – alles von diversen Lieferanten besorgen 311
 – Rundumversorgung aus einer Hand 308
 Einfluss
 – der Farbmittel auf die Alterung 192
 – der Strahlung und Proben temperatur auf die Alterung 183
 – der Verarbeitung auf die Alterung 182
 – materialbedingter 277
 – prozessspezifischer 285
 Einflussfaktoren auf die Alterung 179
 eingefärbte Kunststoffbauteile, Herstellung 274
 eingestrahlte Energie 40
 eingestrahlte Energiebeträge 207
 Einschneckenextruder 327
 Einstellen einer bestimmten Farbe 210
 Einstellen einer Farbe 211
 einstufige Masterbatchherstellung 317
 Einteilung von Farbmitteln 111
 Eintrüben 197
 Einzugsverhalten 300
 elektromagnetische Strahlung 28f.
 Elektronenniveau 32
 Elektronenpaare, freie 137
 Elektronenübergänge 136
 Emission 35
 – von Strahlung 177
 Emissionsgrad 40
 Emissionsspektrum 31
 emittierende Quellen 32
 Empedokles 66
 Empfänger, photoelektrische 80
 Empfindlichkeit 23
 – spektrale 19, 22f., 187
 Empfindungen 26
 Energie
 – dissipierte 232
 – eingestrahlte 40
 – Erhaltungssatz 233
 – innere 233
 Energiebeträge, eingestrahlte 207
 Energiebilanz 177
 Energieeintrag 231
 Energiesatz 235
 Energieverteilung 58
 – der Strahlung, spektrale 186
 – spektrale 58
 Enthalpieerhöhung 231
 Entmischung 181, 303
 Entsättigung 26
 Entwicklungstrends 13
 Erdmenger 333, 336, 352
 Erdoberfläche, Sonnenstrahlung 185
 Erhaltungssatz
 – für Energie 233
 – für Impuls 233
 – für Masse 233
 Ermittlung optischer Konstanten 212, 219
 Erosion 251, 259, 262, 264

Ersatzgrößen 419
 Erscheinungsbild 53
 Erwärmung einer Probe 177
 erzwungene Konvektion 231
 EU-Gesetzgebung 133
 Europäische Resolution 133, 135
 Ewald Hering 66
 Expositionszeiten 207
 Extinktion 39
 Extinktionskoeffizient 39
 – molarer 36
 Extinktionsspektren 80
 Extruder
 – Leistungsbilanz 231
 – Strömungsvorgänge 232

F

Fabriekinfärbung 274
 Falschlufförderung 300
 Falten 247
 Faltungsvorgänge 247
 Farbabstand 63, 72
 Farbabstimmung 66
 Farbabweichung 72, 213
 Farbänderung 72, 195
 Farbart, gleiche, Farben 69
 Farbatlas 77
 Farbauswahl 56, 66
 Farbband 113
 Farbbelag 128
 Farbbericht 77
 Farbdatenbank 210
 Farbdifferenz 63, 72
 Farbe 17
 – Einstellen 210 f.
 – gleiche Farbart 69
 – Helligkeit 71
 – Nachstellen 211
 – Veränderungen 173
 Farbechtheit 77
 Farbeffekt 135
 Farbeindruck 109
 Farbeinstellung 118, 210
 Färbekosten 296
 Farbpfindung 24, 30, 62, 70
 – Intensität 114
 Farbenlehre 17
 – Goethe 66
 Farbenraum des Normvalenzsystems 69
 Farbestehung 135
 Farbentwicklungsprozess 101, 210
 Färbepotenzial 225
 Farbfläche 225
 Farb-Flop-Effekt 168
 Farbfreigabe 100
 Farbfreigabeformular 100
 Farbgebung 109
 Farbgleichung 34
 Farbkommunikation 104
 – digitale 106
 Farbkorrekturberechnung 223
 Farbkreis 25
 Farbkugel 25
 Farbmanagement 66
 Farb-Masterbatch 275
 Farbmessgeräte
 – für flächige Proben 78
 – für Schüttgüter 82
 Farbmessstechnik 21
 Farbmessung am Granulat 82
 Farbmotrik 18, 53
 farbmotrische Qualitätssicherung 56
 Farbmischung 33
 – additive 32 f.
 – subtraktive 28, 32, 35
 Farbmittel 109 ff.
 – Anforderungen 116, 119, 131
 – Charakterisierung 113
 – Einfluss auf die Alterung 192
 – Einteilung 111
 – gesetzliche Anforderungen 131
 – Klassifizierung 112
 – Konzentration 114
 – organische 110
 – Qualitätsmerkmale 116
 – technologische Anforderungen 119
 – Wanderung 127
 Farbmittleinsatz 276, 282
 Farbmittelgehalt 224
 Farbmittelkonzentration 114 f.
 Farbmodelle 66
 Farb-Monobatch 275
 Farb-Monokonzentrat 275
 Farbnachstellung 118, 209
 Farbordnungen 66
 Farborte 225
 Farbpotential 291
 Farbpräparation, Effizienz 283
 Farbpsychologie 26
 Farbraum 66
 – asymmetrischer 75
 – des Normvalenzsystems 68
 – symmetrischer 75
 Farbreaktion 32
 Farbreiz 19, 23, 62
 Farbreizanteile 34
 Farbreizfunktion 62, 68
 Farbrezept 209
 – Berechnung 209, 222
 Farbrezeptur
 – Berechnung 211, 219, 223, 226
 – Festlegung 209
 – Korrektur 223
 – Service 210
 Farbscanner 81, 87
 Farbschattierungen 276
 Farbschlieren 288 f., 324

- Farbspektrum 25
 Farbsprung 60
 Farbstandards 56
 Farbstärke 36, 113, 280
 – absolute 113
 – Charakterisierung 113
 – relative 113
 Farbstärkewerte 282
 Farbstich 146f.
 Farbstippen 288, 291
 Farbstoffe 111, 139
 – prinzipielle Eigenschaften 139
 Farbsysteme 66f.
 farbtechnische Normal- oder Normbeobachter 63
 Farbtemperatur 31, 58
 Farbtiefe 77, 114ff.
 – Charakterisierung 113
 Farbtiefewertung 116
 Farbtoleranz 72
 Farbtoleranzfestlegung 73
 Farbtoleranzvorgabe 75
 Farbton 18, 54, 71, 113, 162
 – Messung am Granulat 444
 Farbtonabweichungen 279
 Farbtonbereiche 147f.
 Farbtonmanagement 210
 Farbtonunterschiede 63, 70, 72, 113
 Farbtonvorlage 209
 Farbtonwinkel 115
 Farbträger 136
 Farbtrends 10
 Farbumschlag 60
 Farbumstimmung 63
 Farbumterscheidungsvermögen 63
 Farbumterschied 63, 70, 72, 113
 Farbvalenz 34, 67
 Farbveränderung 121
 – alterungsbedingte, Schnelltest zur Bestimmung 87
 Farbvorlagesysteme 56
 Farbwahrnehmung 21, 25, 29, 32
 Farbwechsel 293
 Farbwerte 34, 57, 67, 213
 Fasern, Freilegen 198
 FDA-Bestimmungen 131
 Fehlermöglichkeiten 287
 Feke 259
 Fertigung
 – von Masterbatches 293
 – von Monokonzentraten 293
 Festlegung der Grundrezeptur 211
 Feuchteflecken 280
 Feuchtewelle 179
 Feuchtigkeit 127
 Feuchtigkeitsschlieren 289
 Ficksches Diffusionsgesetz 178
 Filterfarbe 17
 Fischtoxizität 134
 Flachfolien
 – Bewertung 421, 439
 – Vermessung 421, 439
 flächige Proben, Farbmessgeräte 78
 Flecke 263
 Fließfronten 169
 Fließlinien 169
 Fließparameter 239
 Fließrichtung 129
 Fließverhalten 238, 284
 Fließverhältnisse 240
 Fließweg 284
 Fließzahl 240
 Flittereffekt 157, 159
 Flittereffektpigmente 165f.
 Fluoreszenz 136, 158
 Fluoreszenzfarbstoffe 136
 Fluoreszenzlampen 203
 Flüssigfarbe 302
 Flüssig-/Flüssig-Mischen 266
 Folien 419
 Folienschläuche 419
 Formstabilität 198
 Fotodioden 78
 Fovea 64
 Freibewitterung 201f.
 – Prüfung der Alterung 199
 Freibewitterungsversuche 175
 freie Elektronenpaare 137
 freie Konvektion 231
 freie Metallionen 138
 Freilegen von Fasern 198
 Freiluftklima, Alterungsverhalten 199
 Fremdionen 146
 Füllgrad 340
- ## G
- Gastheorie, kinetische 215
 Gebrauchseigenschaften, Veränderungen 173
 Gebrauchstauglichkeit, Dauer 176
 Gefährdungspotenzial 132
 Gefahrstoffverordnung 132
 Gefühle 26
 Gegendrail-Doppelschneckenextruder 364
 Gegenfarbtheorie, Heringsche 56
 gelber Fleck 23, 64
 gelbe Spektrallinie des Natriums 27
 Gelbstichindex 184
 Gelbwert 124
 genormte Lichtquellen 59
 Gentoxizität 134
 Geometrie
 – 20° 92
 – 45° 92
 – 45/0° 80
 – 60° 92
 – 75° 92
 – 85° 92
 – d/8° 81

Gerätebewitterung 207
gerichtete Reflexion 93
gerichtete Rückstrahlung 38
Gesamtfarbabweichung 72
Gesamtfarbdifferenz 72
gesättigte Spektralfarben 68
Gesetz 131
– Hooke 177
– Lambert-Beer 214, 219
Gesetzgebung 132
gesetzliche Anforderungen an Farbmittel 131
Gesichtsempfindung 17
Gesundheitsschutz 132
Giesekus 256
Gitter, holografisches 78
Glanz 90 f., 93
– metallischer 160, 162
Glanzänderung 195, 197
Glanzschleier 92
Glanzunterschiede 287
Gleichdrall-Doppelschneckenextruder 333
gleiche Farbart, Farben 69
Globalstrahlung 185, 187, 204
– Spektralverteilung 188
– Strahlungsfunktion 188
glühender Körper 31
Glühkörper, strahlender 31
Goethe 66
Goethe's Farbenlehre 66
Goldbronzepigmente 164
Graetz-Zahl 237
grafische Methode 74
Granulat
– Farbmessung 82
– Messung des Farbtons 444
– Wareneingangskontrolle 86
Granulatfarbmessung 444
Graumaßstab 126 f., 196
Grauskala 202
Grauwertanalyse 420
Grauwertigkeit 420
Grenzflächenspannung 241, 266
Grenzflächenvergrößerung 248
Grenzkonzentration 123
Grenzschubspannung 250
Grenzwerte 133
– zulässige 131
Großwinkelstreuung 95
Grundlagen, physikalische 28
Grundrezeptur, Festlegung 211
grünes Licht 23

H

Haftvermittlung 291
Hantelmodell 252
Harmonisierung 54
Härte 144
– Mohssche 144

Hauptreflexionsrichtung 91
Hautreizung 134
Hautunverträglichkeit 134
Haze 90, 92 f., 95
Hellbezugswert 68, 115
Hell-Empfindlichkeitsmaxima 22
Helligkeit 162
– einer Farbe 71
Helligkeitssignal 24
Hellphasen 205
Helmholtz, Hermann von 66
Hering, Ewald 66
Heringsche Gegenfarbtheorie 56
Herstellung eingefärbter Kunststoffbauteile 274
Hitzebeständigkeit 120, 122 f.
Hitzebestabilität 120, 122, 182
holografisches Gitter 78
Homogenität 332
Hookesches Gesetz 177
Hornhaut 21
Hot-Feed-Extrusion 294
hydrodynamische Kräfte 259
Hydrolyse 178, 181
Hydroperoxydgehalt 182

I

Impuls, Erhaltungssatz 233
Impulssatz 235
indirekte Messungen 419
Infrarotbereich 30
inhomogene Dichteverteilungen 179
Inline-Farbmessung in der Schmelze 447
innere Alterung 179 f.
innere Alterungsursachen 179
innere Energie 233
inneres Strahlungsfeld 217
instabile Kristallisationszustände 179
Intensität 32
– diffuse 215
– einer Farbempfindung 114
Intensity of Segregation 249
Interferenz 167
Interferenzeffekt 167
Interferenzfarbe 168
intermolekulare Vernetzung 182
internationale Belichtungsnorm 205
Ionenkristalle 154
ionisierende Strahlung 180
irreversible Alterung 174
irreversible Veränderungen 174
Isidor von Sevilla 66
ISO 105 196
ISO 4582 195

K

Kanalmodell 356
Kanzergenität 134

- Kao 255
 Kennwerte, optische 223
 Kessler 255 f.
 Kettenabbrecher 194
 Kettenbrüche 182
 kinetische Gastheorie 215
 Klassifizierung, Farbmittel 112
 Kleinwinkelstreuung 95
 Klimabedingungen 185
 Klimatypen 199
 Knetscheibenreaktoren 395
 Kohäsionskräfte 259
 Kohlebogenlampen 203
 Ko-Kneter 382
 Komplementärfarbe 32, 35, 135, 139
 Kondenswasser 289
 konfokale Laserscan Mikroskopie 284
 Konstanten, optische 219
 – Ermittlung 212, 219
 Konstitution, chemische 126
 Kontaktbluten 128
 Kontinuitätssatz 234
 Konvektion
 – erzwungene 231
 – freie 231
 Konzentration des Farbmittels 114
 Konzentrationsabhängigkeit 113, 123
 Konzentrationsreihen 122
 Konzept der Mehrfachstreuung 215
 Korngröße 144
 Korngrößenverteilung 146
 Körperfarbe 17
 Körper, glühender 31
 Korrektur von Farbzepturen 223
 Kräfte, hydrodynamische 259
 Kreiden 155
 Kreidung 182
 Krekel 251 f.
 Kristalle 151
 Kristallgitter, Aufbau 154
 Kristallgröße 155
 Kristallisationsgrad 139
 Kristallisationszustände, instabile 179
 Kristallmodifikation 126, 152, 155 f.
 Kubelka 216, 220, 222, 224
 – Ansatz 216
 Kubelka-Munk-Theorie 215
 künstliche Bestrahlung 185
 künstliche Bewitterung 202
 – Prüfung der Alterung 202
 Kunststoffbauteile, eingefärbte, Herstellung 274
 Kunststoffe, Bewitterung 185
 Lambert 213
 Lambert-Beersches Gesetz 214
 laminares Schermischen 248
 laminares Strömungsfeld 319
 Lamine, Aufblättern 195
 Längsmischen 242
 Längsmischverhalten 245
 Längsmischvorgänge 242
 Laserscan Mikroskopie, konfokale 284
 Leistungsbilanz 231
 – an einem Exruder 231
 Leistungsumsetzung 231
 Leuchtdichte 23, 79
 Leuchtpigmente 144
 Leuchtquellen 31
 Licht
 – blaues 23
 – grünes 23
 – rotes 23
 – sichtbares 29 f.
 – weißes 32
 Lichtalterung 124, 126
 Lichtart 58 f.
 Lichtauslöschung 39
 Lichtbeständigkeit 124, 126, 192, 194
 Lichtechtheit 126 f.
 Lichtechtheitsprüfmethode 125
 Lichtechtheitsprüfung 202
 Lichtfarbe 29, 32
 Lichtintensität 39
 Lichtquanten 136
 – Absorption 189
 Lichtquelle 18, 20, 58
 – genormte 59
 – Strahlungsfunktion 67
 Lichtreiz 19 f.
 Lichtspektrum 36
 Lichtstabilität 124, 127
 Lichtstrahlung 28
 Lichtteilchen 136
 Lichtwellen 32
 Lieferformen 171
 Ligandenfeldtheorie 138
 Ligandorbitale 138
 Linienspektrum 31
 Linse 21, 24
 List 382
 Löslichkeit 111, 119, 127, 129, 140
 – partielle 128
 – teilweise 128
 L-Zäpfchen 23
- L**
- Lab-Farbsystem 71
 Lab-System 70
 Lagerbedingungen 98
 Lagerhaltung 305
- M**
- makroskopische Oberflächenstrukturen 81
 Malkin 263
 Manas-Zloczower 259 f.
 Martin 252
 Mason 254 f.

Masse, Erhaltungssatz 233
 Masterbatches 293f.
 – Einfärben 296, 298f.
 – Fertigung 293
 Masterbatchfertigung 290
 Masterbatchherstellung 294
 – einstufige 317
 – zweistufige 317
 materialbedingte Einflüsse 277
 materialseitiges Alterungsverhalten 181
 mathematisch-physikalische Beschreibungen des
 Prozessverhaltens 233
 Mattigkeit 94
 Maxwell, James Clerck 66
 mechanische Eigenschaften, Abfall 174, 176
 mechanische Reibungsarbeit 234
 mechanisch erzwungene Austauschprozesse 319
 Mechanismen bei Effektpigmenten 160
 Medien 180
 – absorbierende 215
 – opake 221
 – streuende 215
 Mehrfachbelichtungen 126
 Mehrfachstreuung 213f.
 – Konzept 215
 Mehrschneckenextruder 395
 Mesomerie 137
 mesopisches Sehen 23
 Messanordnung 78
 Messung
 – des Farbtons am Granulat 444
 – indirekte 419
 Metalleffekt 157, 159
 Metalleffektfarben 165
 Metalleffektpigmente 157, 160f.
 Metallhalogenidlampen 203
 Metallionen, freie 138
 metallischer Glanz 160, 162
 Metallorbitale 138
 Metallpigmente 156, 164
 Metamerie 58, 60f.
 Methode
 – grafische 74
 – statistische 74
 Migration 116, 127f., 134, 139, 304
 Migrationsechtheit 127, 132
 Migrationsverhalten 119
 Mikrogranulat 323
 Mikroerntest 134
 Mikroskopiebilder, Bewertung 421
 Mischelemente 289
 Mischen 231
 – dispersives 232
 – distributives 231f., 242
 Mischer 291
 – dynamische 289
 – statische 289
 Mischfarbe 32, 35
 Mischgüte 420

Mischprozesse 319
 Mischschnecke 330
 Mischteil 329f.
 Mischverhalten 334
 mittlerer Partikeldurchmesser 255
 Mohssche Härte 144
 molarer Extinktionskoeffizient 36
 Molekularbewegung 231
 – Brownsche 252
 Molekülkristalle 154
 Molekülstrukturen 141, 152
 Monobatches 275
 – Einfärben 298
 Monochromator 78
 Monokonzentrate 275, 294
 – Einfärben 296, 299
 – Fertigung 293
 Monokonzentratfertigung 290
 Monokonzentrattherstellung 294
 Morphologie 142
 Munk 216, 220, 222
 – Ansatz 216
 Munsell, Albert H. 66
 Munsell-System 77
 Mutagenität 134
 M-Zäpfchen 23

N

Nachkondensation 181
 Nachkristallisation 181
 Nachleuchten 159
 Nachpolymerisation 181
 Nachstellen einer Farbe 211
 Nachstellung 209
 nachträgliches Einfärben 312
 Narbtafeln 419
 Natrium, gelbe Spektrallinie 27
 natürliche Bewitterung 199
 NCS-System 56
 Nervenerregung 22f.
 Netzhaut 21, 62
 Newton 30, 66, 109
 Normalbeobachter, farbtechnische 63
 Normal- oder Normbeobachter, farbtechnischer 63
 Normbeobachter 64
 – farbtechnischer 63
 Normfarbtafel 68
 Normfarbwertanteile 68
 Normfarbwerte 67f.
 Normierungskonstante 114
 Normlichtart 58ff., 63
 Normspektralwerte 64, 67
 Normvalenzsystem 67
 – Farbenraum 69
 – Farbraum 68
 Nuancieren 149

O

Oberfläche 65
 – Welligkeit 93
 Oberflächenbehandlung 155
 Oberflächenbeschaffenheit 54
 Oberflächenbeschichtung 287
 Oberflächenkontakt 128
 Oberflächenmanagement 66
 Oberflächenrisse 195
 Oberflächenstruktur 287
 – makroskopische 81
 Oberflächentemperatur 189, 204
 Objekt 65
 ökologische Eigenschaften 134
 Online-Druckfiltertest 431, 436
 opake Medien 221
 opake Proben 218
 Opazität 94
 optische Eigenschaften 109
 optische Kennwerte 223
 optische Konstanten 219
 – Ermittlung 212, 219
 optischer Strahlungstransport 213
 Orange Peel 90, 93
 organische Farbstoffe 110
 organische Pigmente 150
 Orientierung 169
 Orientierungsspannungen 179
 Oxidation 181, 190
 Oxidationsbeständigkeit 194
 oxidative Abbaureaktionen 190

P

Pantone-System 56
 partielle Löslichkeit 128
 Partikeldurchmesser, mittlerer 255
 Partikelgrößen 143
 Partikelgrößenverteilung 147
 PCB 133
 Perlglanzeffekt 157, 159, 167
 Perlglanzpigmente 166f.
 Peroxide, Wechselwirkung 120
 Pflichtenheft 319f.
 Phosphoreszenz 136, 158f.
 photochemische Primärprozesse 188
 photochemischer Abbau 182
 photochemisches Alterungsverhalten 188
 photoelektrische Empfänger 80
 Photokatalyse 182
 Photonen 32, 136
 Photooxidation 182
 Photostabilität 155
 Photosynthese 30
 Photozellen 21
 physikalische Alterung 177, 182
 physikalische Alterungsvorgänge 181
 physikalische Grundlagen 28

Physiologie 20
 Pigmentbad 312
 Pigmente 111f.
 – anorganische 153
 – dispergierharte 292
 – Eigenschaften, prinzipielle 141
 – Einfärben 292
 – organische 150
 – prinzipielle Eigenschaften 141
 Pigmentgehalt 155
 Pigmentkonzentrat 302
 Pigmentkosten 150
 Pigmentruß 144
 Pigmentvarianten, verzugsarme 131
 Planck, Max 136
 Planckscher Strahler 31
 Plancksches Strahlungsgesetz 58
 Planetwalzenextruder 401
 Platon 66
 Platten 419
 Poincaré-Bild 248
 Polykondensation, unvollständige 179
 Polymer
 – Abbau 177, 192
 – Vernetzung 177
 Polymerabbau 182
 Potente 257, 353
 Potenzgesetz 238
 Powell 254f.
 Premix-Verfahren 294
 Pressplättchen 419
 primäre aromatische Amine 133
 Primärfarben 34
 Primärpartikelgrößen 145
 Primärprozesse, photochemische 188
 Primärteilchen 141, 250
 Primärvalenzen 34, 67
 prinzipielle Eigenschaften
 – der Farbstoffe 139
 – der Pigmente 141
 Prisma 30
 Probe 18, 65
 – bestrahlte 36
 – Erwärmung 177
 – flächige, Farbmessgeräte 78
 Proben
 – opake 218
 Probenraumtemperatur 205
 Probentemperatur, Einfluss auf die Alterung 183
 Produktionstoleranzen 98
 Profile 419
 Projektphasen 55
 Prozesskriterien 321f.
 Prozessschritte 317
 Prozesssimulation 362
 prozessspezifische Einflüsse 285
 Prozessverhalten 351, 362
 – mathematisch-physikalische Beschreibungen 233

Prüfkriterien zur Alterung 195
 Prüflättchen 77
 Prüfung der Alterung
 – durch Freibewitterung 199
 – durch künstliche Bewitterung 202
 Psychologie 25
 Pulverpigmente, Einfärben 290
 Pulverpräparation 291
 Pumpvorgänge 32
 Punkte, schwarze 290
 Pupillen 21
 Purpurlinie 69
 Purton 121f.

Q

Qualitätsmerkmale für Farbmittel 116
 Qualitätssicherung 9, 97
 – fabmetrische 56
 Quantentheorie 58
 Quellen, emittierende 32
 Quellung 178
 Quellungsgrad 179
 quellungsinduzierte Spannungen, Aufbau 177
 quellungsinduzierte Spannungsentstehung 178
 Quermischen 247f.
 Quermischvorgänge 242
 Quickbatch-Prozess 294

R

Raasch 251, 256
 RAL-Farben 56
 Randkurve 68, 225
 Rauigkeit 38
 REACH 14
 Reaktionsmechanismen 179
 Reaktionsprozesse 319
 Reflektometer 91
 Reflexion 35, 38
 – gerichtete 93
 Reflexionseigenschaften 65
 Reflexionsenergie 40
 Reflexionsfaktor 67
 – spektraler 36f., 59, 62
 Reflexionsgrad, spektraler 36
 Reflexionskurve 36f.
 Regenphasen 205
 Reibungsarbeit, mechanische 234
 reine Blockströmung 242
 reine Scherströmung 240
 Reinheit 132
 Reinigung 292
 Reize 25
 Relativbewegung 231
 relative Farbstärke 113
 relative Strahlungsfunktion 58f.
 Relaxation 181
 Remission 40, 220

– diffuse 218
 – spektrale 62
 Remissionsgrad 40
 – spektraler 226
 Remissionskurve 36
 Remissionsspektrum 36
 Reproduktionstoxizität 134
 Reproduzierbarkeit 280
 Restfarbenabstand 113
 Retina 22
 reversible Alterung 174
 Reynolds 247
 Rezept-Algorithmus 212
 Rezeptur 210
 RGB-Farbwerte 34
 Rhodopsin 22
 Richtlinien 131
 Rieselfähigkeit 301
 Ringextruder 395
 Ringversuche 77
 Rissbildung 173, 198
 rotes Licht 23
 Rückstrahlung
 – diffuse 38
 – gerichtete 38
 Rührkesselkaskade 244
 Rumpf 260
 Runge, Otto 66
 Ryde 222

S

Sättigung 26, 114
 Sättigungsmaß 115
 Säuberungsaufwand 197
 Säurebeständigkeit 120
 Scale of Segregation 249
 Schädigungen, thermische 290
 Schattenreihen 69
 Schergeschwindigkeit 238
 Schermischen, laminares 248
 Scherrate 238
 Scherströmung, reine 240
 Scherteile 329
 Scherviskosität 238
 Schichtdicke 214
 Schleimhautreizung 134
 Schleimhautverträglichkeit 134
 Schlepperfunktion 128
 Schlieren 288
 – braune 290
 Schmelze
 – Anhaften 290
 – Inline-Farbmessung 447
 Schmelzebruch 284
 Schmelzeviskositätsverhältnis 266
 Schneckenenelemente 336, 344
 Schneckenkammern, C-förmige 365
 Schneckenkonzepte 331

- Schnelltest zur Bestimmung alterungsbedingter Farbveränderungen 87
- Schönung 276, 278, 324
- Schuhsohle 68
- Schuster 215f.
- Schüttgewicht 301
- Schüttgüter, Farbmessgeräte 82
- Schwarzabmischungen 224
- schwarzer Punkt 290
- schwarzer Strahler 31
- Schwarzpigmente 143
- Schwarzschild 215f.
- Schwarzstandardthermometer 205
- Schweißechtheit 129
- Schwermetalle 133
- Schwindung 129ff., 178
- Schwindungsfehlverhalten 130
- Schwindungsverhalten 129, 139
- SDC 112
- Sehen, mesopisches 23
- Sehpurpur 22
- Sehstoffe 22
- Sekundäragglomerat 263
- Selbsteinfärben 274, 305
- Selbsteuchten 159
- selektive Absorption 139
- Sensibilisierungspotential 134
- Sensitivität 19
- Separation 259
- sichtbares Licht 29f.
- Spektrum 30
- Silberdollar 163
- Simulation der Wetterfaktoren 185
- Simulationsprogramme 355
- Simultankontrast 26, 64
- Sinneseindruck 18
- Sinnesempfindung 17f.
- Sinneserlebnis 18
- Skachov 253
- Society of Dyers and Colorists 112
- Sonne 58
- Sonnenstrahlung
- an der Erdoberfläche 185
 - spektrale Bestrahlungsstärke 185
- Spannung
- quellungsinduzierte, Aufbau 177
 - thermische, Aufbau 177
- Spannungsentstehung, quellungsinduzierte 178
- Spannungsrisssbildung 139
- Sparkle 162
- Speichelechtheit 129
- spektrale Absorption 22f.
- spektrale Bestrahlung 187
- spektrale Bestrahlungsstärke 187
- der Sonnenstrahlung 185
- spektrale Empfindlichkeit 19, 22f., 187
- spektrale Energieverteilung 58
- der Strahlung 186
- spektrale Reflexionsfaktoren 59, 62
- spektrale Remission 62
- spektraler Reflexionsfaktor 36f.
- spektraler Reflexionsgrad 36
- spektraler Remissionsgrad 226
- spektrale Strahlungsfunktion 59
- spektrale Strahlungsverteilung 62
- spektrale Transmissionsfunktion 62
- Spektralfarben 32
- gesättigte 68
- Spektralfarbenzug 69
- Spektralfarblinie 69
- Spektralphotometer 78, 80
- Spektralverteilung 186, 204
- Spektralwert 227
- Spektrum des sichtbaren Lichtes 30
- Spezialträger 293
- spezifische Absorption 227
- spezifische Wärmekapazität 189
- Spiegelfläche 163
- Split-Feed-Verfahren 294
- Spritzgießmaschinen 327
- Sprühgranulierung 324
- Stäbchen 22f.
- Standardfarbtiefe 77, 114ff.
- statische Mischer 289
- statistische Methode 74
- Staubexplosionsgefahr 171
- Stippen 288
- Stippenanalyse 282
- Stofftransportprozesse 319
- Stokes-Strömung 248
- strahlende Deaktivierung 136
- strahlender Glühkörper 31
- Strahlenquellen 203
- Strahler
- Planckscher 31
 - Schwarzer 31
- Strahlung 18, 30
- Einfluss auf die Alterung 183
 - elektromagnetische 28f.
 - Emission 177
 - ionisierende 180
 - spektrale Energieverteilung 186
- Strahlungsalterung, Temperaturabhängigkeit 191
- Strahlungsaustausch 190
- Strahlungsbedingungen 185
- Strahlungsbilanz 177
- Strahlungsenergie 186, 205
- Absorption 177
- Strahlungsfeld 215
- inneres 217
- Strahlungsfluss 222
- Strahlungsfunktion 186
- der Globalstrahlung 188
 - der Lichtquelle 67
 - relative 58f.
 - spektrale 59
- Strahlungsgesetz, Plancksches 58
- Strahlungsintensität 58

Strahlungskonstanten 58
 Strahlungsleistung 40, 186
 Strahlungsmenge 32
 Strahlungstransport-Gleichung 215 f., 222
 Strahlungstransport, optischer 213
 Strahlungstransport-Theorie 212, 226
 Strahlungsverteilung 32
 – spektrale 62
 Stranggranulierung 323
 streuende Medien 215
 Streukantenanteil 161, 163
 Streukoeffizient 40, 215
 Streukonstanten 226
 Streulicht, diffuses 93
 Streuung 38 f., 216, 219, 227
 Streuvermögen 146
 Strömung, ebene hyperbolische 240
 Strömungsfeld, laminares 319
 Strömungsformen 255
 Strömungsverhältnisse 233
 Strömungsvorgänge im Extruder 232
 Stufenplättchen 419
 subtraktive Farbmischung 28, 32, 35
 Surface-Matching 54, 66, 100
 symmetrischer Farbraum 75
 System Berstorff 395
 System Fritsch 395
 S-Zäpfchen 23

T

Tadmor 252
 Tagesleuchtpigmente 159
 technologische Anforderungen an Farbmittel 119
 Teilchengrößenverteilung 145, 155
 Teillöslichkeit 129
 teilweise Löslichkeit 128
 Temperaturabhängigkeit der Strahlungsalterung 191
 Temperaturbeständigkeit 150
 Temperaturdifferenzen 191
 Temperaturerhöhung 190
 Temperaturstabilität 122
 Temperaturveränderung 236
 Temperatur/Zeit-Test 121
 Textureffekte 38
 Texturen 54
 thermische Schädigungen 290
 thermische Spannungen, Aufbau 177
 Thermodynamik, 1. Hauptsatz 233
 Thermostabilität 116
 Tinting strength 162
 Toleranzfindung, automatische 74
 Toleranzraum 99
 Tönung 324
 tote Ecken 287
 toxikologische Eigenschaften 132, 134
 Toxizität
 – akute 134
 – akute orale 134

– aquatische 134
 – chronische 134
 – nach wiederholter Verabreichung 134
 Tracer 245
 Transmission 35, 40, 218
 Transmissionsenergie 40
 Transmissionsfunktion, spektrale 62
 Transmissionsgrad 39 f.
 Transmissionspektrum 80
 Transparenz 90, 197
 Trockenphasen 205
 Trübung 93, 95, 195

U

überdecken 114
 Überdeckung 278
 überfärben 114
 Überfärbung 276 f.
 Übergangsmetall 138
 Übergangsmetallverbindungen 137
 Übersättigung 128
 Ulbricht-Kugel 78
 Umgebungseinfluss 26
 Umgebung, Wärmeableitung 177
 Umrüstzeiten 293
 Umweltschutz 132
 Unbedenklichkeit 119, 134
 Unbuntpunkt 69
 Universalbathe 294
 Universalträger 293
 Unterwassergranulierung 323
 Unverträglichkeiten 179
 unvollständige Polykondensation 179
 Urmuster 98
 UV-Alterungsbeständigkeit 184
 UV-Beanspruchung 183
 UV-Belichtung 183
 UV-Beständigkeit 184
 UV-Stabilisatoren, Abbau 177
 UV-Stabilität 184, 192
 UV-Strahlung 30, 188

V

Veränderungen
 – Farbe 173
 – Gebrauchseigenschaften 173
 – irreversible 174
 Verarbeitung, Einfluss auf die Alterung 182
 Verarbeitungsfehler 287
 Verarbeitungsfenster 99
 Verbesserung der Benetzung 291
 Verbraucherschutz 132
 Verfahrenseinflüsse 285
 Verfärbung 182
 vergilben 124
 Vergilbung 174, 176, 182, 189, 198
 Vergilbungsgrade 276

Vergrauung 183
 Vermessung
 – von Blasfolien 421, 439
 – von Flachfolien 421, 439
 Vernetzung
 – des Polymeren 177
 – intermolekulare 182
 Versagensmechanismen 177
 Verschiebungsleistung 232
 Versprödung 173, 182
 verteilen 231, 249
 Verteilung 259, 280, 289
 Verteilvorgänge 231
 Verträglichkeit 266
 Verweilzeit 340
 – minimale 243
 – mittlere 243
 Verweilzeitverteilung 242, 246 f.
 – Breite 243
 – Dichte 243
 Verwerfung 195
 Verzug 129 ff.
 verzugsarme Pigmentvarianten 131
 Verzugsbeeinflussung 119
 Verzugsverhalten 129, 139
 Vier-Walzen-Apparat 254
 Vinci, Leonardo da 66
 Viskosität 237 f.
 Volumenänderungsarbeit 234
 Volumenschwindung 130, 178

W

Wahrnehmung 17, 21
 Walzfellen 419
 Wanddickensprünge 286
 Wanderung eines Farbmittels 127
 Wareneingangskontrolle 99
 – von Granulaten 86
 Wärme
 – an der Zylinderwand ausgetauschte 231
 Wärmeableitung in die Umgebung 177
 Wärmekapazität, spezifische 189
 Wärmeleitfähigkeit 189
 Wärmeleitungsgleichung 177
 Wärmestrahlung 30
 Wärmewirkung 184
 Warmlagerung 174
 Wechselwirkung 259, 280
 – mit Peroxiden 120
 Weibull-Verteilung
 – doppelte 245
 – einfache 245

Weißabmischungen 224
 Weißausmischungen 147
 Weiß/Bunt-Mischungen 212
 weißes Licht 32
 Weißpigmente 143, 146
 Weiß/Schwarz-Abmischungen 224
 Weiß/Schwarz-Mischungen 212
 Weißstandard 79
 Weißstandardtemperatur 205
 Weißstandardthermometer 205
 Wellenlänge 18, 29 f.
 Wellenlängenbereich 28
 Welligkeit der Oberfläche 93
 Werner 352
 Wet-Look 94
 Wetterechtheit 127
 Wetterechtheitsprüfung 202
 Wetterfaktoren, Simulation 185
 Whiteness 162
 wirksame Bestrahlungsstärke 187
 Witterungsbeständigkeit 193, 202
 WLF-Ansatz 239
 Wollskala 126

X

Xenonlampe 78, 203
 Xenonstrahlung 124, 204
 Xenon-Test 202

Y

Yasuda-Ansatz 239
 Yellowness-Index 124, 188, 198

Z

Zäpfchen 22 f., 63 f.
 – L 23
 – M 23
 – S 23
 zeitraffende Bestrahlungen 185
 zeitraffende Bewitterungen 185
 Zeitraffung 203
 zerkleinern 249
 Zerkleinerungsgrad 251, 256 f.
 zerteilen 259
 Zerteilparameter 252
 Zerteilvorgänge 232
 zulässige Grenzwerte 131
 Zustand, angeregter 136
 zweistufige Masterbatchherstellung 317
 Zylinderwand, ausgetauschte Wärme 231