

Inhaltsverzeichnis

Vorwort zur 2. Auflage	V
Vorwort zur 1. Auflage	VII
Die Autoren	XXIII
Kurzzeichen von Kunststoffen	XXV
1 Einleitung und Einführung in die Oberflächentechnik	1
2 Reinigung und Aktivierung	3
2.1 Einleitung	3
2.2 Grundlagen zu Benetzung und Oberflächenenergie	4
2.3 Reinigungsverfahren	8
2.3.1 Manuelle Reinigung	8
2.3.2 Mechanische Reinigung	9
2.3.3 Schwertbürstenreinigung	10
2.3.4 Ionisation	15
2.3.5 Trockeneisreinigung	19
2.3.6 Laserreinigung	22
2.3.7 Nasschemische Reinigung	27
2.4 Aktivierungsverfahren	29
2.4.1 Beflammung	30
2.4.2 Corona-Behandlung	34
2.4.2.1 Direkte Coronaentladung	35
2.4.2.2 Indirekte Coronaentladung	36
2.4.3 VUV-Vorbehandlung	41
2.4.4 Plasmatechnologie	45
2.4.4.1 Atmosphärendruckplasma (AD-Plasma)	45
2.4.4.2 Niederdruckplasma (ND-Plasma)	49
2.4.4.2.1 Plasmamodifizierung/-aktivierung	50

2.4.4.2.2	Plasmareinigung	50
2.4.4.2.3	Beschichtung im Niederdruckplasma (Plasmapolymerisation)	50
2.4.4.2.4	Plasmaätzen	51
2.4.5	Fluorierung	54
2.5	Schlussbetrachtung	57
	Literatur zu Kapitel 2.	58
3	Beschichtungstechnik	61
3.1	Einleitung	61
3.2	Galvanisieren von Kunststoffen	62
3.2.1	Verfahrensschritte	63
3.2.1.1	Beizen	64
3.2.1.2	Reduzieren	65
3.2.1.3	Aktivieren und Beschleunigen	65
3.2.1.4	Chemische Metallisierung	66
3.2.1.5	Elektrolytische Galvanisierung	67
3.2.1.5.1	Vornickel	68
3.2.1.5.2	Kupfer	69
3.2.1.5.3	Nickel	69
3.2.1.5.4	Chrom	70
3.2.2	Spezielle Aspekte	71
3.2.2.1	Partielle Galvanisierung	71
3.2.2.2	Ausschussproblematik	72
3.2.2.3	Kunststoff- und galvanisiergerechte Konstruktion.	73
3.2.2.3.1	Scharfe Ecken und Kanten	74
3.2.2.3.2	Gestellaufnahme und Kontaktierungsstellen	75
3.2.2.3.3	Sacklöcher und Hinterschneidungen	75
3.2.2.3.4	Nuten, Schlitze und Bohrungen	75
3.2.2.3.5	Große und ebene Flächen	76
3.2.2.3.6	Anschnittposition.	76
3.2.2.3.7	Vorteile	76
3.2.2.3.8	Nachteile	76
3.2.3	Prüftechnik	77
3.2.4	Verarbeitbare Kunststoffe	78
3.2.4.1	Acrylnitril-Butadien-Styrol	78
3.2.4.2	Polyamid	79
3.2.4.3	Polypropylen	81
3.2.4.4	Weitere Kunststoffe	82
3.2.5	Anwendungsgebiete und Praxisbeispiele	82
3.3	Physikalische Dampfphasenabscheidung (Physical-Vapor-Deposition).	86

3.3.1	Verhalten der Kunststoffe im Vakuum	88
3.3.2	Reinigung und Vorbehandlung	89
3.3.3	Thermisches Verdampfen	92
3.3.3.1	Direkte Widerstandsbeheizung	92
3.3.3.2	Indirekt beheizte Quellen	94
3.3.4	Elektronenstrahlverdampfen	95
3.3.5	Hochleistungs-Kathodenzerstäuben	97
3.3.6	Anlagentechnik und Bauteilbestückung.	99
3.3.7	Anwendungsbeispiele.	103
3.3.7.1	Bedampfung von Bahnware	103
3.3.7.1.1	Anwendungen auf Kunststofffolien	104
3.3.7.1.1.1	Antistatische Verpackungen.	104
3.3.7.1.1.2	Kondensatorfolien	105
3.3.7.1.1.3	Lebensmittelverpackung.	105
3.3.7.2	Optische und dekorative Schichten	106
3.3.7.3	Schichten für Elektronik und Elektrotechnik	112
3.3.7.3.1	Abschirmschichten	112
3.3.7.3.2	Aluminium-Abschirmschichten	113
3.3.7.3.3	Kupfer-Abschirmschichten	115
3.3.7.3.4	Ableitung von Ladungen.	116
3.4	Thermisches Spritzen.	117
3.4.1	Flamecon-Verfahren	117
3.5	Lackiertechnik.	119
3.5.1	Lacksysteme	120
3.5.1.1	Klassifizierung und Aufgaben der Lacksysteme	121
3.5.1.1.1	Grundlack.	121
3.5.1.1.2	Zwischenlack	121
3.5.1.1.3	Decklack	121
3.5.1.2	Einteilung nach Farbe und Effekt.	122
3.5.1.3	Typische Lackaufbauten für die Kunststofflackierung	122
3.5.1.4	Zusammensetzung der Lacksysteme.	124
3.5.1.4.1	Bindemittel.	125
3.5.1.4.2	Lösemittel	125
3.5.1.4.3	Pigmente, Farbstoffe und Effektmittel.	126
3.5.1.4.4	Additive.	127
3.5.1.5	Filmbildungsprozess und Reaktionsmechanismen	127
3.5.1.5.1	Polyaddition	128
3.5.1.5.2	Polykondensation.	129
3.5.1.6	Wirtschaftlichkeit von Lacksystemen	130
3.5.2	Applikationstechnik	130
3.5.2.1	Applikationsverfahren	131

3.5.2.1.1	Direkte Applikationsverfahren.	131
3.5.2.1.1.1	Tauchen.	131
3.5.2.1.1.2	Fluten	132
3.5.2.1.1.3	Rakeln	132
3.5.2.1.2	Indirekte Applikationsverfahren	132
3.5.2.1.2.1	Sprüh-/Spritzapplikation	133
3.5.2.1.2.2	Airlesszerstäuben	133
3.5.2.1.2.3	Pneumatisches Zerstäuben.	133
3.5.2.1.2.4	Hochrotationszerstäubung	134
3.5.2.1.2.5	Hochrotationszerstäubung mit elektrostatischer Unterstützung	135
3.5.2.2	Charakteristik und Einflüsse des Spritz-/Sprühstrahls	138
3.5.2.2.1	Pneumatischer Spritz-/Sprühstrahl.	138
3.5.2.2.2	Hochrotationszerstäubter Spritz-/Sprühstrahl.	140
3.5.2.3	Weitere Einflussfaktoren auf das Lackierergebnis. . . .	141
3.5.2.4	Machbarkeitsanalyse von Oberflächenqualitäten	143
3.5.2.5	Methoden zur Optimierung der Oberflächenqualität . .	144
3.5.2.6	Entwicklungsarbeiten	146
3.5.3	Anwendungen	148
3.5.3.1	Automobilindustrie Pkw	149
3.5.3.1.1	Außenteile.	150
3.5.3.1.2	Innenteile	151
3.5.3.1.3	Motorraumkomponenten und Aggregate	152
3.5.3.1.4	Karosseriebauteile (Thermoplastische Werkstoffe) . . .	153
3.5.3.1.4.1	Karosseriebauteile, Heckdeckel, Kofferraumdeckel und Dachmodule (Duromere Werkstoffe)	155
3.5.3.1.5	Antennendachmodul (Thermoplast-Duromer- Kombination)	155
3.5.3.1.6	Carbonfaser-Sichtoptik	157
3.5.3.1.7	Glasersatz und Automotive-Glazing.	158
3.5.3.2	Nutzfahrzeugindustrie	159
3.5.4	Gründe für die Lackierung von Kunststoffen.	160
3.5.4.1	Schutzwirkung und Protektion.	161
3.5.4.2	Aussehen, Optik und Dekoration	162
3.5.4.3	Besondere Funktionen und spezielle Eigenschaften . .	162
3.5.5	Lackeigenschaften.	163
3.5.6	Lackentwicklung.	164
3.5.6.1	Reduzierung der Zahl der Schichten	164
3.5.6.2	Niedrigere Schichtdicken der Einzelschichten.	165
3.5.6.3	Schnellere Trocknung	165
3.5.6.4	Wirtschaftlichere Applikationen	166

3.5.6.5	Standardisierung zu Einheitsprodukten	166
3.5.6.6	Neue Produkttechnologien	166
3.5.6.7	Neue Applikationstechniken.	167
3.5.7	Spezifikationen, Fehlersuche, Fehleranalyse und Fehlerbilder.	167
3.5.7.1	Spezifikationen	167
3.5.7.2	Fehlersuche und Fehleranalyse	169
3.5.7.3	Kategorisierung von Fehlerbildern	170
3.5.7.3.1	Blasen	171
3.5.7.3.2	Fasereinschluss	173
3.5.7.3.3	Fremdpartikeleinschluss.	173
3.5.7.3.4	Substratfehler.	174
3.5.7.3.5	Krater	174
3.5.7.3.6	Rückstand auf Substrat.	175
3.5.7.3.7	Härterhaut	175
3.5.7.3.8	Lackhaftfestigkeitsschaden nach HDW-Test DIN 55662	176
3.5.7.3.9	Fehlstellen nach Bewitterung.	177
3.5.7.3.10	Pilzbefall.	178
	Literatur zu Kapitel 3.	179
4	Drucktechnik.	183
4.1	Einleitung.	183
4.2	Siebdruck.	186
4.2.1	Verfahren.	186
4.2.1.1	Grafischer Siebdruck.	187
4.2.1.2	Industriesiebdruck	188
4.2.1.3	Schaltungsdruck	188
4.2.1.4	Glasbedruckung und Beschichtungen.	188
4.2.1.5	Bedruckung von Formteilen und Spezialdrucke	188
4.2.1.6	Textil-Siebdruck.	189
4.2.2	Siebdruckform.	189
4.2.2.1	Siebdruckrahmen	189
4.2.2.2	Schablonenträger.	190
4.2.2.3	Kennzeichnung und Geometrie des Schablonenträgers	192
4.2.2.4	Bindeart	193
4.2.2.5	Gewebegeometrie.	193
4.2.2.6	Spannen des Schablonenträgers	195
4.2.2.7	Schablonenherstellung	197
4.2.2.7.1	Gewebevorbehandlung	198
4.2.2.7.2	Schablonenherstellungsverfahren.	198
4.2.2.7.3	Fotomechanische Verfahren	198

4.2.2.7.4	Direktschablonen	199
4.2.2.7.5	Direktfilm/Kapillarfilm	201
4.2.2.7.6	Indirektschablone	202
4.2.2.7.7	Galvanische- und Laserverfahren	202
4.2.2.8	Bebilderung der Siebdruckform	203
4.2.2.8.1	Kontaktkopie	203
4.2.2.8.2	Projektionsbelichtung	205
4.2.2.8.3	Filmlose Bebilderung Computer-to-Screen	206
4.2.3	Druckvorgang	207
4.2.3.1	Rakel	207
4.2.3.2	Hauptdruckprinzipien	209
4.2.3.2.1	Flachbett-Siebdruck	209
4.2.3.2.2	Flachform-Zylindersiebdruck	211
4.2.3.2.3	Rotationssiebdruck	211
4.2.3.2.4	Rund- und Körpersiebdruck	213
4.2.4	Trocknung	213
4.2.5	Ausblick	213
4.3	Flexodruck	214
4.3.1	Bauweisen von Flexodruckmaschinen	215
4.3.1.1	Zentralzylinderdruckmaschinen	215
4.3.1.2	Reihenflexodruckmaschinen	216
4.3.1.3	Bogenflexodruckmaschinen	217
4.3.2	Aufbau und Herstellung von Flexodruckformen	218
4.3.2.1	Fotopolymere Flexodruckformen	219
4.3.2.2	Direktgravur	221
4.3.3	Druckbildlängenänderung und die erforderliche Verkürzung	222
4.3.4	Handling und Vorbereitung für die Montage und den Druck	222
4.3.4.1	Druckwerk	224
4.3.4.2	Druckformsleeve und Druckformzylinder	224
4.3.4.3	Rasterwalzensleeve, Rasterwalze und Rakelsystem	227
4.3.5	Besonderheiten beim Rüsten der Druckmaschine	231
4.3.6	Einsatz von Flexodruckmaschinen in der Druckindustrie	232
4.4	Offsetdruck	233
4.4.1	Offsetdruckform und Herstellungsprozess	234
4.4.1.1	Druckwerk – Komponenten Druckplatten-, Gummituch- und Gegendruckzylinder	237
4.4.1.2	Druckwerk – Komponente Farbwerk und unterschiedliche Varianten	238
4.4.1.3	Druckwerk – Komponente Feuchtwerk	242
4.4.2	Maschinenbauweisen	244
4.4.2.1	Bogenoffsetdruckmaschinen in Reihenbauweise	244

4.4.2.2	Bogenoffsetdruckmaschinen in Fünf-Zylinder- und Satellitenbauweise	245
4.4.2.3	Rollenoffsetdruckmaschinen	246
4.4.2.4	Heat-Set-Rollenoffsetdruck	246
4.4.2.5	Zeitungsrotationen (Coldset)	247
4.4.3	Anwendung des Offsetdrucks	248
4.5	Tiefdruck	248
4.5.1	Einsatzgebiete	250
4.5.2	Aufbau der Tiefdruckform	251
4.5.2.1	Dünnschichtverfahren	253
4.5.2.2	Ballardhautverfahren	253
4.5.2.3	Dickschichtverfahren	253
4.5.3	Herstellung der Tiefdruckform	254
4.5.3.1	Elektromechanische Gravur	255
4.5.3.2	Laser-Ätz-Verfahren	259
4.5.3.3	Lasergravur	262
4.5.4	Tiefdruckfarbe	265
4.5.5	Tiefdruckmaschinen	266
4.5.5.1	Trocknung	268
4.5.5.2	Schön- und Widerdruck	269
4.5.5.3	Automatischer Rollenwechsel	270
4.5.5.4	Elektrostatische Druckunterstützung (ESA)	271
4.6	Digitaldruck	272
4.6.1	Kategorien des Digitaldrucks	272
4.6.2	Einsatzgebiete	274
4.6.3	Datenaufbereitung für den Digitaldruck	275
4.6.3.1	Raster Image Processor	275
4.6.3.2	Raster	275
4.6.4	Elektrofotografie	277
4.6.4.1	Druckprozess	277
4.6.4.1.1	Aufladung	277
4.6.4.1.2	Belichtung	277
4.6.4.1.3	Entwicklung	277
4.6.4.1.4	Farbübertragung	278
4.6.4.1.5	Tonerfixierung	278
4.6.4.1.6	Reinigung	278
4.6.4.2	Systemkomponenten	279
4.6.4.2.1	Fotoleiter	279
4.6.4.2.2	Bebilderungseinheit	280
4.6.4.2.2.1	Aufladungseinheit	280
4.6.4.2.2.2	Zeichengenerator	281

4.6.4.2.3	Entwicklungseinheit und Toner	281
4.6.4.2.4	Tonerfixiereinheit	283
4.6.4.3	Maschinenkonzepte	283
4.6.4.4	Einsatzgebiete	284
4.6.5	Magnetografie	284
4.6.5.1	Druckprozess	284
4.6.5.1.1	Bebilderung	285
4.6.5.1.2	Entwicklung	285
4.6.5.1.3	Retouching	285
4.6.5.1.4	Farbübertragung	285
4.6.5.1.5	Fixierung	286
4.6.5.1.6	Reinigung	286
4.6.5.1.7	Löschen der Trommel	286
4.6.5.2	Maschinenkomponenten	286
4.6.5.2.1	Bebilderungstrommel	286
4.6.5.2.2	Bebilderungseinheit	286
4.6.5.2.3	Toner	286
4.6.5.2.4	Fixierungseinheit	287
4.6.6	Thermografie	287
4.6.6.1	Direkte Thermografie	287
4.6.6.2	Transferthermografie	288
4.6.6.2.1	Thermotransfer	288
4.6.6.2.2	Thermosublimation	289
4.6.6.3	Maschinenkomponenten	290
4.6.6.3.1	Farbträgerband	290
4.6.6.3.2	Bebilderungseinheit	291
4.6.6.4	Einsatzgebiete	291
4.6.7	InkJet	292
4.6.7.1	Continuous-InkJet-Technologie	294
4.6.7.1.1	Binary-Deflecting	294
4.6.7.1.2	Multi-Deflecting	295
4.6.7.2	Drop-on-Demand-Technologie	295
4.6.7.2.1	Thermoelektrische Tintendruckwerke (Bubble-Jet)	295
4.6.7.2.2	Piezo-InkJet	296
4.6.7.3	Verdruckstoffe	297
4.6.7.4	Maschinenkonzepte	298
4.6.7.4.1	InkJet-Arrays	298
4.6.7.4.2	Oszillierende oder stationäre Drucksysteme	298
4.6.7.5	Einsatzgebiete	299
4.7	Tampondruck	301
4.7.1	Druckform	302

4.7.1.1	Klischeetypen.....	302
4.7.1.2	Kunststoffklischee.....	303
4.7.1.3	Band- und Dünnstahlklischee.....	304
4.7.1.4	Stahlklischees.....	305
4.7.1.5	Keramikklichees.....	305
4.7.1.6	Laser-Klischee.....	306
4.7.2	Rasterung im Tampondruck.....	306
4.7.3	Stanzung und Lochung.....	307
4.7.4	Klischeetiefe.....	307
4.7.5	Tampon.....	307
4.7.5.1	Herstellung.....	308
4.7.5.2	Tamponeigenschaften.....	308
4.7.5.3	Tamponform.....	308
4.7.5.4	Tamponhärte.....	309
4.7.5.5	Tamponvolumen.....	309
4.7.6	Druckvorgang.....	309
4.7.7	Druckfarben.....	311
4.7.8	Maschinentechnik.....	311
4.7.8.1	Farbsystem.....	311
4.7.8.1.1	Offenes System.....	311
4.7.8.1.2	Geschlossene Systeme.....	313
4.7.8.2	Tamponbewegung.....	314
4.7.8.2.1	Vertikale Tamponbewegung.....	314
4.7.8.2.2	Vertikale und horizontale Tamponbewegung.....	315
4.7.8.2.3	Rotative Bewegung.....	316
4.7.8.3	Antriebstechniken.....	317
4.7.8.3.1	Elektro-mechanischer Antrieb.....	317
4.7.8.3.2	Pneumatischer Antrieb.....	317
4.7.8.3.3	Hydraulischer Antrieb.....	318
4.7.8.4	Druckformat.....	318
4.7.8.5	Anzahl der Druckfarben.....	318
4.7.8.6	Werkstückaufnahmen und Bedruckstoffzufuhr.....	319
4.7.8.6.1	Carreetisch.....	320
4.7.8.6.2	Rundschaltteller.....	321
4.7.8.6.3	Linearband.....	321
4.7.8.6.4	Taktvorschubgerät.....	322
4.7.9	Rotationsdruck.....	323
4.8	Vergleich der Druckverfahren und deren Bewertung.....	324
4.8.1	Offsetdruck.....	326
4.8.2	Flexodruck.....	327
4.8.3	Tiefdruck.....	328

4.8.4	Tampondruck.	329
4.8.5	Siebdruck.	330
4.8.6	Non-Impact-Printing.	331
4.8.7	Zusammenfassung.	333
	Literatur zu Kapitel 4.	334
5	Laserstrahlbeschriftung.	335
5.1	Einführung.	335
5.2	Warum Laserbeschriftung?	337
5.3	Lasertypen für das Beschriften.	338
5.3.1	Sealed-off CO ₂ -Laser.	338
5.3.2	Excimerlaser.	338
5.3.3	Diodengepumpte Q-switch Festkörperlaser.	338
5.3.4	Faserlaser.	340
5.3.5	Diodenlaser.	341
5.4	Laserbeschriftungstechniken.	342
5.4.1	Prinzip der Vektorbeschriftung.	342
5.4.2	Prinzip des Maskenprojektionsverfahrens.	343
5.4.3	Prinzip des Rasterverfahrens.	344
5.4.4	Verfahren im Vergleich.	344
5.5	Strahlqualität.	345
5.6	Effekte bei der Laserbeschriftung.	348
5.6.1	Kunststoffe.	348
5.6.1.1	Die Rolle der Laserwellenlänge.	350
5.6.1.2	Effekte bei der Laserbeschriftung von Kunststoffen.	351
5.6.1.3	Welche Kunststoffe sind beschriftbar?	353
5.6.2	Metalle.	357
5.6.3	Tiefengravur.	359
5.7	Rückverfolgbarkeit in der Industrie.	361
5.7.1	Codierungen (DataMatrix-Code, Barcode).	362
5.7.2	Aufbau des DataMatrix-Code.	363
5.7.3	Herstellungsmöglichkeiten von DataMatrix-Codes.	364
5.7.4	Auslesen der Codes.	365
5.7.4.1	Kernpunkte der AIM.	365
5.7.4.1.1	Kontrast (Symbol Contrast).	365
5.7.4.1.2	Zellengröße (Print-Growth).	365
5.7.4.1.3	Achsiale Unförmigkeit (Axial-Nonuniformity).	366
5.7.4.1.4	Ungenutzte Fehlerkorrektur (Unused-Error-Correction).	366
5.7.4.1.5	Gesamtgüte (Overall-Grade).	366
5.7.4.2	Prozesssichere Lesbarkeit.	367

5.7.4.3	Besonderheiten	368
5.8	Tag-Nacht-Design.....	369
5.9	Laserbeschriftungsfolien	371
5.10	Leiterplattenbeschriftung.....	371
5.11	Weitere Anwendungsbeispiele.....	373
5.12	Handlingsysteme.....	375
5.12.1	Doppelkopfsystem.....	376
5.12.2	Marking-on-the-Fly.....	376
5.12.3	Kostenaspekte	377
5.12.4	Arbeitsschutz und Arbeitssicherheit	378
5.13	Bewertung und Fehlermöglichkeiten	379
5.14	Zusammenfassung	380
	Literatur zu Kapitel 5.....	381
6	Etikettieren	383
6.1	Kaltleim-Etikettierung	385
6.2	Heißleim-Etikettierung	386
6.3	Sleeve-Etikettierung	387
6.4	Haftetikettierung.....	388
	Literatur zu Kapitel 6.....	389
7	Beflocken von Kunststoffen.....	391
7.1	Einführung.....	391
7.2	Technische Grundlagen der Beflockung.....	391
7.3	Verfahrensablauf.....	396
7.3.1	Vorbehandlung	396
7.3.2	Klebstoffauftrag.....	396
7.3.3	Beflockung.....	397
7.3.4	Trocknung.....	397
7.3.5	Endreinigung.....	397
7.4	Flockklebstoffe.....	398
7.5	Flockfasern.....	399
7.6	Flockgeräte und Flockanlagen	401
7.7	Prüfgeräte und Prüfverfahren	408
7.7.1	Bestimmung des elektrischen Widerstandes von Flock.....	408
7.7.2	Springprüfung.....	410
7.7.3	Trennfähigkeitsprüfung.....	414
7.7.4	Bestimmung der Flockdimensionen und Geometrienanalyse	417
7.7.5	Restflockmessung.....	418
7.7.6	Hochspannungsprüfung.....	419
7.7.7	Abriebprüfung.....	420

7.7.8 Ausreißprüfung.....	422
7.8 Eigenschaften beflockter Oberflächen und Anwendungsbeispiele	423
Literatur zu Kapitel 7.....	430
8 Oberflächenstrukturierung	431
8.1 Einleitung.....	431
8.2 Funkenerosion.....	434
8.3 Photoätztechnik.....	438
8.4 Strahlverfahren	441
8.5 Laserstrukturieren	442
8.6 Course4 [®] -Technologie.....	444
8.7 Sprengprägen.....	446
8.8 Cera-Shibo-Technologie.....	450
Literatur zu Kapitel 8.....	451
9 Folienhinterspritzen	453
9.1 Einleitung.....	453
9.2 Inmold-Decoration (IMD-Verfahren)	453
9.2.1 IMD-Prozess.....	454
9.2.2 IMD-Folien.....	456
9.2.3 IMD-Werkzeug.....	457
9.2.4 IMD-Vorschubgerät.....	457
9.2.5 Spezielle Aspekte	459
9.2.6 Prüftechnik	460
9.2.7 Verwendbare Kunststoffe.....	460
9.2.8 Anwendungsgebiete und Praxisbeispiele.....	461
9.3 Klassisches Folienhinterspritzen.....	464
9.3.1 FIM-Prozess.....	464
9.3.2 Bedrucken von Folien.....	467
9.3.3 Verformen von Folien.....	467
9.3.4 Beschneiden von Folien	468
9.3.5 Fixierung im Werkzeug	469
9.3.6 Werkzeugtechnik	469
9.3.7 Spezielle Aspekte	470
9.3.8 Prüftechnik	472
9.3.9 Verwendbare Kunststoffe.....	472
9.3.10 Anwendungsgebiete und Praxisbeispiele.....	473
Literatur zu Kapitel 9.....	479
10 Prüftechnik	481
10.1 Einleitung.....	481

10.2 Glanz und Glanzmessung.....	484
10.2.1 Einstrahlungswinkel.....	487
10.2.2 Bild-Aperturwinkel.....	487
10.2.3 Blenden-Aperturwinkel.....	488
10.2.4 Reflektometerwert.....	488
10.3 Farbwahrnehmung und Farbmessung.....	489
10.4 Rauigkeits- und Topographiemessung.....	498
10.5 Kratzbeständigkeitsprüfungen und Abrieb.....	502
10.5.1 Erichsen-Härteprüfung.....	502
10.6 Beständigkeitsprüfungen gegen Temperatur, Witterung und Alterung ..	512
10.7 Haftung.....	520
Literatur zu Kapitel 10.....	526
Stichwortverzeichnis.....	527

Inhaltsverzeichnis

Vorwort zur 2. Auflage	V
Vorwort zur 1. Auflage	VII
Die Autoren	XXIII
Kurzzeichen von Kunststoffen	XXV
1 Einleitung und Einführung in die Oberflächentechnik	1
2 Reinigung und Aktivierung	3
2.1 Einleitung	3
2.2 Grundlagen zu Benetzung und Oberflächenenergie	4
2.3 Reinigungsverfahren	8
2.3.1 Manuelle Reinigung	8
2.3.2 Mechanische Reinigung	9
2.3.3 Schwertbürstenreinigung	10
2.3.4 Ionisation	15
2.3.5 Trockeneisreinigung	19
2.3.6 Laserreinigung	22
2.3.7 Nasschemische Reinigung	27
2.4 Aktivierungsverfahren	29
2.4.1 Beflammung	30
2.4.2 Corona-Behandlung	34
2.4.2.1 Direkte Coronaentladung	35
2.4.2.2 Indirekte Coronaentladung	36
2.4.3 VUV-Vorbehandlung	41
2.4.4 Plasmatechnologie	45
2.4.4.1 Atmosphärendruckplasma (AD-Plasma)	45
2.4.4.2 Niederdruckplasma (ND-Plasma)	49
2.4.4.2.1 Plasmamodifizierung/-aktivierung	50

2.4.4.2.2	Plasmareinigung	50
2.4.4.2.3	Beschichtung im Niederdruckplasma (Plasmapolymerisation)	50
2.4.4.2.4	Plasmaätzen	51
2.4.5	Fluorierung	54
2.5	Schlussbetrachtung	57
	Literatur zu Kapitel 2.	58
3	Beschichtungstechnik	61
3.1	Einleitung	61
3.2	Galvanisieren von Kunststoffen	62
3.2.1	Verfahrensschritte	63
3.2.1.1	Beizen	64
3.2.1.2	Reduzieren	65
3.2.1.3	Aktivieren und Beschleunigen	65
3.2.1.4	Chemische Metallisierung	66
3.2.1.5	Elektrolytische Galvanisierung	67
3.2.1.5.1	Vornickel	68
3.2.1.5.2	Kupfer	69
3.2.1.5.3	Nickel	69
3.2.1.5.4	Chrom	70
3.2.2	Spezielle Aspekte	71
3.2.2.1	Partielle Galvanisierung	71
3.2.2.2	Ausschussproblematik	72
3.2.2.3	Kunststoff- und galvanisiergerechte Konstruktion.	73
3.2.2.3.1	Scharfe Ecken und Kanten	74
3.2.2.3.2	Gestellaufnahme und Kontaktierungsstellen	75
3.2.2.3.3	Sacklöcher und Hinterschneidungen	75
3.2.2.3.4	Nuten, Schlitze und Bohrungen	75
3.2.2.3.5	Große und ebene Flächen	76
3.2.2.3.6	Anschnittposition	76
3.2.2.3.7	Vorteile	76
3.2.2.3.8	Nachteile	76
3.2.3	Prüftechnik	77
3.2.4	Verarbeitbare Kunststoffe	78
3.2.4.1	Acrylnitril-Butadien-Styrol	78
3.2.4.2	Polyamid	79
3.2.4.3	Polypropylen	81
3.2.4.4	Weitere Kunststoffe	82
3.2.5	Anwendungsgebiete und Praxisbeispiele	82
3.3	Physikalische Dampfphasenabscheidung (Physical-Vapor-Deposition).	86

3.3.1	Verhalten der Kunststoffe im Vakuum	88
3.3.2	Reinigung und Vorbehandlung	89
3.3.3	Thermisches Verdampfen	92
3.3.3.1	Direkte Widerstandsbeheizung	92
3.3.3.2	Indirekt beheizte Quellen	94
3.3.4	Elektronenstrahlverdampfen	95
3.3.5	Hochleistungs-Kathodenzerstäuben	97
3.3.6	Anlagentechnik und Bauteilbestückung	99
3.3.7	Anwendungsbeispiele	103
3.3.7.1	Bedampfung von Bahnware	103
3.3.7.1.1	Anwendungen auf Kunststofffolien	104
3.3.7.1.1.1	Antistatische Verpackungen	104
3.3.7.1.1.2	Kondensatorfolien	105
3.3.7.1.1.3	Lebensmittelverpackung	105
3.3.7.2	Optische und dekorative Schichten	106
3.3.7.3	Schichten für Elektronik und Elektrotechnik	112
3.3.7.3.1	Abschirmschichten	112
3.3.7.3.2	Aluminium-Abschirmschichten	113
3.3.7.3.3	Kupfer-Abschirmschichten	115
3.3.7.3.4	Ableitung von Ladungen	116
3.4	Thermisches Spritzen	117
3.4.1	Flamecon-Verfahren	117
3.5	Lackiertechnik	119
3.5.1	Lacksysteme	120
3.5.1.1	Klassifizierung und Aufgaben der Lacksysteme	121
3.5.1.1.1	Grundlack	121
3.5.1.1.2	Zwischenlack	121
3.5.1.1.3	Decklack	121
3.5.1.2	Einteilung nach Farbe und Effekt	122
3.5.1.3	Typische Lackaufbauten für die Kunststofflackierung	122
3.5.1.4	Zusammensetzung der Lacksysteme	124
3.5.1.4.1	Bindemittel	125
3.5.1.4.2	Lösemittel	125
3.5.1.4.3	Pigmente, Farbstoffe und Effektmittel	126
3.5.1.4.4	Additive	127
3.5.1.5	Filmbildungsprozess und Reaktionsmechanismen	127
3.5.1.5.1	Polyaddition	128
3.5.1.5.2	Polykondensation	129
3.5.1.6	Wirtschaftlichkeit von Lacksystemen	130
3.5.2	Applikationstechnik	130
3.5.2.1	Applikationsverfahren	131

3.5.2.1.1	Direkte Applikationsverfahren.....	131
3.5.2.1.1.1	Tauchen.....	131
3.5.2.1.1.2	Fluten.....	132
3.5.2.1.1.3	Rakeln.....	132
3.5.2.1.2	Indirekte Applikationsverfahren.....	132
3.5.2.1.2.1	Sprüh-/Spritzapplikation.....	133
3.5.2.1.2.2	Airlesszerstäuben.....	133
3.5.2.1.2.3	Pneumatisches Zerstäuben.....	133
3.5.2.1.2.4	Hochrotationszerstäubung.....	134
3.5.2.1.2.5	Hochrotationszerstäubung mit elektrostatischer Unterstützung.....	135
3.5.2.2	Charakteristik und Einflüsse des Spritz-/Sprühstrahls	138
3.5.2.2.1	Pneumatischer Spritz-/Sprühstrahl.....	138
3.5.2.2.2	Hochrotationszerstäubter Spritz-/Sprühstrahl.....	140
3.5.2.3	Weitere Einflussfaktoren auf das Lackierergebnis.....	141
3.5.2.4	Machbarkeitsanalyse von Oberflächenqualitäten.....	143
3.5.2.5	Methoden zur Optimierung der Oberflächenqualität ..	144
3.5.2.6	Entwicklungsarbeiten.....	146
3.5.3	Anwendungen.....	148
3.5.3.1	Automobilindustrie Pkw.....	149
3.5.3.1.1	Außenteile.....	150
3.5.3.1.2	Innenteile.....	151
3.5.3.1.3	Motorraumkomponenten und Aggregate.....	152
3.5.3.1.4	Karosseriebauteile (Thermoplastische Werkstoffe) ..	153
3.5.3.1.4.1	Karosseriebauteile, Heckdeckel, Kofferraumdeckel und Dachmodule (Duromere Werkstoffe).....	155
3.5.3.1.5	Antennendachmodul (Thermoplast-Duromer- Kombination).....	155
3.5.3.1.6	Carbonfaser-Sichtoptik.....	157
3.5.3.1.7	Glasersatz und Automotive-Glazing.....	158
3.5.3.2	Nutzfahrzeugindustrie.....	159
3.5.4	Gründe für die Lackierung von Kunststoffen.....	160
3.5.4.1	Schutzwirkung und Protektion.....	161
3.5.4.2	Aussehen, Optik und Dekoration.....	162
3.5.4.3	Besondere Funktionen und spezielle Eigenschaften ..	162
3.5.5	Lackeigenschaften.....	163
3.5.6	Lackentwicklung.....	164
3.5.6.1	Reduzierung der Zahl der Schichten.....	164
3.5.6.2	Niedrigere Schichtdicken der Einzelschichten.....	165
3.5.6.3	Schnellere Trocknung.....	165
3.5.6.4	Wirtschaftlichere Applikationen.....	166

3.5.6.5	Standardisierung zu Einheitsprodukten	166
3.5.6.6	Neue Produkttechnologien	166
3.5.6.7	Neue Applikationstechniken.	167
3.5.7	Spezifikationen, Fehlersuche, Fehleranalyse und Fehlerbilder.	167
3.5.7.1	Spezifikationen	167
3.5.7.2	Fehlersuche und Fehleranalyse	169
3.5.7.3	Kategorisierung von Fehlerbildern	170
3.5.7.3.1	Blasen	171
3.5.7.3.2	Fasereinschluss	173
3.5.7.3.3	Fremdpartikeleinschluss.	173
3.5.7.3.4	Substratfehler.	174
3.5.7.3.5	Krater	174
3.5.7.3.6	Rückstand auf Substrat.	175
3.5.7.3.7	Härterhaut	175
3.5.7.3.8	Lackhaftfestigkeitsschaden nach HDW-Test DIN 55662	176
3.5.7.3.9	Fehlstellen nach Bewitterung.	177
3.5.7.3.10	Pilzbefall.	178
	Literatur zu Kapitel 3.	179
4	Drucktechnik.	183
4.1	Einleitung.	183
4.2	Siebdruck.	186
4.2.1	Verfahren.	186
4.2.1.1	Grafischer Siebdruck.	187
4.2.1.2	Industriesiebdruck	188
4.2.1.3	Schaltungsdruck	188
4.2.1.4	Glasbedruckung und Beschichtungen.	188
4.2.1.5	Bedruckung von Formteilen und Spezialdrucke	188
4.2.1.6	Textil-Siebdruck.	189
4.2.2	Siebdruckform.	189
4.2.2.1	Siebdruckrahmen	189
4.2.2.2	Schablonenträger.	190
4.2.2.3	Kennzeichnung und Geometrie des Schablonenträgers	192
4.2.2.4	Bindeart	193
4.2.2.5	Gewebegeometrie.	193
4.2.2.6	Spannen des Schablonenträgers	195
4.2.2.7	Schablonenherstellung	197
4.2.2.7.1	Gewebevorbehandlung	198
4.2.2.7.2	Schablonenherstellungsverfahren.	198
4.2.2.7.3	Fotomechanische Verfahren	198

4.2.2.7.4	Direktschablonen	199
4.2.2.7.5	Direktfilm/Kapillarfilm	201
4.2.2.7.6	Indirektschablone	202
4.2.2.7.7	Galvanische- und Laserverfahren	202
4.2.2.8	Bebilderung der Siebdruckform	203
4.2.2.8.1	Kontaktkopie	203
4.2.2.8.2	Projektionsbelichtung	205
4.2.2.8.3	Filmlose Bebilderung Computer-to-Screen	206
4.2.3	Druckvorgang	207
4.2.3.1	Rakel	207
4.2.3.2	Hauptdruckprinzipien	209
4.2.3.2.1	Flachbett-Siebdruck	209
4.2.3.2.2	Flachform-Zylindersiebdruck	211
4.2.3.2.3	Rotationssiebdruck	211
4.2.3.2.4	Rund- und Körpersiebdruck	213
4.2.4	Trocknung	213
4.2.5	Ausblick	213
4.3	Flexodruck	214
4.3.1	Bauweisen von Flexodruckmaschinen	215
4.3.1.1	Zentralzylinderdruckmaschinen	215
4.3.1.2	Reihenflexodruckmaschinen	216
4.3.1.3	Bogenflexodruckmaschinen	217
4.3.2	Aufbau und Herstellung von Flexodruckformen	218
4.3.2.1	Fotopolymere Flexodruckformen	219
4.3.2.2	Direktgravur	221
4.3.3	Druckbildlängenänderung und die erforderliche Verkürzung	222
4.3.4	Handling und Vorbereitung für die Montage und den Druck	222
4.3.4.1	Druckwerk	224
4.3.4.2	Druckformsleeve und Druckformzylinder	224
4.3.4.3	Rasterwalzensleeve, Rasterwalze und Rakelsystem	227
4.3.5	Besonderheiten beim Rüsten der Druckmaschine	231
4.3.6	Einsatz von Flexodruckmaschinen in der Druckindustrie	232
4.4	Offsetdruck	233
4.4.1	Offsetdruckform und Herstellungsprozess	234
4.4.1.1	Druckwerk – Komponenten Druckplatten-, Gummituch- und Gegendruckzylinder	237
4.4.1.2	Druckwerk – Komponente Farbwerk und unterschiedliche Varianten	238
4.4.1.3	Druckwerk – Komponente Feuchtwerk	242
4.4.2	Maschinenbauweisen	244
4.4.2.1	Bogenoffsetdruckmaschinen in Reihenbauweise	244

4.4.2.2	Bogenoffsetdruckmaschinen in Fünf-Zylinder- und Satellitenbauweise	245
4.4.2.3	Rollenoffsetdruckmaschinen	246
4.4.2.4	Heat-Set-Rollenoffsetdruck	246
4.4.2.5	Zeitungsrotationen (Coldset)	247
4.4.3	Anwendung des Offsetdrucks	248
4.5	Tiefdruck	248
4.5.1	Einsatzgebiete	250
4.5.2	Aufbau der Tiefdruckform	251
4.5.2.1	Dünnschichtverfahren	253
4.5.2.2	Ballardhautverfahren	253
4.5.2.3	Dickschichtverfahren	253
4.5.3	Herstellung der Tiefdruckform	254
4.5.3.1	Elektromechanische Gravur	255
4.5.3.2	Laser-Ätz-Verfahren	259
4.5.3.3	Lasergravur	262
4.5.4	Tiefdruckfarbe	265
4.5.5	Tiefdruckmaschinen	266
4.5.5.1	Trocknung	268
4.5.5.2	Schön- und Widerdruck	269
4.5.5.3	Automatischer Rollenwechsel	270
4.5.5.4	Elektrostatische Druckunterstützung (ESA)	271
4.6	Digitaldruck	272
4.6.1	Kategorien des Digitaldrucks	272
4.6.2	Einsatzgebiete	274
4.6.3	Datenaufbereitung für den Digitaldruck	275
4.6.3.1	Raster Image Processor	275
4.6.3.2	Raster	275
4.6.4	Elektrofotografie	277
4.6.4.1	Druckprozess	277
4.6.4.1.1	Aufladung	277
4.6.4.1.2	Belichtung	277
4.6.4.1.3	Entwicklung	277
4.6.4.1.4	Farbübertragung	278
4.6.4.1.5	Tonerfixierung	278
4.6.4.1.6	Reinigung	278
4.6.4.2	Systemkomponenten	279
4.6.4.2.1	Fotoleiter	279
4.6.4.2.2	Bebilderungseinheit	280
4.6.4.2.2.1	Aufladungseinheit	280
4.6.4.2.2.2	Zeichengenerator	281

4.6.4.2.3	Entwicklungseinheit und Toner	281
4.6.4.2.4	Tonerfixiereinheit	283
4.6.4.3	Maschinenkonzepte	283
4.6.4.4	Einsatzgebiete	284
4.6.5	Magnetografie	284
4.6.5.1	Druckprozess	284
4.6.5.1.1	Bebilderung	285
4.6.5.1.2	Entwicklung	285
4.6.5.1.3	Retouching	285
4.6.5.1.4	Farbübertragung	285
4.6.5.1.5	Fixierung	286
4.6.5.1.6	Reinigung	286
4.6.5.1.7	Löschen der Trommel	286
4.6.5.2	Maschinenkomponenten	286
4.6.5.2.1	Bebilderungstrommel	286
4.6.5.2.2	Bebilderungseinheit	286
4.6.5.2.3	Toner	286
4.6.5.2.4	Fixierungseinheit	287
4.6.6	Thermografie	287
4.6.6.1	Direkte Thermografie	287
4.6.6.2	Transferthermografie	288
4.6.6.2.1	Thermotransfer	288
4.6.6.2.2	Thermosublimation	289
4.6.6.3	Maschinenkomponenten	290
4.6.6.3.1	Farbträgerband	290
4.6.6.3.2	Bebilderungseinheit	291
4.6.6.4	Einsatzgebiete	291
4.6.7	InkJet	292
4.6.7.1	Continuous-InkJet-Technologie	294
4.6.7.1.1	Binary-Deflecting	294
4.6.7.1.2	Multi-Deflecting	295
4.6.7.2	Drop-on-Demand-Technologie	295
4.6.7.2.1	Thermoelektrische Tintendruckwerke (Bubble-Jet)	295
4.6.7.2.2	Piezo-InkJet	296
4.6.7.3	Verdruckstoffe	297
4.6.7.4	Maschinenkonzepte	298
4.6.7.4.1	InkJet-Arrays	298
4.6.7.4.2	Oszillierende oder stationäre Drucksysteme	298
4.6.7.5	Einsatzgebiete	299
4.7	Tampondruck	301
4.7.1	Druckform	302

4.7.1.1	Klischeetypen.....	302
4.7.1.2	Kunststoffklischee.....	303
4.7.1.3	Band- und Dünnstahlklischee.....	304
4.7.1.4	Stahlklischees.....	305
4.7.1.5	Keramikklichees.....	305
4.7.1.6	Laser-Klischee.....	306
4.7.2	Rasterung im Tampondruck.....	306
4.7.3	Stanzung und Lochung.....	307
4.7.4	Klischeetiefe.....	307
4.7.5	Tampon.....	307
4.7.5.1	Herstellung.....	308
4.7.5.2	Tamponeigenschaften.....	308
4.7.5.3	Tamponform.....	308
4.7.5.4	Tamponhärte.....	309
4.7.5.5	Tamponvolumen.....	309
4.7.6	Druckvorgang.....	309
4.7.7	Druckfarben.....	311
4.7.8	Maschinentechnik.....	311
4.7.8.1	Farbsystem.....	311
4.7.8.1.1	Offenes System.....	311
4.7.8.1.2	Geschlossene Systeme.....	313
4.7.8.2	Tamponbewegung.....	314
4.7.8.2.1	Vertikale Tamponbewegung.....	314
4.7.8.2.2	Vertikale und horizontale Tamponbewegung.....	315
4.7.8.2.3	Rotative Bewegung.....	316
4.7.8.3	Antriebstechniken.....	317
4.7.8.3.1	Elektro-mechanischer Antrieb.....	317
4.7.8.3.2	Pneumatischer Antrieb.....	317
4.7.8.3.3	Hydraulischer Antrieb.....	318
4.7.8.4	Druckformat.....	318
4.7.8.5	Anzahl der Druckfarben.....	318
4.7.8.6	Werkstückaufnahmen und Bedruckstoffzufuhr.....	319
4.7.8.6.1	Carreetisch.....	320
4.7.8.6.2	Rundschaltteller.....	321
4.7.8.6.3	Linearband.....	321
4.7.8.6.4	Taktvorschubgerät.....	322
4.7.9	Rotationsdruck.....	323
4.8	Vergleich der Druckverfahren und deren Bewertung.....	324
4.8.1	Offsetdruck.....	326
4.8.2	Flexodruck.....	327
4.8.3	Tiefdruck.....	328

4.8.4	Tampondruck.	329
4.8.5	Siebdruck.	330
4.8.6	Non-Impact-Printing.	331
4.8.7	Zusammenfassung	333
	Literatur zu Kapitel 4.	334
5	Laserstrahlbeschriftung.	335
5.1	Einführung.	335
5.2	Warum Laserbeschriftung?	337
5.3	Lasertypen für das Beschriften	338
5.3.1	Sealed-off CO ₂ -Laser	338
5.3.2	Excimerlaser	338
5.3.3	Diodengepumpte Q-switch Festkörperlaser	338
5.3.4	Faserlaser.	340
5.3.5	Diodenlaser	341
5.4	Laserbeschriftungstechniken.	342
5.4.1	Prinzip der Vektorbeschriftung.	342
5.4.2	Prinzip des Maskenprojektionsverfahrens	343
5.4.3	Prinzip des Rasterverfahrens	344
5.4.4	Verfahren im Vergleich	344
5.5	Strahlqualität.	345
5.6	Effekte bei der Laserbeschriftung	348
5.6.1	Kunststoffe.	348
5.6.1.1	Die Rolle der Laserwellenlänge	350
5.6.1.2	Effekte bei der Laserbeschriftung von Kunststoffen	351
5.6.1.3	Welche Kunststoffe sind beschriftbar?	353
5.6.2	Metalle	357
5.6.3	Tiefengravur	359
5.7	Rückverfolgbarkeit in der Industrie	361
5.7.1	Codierungen (DataMatrix-Code, Barcode)	362
5.7.2	Aufbau des DataMatrix-Code.	363
5.7.3	Herstellungsmöglichkeiten von DataMatrix-Codes	364
5.7.4	Auslesen der Codes.	365
5.7.4.1	Kernpunkte der AIM	365
5.7.4.1.1	Kontrast (Symbol Contrast)	365
5.7.4.1.2	Zellengröße (Print-Growth).	365
5.7.4.1.3	Achsiale Unförmigkeit (Axial-Nonuniformity)	366
5.7.4.1.4	Ungenutzte Fehlerkorrektur (Unused-Error-Correction)	366
5.7.4.1.5	Gesamtgüte (Overall-Grade)	366
5.7.4.2	Prozesssichere Lesbarkeit.	367

5.7.4.3	Besonderheiten	368
5.8	Tag-Nacht-Design.....	369
5.9	Laserbeschriftungsfolien	371
5.10	Leiterplattenbeschriftung.....	371
5.11	Weitere Anwendungsbeispiele.....	373
5.12	Handlingsysteme.....	375
5.12.1	Doppelkopfsystem.....	376
5.12.2	Marking-on-the-Fly.....	376
5.12.3	Kostenaspekte	377
5.12.4	Arbeitsschutz und Arbeitssicherheit	378
5.13	Bewertung und Fehlermöglichkeiten	379
5.14	Zusammenfassung	380
	Literatur zu Kapitel 5.....	381
6	Etikettieren	383
6.1	Kaltleim-Etikettierung	385
6.2	Heißleim-Etikettierung	386
6.3	Sleeve-Etikettierung	387
6.4	Haftetikettierung.....	388
	Literatur zu Kapitel 6.....	389
7	Beflocken von Kunststoffen.....	391
7.1	Einführung.....	391
7.2	Technische Grundlagen der Beflockung.....	391
7.3	Verfahrensablauf.....	396
7.3.1	Vorbehandlung	396
7.3.2	Klebstoffauftrag.....	396
7.3.3	Beflockung.....	397
7.3.4	Trocknung.....	397
7.3.5	Endreinigung.....	397
7.4	Flockklebstoffe.....	398
7.5	Flockfasern.....	399
7.6	Flockgeräte und Flockanlagen	401
7.7	Prüfgeräte und Prüfverfahren	408
7.7.1	Bestimmung des elektrischen Widerstandes von Flock.....	408
7.7.2	Springprüfung.....	410
7.7.3	Trennfähigkeitsprüfung.....	414
7.7.4	Bestimmung der Flockdimensionen und Geometrienanalyse	417
7.7.5	Restflockmessung.....	418
7.7.6	Hochspannungsprüfung.....	419
7.7.7	Abriebprüfung.....	420

7.7.8 Ausreißprüfung.....	422
7.8 Eigenschaften beflockter Oberflächen und Anwendungsbeispiele	423
Literatur zu Kapitel 7.....	430
8 Oberflächenstrukturierung	431
8.1 Einleitung.....	431
8.2 Funkenerosion.....	434
8.3 Photoätztechnik.....	438
8.4 Strahlverfahren	441
8.5 Laserstrukturieren	442
8.6 Course4 [®] -Technologie.....	444
8.7 Sprengprägen.....	446
8.8 Cera-Shibo-Technologie.....	450
Literatur zu Kapitel 8.....	451
9 Folienhinterspritzen	453
9.1 Einleitung.....	453
9.2 Inmold-Decoration (IMD-Verfahren)	453
9.2.1 IMD-Prozess.....	454
9.2.2 IMD-Folien.....	456
9.2.3 IMD-Werkzeug.....	457
9.2.4 IMD-Vorschubgerät.....	457
9.2.5 Spezielle Aspekte	459
9.2.6 Prüftechnik	460
9.2.7 Verwendbare Kunststoffe.....	460
9.2.8 Anwendungsgebiete und Praxisbeispiele.....	461
9.3 Klassisches Folienhinterspritzen.....	464
9.3.1 FIM-Prozess.....	464
9.3.2 Bedrucken von Folien.....	467
9.3.3 Verformen von Folien.....	467
9.3.4 Beschneiden von Folien	468
9.3.5 Fixierung im Werkzeug	469
9.3.6 Werkzeugtechnik	469
9.3.7 Spezielle Aspekte	470
9.3.8 Prüftechnik	472
9.3.9 Verwendbare Kunststoffe.....	472
9.3.10 Anwendungsgebiete und Praxisbeispiele.....	473
Literatur zu Kapitel 9.....	479
10 Prüftechnik	481
10.1 Einleitung.....	481

10.2 Glanz und Glanzmessung.....	484
10.2.1 Einstrahlungswinkel.....	487
10.2.2 Bild-Aperturwinkel.....	487
10.2.3 Blenden-Aperturwinkel.....	488
10.2.4 Reflektometerwert.....	488
10.3 Farbwahrnehmung und Farbmessung.....	489
10.4 Rauigkeits- und Topographiemessung.....	498
10.5 Kratzbeständigkeitsprüfungen und Abrieb.....	502
10.5.1 Erichsen-Härteprüfung.....	502
10.6 Beständigkeitsprüfungen gegen Temperatur, Witterung und Alterung ..	512
10.7 Haftung.....	520
Literatur zu Kapitel 10.....	526
Stichwortverzeichnis.....	527

Inhaltsverzeichnis

Vorwort zur 2. Auflage	V
Vorwort zur 1. Auflage	VII
Die Autoren	XXIII
Kurzzeichen von Kunststoffen	XXV
1 Einleitung und Einführung in die Oberflächentechnik	1
2 Reinigung und Aktivierung	3
2.1 Einleitung	3
2.2 Grundlagen zu Benetzung und Oberflächenenergie	4
2.3 Reinigungsverfahren	8
2.3.1 Manuelle Reinigung	8
2.3.2 Mechanische Reinigung	9
2.3.3 Schwertbürstenreinigung	10
2.3.4 Ionisation	15
2.3.5 Trockeneisreinigung	19
2.3.6 Laserreinigung	22
2.3.7 Nasschemische Reinigung	27
2.4 Aktivierungsverfahren	29
2.4.1 Beflammung	30
2.4.2 Corona-Behandlung	34
2.4.2.1 Direkte Coronaentladung	35
2.4.2.2 Indirekte Coronaentladung	36
2.4.3 VUV-Vorbehandlung	41
2.4.4 Plasmatechnologie	45
2.4.4.1 Atmosphärendruckplasma (AD-Plasma)	45
2.4.4.2 Niederdruckplasma (ND-Plasma)	49
2.4.4.2.1 Plasmamodifizierung/-aktivierung	50

2.4.4.2.2	Plasmareinigung	50
2.4.4.2.3	Beschichtung im Niederdruckplasma (Plasmapolymerisation)	50
2.4.4.2.4	Plasmaätzen	51
2.4.5	Fluorierung	54
2.5	Schlussbetrachtung	57
	Literatur zu Kapitel 2.	58
3	Beschichtungstechnik	61
3.1	Einleitung	61
3.2	Galvanisieren von Kunststoffen	62
3.2.1	Verfahrensschritte	63
3.2.1.1	Beizen	64
3.2.1.2	Reduzieren	65
3.2.1.3	Aktivieren und Beschleunigen	65
3.2.1.4	Chemische Metallisierung	66
3.2.1.5	Elektrolytische Galvanisierung	67
3.2.1.5.1	Vornickel	68
3.2.1.5.2	Kupfer	69
3.2.1.5.3	Nickel	69
3.2.1.5.4	Chrom	70
3.2.2	Spezielle Aspekte	71
3.2.2.1	Partielle Galvanisierung	71
3.2.2.2	Ausschussproblematik	72
3.2.2.3	Kunststoff- und galvanisiergerechte Konstruktion.	73
3.2.2.3.1	Scharfe Ecken und Kanten	74
3.2.2.3.2	Gestellaufnahme und Kontaktierungsstellen	75
3.2.2.3.3	Sacklöcher und Hinterschneidungen	75
3.2.2.3.4	Nuten, Schlitze und Bohrungen	75
3.2.2.3.5	Große und ebene Flächen	76
3.2.2.3.6	Anschnittposition	76
3.2.2.3.7	Vorteile	76
3.2.2.3.8	Nachteile	76
3.2.3	Prüftechnik	77
3.2.4	Verarbeitbare Kunststoffe	78
3.2.4.1	Acrylnitril-Butadien-Styrol	78
3.2.4.2	Polyamid	79
3.2.4.3	Polypropylen	81
3.2.4.4	Weitere Kunststoffe	82
3.2.5	Anwendungsgebiete und Praxisbeispiele	82
3.3	Physikalische Dampfphasenabscheidung (Physical-Vapor-Deposition)	86

3.3.1	Verhalten der Kunststoffe im Vakuum	88
3.3.2	Reinigung und Vorbehandlung	89
3.3.3	Thermisches Verdampfen	92
3.3.3.1	Direkte Widerstandsbeheizung	92
3.3.3.2	Indirekt beheizte Quellen	94
3.3.4	Elektronenstrahlverdampfen	95
3.3.5	Hochleistungs-Kathodenzerstäuben	97
3.3.6	Anlagentechnik und Bauteilbestückung.	99
3.3.7	Anwendungsbeispiele.	103
3.3.7.1	Bedampfung von Bahnware	103
3.3.7.1.1	Anwendungen auf Kunststofffolien	104
3.3.7.1.1.1	Antistatische Verpackungen.	104
3.3.7.1.1.2	Kondensatorfolien	105
3.3.7.1.1.3	Lebensmittelverpackung.	105
3.3.7.2	Optische und dekorative Schichten	106
3.3.7.3	Schichten für Elektronik und Elektrotechnik	112
3.3.7.3.1	Abschirmschichten	112
3.3.7.3.2	Aluminium-Abschirmschichten	113
3.3.7.3.3	Kupfer-Abschirmschichten	115
3.3.7.3.4	Ableitung von Ladungen.	116
3.4	Thermisches Spritzen.	117
3.4.1	Flamecon-Verfahren	117
3.5	Lackiertechnik.	119
3.5.1	Lacksysteme	120
3.5.1.1	Klassifizierung und Aufgaben der Lacksysteme	121
3.5.1.1.1	Grundlack.	121
3.5.1.1.2	Zwischenlack	121
3.5.1.1.3	Decklack	121
3.5.1.2	Einteilung nach Farbe und Effekt.	122
3.5.1.3	Typische Lackaufbauten für die Kunststofflackierung	122
3.5.1.4	Zusammensetzung der Lacksysteme.	124
3.5.1.4.1	Bindemittel.	125
3.5.1.4.2	Lösemittel	125
3.5.1.4.3	Pigmente, Farbstoffe und Effektmittel.	126
3.5.1.4.4	Additive.	127
3.5.1.5	Filmbildungsprozess und Reaktionsmechanismen	127
3.5.1.5.1	Polyaddition	128
3.5.1.5.2	Polykondensation.	129
3.5.1.6	Wirtschaftlichkeit von Lacksystemen	130
3.5.2	Applikationstechnik	130
3.5.2.1	Applikationsverfahren	131

3.5.2.1.1	Direkte Applikationsverfahren.	131
3.5.2.1.1.1	Tauchen.	131
3.5.2.1.1.2	Fluten	132
3.5.2.1.1.3	Rakeln	132
3.5.2.1.2	Indirekte Applikationsverfahren	132
3.5.2.1.2.1	Sprüh-/Spritzapplikation	133
3.5.2.1.2.2	Airlesszerstäuben	133
3.5.2.1.2.3	Pneumatisches Zerstäuben.	133
3.5.2.1.2.4	Hochrotationszerstäubung	134
3.5.2.1.2.5	Hochrotationszerstäubung mit elektrostatischer Unterstützung	135
3.5.2.2	Charakteristik und Einflüsse des Spritz-/Sprühstrahls	138
3.5.2.2.1	Pneumatischer Spritz-/Sprühstrahl.	138
3.5.2.2.2	Hochrotationszerstäubter Spritz-/Sprühstrahl.	140
3.5.2.3	Weitere Einflussfaktoren auf das Lackierergebnis. . . .	141
3.5.2.4	Machbarkeitsanalyse von Oberflächenqualitäten	143
3.5.2.5	Methoden zur Optimierung der Oberflächenqualität . .	144
3.5.2.6	Entwicklungsarbeiten	146
3.5.3	Anwendungen	148
3.5.3.1	Automobilindustrie Pkw	149
3.5.3.1.1	Außenteile.	150
3.5.3.1.2	Innenteile	151
3.5.3.1.3	Motorraumkomponenten und Aggregate	152
3.5.3.1.4	Karosseriebauteile (Thermoplastische Werkstoffe) . . .	153
3.5.3.1.4.1	Karosseriebauteile, Heckdeckel, Kofferraumdeckel und Dachmodule (Duromere Werkstoffe)	155
3.5.3.1.5	Antennendachmodul (Thermoplast-Duromer- Kombination)	155
3.5.3.1.6	Carbonfaser-Sichtoptik	157
3.5.3.1.7	Glasersatz und Automotive-Glazing.	158
3.5.3.2	Nutzfahrzeugindustrie	159
3.5.4	Gründe für die Lackierung von Kunststoffen.	160
3.5.4.1	Schutzwirkung und Protektion.	161
3.5.4.2	Aussehen, Optik und Dekoration	162
3.5.4.3	Besondere Funktionen und spezielle Eigenschaften . .	162
3.5.5	Lackeigenschaften.	163
3.5.6	Lackentwicklung.	164
3.5.6.1	Reduzierung der Zahl der Schichten	164
3.5.6.2	Niedrigere Schichtdicken der Einzelschichten.	165
3.5.6.3	Schnellere Trocknung	165
3.5.6.4	Wirtschaftlichere Applikationen	166

3.5.6.5	Standardisierung zu Einheitsprodukten	166
3.5.6.6	Neue Produkttechnologien	166
3.5.6.7	Neue Applikationstechniken	167
3.5.7	Spezifikationen, Fehlersuche, Fehleranalyse und Fehlerbilder	167
3.5.7.1	Spezifikationen	167
3.5.7.2	Fehlersuche und Fehleranalyse	169
3.5.7.3	Kategorisierung von Fehlerbildern	170
3.5.7.3.1	Blasen	171
3.5.7.3.2	Fasereinschluss	173
3.5.7.3.3	Fremdpartikeleinschluss	173
3.5.7.3.4	Substratfehler	174
3.5.7.3.5	Krater	174
3.5.7.3.6	Rückstand auf Substrat	175
3.5.7.3.7	Härterhaut	175
3.5.7.3.8	Lackhaftfestigkeitsschaden nach HDW-Test DIN 55662	176
3.5.7.3.9	Fehlstellen nach Bewitterung	177
3.5.7.3.10	Pilzbefall	178
Literatur zu Kapitel 3		179
4	Drucktechnik	183
4.1	Einleitung	183
4.2	Siebdruck	186
4.2.1	Verfahren	186
4.2.1.1	Grafischer Siebdruck	187
4.2.1.2	Industriesiebdruck	188
4.2.1.3	Schaltungsdruck	188
4.2.1.4	Glasbedruckung und Beschichtungen	188
4.2.1.5	Bedruckung von Formteilen und Spezialdrucke	188
4.2.1.6	Textil-Siebdruck	189
4.2.2	Siebdruckform	189
4.2.2.1	Siebdruckrahmen	189
4.2.2.2	Schablonenträger	190
4.2.2.3	Kennzeichnung und Geometrie des Schablonenträgers	192
4.2.2.4	Bindeart	193
4.2.2.5	Gewebegeometrie	193
4.2.2.6	Spannen des Schablonenträgers	195
4.2.2.7	Schablonenherstellung	197
4.2.2.7.1	Gewebevorbehandlung	198
4.2.2.7.2	Schablonenherstellungsverfahren	198
4.2.2.7.3	Fotomechanische Verfahren	198

4.2.2.7.4	Direktschablonen	199
4.2.2.7.5	Direktfilm/Kapillarfilm	201
4.2.2.7.6	Indirektschablone	202
4.2.2.7.7	Galvanische- und Laserverfahren	202
4.2.2.8	Bebilderung der Siebdruckform	203
4.2.2.8.1	Kontaktkopie	203
4.2.2.8.2	Projektionsbelichtung	205
4.2.2.8.3	Filmlose Bebilderung Computer-to-Screen	206
4.2.3	Druckvorgang	207
4.2.3.1	Rakel	207
4.2.3.2	Hauptdruckprinzipien	209
4.2.3.2.1	Flachbett-Siebdruck	209
4.2.3.2.2	Flachform-Zylindersiebdruck	211
4.2.3.2.3	Rotationssiebdruck	211
4.2.3.2.4	Rund- und Körpersiebdruck	213
4.2.4	Trocknung	213
4.2.5	Ausblick	213
4.3	Flexodruck	214
4.3.1	Bauweisen von Flexodruckmaschinen	215
4.3.1.1	Zentralzylinderdruckmaschinen	215
4.3.1.2	Reihenflexodruckmaschinen	216
4.3.1.3	Bogenflexodruckmaschinen	217
4.3.2	Aufbau und Herstellung von Flexodruckformen	218
4.3.2.1	Fotopolymere Flexodruckformen	219
4.3.2.2	Direktgravur	221
4.3.3	Druckbildlängenänderung und die erforderliche Verkürzung	222
4.3.4	Handling und Vorbereitung für die Montage und den Druck	222
4.3.4.1	Druckwerk	224
4.3.4.2	Druckformsleeve und Druckformzylinder	224
4.3.4.3	Rasterwalzensleeve, Rasterwalze und Rakelsystem	227
4.3.5	Besonderheiten beim Rüsten der Druckmaschine	231
4.3.6	Einsatz von Flexodruckmaschinen in der Druckindustrie	232
4.4	Offsetdruck	233
4.4.1	Offsetdruckform und Herstellungsprozess	234
4.4.1.1	Druckwerk – Komponenten Druckplatten-, Gummituch- und Gegendruckzylinder	237
4.4.1.2	Druckwerk – Komponente Farbwerk und unterschiedliche Varianten	238
4.4.1.3	Druckwerk – Komponente Feuchtwerk	242
4.4.2	Maschinenbauweisen	244
4.4.2.1	Bogenoffsetdruckmaschinen in Reihenbauweise	244

4.4.2.2	Bogenoffsetdruckmaschinen in Fünf-Zylinder- und Satellitenbauweise	245
4.4.2.3	Rollenoffsetdruckmaschinen	246
4.4.2.4	Heat-Set-Rollenoffsetdruck	246
4.4.2.5	Zeitungsrotationen (Coldset)	247
4.4.3	Anwendung des Offsetdrucks	248
4.5	Tiefdruck	248
4.5.1	Einsatzgebiete	250
4.5.2	Aufbau der Tiefdruckform	251
4.5.2.1	Dünnschichtverfahren	253
4.5.2.2	Ballardhautverfahren	253
4.5.2.3	Dickschichtverfahren	253
4.5.3	Herstellung der Tiefdruckform	254
4.5.3.1	Elektromechanische Gravur	255
4.5.3.2	Laser-Ätz-Verfahren	259
4.5.3.3	Lasergravur	262
4.5.4	Tiefdruckfarbe	265
4.5.5	Tiefdruckmaschinen	266
4.5.5.1	Trocknung	268
4.5.5.2	Schön- und Widerdruck	269
4.5.5.3	Automatischer Rollenwechsel	270
4.5.5.4	Elektrostatische Druckunterstützung (ESA)	271
4.6	Digitaldruck	272
4.6.1	Kategorien des Digitaldrucks	272
4.6.2	Einsatzgebiete	274
4.6.3	Datenaufbereitung für den Digitaldruck	275
4.6.3.1	Raster Image Processor	275
4.6.3.2	Raster	275
4.6.4	Elektrofotografie	277
4.6.4.1	Druckprozess	277
4.6.4.1.1	Aufladung	277
4.6.4.1.2	Belichtung	277
4.6.4.1.3	Entwicklung	277
4.6.4.1.4	Farbübertragung	278
4.6.4.1.5	Tonerfixierung	278
4.6.4.1.6	Reinigung	278
4.6.4.2	Systemkomponenten	279
4.6.4.2.1	Fotoleiter	279
4.6.4.2.2	Bebilderungseinheit	280
4.6.4.2.2.1	Aufladungseinheit	280
4.6.4.2.2.2	Zeichengenerator	281

4.6.4.2.3	Entwicklungseinheit und Toner	281
4.6.4.2.4	Tonerfixiereinheit	283
4.6.4.3	Maschinenkonzepte	283
4.6.4.4	Einsatzgebiete	284
4.6.5	Magnetografie	284
4.6.5.1	Druckprozess	284
4.6.5.1.1	Bebilderung	285
4.6.5.1.2	Entwicklung	285
4.6.5.1.3	Retouching	285
4.6.5.1.4	Farbübertragung	285
4.6.5.1.5	Fixierung	286
4.6.5.1.6	Reinigung	286
4.6.5.1.7	Löschen der Trommel	286
4.6.5.2	Maschinenkomponenten	286
4.6.5.2.1	Bebilderungstrommel	286
4.6.5.2.2	Bebilderungseinheit	286
4.6.5.2.3	Toner	286
4.6.5.2.4	Fixierungseinheit	287
4.6.6	Thermografie	287
4.6.6.1	Direkte Thermografie	287
4.6.6.2	Transferthermografie	288
4.6.6.2.1	Thermotransfer	288
4.6.6.2.2	Thermosublimation	289
4.6.6.3	Maschinenkomponenten	290
4.6.6.3.1	Farbträgerband	290
4.6.6.3.2	Bebilderungseinheit	291
4.6.6.4	Einsatzgebiete	291
4.6.7	InkJet	292
4.6.7.1	Continuous-InkJet-Technologie	294
4.6.7.1.1	Binary-Deflecting	294
4.6.7.1.2	Multi-Deflecting	295
4.6.7.2	Drop-on-Demand-Technologie	295
4.6.7.2.1	Thermoelektrische Tintendruckwerke (Bubble-Jet)	295
4.6.7.2.2	Piezo-InkJet	296
4.6.7.3	Verdruckstoffe	297
4.6.7.4	Maschinenkonzepte	298
4.6.7.4.1	InkJet-Arrays	298
4.6.7.4.2	Oszillierende oder stationäre Drucksysteme	298
4.6.7.5	Einsatzgebiete	299
4.7	Tampondruck	301
4.7.1	Druckform	302

4.7.1.1	Klischeetypen.....	302
4.7.1.2	Kunststoffklischee.....	303
4.7.1.3	Band- und Dünnstahlklischee.....	304
4.7.1.4	Stahlklischees.....	305
4.7.1.5	Keramikklichees.....	305
4.7.1.6	Laser-Klischee.....	306
4.7.2	Rasterung im Tampondruck.....	306
4.7.3	Stanzung und Lochung.....	307
4.7.4	Klischeetiefe.....	307
4.7.5	Tampon.....	307
4.7.5.1	Herstellung.....	308
4.7.5.2	Tamponeigenschaften.....	308
4.7.5.3	Tamponform.....	308
4.7.5.4	Tamponhärte.....	309
4.7.5.5	Tamponvolumen.....	309
4.7.6	Druckvorgang.....	309
4.7.7	Druckfarben.....	311
4.7.8	Maschinentechnik.....	311
4.7.8.1	Farbsystem.....	311
4.7.8.1.1	Offenes System.....	311
4.7.8.1.2	Geschlossene Systeme.....	313
4.7.8.2	Tamponbewegung.....	314
4.7.8.2.1	Vertikale Tamponbewegung.....	314
4.7.8.2.2	Vertikale und horizontale Tamponbewegung.....	315
4.7.8.2.3	Rotative Bewegung.....	316
4.7.8.3	Antriebstechniken.....	317
4.7.8.3.1	Elektro-mechanischer Antrieb.....	317
4.7.8.3.2	Pneumatischer Antrieb.....	317
4.7.8.3.3	Hydraulischer Antrieb.....	318
4.7.8.4	Druckformat.....	318
4.7.8.5	Anzahl der Druckfarben.....	318
4.7.8.6	Werkstückaufnahmen und Bedruckstoffzufuhr.....	319
4.7.8.6.1	Carreetisch.....	320
4.7.8.6.2	Rundschteller.....	321
4.7.8.6.3	Linearband.....	321
4.7.8.6.4	Taktvorschubgerät.....	322
4.7.9	Rotationsdruck.....	323
4.8	Vergleich der Druckverfahren und deren Bewertung.....	324
4.8.1	Offsetdruck.....	326
4.8.2	Flexodruck.....	327
4.8.3	Tiefdruck.....	328

4.8.4	Tampondruck.	329
4.8.5	Siebdruck.	330
4.8.6	Non-Impact-Printing.	331
4.8.7	Zusammenfassung.	333
	Literatur zu Kapitel 4.	334
5	Laserstrahlbeschriftung.	335
5.1	Einführung.	335
5.2	Warum Laserbeschriftung?	337
5.3	Lasertypen für das Beschriften.	338
5.3.1	Sealed-off CO ₂ -Laser.	338
5.3.2	Excimerlaser.	338
5.3.3	Diodengepumpte Q-switch Festkörperlaser.	338
5.3.4	Faserlaser.	340
5.3.5	Diodenlaser.	341
5.4	Laserbeschriftungstechniken.	342
5.4.1	Prinzip der Vektorbeschriftung.	342
5.4.2	Prinzip des Maskenprojektionsverfahrens.	343
5.4.3	Prinzip des Rasterverfahrens.	344
5.4.4	Verfahren im Vergleich.	344
5.5	Strahlqualität.	345
5.6	Effekte bei der Laserbeschriftung.	348
5.6.1	Kunststoffe.	348
5.6.1.1	Die Rolle der Laserwellenlänge.	350
5.6.1.2	Effekte bei der Laserbeschriftung von Kunststoffen.	351
5.6.1.3	Welche Kunststoffe sind beschriftbar?	353
5.6.2	Metalle.	357
5.6.3	Tiefengravur.	359
5.7	Rückverfolgbarkeit in der Industrie.	361
5.7.1	Codierungen (DataMatrix-Code, Barcode).	362
5.7.2	Aufbau des DataMatrix-Code.	363
5.7.3	Herstellungsmöglichkeiten von DataMatrix-Codes.	364
5.7.4	Auslesen der Codes.	365
5.7.4.1	Kernpunkte der AIM.	365
5.7.4.1.1	Kontrast (Symbol Contrast).	365
5.7.4.1.2	Zellengröße (Print-Growth).	365
5.7.4.1.3	Achsiale Unförmigkeit (Axial-Nonuniformity).	366
5.7.4.1.4	Ungenutzte Fehlerkorrektur (Unused-Error-Correction).	366
5.7.4.1.5	Gesamtgüte (Overall-Grade).	366
5.7.4.2	Prozesssichere Lesbarkeit.	367

5.7.4.3	Besonderheiten	368
5.8	Tag-Nacht-Design.....	369
5.9	Laserbeschriftungsfolien	371
5.10	Leiterplattenbeschriftung.....	371
5.11	Weitere Anwendungsbeispiele.....	373
5.12	Handlingsysteme.....	375
5.12.1	Doppelkopfsystem.....	376
5.12.2	Marking-on-the-Fly.....	376
5.12.3	Kostenaspekte	377
5.12.4	Arbeitsschutz und Arbeitssicherheit	378
5.13	Bewertung und Fehlermöglichkeiten	379
5.14	Zusammenfassung	380
	Literatur zu Kapitel 5.....	381
6	Etikettieren	383
6.1	Kaltleim-Etikettierung	385
6.2	Heißleim-Etikettierung	386
6.3	Sleeve-Etikettierung	387
6.4	Haftetikettierung.....	388
	Literatur zu Kapitel 6.....	389
7	Beflocken von Kunststoffen.....	391
7.1	Einführung.....	391
7.2	Technische Grundlagen der Beflockung.....	391
7.3	Verfahrensablauf.....	396
7.3.1	Vorbehandlung	396
7.3.2	Klebstoffauftrag.....	396
7.3.3	Beflockung.....	397
7.3.4	Trocknung.....	397
7.3.5	Endreinigung.....	397
7.4	Flockklebstoffe.....	398
7.5	Flockfasern.....	399
7.6	Flockgeräte und Flockanlagen	401
7.7	Prüfgeräte und Prüfverfahren	408
7.7.1	Bestimmung des elektrischen Widerstandes von Flock.....	408
7.7.2	Springprüfung.....	410
7.7.3	Trennfähigkeitsprüfung.....	414
7.7.4	Bestimmung der Flockdimensionen und Geometrienanalyse	417
7.7.5	Restflockmessung.....	418
7.7.6	Hochspannungsprüfung.....	419
7.7.7	Abriebprüfung.....	420

7.7.8	Ausreißprüfung.....	422
7.8	Eigenschaften beflockter Oberflächen und Anwendungsbeispiele.....	423
	Literatur zu Kapitel 7.....	430
8	Oberflächenstrukturierung.....	431
8.1	Einleitung.....	431
8.2	Funkenerosion.....	434
8.3	Photoätztechnik.....	438
8.4	Strahlverfahren.....	441
8.5	Laserstrukturieren.....	442
8.6	Course4 [®] -Technologie.....	444
8.7	Sprengprägen.....	446
8.8	Cera-Shibo-Technologie.....	450
	Literatur zu Kapitel 8.....	451
9	Folienhinterspritzen.....	453
9.1	Einleitung.....	453
9.2	Inmold-Decoration (IMD-Verfahren).....	453
9.2.1	IMD-Prozess.....	454
9.2.2	IMD-Folien.....	456
9.2.3	IMD-Werkzeug.....	457
9.2.4	IMD-Vorschubgerät.....	457
9.2.5	Spezielle Aspekte.....	459
9.2.6	Prüftechnik.....	460
9.2.7	Verwendbare Kunststoffe.....	460
9.2.8	Anwendungsgebiete und Praxisbeispiele.....	461
9.3	Klassisches Folienhinterspritzen.....	464
9.3.1	FIM-Prozess.....	464
9.3.2	Bedrucken von Folien.....	467
9.3.3	Verformen von Folien.....	467
9.3.4	Beschneiden von Folien.....	468
9.3.5	Fixierung im Werkzeug.....	469
9.3.6	Werkzeugtechnik.....	469
9.3.7	Spezielle Aspekte.....	470
9.3.8	Prüftechnik.....	472
9.3.9	Verwendbare Kunststoffe.....	472
9.3.10	Anwendungsgebiete und Praxisbeispiele.....	473
	Literatur zu Kapitel 9.....	479
10	Prüftechnik.....	481
10.1	Einleitung.....	481

10.2 Glanz und Glanzmessung.....	484
10.2.1 Einstrahlungswinkel.....	487
10.2.2 Bild-Aperturwinkel.....	487
10.2.3 Blenden-Aperturwinkel.....	488
10.2.4 Reflektometerwert.....	488
10.3 Farbwahrnehmung und Farbmessung.....	489
10.4 Rauigkeits- und Topographiemessung.....	498
10.5 Kratzbeständigkeitsprüfungen und Abrieb.....	502
10.5.1 Erichsen-Härteprüfung.....	502
10.6 Beständigkeitsprüfungen gegen Temperatur, Witterung und Alterung ..	512
10.7 Haftung.....	520
Literatur zu Kapitel 10.....	526
Stichwortverzeichnis.....	527

Inhaltsverzeichnis

Vorwort zur 2. Auflage	V
Vorwort zur 1. Auflage	VII
Die Autoren	XXIII
Kurzzeichen von Kunststoffen	XXV
1 Einleitung und Einführung in die Oberflächentechnik	1
2 Reinigung und Aktivierung	3
2.1 Einleitung	3
2.2 Grundlagen zu Benetzung und Oberflächenenergie	4
2.3 Reinigungsverfahren	8
2.3.1 Manuelle Reinigung	8
2.3.2 Mechanische Reinigung	9
2.3.3 Schwertbürstenreinigung	10
2.3.4 Ionisation	15
2.3.5 Trockeneisreinigung	19
2.3.6 Laserreinigung	22
2.3.7 Nasschemische Reinigung	27
2.4 Aktivierungsverfahren	29
2.4.1 Beflammung	30
2.4.2 Corona-Behandlung	34
2.4.2.1 Direkte Coronaentladung	35
2.4.2.2 Indirekte Coronaentladung	36
2.4.3 VUV-Vorbehandlung	41
2.4.4 Plasmatechnologie	45
2.4.4.1 Atmosphärendruckplasma (AD-Plasma)	45
2.4.4.2 Niederdruckplasma (ND-Plasma)	49
2.4.4.2.1 Plasmamodifizierung/-aktivierung	50

2.4.4.2.2	Plasmareinigung	50
2.4.4.2.3	Beschichtung im Niederdruckplasma (Plasmapolymerisation)	50
2.4.4.2.4	Plasmaätzen	51
2.4.5	Fluorierung	54
2.5	Schlussbetrachtung	57
	Literatur zu Kapitel 2.	58
3	Beschichtungstechnik	61
3.1	Einleitung	61
3.2	Galvanisieren von Kunststoffen	62
3.2.1	Verfahrensschritte	63
3.2.1.1	Beizen	64
3.2.1.2	Reduzieren	65
3.2.1.3	Aktivieren und Beschleunigen	65
3.2.1.4	Chemische Metallisierung	66
3.2.1.5	Elektrolytische Galvanisierung	67
3.2.1.5.1	Vornickel	68
3.2.1.5.2	Kupfer	69
3.2.1.5.3	Nickel	69
3.2.1.5.4	Chrom	70
3.2.2	Spezielle Aspekte	71
3.2.2.1	Partielle Galvanisierung	71
3.2.2.2	Ausschussproblematik	72
3.2.2.3	Kunststoff- und galvanisiergerechte Konstruktion.	73
3.2.2.3.1	Scharfe Ecken und Kanten	74
3.2.2.3.2	Gestellaufnahme und Kontaktierungsstellen	75
3.2.2.3.3	Sacklöcher und Hinterschneidungen	75
3.2.2.3.4	Nuten, Schlitze und Bohrungen	75
3.2.2.3.5	Große und ebene Flächen	76
3.2.2.3.6	Anschnittposition.	76
3.2.2.3.7	Vorteile	76
3.2.2.3.8	Nachteile	76
3.2.3	Prüftechnik	77
3.2.4	Verarbeitbare Kunststoffe	78
3.2.4.1	Acrylnitril-Butadien-Styrol	78
3.2.4.2	Polyamid	79
3.2.4.3	Polypropylen	81
3.2.4.4	Weitere Kunststoffe	82
3.2.5	Anwendungsgebiete und Praxisbeispiele	82
3.3	Physikalische Dampfphasenabscheidung (Physical-Vapor-Deposition).	86

3.3.1	Verhalten der Kunststoffe im Vakuum	88
3.3.2	Reinigung und Vorbehandlung	89
3.3.3	Thermisches Verdampfen	92
3.3.3.1	Direkte Widerstandsbeheizung	92
3.3.3.2	Indirekt beheizte Quellen	94
3.3.4	Elektronenstrahlverdampfen	95
3.3.5	Hochleistungs-Kathodenzerstäuben	97
3.3.6	Anlagentechnik und Bauteilbestückung.	99
3.3.7	Anwendungsbeispiele.	103
3.3.7.1	Bedampfung von Bahnware	103
3.3.7.1.1	Anwendungen auf Kunststofffolien	104
3.3.7.1.1.1	Antistatische Verpackungen.	104
3.3.7.1.1.2	Kondensatorfolien	105
3.3.7.1.1.3	Lebensmittelverpackung.	105
3.3.7.2	Optische und dekorative Schichten	106
3.3.7.3	Schichten für Elektronik und Elektrotechnik	112
3.3.7.3.1	Abschirmschichten	112
3.3.7.3.2	Aluminium-Abschirmschichten	113
3.3.7.3.3	Kupfer-Abschirmschichten	115
3.3.7.3.4	Ableitung von Ladungen.	116
3.4	Thermisches Spritzen.	117
3.4.1	Flamecon-Verfahren	117
3.5	Lackiertechnik.	119
3.5.1	Lacksysteme	120
3.5.1.1	Klassifizierung und Aufgaben der Lacksysteme	121
3.5.1.1.1	Grundlack.	121
3.5.1.1.2	Zwischenlack	121
3.5.1.1.3	Decklack	121
3.5.1.2	Einteilung nach Farbe und Effekt.	122
3.5.1.3	Typische Lackaufbauten für die Kunststofflackierung	122
3.5.1.4	Zusammensetzung der Lacksysteme.	124
3.5.1.4.1	Bindemittel.	125
3.5.1.4.2	Lösemittel	125
3.5.1.4.3	Pigmente, Farbstoffe und Effektmittel.	126
3.5.1.4.4	Additive.	127
3.5.1.5	Filmbildungsprozess und Reaktionsmechanismen	127
3.5.1.5.1	Polyaddition	128
3.5.1.5.2	Polykondensation.	129
3.5.1.6	Wirtschaftlichkeit von Lacksystemen	130
3.5.2	Applikationstechnik	130
3.5.2.1	Applikationsverfahren	131

3.5.2.1.1	Direkte Applikationsverfahren.....	131
3.5.2.1.1.1	Tauchen.....	131
3.5.2.1.1.2	Fluten.....	132
3.5.2.1.1.3	Rakeln.....	132
3.5.2.1.2	Indirekte Applikationsverfahren.....	132
3.5.2.1.2.1	Sprüh-/Spritzapplikation.....	133
3.5.2.1.2.2	Airlesszerstäuben.....	133
3.5.2.1.2.3	Pneumatisches Zerstäuben.....	133
3.5.2.1.2.4	Hochrotationszerstäubung.....	134
3.5.2.1.2.5	Hochrotationszerstäubung mit elektrostatischer Unterstützung.....	135
3.5.2.2	Charakteristik und Einflüsse des Spritz-/Sprühstrahls	138
3.5.2.2.1	Pneumatischer Spritz-/Sprühstrahl.....	138
3.5.2.2.2	Hochrotationszerstäubter Spritz-/Sprühstrahl.....	140
3.5.2.3	Weitere Einflussfaktoren auf das Lackierergebnis.....	141
3.5.2.4	Machbarkeitsanalyse von Oberflächenqualitäten.....	143
3.5.2.5	Methoden zur Optimierung der Oberflächenqualität ..	144
3.5.2.6	Entwicklungsarbeiten.....	146
3.5.3	Anwendungen.....	148
3.5.3.1	Automobilindustrie Pkw.....	149
3.5.3.1.1	Außenteile.....	150
3.5.3.1.2	Innenteile.....	151
3.5.3.1.3	Motorraumkomponenten und Aggregate.....	152
3.5.3.1.4	Karosseriebauteile (Thermoplastische Werkstoffe) ..	153
3.5.3.1.4.1	Karosseriebauteile, Heckdeckel, Kofferraumdeckel und Dachmodule (Duromere Werkstoffe).....	155
3.5.3.1.5	Antennendachmodul (Thermoplast-Duromer- Kombination).....	155
3.5.3.1.6	Carbonfaser-Sichtoptik.....	157
3.5.3.1.7	Glasersatz und Automotive-Glazing.....	158
3.5.3.2	Nutzfahrzeugindustrie.....	159
3.5.4	Gründe für die Lackierung von Kunststoffen.....	160
3.5.4.1	Schutzwirkung und Protektion.....	161
3.5.4.2	Aussehen, Optik und Dekoration.....	162
3.5.4.3	Besondere Funktionen und spezielle Eigenschaften ..	162
3.5.5	Lackeigenschaften.....	163
3.5.6	Lackentwicklung.....	164
3.5.6.1	Reduzierung der Zahl der Schichten.....	164
3.5.6.2	Niedrigere Schichtdicken der Einzelschichten.....	165
3.5.6.3	Schnellere Trocknung.....	165
3.5.6.4	Wirtschaftlichere Applikationen.....	166

3.5.6.5	Standardisierung zu Einheitsprodukten	166
3.5.6.6	Neue Produkttechnologien	166
3.5.6.7	Neue Applikationstechniken.	167
3.5.7	Spezifikationen, Fehlersuche, Fehleranalyse und Fehlerbilder.	167
3.5.7.1	Spezifikationen	167
3.5.7.2	Fehlersuche und Fehleranalyse	169
3.5.7.3	Kategorisierung von Fehlerbildern	170
3.5.7.3.1	Blasen	171
3.5.7.3.2	Fasereinschluss	173
3.5.7.3.3	Fremdpartikeleinschluss.	173
3.5.7.3.4	Substratfehler.	174
3.5.7.3.5	Krater	174
3.5.7.3.6	Rückstand auf Substrat.	175
3.5.7.3.7	Härterhaut	175
3.5.7.3.8	Lackhaftfestigkeitsschaden nach HDW-Test DIN 55662	176
3.5.7.3.9	Fehlstellen nach Bewitterung.	177
3.5.7.3.10	Pilzbefall.	178
Literatur zu Kapitel 3.		179
4	Drucktechnik.	183
4.1	Einleitung.	183
4.2	Siebdruck.	186
4.2.1	Verfahren.	186
4.2.1.1	Grafischer Siebdruck.	187
4.2.1.2	Industriesiebdruck	188
4.2.1.3	Schaltungsdruck	188
4.2.1.4	Glasbedruckung und Beschichtungen.	188
4.2.1.5	Bedruckung von Formteilen und Spezialdrucke	188
4.2.1.6	Textil-Siebdruck.	189
4.2.2	Siebdruckform.	189
4.2.2.1	Siebdruckrahmen	189
4.2.2.2	Schablonenträger.	190
4.2.2.3	Kennzeichnung und Geometrie des Schablonenträgers	192
4.2.2.4	Bindeart	193
4.2.2.5	Gewebegeometrie.	193
4.2.2.6	Spannen des Schablonenträgers	195
4.2.2.7	Schablonenherstellung	197
4.2.2.7.1	Gewebevorbehandlung	198
4.2.2.7.2	Schablonenherstellungsverfahren.	198
4.2.2.7.3	Fotomechanische Verfahren	198

4.2.2.7.4	Direktschablonen	199
4.2.2.7.5	Direktfilm/Kapillarfilm	201
4.2.2.7.6	Indirektschablone	202
4.2.2.7.7	Galvanische- und Laserverfahren	202
4.2.2.8	Bebilderung der Siebdruckform	203
4.2.2.8.1	Kontaktkopie	203
4.2.2.8.2	Projektionsbelichtung	205
4.2.2.8.3	Filmlose Bebilderung Computer-to-Screen	206
4.2.3	Druckvorgang	207
4.2.3.1	Rakel	207
4.2.3.2	Hauptdruckprinzipien	209
4.2.3.2.1	Flachbett-Siebdruck	209
4.2.3.2.2	Flachform-Zylindersiebdruck	211
4.2.3.2.3	Rotationssiebdruck	211
4.2.3.2.4	Rund- und Körpersiebdruck	213
4.2.4	Trocknung	213
4.2.5	Ausblick	213
4.3	Flexodruck	214
4.3.1	Bauweisen von Flexodruckmaschinen	215
4.3.1.1	Zentralzylinderdruckmaschinen	215
4.3.1.2	Reihenflexodruckmaschinen	216
4.3.1.3	Bogenflexodruckmaschinen	217
4.3.2	Aufbau und Herstellung von Flexodruckformen	218
4.3.2.1	Fotopolymere Flexodruckformen	219
4.3.2.2	Direktgravur	221
4.3.3	Druckbildlängenänderung und die erforderliche Verkürzung	222
4.3.4	Handling und Vorbereitung für die Montage und den Druck	222
4.3.4.1	Druckwerk	224
4.3.4.2	Druckformsleeve und Druckformzylinder	224
4.3.4.3	Rasterwalzensleeve, Rasterwalze und Rakelsystem	227
4.3.5	Besonderheiten beim Rüsten der Druckmaschine	231
4.3.6	Einsatz von Flexodruckmaschinen in der Druckindustrie	232
4.4	Offsetdruck	233
4.4.1	Offsetdruckform und Herstellungsprozess	234
4.4.1.1	Druckwerk – Komponenten Druckplatten-, Gummituch- und Gegendruckzylinder	237
4.4.1.2	Druckwerk – Komponente Farbwerk und unterschiedliche Varianten	238
4.4.1.3	Druckwerk – Komponente Feuchtwerk	242
4.4.2	Maschinenbauweisen	244
4.4.2.1	Bogenoffsetdruckmaschinen in Reihenbauweise	244

4.4.2.2	Bogenoffsetdruckmaschinen in Fünf-Zylinder- und Satellitenbauweise	245
4.4.2.3	Rollenoffsetdruckmaschinen	246
4.4.2.4	Heat-Set-Rollenoffsetdruck	246
4.4.2.5	Zeitungsrotationen (Coldset)	247
4.4.3	Anwendung des Offsetdrucks	248
4.5	Tiefdruck	248
4.5.1	Einsatzgebiete	250
4.5.2	Aufbau der Tiefdruckform	251
4.5.2.1	Dünnschichtverfahren	253
4.5.2.2	Ballardhautverfahren	253
4.5.2.3	Dickschichtverfahren	253
4.5.3	Herstellung der Tiefdruckform	254
4.5.3.1	Elektromechanische Gravur	255
4.5.3.2	Laser-Ätz-Verfahren	259
4.5.3.3	Lasergravur	262
4.5.4	Tiefdruckfarbe	265
4.5.5	Tiefdruckmaschinen	266
4.5.5.1	Trocknung	268
4.5.5.2	Schön- und Widerdruck	269
4.5.5.3	Automatischer Rollenwechsel	270
4.5.5.4	Elektrostatische Druckunterstützung (ESA)	271
4.6	Digitaldruck	272
4.6.1	Kategorien des Digitaldrucks	272
4.6.2	Einsatzgebiete	274
4.6.3	Datenaufbereitung für den Digitaldruck	275
4.6.3.1	Raster Image Processor	275
4.6.3.2	Raster	275
4.6.4	Elektrofotografie	277
4.6.4.1	Druckprozess	277
4.6.4.1.1	Aufladung	277
4.6.4.1.2	Belichtung	277
4.6.4.1.3	Entwicklung	277
4.6.4.1.4	Farbübertragung	278
4.6.4.1.5	Tonerfixierung	278
4.6.4.1.6	Reinigung	278
4.6.4.2	Systemkomponenten	279
4.6.4.2.1	Fotoleiter	279
4.6.4.2.2	Bebilderungseinheit	280
4.6.4.2.2.1	Aufladungseinheit	280
4.6.4.2.2.2	Zeichengenerator	281

4.6.4.2.3	Entwicklungseinheit und Toner	281
4.6.4.2.4	Tonerfixiereinheit	283
4.6.4.3	Maschinenkonzepte	283
4.6.4.4	Einsatzgebiete	284
4.6.5	Magnetografie	284
4.6.5.1	Druckprozess	284
4.6.5.1.1	Bebilderung	285
4.6.5.1.2	Entwicklung	285
4.6.5.1.3	Retouching	285
4.6.5.1.4	Farbübertragung	285
4.6.5.1.5	Fixierung	286
4.6.5.1.6	Reinigung	286
4.6.5.1.7	Löschen der Trommel	286
4.6.5.2	Maschinenkomponenten	286
4.6.5.2.1	Bebilderungstrommel	286
4.6.5.2.2	Bebilderungseinheit	286
4.6.5.2.3	Toner	286
4.6.5.2.4	Fixierungseinheit	287
4.6.6	Thermografie	287
4.6.6.1	Direkte Thermografie	287
4.6.6.2	Transferthermografie	288
4.6.6.2.1	Thermotransfer	288
4.6.6.2.2	Thermosublimation	289
4.6.6.3	Maschinenkomponenten	290
4.6.6.3.1	Farbträgerband	290
4.6.6.3.2	Bebilderungseinheit	291
4.6.6.4	Einsatzgebiete	291
4.6.7	InkJet	292
4.6.7.1	Continuous-InkJet-Technologie	294
4.6.7.1.1	Binary-Deflecting	294
4.6.7.1.2	Multi-Deflecting	295
4.6.7.2	Drop-on-Demand-Technologie	295
4.6.7.2.1	Thermoelektrische Tintendruckwerke (Bubble-Jet)	295
4.6.7.2.2	Piezo-InkJet	296
4.6.7.3	Verdruckstoffe	297
4.6.7.4	Maschinenkonzepte	298
4.6.7.4.1	InkJet-Arrays	298
4.6.7.4.2	Oszillierende oder stationäre Drucksysteme	298
4.6.7.5	Einsatzgebiete	299
4.7	Tampondruck	301
4.7.1	Druckform	302

4.7.1.1	Klischeetypen.....	302
4.7.1.2	Kunststoffklischee.....	303
4.7.1.3	Band- und Dünnstahlklischee.....	304
4.7.1.4	Stahlklischees.....	305
4.7.1.5	Keramikklichees.....	305
4.7.1.6	Laser-Klischee.....	306
4.7.2	Rasterung im Tampondruck.....	306
4.7.3	Stanzung und Lochung.....	307
4.7.4	Klischeetiefe.....	307
4.7.5	Tampon.....	307
4.7.5.1	Herstellung.....	308
4.7.5.2	Tamponeigenschaften.....	308
4.7.5.3	Tamponform.....	308
4.7.5.4	Tamponhärte.....	309
4.7.5.5	Tamponvolumen.....	309
4.7.6	Druckvorgang.....	309
4.7.7	Druckfarben.....	311
4.7.8	Maschinentechnik.....	311
4.7.8.1	Farbsystem.....	311
4.7.8.1.1	Offenes System.....	311
4.7.8.1.2	Geschlossene Systeme.....	313
4.7.8.2	Tamponbewegung.....	314
4.7.8.2.1	Vertikale Tamponbewegung.....	314
4.7.8.2.2	Vertikale und horizontale Tamponbewegung.....	315
4.7.8.2.3	Rotative Bewegung.....	316
4.7.8.3	Antriebstechniken.....	317
4.7.8.3.1	Elektro-mechanischer Antrieb.....	317
4.7.8.3.2	Pneumatischer Antrieb.....	317
4.7.8.3.3	Hydraulischer Antrieb.....	318
4.7.8.4	Druckformat.....	318
4.7.8.5	Anzahl der Druckfarben.....	318
4.7.8.6	Werkstückaufnahmen und Bedruckstoffzufuhr.....	319
4.7.8.6.1	Carreetisch.....	320
4.7.8.6.2	Rundschaltteller.....	321
4.7.8.6.3	Linearband.....	321
4.7.8.6.4	Taktvorschubgerät.....	322
4.7.9	Rotationsdruck.....	323
4.8	Vergleich der Druckverfahren und deren Bewertung.....	324
4.8.1	Offsetdruck.....	326
4.8.2	Flexodruck.....	327
4.8.3	Tiefdruck.....	328

4.8.4	Tampondruck.	329
4.8.5	Siebdruck.	330
4.8.6	Non-Impact-Printing.	331
4.8.7	Zusammenfassung.	333
	Literatur zu Kapitel 4.	334
5	Laserstrahlbeschriftung.	335
5.1	Einführung.	335
5.2	Warum Laserbeschriftung?	337
5.3	Lasertypen für das Beschriften.	338
5.3.1	Sealed-off CO ₂ -Laser.	338
5.3.2	Excimerlaser.	338
5.3.3	Diodengepumpte Q-switch Festkörperlaser.	338
5.3.4	Faserlaser.	340
5.3.5	Diodenlaser.	341
5.4	Laserbeschriftungstechniken.	342
5.4.1	Prinzip der Vektorbeschriftung.	342
5.4.2	Prinzip des Maskenprojektionsverfahrens.	343
5.4.3	Prinzip des Rasterverfahrens.	344
5.4.4	Verfahren im Vergleich.	344
5.5	Strahlqualität.	345
5.6	Effekte bei der Laserbeschriftung.	348
5.6.1	Kunststoffe.	348
5.6.1.1	Die Rolle der Laserwellenlänge.	350
5.6.1.2	Effekte bei der Laserbeschriftung von Kunststoffen.	351
5.6.1.3	Welche Kunststoffe sind beschriftbar?	353
5.6.2	Metalle.	357
5.6.3	Tiefengravur.	359
5.7	Rückverfolgbarkeit in der Industrie.	361
5.7.1	Codierungen (DataMatrix-Code, Barcode).	362
5.7.2	Aufbau des DataMatrix-Code.	363
5.7.3	Herstellungsmöglichkeiten von DataMatrix-Codes.	364
5.7.4	Auslesen der Codes.	365
5.7.4.1	Kernpunkte der AIM.	365
5.7.4.1.1	Kontrast (Symbol Contrast).	365
5.7.4.1.2	Zellengröße (Print-Growth).	365
5.7.4.1.3	Achsiale Unförmigkeit (Axial-Nonuniformity).	366
5.7.4.1.4	Ungenutzte Fehlerkorrektur (Unused-Error-Correction).	366
5.7.4.1.5	Gesamtgüte (Overall-Grade).	366
5.7.4.2	Prozesssichere Lesbarkeit.	367

5.7.4.3	Besonderheiten	368
5.8	Tag-Nacht-Design.....	369
5.9	Laserbeschriftungsfolien	371
5.10	Leiterplattenbeschriftung.....	371
5.11	Weitere Anwendungsbeispiele.....	373
5.12	Handlingsysteme.....	375
5.12.1	Doppelkopfsystem.....	376
5.12.2	Marking-on-the-Fly.....	376
5.12.3	Kostenaspekte	377
5.12.4	Arbeitsschutz und Arbeitssicherheit	378
5.13	Bewertung und Fehlermöglichkeiten	379
5.14	Zusammenfassung	380
	Literatur zu Kapitel 5.....	381
6	Etikettieren	383
6.1	Kaltleim-Etikettierung	385
6.2	Heißleim-Etikettierung.....	386
6.3	Sleeve-Etikettierung	387
6.4	Haftetikettierung.....	388
	Literatur zu Kapitel 6.....	389
7	Beflocken von Kunststoffen.....	391
7.1	Einführung.....	391
7.2	Technische Grundlagen der Beflockung.....	391
7.3	Verfahrensablauf.....	396
7.3.1	Vorbehandlung	396
7.3.2	Klebstoffauftrag.....	396
7.3.3	Beflockung.....	397
7.3.4	Trocknung.....	397
7.3.5	Endreinigung.....	397
7.4	Flockklebstoffe.....	398
7.5	Flockfasern.....	399
7.6	Flockgeräte und Flockanlagen.....	401
7.7	Prüfgeräte und Prüfverfahren	408
7.7.1	Bestimmung des elektrischen Widerstandes von Flock.....	408
7.7.2	Springprüfung.....	410
7.7.3	Trennfähigkeitsprüfung.....	414
7.7.4	Bestimmung der Flockdimensionen und Geometrienanalyse	417
7.7.5	Restflockmessung.....	418
7.7.6	Hochspannungsprüfung.....	419
7.7.7	Abriebprüfung.....	420

7.7.8 Ausreißprüfung.....	422
7.8 Eigenschaften beflockter Oberflächen und Anwendungsbeispiele	423
Literatur zu Kapitel 7.....	430
8 Oberflächenstrukturierung	431
8.1 Einleitung.....	431
8.2 Funkenerosion.....	434
8.3 Photoätztechnik.....	438
8.4 Strahlverfahren	441
8.5 Laserstrukturieren	442
8.6 Course4 [®] -Technologie.....	444
8.7 Sprengprägen.....	446
8.8 Cera-Shibo-Technologie.....	450
Literatur zu Kapitel 8.....	451
9 Folienhinterspritzen	453
9.1 Einleitung.....	453
9.2 Inmold-Decoration (IMD-Verfahren)	453
9.2.1 IMD-Prozess.....	454
9.2.2 IMD-Folien.....	456
9.2.3 IMD-Werkzeug.....	457
9.2.4 IMD-Vorschubgerät.....	457
9.2.5 Spezielle Aspekte	459
9.2.6 Prüftechnik	460
9.2.7 Verwendbare Kunststoffe.....	460
9.2.8 Anwendungsgebiete und Praxisbeispiele.....	461
9.3 Klassisches Folienhinterspritzen.....	464
9.3.1 FIM-Prozess.....	464
9.3.2 Bedrucken von Folien.....	467
9.3.3 Verformen von Folien.....	467
9.3.4 Beschneiden von Folien	468
9.3.5 Fixierung im Werkzeug	469
9.3.6 Werkzeugtechnik	469
9.3.7 Spezielle Aspekte	470
9.3.8 Prüftechnik	472
9.3.9 Verwendbare Kunststoffe.....	472
9.3.10 Anwendungsgebiete und Praxisbeispiele.....	473
Literatur zu Kapitel 9.....	479
10 Prüftechnik	481
10.1 Einleitung.....	481

10.2 Glanz und Glanzmessung.....	484
10.2.1 Einstrahlungswinkel.....	487
10.2.2 Bild-Aperturwinkel.....	487
10.2.3 Blenden-Aperturwinkel.....	488
10.2.4 Reflektometerwert.....	488
10.3 Farbwahrnehmung und Farbmessung.....	489
10.4 Rauigkeits- und Topographiemessung.....	498
10.5 Kratzbeständigkeitsprüfungen und Abrieb.....	502
10.5.1 Erichsen-Härteprüfung.....	502
10.6 Beständigkeitsprüfungen gegen Temperatur, Witterung und Alterung ..	512
10.7 Haftung.....	520
Literatur zu Kapitel 10.....	526
Stichwortverzeichnis.....	527

Inhaltsverzeichnis

Vorwort zur 2. Auflage	V
Vorwort zur 1. Auflage	VII
Die Autoren	XXIII
Kurzzeichen von Kunststoffen	XXV
1 Einleitung und Einführung in die Oberflächentechnik	1
2 Reinigung und Aktivierung	3
2.1 Einleitung	3
2.2 Grundlagen zu Benetzung und Oberflächenenergie	4
2.3 Reinigungsverfahren	8
2.3.1 Manuelle Reinigung	8
2.3.2 Mechanische Reinigung	9
2.3.3 Schwertbürstenreinigung	10
2.3.4 Ionisation	15
2.3.5 Trockeneisreinigung	19
2.3.6 Laserreinigung	22
2.3.7 Nasschemische Reinigung	27
2.4 Aktivierungsverfahren	29
2.4.1 Beflammung	30
2.4.2 Corona-Behandlung	34
2.4.2.1 Direkte Coronaentladung	35
2.4.2.2 Indirekte Coronaentladung	36
2.4.3 VUV-Vorbehandlung	41
2.4.4 Plasmatechnologie	45
2.4.4.1 Atmosphärendruckplasma (AD-Plasma)	45
2.4.4.2 Niederdruckplasma (ND-Plasma)	49
2.4.4.2.1 Plasmamodifizierung/-aktivierung	50

2.4.4.2.2	Plasmareinigung	50
2.4.4.2.3	Beschichtung im Niederdruckplasma (Plasmapolymerisation)	50
2.4.4.2.4	Plasmaätzen	51
2.4.5	Fluorierung	54
2.5	Schlussbetrachtung	57
	Literatur zu Kapitel 2.	58
3	Beschichtungstechnik	61
3.1	Einleitung	61
3.2	Galvanisieren von Kunststoffen	62
3.2.1	Verfahrensschritte	63
3.2.1.1	Beizen	64
3.2.1.2	Reduzieren	65
3.2.1.3	Aktivieren und Beschleunigen	65
3.2.1.4	Chemische Metallisierung	66
3.2.1.5	Elektrolytische Galvanisierung	67
3.2.1.5.1	Vornickel	68
3.2.1.5.2	Kupfer	69
3.2.1.5.3	Nickel	69
3.2.1.5.4	Chrom	70
3.2.2	Spezielle Aspekte	71
3.2.2.1	Partielle Galvanisierung	71
3.2.2.2	Ausschussproblematik	72
3.2.2.3	Kunststoff- und galvanisiergerechte Konstruktion.	73
3.2.2.3.1	Scharfe Ecken und Kanten	74
3.2.2.3.2	Gestellaufnahme und Kontaktierungsstellen	75
3.2.2.3.3	Sacklöcher und Hinterschneidungen	75
3.2.2.3.4	Nuten, Schlitze und Bohrungen	75
3.2.2.3.5	Große und ebene Flächen	76
3.2.2.3.6	Anschnittposition.	76
3.2.2.3.7	Vorteile	76
3.2.2.3.8	Nachteile	76
3.2.3	Prüftechnik	77
3.2.4	Verarbeitbare Kunststoffe	78
3.2.4.1	Acrylnitril-Butadien-Styrol	78
3.2.4.2	Polyamid	79
3.2.4.3	Polypropylen	81
3.2.4.4	Weitere Kunststoffe	82
3.2.5	Anwendungsgebiete und Praxisbeispiele	82
3.3	Physikalische Dampfphasenabscheidung (Physical-Vapor-Deposition).	86

3.3.1	Verhalten der Kunststoffe im Vakuum	88
3.3.2	Reinigung und Vorbehandlung	89
3.3.3	Thermisches Verdampfen	92
3.3.3.1	Direkte Widerstandsbeheizung	92
3.3.3.2	Indirekt beheizte Quellen	94
3.3.4	Elektronenstrahlverdampfen	95
3.3.5	Hochleistungs-Kathodenzerstäuben	97
3.3.6	Anlagentechnik und Bauteilbestückung.	99
3.3.7	Anwendungsbeispiele.	103
3.3.7.1	Bedampfung von Bahnware	103
3.3.7.1.1	Anwendungen auf Kunststofffolien	104
3.3.7.1.1.1	Antistatische Verpackungen.	104
3.3.7.1.1.2	Kondensatorfolien	105
3.3.7.1.1.3	Lebensmittelverpackung.	105
3.3.7.2	Optische und dekorative Schichten	106
3.3.7.3	Schichten für Elektronik und Elektrotechnik	112
3.3.7.3.1	Abschirmschichten	112
3.3.7.3.2	Aluminium-Abschirmschichten	113
3.3.7.3.3	Kupfer-Abschirmschichten	115
3.3.7.3.4	Ableitung von Ladungen.	116
3.4	Thermisches Spritzen.	117
3.4.1	Flamecon-Verfahren	117
3.5	Lackiertechnik.	119
3.5.1	Lacksysteme	120
3.5.1.1	Klassifizierung und Aufgaben der Lacksysteme	121
3.5.1.1.1	Grundlack.	121
3.5.1.1.2	Zwischenlack	121
3.5.1.1.3	Decklack	121
3.5.1.2	Einteilung nach Farbe und Effekt.	122
3.5.1.3	Typische Lackaufbauten für die Kunststofflackierung	122
3.5.1.4	Zusammensetzung der Lacksysteme.	124
3.5.1.4.1	Bindemittel.	125
3.5.1.4.2	Lösemittel	125
3.5.1.4.3	Pigmente, Farbstoffe und Effektmittel.	126
3.5.1.4.4	Additive.	127
3.5.1.5	Filmbildungsprozess und Reaktionsmechanismen	127
3.5.1.5.1	Polyaddition	128
3.5.1.5.2	Polykondensation.	129
3.5.1.6	Wirtschaftlichkeit von Lacksystemen	130
3.5.2	Applikationstechnik	130
3.5.2.1	Applikationsverfahren	131

3.5.2.1.1	Direkte Applikationsverfahren.	131
3.5.2.1.1.1	Tauchen.	131
3.5.2.1.1.2	Fluten	132
3.5.2.1.1.3	Rakeln	132
3.5.2.1.2	Indirekte Applikationsverfahren	132
3.5.2.1.2.1	Sprüh-/Spritzapplikation	133
3.5.2.1.2.2	Airlesszerstäuben	133
3.5.2.1.2.3	Pneumatisches Zerstäuben.	133
3.5.2.1.2.4	Hochrotationszerstäubung	134
3.5.2.1.2.5	Hochrotationszerstäubung mit elektrostatischer Unterstützung	135
3.5.2.2	Charakteristik und Einflüsse des Spritz-/Sprühstrahls	138
3.5.2.2.1	Pneumatischer Spritz-/Sprühstrahl.	138
3.5.2.2.2	Hochrotationszerstäubter Spritz-/Sprühstrahl.	140
3.5.2.3	Weitere Einflussfaktoren auf das Lackierergebnis. . . .	141
3.5.2.4	Machbarkeitsanalyse von Oberflächenqualitäten	143
3.5.2.5	Methoden zur Optimierung der Oberflächenqualität . .	144
3.5.2.6	Entwicklungsarbeiten	146
3.5.3	Anwendungen	148
3.5.3.1	Automobilindustrie Pkw	149
3.5.3.1.1	Außenteile.	150
3.5.3.1.2	Innenteile	151
3.5.3.1.3	Motorraumkomponenten und Aggregate	152
3.5.3.1.4	Karosseriebauteile (Thermoplastische Werkstoffe) . . .	153
3.5.3.1.4.1	Karosseriebauteile, Heckdeckel, Kofferraumdeckel und Dachmodule (Duromere Werkstoffe)	155
3.5.3.1.5	Antennendachmodul (Thermoplast-Duromer- Kombination)	155
3.5.3.1.6	Carbonfaser-Sichtoptik	157
3.5.3.1.7	Glasersatz und Automotive-Glazing.	158
3.5.3.2	Nutzfahrzeugindustrie	159
3.5.4	Gründe für die Lackierung von Kunststoffen.	160
3.5.4.1	Schutzwirkung und Protektion.	161
3.5.4.2	Aussehen, Optik und Dekoration	162
3.5.4.3	Besondere Funktionen und spezielle Eigenschaften . .	162
3.5.5	Lackeigenschaften.	163
3.5.6	Lackentwicklung.	164
3.5.6.1	Reduzierung der Zahl der Schichten	164
3.5.6.2	Niedrigere Schichtdicken der Einzelschichten.	165
3.5.6.3	Schnellere Trocknung	165
3.5.6.4	Wirtschaftlichere Applikationen	166

3.5.6.5	Standardisierung zu Einheitsprodukten	166
3.5.6.6	Neue Produkttechnologien	166
3.5.6.7	Neue Applikationstechniken	167
3.5.7	Spezifikationen, Fehlersuche, Fehleranalyse und Fehlerbilder	167
3.5.7.1	Spezifikationen	167
3.5.7.2	Fehlersuche und Fehleranalyse	169
3.5.7.3	Kategorisierung von Fehlerbildern	170
3.5.7.3.1	Blasen	171
3.5.7.3.2	Fasereinschluss	173
3.5.7.3.3	Fremdpartikeleinschluss	173
3.5.7.3.4	Substratfehler	174
3.5.7.3.5	Krater	174
3.5.7.3.6	Rückstand auf Substrat	175
3.5.7.3.7	Härterhaut	175
3.5.7.3.8	Lackhaftfestigkeitsschaden nach HDW-Test DIN 55662	176
3.5.7.3.9	Fehlstellen nach Bewitterung	177
3.5.7.3.10	Pilzbefall	178
Literatur zu Kapitel 3		179
4	Drucktechnik	183
4.1	Einleitung	183
4.2	Siebdruck	186
4.2.1	Verfahren	186
4.2.1.1	Grafischer Siebdruck	187
4.2.1.2	Industriesiebdruck	188
4.2.1.3	Schaltungsdruck	188
4.2.1.4	Glasbedruckung und Beschichtungen	188
4.2.1.5	Bedruckung von Formteilen und Spezialdrucke	188
4.2.1.6	Textil-Siebdruck	189
4.2.2	Siebdruckform	189
4.2.2.1	Siebdruckrahmen	189
4.2.2.2	Schablonenträger	190
4.2.2.3	Kennzeichnung und Geometrie des Schablonenträgers	192
4.2.2.4	Bindeart	193
4.2.2.5	Gewebegeometrie	193
4.2.2.6	Spannen des Schablonenträgers	195
4.2.2.7	Schablonenherstellung	197
4.2.2.7.1	Gewebevorbehandlung	198
4.2.2.7.2	Schablonenherstellungsverfahren	198
4.2.2.7.3	Fotomechanische Verfahren	198

4.2.2.7.4	Direktschablonen	199
4.2.2.7.5	Direktfilm/Kapillarfilm	201
4.2.2.7.6	Indirektschablone	202
4.2.2.7.7	Galvanische- und Laserverfahren	202
4.2.2.8	Bebilderung der Siebdruckform	203
4.2.2.8.1	Kontaktkopie	203
4.2.2.8.2	Projektionsbelichtung	205
4.2.2.8.3	Filmlose Bebilderung Computer-to-Screen	206
4.2.3	Druckvorgang	207
4.2.3.1	Rakel	207
4.2.3.2	Hauptdruckprinzipien	209
4.2.3.2.1	Flachbett-Siebdruck	209
4.2.3.2.2	Flachform-Zylindersiebdruck	211
4.2.3.2.3	Rotationssiebdruck	211
4.2.3.2.4	Rund- und Körpersiebdruck	213
4.2.4	Trocknung	213
4.2.5	Ausblick	213
4.3	Flexodruck	214
4.3.1	Bauweisen von Flexodruckmaschinen	215
4.3.1.1	Zentralzylinderdruckmaschinen	215
4.3.1.2	Reihenflexodruckmaschinen	216
4.3.1.3	Bogenflexodruckmaschinen	217
4.3.2	Aufbau und Herstellung von Flexodruckformen	218
4.3.2.1	Fotopolymere Flexodruckformen	219
4.3.2.2	Direktgravur	221
4.3.3	Druckbildlängenänderung und die erforderliche Verkürzung	222
4.3.4	Handling und Vorbereitung für die Montage und den Druck	222
4.3.4.1	Druckwerk	224
4.3.4.2	Druckformsleeve und Druckformzylinder	224
4.3.4.3	Rasterwalzensleeve, Rasterwalze und Rakelsystem	227
4.3.5	Besonderheiten beim Rüsten der Druckmaschine	231
4.3.6	Einsatz von Flexodruckmaschinen in der Druckindustrie	232
4.4	Offsetdruck	233
4.4.1	Offsetdruckform und Herstellungsprozess	234
4.4.1.1	Druckwerk – Komponenten Druckplatten-, Gummituch- und Gegendruckzylinder	237
4.4.1.2	Druckwerk – Komponente Farbwerk und unterschiedliche Varianten	238
4.4.1.3	Druckwerk – Komponente Feuchtwerk	242
4.4.2	Maschinenbauweisen	244
4.4.2.1	Bogenoffsetdruckmaschinen in Reihenbauweise	244

4.4.2.2	Bogenoffsetdruckmaschinen in Fünf-Zylinder- und Satellitenbauweise	245
4.4.2.3	Rollenoffsetdruckmaschinen	246
4.4.2.4	Heat-Set-Rollenoffsetdruck	246
4.4.2.5	Zeitungsrotationen (Coldset)	247
4.4.3	Anwendung des Offsetdrucks	248
4.5	Tiefdruck	248
4.5.1	Einsatzgebiete	250
4.5.2	Aufbau der Tiefdruckform	251
4.5.2.1	Dünnschichtverfahren	253
4.5.2.2	Ballardhautverfahren	253
4.5.2.3	Dickschichtverfahren	253
4.5.3	Herstellung der Tiefdruckform	254
4.5.3.1	Elektromechanische Gravur	255
4.5.3.2	Laser-Ätz-Verfahren	259
4.5.3.3	Lasergravur	262
4.5.4	Tiefdruckfarbe	265
4.5.5	Tiefdruckmaschinen	266
4.5.5.1	Trocknung	268
4.5.5.2	Schön- und Widerdruck	269
4.5.5.3	Automatischer Rollenwechsel	270
4.5.5.4	Elektrostatische Druckunterstützung (ESA)	271
4.6	Digitaldruck	272
4.6.1	Kategorien des Digitaldrucks	272
4.6.2	Einsatzgebiete	274
4.6.3	Datenaufbereitung für den Digitaldruck	275
4.6.3.1	Raster Image Processor	275
4.6.3.2	Raster	275
4.6.4	Elektrofotografie	277
4.6.4.1	Druckprozess	277
4.6.4.1.1	Aufladung	277
4.6.4.1.2	Belichtung	277
4.6.4.1.3	Entwicklung	277
4.6.4.1.4	Farbübertragung	278
4.6.4.1.5	Tonerfixierung	278
4.6.4.1.6	Reinigung	278
4.6.4.2	Systemkomponenten	279
4.6.4.2.1	Fotoleiter	279
4.6.4.2.2	Bebilderungseinheit	280
4.6.4.2.2.1	Aufladungseinheit	280
4.6.4.2.2.2	Zeichengenerator	281

4.6.4.2.3	Entwicklungseinheit und Toner	281
4.6.4.2.4	Tonerfixiereinheit	283
4.6.4.3	Maschinenkonzepte	283
4.6.4.4	Einsatzgebiete	284
4.6.5	Magnetografie	284
4.6.5.1	Druckprozess	284
4.6.5.1.1	Bebilderung	285
4.6.5.1.2	Entwicklung	285
4.6.5.1.3	Retouching	285
4.6.5.1.4	Farbübertragung	285
4.6.5.1.5	Fixierung	286
4.6.5.1.6	Reinigung	286
4.6.5.1.7	Löschen der Trommel	286
4.6.5.2	Maschinenkomponenten	286
4.6.5.2.1	Bebilderungstrommel	286
4.6.5.2.2	Bebilderungseinheit	286
4.6.5.2.3	Toner	286
4.6.5.2.4	Fixierungseinheit	287
4.6.6	Thermografie	287
4.6.6.1	Direkte Thermografie	287
4.6.6.2	Transferthermografie	288
4.6.6.2.1	Thermotransfer	288
4.6.6.2.2	Thermosublimation	289
4.6.6.3	Maschinenkomponenten	290
4.6.6.3.1	Farbträgerband	290
4.6.6.3.2	Bebilderungseinheit	291
4.6.6.4	Einsatzgebiete	291
4.6.7	InkJet	292
4.6.7.1	Continuous-InkJet-Technologie	294
4.6.7.1.1	Binary-Deflecting	294
4.6.7.1.2	Multi-Deflecting	295
4.6.7.2	Drop-on-Demand-Technologie	295
4.6.7.2.1	Thermoelektrische Tintendruckwerke (Bubble-Jet)	295
4.6.7.2.2	Piezo-InkJet	296
4.6.7.3	Verdruckstoffe	297
4.6.7.4	Maschinenkonzepte	298
4.6.7.4.1	InkJet-Arrays	298
4.6.7.4.2	Oszillierende oder stationäre Drucksysteme	298
4.6.7.5	Einsatzgebiete	299
4.7	Tampondruck	301
4.7.1	Druckform	302

4.7.1.1	Klischeetypen.....	302
4.7.1.2	Kunststoffklischee.....	303
4.7.1.3	Band- und Dünnstahlklischee.....	304
4.7.1.4	Stahlklischees.....	305
4.7.1.5	Keramikklichees.....	305
4.7.1.6	Laser-Klischee.....	306
4.7.2	Rasterung im Tampondruck.....	306
4.7.3	Stanzung und Lochung.....	307
4.7.4	Klischeetiefe.....	307
4.7.5	Tampon.....	307
4.7.5.1	Herstellung.....	308
4.7.5.2	Tamponeigenschaften.....	308
4.7.5.3	Tamponform.....	308
4.7.5.4	Tamponhärte.....	309
4.7.5.5	Tamponvolumen.....	309
4.7.6	Druckvorgang.....	309
4.7.7	Druckfarben.....	311
4.7.8	Maschinentechnik.....	311
4.7.8.1	Farbsystem.....	311
4.7.8.1.1	Offenes System.....	311
4.7.8.1.2	Geschlossene Systeme.....	313
4.7.8.2	Tamponbewegung.....	314
4.7.8.2.1	Vertikale Tamponbewegung.....	314
4.7.8.2.2	Vertikale und horizontale Tamponbewegung.....	315
4.7.8.2.3	Rotative Bewegung.....	316
4.7.8.3	Antriebstechniken.....	317
4.7.8.3.1	Elektro-mechanischer Antrieb.....	317
4.7.8.3.2	Pneumatischer Antrieb.....	317
4.7.8.3.3	Hydraulischer Antrieb.....	318
4.7.8.4	Druckformat.....	318
4.7.8.5	Anzahl der Druckfarben.....	318
4.7.8.6	Werkstückaufnahmen und Bedruckstoffzufuhr.....	319
4.7.8.6.1	Carreetisch.....	320
4.7.8.6.2	Rundscheitteller.....	321
4.7.8.6.3	Linearband.....	321
4.7.8.6.4	Taktvorschubgerät.....	322
4.7.9	Rotationsdruck.....	323
4.8	Vergleich der Druckverfahren und deren Bewertung.....	324
4.8.1	Offsetdruck.....	326
4.8.2	Flexodruck.....	327
4.8.3	Tiefdruck.....	328

4.8.4	Tampondruck.	329
4.8.5	Siebdruck.	330
4.8.6	Non-Impact-Printing.	331
4.8.7	Zusammenfassung.	333
	Literatur zu Kapitel 4.	334
5	Laserstrahlbeschriftung.	335
5.1	Einführung.	335
5.2	Warum Laserbeschriftung?	337
5.3	Lasertypen für das Beschriften.	338
5.3.1	Sealed-off CO ₂ -Laser.	338
5.3.2	Excimerlaser.	338
5.3.3	Diodengepumpte Q-switch Festkörperlaser.	338
5.3.4	Faserlaser.	340
5.3.5	Diodenlaser.	341
5.4	Laserbeschriftungstechniken.	342
5.4.1	Prinzip der Vektorbeschriftung.	342
5.4.2	Prinzip des Maskenprojektionsverfahrens.	343
5.4.3	Prinzip des Rasterverfahrens.	344
5.4.4	Verfahren im Vergleich.	344
5.5	Strahlqualität.	345
5.6	Effekte bei der Laserbeschriftung.	348
5.6.1	Kunststoffe.	348
5.6.1.1	Die Rolle der Laserwellenlänge.	350
5.6.1.2	Effekte bei der Laserbeschriftung von Kunststoffen.	351
5.6.1.3	Welche Kunststoffe sind beschriftbar?	353
5.6.2	Metalle.	357
5.6.3	Tiefengravur.	359
5.7	Rückverfolgbarkeit in der Industrie.	361
5.7.1	Codierungen (DataMatrix-Code, Barcode).	362
5.7.2	Aufbau des DataMatrix-Code.	363
5.7.3	Herstellungsmöglichkeiten von DataMatrix-Codes.	364
5.7.4	Auslesen der Codes.	365
5.7.4.1	Kernpunkte der AIM.	365
5.7.4.1.1	Kontrast (Symbol Contrast).	365
5.7.4.1.2	Zellengröße (Print-Growth).	365
5.7.4.1.3	Achsiale Unförmigkeit (Axial-Nonuniformity).	366
5.7.4.1.4	Ungenutzte Fehlerkorrektur (Unused-Error-Correction).	366
5.7.4.1.5	Gesamtgüte (Overall-Grade).	366
5.7.4.2	Prozesssichere Lesbarkeit.	367

5.7.4.3	Besonderheiten	368
5.8	Tag-Nacht-Design.....	369
5.9	Laserbeschriftungsfolien	371
5.10	Leiterplattenbeschriftung.....	371
5.11	Weitere Anwendungsbeispiele.....	373
5.12	Handlingsysteme.....	375
5.12.1	Doppelkopfsystem.....	376
5.12.2	Marking-on-the-Fly.....	376
5.12.3	Kostenaspekte	377
5.12.4	Arbeitsschutz und Arbeitssicherheit	378
5.13	Bewertung und Fehlermöglichkeiten	379
5.14	Zusammenfassung	380
	Literatur zu Kapitel 5.....	381
6	Etikettieren	383
6.1	Kaltleim-Etikettierung	385
6.2	Heißleim-Etikettierung	386
6.3	Sleeve-Etikettierung	387
6.4	Haftetikettierung.....	388
	Literatur zu Kapitel 6.....	389
7	Beflocken von Kunststoffen.....	391
7.1	Einführung.....	391
7.2	Technische Grundlagen der Beflockung.....	391
7.3	Verfahrensablauf.....	396
7.3.1	Vorbehandlung	396
7.3.2	Klebstoffauftrag.....	396
7.3.3	Beflockung.....	397
7.3.4	Trocknung.....	397
7.3.5	Endreinigung.....	397
7.4	Flockklebstoffe.....	398
7.5	Flockfasern.....	399
7.6	Flockgeräte und Flockanlagen	401
7.7	Prüfgeräte und Prüfverfahren	408
7.7.1	Bestimmung des elektrischen Widerstandes von Flock.....	408
7.7.2	Springprüfung.....	410
7.7.3	Trennfähigkeitsprüfung.....	414
7.7.4	Bestimmung der Flockdimensionen und Geometrienanalyse	417
7.7.5	Restflockmessung.....	418
7.7.6	Hochspannungsprüfung.....	419
7.7.7	Abriebprüfung.....	420

7.7.8	Ausreißprüfung.....	422
7.8	Eigenschaften beflockter Oberflächen und Anwendungsbeispiele	423
	Literatur zu Kapitel 7.....	430
8	Oberflächenstrukturierung	431
8.1	Einleitung.....	431
8.2	Funkenerosion.....	434
8.3	Photoätztechnik.....	438
8.4	Strahlverfahren	441
8.5	Laserstrukturieren	442
8.6	Course4 [®] -Technologie.....	444
8.7	Sprengprägen.....	446
8.8	Cera-Shibo-Technologie.....	450
	Literatur zu Kapitel 8.....	451
9	Folienhinterspritzen	453
9.1	Einleitung.....	453
9.2	Inmold-Decoration (IMD-Verfahren)	453
9.2.1	IMD-Prozess.....	454
9.2.2	IMD-Folien.....	456
9.2.3	IMD-Werkzeug.....	457
9.2.4	IMD-Vorschubgerät.....	457
9.2.5	Spezielle Aspekte	459
9.2.6	Prüftechnik	460
9.2.7	Verwendbare Kunststoffe.....	460
9.2.8	Anwendungsgebiete und Praxisbeispiele.....	461
9.3	Klassisches Folienhinterspritzen.....	464
9.3.1	FIM-Prozess.....	464
9.3.2	Bedrucken von Folien.....	467
9.3.3	Verformen von Folien.....	467
9.3.4	Beschneiden von Folien	468
9.3.5	Fixierung im Werkzeug	469
9.3.6	Werkzeugtechnik	469
9.3.7	Spezielle Aspekte	470
9.3.8	Prüftechnik	472
9.3.9	Verwendbare Kunststoffe.....	472
9.3.10	Anwendungsgebiete und Praxisbeispiele.....	473
	Literatur zu Kapitel 9.....	479
10	Prüftechnik	481
10.1	Einleitung.....	481

10.2 Glanz und Glanzmessung.....	484
10.2.1 Einstrahlungswinkel.....	487
10.2.2 Bild-Aperturwinkel.....	487
10.2.3 Blenden-Aperturwinkel.....	488
10.2.4 Reflektometerwert.....	488
10.3 Farbwahrnehmung und Farbmessung.....	489
10.4 Rauigkeits- und Topographiemessung.....	498
10.5 Kratzbeständigkeitsprüfungen und Abrieb.....	502
10.5.1 Erichsen-Härteprüfung.....	502
10.6 Beständigkeitsprüfungen gegen Temperatur, Witterung und Alterung ..	512
10.7 Haftung.....	520
Literatur zu Kapitel 10.....	526
Stichwortverzeichnis.....	527

Inhaltsverzeichnis

Vorwort zur 2. Auflage	V
Vorwort zur 1. Auflage	VII
Die Autoren	XXIII
Kurzzeichen von Kunststoffen	XXV
1 Einleitung und Einführung in die Oberflächentechnik	1
2 Reinigung und Aktivierung	3
2.1 Einleitung	3
2.2 Grundlagen zu Benetzung und Oberflächenenergie	4
2.3 Reinigungsverfahren	8
2.3.1 Manuelle Reinigung	8
2.3.2 Mechanische Reinigung	9
2.3.3 Schwertbürstenreinigung	10
2.3.4 Ionisation	15
2.3.5 Trockeneisreinigung	19
2.3.6 Laserreinigung	22
2.3.7 Nasschemische Reinigung	27
2.4 Aktivierungsverfahren	29
2.4.1 Beflammung	30
2.4.2 Corona-Behandlung	34
2.4.2.1 Direkte Coronaentladung	35
2.4.2.2 Indirekte Coronaentladung	36
2.4.3 VUV-Vorbehandlung	41
2.4.4 Plasmatechnologie	45
2.4.4.1 Atmosphärendruckplasma (AD-Plasma)	45
2.4.4.2 Niederdruckplasma (ND-Plasma)	49
2.4.4.2.1 Plasmamodifizierung/-aktivierung	50

2.4.4.2.2	Plasmareinigung	50
2.4.4.2.3	Beschichtung im Niederdruckplasma (Plasmapolymerisation)	50
2.4.4.2.4	Plasmaätzen	51
2.4.5	Fluorierung	54
2.5	Schlussbetrachtung	57
	Literatur zu Kapitel 2	58
3	Beschichtungstechnik	61
3.1	Einleitung	61
3.2	Galvanisieren von Kunststoffen	62
3.2.1	Verfahrensschritte	63
3.2.1.1	Beizen	64
3.2.1.2	Reduzieren	65
3.2.1.3	Aktivieren und Beschleunigen	65
3.2.1.4	Chemische Metallisierung	66
3.2.1.5	Elektrolytische Galvanisierung	67
3.2.1.5.1	Vornickel	68
3.2.1.5.2	Kupfer	69
3.2.1.5.3	Nickel	69
3.2.1.5.4	Chrom	70
3.2.2	Spezielle Aspekte	71
3.2.2.1	Partielle Galvanisierung	71
3.2.2.2	Ausschussproblematik	72
3.2.2.3	Kunststoff- und galvanisiergerechte Konstruktion	73
3.2.2.3.1	Scharfe Ecken und Kanten	74
3.2.2.3.2	Gestellaufnahme und Kontaktierungsstellen	75
3.2.2.3.3	Sacklöcher und Hinterschneidungen	75
3.2.2.3.4	Nuten, Schlitze und Bohrungen	75
3.2.2.3.5	Große und ebene Flächen	76
3.2.2.3.6	Anschnittposition	76
3.2.2.3.7	Vorteile	76
3.2.2.3.8	Nachteile	76
3.2.3	Prüftechnik	77
3.2.4	Verarbeitbare Kunststoffe	78
3.2.4.1	Acrylnitril-Butadien-Styrol	78
3.2.4.2	Polyamid	79
3.2.4.3	Polypropylen	81
3.2.4.4	Weitere Kunststoffe	82
3.2.5	Anwendungsgebiete und Praxisbeispiele	82
3.3	Physikalische Dampfphasenabscheidung (Physical-Vapor-Deposition)	86

3.3.1	Verhalten der Kunststoffe im Vakuum	88
3.3.2	Reinigung und Vorbehandlung	89
3.3.3	Thermisches Verdampfen	92
3.3.3.1	Direkte Widerstandsbeheizung	92
3.3.3.2	Indirekt beheizte Quellen	94
3.3.4	Elektronenstrahlverdampfen	95
3.3.5	Hochleistungs-Kathodenzerstäuben	97
3.3.6	Anlagentechnik und Bauteilbestückung.	99
3.3.7	Anwendungsbeispiele.	103
3.3.7.1	Bedampfung von Bahnware	103
3.3.7.1.1	Anwendungen auf Kunststofffolien	104
3.3.7.1.1.1	Antistatische Verpackungen.	104
3.3.7.1.1.2	Kondensatorfolien	105
3.3.7.1.1.3	Lebensmittelverpackung.	105
3.3.7.2	Optische und dekorative Schichten	106
3.3.7.3	Schichten für Elektronik und Elektrotechnik	112
3.3.7.3.1	Abschirmschichten	112
3.3.7.3.2	Aluminium-Abschirmschichten	113
3.3.7.3.3	Kupfer-Abschirmschichten	115
3.3.7.3.4	Ableitung von Ladungen.	116
3.4	Thermisches Spritzen.	117
3.4.1	Flamecon-Verfahren	117
3.5	Lackiertechnik.	119
3.5.1	Lacksysteme	120
3.5.1.1	Klassifizierung und Aufgaben der Lacksysteme	121
3.5.1.1.1	Grundlack.	121
3.5.1.1.2	Zwischenlack	121
3.5.1.1.3	Decklack	121
3.5.1.2	Einteilung nach Farbe und Effekt.	122
3.5.1.3	Typische Lackaufbauten für die Kunststofflackierung	122
3.5.1.4	Zusammensetzung der Lacksysteme.	124
3.5.1.4.1	Bindemittel.	125
3.5.1.4.2	Lösemittel	125
3.5.1.4.3	Pigmente, Farbstoffe und Effektmittel.	126
3.5.1.4.4	Additive.	127
3.5.1.5	Filmbildungsprozess und Reaktionsmechanismen	127
3.5.1.5.1	Polyaddition	128
3.5.1.5.2	Polykondensation.	129
3.5.1.6	Wirtschaftlichkeit von Lacksystemen	130
3.5.2	Applikationstechnik	130
3.5.2.1	Applikationsverfahren	131

3.5.2.1.1	Direkte Applikationsverfahren.	131
3.5.2.1.1.1	Tauchen.	131
3.5.2.1.1.2	Fluten	132
3.5.2.1.1.3	Rakeln	132
3.5.2.1.2	Indirekte Applikationsverfahren	132
3.5.2.1.2.1	Sprüh-/Spritzapplikation	133
3.5.2.1.2.2	Airlesszerstäuben	133
3.5.2.1.2.3	Pneumatisches Zerstäuben.	133
3.5.2.1.2.4	Hochrotationszerstäubung	134
3.5.2.1.2.5	Hochrotationszerstäubung mit elektrostatischer Unterstützung	135
3.5.2.2	Charakteristik und Einflüsse des Spritz-/Sprühstrahls	138
3.5.2.2.1	Pneumatischer Spritz-/Sprühstrahl.	138
3.5.2.2.2	Hochrotationszerstäubter Spritz-/Sprühstrahl.	140
3.5.2.3	Weitere Einflussfaktoren auf das Lackierergebnis. . . .	141
3.5.2.4	Machbarkeitsanalyse von Oberflächenqualitäten	143
3.5.2.5	Methoden zur Optimierung der Oberflächenqualität . .	144
3.5.2.6	Entwicklungsarbeiten	146
3.5.3	Anwendungen	148
3.5.3.1	Automobilindustrie Pkw	149
3.5.3.1.1	Außenteile.	150
3.5.3.1.2	Innenteile	151
3.5.3.1.3	Motorraumkomponenten und Aggregate	152
3.5.3.1.4	Karosseriebauteile (Thermoplastische Werkstoffe) . . .	153
3.5.3.1.4.1	Karosseriebauteile, Heckdeckel, Kofferraumdeckel und Dachmodule (Duromere Werkstoffe)	155
3.5.3.1.5	Antennendachmodul (Thermoplast-Duromer- Kombination)	155
3.5.3.1.6	Carbonfaser-Sichtoptik	157
3.5.3.1.7	Glasersatz und Automotive-Glazing.	158
3.5.3.2	Nutzfahrzeugindustrie	159
3.5.4	Gründe für die Lackierung von Kunststoffen.	160
3.5.4.1	Schutzwirkung und Protektion.	161
3.5.4.2	Aussehen, Optik und Dekoration	162
3.5.4.3	Besondere Funktionen und spezielle Eigenschaften . .	162
3.5.5	Lackeigenschaften.	163
3.5.6	Lackentwicklung.	164
3.5.6.1	Reduzierung der Zahl der Schichten	164
3.5.6.2	Niedrigere Schichtdicken der Einzelschichten.	165
3.5.6.3	Schnellere Trocknung	165
3.5.6.4	Wirtschaftlichere Applikationen	166

3.5.6.5	Standardisierung zu Einheitsprodukten	166
3.5.6.6	Neue Produkttechnologien	166
3.5.6.7	Neue Applikationstechniken.	167
3.5.7	Spezifikationen, Fehlersuche, Fehleranalyse und Fehlerbilder.	167
3.5.7.1	Spezifikationen	167
3.5.7.2	Fehlersuche und Fehleranalyse	169
3.5.7.3	Kategorisierung von Fehlerbildern	170
3.5.7.3.1	Blasen	171
3.5.7.3.2	Fasereinschluss	173
3.5.7.3.3	Fremdpartikeleinschluss.	173
3.5.7.3.4	Substratfehler.	174
3.5.7.3.5	Krater	174
3.5.7.3.6	Rückstand auf Substrat.	175
3.5.7.3.7	Härterhaut	175
3.5.7.3.8	Lackhaftfestigkeitsschaden nach HDW-Test DIN 55662	176
3.5.7.3.9	Fehlstellen nach Bewitterung.	177
3.5.7.3.10	Pilzbefall.	178
	Literatur zu Kapitel 3.	179
4	Drucktechnik.	183
4.1	Einleitung.	183
4.2	Siebdruck.	186
4.2.1	Verfahren.	186
4.2.1.1	Grafischer Siebdruck.	187
4.2.1.2	Industriesiebdruck	188
4.2.1.3	Schaltungsdruck	188
4.2.1.4	Glasbedruckung und Beschichtungen.	188
4.2.1.5	Bedruckung von Formteilen und Spezialdrucke	188
4.2.1.6	Textil-Siebdruck.	189
4.2.2	Siebdruckform.	189
4.2.2.1	Siebdruckrahmen	189
4.2.2.2	Schablonenträger.	190
4.2.2.3	Kennzeichnung und Geometrie des Schablonenträgers	192
4.2.2.4	Bindeart	193
4.2.2.5	Gewebegeometrie.	193
4.2.2.6	Spannen des Schablonenträgers	195
4.2.2.7	Schablonenherstellung	197
4.2.2.7.1	Gewebevorbehandlung	198
4.2.2.7.2	Schablonenherstellungsverfahren.	198
4.2.2.7.3	Fotomechanische Verfahren	198

4.2.2.7.4	Direktschablonen	199
4.2.2.7.5	Direktfilm/Kapillarfilm	201
4.2.2.7.6	Indirektschablone	202
4.2.2.7.7	Galvanische- und Laserverfahren	202
4.2.2.8	Bebilderung der Siebdruckform	203
4.2.2.8.1	Kontaktkopie	203
4.2.2.8.2	Projektionsbelichtung	205
4.2.2.8.3	Filmlose Bebilderung Computer-to-Screen	206
4.2.3	Druckvorgang	207
4.2.3.1	Rakel	207
4.2.3.2	Hauptdruckprinzipien	209
4.2.3.2.1	Flachbett-Siebdruck	209
4.2.3.2.2	Flachform-Zylindersiebdruck	211
4.2.3.2.3	Rotationssiebdruck	211
4.2.3.2.4	Rund- und Körpersiebdruck	213
4.2.4	Trocknung	213
4.2.5	Ausblick	213
4.3	Flexodruck	214
4.3.1	Bauweisen von Flexodruckmaschinen	215
4.3.1.1	Zentralzylinderdruckmaschinen	215
4.3.1.2	Reihenflexodruckmaschinen	216
4.3.1.3	Bogenflexodruckmaschinen	217
4.3.2	Aufbau und Herstellung von Flexodruckformen	218
4.3.2.1	Fotopolymere Flexodruckformen	219
4.3.2.2	Direktgravur	221
4.3.3	Druckbildlängenänderung und die erforderliche Verkürzung	222
4.3.4	Handling und Vorbereitung für die Montage und den Druck	222
4.3.4.1	Druckwerk	224
4.3.4.2	Druckformsleeve und Druckformzylinder	224
4.3.4.3	Rasterwalzensleeve, Rasterwalze und Rakelsystem	227
4.3.5	Besonderheiten beim Rüsten der Druckmaschine	231
4.3.6	Einsatz von Flexodruckmaschinen in der Druckindustrie	232
4.4	Offsetdruck	233
4.4.1	Offsetdruckform und Herstellungsprozess	234
4.4.1.1	Druckwerk – Komponenten Druckplatten-, Gummituch- und Gegendruckzylinder	237
4.4.1.2	Druckwerk – Komponente Farbwerk und unterschiedliche Varianten	238
4.4.1.3	Druckwerk – Komponente Feuchtwerk	242
4.4.2	Maschinenbauweisen	244
4.4.2.1	Bogenoffsetdruckmaschinen in Reihenbauweise	244

4.4.2.2	Bogenoffsetdruckmaschinen in Fünf-Zylinder- und Satellitenbauweise	245
4.4.2.3	Rollenoffsetdruckmaschinen	246
4.4.2.4	Heat-Set-Rollenoffsetdruck	246
4.4.2.5	Zeitungsrotationen (Coldset)	247
4.4.3	Anwendung des Offsetdrucks	248
4.5	Tiefdruck	248
4.5.1	Einsatzgebiete	250
4.5.2	Aufbau der Tiefdruckform	251
4.5.2.1	Dünnschichtverfahren	253
4.5.2.2	Ballardhautverfahren	253
4.5.2.3	Dickschichtverfahren	253
4.5.3	Herstellung der Tiefdruckform	254
4.5.3.1	Elektromechanische Gravur	255
4.5.3.2	Laser-Ätz-Verfahren	259
4.5.3.3	Lasergravur	262
4.5.4	Tiefdruckfarbe	265
4.5.5	Tiefdruckmaschinen	266
4.5.5.1	Trocknung	268
4.5.5.2	Schön- und Widerdruck	269
4.5.5.3	Automatischer Rollenwechsel	270
4.5.5.4	Elektrostatische Druckunterstützung (ESA)	271
4.6	Digitaldruck	272
4.6.1	Kategorien des Digitaldrucks	272
4.6.2	Einsatzgebiete	274
4.6.3	Datenaufbereitung für den Digitaldruck	275
4.6.3.1	Raster Image Processor	275
4.6.3.2	Raster	275
4.6.4	Elektrofotografie	277
4.6.4.1	Druckprozess	277
4.6.4.1.1	Aufladung	277
4.6.4.1.2	Belichtung	277
4.6.4.1.3	Entwicklung	277
4.6.4.1.4	Farbübertragung	278
4.6.4.1.5	Tonerfixierung	278
4.6.4.1.6	Reinigung	278
4.6.4.2	Systemkomponenten	279
4.6.4.2.1	Fotoleiter	279
4.6.4.2.2	Bebilderungseinheit	280
4.6.4.2.2.1	Aufladungseinheit	280
4.6.4.2.2.2	Zeichengenerator	281

4.6.4.2.3	Entwicklungseinheit und Toner	281
4.6.4.2.4	Tonerfixiereinheit	283
4.6.4.3	Maschinenkonzepte	283
4.6.4.4	Einsatzgebiete	284
4.6.5	Magnetografie	284
4.6.5.1	Druckprozess	284
4.6.5.1.1	Bebilderung	285
4.6.5.1.2	Entwicklung	285
4.6.5.1.3	Retouching	285
4.6.5.1.4	Farbübertragung	285
4.6.5.1.5	Fixierung	286
4.6.5.1.6	Reinigung	286
4.6.5.1.7	Löschen der Trommel	286
4.6.5.2	Maschinenkomponenten	286
4.6.5.2.1	Bebilderungstrommel	286
4.6.5.2.2	Bebilderungseinheit	286
4.6.5.2.3	Toner	286
4.6.5.2.4	Fixierungseinheit	287
4.6.6	Thermografie	287
4.6.6.1	Direkte Thermografie	287
4.6.6.2	Transferthermografie	288
4.6.6.2.1	Thermotransfer	288
4.6.6.2.2	Thermosublimation	289
4.6.6.3	Maschinenkomponenten	290
4.6.6.3.1	Farbträgerband	290
4.6.6.3.2	Bebilderungseinheit	291
4.6.6.4	Einsatzgebiete	291
4.6.7	InkJet	292
4.6.7.1	Continuous-InkJet-Technologie	294
4.6.7.1.1	Binary-Deflecting	294
4.6.7.1.2	Multi-Deflecting	295
4.6.7.2	Drop-on-Demand-Technologie	295
4.6.7.2.1	Thermoelektrische Tintendruckwerke (Bubble-Jet)	295
4.6.7.2.2	Piezo-InkJet	296
4.6.7.3	Verdruckstoffe	297
4.6.7.4	Maschinenkonzepte	298
4.6.7.4.1	InkJet-Arrays	298
4.6.7.4.2	Oszillierende oder stationäre Drucksysteme	298
4.6.7.5	Einsatzgebiete	299
4.7	Tampondruck	301
4.7.1	Druckform	302

4.7.1.1	Klischeetypen.....	302
4.7.1.2	Kunststoffklischee.....	303
4.7.1.3	Band- und Dünnstahlklischee.....	304
4.7.1.4	Stahlklischees.....	305
4.7.1.5	Keramikklichees.....	305
4.7.1.6	Laser-Klischee.....	306
4.7.2	Rasterung im Tampondruck.....	306
4.7.3	Stanzung und Lochung.....	307
4.7.4	Klischeetiefe.....	307
4.7.5	Tampon.....	307
4.7.5.1	Herstellung.....	308
4.7.5.2	Tamponeigenschaften.....	308
4.7.5.3	Tamponform.....	308
4.7.5.4	Tamponhärte.....	309
4.7.5.5	Tamponvolumen.....	309
4.7.6	Druckvorgang.....	309
4.7.7	Druckfarben.....	311
4.7.8	Maschinentechnik.....	311
4.7.8.1	Farbsystem.....	311
4.7.8.1.1	Offenes System.....	311
4.7.8.1.2	Geschlossene Systeme.....	313
4.7.8.2	Tamponbewegung.....	314
4.7.8.2.1	Vertikale Tamponbewegung.....	314
4.7.8.2.2	Vertikale und horizontale Tamponbewegung.....	315
4.7.8.2.3	Rotative Bewegung.....	316
4.7.8.3	Antriebstechniken.....	317
4.7.8.3.1	Elektro-mechanischer Antrieb.....	317
4.7.8.3.2	Pneumatischer Antrieb.....	317
4.7.8.3.3	Hydraulischer Antrieb.....	318
4.7.8.4	Druckformat.....	318
4.7.8.5	Anzahl der Druckfarben.....	318
4.7.8.6	Werkstückaufnahmen und Bedruckstoffzufuhr.....	319
4.7.8.6.1	Carreetisch.....	320
4.7.8.6.2	Rundscheitteller.....	321
4.7.8.6.3	Linearband.....	321
4.7.8.6.4	Taktvorschubgerät.....	322
4.7.9	Rotationsdruck.....	323
4.8	Vergleich der Druckverfahren und deren Bewertung.....	324
4.8.1	Offsetdruck.....	326
4.8.2	Flexodruck.....	327
4.8.3	Tiefdruck.....	328

4.8.4	Tampondruck.	329
4.8.5	Siebdruck.	330
4.8.6	Non-Impact-Printing.	331
4.8.7	Zusammenfassung.	333
	Literatur zu Kapitel 4.	334
5	Laserstrahlbeschriftung.	335
5.1	Einführung.	335
5.2	Warum Laserbeschriftung?	337
5.3	Lasertypen für das Beschriften.	338
5.3.1	Sealed-off CO ₂ -Laser.	338
5.3.2	Excimerlaser.	338
5.3.3	Diodengepumpte Q-switch Festkörperlaser.	338
5.3.4	Faserlaser.	340
5.3.5	Diodenlaser.	341
5.4	Laserbeschriftungstechniken.	342
5.4.1	Prinzip der Vektorbeschriftung.	342
5.4.2	Prinzip des Maskenprojektionsverfahrens.	343
5.4.3	Prinzip des Rasterverfahrens.	344
5.4.4	Verfahren im Vergleich.	344
5.5	Strahlqualität.	345
5.6	Effekte bei der Laserbeschriftung.	348
5.6.1	Kunststoffe.	348
5.6.1.1	Die Rolle der Laserwellenlänge.	350
5.6.1.2	Effekte bei der Laserbeschriftung von Kunststoffen.	351
5.6.1.3	Welche Kunststoffe sind beschriftbar?	353
5.6.2	Metalle.	357
5.6.3	Tiefengravur.	359
5.7	Rückverfolgbarkeit in der Industrie.	361
5.7.1	Codierungen (DataMatrix-Code, Barcode).	362
5.7.2	Aufbau des DataMatrix-Code.	363
5.7.3	Herstellungsmöglichkeiten von DataMatrix-Codes.	364
5.7.4	Auslesen der Codes.	365
5.7.4.1	Kernpunkte der AIM.	365
5.7.4.1.1	Kontrast (Symbol Contrast).	365
5.7.4.1.2	Zellengröße (Print-Growth).	365
5.7.4.1.3	Achsiale Unförmigkeit (Axial-Nonuniformity).	366
5.7.4.1.4	Ungenutzte Fehlerkorrektur (Unused-Error-Correction).	366
5.7.4.1.5	Gesamtgüte (Overall-Grade).	366
5.7.4.2	Prozesssichere Lesbarkeit.	367

5.7.4.3	Besonderheiten	368
5.8	Tag-Nacht-Design.....	369
5.9	Laserbeschriftungsfolien	371
5.10	Leiterplattenbeschriftung.....	371
5.11	Weitere Anwendungsbeispiele.....	373
5.12	Handlingsysteme.....	375
5.12.1	Doppelkopfsystem.....	376
5.12.2	Marking-on-the-Fly.....	376
5.12.3	Kostenaspekte	377
5.12.4	Arbeitsschutz und Arbeitssicherheit	378
5.13	Bewertung und Fehlermöglichkeiten	379
5.14	Zusammenfassung	380
	Literatur zu Kapitel 5.....	381
6	Etikettieren	383
6.1	Kaltleim-Etikettierung	385
6.2	Heißleim-Etikettierung	386
6.3	Sleeve-Etikettierung	387
6.4	Haftetikettierung.....	388
	Literatur zu Kapitel 6.....	389
7	Beflocken von Kunststoffen.....	391
7.1	Einführung.....	391
7.2	Technische Grundlagen der Beflockung.....	391
7.3	Verfahrensablauf.....	396
7.3.1	Vorbehandlung	396
7.3.2	Klebstoffauftrag.....	396
7.3.3	Beflockung.....	397
7.3.4	Trocknung.....	397
7.3.5	Endreinigung.....	397
7.4	Flockklebstoffe.....	398
7.5	Flockfasern.....	399
7.6	Flockgeräte und Flockanlagen	401
7.7	Prüfgeräte und Prüfverfahren	408
7.7.1	Bestimmung des elektrischen Widerstandes von Flock.....	408
7.7.2	Springprüfung.....	410
7.7.3	Trennfähigkeitsprüfung.....	414
7.7.4	Bestimmung der Flockdimensionen und Geometrienanalyse	417
7.7.5	Restflockmessung.....	418
7.7.6	Hochspannungsprüfung.....	419
7.7.7	Abriebprüfung.....	420

7.7.8	Ausreißprüfung.....	422
7.8	Eigenschaften beflockter Oberflächen und Anwendungsbeispiele.....	423
	Literatur zu Kapitel 7.....	430
8	Oberflächenstrukturierung.....	431
8.1	Einleitung.....	431
8.2	Funkenerosion.....	434
8.3	Photoätztechnik.....	438
8.4	Strahlverfahren.....	441
8.5	Laserstrukturieren.....	442
8.6	Course4 [®] -Technologie.....	444
8.7	Sprengprägen.....	446
8.8	Cera-Shibo-Technologie.....	450
	Literatur zu Kapitel 8.....	451
9	Folienhinterspritzen.....	453
9.1	Einleitung.....	453
9.2	Inmold-Decoration (IMD-Verfahren).....	453
9.2.1	IMD-Prozess.....	454
9.2.2	IMD-Folien.....	456
9.2.3	IMD-Werkzeug.....	457
9.2.4	IMD-Vorschubgerät.....	457
9.2.5	Spezielle Aspekte.....	459
9.2.6	Prüftechnik.....	460
9.2.7	Verwendbare Kunststoffe.....	460
9.2.8	Anwendungsgebiete und Praxisbeispiele.....	461
9.3	Klassisches Folienhinterspritzen.....	464
9.3.1	FIM-Prozess.....	464
9.3.2	Bedrucken von Folien.....	467
9.3.3	Verformen von Folien.....	467
9.3.4	Beschneiden von Folien.....	468
9.3.5	Fixierung im Werkzeug.....	469
9.3.6	Werkzeugtechnik.....	469
9.3.7	Spezielle Aspekte.....	470
9.3.8	Prüftechnik.....	472
9.3.9	Verwendbare Kunststoffe.....	472
9.3.10	Anwendungsgebiete und Praxisbeispiele.....	473
	Literatur zu Kapitel 9.....	479
10	Prüftechnik.....	481
10.1	Einleitung.....	481

10.2 Glanz und Glanzmessung.....	484
10.2.1 Einstrahlungswinkel.....	487
10.2.2 Bild-Aperturwinkel.....	487
10.2.3 Blenden-Aperturwinkel.....	488
10.2.4 Reflektometerwert.....	488
10.3 Farbwahrnehmung und Farbmessung.....	489
10.4 Rauigkeits- und Topographiemessung.....	498
10.5 Kratzbeständigkeitsprüfungen und Abrieb.....	502
10.5.1 Erichsen-Härteprüfung.....	502
10.6 Beständigkeitsprüfungen gegen Temperatur, Witterung und Alterung ..	512
10.7 Haftung.....	520
Literatur zu Kapitel 10.....	526
Stichwortverzeichnis.....	527

Inhaltsverzeichnis

Vorwort zur 2. Auflage	V
Vorwort zur 1. Auflage	VII
Die Autoren	XXIII
Kurzzeichen von Kunststoffen	XXV
1 Einleitung und Einführung in die Oberflächentechnik	1
2 Reinigung und Aktivierung	3
2.1 Einleitung	3
2.2 Grundlagen zu Benetzung und Oberflächenenergie	4
2.3 Reinigungsverfahren	8
2.3.1 Manuelle Reinigung	8
2.3.2 Mechanische Reinigung	9
2.3.3 Schwertbürstenreinigung	10
2.3.4 Ionisation	15
2.3.5 Trockeneisreinigung	19
2.3.6 Laserreinigung	22
2.3.7 Nasschemische Reinigung	27
2.4 Aktivierungsverfahren	29
2.4.1 Beflammung	30
2.4.2 Corona-Behandlung	34
2.4.2.1 Direkte Coronaentladung	35
2.4.2.2 Indirekte Coronaentladung	36
2.4.3 VUV-Vorbehandlung	41
2.4.4 Plasmatechnologie	45
2.4.4.1 Atmosphärendruckplasma (AD-Plasma)	45
2.4.4.2 Niederdruckplasma (ND-Plasma)	49
2.4.4.2.1 Plasmamodifizierung/-aktivierung	50

2.4.4.2.2	Plasmareinigung	50
2.4.4.2.3	Beschichtung im Niederdruckplasma (Plasmapolymerisation)	50
2.4.4.2.4	Plasmaätzen	51
2.4.5	Fluorierung	54
2.5	Schlussbetrachtung	57
	Literatur zu Kapitel 2.	58
3	Beschichtungstechnik	61
3.1	Einleitung	61
3.2	Galvanisieren von Kunststoffen	62
3.2.1	Verfahrensschritte	63
3.2.1.1	Beizen	64
3.2.1.2	Reduzieren	65
3.2.1.3	Aktivieren und Beschleunigen	65
3.2.1.4	Chemische Metallisierung	66
3.2.1.5	Elektrolytische Galvanisierung	67
3.2.1.5.1	Vornickel	68
3.2.1.5.2	Kupfer	69
3.2.1.5.3	Nickel	69
3.2.1.5.4	Chrom	70
3.2.2	Spezielle Aspekte	71
3.2.2.1	Partielle Galvanisierung	71
3.2.2.2	Ausschussproblematik	72
3.2.2.3	Kunststoff- und galvanisiergerechte Konstruktion.	73
3.2.2.3.1	Scharfe Ecken und Kanten	74
3.2.2.3.2	Gestellaufnahme und Kontaktierungsstellen	75
3.2.2.3.3	Sacklöcher und Hinterschneidungen	75
3.2.2.3.4	Nuten, Schlitze und Bohrungen	75
3.2.2.3.5	Große und ebene Flächen	76
3.2.2.3.6	Anschnittposition.	76
3.2.2.3.7	Vorteile	76
3.2.2.3.8	Nachteile	76
3.2.3	Prüftechnik	77
3.2.4	Verarbeitbare Kunststoffe	78
3.2.4.1	Acrylnitril-Butadien-Styrol	78
3.2.4.2	Polyamid	79
3.2.4.3	Polypropylen	81
3.2.4.4	Weitere Kunststoffe	82
3.2.5	Anwendungsgebiete und Praxisbeispiele	82
3.3	Physikalische Dampfphasenabscheidung (Physical-Vapor-Deposition).	86

3.3.1	Verhalten der Kunststoffe im Vakuum	88
3.3.2	Reinigung und Vorbehandlung	89
3.3.3	Thermisches Verdampfen	92
3.3.3.1	Direkte Widerstandsbeheizung	92
3.3.3.2	Indirekt beheizte Quellen	94
3.3.4	Elektronenstrahlverdampfen	95
3.3.5	Hochleistungs-Kathodenzerstäuben	97
3.3.6	Anlagentechnik und Bauteilbestückung.	99
3.3.7	Anwendungsbeispiele.	103
3.3.7.1	Bedampfung von Bahnware	103
3.3.7.1.1	Anwendungen auf Kunststofffolien	104
3.3.7.1.1.1	Antistatische Verpackungen.	104
3.3.7.1.1.2	Kondensatorfolien	105
3.3.7.1.1.3	Lebensmittelverpackung.	105
3.3.7.2	Optische und dekorative Schichten	106
3.3.7.3	Schichten für Elektronik und Elektrotechnik	112
3.3.7.3.1	Abschirmschichten	112
3.3.7.3.2	Aluminium-Abschirmschichten	113
3.3.7.3.3	Kupfer-Abschirmschichten	115
3.3.7.3.4	Ableitung von Ladungen.	116
3.4	Thermisches Spritzen.	117
3.4.1	Flamecon-Verfahren	117
3.5	Lackiertechnik.	119
3.5.1	Lacksysteme	120
3.5.1.1	Klassifizierung und Aufgaben der Lacksysteme	121
3.5.1.1.1	Grundlack.	121
3.5.1.1.2	Zwischenlack	121
3.5.1.1.3	Decklack	121
3.5.1.2	Einteilung nach Farbe und Effekt.	122
3.5.1.3	Typische Lackaufbauten für die Kunststofflackierung	122
3.5.1.4	Zusammensetzung der Lacksysteme.	124
3.5.1.4.1	Bindemittel.	125
3.5.1.4.2	Lösemittel	125
3.5.1.4.3	Pigmente, Farbstoffe und Effektmittel.	126
3.5.1.4.4	Additive.	127
3.5.1.5	Filmbildungsprozess und Reaktionsmechanismen	127
3.5.1.5.1	Polyaddition	128
3.5.1.5.2	Polykondensation.	129
3.5.1.6	Wirtschaftlichkeit von Lacksystemen	130
3.5.2	Applikationstechnik	130
3.5.2.1	Applikationsverfahren	131

3.5.2.1.1	Direkte Applikationsverfahren.	131
3.5.2.1.1.1	Tauchen.	131
3.5.2.1.1.2	Fluten	132
3.5.2.1.1.3	Rakeln	132
3.5.2.1.2	Indirekte Applikationsverfahren	132
3.5.2.1.2.1	Sprüh-/Spritzapplikation	133
3.5.2.1.2.2	Airlesszerstäuben	133
3.5.2.1.2.3	Pneumatisches Zerstäuben.	133
3.5.2.1.2.4	Hochrotationszerstäubung	134
3.5.2.1.2.5	Hochrotationszerstäubung mit elektrostatischer Unterstützung	135
3.5.2.2	Charakteristik und Einflüsse des Spritz-/Sprühstrahls	138
3.5.2.2.1	Pneumatischer Spritz-/Sprühstrahl.	138
3.5.2.2.2	Hochrotationszerstäubter Spritz-/Sprühstrahl.	140
3.5.2.3	Weitere Einflussfaktoren auf das Lackierergebnis. . . .	141
3.5.2.4	Machbarkeitsanalyse von Oberflächenqualitäten	143
3.5.2.5	Methoden zur Optimierung der Oberflächenqualität . .	144
3.5.2.6	Entwicklungsarbeiten	146
3.5.3	Anwendungen	148
3.5.3.1	Automobilindustrie Pkw	149
3.5.3.1.1	Außenteile.	150
3.5.3.1.2	Innenteile	151
3.5.3.1.3	Motorraumkomponenten und Aggregate	152
3.5.3.1.4	Karosseriebauteile (Thermoplastische Werkstoffe) . . .	153
3.5.3.1.4.1	Karosseriebauteile, Heckdeckel, Kofferraumdeckel und Dachmodule (Duromere Werkstoffe)	155
3.5.3.1.5	Antennendachmodul (Thermoplast-Duromer- Kombination)	155
3.5.3.1.6	Carbonfaser-Sichtoptik	157
3.5.3.1.7	Glasersatz und Automotive-Glazing.	158
3.5.3.2	Nutzfahrzeugindustrie	159
3.5.4	Gründe für die Lackierung von Kunststoffen.	160
3.5.4.1	Schutzwirkung und Protektion.	161
3.5.4.2	Aussehen, Optik und Dekoration	162
3.5.4.3	Besondere Funktionen und spezielle Eigenschaften . .	162
3.5.5	Lackeigenschaften.	163
3.5.6	Lackentwicklung.	164
3.5.6.1	Reduzierung der Zahl der Schichten	164
3.5.6.2	Niedrigere Schichtdicken der Einzelschichten.	165
3.5.6.3	Schnellere Trocknung	165
3.5.6.4	Wirtschaftlichere Applikationen	166

3.5.6.5	Standardisierung zu Einheitsprodukten	166
3.5.6.6	Neue Produkttechnologien	166
3.5.6.7	Neue Applikationstechniken	167
3.5.7	Spezifikationen, Fehlersuche, Fehleranalyse und Fehlerbilder	167
3.5.7.1	Spezifikationen	167
3.5.7.2	Fehlersuche und Fehleranalyse	169
3.5.7.3	Kategorisierung von Fehlerbildern	170
3.5.7.3.1	Blasen	171
3.5.7.3.2	Fasereinschluss	173
3.5.7.3.3	Fremdpartikeleinschluss	173
3.5.7.3.4	Substratfehler	174
3.5.7.3.5	Krater	174
3.5.7.3.6	Rückstand auf Substrat	175
3.5.7.3.7	Härterhaut	175
3.5.7.3.8	Lackhaftfestigkeitsschaden nach HDW-Test DIN 55662	176
3.5.7.3.9	Fehlstellen nach Bewitterung	177
3.5.7.3.10	Pilzbefall	178
Literatur zu Kapitel 3		179
4	Drucktechnik	183
4.1	Einleitung	183
4.2	Siebdruck	186
4.2.1	Verfahren	186
4.2.1.1	Grafischer Siebdruck	187
4.2.1.2	Industriesiebdruck	188
4.2.1.3	Schaltungsdruck	188
4.2.1.4	Glasbedruckung und Beschichtungen	188
4.2.1.5	Bedruckung von Formteilen und Spezialdrucke	188
4.2.1.6	Textil-Siebdruck	189
4.2.2	Siebdruckform	189
4.2.2.1	Siebdruckrahmen	189
4.2.2.2	Schablonenträger	190
4.2.2.3	Kennzeichnung und Geometrie des Schablonenträgers	192
4.2.2.4	Bindeart	193
4.2.2.5	Gewebegeometrie	193
4.2.2.6	Spannen des Schablonenträgers	195
4.2.2.7	Schablonenherstellung	197
4.2.2.7.1	Gewebevorbehandlung	198
4.2.2.7.2	Schablonenherstellungsverfahren	198
4.2.2.7.3	Fotomechanische Verfahren	198

4.2.2.7.4	Direktschablonen	199
4.2.2.7.5	Direktfilm/Kapillarfilm	201
4.2.2.7.6	Indirektschablone	202
4.2.2.7.7	Galvanische- und Laserverfahren	202
4.2.2.8	Bebilderung der Siebdruckform	203
4.2.2.8.1	Kontaktkopie	203
4.2.2.8.2	Projektionsbelichtung	205
4.2.2.8.3	Filmlose Bebilderung Computer-to-Screen	206
4.2.3	Druckvorgang	207
4.2.3.1	Rakel	207
4.2.3.2	Hauptdruckprinzipien	209
4.2.3.2.1	Flachbett-Siebdruck	209
4.2.3.2.2	Flachform-Zylindersiebdruck	211
4.2.3.2.3	Rotationssiebdruck	211
4.2.3.2.4	Rund- und Körpersiebdruck	213
4.2.4	Trocknung	213
4.2.5	Ausblick	213
4.3	Flexodruck	214
4.3.1	Bauweisen von Flexodruckmaschinen	215
4.3.1.1	Zentralzylinderdruckmaschinen	215
4.3.1.2	Reihenflexodruckmaschinen	216
4.3.1.3	Bogenflexodruckmaschinen	217
4.3.2	Aufbau und Herstellung von Flexodruckformen	218
4.3.2.1	Fotopolymere Flexodruckformen	219
4.3.2.2	Direktgravur	221
4.3.3	Druckbildlängenänderung und die erforderliche Verkürzung	222
4.3.4	Handling und Vorbereitung für die Montage und den Druck	222
4.3.4.1	Druckwerk	224
4.3.4.2	Druckformsleeve und Druckformzylinder	224
4.3.4.3	Rasterwalzensleeve, Rasterwalze und Rakelsystem	227
4.3.5	Besonderheiten beim Rüsten der Druckmaschine	231
4.3.6	Einsatz von Flexodruckmaschinen in der Druckindustrie	232
4.4	Offsetdruck	233
4.4.1	Offsetdruckform und Herstellungsprozess	234
4.4.1.1	Druckwerk – Komponenten Druckplatten-, Gummituch- und Gegendruckzylinder	237
4.4.1.2	Druckwerk – Komponente Farbwerk und unterschiedliche Varianten	238
4.4.1.3	Druckwerk – Komponente Feuchtwerk	242
4.4.2	Maschinenbauweisen	244
4.4.2.1	Bogenoffsetdruckmaschinen in Reihenbauweise	244

4.4.2.2	Bogenoffsetdruckmaschinen in Fünf-Zylinder- und Satellitenbauweise	245
4.4.2.3	Rollenoffsetdruckmaschinen	246
4.4.2.4	Heat-Set-Rollenoffsetdruck	246
4.4.2.5	Zeitungsrotationen (Coldset)	247
4.4.3	Anwendung des Offsetdrucks	248
4.5	Tiefdruck	248
4.5.1	Einsatzgebiete	250
4.5.2	Aufbau der Tiefdruckform	251
4.5.2.1	Dünnschichtverfahren	253
4.5.2.2	Ballardhautverfahren	253
4.5.2.3	Dickschichtverfahren	253
4.5.3	Herstellung der Tiefdruckform	254
4.5.3.1	Elektromechanische Gravur	255
4.5.3.2	Laser-Ätz-Verfahren	259
4.5.3.3	Lasergravur	262
4.5.4	Tiefdruckfarbe	265
4.5.5	Tiefdruckmaschinen	266
4.5.5.1	Trocknung	268
4.5.5.2	Schön- und Widerdruck	269
4.5.5.3	Automatischer Rollenwechsel	270
4.5.5.4	Elektrostatische Druckunterstützung (ESA)	271
4.6	Digitaldruck	272
4.6.1	Kategorien des Digitaldrucks	272
4.6.2	Einsatzgebiete	274
4.6.3	Datenaufbereitung für den Digitaldruck	275
4.6.3.1	Raster Image Processor	275
4.6.3.2	Raster	275
4.6.4	Elektrofotografie	277
4.6.4.1	Druckprozess	277
4.6.4.1.1	Aufladung	277
4.6.4.1.2	Belichtung	277
4.6.4.1.3	Entwicklung	277
4.6.4.1.4	Farbübertragung	278
4.6.4.1.5	Tonerfixierung	278
4.6.4.1.6	Reinigung	278
4.6.4.2	Systemkomponenten	279
4.6.4.2.1	Fotoleiter	279
4.6.4.2.2	Bebilderungseinheit	280
4.6.4.2.2.1	Aufladungseinheit	280
4.6.4.2.2.2	Zeichengenerator	281

4.6.4.2.3	Entwicklungseinheit und Toner	281
4.6.4.2.4	Tonerfixiereinheit	283
4.6.4.3	Maschinenkonzepte	283
4.6.4.4	Einsatzgebiete	284
4.6.5	Magnetografie	284
4.6.5.1	Druckprozess	284
4.6.5.1.1	Bebilderung	285
4.6.5.1.2	Entwicklung	285
4.6.5.1.3	Retouching	285
4.6.5.1.4	Farbübertragung	285
4.6.5.1.5	Fixierung	286
4.6.5.1.6	Reinigung	286
4.6.5.1.7	Löschen der Trommel	286
4.6.5.2	Maschinenkomponenten	286
4.6.5.2.1	Bebilderungstrommel	286
4.6.5.2.2	Bebilderungseinheit	286
4.6.5.2.3	Toner	286
4.6.5.2.4	Fixierungseinheit	287
4.6.6	Thermografie	287
4.6.6.1	Direkte Thermografie	287
4.6.6.2	Transferthermografie	288
4.6.6.2.1	Thermotransfer	288
4.6.6.2.2	Thermosublimation	289
4.6.6.3	Maschinenkomponenten	290
4.6.6.3.1	Farbträgerband	290
4.6.6.3.2	Bebilderungseinheit	291
4.6.6.4	Einsatzgebiete	291
4.6.7	InkJet	292
4.6.7.1	Continuous-InkJet-Technologie	294
4.6.7.1.1	Binary-Deflecting	294
4.6.7.1.2	Multi-Deflecting	295
4.6.7.2	Drop-on-Demand-Technologie	295
4.6.7.2.1	Thermoelektrische Tintendruckwerke (Bubble-Jet)	295
4.6.7.2.2	Piezo-InkJet	296
4.6.7.3	Verdruckstoffe	297
4.6.7.4	Maschinenkonzepte	298
4.6.7.4.1	InkJet-Arrays	298
4.6.7.4.2	Oszillierende oder stationäre Drucksysteme	298
4.6.7.5	Einsatzgebiete	299
4.7	Tampondruck	301
4.7.1	Druckform	302

4.7.1.1	Klischeetypen.....	302
4.7.1.2	Kunststoffklischee.....	303
4.7.1.3	Band- und Dünnstahlklischee.....	304
4.7.1.4	Stahlklischees.....	305
4.7.1.5	Keramikklichees.....	305
4.7.1.6	Laser-Klischee.....	306
4.7.2	Rasterung im Tampondruck.....	306
4.7.3	Stanzung und Lochung.....	307
4.7.4	Klischeetiefe.....	307
4.7.5	Tampon.....	307
4.7.5.1	Herstellung.....	308
4.7.5.2	Tamponeigenschaften.....	308
4.7.5.3	Tamponform.....	308
4.7.5.4	Tamponhärte.....	309
4.7.5.5	Tamponvolumen.....	309
4.7.6	Druckvorgang.....	309
4.7.7	Druckfarben.....	311
4.7.8	Maschinentechnik.....	311
4.7.8.1	Farbsystem.....	311
4.7.8.1.1	Offenes System.....	311
4.7.8.1.2	Geschlossene Systeme.....	313
4.7.8.2	Tamponbewegung.....	314
4.7.8.2.1	Vertikale Tamponbewegung.....	314
4.7.8.2.2	Vertikale und horizontale Tamponbewegung.....	315
4.7.8.2.3	Rotative Bewegung.....	316
4.7.8.3	Antriebstechniken.....	317
4.7.8.3.1	Elektro-mechanischer Antrieb.....	317
4.7.8.3.2	Pneumatischer Antrieb.....	317
4.7.8.3.3	Hydraulischer Antrieb.....	318
4.7.8.4	Druckformat.....	318
4.7.8.5	Anzahl der Druckfarben.....	318
4.7.8.6	Werkstückaufnahmen und Bedruckstoffzufuhr.....	319
4.7.8.6.1	Carreetisch.....	320
4.7.8.6.2	Rundscheibenteller.....	321
4.7.8.6.3	Linearband.....	321
4.7.8.6.4	Taktvorschubgerät.....	322
4.7.9	Rotationsdruck.....	323
4.8	Vergleich der Druckverfahren und deren Bewertung.....	324
4.8.1	Offsetdruck.....	326
4.8.2	Flexodruck.....	327
4.8.3	Tiefdruck.....	328

4.8.4	Tampondruck.	329
4.8.5	Siebdruck.	330
4.8.6	Non-Impact-Printing.	331
4.8.7	Zusammenfassung.	333
	Literatur zu Kapitel 4.	334
5	Laserstrahlbeschriftung.	335
5.1	Einführung.	335
5.2	Warum Laserbeschriftung?	337
5.3	Lasertypen für das Beschriften.	338
5.3.1	Sealed-off CO ₂ -Laser.	338
5.3.2	Excimerlaser.	338
5.3.3	Diodengepumpte Q-switch Festkörperlaser.	338
5.3.4	Faserlaser.	340
5.3.5	Diodenlaser.	341
5.4	Laserbeschriftungstechniken.	342
5.4.1	Prinzip der Vektorbeschriftung.	342
5.4.2	Prinzip des Maskenprojektionsverfahrens.	343
5.4.3	Prinzip des Rasterverfahrens.	344
5.4.4	Verfahren im Vergleich.	344
5.5	Strahlqualität.	345
5.6	Effekte bei der Laserbeschriftung.	348
5.6.1	Kunststoffe.	348
5.6.1.1	Die Rolle der Laserwellenlänge.	350
5.6.1.2	Effekte bei der Laserbeschriftung von Kunststoffen.	351
5.6.1.3	Welche Kunststoffe sind beschriftbar?	353
5.6.2	Metalle.	357
5.6.3	Tiefengravur.	359
5.7	Rückverfolgbarkeit in der Industrie.	361
5.7.1	Codierungen (DataMatrix-Code, Barcode).	362
5.7.2	Aufbau des DataMatrix-Code.	363
5.7.3	Herstellungsmöglichkeiten von DataMatrix-Codes.	364
5.7.4	Auslesen der Codes.	365
5.7.4.1	Kernpunkte der AIM.	365
5.7.4.1.1	Kontrast (Symbol Contrast).	365
5.7.4.1.2	Zellengröße (Print-Growth).	365
5.7.4.1.3	Achsiale Unförmigkeit (Axial-Nonuniformity).	366
5.7.4.1.4	Ungenutzte Fehlerkorrektur (Unused-Error-Correction).	366
5.7.4.1.5	Gesamtgüte (Overall-Grade).	366
5.7.4.2	Prozesssichere Lesbarkeit.	367

5.7.4.3	Besonderheiten	368
5.8	Tag-Nacht-Design.....	369
5.9	Laserbeschriftungsfolien	371
5.10	Leiterplattenbeschriftung.....	371
5.11	Weitere Anwendungsbeispiele.....	373
5.12	Handlingsysteme.....	375
5.12.1	Doppelkopfsystem.....	376
5.12.2	Marking-on-the-Fly.....	376
5.12.3	Kostenaspekte	377
5.12.4	Arbeitsschutz und Arbeitssicherheit	378
5.13	Bewertung und Fehlermöglichkeiten	379
5.14	Zusammenfassung	380
	Literatur zu Kapitel 5.....	381
6	Etikettieren	383
6.1	Kaltleim-Etikettierung	385
6.2	Heißleim-Etikettierung	386
6.3	Sleeve-Etikettierung	387
6.4	Haftetikettierung.....	388
	Literatur zu Kapitel 6.....	389
7	Beflocken von Kunststoffen.....	391
7.1	Einführung.....	391
7.2	Technische Grundlagen der Beflockung.....	391
7.3	Verfahrensablauf.....	396
7.3.1	Vorbehandlung	396
7.3.2	Klebstoffauftrag.....	396
7.3.3	Beflockung.....	397
7.3.4	Trocknung.....	397
7.3.5	Endreinigung.....	397
7.4	Flockklebstoffe.....	398
7.5	Flockfasern.....	399
7.6	Flockgeräte und Flockanlagen	401
7.7	Prüfgeräte und Prüfverfahren	408
7.7.1	Bestimmung des elektrischen Widerstandes von Flock.....	408
7.7.2	Springprüfung.....	410
7.7.3	Trennfähigkeitsprüfung.....	414
7.7.4	Bestimmung der Flockdimensionen und Geometrienanalyse	417
7.7.5	Restflockmessung.....	418
7.7.6	Hochspannungsprüfung.....	419
7.7.7	Abriebprüfung.....	420

7.7.8	Ausreißprüfung.....	422
7.8	Eigenschaften beflockter Oberflächen und Anwendungsbeispiele.....	423
	Literatur zu Kapitel 7.....	430
8	Oberflächenstrukturierung.....	431
8.1	Einleitung.....	431
8.2	Funkenerosion.....	434
8.3	Photoätztechnik.....	438
8.4	Strahlverfahren.....	441
8.5	Laserstrukturieren.....	442
8.6	Course4 [®] -Technologie.....	444
8.7	Sprengprägen.....	446
8.8	Cera-Shibo-Technologie.....	450
	Literatur zu Kapitel 8.....	451
9	Folienhinterspritzen.....	453
9.1	Einleitung.....	453
9.2	Inmold-Decoration (IMD-Verfahren).....	453
9.2.1	IMD-Prozess.....	454
9.2.2	IMD-Folien.....	456
9.2.3	IMD-Werkzeug.....	457
9.2.4	IMD-Vorschubgerät.....	457
9.2.5	Spezielle Aspekte.....	459
9.2.6	Prüftechnik.....	460
9.2.7	Verwendbare Kunststoffe.....	460
9.2.8	Anwendungsgebiete und Praxisbeispiele.....	461
9.3	Klassisches Folienhinterspritzen.....	464
9.3.1	FIM-Prozess.....	464
9.3.2	Bedrucken von Folien.....	467
9.3.3	Verformen von Folien.....	467
9.3.4	Beschneiden von Folien.....	468
9.3.5	Fixierung im Werkzeug.....	469
9.3.6	Werkzeugtechnik.....	469
9.3.7	Spezielle Aspekte.....	470
9.3.8	Prüftechnik.....	472
9.3.9	Verwendbare Kunststoffe.....	472
9.3.10	Anwendungsgebiete und Praxisbeispiele.....	473
	Literatur zu Kapitel 9.....	479
10	Prüftechnik.....	481
10.1	Einleitung.....	481

10.2 Glanz und Glanzmessung.....	484
10.2.1 Einstrahlungswinkel.....	487
10.2.2 Bild-Aperturwinkel.....	487
10.2.3 Blenden-Aperturwinkel.....	488
10.2.4 Reflektometerwert.....	488
10.3 Farbwahrnehmung und Farbmessung.....	489
10.4 Rauigkeits- und Topographiemessung.....	498
10.5 Kratzbeständigkeitsprüfungen und Abrieb.....	502
10.5.1 Erichsen-Härteprüfung.....	502
10.6 Beständigkeitsprüfungen gegen Temperatur, Witterung und Alterung ..	512
10.7 Haftung.....	520
Literatur zu Kapitel 10.....	526
Stichwortverzeichnis.....	527