

# Inhaltsverzeichnis

<b>Geschichte der Pulverlackierung .....</b>	<b>1</b>
<b>1 Pulverlacke .....</b>	<b>5</b>
1.1 Verschiedene Pulverlacktypen .....	5
1.1.1 Filmbildner/Bindemittel .....	5
1.1.2 Thermoplast-Bindemittel .....	6
1.1.3 Duroplast-Bindemittel .....	7
1.1.4 Epoxide .....	9
1.1.5 Hybrides .....	10
1.1.6 Polyester/TGIC .....	10
1.1.7 Polyester/Hydroxyalkylamid .....	12
1.1.8 Aromatische Glycidylester .....	12
1.1.9 Polyurethane .....	13
1.1.10 Aliphatische Oxirane .....	14
1.1.11 Acrylate .....	14
1.1.12 Methyl-substituiertes TGIC .....	16
1.1.13 Additive .....	16
1.1.14 Pigmente .....	16
1.1.15 Füllstoffe .....	18
1.2 Strahlenhärtende Systeme .....	19
1.2.1 Technologische Unterschiede in den Verfahren NIR-, UV- und NT-Härtung .....	19
1.2.2 Vergleich der Eigenschaften von NIR-, UV- und NT-Pulverlacken .....	21
1.3 Effektlacke .....	24
1.4 Pulver-Slurry .....	25
1.5 Filmbildung bei Pulverlacken .....	26
1.5.1 Schmelzviskosität und Oberflächenspannung .....	26
1.6 Pulverlackherstellung .....	28
1.7 Lagerung von Pulverlacken .....	32
1.8 Mess- und Prüftechnik bei Pulverlacken .....	32
1.8.1 Rieselfähigkeit (Fließverhalten) .....	33
1.8.2 Wirbelfähigkeit (Fluidisierung) .....	34
1.8.3 Tribofähigkeit .....	34
1.8.4 Korngrößenverteilung .....	34
1.9 Wirtschaftliche Bedeutung von Pulverlacken .....	35
1.9.1 Der Pulverlackmarkt in Zahlen .....	36
1.9.2 Marktpotenziale am Beispiel von NIR-, UV- und NT-Pulverlacken .....	38
<b>2 Applikation .....</b>	<b>43</b>
2.1 Einführung .....	43
2.2 Elektrostatische Oberflächenbeschichtung .....	45
2.3 Physikalische Grundlagen der Beschichtungsverfahren .....	47
2.3.1 Auflademechanismen .....	48
2.3.2 Triboelektrische Aufladung .....	50

2.3.3	Ionisationsaufladung (Koronaaufladung) .....	54
2.3.4	Flugverhalten elektrisch aufgeladener Partikel .....	55
2.3.5	Verhältnis von Feld- und Schwerkraft .....	56
2.3.6	Abscheideverhalten .....	57
2.3.7	Bildung der Pulverschicht .....	57
2.3.8	Technologischer Vergleich der Sprühgeräte .....	60
2.4	Die Aufladesysteme in der Praxis .....	61
2.4.1	Die Korona-Aufladung .....	61
2.4.2	Tribo-Aufladung .....	65
2.4.3	Vergleich der Ladungssysteme .....	66
2.4.4	Die Mundstücke .....	67
2.5	Pulvertransport und Förderung .....	69
2.5.1	Mechanische Eigenschaften des Pulvers .....	71
2.5.2	Anforderungen an das Fördersystem .....	71
2.5.3	Die Pulverfördersysteme .....	72
2.5.4	Trennung des Pulver-Luft-Gemischs .....	79
2.5.5	Die Pulveraufbereitung .....	82
2.5.6	Pulveraufbereitung im Behälter .....	86
2.5.7	Die Schlauchführung .....	90
2.6	Anlagenkonzepte .....	93
2.6.1	Ermittlung der relevanten Parameter .....	93
2.6.2	Anlagenkonzepte .....	94
2.6.3	Beschichtungskabine .....	96
2.6.4	Die Wahl des Kabinentyps .....	97
2.6.5	Die Rückgewinnungssysteme .....	105
2.6.6	Die Dimensionierung der Anlage .....	108
2.6.7	Die Beschichtungsgeräte – Pistolen .....	108
2.6.8	Das Pulverzentrum .....	112
2.6.9	Die Steuerung .....	116
2.6.10	Die Hubgeräte .....	119
2.6.11	Rohrleitung von der Kabine zum Zyklon .....	120
2.6.12	Kabinensysteme für die automatische Beschichtung .....	121
2.7	Die Anlagentechnik für die Verarbeitung von Effektpulverlacken .....	124
2.7.1	Rückgewinnungsprobleme .....	124
2.7.2	Aufladungsprobleme .....	124
2.7.3	Sprühbildveränderungen .....	125
2.7.4	Einfluss der Mundstücke .....	125
2.7.5	Kurzschlussbildung zwischen Pistole und Mundstück .....	127
2.7.6	Kurzschlussbildung durch Schichtbildung im Pulverrohr oder Pulverschlauch .....	127
2.8	Sonderverfahren der Pulverbeschichtung .....	127
2.8.1	Pulverbeschichten ohne Pistolen – rein elektrostatisches Wirbelbad- verfahren .....	127
2.8.2	Coil-Coating mit Pulverlack .....	127
2.8.3	Wirbelsintern .....	130
2.8.4	Rundsprühsysteme in der Omega-Schleife .....	130
2.9	Wirkungsgradverbesserung bei elektrostatischen Sprühverfahren .....	131
2.10	Geforderte Sicherheitseinrichtungen .....	133
2.11	Häufige Fehler in der Pulverbeschichtung und Lösungsmöglichkeiten .....	137
2.12	Das Einmaleins der Pulverbeschichtung .....	158

<b>3 Gehänge und Fördertechnik .....</b>	165
3.1 Gehänge, Warenträger .....	165
3.2 Fördertechnik .....	167
3.2.1 Anforderungen und Kriterien .....	167
3.2.2 Fördergut .....	168
3.3 Die Fördersysteme im Einzelnen .....	170
3.3.1 Handschiebebahnen .....	170
3.3.2 Kreisförderer .....	172
3.3.3 Verzweigungsfähige Kreisförderer .....	173
3.3.4 Power&Free-Systeme .....	174
3.3.5 Elektrohängebahn .....	178
3.3.6 Bodenförderer .....	179
3.3.7 Skid-Anlagen .....	180
3.3.8 Tauchanlagen .....	182
3.3.9 Beschickungssysteme .....	184
3.3.10 Tischkreisförderer .....	185
3.3.11 Querstabförderer .....	185
3.3.12 Bänder .....	185
3.3.13 Rollenbahnen .....	186
3.3.14 Stapelautomaten .....	186
3.4 Beispiele aus der Praxis .....	186
3.4.1 Vom Kreisförderer zu Power&Free mit Kettenlaufwerk .....	186
3.4.2 Power&Free als Bodenförderer .....	189
<b>4 Einbrennen von Pulverlacken .....</b>	193
4.1 Bauformen von Trocknern .....	193
4.1.1 Kammentrockner .....	194
4.1.2 Durchlauftrockner .....	194
4.1.3 Sonderformen .....	195
4.2 Trocknungsverfahren .....	197
4.2.1 Konvektions- oder Umlufttrocknung .....	197
4.2.2 IR-Strahlungstrocknung .....	198
4.2.3 Sonderverfahren .....	200
4.2.4 Bewertung verschiedener Aushärteverfahren .....	202
4.3 Optimierung von Lacktrocknern .....	203
4.4 Messen der Einbrenntemperatur .....	204
4.4.1 Grundlagen der Temperaturmessung .....	205
4.4.2 Anwendung der Temperaturmessung .....	206
4.4.3 Prozessoptimierung mit Hilfe der Temperaturmessung .....	209
4.4.4 Optimierungsmöglichkeiten im Bereich Einbrennofen an einem Beispiel ..	210
<b>5 Oberflächenvorbehandlung von Metallen .....</b>	213
5.1 Reinigung und Vorbehandlung .....	213
5.2 Anforderungen an den Oberflächenzustand .....	214
5.2.1 Reinheitsgrad .....	214
5.2.2 Porosität .....	218
5.3 Mechanische Vorbehandlung .....	219
5.3.1 Schleifen und Bürsten .....	219
5.3.2 Strahlen .....	220

5.4	Wässrige Reinigungsverfahren .....	222
5.4.1	Parameter der Reinigung .....	222
5.4.2	Reinigungsmechanismus in wässrigen Lösungen .....	223
5.4.3	Reinigertypen .....	227
5.4.4	Beizen .....	228
5.5	Phosphatierverfahren .....	229
5.5.1	Schichtbildende Phosphatierung .....	231
5.5.2	Nichtschichtbildende Phosphatierungen .....	236
5.5.3	Eisen-Dickschichtphosphatierung .....	237
5.5.4	Methoden zur Charakterisierung von Phosphatschichten .....	237
5.5.5	Fehler und Fehlervermeidung beim Phosphatisieren .....	239
5.6	Chromatierung .....	248
5.6.1	Gelb- und Grünchromatierung .....	249
5.7	Vorbehandlung von Eisenwerkstoffen .....	250
5.8	Zink und verzinkte Oberflächen .....	252
5.9	Buntmetalle und ihre Legierungen .....	253
5.10	Vorbehandlung von Aluminium .....	253
5.10.1	Vorbehandlung der Werkstückoberfläche .....	255
5.10.2	Vorbehandlung von Aluminiumgusslegierungen .....	256
5.10.3	Vorbehandlungsverfahren für Aluminiumoberflächen .....	257
5.10.4	Eigenschaften des Werkstoffs Aluminium .....	258
5.10.5	Stand der Technik in der Konversionsschichtbildung bei Aluminium .....	261
5.10.6	Chromfreie Verfahren .....	268
5.10.7	Entwicklungen in der Vorbehandlung .....	272
5.11	Magnesiumwerkstoffe .....	280
5.11.1	Vor- und Nachbehandlungsverfahren für Mg-Legierungen .....	280
5.11.2	Konversions- bzw. Passivierungsverfahren für Magnesium .....	281
5.11.3	Konversionsschichtbildung mit dem System Permanganat, Vanadat, Molybdat, Wolframat .....	282
5.12	Wahl der passenden Vorbehandlung .....	282
5.13	Trouble-Shooting bei No-Rinse-Vorbehandlung .....	286
5.14	Vorbehandlung von Kunststoffen .....	289
5.14.1	Mechanisches Vorbereiten von Kunststoffen .....	290
5.14.2	Das Reinigen von Kunststoffen .....	290
5.14.3	Beizen von Kunststoffoberflächen .....	290
5.14.4	Aktivierung der Kunststoffoberflächen .....	290
6	Pulverbeschichtung in der Praxis .....	297
6.1	Pulverbeschichtung in der Automobilindustrie .....	297
6.1.1	Pulverbeschichtung am Auto – Beispiel Smart .....	297
6.2	Pulverbeschichtung im Bauwesen, Architektur .....	301
6.3	Pulverbeschichtung im Industriebereich .....	305
6.4	Pulverbeschichtung im Bereich Weiße Ware .....	309
6.5	Pulverbeschichtung in der Leuchtenindustrie .....	313
6.6	Pulverbeschichtung von Holz und Holzwerkstoffen .....	319
6.6.1	Anforderungen an den Werkstoff .....	320
6.6.2	Applikationstechniken .....	321
6.6.3	Pulverlacke .....	323
6.6.4	Beispiel der Pulverbeschichtung von MDF mit UV-härtendem System ...	323

<b>7 Mess- und Prüftechnik .....</b>	<b>327</b>
7.1 Aufgaben der Prüftechnik .....	327
7.1.1 Prüfung von Beschichtungsstoffen .....	327
7.1.2 Prüfung des Untergrundes .....	328
7.1.3 Prüfung der Applikation und Trocknung (Einbrennvorgang) .....	328
7.1.4 Prüfung der Beschichtung .....	328
7.2 Appearance .....	329
7.2.1 Glanzmessung .....	330
7.2.2 Glanzschleier – Haze .....	332
7.2.3 Welligkeit – Orange Peel .....	332
7.2.4 Bildschärfe – Distinctness of Image (DIO) .....	334
7.2.5 Farbe .....	335
7.2.6 Farbmessung von Metallic-Lacken .....	341
7.2.7 Beurteilung von Farbunterschieden .....	341
7.3 Haftfestigkeit .....	342
7.3.1 Abreißversuch .....	344
7.3.2 Dornbiegeprüfung mit konischem Dorn .....	345
7.3.3 Dornbiegeprüfung mit zylindrischem Dorn .....	345
7.3.4 Gitterschnitt .....	345
7.3.5 Kreuzschnitt mit Klebebandabriss .....	348
7.3.6 Kugelschlagprüfung/Prüfung durch ein fallendes Gewichtsstück .....	348
7.3.7 Kugelstrahlversuch .....	349
7.3.8 Steinschlagprüfung, Einzelschlagprüfung .....	349
7.3.9 Steinschlagprüfung, Multischlagprüfung .....	350
7.3.10 Tiefungsprüfung .....	350
7.3.11 Sternschnitt mit Tiefung nach Randel .....	352
7.3.12 Kratzprobe .....	352
7.3.13 Radierprobe .....	353
7.3.14 Twist-O-Meter-Prüfung .....	353
7.3.15 Ritzhärteprüfung .....	353
7.3.16 Dampfstrahlprüfung .....	354
7.3.17 Kochtest .....	354
7.4 Elastizität / Biegsamkeit .....	354
7.5 Härte .....	354
7.5.1 Pendelhärte .....	355
7.5.2 Buchholz-Eindruckprüfung .....	355
7.5.3 Universalhärtemessung nach dem Kraft-Eindringtiefe-Verfahren .....	356
7.6 Schichtdicke .....	358
7.6.1 Magnetinduktive Methode .....	358
7.6.2 Wirbelstrom-Methode .....	358
7.6.3 Messung der Pulverschichtdicke vor dem Einbrennen / Vernetzen .....	358
7.6.4 Zerstörende Schichtdickenmessung – Querschliffverfahren .....	359
7.7 Korrosionsprüfungen .....	360
7.7.1 Korrosionsprüfmethoden .....	360
7.7.2 Kondenswasser-Prüfklima DIN EN ISO 6270 .....	360
7.7.3 Beanspruchung im Kondenswasser-Wechselklima mit schwefeldioxidhaltiger Atmosphäre DIN EN ISO 3231 .....	361
7.7.3 Salzsprühnebelprüfung mit verschiedenen Natriumchloridlösungen DIN EN ISO 9227 .....	363
7.7.4 Prüfung der Beständigkeit gegen Filiformkorrosion .....	364

7.8	Prüfung der Vernetzung .....	364
7.9	Wetterbeständigkeit – Freibewitterung und Kurzzeitprüfungen .....	365
7.9.1	Freibewitterung .....	365
7.9.2	Kurzbewitterung .....	367
<b>8</b>	<b>Fehler in der Beschichtung .....</b>	<b>375</b>
8.1	Störungen im Lackfilm .....	375
8.1.1	Fehlerbild: Krater im Lackfilm .....	375
8.1.2	Fehlerbild: Blasen im Lackfilm .....	378
8.1.3	Fehlerbild: Nadelstiche im Lackfilm .....	380
8.1.4	Fehlerbild: Pickel im Lackfilm .....	382
8.1.5	Fehlerbild: Punktformige Korrosionserscheinungen an der Lackoberfläche .....	384
8.1.6	Fehlerbild: Fleckenbildung durch äußere Einflüsse .....	385
8.1.7	Fehlerbild: Farbschwankungen – durchscheinender Untergrund .....	387
8.1.8	Fehlerbild: Haftungsverlust .....	387
8.1.9	Fehlerbild: Kreiden der Lackoberfläche .....	388
8.1.10	Fehlerbild: Schleierbildung – Blooming-Effekt .....	390
8.2	Korrosion der Metalloberfläche .....	391
8.2.1	Beschreibung der verschiedenen Korrosionsarten .....	391
8.2.2	Filiformkorrosion .....	393
8.3	Beispiele von Schadensfällen aus der Praxis .....	398
8.3.1	Fehlerursachen .....	398
8.4	Störungen im Lackfilm .....	407
8.5	Troubleshooting: Diagramme und Tabellen .....	421
<b>9</b>	<b>Entlacken .....</b>	<b>439</b>
9.1	Chemische Entlackung .....	440
9.1.1	Entlackungsmittel .....	440
9.1.2	Verfahrenstechniken bei der Entlackung .....	442
9.2	Strahlen mit Trockeneis .....	442
9.3	Hochdruckwasserstrahltechnik .....	445
9.4	Entlackung mit Laserstrahl .....	445
9.5	Entlackung mit Plasma .....	446
9.6	Induktives Entlacken / Wirbelstromentlacken .....	447
9.7	Wahl des Entlackungsverfahrens .....	447
	<b>Sachwortverzeichnis .....</b>	<b>451</b>