

# 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</b>	<b>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	Beschickungsautomaten	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</b>	<b>Einbrennen von Pulverlacken</b>	193
4.1	Bauformen von Trocknern	193
4.1.1	Kammertrockner	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</b>	<b>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 Phosphatieren .....	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
<b>6</b>	<b>Pulverbeschichtung in der Praxis .....</b>	<b>297</b>
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-Prüfklimare 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: Punktförmige 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>