
Inhaltsverzeichnis

1	Pulverlacke	1
1.1	Verschiedene Pulverlacktypen	1
1.1.1	Filmbildner/Bindemittel	1
1.1.2	Thermoplast-Bindemittel	3
1.1.3	Duroplast-Bindemittel	3
1.1.4	Epoxide	5
1.1.5	Hybrides	6
1.1.6	Polyester/TGIC	7
1.1.7	Polyester/Hydroxyalkylamid	8
1.1.8	Aromatische Glycidylester	9
1.1.9	Polyurethane	10
1.1.10	Acrylate	11
1.1.11	Methyl-substituiertes TGIC	12
1.1.12	Additive	13
1.1.13	Pigmente	13
1.1.14	Füllstoffe	15
1.2	Strahlenhärtende Systeme	16
1.2.1	Technologische Unterschiede in den Verfahren NIR-, UV- und NT-Härtung	16
1.2.2	Vergleich der Eigenschaften von NIR-, UV- und NT-Pulverlacken	19
1.3	Effektlacke	21
1.3.1	Extrusion	22
1.3.2	Trockenmischung – Dry-Blend	23
1.3.3	Bonding-Verfahren	23
1.4	Pulver-Slurry	23
1.5	Filmbildung bei Pulverlacken	23
1.5.1	Schmelzviskosität und Oberflächenspannung	24
1.6	Pulverlackherstellung	26
1.7	Lagerung von Pulverlacken	31

1.8	Mess- und Prüftechnik bei Pulverlacken	32
1.8.1	Rieselfähigkeit (Fließverhalten)	33
1.8.2	Wirbelfähigkeit (Fluidisierung)	33
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
	Literatur	39
2	Applikation	41
2.1	Einführung	41
2.2	Elektrostatische Oberflächenbeschichtung	43
2.3	Physikalische Grundlagen der Beschichtungsverfahren	45
2.3.1	Auflademechanismen	46
2.3.2	Triboelektrische Aufladung	46
2.3.3	Ionisationsaufladung (Koronaaufladung)	52
2.3.4	Flugverhalten elektrisch aufgeladener Partikel	54
2.3.5	Verhältnis von Feld- und Schwerkraft	55
2.3.6	Abscheideverhalten	55
2.3.7	Bildung der Pulverschicht	56
2.3.8	Technologischer Vergleich der Sprühgeräte	59
2.4	Die Aufladesysteme in der Praxis	61
2.4.1	Die Korona-Aufladung	61
2.4.2	Tribo-Aufladung	64
2.4.3	Vergleich der Ladungssysteme	65
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	72
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	91
2.5.8	Ermittlung der relevanten Parameter	92
2.5.9	Anlagenkonzepte	93
2.5.10	Beschichtungskabine	95
2.5.11	Die Wahl des Kabinentyps	96
2.5.12	Die Rückgewinnungssysteme	103

2.5.13	Die Dimensionierung der Anlage	107
2.5.14	Die Beschichtungsgeräte – Pistolen	108
2.5.15	Das Pulverzentrum	110
2.5.16	Die Steuerung	115
2.5.17	Die Hubgeräte	119
2.5.18	Rohrleitung von der Kabine zum Zyklon	120
2.5.19	Kabinensysteme für die automatische Beschichtung	121
2.6	Die Anlagentechnik für die Verarbeitung von Effektpulverlacken	124
2.6.1	Rückgewinnungsprobleme	124
2.6.2	Aufladungsprobleme	124
2.6.3	Sprühbildveränderungen	125
2.6.4	Einfluss der Mundstücke	126
2.6.5	Kurzschlussbildung zwischen Pistole und Mundstück	127
2.6.6	Kurzschlussbildung durch Schichtbildung im Pulverrohr oder Pulverschlauch	127
2.7	Sonderverfahren der Pulverbeschichtung	127
2.7.1	Pulverbeschichten ohne Pistolen – rein elektrostatisches Wirbelbadverfahren	127
2.7.2	Coil-Coating mit Pulverlack	128
2.7.3	Wirbelsintern	131
2.7.4	Rundsprühsysteme in der Omega-Schleife	131
2.8	Wirkungsgradverbesserung bei elektrostatischen Sprühverfahren	132
2.9	Geforderte Sicherheitseinrichtungen	134
2.10	Häufige Fehler in der Pulverbeschichtung und Lösungsmöglichkeiten	138
2.11	Das Einmaleins der Pulverbeschichtung	154
	Literatur	155
3	Gehänge und Fördertechnik	159
3.1	Gehänge, Warenträger	159
3.2	Fördertechnik	162
3.2.1	Anforderungen und Kriterien	162
3.2.2	Fördergut	163
3.3	Die Fördersysteme im Einzelnen	165
3.3.1	Handschiebebahnen	165
3.3.2	Kreisförderer	167
3.3.3	Verzweigungsfähige Kreisförderer	168
3.3.4	Power&Free-Systeme	170
3.3.5	Elektrohängebahn	173
3.3.6	Bodenförderer	174
3.3.7	Skid-Anlagen	176
3.3.8	Tauchanlagen	178

3.3.9	Beschickungsautomaten	180
3.3.10	Tischkreisförderer	180
3.3.11	Querstabförderer	181
3.3.12	Bänder	181
3.3.13	Rollenbahnen	181
3.3.14	Stapelautomaten	181
3.4	Beispiele aus der Praxis	182
3.4.1	Vom Kreisförderer zu Power&Free mit Kettenlaufwerk	182
3.4.2	Power&Free als Bodenförderer	185
	Literatur	186
4	Einbrennen von Pulverlacken	187
4.1	Bauformen von Trocknern	187
4.1.1	Kammertrockner	188
4.1.2	Durchlauftrockner	188
4.1.3	Sonderformen	189
4.2	Trocknungsverfahren	191
4.2.1	Konvektions- oder Umlufttrocknung	191
4.2.2	IR-Strahlungstrocknung	192
4.2.3	Sonderverfahren	194
4.2.4	Bewertung verschiedener Aushärteverfahren	197
4.3	Optimierung von Lacktrocknern	197
4.4	Messen der Einbrenntemperatur	199
4.4.1	Grundlagen der Temperaturmessung	200
4.4.2	Anwendung der Temperaturmessung	202
4.4.3	Prozessoptimierung mit Hilfe der Temperaturmessung	204
4.4.4	Optimierungsmöglichkeiten im Bereich Einbrennofen an einem Beispiel	205
	Literatur	208
5	Oberflächenvorbehandlung von Metallen	209
5.1	Reinigung und Vorbehandlung	209
5.2	Anforderungen an den Oberflächenzustand	210
5.2.1	Reinheitsgrad	210
5.2.2	Porosität	214
5.3	Mechanische Vorbehandlung	215
5.3.1	Schleifen und Bürsten	215
5.3.2	Strahlen	216
5.4	Wässrige Reinigungsverfahren	218
5.4.1	Parameter der Reinigung	218
5.4.2	Reinigungsmechanismus in wässrigen Lösungen	220
5.4.3	Reinigertypen	224

5.4.4	Beizen	225
5.5	Phosphatiervverfahren	227
5.5.1	Schichtbildende Phosphatierung	228
5.5.2	Nichtschichtbildende Phosphatierungen	232
5.5.3	Eisen-Dickschichtphosphatierung	233
5.5.4	Methoden zur Charakterisierung von Phosphatschichten	234
5.5.5	Fehler und Fehlervermeidung beim Phosphatieren	237
5.6	Chromatierung	245
5.6.1	Gelb- und Grünchromatierung	247
5.7	Vorbehandlung von Eisenwerkstoffen	248
5.8	Zink und verzinkte Oberflächen	250
5.9	Buntmetalle und ihre Legierungen	251
5.10	Vorbehandlung von Aluminium	251
5.10.1	Vorbehandlung der Werkstückoberfläche	253
5.10.2	Vorbehandlung von Aluminiumgusslegierungen	254
5.10.3	Vorbehandlungsverfahren für Aluminiumoberflächen	256
5.10.4	Eigenschaften des Werkstoffs Aluminium	257
5.10.5	Stand der Technik in der Konversionsschichtbildung bei Aluminium	259
5.10.6	Chromfreie Verfahren	267
5.10.7	Entwicklungen in der Vorbehandlung	271
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	285
5.14	Vorbehandlung von Kunststoffen	288
5.14.1	Mechanisches Vorbereiten von Kunststoffen	288
5.14.2	Das Reinigen von Kunststoffen	289
5.14.3	Beizen von Kunststoffoberflächen	289
5.14.4	Aktivierung der Kunststoffoberflächen	290
	Literatur	290
6	Pulverbeschichtung in der Praxis	295
6.1	Pulverbeschichtung im Bauwesen, Architektur	295
6.1.1	Eckdaten und Anforderungen an die neue Anlage	295
6.2	Pulverbeschichtung im Industriebereich	298
6.2.1	Anlagensteuerung	300
6.2.2	Flexibilität durch Automatisierung der Kabinen	300
6.3	Pulverbeschichtung im Bereich Weiße Ware	302

6.3.1	Vollautomatische Pulverlackierung in Höchstqualität	303
6.4	Pulverbeschichtung in der Leuchtenindustrie	306
6.4.1	Technische Daten der Anlage	307
6.4.2	Verfahrenstechnik	307
6.4.3	Pulverlacke	308
6.4.4	Besonderheiten der neuen Beschichtungshalle	308
6.4.5	Ergebnisse nach den ersten Betriebsmonaten	310
6.5	Pulverbeschichtung von Holz und Holzwerkstoffen	311
6.5.1	Anforderungen an den Werkstoff	312
6.5.2	Applikationstechniken	314
6.5.3	Pulverlacke	315
6.5.4	Beispiel der Pulverbeschichtung von MDF mit UV-härtendem System	316
6.6	In-Mould-Coating	317
6.7	Energiemanagement in der Lackieranlage	321
	Literatur	326
7	Mess- und Prüftechnik	329
7.1	Aufgaben der Prüftechnik	329
7.1.1	Prüfung von Beschichtungsstoffen	330
7.1.2	Prüfung des Untergrundes	330
7.1.3	Prüfung der Applikation und Trocknung (Einbrennvorgang)	331
7.1.4	Prüfung der Beschichtung	331
7.2	Appearance	332
7.2.1	Glanzmessung	333
7.2.2	Glanzschleier – Haze	335
7.2.3	Welligkeit – Orange Peel	336
7.2.4	Bildschärfe – Distinctness of Image (DIO)	338
7.2.5	Farbe	338
7.2.6	Farbmessung von Metallic-Lacken	344
7.2.7	Beurteilung von Farbunterschieden	345
7.3	Haftfestigkeit	346
7.3.1	Abreiversuch	346
7.3.2	Dornbiegeprüfung mit konischem Dorn	349
7.3.3	Dornbiegeprüfung mit zylindrischem Dorn	349
7.3.4	Gitterschnitt	350
7.3.5	Kreuzschnitt mit Klebebandabriss	351
7.3.6	Kugelschlagprüfung/Prüfung durch ein fallendes Gewichtsstück	352
7.3.7	Kugelstrahlversuch	353
7.3.8	Steinschlagprüfung, Einzelschlagprüfung	354
7.3.9	Steinschlagprüfung, Multischlagprüfung	354
7.3.10	Tiefungsprüfung	355

7.3.11	Sternschnitt mit Tiefung nach Randel	357
7.3.12	Kratzprobe	357
7.3.13	Radierprobe	358
7.3.14	Twist-O-Meter-Prüfung	358
7.3.15	Ritzhärteprüfung	359
7.3.16	Dampfstrahlprüfung	359
7.3.17	Kochtest	359
7.4	Elastizität/Biegsamkeit	360
7.5	Härte	360
7.5.1	Pendelhärte	360
7.5.2	Buchholz-Eindruckprüfung	361
7.5.3	Universalhärtemessung nach dem Kraft-Eindringtiefe-Verfahren	362
7.6	Schichtdicke	363
7.6.1	Magnetinduktive Methode	363
7.6.2	Wirbelstrom-Methode	364
7.6.3	Messung der Pulverschichtdicke vor dem Einbrennen/Vernetzen	364
7.6.4	Zerstörende Schichtdickenmessung – Querschliffverfahren	364
7.7	Korrosionsprüfungen	365
7.7.1	Korrosionsprüfmethode	365
7.7.2	Kondenswasser-Prüfklima DIN EN ISO 6270	366
7.7.3	Beanspruchung im Kondenswasser-Wechselklima mit schwefeloxidhaltiger Atmosphäre DIN EN ISO 3231	367
7.7.4	Salzsprühnebelprüfung mit verschiedenen Natriumchloridlösungen DIN EN ISO 9227	368
7.7.5	Prüfung der Beständigkeit gegen Filiformkorrosion	370
7.8	Prüfung der Vernetzung	370
7.9	Wetterbeständigkeit – Freibewitterung und Kurzzeitprüfungen	371
7.9.1	Freibewitterung	371
7.9.2	Kurzbewitterung	373
	Literatur	375
8	Fehler in der Beschichtung	379
8.1	Störungen im Lackfilm	380
8.1.1	Fehlerbild: Krater im Lackfilm	380
8.1.2	Fehlerbild: Blasen im Lackfilm	383
8.1.3	Fehlerbild: Nadelstiche im Lackfilm	385
8.1.4	Fehlerbild: Pickel im Lackfilm	386
8.1.5	Fehlerbild: Punktförmige Korrosionserscheinungen an der Lackoberfläche	388
8.1.6	Fehlerbild: Fleckenbildung durch äußere Einflüsse	389
8.1.7	Fehlerbild: Farbschwankungen – durchscheinender Untergrund	391
8.1.8	Fehlerbild: Haftungsverlust	391

8.1.9 Fehlerbild: Kreiden der Lackoberfläche	393
8.1.10 Fehlerbild: Schleierbildung – Blooming-Effekt	394
8.2 Korrosion der Metalloberfläche	394
8.2.1 Beschreibung der verschiedenen Korrosionsarten	394
8.2.2 Filiformkorrosion	397
8.3 Beispiele von Schadensfällen aus der Praxis	401
8.3.1 Fehlerursachen	402
8.4 Störungen im Lackfilm	411
8.4.1 Pickel im Lackfilm	411
8.4.2 Krater im Lackfilm – Verlaufstörungen	413
8.4.3 Fleckenbildung durch äußere Einflüsse	415
8.4.4 Kreiden der Lackoberfläche und Enthaftung	416
8.4.5 Enthaftung des Lackfilms	418
8.4.6 Blasen und Krater im Lackfilm	419
8.4.7 „Korrosion“ der Lackoberfläche	421
8.4.8 Fehler bei der Metallic-Beschichtung	422
8.4.9 Fehler im Profilmaterial	423
8.4.10 Fehler durch Verschmutzungen	424
8.4.11 Wetterbeständigkeit	424
8.5 Troubleshooting: Diagramme und Tabellen	425
Literatur	441
9 Entlacken	443
9.1 Chemische Entlackung	444
9.1.1 Entlackungsmittel	444
9.1.2 Verfahrenstechniken bei der Entlackung	446
9.2 Strahlen mit Trockeneis	447
9.2.1 Wirkungsweise des Verfahrens	448
9.3 Hochdruckwasserstrahltechnik	449
9.4 Entlackung mit Laserstrahl	449
9.5 Entlackung mit Plasma	450
9.6 Induktives Entlacken/ Wirbelstromentlacken	451
9.7 Wahl des Entlackungsverfahrens	452
Literatur	454
Sachwortverzeichnis	455