

1	Pulverlacke	1
1.1	Verschiedene Pulverlacktypen	1
1.1.1	Filmbildner/Bindemittel	1
1.1.2	Thermoplast-Bindemittel	4
1.1.3	Duroplast-Bindemittel	4
1.1.4	Epoxide	5
1.1.5	Hybrides	7
1.1.6	Polyester/TGIC	8
1.1.7	Polyester/Hydroxyalkylamid	9
1.1.8	Aromatische Glycidylester	9
1.1.9	Polyurethane	12
1.1.10	Acrylate	13
1.1.11	Methyl-substituiertes TGIC	15
1.1.12	Additive	15
1.1.13	Pigmente	16
1.1.14	Füllstoffe	17
1.2	NT- und strahlenhärtende Systeme	17
1.2.1	NT-Pulverlacke	18
1.2.2	NIR-Pulverlacke	19
1.2.3	UV-Pulverlacke	20
1.3	Effektlacke	21
1.3.1	Extrusion	24
1.3.2	Trockenmischung – Dry-Blend	24
1.3.3	Bonding-Verfahren	24
1.3.4	Sicherheit beim Umgang mit Aluminiumpigmentpulvern	24
1.4	Pulver-Slurry	27
1.5	Filmbildung bei Pulverlacken	27
1.5.1	Schmelzviskosität und Oberflächenspannung	28
1.6	Pulverlackherstellung	30

1.7	Lagerung von Pulverlacken	32
1.8	Mess- und Prüftechnik bei Pulverlacken	35
1.8.1	Rieselfähigkeit (Fließverhalten).	36
1.8.2	Wirbelfähigkeit (Fluidisierung)	36
1.8.3	Tribofähigkeit.	37
1.8.4	Korngrößenverteilung.	37
1.8.5	Einbrennverlust bei Pulverlacken.	37
1.9	Wirtschaftliche Bedeutung von Pulverlacken	38
1.9.1	Potenziale und zukünftige Entwicklungen.	40
	Literatur.	41
2	Applikation	43
2.1	Einführung	43
2.2	Elektrostatische Oberflächenbeschichtung.	47
2.3	Physikalische Grundlagen der Beschichtungsverfahren	48
2.3.1	Auflademechanismen.	49
2.3.2	Triboelektrische Aufladung	52
2.3.3	Ionisationsaufladung (Koronaaufladung).	55
2.3.4	Flugverhalten elektrisch aufgeladener Partikel	58
2.3.5	Verhältnis von Feld- und Schwerkraft	59
2.3.6	Abscheideverhalten	60
2.3.7	Bildung der Pulverschicht	60
2.3.8	Technologischer Vergleich der Sprühgeräte.	64
2.4	Die Aufladesysteme in der Praxis	66
2.4.1	Die Korona-Aufladung.	67
2.4.2	Tribo-Aufladung.	71
2.4.3	Vergleich der Ladungssysteme.	72
2.4.4	Die Düsensysteme	73
2.5	Pulvertransport und Förderung	77
2.5.1	Mechanische Eigenschaften des Pulvers	78
2.5.2	Anforderungen an das Fördersystem	79
2.5.3	Die Pulverfördersysteme	79
2.5.4	Trennung des Pulver-Luft-Gemischs	90
2.5.5	Die Pulveraufbereitung	95
2.5.6	Pulveraufbereitung im Behälter	103
2.5.7	Die Schlauchführung	107
2.6	Anlagenplanung und Auslegung	111
2.6.1	Anlagenkonzepte	112
2.6.2	Beschichtungskabine	115
2.6.3	Die Wahl des Kabinentyps.	115
2.6.4	Die Rückgewinnungssysteme	123

2.6.5	Die Dimensionierung der Anlage	129
2.6.6	Die Beschichtungsgeräte – Pistolen	130
2.7	Das Pulverzentrum	134
2.7.1	Pulverzentrum mit Injektortechnik	135
2.7.2	Pulverzentrum mit Pumpentechnik	135
2.7.3	Integriertes Pulverzentrum	136
2.8	Die Anlagensteuerung und Automatisierung	136
2.8.1	Automatisierungsstufe 1 – Lückenerkennung	137
2.8.2	Automatisierungsstufe 2 – Höhererkennung	137
2.8.3	Automatisierungsstufe 3 – Breitererkennung	138
2.8.4	Automatisierungsstufe 4 – vertikale Pistolenanordnung	138
2.8.5	Automatisierungsstufe 5 – Dynamische Konturerkennung	140
2.8.6	Robotertechnik	142
2.8.7	Die Hubgeräte	143
2.8.8	Hubautomaten oder Beschichtungsroboter	144
2.8.9	Kabinensysteme für die automatische Beschichtung	145
2.9	Rohrleitung von der Kabine zum Zyklon	148
2.10	Die Anlagentechnik für die Verarbeitung von Effektpulverlacken	149
2.10.1	Rückgewinnungsprobleme	149
2.10.2	Aufladungsprobleme	150
2.10.3	Sprühbildveränderungen	150
2.10.4	Einfluss der Düsensysteme	151
2.10.5	Kurzschlussbildung zwischen Pistole und Düse	152
2.10.6	Kurzschlussbildung durch Schichtbildung im Pulverrohr oder Pulverschlauch	152
2.11	Sonderverfahren der Pulverbeschichtung	153
2.11.1	Pulverbeschichten ohne Pistolen – rein elektrostatisches Wirbelbadverfahren	153
2.11.2	Coil-Coating mit Pulverlack	153
2.11.3	Wirbelsintern	156
2.11.4	Rundsprühsysteme in der Omega-Schleife	157
2.12	Wirkungsgradverbesserung bei elektrostatischen Sprühverfahren	157
2.12.1	Geforderte Sicherheitseinrichtungen	159
2.13	Häufige Fehler in der Pulverbeschichtung und Lösungsmöglichkeiten	164
2.13.1	Das Einmaleins der Pulverbeschichtung [31]	165
	Literatur	176

3	Gehänge und Fördertechnik	181
3.1	Gehänge, Warenträger	181
3.2	Fördertechnik	183

3.2.1	Anforderungen und Kriterien	183
3.2.2	Fördergut	185
3.3	Die Fördersysteme im Einzelnen	187
3.3.1	Handschiebebahnen	187
3.3.2	Kreisförderer	189
3.3.3	Verzweigungsfähige Kreisförderer	190
3.3.4	Power&Free-Systeme	191
3.3.5	Elektrohängebahn	195
3.3.6	Bodenförderer	195
3.3.7	Skid-Anlagen	199
3.3.8	Tauchanlagen	201
3.3.9	Beschickungsautomaten	203
3.3.10	Tischkreisförderer	204
3.3.11	Querstabförderer	204
3.3.12	Bänder	204
3.3.13	Rollenbahnen	205
3.3.14	Stapelautomaten	205
	Literatur	205
4	Einbrennen von Pulverlacken	207
4.1	Bauformen von Trocknern	208
4.1.1	Kammertrockner	208
4.1.2	Durchlauftrockner	208
4.1.3	Sonderformen	210
4.2	Trocknungsverfahren	211
4.2.1	Konvektions- oder Umlufttrocknung	212
4.2.2	IR-Strahlungstrocknung	213
4.2.3	Sonderverfahren	214
4.2.4	Bewertung verschiedener Aushärteverfahren	217
4.3	Optimierung von Lacktrocknern	217
4.4	Messen der Einbrenntemperatur	219
4.4.1	Grundlagen der Temperaturmessung	219
4.4.2	Anwendung der Temperaturmessung	220
4.4.3	Prozessoptimierung mithilfe der Temperaturmessung	223
4.4.4	Optimierungsmöglichkeiten im Bereich Einbrennofen	223
	Literatur	224
5	Oberflächenvorbehandlung von Metallen	227
5.1	Reinigung und Vorbehandlung	227
5.2	Anforderungen an den Oberflächenzustand	228
5.2.1	Reinheitsgrad	228
5.2.2	Porosität und Lunker	233
5.2.3	Kontaminationen – Schmutz auf der Oberfläche	234

5.3	Mechanische Vorbehandlung	234
5.3.1	Schleifen und Bürsten	235
5.3.2	Strahlen	236
5.4	Flüssige Reinigungsverfahren	237
5.4.1	Parameter der Reinigung	238
5.4.2	Reinigungsmechanismus in wässrigen Lösungen	239
5.4.3	Reinigertypen	244
5.4.4	Beizen	245
5.4.5	Dekapierung	247
5.4.6	Spülen	247
5.4.7	Wasserqualität	247
5.4.8	Badpflege	248
5.5	Phosphatierv Verfahren	249
5.5.1	Schichtbildende Phosphatierung	251
5.5.2	Eisen-Phosphatierung	258
5.5.3	Eisen-Dickschichtphosphatierung	259
5.5.4	Methoden zur Charakterisierung von Phosphatschichten	260
5.5.5	Fehler und Fehlervermeidung beim Phosphatieren	262
5.6	Chromatierung	270
5.6.1	Grünchromatierung – CrIII	271
5.6.2	Gelbchromatierschichten – CrVI	271
5.7	Vorbehandlung von Eisenwerkstoffen	271
5.8	Zink und verzinkte Oberflächen	272
5.9	Aluminiumlegierungen	272
5.9.1	Eigenschaften des Werkstoffs Aluminium	272
5.9.2	Vorbehandlung von Aluminiumlegierungen	273
5.9.3	Vorbehandlung von Aluminiumgusslegierungen	276
5.9.4	Konversionsschichten für Aluminiumoberflächen	278
5.9.5	Chromfreie Verfahren	283
5.10	Magnesiumwerkstoffe	293
5.10.1	Vorbehandlung von Magnesiumlegierungen	293
5.10.2	Konversions- bzw. Passivierungsverfahren für Magnesium	294
5.11	Maßnahmen zur Qualitätssicherung	294
5.12	Automatische Badanalyse und Chemikalienergänzung	295
5.13	Vorbeugende Anlagenwartung	295
5.14	Wahl der passenden Vorbehandlung	295
	Literatur	298

6	Moderne industrielle Anwendungen	303
6.1	Pulverbeschichtung von Holz und Holzwerkstoffen	303

6.1.1	Anforderungen an den Werkstoff	303
6.1.2	Applikationstechniken	305
6.1.3	Pulverlacke	306
6.2	In-Mould-Coating	306
6.3	Pulver-in-Pulver-Technologie	310
6.3.1	Durchmischungseffekte minimieren	311
6.3.2	Abstoßung durch hohe Aufladung	312
6.3.3	Kantenabdeckung für besseren Korrosionsschutz	312
6.3.4	Applikation.	312
6.3.5	Unterschiedliche Lacktechnologien am Markt	314
6.3.6	Probleme beim Schichtaufbau	315
6.4	Berührungslose Schichtdickenmessung vor dem Einbrennen [13]	316
6.4.1	Möglichkeiten der Schichtdickenmessung.	318
6.5	Maßgeschneidertes Anlagenlayout in der Räderlackierung.	318
	Literatur.	322
7	Mess- und Prüftechnik	325
7.1	Aufgaben der Prüftechnik	325
7.1.1	Prüfung von Beschichtungsstoffen.	326
7.1.2	Prüfung des Untergrundes	326
7.1.3	Prüfung der Applikation und Trocknung (Einbrennvorgang)	327
7.1.4	Prüfung der Beschichtung	327
7.2	Appearance.	328
7.2.1	Glanzmessung	329
7.2.2	Glanzschleier – Haze	331
7.2.3	Welligkeit – Orange Peel	332
7.2.4	Bildschärfe – Distinctness of Image (DIO)	334
7.2.5	Farbe.	334
7.2.6	Farbmessung von Metallic-Lacken	341
7.2.7	Beurteilung von Farbunterschieden	341
7.3	Haftfestigkeit	342
7.3.1	Abreißversuch	345
7.3.2	Dornbiegeprüfung mit konischem Dorn	345
7.3.3	Dornbiegeprüfung mit zylindrischem Dorn.	345
7.3.4	Gitterschnitt	346
7.3.5	Kreuzschnitt mit Klebebandabriss	348
7.3.6	Kugelschlagprüfung/Prüfung durch ein fallendes Gewichtsstück	349
7.3.7	Kugelstrahlversuch.	350
7.3.8	Steinschlagprüfung, Einzelschlagprüfung	350
7.3.9	Steinschlagprüfung, Multischlagprüfung.	351

7.3.10	Tiefungsprüfung	351
7.3.11	Sternschnitt mit Tiefung nach Randel	352
7.3.12	Kratzprobe	353
7.3.13	Radierprobe	353
7.3.14	Ritzhärteprüfung	354
7.3.15	Dampfstrahlprüfung	354
7.3.16	Kochtest	355
7.4	Elastizität/Biegsamkeit	355
7.5	Härte	355
7.5.1	Pendelhärte	356
7.5.2	Buchholz-Eindruckprüfung	356
7.5.3	Universalhärtemessung nach dem Kraft-Eindringtiefe- Verfahren	357
7.6	Schichtdicke	359
7.6.1	Magnetinduktive Methode	359
7.6.2	Wirbelstrom-Methode	359
7.6.3	Messung der Pulverschichtdicke vor dem Einbrennen/ Vernetzen	360
7.6.4	Zerstörende Schichtdickenmessung – Querschliiffverfahren	360
7.7	Korrosionsprüfungen	361
7.7.1	Korrosionsprüfmethode	361
7.7.2	Kondenswasser-Prüfklima DIN EN ISO 6270	362
7.7.3	Beanspruchung im Kondenswasser-Wechselklima mit schwefeldioxidhaltiger Atmosphäre DIN EN ISO 3231	363
7.7.4	Salzsprühnebelprüfung mit verschiedenen Natriumchloridlösungen DIN EN ISO 9227	363
7.7.5	Prüfung der Beständigkeit gegen Filiformkorrosion	365
7.8	Prüfung der Vernetzung	366
7.9	Wetterbeständigkeit – Freibewitterung und Kurzzeitprüfungen	367
7.9.1	Freibewitterung	367
7.9.2	Kurzbewitterung	369
	Literatur	373

8	Fehler in der Beschichtung	379
8.1	Fehlerursachen	380
8.1.1	Fehler bei der Herstellung des Lackes	380
8.1.2	Materialfehler	381
8.1.3	Fehler im Beschichtungsbetrieb	383
8.1.4	Transport- und Lagerungsfehler	387
8.2	Fehler im Lackfilm	388
8.2.1	Benetzungsstörungen/Karater	389

8.2.2	Blasen im Lackfilm	396
8.2.3	Nadelstiche	397
8.2.4	Schmutzeinschlüsse –Pickel oder Stippen	399
8.2.5	Pigment-Verschmutzungen/Pulverlackverunreinigungen	405
8.2.6	Gelteilchen	406
8.2.7	Fleckenbildung durch äußere Einflüsse	407
8.2.8	Farbschwankungen – durchscheinender Untergrund	411
8.2.9	Haftungsverlust	412
8.2.10	Kreiden der Lackoberfläche/Wetterbeständigkeit	415
8.2.11	Glanzunterschiede	417
8.3	Korrosion der Metalloberfläche	419
8.3.1	Beschreibung der verschiedenen Korrosionsarten	419
8.3.2	Korrosion durch äussere Einflüsse	421
8.3.3	Korrosion des Grundmetalls durch äußere Einflüsse	427
8.3.4	Korrosion des Grundmetalls durch „innere“ Einflüsse	429
8.3.5	Korrosion verursacht durch biologische Rückstände aus der Vorbehandlung	429
8.3.6	Fehler durch Verschmutzungen	430
8.3.7	Fehlende Pulverhaftung am Werkstück vor dem Einbrennen	432
8.3.8	Kantenflucht	433
8.4	Troubleshooting: Diagramme und Tabellen	435
	Literatur	450
9	Entlacken	453
9.1	Chemische Entlackung	455
9.1.1	Entlackungsmittel	455
9.1.2	Verfahrenstechniken bei der Entlackung	455
9.2	Strahlen mit Trockeneis	457
9.2.1	Wirkungsweise des Verfahrens	458
9.3	Hochdruckwasserstrahltechnik	459
9.4	Entlackung mit Laserstrahl	459
9.5	Entlackung mit Plasma	461
9.6	Induktives Entlacken/Wirbelstromentlacken	462
9.7	Wahl des Entlackungsverfahrens	462
	Literatur	464
10	Umwelt- und Energieaspekte	465
10.1	Emissionen aus dem Einbrennprozess [1]	465
10.2	Ökobilanz eines Pulverlackes	466
10.2.1	Applikationsparameter und ihr Einfluss	467
10.2.2	Beschichtungsstoff und Abfall	468
10.2.3	Harze	468

10.2.4	Vorbehandlung	469
10.2.5	Idee der Ökobilanz und wesentliche Merkmale	469
10.3	Verwertung von Pulverlacken [6].	470
10.4	Energiemanagement in der Lackieranlage	471
10.4.1	Analyse der Prozesse und Optimierung	472
10.4.2	Energie einsparen durch Anlagenkomponenten und Steuerungstechnik	472
10.4.3	Wärmeverluste minimieren – Wärmerückgewinnung	473
10.4.4	Energetischer Vergleich einer Flüssig- und Pulverlackieranlage [9]	475
	Literatur	477

Stichwortverzeichnis	479
---------------------------------------	-----